

Organisierte Komplexität

**Mikroprozess-Analysen der Interaktionsdynamik zweier
Psychotherapien mit den Methoden der nichtlinearen
Zeitreihenanalyse**

Inaugural-Dissertation
in der Fakultät Psychologie
der Otto-Friedrich-Universität Bamberg

vorgelegt von

Guido Strunk

aus

Dorsten

Bamberg, den 11.06.2004

Tag der mündlichen Prüfung: 19.01.2005

Dekan: Univ. Prof. Dr. Max Peter Baumann

Erstgutachter: Apl. Prof. Dr. Günter Schiepek

Zweitgutachter: Apl. Prof. Dr. Harald Schaub

1. Inhalt

1.	Inhalt.....	1
1.1	Abbildungsverzeichnis.....	7
1.2	Tabellenverzeichnis.....	13
1.3	Verzeichnis angeführter Gleichungen.....	15
2.	Einleitung	17

Teil I: Systemtheoretische Grundlagen..... 20

3.	Was ist ein System?.....	21
3.1	Konkretisierung des Systembegriffs	21
3.2	Zum Nutzen des Systembegriffs.....	26
3.2.1	Umgangssprachliche Verwendung des Systembegriffs.....	26
3.2.2	Der mathematisch naturwissenschaftliche Systembegriff	27
4.	Von der klassischen Mechanik zur Kybernetik	30
4.1	Klassische Mechanik: Die Maschinenmetapher menschlichen Verhaltens.....	31
4.2	Formale Gesichtspunkte der klassischen Mechanik	39
4.3	Der kybernetische Ansatz.....	43
4.4	Formale Gesichtspunkte des kybernetischen Ansatzes.....	47
4.5	Von der klassischen Mechanik zur Kybernetik – Entwicklungen in der Psychologie	52
4.5.1	Klassisch behaviorale Ansätze	52
4.5.2	Der Behaviorismus und die klassische Verhaltenstherapie	57
4.5.3	Zusammenfassung: Klassisch behavioral orientierte Ansätze in der Psychologie und Psychotherapie als Ausdruck einer mechanischen Weltsicht	65
4.5.4	Der kybernetische Ansatz der Verhaltenssteuerung.....	66
4.5.5	Streit der Schulen: Die Optimisten und die Pessimisten.....	68
4.5.6	TOTE-Einheiten und Plankonzept.....	71
4.5.7	Lernen	74
4.5.8	Das Plankonzept in der Psychotherapie	77
4.5.9	Zusammenfassung: Der kybernetische Ansatz der Verhaltenssteuerung Der Regelkreis als Kernbaustein menschlichen Verhaltens	78

5.	Anomalien – Verunsicherungen der Normalwissenschaften	81
5.1	Das Ende der Ewigkeitsvorstellung: Die Entdeckung der Vergänglichkeit	81
5.1.1	Wie es lebende Systeme vermögen, sich dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik zu widersetzen	86
5.1.2	Kann Ordnung aus Unordnung entstehen?	87
5.2	Henri Poincaré und das Drei-Körper-Problem	89
5.3	Edward Lorenz und das Wetter	97
5.4	Komplexe Ökosysteme	102
5.4.1	Das Lotka-Volterra-Modell	102
5.4.2	Die Verhulst-Gleichung – Wege ins Chaos	107
5.4.3	Exkurs: Weitere Modelle	114
5.5	Chemische Oszillatoren	118
5.6	Zusammenfassung einiger bemerkenswerter Aspekte	121
6.	Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme	124
6.1	Die Theorie Dissipativer Systeme	125
6.1.1	Dissipative vs. konservative Systeme	126
6.1.2	Selbstorganisation in dissipativen Systemen	129
6.2	Synergetik	131
6.2.1	Selbstorganisation am Beispiel des Lasers	131
6.2.2	Grundlegende Konzepte der Synergetik	135
6.2.3	Ordnungsparameter bzw. Attraktoren	136
6.2.4	Kartierung des Systemverhaltens	139
6.3	Fraktale Strukturen und das Konzept der Dimensionalität	143
6.3.1	Begriffbestimmung	143
6.3.2	Dimensionskonzepte	145
6.4	Chaos, ein schwer zu definierendes Phänomen	151
6.4.1	Der Chaosbegriff im Spannungsfeld zwischen Empirie und Theorie	155
6.4.2	Voraussetzungen für das Auftreten von Chaos	158
6.4.3	Einordnung des Chaosbegriffes im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme	159
6.5	Formale Aspekte der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme	162
6.5.1	Systemstruktur	163
6.5.2	System-Umwelt Verhältnis: Von offenen und geschlossenen Systemen	167
6.5.3	Zeit und Ewigkeit	168
6.5.4	Determinismus und Kausalität	171
6.5.5	Die Teile und das Ganze	175
6.5.6	Entstehung komplexer Ordnung (Selbstorganisation)	176
6.6	Die Evolution des systemischen Denkens – Zusammenfassung	178

Teil II: Systemwissenschaftliche Forschungsmethoden 181

7.	Zugänge zu nichtlinearen dynamischen Systemen	182
7.1	Systemwissenschaftliche Modellbildung – Als die Theorien laufen lernten	183
7.1.1	Über die Notwendigkeit zur Konkretisierung – Führt Frustration zu Aggression?	186
7.1.2	Wann ist eine systemwissenschaftliche Modellbildung erforderlich?	191
7.1.3	Anforderungen an die Darstellung von systemwissenschaftlichen Modellen	196
7.1.4	Anforderungen an Schlussfolgerungen aus systemwissenschaftlichen Modellen	205
7.1.5	Forderung nach Interdisziplinarität und „über den Tellerrand schauen“	211
7.1.5.1	<i>Die Grenzen eines einseitigen hirnpfysiologischen Reduktionismus</i>	212
7.1.5.2	<i>Wechselwirkungen zwischen psychischen und physischen Prozessen</i>	217
7.1.5.3	<i>Psychologische Interventionen und ihre Wirkung auf physiologische Variablen</i>	229
7.1.5.4	<i>Der Mensch, ein soziales Wesen</i>	233
7.1.5.5	<i>Zusammenfassung</i>	242
7.1.6	Forderung nach idiographischen Modellen	244
7.1.7	Empirische Prüfung – Grenzen und Möglichkeiten	247
7.1.7.1	<i>Falsifikation ohne Folgen</i>	248
7.1.7.2	<i>Verifikation</i>	250
7.1.7.3	<i>Mathematische Übergeneralisierung</i>	250
7.1.8	Systemwissenschaftliche Modelle als Produkt – Grenzen und Möglichkeiten	255
7.2	Bottom-up-Analysen	262
7.3	Ein systemwissenschaftliches Forschungsmodell	270
8.	Methoden	276
8.1	Hinweise für eine mathematische Modellbildung	278
8.1.1	Dynamische Differentialgleichungen	279
8.1.2	Wie sich die abhängige Variable verändert, wenn sich die unabhängige über die Zeit verändert	285
8.1.3	Differenzgleichungen und das Runge-Kutta-Verfahren	289
8.1.4	Simulation mittels Differentialgleichungssystemen	296
8.1.5	Simulation mittels Production Systems	313
8.1.6	Vielteilchen-Systeme – Autonome Agenten	317
8.1.7	Zusammenfassung – Simulationsverfahren	328
8.2	Methoden der Zeitreihenanalyse	331
8.2.1	Datenfilterung	333
8.2.1.1	<i>Gleitender arithmetischer Mittelwert</i>	333
8.2.1.2	<i>Vorhersagealgorithmen: Non-linear Forecasting</i>	335
8.2.2	Lineare Verfahren	341
8.2.2.1	<i>Autokorrelation</i>	341
8.2.2.2	<i>Cross-Linked-Korrelation</i>	345
8.2.2.3	<i>Abschnittsweise Korrelation: gleitende Korrelationsfenster</i>	346
8.2.2.4	<i>Spektralanalyse und Surrogatdatentestung</i>	348

8.2.3	Phasenraumeinbettung	353
8.2.3.1	Bestimmung des Time-Lag über die Autokorrelationsfunktion	356
8.2.3.2	Bestimmung des Time-Lag über die Mutual-Information-Funktion	358
8.2.3.3	Bestimmung des Time-Lag über das generalisierte Korrelationsintegral	360
8.2.3.4	Bestimmung des Time-Lag über geometrische Eigenschaften	361
8.2.4	Dimensionalität – Komplexität	366
8.2.5	Chaotizität	376
8.2.5.1	Die Bestimmung von Lyapunov-Exponenten nach Wolf et al.	385
8.2.5.2	Die Bestimmung von Lyapunov-Exponenten nach Rosenstein et al.	386
8.2.5.3	Lyapunov-Exponenten für nichtstationäre Zeitreihen	389
8.2.5.4	Ein Verfahren zur Bestimmung des Skalierungsbereiches	393
8.2.6	Determinismus und Chaos	395
8.2.7	Chaos und Ordnung in nominalen Datensätzen	396
8.2.7.1	Problemstellung	396
8.2.7.2	Abfolgen von Symbolen in Zeitreihen: Symbol Dynamics	397
8.2.7.3	Die algorithmische Entropie	399
8.2.8	Zusammenfassender Überblick über die dargestellten Verfahren	405

Teil III: Analyse zweier Psychotherapien 409

9.	Dynamik, Organisation und Komplexität in der Psychologie	410
9.1	Biologisch-medizinische Phänomene organisierter Komplexität	412
9.2	Psychische Phänomene organisierter Komplexität	425
9.2.1	Wahrnehmung	425
9.2.2	Kognition	438
9.2.3	Motorische Prozesse	446
9.2.4	Lernen als Prozess der Selbstorganisation	451
9.2.5	Soziale Systeme	455
9.2.6	Pathogenese und Dynamische Krankheiten	461
9.3	Psychotherapie, ein chaotischer Prozess?	468
9.3.1	Psychotherapie als Prozess der Selbstorganisation – Systemische Psychotherapie	472
9.3.2	Psychotherapie als Prozess der Selbstorganisation – Empirische Zugänge	481
10.	Die Sequentielle Plananalyse (SPA) als Methode zur Mikroprozessanalyse zwischenmenschlicher Begegnungen	492
10.1	Von der horizontalen zur vertikalen Verhaltensanalyse	494
10.1.1	Theoretische Grundannahmen der Plananalyse	496
10.1.2	Darstellungsformen der Plananalyse	499
10.1.3	Der Stoff aus dem die Pläne sind	504
10.2	Die Sequentielle Plananalyse	509
10.2.1	Operationalisierung: Die Planstruktur entsteht	512

10.2.2	Datenaufbereitung: Generierung von Zeitreihen.....	514
10.2.3	Darstellung einer SPA: Planpartituren	519
10.2.4	Gütekriterien einer Sequentiellen Plananalyse	526
11.	Muster und Muster der Veränderung in der therapeutischen Beziehungsgestaltung	532
11.1	Die Sequentielle Plananalyse zweier Psychotherapien	534
11.2	Organisierte Komplexität in Planpartituren	543
11.2.1	Ordnung im Chaos: Die Häufigkeitsverteilungen der Plankonstellationen	543
11.2.2	Die häufigsten individuellen und gemeinsamen Plankonstellationen	547
11.2.3	Komplexität im Zeitverlauf.....	550
11.2.4	Diskussion	555
11.3	Nichtlineare Zeitreihenanalysen	557
11.3.1	Dimensionalitätsanalyse	563
11.3.1.1	<i>Dimensionalitätsanalyse mit variabler Glättung</i>	<i>566</i>
11.3.1.2	<i>Dimensionalitätsanalyse mit fester Glättung.....</i>	<i>573</i>
11.3.1.3	<i>Dimensionalitätsanalysen der beiden Therapien – Multidimensionale Einbettung</i>	<i>576</i>
11.3.1.4	<i>Veränderungen der Komplexität im Verlauf der Therapien.....</i>	<i>583</i>
11.3.1.5	<i>Zusammenfassung</i>	<i>595</i>
11.3.2	Den Schmetterlingseffekt einfangen – Der Nachweis von Chaos	599
11.3.3	Phasen kritischer Instabilität und deren Vorhersage	610
11.3.4	Zusammenfassung.....	615
12.	Der Kreis schließt sich: Zusammenfassung und Ausblick	618
12.1	Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme – wesentliche Ergebnisse	621
12.2	Methodologische und methodische Zugänge – wesentliche Ergebnisse	623
12.3	Empirische Zugänge zu Phänomenen organisierter Komplexität in der Klinischen Psychologie – wesentliche Ergebnisse	628
12.3.1	Organisierte Komplexität in Planpartituren.....	631
12.3.2	Fraktale Dimensionalität.....	634
12.3.3	Deterministisches Chaos in der psychotherapeutischen Beziehungsgestaltung	636
12.3.4	Dynamik zweiter Ordnung.....	637
12.3.5	Ausblick.....	640
13.	Literaur	642
14.	Index.....	679

Anhang.....	700
15. Planstrukturen Therapie I.....	701
16. Planstrukturen Therapie II.....	708
17. Muster Therapie I.....	715
17.1 Therapeut.....	715
17.2 Klientin.....	727
18. Muster Therapie II.....	730
18.1 Therapeut.....	730
18.2 Klientin.....	736

1.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Strukturen eines methodologisch definierten Ökosystems.....	23
Abbildung 2:	Hierarchische Vernetzung von Systemen.....	24
Abbildung 3:	Heterarchische Wechselwirkungen zwischen Systemen.....	25
Abbildung 4:	Mittelalterliche Vorstellung von der Flugbahn einer Kanonenkugel.....	28
Abbildung 5:	Automatenfigur „Lautenspielerin“.....	31
Abbildung 6:	Automatenfigur „Schreiber“.....	32
Abbildung 7:	Karikaturen zur Beziehung zwischen Automaten und Menschen.....	33
Abbildung 8:	Karikaturen zur Beziehung zwischen Automaten und Menschen.....	34
Abbildung 9:	Der „Schachautomat“.....	35
Abbildung 10:	Das Geheimnis des „Schachautomaten“.....	37
Abbildung 11:	Eine Uhr die Tee kocht.....	38
Abbildung 12:	Schematische Systemstruktur: Lineale Kette.....	39
Abbildung 13:	Struktur eines Regelkreismodells.....	44
Abbildung 14:	Fliehkraftregelung.....	45
Abbildung 15:	Das Verhalten von Regelkreisen als Potenziallandschafts-Darstellung.....	48
Abbildung 16:	Schematische Darstellung einer einfachen Rückkopplungsschleife.....	49
Abbildung 17:	Selbstregulationssystem.....	62
Abbildung 18:	Grundformel des Verhaltens.....	63
Abbildung 19:	S-(O+C)-R-K-Modell einer dyadischen Interaktion.....	65
Abbildung 20:	Rubin Vase.....	67
Abbildung 21:	Versuchsaufbau zum Nachweis von kognitiven Landkarten bei Ratten.....	70
Abbildung 22:	Ein hierarchischer Plan für das Nageleinschlagen.....	73
Abbildung 23:	Das Balkenwagenexperiment.....	76
Abbildung 24:	Beispiel für Ziel-Mittel-Relationen in Plananalysen.....	77
Abbildung 25:	Schematische Darstellungen gekoppelter TOTE-Einheiten.....	80
Abbildung 26:	Deterministisch-atomistisches Weltmodell „Nylonseil“.....	83
Abbildung 27:	Schematische Darstellung eines Perpetuum Mobile.....	85
Abbildung 28:	(x-t)-Diagramme einer Sinus- und einer Kosinus-Funktion.....	91
Abbildung 29:	Phasenraum-Diagramme einer Sinus- und einer Kosinus-Funktion.....	92
Abbildung 30:	Poincaré-Schnitt.....	93
Abbildung 31:	Poincaré-Schnitte für ein Doppelsternsystem.....	94
Abbildung 32:	Planetenbahnen eines Doppelsternsystems.....	96
Abbildung 33:	Der Lorenz-Attraktor.....	98
Abbildung 34:	Ein einfaches Klimamodell.....	99
Abbildung 35:	Zeitliche und räumliche Größenordnungen des Systems Erde.....	100
Abbildung 36:	Schar von Lösungen des Räuber-Beute-Modells.....	105

Abbildung 37:	<i>Schmetterlingseffekt bei Lösungen der Verhulst-Gleichung im chaotischen Bereich</i>	109
Abbildung 38:	<i>Feigenbaum-Szenario der Verhulst-Gleichung</i>	111
Abbildung 39:	<i>(x-t)-Diagramme zur Verhulst-Gleichung</i>	112
Abbildung 40:	<i>Attraktor der Verhulst-Gleichung</i>	114
Abbildung 41:	<i>Räumliche Muster in der Belusov-Zhabotinsky Reaktion</i>	119
Abbildung 42:	<i>Chaotischer Attraktor der Belusov-Zhabotinsky-Reaktion</i>	125
Abbildung 43:	<i>Schematische Darstellung einer modernen Anker-Hemmung</i>	127
Abbildung 44:	<i>Entropie und dissipative Strukturen</i>	130
Abbildung 45:	<i>Schematische Darstellung der Lichtemission</i>	132
Abbildung 46:	<i>Schematische Darstellung eines Lasers</i>	133
Abbildung 47:	<i>Grundmodell der Synergetik</i>	136
Abbildung 48:	<i>Mathematisch generierter fraktaler Farn (Barnsley-Farn)</i>	144
Abbildung 49:	<i>Produktionsmodus der Koch-Kurve</i>	146
Abbildung 50:	<i>Die Küstenlinie Britanniens</i>	148
Abbildung 51:	<i>Iterator der Koch-Kurve</i>	149
Abbildung 52:	<i>Der Weg des Lorenz-Attraktors ins Chaos</i>	156
Abbildung 53:	<i>Ausnahmen von der Regel: Chaotische nicht fraktale und fraktale nicht chaotische Attraktoren</i>	158
Abbildung 54:	<i>Veränderung der Potenziallandschaft bei einer Bifurkation</i>	170
Abbildung 55:	<i>Verletzung des Prinzips der starken Kausalität in chaotischen Systemen</i>	173
Abbildung 56:	<i>Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in chaotischen Systemen</i>	174
Abbildung 57:	<i>Schematische Darstellung der Frustrations-Aggressionshypothese</i>	188
Abbildung 58:	<i>Entscheidungsbaum: Wann ist eine systemwissenschaftliche Modellbildung nötig?</i>	194
Abbildung 59:	<i>Unterstützungssysteme und ihre Beziehung zur Familie</i>	198
Abbildung 60:	<i>Beeinflussungsmatrizen für ein konstruiertes familiäres Unterstützungssystem</i>	202
Abbildung 61:	<i>Schematische Systemstruktur des konstruierten familiären Unterstützungssystems</i>	203
Abbildung 62:	<i>Spielkartenparadoxie</i>	207
Abbildung 63:	<i>Zustandswechsel beim Kartenbeispiel</i>	208
Abbildung 64:	<i>Psychologische Einflussfaktoren auf physiologische Prozesse</i>	226
Abbildung 65:	<i>Psychologische Einflussfaktoren auf physiologische Prozesse II</i>	232
Abbildung 66:	<i>Zwiebelschalenmodell wissenschaftlicher Prognosen</i>	246
Abbildung 67:	<i>Schematische Darstellung des Ablaufs eines Simulationsspiels</i>	257
Abbildung 68:	<i>Struktur des Simulationsmodells: „Ein Erziehungsproblem, das kann doch nicht so schwer sein“</i>	260
Abbildung 69:	<i>Zeitreihe aus dem Forschungsprojekt zu Langzeitbetreuungsverläufen in der Sozialarbeit</i>	264
Abbildung 70:	<i>Attraktoren von Karriereverläufen im Kohortenvergleich</i>	265

Abbildung 71:	<i>Chaotische Zeitreihen vier emotionaler Grunddimensionen von zwei Probandinnen</i>	266
Abbildung 72:	<i>Grundstruktur einer systemwissenschaftlichen Methodologie</i>	274
Abbildung 73:	<i>Asymptotische Funktionen</i>	282
Abbildung 74:	<i>Parabelfunktionen</i>	283
Abbildung 75:	<i>Potenzfunktionen</i>	284
Abbildung 76:	<i>Bewegungsgleichungen für ein einfaches lineares Gleichungssystem I</i>	287
Abbildung 77:	<i>Bewegungsgleichungen für ein einfaches lineares Gleichungssystem II</i>	288
Abbildung 78:	<i>Approximationen der Zeitreihen für das Lorenz-System mit verschiedenen Verfahren</i>	295
Abbildung 79:	<i>Systemmodell eines Spielsüchtigen Klienten</i>	298
Abbildung 80:	<i>Beziehung zwischen Kontakten und Bedürfnissen im Modell der Spielsucht</i>	301
Abbildung 81:	<i>Autokatalytischer Term für die Bedürfnisse im Modell der Spielsucht</i>	302
Abbildung 82:	<i>„Gesunder“ Simulationslauf der Spielsucht</i>	302
Abbildung 83:	<i>Fluktuationen führen in die Spielsucht</i>	303
Abbildung 84:	<i>Chaotische Dynamik der Bedürfnisse während der Phase einer Spielsucht</i>	304
Abbildung 85:	<i>Chaotischer Attraktor der Bedürfnisse während der Spielsucht</i>	305
Abbildung 86:	<i>Spielstopp und der lange Weg zurück zur Normalität</i>	306
Abbildung 87:	<i>Dauerhafte Verbesserungen durch Veränderung der Kontrollparameter</i>	306
Abbildung 88:	<i>Flussdiagramm der Verhaltensoptionen eines autonomen Agenten</i>	322
Abbildung 89:	<i>Ergebnisse der Experimente der Simulation chronisch flexibler Karrieren (Mittlere Stärke)</i>	325
Abbildung 90:	<i>Ergebnisse der Experimente der Simulation chronisch flexibler Karrieren (Streuung der Gruppenstärke)</i>	326
Abbildung 91:	<i>Ergebnisse der Experimente der Simulation chronisch flexibler Karrieren (Mittlere Stärke in Einheiten der Streuung)</i>	328
Abbildung 92:	<i>Wirkungsweise eines gleitenden Mittelwertes</i>	334
Abbildung 93:	<i>Wirkungsweise lokaler Vorhersagealgorithmen</i>	339
Abbildung 94:	<i>Autokorrelationsfunktion einer Sinuszeitreihe</i>	342
Abbildung 95:	<i>Autokorrelationsfunktionen</i>	343
Abbildung 96:	<i>Cross-Linked-Korrelation</i>	346
Abbildung 97:	<i>Levels of Groupness</i>	347
Abbildung 98:	<i>Spektralanalyse</i>	350
Abbildung 99:	<i>Schematische Darstellung einer Surrogatdatenanalyse</i>	352
Abbildung 100:	<i>Schematische Darstellung der Generierung von Zeitverzögerungskoodinaten</i>	355
Abbildung 101:	<i>Ausschnitt aus einer Beispielzeitreihe zur Demonstration der Time-Lag-Bestimmung</i>	357

Abbildung 102: Phasenraumeinbettung des Lorenz-Attraktors für verschiedene Time-Lag	362
Abbildung 103: Korrelationsintegral in Abhängigkeit von l	368
Abbildung 104: D_2 bei wachsender Einbettungsdimension	370
Abbildung 105: Pointwise Dimension für eine Beispielzeitreihe	374
Abbildung 106: Schematische Darstellung der Bedeutung der K-Entropie	378
Abbildung 107: Bäckertransformation	381
Abbildung 108: Poincaré-Schnitte für qualitativ unterschiedliche Trajektorienverläufe	382
Abbildung 109: Schematische Darstellung der Bedeutung von Lyapunov-Exponenten	383
Abbildung 110: Lyapunov-Exponenten der Verhustzeitreihe	384
Abbildung 111: Die Bestimmung des größten Lyapunov-Exponenten mittels des Algorithmus von Rosenstein et al. (1993)	388
Abbildung 112: Abschnittweiser Lyapunov-Exponent berechnet für ein gleitendes Fenster von 1.500 Messzeitpunkten – Wolf-Algorithmus	390
Abbildung 113: Abschnittweiser Lyapunov-Exponent berechnet für ein gleitendes Fenster von 1.500 Messzeitpunkten – Rosenstein-Algorithmus	391
Abbildung 114: Abschnittweiser Lyapunov-Exponent für eine Beispielzeitreihe	392
Abbildung 115: Verfahren zur Bestimmung des Skalierungsbereiches	394
Abbildung 116: Bestimmung der „Determiniertheit“ eines Zeitsignals	395
Abbildung 117: Wahrnehmung bedeutet aktive Gestaltbildung	411
Abbildung 118: Muster des Lebendigen	413
Abbildung 119: Neuronale Netze – raum-zeitliche Strukturen	414
Abbildung 120: EEG-Ableitungen	415
Abbildung 121: Epilepsie-Entstehung auf der Basis Penicillin-induzierter GABA-Rezeptoren-Blockaden	423
Abbildung 122: Ausschnitt aus dem Apfelmännchen	426
Abbildung 123: Wahrnehmungszyklus	428
Abbildung 124: Multistabiles „Tapetenmuster“	429
Abbildung 125: Kontextabhängigkeit der menschlichen Wahrnehmung	429
Abbildung 126: Bartlett-Szenario	431
Abbildung 127: Bistabiles Bildmaterial	432
Abbildung 128: Attraktoren der Wahrnehmung – Gesicht oder Mädchen	432
Abbildung 129: Prägnante Kreisstruktur	436
Abbildung 130: Das Sandersche Parallelogramm	437
Abbildung 131: Denkaufgabe	445
Abbildung 132: Die Freiheitsgrade eines Fahrrades	448
Abbildung 133: Das Fingerbewegungs-Paradigma	449
Abbildung 134: Soziale Ordnungsbildung in der Konzeption von Pierre Bourdieu	460
Abbildung 135: Verlaufsformen schizophrener Erkrankungen	464
Abbildung 136: Fragetypen	477

Abbildung 137: Das „Generic Model“ der Psychotherapie..... 483

Abbildung 138: Die therapeutische Begegnung im Generic Model 484

Abbildung 139: Hierarchische Ordnung und Benennung von Plänen 500

Abbildung 140: Operatoren 501

Abbildung 141: Ziel-Mittel- und Bedürfnis-Verhaltens-Relationen 501

Abbildung 142: Konvergente Planstrukturen 502

Abbildung 143: Divergenz und Konvergenz..... 502

Abbildung 144: Frames 503

Abbildung 145: Informationsebenen aus denen Pläne erschlossen werden 505

Abbildung 146: Der Kontext bestimmt die Bedeutung von Plänen 507

Abbildung 147: Schematische Darstellung der Strukturen Sequentieller Plananalysen..... 511

Abbildung 148: Algorithmus zur Datenaufbereitung einer SPA 518

Abbildung 149: Partiturdarstellung der ersten Sitzung der Therapie I 520

Abbildung 150: Auswirkung der Glättung auf die Helligkeit und den Informationsgehalt der Partitur..... 524

Abbildung 151: Auswirkung der Schwelle auf die Helligkeit und den Informationsgehalt der Partitur..... 525

Abbildung 152: Gegenseitiges Rating der Ähnlichkeit von Oberplänen 529

Abbildung 153: Zusammensetzung des Unterplans 28 (Therapie I): „Sei aufnahmebereit“ 540

Abbildung 154: Vergleich der Mittelwerte der Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin – Therapie I 541

Abbildung 155: Häufigkeitsverteilungen der Plankonstellationen 546

Abbildung 156: Komplexität von Planaktivierungsmustern im Verlauf der Therapien 551

Abbildung 157: Grammar Complexity von Planaktivierungsmustern im Verlauf der Therapien 555

Abbildung 158: Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie I 558

Abbildung 159: Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II 559

Abbildung 160: Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie I 560

Abbildung 161: Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II 561

Abbildung 162: Erratischer Korrelationsverlauf..... 562

Abbildung 163: PD2-Verlauf beider Therapien 585

Abbildung 164: Phasen synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität in der ersten Therapie 586

Abbildung 165: Phasen synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität in der zweiten Therapie..... 587

Abbildung 166: Synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität als Phasenraumdarstellung 588

Abbildung 167: Phasenraum mit stark begrenzter Anzahl an Zuständen – Therapie I 590

Abbildung 168: Randomisierte Abfolge von Komplexitätswerten 591

<i>Abbildung 169: Phasenraum mit stark begrenzter Anzahl an Zuständen – Therapie I</i>	<i>592</i>
<i>Abbildung 170: Abhängigkeit der lokalen LLE von der Breite des Theiler-Windows</i>	<i>602</i>
<i>Abbildung 171: Entwicklung der lokalen LLE und deren Streuung – Therapie I</i>	<i>603</i>
<i>Abbildung 172: Entwicklung der lokalen LLE und deren Streuung – Therapie II</i>	<i>604</i>
<i>Abbildung 173: Geglättete Darstellung der Entwicklung der lokalen LLE.....</i>	<i>606</i>
<i>Abbildung 174: Abschnittweise Korrelation zwischen den lokalen LLE der Klientin und des Therapeuten</i>	<i>609</i>
<i>Abbildung 175: Gegenüberstellung von Problembearbeitung und Streuung der lokalen LLE</i>	<i>613</i>
<i>Abbildung 176: Phasen synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität</i>	<i>639</i>
<i>Abbildung 177: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 1 und 2 des Therapeuten – Therapie I.....</i>	<i>701</i>
<i>Abbildung 178: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 3 und 4 des Therapeuten – Therapie I.....</i>	<i>702</i>
<i>Abbildung 179: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 1 der Klientin – Therapie I</i>	<i>703</i>
<i>Abbildung 180: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 2 der Klientin – Therapie I</i>	<i>704</i>
<i>Abbildung 181: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 3 der Klientin – Therapie I</i>	<i>705</i>
<i>Abbildung 182: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 1 und 2 des Therapeuten – Therapie II.....</i>	<i>708</i>
<i>Abbildung 183: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 3 und 4 des Therapeuten – Therapie II.....</i>	<i>709</i>
<i>Abbildung 184: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 1 der Klientin – Therapie II</i>	<i>710</i>
<i>Abbildung 185: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 2 der Klientin – Therapie II</i>	<i>711</i>
<i>Abbildung 186: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 3 der Klientin – Therapie II</i>	<i>712</i>

1.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Fallbeispiel einer Verhaltensanalyse	64
Tabelle 2:	Verschiedene Entwicklungsszenarien für die Verhustgleichung	108
Tabelle 3:	Vier Klassen qualitativ unterschiedlicher Ordnungsparameter	138
Tabelle 4:	Vergleich zwischen autopoietischen und nichtlinearen dynamischen Systemen	168
Tabelle 5:	Vergleich zwischen der klassischen Mechanik, der Kybernetik und der Theorie Nichtlinearer Dynamischer Systeme	180
Tabelle 6:	Lösungen für einfache dynamische Gleichungssysteme	289
Tabelle 7:	Datenstrukturen im Computerprogramm Eliza	314
Tabelle 8:	Ausschnitte aus dem Production System von Eliza	315
Tabelle 9:	Experimentaldesign im Simulationsmodell der chronisch flexiblen Karriere	324
Tabelle 10:	Anzahl zu schätzender Parameter für ein Polynom der Ordnung d und der Einbettungsdimension m	337
Tabelle 11:	Bestimmung des Informationsgehaltes des Satzes: „Wie hoch ist der Informationsgehalt dieses Satzes?“	397
Tabelle 12:	LZ78 Algorithmus zur Komprimierung von Symbolreihen	403
Tabelle 13:	Grobe schematische Einteilung der vorgestellten zeitreihenanalytischen Verfahren	407
Tabelle 14:	Umfüllaufgaben	446
Tabelle 15:	Leitfragen für die Erstellung einer Fallkonzeption	505
Tabelle 16:	Leitfragen zum Entwickeln von Planhypothesen	506
Tabelle 17:	Leitfaden für die Erstellung von schriftlichen Fallkonzeptionen auf der Grundlage von Planstrukturen	508
Tabelle 18:	Daten-File I – Protokoll der Operatorenabfolgen	515
Tabelle 19:	Daten-File II – Operatorenliste	515
Tabelle 20:	Daten-File III – Unterplan zu Oberplan	515
Tabelle 21:	Strukturelle Merkmale der beiden Plananalysen	537
Tabelle 22:	Beispiele für die Benennung von Operatoren eines Unterplans der Klientin der Therapie I	538
Tabelle 23:	Oberpläne (OP) und Selbstdarstellungsdimensionen (SDD) der beiden Therapien	539
Tabelle 24:	Erwartete Häufigkeitsverteilungen für beide Therapien	544
Tabelle 25:	Tatsächliche Anzahl unterschiedlicher Plankonstellationen in den beiden Therapien	545
Tabelle 26:	Komplexität von Planaktivierungsmustern im Verlauf der Therapien	552
Tabelle 27:	Symbol Dynamics – dynamische Ordnung in Therapie I	553
Tabelle 28:	Grammar Complexity der Plankonstellationsabfolgen	554
Tabelle 29:	$D2/PD2$ der Selbstdarstellungsdimensionen	568
Tabelle 30:	$D2/PD2$ der Oberpläne der Therapie I	571
Tabelle 31:	$D2/PD2$ der Oberpläne der Therapie II	572

Tabelle 32:	<i>D2/PD2 der Selbstdarstellungsdimensionen (feste Glättung)</i>	<i>574</i>
Tabelle 33:	<i>D2/PD2 der multidimensionalen Einbettung – Therapie I.....</i>	<i>577</i>
Tabelle 34:	<i>D2/PD2 der multidimensionalen Einbettung – Therapie II.....</i>	<i>578</i>
Tabelle 35:	<i>Ausführliche Surrogatdatentestung.....</i>	<i>581</i>
Tabelle 36:	<i>Korrelationsmatrix der PD2-Verläufe der beiden Therapien.....</i>	<i>584</i>
Tabelle 37:	<i>Trend der PD2 im Verlauf der Therapien.....</i>	<i>594</i>
Tabelle 38:	<i>Kennwerte zur LLE-Berechnung.....</i>	<i>601</i>
Tabelle 39:	<i>Abschnitte in der Dynamik der lokalen LLE der Klientin – Therapie II.....</i>	<i>607</i>
Tabelle 40:	<i>Abschnitte in der Dynamik der lokalen LLE der Klientin – Therapie I....</i>	<i>607</i>
Tabelle 41:	<i>Korrelationsmatrizen für den lokalen LLE und die Streuung des lokalen LLE</i>	<i>608</i>
Tabelle 42:	<i>Korrelation zwischen kritischen Fluktuationen und Selbstdarstellungsdimensionen</i>	<i>612</i>
Tabelle 43:	<i>Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage kritischer Instabilität</i>	<i>615</i>
Tabelle 44:	<i>Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur des Therapeuten der Therapie I.....</i>	<i>706</i>
Tabelle 45:	<i>Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur der Klientin der Therapie I.....</i>	<i>707</i>
Tabelle 46:	<i>Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur des Therapeuten der Therapie II.....</i>	<i>713</i>
Tabelle 47:	<i>Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur der Klientin der Therapie II.....</i>	<i>714</i>
Tabelle 48:	<i>Realisierte Plankonstellationen des Therapeuten in Therapie I</i>	<i>726</i>
Tabelle 49:	<i>Realisierte Plankonstellationen der Klientin in Therapie I.....</i>	<i>729</i>
Tabelle 50:	<i>Realisierte Plankonstellationen des Therapeuten in Therapie II</i>	<i>735</i>
Tabelle 51:	<i>Realisierte Plankonstellationen der Klientin in Therapie II.....</i>	<i>738</i>

1.3 Verzeichnis angeführter Gleichungen

Gleichung 1.1: Lotka-Volterra Beutetiere	104
Gleichung 1.2: Lotka-Volterra Jäger.....	104
Gleichung 2.1: Lotka-Volterra Bewegungsgleichung für die Beutetiere.....	105
Gleichung 2.2: Lotka-Volterra Bewegungsgleichung für die Jäger.....	105
Gleichung 3: Verhulst-Gleichung.....	107
Gleichung 4.1: Intraspezifische Interferenz – Jäger.....	115
Gleichung 4.2: Intraspezifische Interferenz – Beute	115
Gleichung 5.1: Andere Beute – Jäger	115
Gleichung 5.2: Andere Beute – Beute.....	116
Gleichung 6.1: Alternative Jäger-Beute-Beziehung – Jäger	116
Gleichung 6.2: Alternative Jäger-Beute-Beziehung – Beute.....	116
Gleichung 7: Koexistenz.....	116
Gleichung 8.1: Wettbewerb und Koexistenz – Population x	117
Gleichung 8.2: Wettbewerb und Koexistenz – Population y	117
Gleichung 9.1: Nahrungsquelle 1	117
Gleichung 9.2: Nahrungsquelle 2.....	117
Gleichung 10: Differentialquotient.....	140
Gleichung 11: Lösung einer homogenen linearen Gleichung mit einer abhängigen Variable	141
Gleichung 12: Anzahl Längenabschnitte bei Verkleinerung der Zirkelweite	148
Gleichung 13: Länge einer Küstenlinie.....	148
Gleichung 14: Selbstähnlichkeitsdimension.....	150
Gleichung 15: Iterative Gleichung für das Wurzelziehen	164
Gleichung 16: Bewegung eines Körpers in x-Richtung.....	184
Gleichung 17: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Kraft und Masse.....	184
Gleichung 18: Gravitationskraft.....	185
Gleichung 19: Multiplikant zur Bestimmung der Gravitationskraft in x-Richtung	185
Gleichung 20: Iterative Gleichung für das Kartenbeispiel.....	208
Gleichung 21: Lineare Differentialgleichung	280
Gleichung 22: Lineare Autokatalyse.....	280
Gleichung 23: Asymptotische Differentialgleichung.....	281
Gleichung 24: Lösung des asymptotischen Differentialgleichung.....	281
Gleichung 25: Parabolische Differentialgleichung.....	282
Gleichung 26: Potenzfunktion (Differentialgleichung)	284
Gleichung 27: Lorenz-System.....	289
Gleichung 28: Approximation durch Differenzenquotient.....	293
Gleichung 29: Approximation durch das Mid-Point-Verfahren.....	293
Gleichung 30: Approximation durch das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung.....	293

Gleichung 31:	<i>Simulationsmodell einer Spielsucht</i>	300
Gleichung 32:	<i>Gleitender Mittelwert</i>	333
Gleichung 33:	<i>Polynom n-ter Ordnung</i>	336
Gleichung 34:	<i>Camersche Regel</i>	337
Gleichung 35:	<i>Radial-basis-Funktion</i>	338
Gleichung 36:	<i>Autokovarianz</i>	344
Gleichung 37:	<i>Autokorrelation</i>	344
Gleichung 38:	<i>Cross-Linked-Kovarianz</i>	345
Gleichung 39:	<i>Cross-Linked-Korrelation</i>	345
Gleichung 40:	<i>Periodenlänge und Zeitreihenlänge</i>	348
Gleichung 41:	<i>Frequenz und Zeitreihenlänge</i>	348
Gleichung 42:	<i>Spektraldichte</i>	348
Gleichung 43:	<i>Tukey-Hamming-Kernel</i>	349
Gleichung 44:	<i>Parzen-Kernel</i>	349
Gleichung 45:	<i>Hann-Kernel</i>	349
Gleichung 46:	<i>Hamming-Kernel</i>	349
Gleichung 47:	<i>Zeitverzögerungskordinaten</i>	354
Gleichung 48:	<i>Shannonsche Informationsdefinition</i>	359
Gleichung 49:	<i>Information aufeinander folgender Wertepaare</i>	359
Gleichung 50:	<i>Mutual-Information</i>	360
Gleichung 51:	<i>Korrelationsintegral</i>	360
Gleichung 52:	<i>Gemitteltes und normiertes Volumen von Parallelepipeden</i>	362
Gleichung 53:	<i>Fill-Factor</i>	363
Gleichung 54:	<i>Abstand eines Referenzpunktes zum Schwerpunkt</i>	364
Gleichung 55:	<i>Integral der lokalen Deformation</i>	364
Gleichung 56:	<i>Durchschnittliche lokale Deformation</i>	364
Gleichung 57:	<i>Korrelationsintegral</i>	366
Gleichung 58:	<i>Abstand zwischen Punkten im Phasenraum</i>	367
Gleichung 59:	<i>Korrelationsintegral</i>	367
Gleichung 60:	<i>Entropie einer Abfolge von Werten</i>	377
Gleichung 61:	<i>Kolmogorov-Sinai-Entropie</i>	377
Gleichung 62:	<i>Fehler-Verdoppelungs-Zeit</i>	378
Gleichung 63:	<i>K2-Entropie</i>	379
Gleichung 64:	<i>K2-Entropie</i>	379
Gleichung 65:	<i>Reskalierung</i>	380
Gleichung 66:	<i>Lyapunov-Exponent</i>	383
Gleichung 67:	<i>HKB-Gleichung</i>	449
Gleichung 68:	<i>Poissonverteilung</i>	544

2. Einleitung

„Die Welt ist nichtlinear“ – mit diesem Zitat von Thomas Buzug beginnt Günter Schiepek einen Beitrag, in dem er dem Appeal der Chaosforschung für die Psychologie nachgeht (Schiepek 1996). Weite Kreise der Psychotherapieschulen haben sich inzwischen der Auffassung angeschlossen, dass einfache linear kausale Erklärungen psychotherapeutischer Prozesse dem Gegenstand nicht gerecht werden können. Selbst Klaus Grawe betonte bereits 1988, dass ein Therapeut, eine Therapeutin zwar durch „Verstörung“ versuchen kann Veränderungen beim Klienten bzw. einer Klientin anzuregen, dass aber weder die angezielte Veränderung noch die Wirksamkeit einer Verstörung mit Gewissheit geplant und vorhergesagt werden könne.

Die vor allem in der Verhaltenstherapie einst und vielfältig auch heute noch übliche Festlegung eines bestimmten Therapiezieles, das erreicht werden soll, und der Methoden, mit denen dieser Zielzustand herbeigeführt werden soll, geht aus dieser Perspektive von einem Missverständnis der Natur menschlicher Veränderungsprozesse aus. (Grawe 1988, S. 43f.)

Nicht nur in dieser Arbeit, auch in neueren Publikationen zur „Allgemeinen Psychotherapie“ (Grawe, Donati & Bernauer 1994, Grawe 1998) finden sich Konzeptualisierungen psychotherapeutischer Prozesse, die auch in systemischen Lehrbüchern zu finden sind. Während aber in der systemischen Literatur hauptsächlich auf konstruktivistisch fundierte Systemtheorien Bezug genommen wird (vgl. z.B. Ludewig 1992), stützen sich die beispielhaft genannten Arbeiten auf mathematische Systemtheorien, wie z.B. die Chaostheorie und die Synergetik.

Tatsächlich eröffnen die Ansätze der Selbstorganisationsforschung im Rahmen der *Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme* (umgangssprachlich oft als Chaostheorie bezeichnet), wie der *Theorie Dissipativer Systeme* nach Ilja Prigogine (z.B. Prigogine & Stengers 1986, Prigogine 1987, Prigogine & Stengers 1993), der *Synergetik* nach Hermann Haken (z.B. Haken 1985, 1990a, Haken & Wunderlin 1991) oder der *Theorie der Hyperzyklen* (z.B. Eigen 1971, Eigen & Schuster 1979) zahlreiche Möglichkeiten für theoretische und empirische Studien, die bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind.

Unklare theoretische und methodische Position in der psychologischen Selbstorganisationsforschung

In den ersten Jahren der Selbstorganisationsforschung im Bereich der klinischen Psychologie wurden vor allem metaphorische Übertragungen der naturwissenschaftlichen Konzepte auf die Gegenstandsbereiche der Psychotherapie versucht, ohne dass empirische Belege vorgewiesen werden konnten (vgl. z.B. Schiepek & Tschacher 1992). Inzwischen zeigt sich immer häufiger auch das Gegenteil: empirische Belege für vermeintliche Selbstorganisationsprozesse werden vorgelegt, ohne dass der theoretische und methodische Rahmen ausreichend diskutiert würde (vgl. die Entgegnung von Strunk 1998a auf die Arbeit von Thiele 1997). Vielfach bleibt unklar, was Selbstorganisation eigentlich sei und wie begründet werden kann, es bei therapeutischen Prozessen mit Selbstorganisationsphänomenen zu tun zu haben. Unzureichend diskutiert wird vor allem das Label „Selbstorganisation“ und der mit seiner Vergabe angestrebte Erkenntnisgewinn.

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass es sich bei der Anwendung der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme in den Sozialwissenschaften um ein relativ anspruchsvolles Unterfangen handelt, welches in vielen Bereichen noch nicht den Status der metaphorischen Übertragung überwunden hat. Dies gilt auch für viele Anwendungen in der Psychologie. Obwohl die Theoriebildung seit den ersten Ansätzen zur Nutzung der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme in der Klinischen Psychologie (vgl. z.B. Schiepek & Tschacher 1992) konkreter geworden ist, fehlen in vielen Bereichen bis heute empirische Zugänge und entsprechende Belege.

Es sind methodologische und theoretische Probleme, die den Zugang zu nichtlinearen dynamischen Systemen erschweren

Es sind hier unter anderem methodologische Probleme, die den empirischen Zugang erschweren. So sind z.B. allein die Anforderungen an die Datenmenge zum Nachweis einer chaotischen Dynamik immens (Farmer 1982, Nerenberg & Essex 1990, Tsonis 1992, Jedynak, Bach & Timmer 1993). Die Suche nach einer Methodik, die es auch bei kurzen Datensätzen oder stark messfehlerbehafteten Daten erlauben soll Phänomene der Selbstorganisation zu identifizieren, hat hier auf der einen Seite vielversprechende neue Ansätze zu Tage gefördert (wie z.B. das Verfahren der *Grammar Complexity*; vgl. Ebeling & Jiménez-Montano 1980, Jiménez-Montano 1984), aber auf der anderen Seite auch zu einer Aufweichung wichtiger Kernbegriffe der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme geführt (vgl. Strunk 1998a). Insgesamt richten sich die Ziele der vorliegenden Arbeit damit auf drei einander ergänzende Zugänge zur komplexen Dynamik nichtlinearer dynamischer Systeme in der Psychologie bzw. konkreter, in der Klinischen Psychologie:

1. **Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme.** Der erste Zugang ist ein theoretischer. Hier werden unter dem einheitlichen Blickwinkel ausgewählter Fragestellungen verschiedene systemtheoretische Konzeptionen zunächst dargestellt und abschließend miteinander verglichen. Ein Hauptaugenmerk beim Vergleich der klassischen Mechanik, der Kybernetik und der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme sowie der Synergetik, liegt auf der Frage, wie aus der Perspektive der jeweiligen theoretischen Konzeption das hochgradig unwahrscheinliche aber allgegenwärtige Phänomen der Ordnungsbildung (Willke 1989, Schiepek & Strunk 1994) verstanden werden kann.
2. **Methodologische und methodische Zugänge.** Es gibt bestimmte Selbstorganisationsphänomene, zu denen nur nichtlineare dynamische Systeme fähig sind. Damit bieten die Ansätze der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme Erklärungsschablonen an, die für bestimmte Fragestellungen maßgeschneidert sind. Die Frage danach, unter welchen Bedingungen und im Kontext welcher Phänomenbereiche eine systemtheoretische Konzeptualisierung empfohlen werden kann, bildet den Ausgangspunkt für die Erarbeitung methodologischer Zugänge. Sowohl die Modellbildung und theoriegeleitete Simulation komplexer Systeme als auch die Quantifizierung und Identifikation der Merkmale einer selbstorganisierten Dynamik erfordern die Anwendung von methodischen Tools, die in der Psychologie bisher noch wenig bekannt sind und die nur selten als Softwarelösung vorliegen. Es ist daher ein Ziel der vorliegenden Arbeit einige besonders wichtige Algorithmen und Werkzeuge einer nichtlinearen Datenanalyse vorzustellen und in ihrer Durchführung zu beschreiben.
3. **Empirische Zugänge in der Klinischen Psychologie.** Was nützt die eleganteste Theorie, wenn ihre Hypothesen empirisch nicht geprüft werden? Ausgehend von den Kernannahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme

lassen sich in verschiedenen Bereichen der Psychologie und angrenzender Gebiete bereits umfassende Belege für Selbstorganisationsprozesse finden. Sowohl biologische Strukturen (vgl. z.B. Deutsch 1994), als auch hirnhysiologische Prozesse (z.B. Freeman & DiPrisco 1986) lassen sich adäquat und empirisch fundiert als Selbstorganisationsprozesse kennzeichnen. Insbesondere die Analyse von EEG-Datensätzen zeigt dabei jedoch auch die Grenzen der derzeit vorliegenden Methoden auf (vgl. z.B. Theiler 1995, Lerner 1996, Paluš 1996, 1999, Paluš et al. 1999, Brandt, Ademoglu & Pritchard 2000, Schreiber 2000). Genuin psychologische Selbstorganisationsforschung findet sich unter anderem im Bereich der Wahrnehmung und im Bereich kognitiver Prozesse. Hier zeigt sich eine starke Nähe zu frühen Arbeiten gestalttheoretischer Schulen (vgl. z.B. Köhler 1920, Koffka 1922, Lewin 1935, Metzger 1953, Metzger & Pongratz 1972, Metzger 1975) und zum schematheoretischen Ansatz der kognitiven Entwicklung nach Piaget (z.B. Piaget 1976, 1981). Letzterer ist besonders interessant, weil er in verschiedenen klinisch psychologischen Ansätzen als Grundlage zur Beschreibung psychotherapeutischer Veränderungsprozesse diskutiert wird (Grawe 1986, 1987a, 1987b, 1988, Ahlers et al. 1994, Grawe 1998, Schiepek 1999a). Insgesamt verdichten diese Studien den Eindruck, dass auch soziale Prozesse der Interaktionsdynamik zwischen Klientinnen bzw. Klienten und Therapeutinnen bzw. Therapeuten als komplexe Prozesse der Selbstorganisation aufgefasst werden sollten, wenn eine adäquate Beschreibung im Sinne einer Mikroprozessanalyse angestrebt wird.

Empirisch wird diese Annahme an Hand von Datensätzen zweier Psychotherapien ausführlich überprüft (vgl. bereits Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Strunk & Schiepek 2002). Beide Therapien wurden dazu mit dem Verfahren der *Sequentiellen Plananalyse* (Richter et al. 1995) – einer Erweiterung der von Caspar (1989, 1996) vorgeschlagenen vertikalen Verhaltensanalyse – kodiert und so in jeweils 17 Oberplan-Zeitreihen und 7 Selbstdarstellungs-Zeitreihen von 3.450 (Therapie I) und 2.030 (Therapie II) Messzeitpunkten erfasst. Zur Analyse werden stationäre und nichtstationäre Verfahren der nichtlinearen Zeitreihenanalyse eingesetzt, nachdem zuvor die Beschränkungen linearer Verfahren nachgewiesen werden konnten (vgl. auch Schiepek et al. 1997). Zum Einsatz kommen Verfahren aus dem Bereich des *Symbol Dynamics Ansatzes*, der *Theorie algorithmischer Entropie*, Methoden zur Bestimmung der *fraktalen Dimensionalität* (*Korrelationsdimension* – D_2) der im *Phasenraum* eingebetteten Daten sowie Verfahren zur Ermittlung der *größten Lyapunov-Exponenten* (einem Maß zur Quantifizierung des Schmetterlingseffektes). Sämtliche Algorithmen, sowie grafische Darstellungen der Daten (Partitur-, Zeitreihen- und Phasenraumdarstellungen) wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit in C++ implementiert, sorgfältig getestet und an Beispielzeitreihen ausführlich erprobt.

Die vorliegende Arbeit unternimmt also den Versuch, grundlegende Ansätze mathematisch systemwissenschaftlicher Theorien darzustellen und davon ausgehend zwei einander ergänzende Forschungsparadigmen abzuleiten. Empirische Anwendungen der vorgeschlagenen Forschungsparadigmen werden exemplarisch dargestellt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Nutzung der *Sequentiellen Plananalyse* als Methode zur Mikroprozessanalyse psychotherapeutischer Beziehungsgestaltung. Eine zusammenfassende Darstellung der wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit findet sich ab Seite 621ff.

Teil I: Systemtheoretische Grundlagen

3. Was ist ein System?

Die Systemwissenschaft ist eine vergleichsweise junge Disziplin. Ihre Grundlagen wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gelegt, wobei der Systemgedanke selbst schon im Altertum nachzuweisen ist.

Systeme setzen sich aus Elementen zusammen, die untereinander in Wechselwirkung stehen

Dabei wird der Begriff „System“ in verschiedenen systemtheoretischen Ansätzen in unterschiedlicher Weise verwendet (vgl. z.B. Klir 1991, Vester 1991/1976, Kriz 1994, Willke 1994, Kriz 2000). Als grundlegende Charakteristika von Systemen, die allen systemtheoretischen Ansätzen gemein sind, sind jedoch zumindest zwei Aspekte hervorzuheben: Zum einen bestehen Systeme aus Elementen, die für sich genommen als abgeschlossene Einheiten interpretiert werden können, die zum anderen untereinander in Wechselbeziehungen stehen. Damit ist ein System mehr als nur die Anhäufung von Einzelteilen, notwendig ist die Existenz einer Beziehungsstruktur zwischen den Elementen. In diesem Sinne fehlen einem Haufen Sand wesentliche Kennzeichen eines Systems, da es eine „wichtige Eigenschaft eines Systems ist, dass seine Teile nicht wahllos nebeneinander liegen, sondern zu einem bestimmten Aufbau vernetzt sind“ (Vester 1991/1976, S. 21).

Obwohl aber von einem System nur dann gesprochen werden kann, wenn Elemente miteinander in Wechselwirkung stehen, ist die genannte Minimaldefinition extensional relativ offen. Gemeinhin kann unter Rückgriff auf die genannte Definition jedes Wirkgefüge als System verstanden werden. Da z.B. jede Existenz eines Dinges oder eines Phänomens an eine Wechselwirkung zumindest mit einem die Existenz feststellenden Beobachter gebunden ist, bildet allein schon dieser einfache Vorgang einer Beobachtung bzw. einer Wahrnehmung ein System.

Die Bedingung, dass die Elemente eines Systems miteinander in Wechselwirkung stehen müssen, um ein System zu bilden, grenzt zwar die Phänomenbereiche bestimmter einzelner Systeme voneinander ab, führt jedoch zu keinerlei Einschränkung hinsichtlich der zu beschreibenden Phänomene. Jedes Phänomen ist ein System, jedoch gehört nicht jedes beliebige Element zum Phänomenbereich eines bestimmten Systems.

3.1 Konkretisierung des Systembegriffs

Kernfrage systemwissenschaftlicher Ansätze: Welche Elemente gehören zu einem System?

Es ist die Offenheit der genannten Definition für jeglichen Phänomenbereich auf der einen Seite und die Einschränkung auf bestimmte relevante, weil in Wechselwirkung zueinander stehende Elemente eines Phänomenbereiches, auf der anderen Seite, die zu einer Kernfrage systemwissenschaftlicher Forschungsansätze führt, nämlich zu der Frage, welche Elemente für ein bestimmtes System von Bedeutung sind und welche nicht. So hat sich vor allem im Rahmen populärwissenschaftlicher Darstellungen aber auch im Zuge immer stärker vernetzter weltumspannender Austauschbeziehungen von Informationen, Gütern, Rohstoffen aber auch von Umweltverschmutzung mit globalem Charakter die Überzeugung durchgesetzt, dass es nur wenige lebensrelevante Bereiche gibt, an denen nur wenige Systemelemente beteiligt sind (zum Problem der moralischen Verantwortung des Individuums

in einer komplexen Umwelt siehe Beck 1986). Bereits diese Perspektivenerweiterung, die konträr zur fortschreitenden Spezialisierung wissenschaftlicher Einzeldisziplinen verläuft, bedeutet grundsätzlich einen Gewinn, kann jedoch zu einem ungewollten Eklektizismus und Dilettantismus in Bereichen führen, für die der jeweilige Spezialist keine fundierten Kenntnisse besitzt.

Systeme sind keine objektiven Tatsachen sondern subjektgebundene Abstraktionen

Welche Elemente an einem System beteiligt sind und welche nicht, ist je nach Phänomenbereich mehr oder minder schwer zu entscheiden. Abhängig von der angestrebten Vollständigkeit, kann das gesamte Universum mit allen seinen Phänomenen als alles umfassendes System oder die Wechselwirkungen in einem Atom als System aufgefasst werden. Bei Systemen handelt es sich mehr um abstrakte Konstruktionen und Mittel zur Beschreibung von Phänomenen, als um angreifbare Gebilde, die leicht als Systeme zu erfassen sind. In wie weit es sinnvoll sein kann z.B. bestimmte kognitive Leistungen von Menschen unter Rückgriff auf ein System zu beschreiben, welches den gesamten Kosmos umfasst, hängt mehr von der subjektiven Einschätzung desjenigen ab, der diese Beschreibung vornimmt, als von objektiv vorgegebenen Sachverhalten.

Abgrenzung durch „funktionale Vollständigkeit“

Als Leitlinie für die Entscheidung, was zu einem System gehört und was nicht, kann die *funktionale Vollständigkeit* eines Systems angesehen werden. Dabei geht die Identifizierung von Systemelementen zunächst von einer möglichst konkreten Definition des zu beschreibenden Phänomenbereiches aus. Als zum System zugehörig werden in der Folge alle jene Elemente aufgefasst, die funktional an der Entstehung des Phänomens beteiligt sind. Ausgeschlossen werden hingegen diejenigen Elemente, die für die Erklärung des Phänomens keinen nennenswerten Beitrag leisten. In diesem Sinne spielt z.B. eine herunterfallende Tasse auf der einen Seite des Globus keine nennenswerte Rolle beim Zustandekommen einer kognitiven Leistung eines Individuums auf der anderen Seite des Globus.

Systeme grenzen sich von ihrer Umwelt ab

Neben solchen eher leicht auszuschließenden Systemelementen finden sich jedoch auch Elemente deren sinnvoller Ausschluss aus einer Systembeschreibung nicht so leicht ersichtlich ist. Wird ein System mit dem Ziel definiert, ein bestimmtes Phänomen funktional zu beschreiben, so erscheint es nach innen als funktionale Einheit, die sich nach außen von der Umwelt abgrenzen lässt. Die Identifikation von zu einem Phänomenbereich gehörenden Systemelementen sollte also in der Regel dazu führen, dass eine *Grenze zwischen dem System und seiner Umwelt* sichtbar wird. In einigen Disziplinen, etwa in der Biologie, tritt die Grenze von Systemen direkt wahrnehmbar als physische Grenze auf, etwa in Form einer Zellmembran, als Umgrenzung der kleinsten Einheit des Lebens, einer Zelle. Aber bereits dieses Beispiel zeigt, dass diese Grenze *für bestimmte Austauschprozesse offen* bleibt. Eine Zelle nimmt aus ihrer Umwelt im Rahmen von Stoffwechselkreisläufen anorganische und organische Materie auf und gibt entsprechende Abbauprodukte wieder ab.

Systemgrenzen sind offen für Austauschprozesse mit der Umwelt, grenzen ein System jedoch als funktionale Einheit von der Umwelt ab

Trotz dieser Offenheit der Systemgrenzen erscheint eine Zelle innerhalb ihrer Zellmembran als *funktional geschlossen*. In diesem Sinne kann das Phänomen „Leben“ in seiner kleinsten funktionalen Einheit, einer Zelle, klar von seiner Umwelt abgegrenzt werden. Nur innerhalb der Systemgrenzen kann man sinnvoller Weise von „Leben“ sprechen, für welches die „Umwelt“ außerhalb der Systemgrenzen die Rahmenbedingungen bereitstellt.

Obwohl also bestimmte Aspekte der Umwelt einen Einfluss auf ein System besitzen können, werden sie zur Umwelt und nicht zum System gezählt, wenn sie keinen direkten Einfluss auf ein spezifisches Systemverhalten besitzen. So wird z.B. das Zustandekommen einer bestimmten kognitiven Leistung nicht dadurch determiniert, dass ein Mensch atmet. Zwar hat das Atmen einen entscheidenden Einfluss darauf, dass ein Mensch überhaupt in der Lage ist eine kognitive Leistung zu vollbringen, nicht jedoch darauf, wie diese kognitive Leistung im Detail ausfällt. In ähnlicher Weise wie für eine Zelle, als kleinstem Baustein des Lebens, lässt sich auf jeweils höheren Ebenen ein Organ, ein Organismus, ein Ökosystem, jeweils als funktionale Systemeinheit mit einer relativ deutlich sichtbaren Außengrenze verstehen, wobei das jeweils größere System die jeweils kleineren als *Subsysteme* enthält (vgl. Abbildung 1 als Beispiel für ein schematisch dargestelltes Ökosystem).

Systeme können in ein Geflecht hierarchisch über- und untergeordneter Systeme eingebettet sein

Systeme können daher je nach Betrachtungstiefe aus verschiedenen *Hierarchieebenen* aufgebaut sein, wobei es sinnvoll erscheint die einzelnen Hierarchieebenen nicht zu vermischen (vgl. Abbildung 2). So ist es im Rahmen der Biologie relativ leicht verschiedene funktionale Einheiten einer Hierarchieebene als Systeme von einander abzugrenzen, da die jeweils höheren oder niedrigeren Hierarchieebenen durch eine relativ deutliche Grenze voneinander abgekapselt sind. Die Gefahr, verschiedene Hierarchieebenen bei der Definition eines Systems als funktionale Einheit zu vermengen, kann hier relativ leicht vermieden werden. So erscheint es wenig sinnvoll die kognitiven Leistungen des Gehirns auf der Grundlage der Stoffwechselfvorgänge einer einzelnen Nervenzelle zu beschreiben.

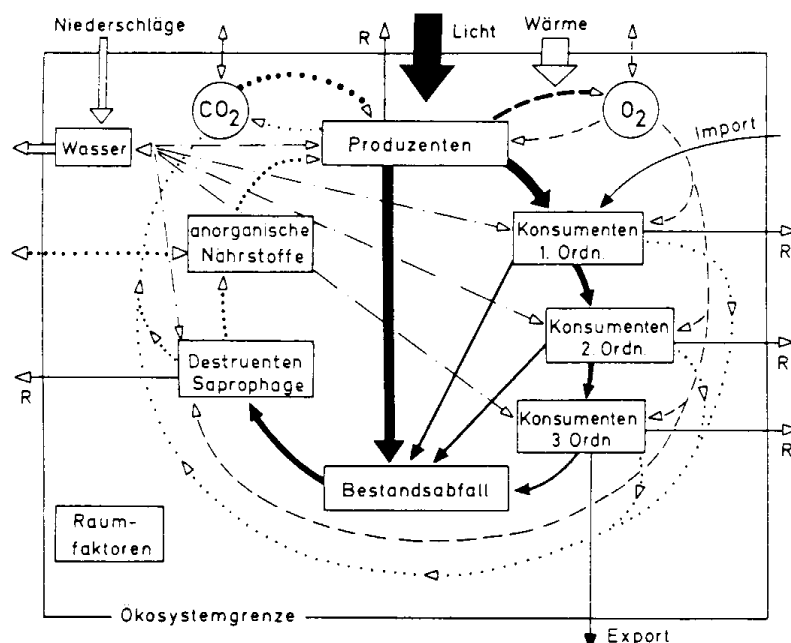


Abbildung 1: Strukturen eines methodologisch definierten Ökosystems.

Die in der Abbildung dargestellten Strukturen gelten als Schablone, vor deren Hintergrund verschiedene Ökosysteme behandelt werden können (Abbildung aus: Blick 1989, S. 34, zitiert nach Schurig 1994, S. 10).

Was in der Biologie als relativ leicht erscheint, nämlich die Abgrenzung funktional autonomer Systeme auf einzelnen ebenfalls voneinander abgrenzbaren Hierarchieebenen, kann in anderen Disziplinen größere Probleme bereiten. Dennoch gilt auch hier, dass Systeme nur als solche aufzufassen sind, wenn sie sich als funktional abgegrenzte Einheiten von ihrer Umwelt unterscheiden, sodass zwar noch Austauschbeziehungen zur Umwelt existieren, die Vorgänge innerhalb der Systemgrenzen jedoch qualitativ produktiverer und quantitativ intensiverer Natur sind, als die außerhalb der Systemgrenzen (vgl. Kriz 2000, S. 18; Willke 1983).

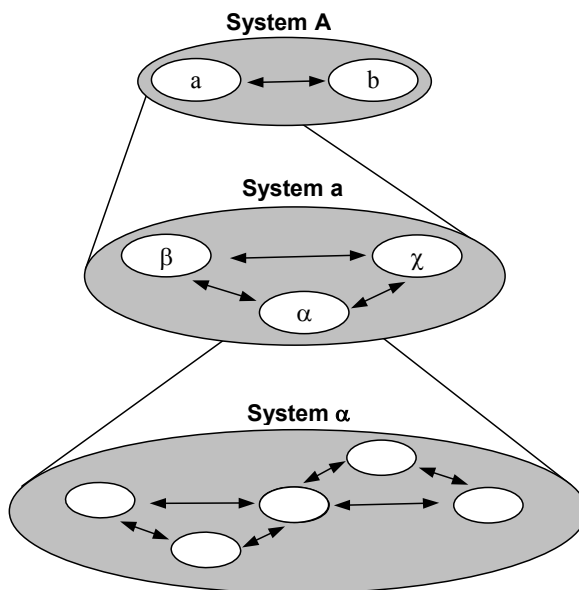


Abbildung 2: Hierarchische Vernetzung von Systemen.

Die schematische Darstellung zeigt, wie das Element „a“ des Systems „A“ ebenfalls als System mit eigenen Systemelementen aufgefasst werden kann. Aber auch die Elemente von „a“ können bei genauerer Betrachtung auf einer noch niedrigeren Hierarchiestufe als eigenständige Systeme aufgefasst werden (Abbildung nach Kriz 2000, S. 21).

Systeme können heterarchisch mit anderen Systemen in Wechselwirkungen stehen

Nicht nur in der Psychologie finden sich jedoch auch *heterarchische Anordnungen* sich gegenseitig beeinflussender Systeme (vgl. die folgende Abbildung 3), die in ihren wechselseitigen Bezügen eine Abgrenzung einzelner Systeme erschweren. Biologische, psychische und soziale Aspekte verschränken sich in der Beschreibung menschlichen Verhaltens derart, dass es im Rahmen z.B. psychopathologischer Phänomene nicht sinnvoll erscheint, diese künstlich zu trennen (vgl. Schiepek & Spörkel 1993, Schiepek & Strunk 1994), obwohl eine Trennung nach den Kriterien der einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen durchaus möglich wäre.

Definition eines Systems

Zusammenfassend wird unter einem System eine von der Umwelt abgegrenzte funktional geschlossene Entität verstanden, die aus Elementen besteht, die miteinander in Wechselwirkungen stehen. Systeme können offen sein für Austauschprozesse mit ihrer Umwelt. Je nach Tiefe der Systemanalyse können verschiedene hierarchische Ebenen innerhalb eines Systems und heterarchische Wechselwirkungen zwischen Systemen unterschieden werden.

Mathematisch formalisiert gibt Klir (1991) eine vergleichbare Definition:

We are likely to find that a system is 'a set or arrangement of things so related or connected as to form a unity or organic whole' (Websters New World Dictionary). It follows from this common-sense definition that the term 'system' stands, in general, for a set of some things and a relation among things. Formally, we have

$$\mathbf{S} = (T, R)$$

where \mathbf{S} , T , R denote, respectively, a *system*, a *set of things*, distinguished within \mathbf{S} , and a *relation* (or, possibly, a set of relations) defined on T . (Klir 1991, S. 4)

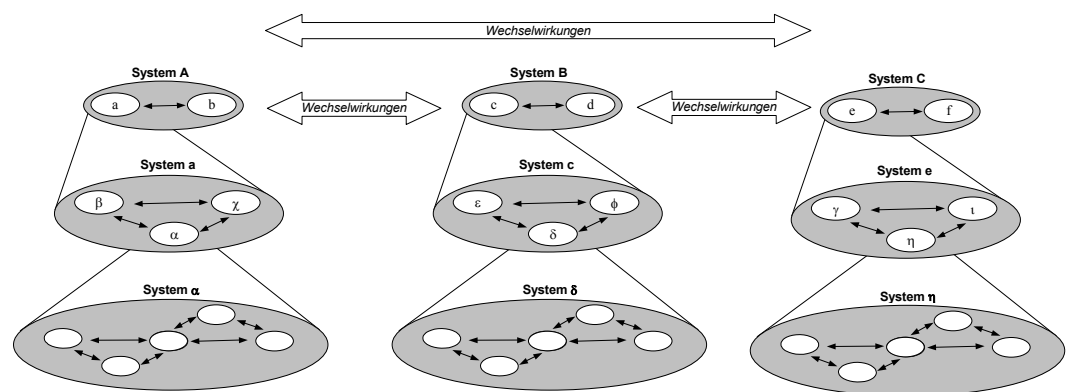


Abbildung 3: Heterarchische Wechselwirkungen zwischen Systemen.

Die schematische Darstellung zeigt mögliche Wechselwirkungen zwischen den Systemen „A“, „B“ und „C“.

3.2 Zum Nutzen des Systembegriffs

Die genannte Definition beschreibt zwar im Wesentlichen was Systeme sind, lässt aber den Nutzen einer solchen Definition offen. Tatsächlich lässt sich aus der Benennung eines Phänomens als System noch keine Systemwissenschaft begründen.

Eine Systemwissenschaft als eigenständige Disziplin erfordert es, dass Systeme besondere Eigenschaften aufweisen

Eine Systemwissenschaft als eigenständige Disziplin erscheint nur dann sinnvoll, wenn die Definition eines Phänomens unter Rückgriff auf den Systembegriff neu und anders verstanden werden kann, als es ohne den Systembegriff möglich wäre. Entscheidend für die Nützlichkeit einer systemischen Perspektive ist es daher, dass Systeme spezifische Eigenschaften aufweisen, die erst dann sichtbar werden, wenn ein Phänomen als System verstanden wird.

3.2.1 Umgangssprachliche Verwendung des Systembegriffs

Umgangssprachlich wird der Systembegriff vielfach dort verwendet, wo darauf hingewiesen werden soll, dass an einem Phänomen viele Einflussfaktoren beteiligt sind. Nicht selten führt der Verweis, es bei einem Phänomen mit einem System zu tun zu haben, zu der Feststellung, dass angesichts der Vielzahl beteiligter Einflussfaktoren, der Überblick über das Systemverhalten verloren geht und eine gezielte Einflussnahme nicht mehr möglich ist (vgl. hierzu auch Beck 1986). In einem solchen System verliert der Einzelne die Möglichkeit der Beeinflussung und Steuerung. Zu viele Systemelemente entziehen sich seiner Machtsphäre. Der Systembegriff wird hingegen nicht auf Phänomene angewendet, die leicht überschaubar sind und an denen nur wenige Einflussgrößen beteiligt sind. Ein schönes Beispiel für diese Auffassung von Systemen findet sich in Emile Zolas Roman „Germinal“:

„In Indien ist eine Hungersnot ausgebrochen,“ sagte Deneulin halblaut, als spräche er zu sich selbst. „Amerika stellt seine Aufträge aus Gusseisen ein und hat unseren Hochöfen damit einen schweren Schlag versetzt. Es hängt alles zusammen. Ein Stoß in weiter Entfernung schüttert in der ganzen Welt nach“. (Zola 1947/1885, S. 262)

Im Rahmen des hier dargestellten umgangssprachlichen Systembegriffs wird die Komplexität, Unüberschaubarkeit und fehlende Steuerbarkeit von Systemen in einer direkten Beziehung zur Größe des Systems und zur Zugänglichkeit zu einzelnen Einflussgrößen gesehen.

Umgangssprachlich werden Systeme mit Mobiles verglichen

Ein System kann hier mit einem Mobile verglichen werden. Bewegungen in einem Teil des Mobiles wirken sich auf alle anderen Teile aus, ohne dass im Vorhinein ersichtlich wäre, welche Bewegungen sich wie fortpflanzen.

Entgegen dieser Alltagsvorstellung von Systemen steht die Komplexität eines Systemverhaltens in keinem direkten Zusammenhang zur Größe des Systems. Ob sich ein System komplex oder leicht vorhersehbar verhält hängt vielmehr davon ab, wie die Systemelemente eines Systems sich wechselseitig beeinflussen und wie das System mit seiner Umwelt interagiert.

Systemwissenschaftliche Ansätze gehen über das Alltagsverständnis von Systemen hinaus, indem sie die eingangs angeführte Definition genauer spezifizieren. Je nach Ansatz werden bestimmte Anforderungen bzw. Einschränkungen hinsichtlich der Systemelemente, möglicher Wechselwirkungsbeziehungen zwischen den Elementen und dem System-Umweltverhältnis vorgenommen. Diese genauere Bestimmung der Definitionsmerkmale von Systemen ermöglicht es, bestimmte Schlussfolgerungen über das mögliche Verhalten und die Eigenschaften der Systeme zu ziehen.

3.2.2 Der mathematisch naturwissenschaftliche Systembegriff

Im Rahmen mathematisch naturwissenschaftlicher Systemtheorien werden unter den Elementen eines Systems veränderliche Größen, d.h. Variablen wie z.B. Geschwindigkeit, Gewicht, Temperatur etc. verstanden. Das Erkenntnisinteresse richtet sich vornehmlich auf die Dynamik von Systemen, das heißt auf das Verhalten, das Systeme bzw. deren Variablen im Verlauf der Zeit zeigen. In der Art, wie dabei eine Variable auf eine andere Einfluss nimmt, verändert die beeinflussende Variable die Größe der beeinflussten. Die Wechselwirkungen zwischen den Variablen werden mit Hilfe von mathematischen Funktionen beschrieben.

Das Zerlegen komplexer Vorgänge in einfache Gesetzmäßigkeiten bildete das Erfolgsgeheimnis der modernen Naturwissenschaften

Das Erfolgsgeheimnis der modernen Naturwissenschaften seit Galileis¹ 1638 heimlich in Holland gedruckter „*Unterredung über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend*“ und der Weiterentwicklung in ihr angelegten Grundauffassungen durch Isaac Newton² bestand darin, komplexe Systemzusammenhänge zu analysieren, also zu zergliedern und jeweils isolierte Einzelbeziehungen zu erfassen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die isoliert erfassten Einzelzusammenhänge sich jederzeit zu komplexen Wechselwirkungsgefügen zusammensetzen lassen.

So wird die Flugbahn eines Körpers erst dann verstehbar, wenn man die daran beteiligten Gesetzmäßigkeiten zunächst jeweils für sich betrachtet und dann erst wieder zu einem Ganzen zusammensetzt. Wird ein beliebiger Körper senkrecht nach oben geworfen, so können zunächst zwei Gesetzmäßigkeiten unterschieden werden. Zum einen bewegt sich der Körper mit einer durch den Wurf erfahrenen konstanten Geschwindigkeit nach oben. Nach dem Massen-Trägheitsgesetz wird sich der Körper mit dieser konstanten Geschwindigkeit so lange weiterbewegen, wie dieser Bewegung keine Kraft entgegen wirkt. Zum anderen kommen die Gesetze des freien Falls zum Tragen. Jeder Körper, der aus einer beliebigen Höhe fallengelassen wird, bewegt sich auf Grund der Erdgravitation beschleunigt in Richtung Erdmittelpunkt. Beschleunigte Bewegungen sind Bewegungen bei denen die Geschwindigkeit beständig zunimmt.

Werden beide Gesetzmäßigkeiten zu einem Ganzen zusammengesetzt, so behalten beide jeweils für sich ihre Gültigkeit. *Sie beeinflussen sich gegenseitig nicht, sie addieren sich.* So bewegt sich der Körper mit konstanter Geschwindigkeit in

¹ 1564 bis 1642

² 1643 bis 1727

Wurfrichtung und bewegt sich gleichzeitig mit wachsender Geschwindigkeit in Richtung Erdmittelpunkt. Im höchsten Punkt der Flugbahn ist die Bewegung in Flugrichtung keinesfalls aufgebraucht. Sie wirkt unverändert weiter, nur dass die Fallbeschleunigung inzwischen zu einer ebenso großen Geschwindigkeit geführt hat. Galilei selbst beschreibt diese Perspektive 1638 wie folgt:

Wahrlich, diese Betrachtung ist neu, geistvoll und schlagend; sie stützt sich auf eine Annahme, nämlich dass die Transversalbewegung stets als gleichförmig erhalten bleibe und dass ebenso gleichzeitig die natürlich beschleunigte Bewegung sich behaupte, proportional den Quadraten der Zeiten, und dass solche Bewegungen sich zwar mengen, aber nicht stören, ändern und hindern, so dass schließlich bei fortgesetzter Bewegung die Wurflinie nicht entarte. (Galilei 1964/1638, zitiert nach Sobel 1999, S. 350)

Tatsächlich wirken bei einem geworfenen Körper noch weitere Gesetzmäßigkeiten, wie zum Beispiel der Verlust an Bewegungsenergie, die durch Luftreibung in Wärme umgewandelt wird. Aber auch dieser Aspekt lässt sich zunächst isoliert von den beiden bereits genannten Gesetzmäßigkeiten beschreiben und dann additiv dem Ganzen hinzufügen. Die von Galilei eingeführte und durch Newton etablierte analytische Perspektive auf die Bewegung von Körpern löste mittelalterliche Vorstellungen ab, die die Bewegung von Körpern eher phänomenologisch beschrieben (vgl. Abbildung 4).

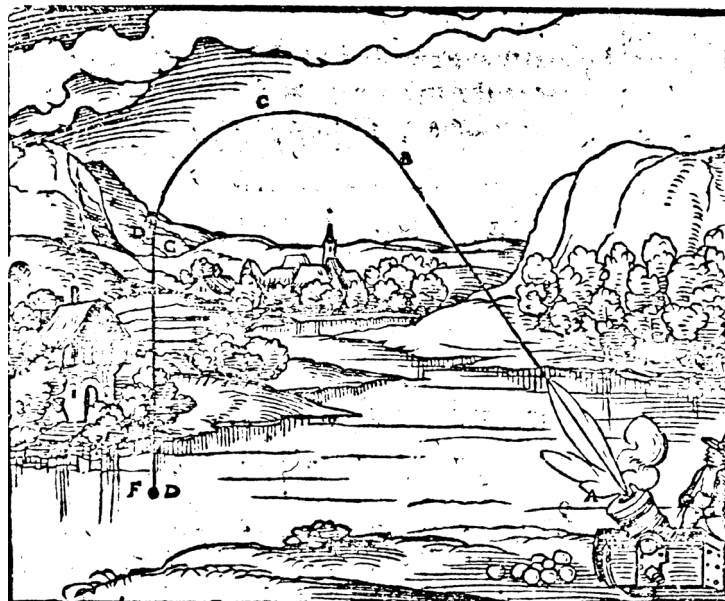


Abbildung 4: Mittelalterliche Vorstellung von der Flugbahn einer Kanonenkugel

„Im 11. Jahrhundert vertrat der arabische Philosoph Avicenna die Ansicht, ein Geschoss bewege sich geradlinig in Abschussrichtung, bis sein anfänglicher Impetus vollständig aufgebraucht sei; danach komme das Geschoss für einen Moment zum Stillstand, bevor es durch seine natürliche Schwere einen Abwärtsimpetus erfahre und dadurch geradewegs zu Boden falle. Im vierzehnten Jahrhundert schlug der Scholastiker Albert von Sachsen eine Theorie vor, die Geschossbahnen etwas genauer beschreibt. Danach gibt es bei der Geschossbewegung drei Phasen: Anfangs übertrifft der Impetus des Projektils dessen natürliche Schwere; die Flugbahn ist dann eine Gerade in Zielrichtung. Da der Impetus langsam verschwindet, wird sich die Bahn an einem bestimmten Punkt durch das Gewicht des Projektils abwärts neigen. ... In der letzten Phase fällt das Projektil senkrecht nach unten, weil sich der Impetus des Abschusses erschöpft hat“ (McGloskey 1983, S. 91).

Im Rahmen analytisch naturwissenschaftlicher Ansätze ist das Ganze die Summe seiner Einzelteile

Die Gesamtheit eines Systems erscheint im Rahmen eines analytisch naturwissenschaftlichen Ansatzes als nicht mehr, aber auch nicht weniger, als die Summe seiner Einzelteile (vgl. im Unterschied dazu S. 175f.). Von diesem Standpunkt aus gesehen, besitzen Systeme keine anderen Eigenschaften als die, die durch die Summe der beteiligten Elemente und deren Wechselwirkungen vorgegeben werden. Komplexe Vorgänge in der belebten und unbelebten Natur unterscheiden sich von einfachen Systemen nur quantitativ in der Zahl der beteiligten Elemente und Wechselwirkungen, ohne dass qualitativ andere Eigenschaften auftreten. Vor diesem Hintergrund eines analytisch naturwissenschaftlichen Weltbildes erscheint eine eigenständige Systemwissenschaft überflüssig.

Dass bestimmte nichtlineare dynamische Systeme jedoch tatsächlich über qualitativ andere Eigenschaften verfügen als es die Summe ihrer Elemente erahnen lässt, wird in späteren Kapiteln deutlich werden (vgl. Kapitel 5, S. 81ff.), sodass dort eine konkretere Bestimmung des mathematisch naturwissenschaftlichen Systembegriffs nötig wird. Da die Überraschungen, die solche Systeme für die Wissenschaft bereit halten, nur vor dem Hintergrund dessen zu verstehen sind, was nach einem klassisch mechanistischen Weltverständnis für komplexe Systeme zu erwarten ist, sollen im folgenden Kapitel, am Beispiel der Beschreibung menschlichen Verhaltens mittels der Maschinenmetapher, die Grundlagen dieser Sichtweise und ihre Folgerungen näher betrachtet werden.

4. Von der klassischen Mechanik zur Kybernetik

Die klassische Mechanik und die mit ihr verbundenen Axiome über das Verständnis des Universums und des Menschen, sowie die mit diesen Vorstellungen einhergehende Forschungsmethodik der isolierenden Variation (dem klassischen Experiment) bildete über Jahrhunderte hinweg, und zum Teil noch heute, ein einheitliches Forschungsparadigma mit weitreichendem Einfluss auf nahezu alle Bereiche der Forschung und Wissenschaft, aber auch auf das Alltagsverständnis über das „was die Welt im Innersten zusammenhält“. Wissenschaftlichkeit wird in vielen Bereichen, so auch in der Psychologie, immer noch an den Kriterien einer klassisch mechanischen Forschungsmethodik und Erkenntnisphilosophie gemessen. Dabei hat sich das Bild von Wissenschaft, die Einschätzung der Bedeutung experimenteller Versuchsanordnungen und der Stellenwert einer positivistisch deterministischen Erkenntnistheorie in den letzten Jahren in den naturwissenschaftlichen Disziplinen stark gewandelt.

Mathematische Systemtheorien führen zu vielfältigen Berührungspunkten zwischen Sozial- und Naturwissenschaften

Die Entdeckungen von Prigogine, Haken, Eigen und anderen (z.B. Eigen 1971, Eigen & Schuster 1979, Haken 1985, Prigogine & Stengers 1986, Prigogine 1987, Haken 1990a, Haken & Wunderlin 1991, Prigogine & Stengers 1993) führten zu Erkenntnissen, die eine deterministische Weltsicht generell in Frage stellen und die isolierte Betrachtung von Einzelgesetzmäßigkeiten zugunsten einer ganzheitlichen systemischen Perspektive aufgeben. Obwohl sich dadurch bisher ungeahnte Berührungspunkte zwischen Sozial- und Naturwissenschaften ergeben, werden diese Entwicklungen in der Psychologie kaum nachvollzogen. Derzeit treten viele akademisch psychologische Fachrichtungen „naturwissenschaftlicher“ auf als die Naturwissenschaften selber. Sir James Lighthill erklärte 1986 als Präsident der International Union of Theoretical and Applied Mechanics für die Physik:

Hier muss ich innehalten und im Namen der großen Bruderschaft der Praktiker der Mechanik sprechen. Wir sind uns heute der Tatsache bewusst, dass die Begeisterung, die unsere Vorgänger für den phantastischen Erfolg der Newtonschen Mechanik empfanden, sie auf diesem Gebiet der Vorhersagbarkeit zu Verallgemeinerungen verleitet hat, an die wir vor 1960 möglicherweise allgemein geglaubt haben, die wir aber inzwischen als falsch erkannt haben, indem wir bezüglich des Determinismus von Systemen, die den Newtonschen Bewegungsgesetzen genügen, Ideen verbreitet haben, die sich nach 1960 als inkorrekt erwiesen haben. (Prigogine & Stengers 1993, S. 128)

Die Psychologie bleibt auch heute noch vielfach im klassisch mechanischen Denken verwurzelt

Damit entschuldigt sich ein Physiker für die dreihundertjährige Tradition mechanisch naturwissenschaftlichen Denkens. Obwohl die Tradition der Psychologie bei weitem nicht so lange mit mechanischen Gesetzen operiert, scheint sie sich viel schwerer zu tun diese aufzugeben. Selbst die Entwicklungen der Kybernetik, die seit 1948 in verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen einen Siegeszug feierte, wurden von der Psychologie nur zögerlich zur Kenntnis genommen. Erst 1960 versuchten Miller, Galanter und Pribram einfache Ursache-Wirkungsketten zur Erklärung menschlichen Verhaltens durch kybernetische Regelkreismodelle abzulösen.

Beide Ansätze, der klassisch mechanische und der kybernetische, bleiben in ihrem Erklärungswert beschränkt. Für beide erscheint die Welt als eine bereits geordnete Struktur, denen Merkmale von Zeitlichkeit gänzlich fehlen. Keiner der beiden Ansätze vermag Prozesse der Selbstorganisation und spontanen Ordnungsbildung zu erklären.

Erst vor dem Hintergrund neuerer mathematischer Systemtheorien, der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme können Selbstorganisationsphänomene beschrieben und in ihrer Entstehung erklärt werden. Da mit der Entwicklung dieser Theorien ein umfassender Paradigmenwechsel, sowohl im Verständnis komplexer Systeme als auch in den Forschungsmethoden und der Erkenntnistheorie einhergeht, scheint es sinnvoll zunächst auf die Grenzen und Stärken sowohl klassisch mechanischer als auch kybernetischer Ansätze einzugehen, bevor die Folgerungen aus den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme dargestellt werden.

4.1 Klassische Mechanik: Die Maschinenmetapher menschlichen Verhaltens

In der Mitte des 16. Jahrhunderts wurden Lebensvorgänge in Tieren und Menschen im Sinne einer Newtonschen Mechanik erklärt

Am Eindringlichsten und für die Psychologie am Bedeutendsten wird der Unterschied zwischen einer klassisch analytischen Weltansicht und den Folgerungen aus neueren Systemtheorien an den Vorstellungen deutlich, die in der Mitte des 16. Jahrhunderts aufkamen. Die Lebensvorgänge in Tieren und Menschen und auch die Bewegungen des Universums wurden im Sinne einer Newtonschen Mechanik erklärt. Damit eng verbunden erfreuten sich Tier- und Menschen-Automaten einer großen Beliebtheit. Zu dieser Zeit (um die Mitte des 16. Jahrhunderts) entstand z.B. die älteste noch erhaltene Automatenfigur in Menschengestalt, eine Lautenspielerin (vgl. Abbildung 5). Ein eisernes Laufwerk setzt beide Füße vor und zurück. Es betätigt die Hand, die die Laute schlägt und bewegt den Kopf der Figur abwechselnd von rechts nach links (vgl. Richter 1989).

Abbildung musste aus Urheberrechtsgründen entfernt werden.

Abbildung 5: Automatenfigur „Lautenspielerin“

Die „Lautenspielerin“, auch als „Cisterspielerin“ bezeichnet, ist um die Mitte des 16. Jahrhunderts entstanden und gehört zu den ältesten erhaltenen Automatenfiguren in Menschengestalt. Die Herkunft der Automatenfigur ist ungewiss (Abbildung aus: Richter 1989, S. 89).

Verfeinerte Fertigungsmöglichkeiten im Uhrenbau und die Durchsetzung eines naturwissenschaftlichen Weltbildes führten zu dieser Entwicklung. Schon seit der Antike hatten Menschen versucht, Statuen von Tieren, Menschen und Göttern durch komplizierte Mechaniken zu beleben (vgl. Mainzer 1995, S. 103f.). Die Möglichkeiten, die sich durch komplexe uhrwerkartige Mechanismen ergaben, machten es möglich, auch komplexe Bewegungsabläufe nachzustellen. Ein „Androide“ (vgl. Abbildung 6), der von Pierre Jaquet-Droz (Vater) konstruiert und gemeinsam mit Jean-Frédéric Leschot und einigen anderen Handwerkern um 1774 gebaut wurde, ist in der Lage mit schönster Handschrift einen Brief zu schreiben.

Abbildung musste aus Urheberrechtsgründen entfernt werden.

Abbildung 6: Automatenfigur „Schreiber“

Der Androide „der Schreiber“, von Pierre Jaquet-Droz (Vater) konstruiert und gemeinsam mit Jean-Frédéric Leschot und einigen anderen Handwerkern um 1774 gebaut. Die Figur hat die Größe eines dreijährigen Kindes. Die rechte Abbildung zeigt das „Innenleben“ des Schreibers. Der vertikale Teil steuert mit seinen drei Nockenreihen die Bewegungen des Handgelenkes in den drei Grundrichtungen. Die Formung der Buchstaben sowie der Zeilenwechsel und Eintauchen der Feder in die Tinte werden durch die drehbare Scheibe unterhalb des Nockenzyinders gesteuert. Die Automatenfigur ist ausgestellt im Musée d'Art et d'Histoire, Neuchâtel (Abbildungen aus: Richter 1989, S. 90).

Nach einer eingehenden Analyse der nötigen Bewegungsschritte in möglichst kleinen Einheiten (Analyse = Zergliederung) hatte der Mechaniker die Bewegungen durch Hebel und Seilzüge nachzubilden. Zumeist wurde der komplexe Bewegungsablauf, ähnlich wie bei Spieluhren, durch eine Walze oder Lochmaske gesteuert. Kleine Hebel greifen die Erhöhungen oder Vertiefungen der Walze ab, die dann jeweils einzelne Bewegungseinheiten auslösen. Die Perfektion der Automatenfiguren erreichte ein solches Ausmaß, dass tatsächlich der Eindruck tierischer oder menschlicher Bewegungen entstehen konnte (vgl. Mainzer 1995, S. 104).

Nach der Entdeckung des Blutkreislaufes 1628 wurde das Herz als Zentralmotor eines peripheren Röhrensystems aufgefasst

Der spanische Arzt Gomez Pereira bezeichnete daher in der Mitte des 16. Jahrhunderts Tiere als Automaten. Menschen sprach er jedoch eine von Gott gegebene Seele zu. Die Entdeckung des Blutkreislaufes durch den englischen Arzt William Harvey³ 1628 stützte dieses Bild: Das Herz wurde nun angesehen als Zentralmotor eines peripheren Röhrensystems (vgl. Wood 2002, S. 13f.).

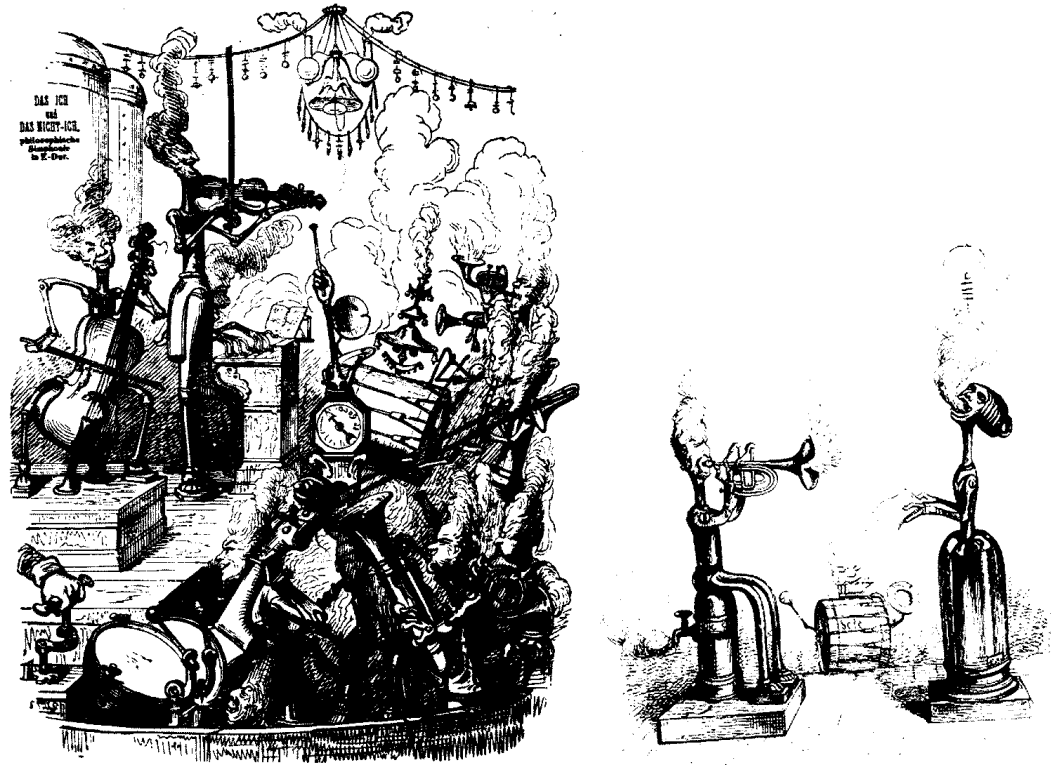


Abbildung 7:

Karikaturen zur Beziehung zwischen Automaten und Menschen

Karikaturen, die die Beziehung zwischen Automaten in Menschengestalt und „typisch menschlichen“ Verhaltensweisen kritisch hinterfragen tauchten erstmals im 19. Jahrhundert auf (vgl. Richter 1989). Die Abbildungen stammen aus einem Zyklus des Karikaturisten Grandville⁴, der Maschinen als Künstler auftreten lässt (Abbildungen aus Noll 1995, S. 53 und S. 142).

Descartes spricht Menschen eine Seele zu. Tiere seien jedoch Maschinen

Der bekannte französische Mathematiker, Naturforscher und Philosoph René Descartes⁵ postulierte ebenfalls, dass es sich bei den Körpern von Tieren um eine komplexe Maschine handle. Menschen weisen nach Descartes Ansicht zudem eine durch Gott gegebene Seele auf. Nerven betrachtet er als hohle Röhren, die Ventile im Kopf zur Steuerung der Lebensgeister („spiritus animales“) betätigen, die vom Kopf zu den Muskeln „fließen“ (vgl. Richter 1989, S. 126). Der Legende nach soll Descartes selbst einen Androiden konstruiert haben, um über den Tod seiner Tochter, die im Alter von fünf Jahren verstorben war, hinweg zu kommen. Auf einer Schiffspassage nach Schweden soll er den Androiden als seine Tochter

³ 1578 bis 1657

⁴ 1803 bis 1847

⁵ 1596 bis 1650

Francine ausgegeben haben. Als die Mannschaft die mechanische Puppe entdeckte und dem Kapitän zeigte, hat dieser dieses Geschöpf schwarzer Magie unverzüglich über Bord werfen lassen (vgl. Wood 2002, S. 4ff.).

Die Möglichkeit, durch technische Nachbildungen künstliche Tiere zu erschaffen, brachte den Menschen in die Nähe Gottes. Als Schöpfer empfindet er den Schöpfungsakt nach. Dabei spielte es keine Rolle, dass nicht tatsächlich Tiere mit allen ihren Verhaltensweisen nachgebildet werden. Hier kommt vielmehr die Überzeugung ins Spiel zumindest *prinzipiell* dazu in der Lage zu sein. Jede Bewegung wurde in Bezug auf Newton, und unter der Annahme eines *allgemeinen Kausalitätsprinzips*, als durch physikalische Kräfte bewirkt verstanden. Wenn das Verhalten von Tieren nichts anderes umfasst als die Bewegungen der Körperteile, so muss dies zwingend durch mechanische Gesetze erklärbar sein. So schreibt der englische Philosoph Thomas Hobbes⁶:

Die Natur (die Kunstfertigkeit, mit der Gott die Welt gemacht hat und lenkt) wird durch die Kunstfertigkeit der Menschen wie in vielen Dingen auch darin nachgeahmt, dass sie ein künstliches Tier herstellen kann. Denn da das Leben nur eine Bewegung der Glieder ist, die innerhalb eines besonders wichtigen Teils beginnt – warum sollten wir dann nicht sagen, alle Automaten (Maschinen, die sich selbst durch Federn und Räder bewegen, wie eine Uhr) hätten ein künstliches Leben...? (Hobbes, zitiert nach Richter 1989, S. 126)

In seinen Ausführungen nutzt Hobbes Vergleiche wie: Herz – Uhrfeder, Nerven – Seilstränge, Gelenke – Räder.

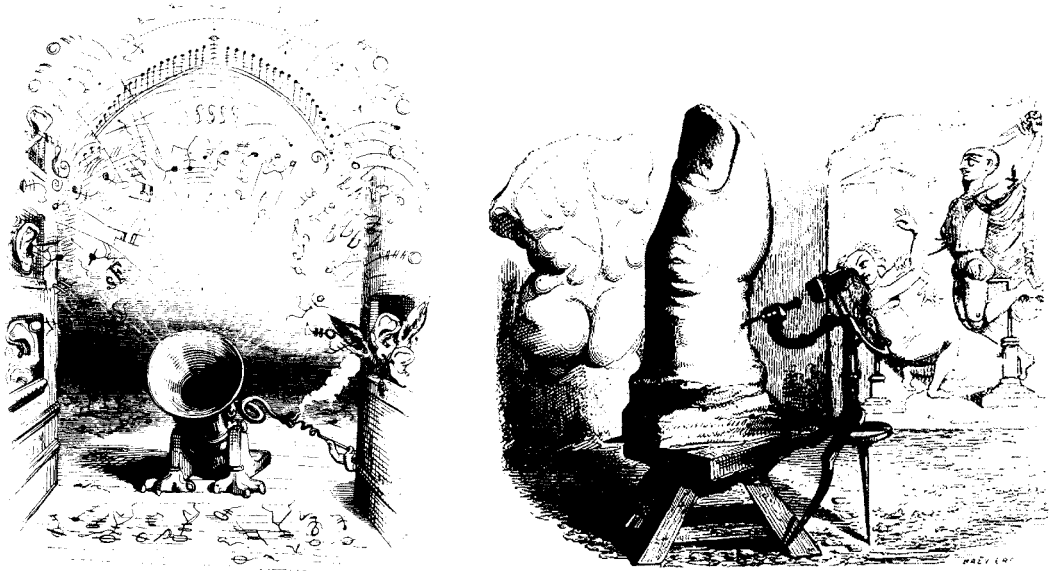


Abbildung 8: Karikaturen zur Beziehung zwischen Automaten und Menschen

Die Abbildungen stammen aus einem Zyklus des Karikaturisten Grandville, der Maschinen als Künstler auftreten lässt (Abbildungen aus Noll 1995, S. 11 und S. 245).

⁶ 1588 bis 1679

In diesem Sinne ließ Julien Offroy de la Mettrie⁷ die, wie er meinte, nirgends nachweisbare, die überflüssige, die wahrscheinlich aus bloßer Angst vor den Theologen hinzugefügte Seele aus Descartes' System fort: Das Tier ist eine Maschine und der menschliche Organismus die perfekte Form der Tiermaschine (vgl. Wood 2002, S. 14f.).

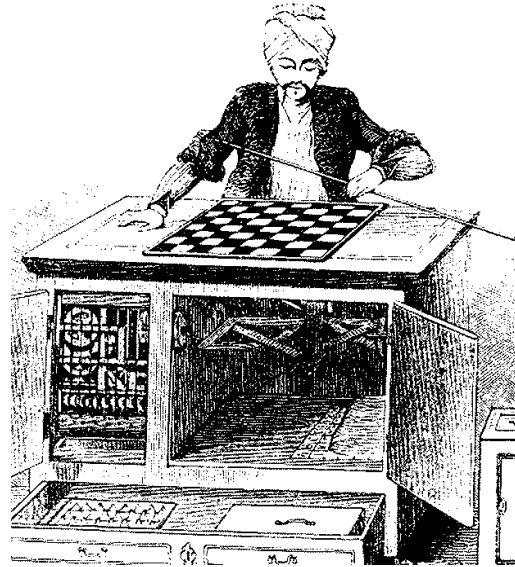


Abbildung 9: Der „Schachautomat“

Der „Schachautomat“ des ungarischen Mechanikers Wolfgang von Kempelen in der Gestalt eines Türken. Der Apparat spielte und gewann erstmals im Jahre 1769 und ging später in den Besitz des berühmten Mechanikers Johann Nepomuk Maelzel über (Abbildung aus: Richter 1989, S. 147).

Die operationale Definition von Lebendigkeit über die Bewegung von Körpern führt in der Folge zu Fehlschlüssen

Die Logik dieser Argumentation folgt der Annahme, dass sich psychische Prozesse zunächst und vor allem in den Bewegungen, dem Verhalten eines Menschen äußern. Die Beschränkung auf die Bewegung als operationale Definition, aus deren Vorliegen man ohne weiteres auf „Lebendigkeit“ schließen könne, entspricht dem damaligen Zeitgeist, wird angeregt durch Newtons Bewegungsgesetze und die zunehmenden mechanischen Fertigkeiten. Der Fehlschluss aus dieser Argumentation tritt auf, sobald man das Indiz (Bewegung) mit dem zu bezeichnenden (Lebendigkeit) gleichzusetzen beginnt.

Die Automaten des 16. Jahrhunderts weisen ein besonders hohes Maß an Unfreiheit auf. Was sie besonders stark vom Menschen unterscheidet, ist ihre Unfähigkeit aus dem Vorgegebenen auszubrechen. Der „Schreiber“ steht nicht einfach auf, schüttelt den Kopf, sagt, „nun ist mir die blöde Schreiberei einfach zu langweilig“ und geht aus dem Zimmer. Dennoch ist es nur ein technisches Problem ihn nach einer festen oder zufälligen Zeiteinheit genau dies tun zu lassen. Der Unterschied von frei zu unfrei liegt eben nicht in dem was getan wird. Der Unterschied zwischen freiem Verhalten und unfreiem Verhalten liegt in einer eingeschränkten Vorhersehbarkeit, in der Möglichkeit der Überraschung darüber, dass jemand etwas tut, was nicht zu erwarten war. Aber auch eine operationale Definition von Lebendigkeit unter Rückgriff auf eine eingeschränkte Vorhersagbarkeit von Verhalten ist höchst unbefriedigend. Sie steht soweit auf wackeligem Boden,

⁷ 1709 bis 1751

als ein Beobachter leicht getäuscht werden und ein überraschender Effekt leicht erzielt werden kann (vgl. auch Abbildung 9 und Abbildung 10). Eine Maschine, die über sehr viele Verhaltensweisen verfügte, könnte beständig mittels Zufallszahlen eine auswählen, jedes Mal wäre die Überraschung groß über das was die Maschine nun wieder tut. Umgekehrt kann nicht zwingend aus den Überraschungen, die andere Menschen durch ihr Verhalten bei uns auslösen, gefolgert werden, dass es sich nicht um eben eine solche Maschine mit vielen verschiedenen Verhaltensweisen handelt. Es war Immanuel Kant⁸, der die Maschinenmetapher menschlichen Verhaltens, da sie keinen Raum für die menschliche Freiheit lässt, aus philosophischen Gründen zurückwies (vgl. Mainzer 1995, S. 106). Obwohl menschliches Verhalten nur eingeschränkt vorhergesagt werden kann, handeln Menschen nicht zufällig. Ein Automat, der zufällig Verhaltensweisen abspult, wäre durch die Sinnlosigkeit seines Verhaltens leicht als solcher zu identifizieren. Menschliches Verhalten ist von daher nicht nur schwer vorhersehbar und in gewissem Maße frei, sondern auch sinnvoll in Hinblick auf das, was einem außenstehenden Betrachter als Ziele und Wünsche eines Menschen erscheint (vgl. Garson 1995, S. 367f.). Im Gegensatz zu den beschriebenen Automaten sind Menschen in der Lage, auftretende Hindernisse zu erkennen, ihr Verhalten kreativ an veränderte Bedingungen anzupassen und für Probleme flexibel Lösungen zu entwickeln.

In modernen psychologischen Ansätzen lauert fast immer ein Homunkulusproblem

Die Behauptung, mit mechanischen Automatenfiguren Lebensvorgänge in Menschen und Tieren zumindest in ihren Prinzipien vollständig zu beschreiben, führt zu einem Problem, das in der Psychologie als Homunkulusproblem bekannt ist (vgl. z.B. Tschacher & Scheier 1999, S. 7, aber auch Vogeley 2001, S. 261). Sollen sich die beschriebenen Automaten annähernd menschlich verhalten, so wird man bei genauer Betrachtung feststellen, dass ihnen dazu prinzipiell die Möglichkeiten fehlen. Der kausal mechanische Aufbau der Automaten zwingt sie auf vorprogrammierte Bahnen. Sollen sie diese Bahnen je nach Situation kreativ verändern, verbessern oder anpassen, so müsste ihnen ein menschenähnlicher Puppenspieler, ein Homunkulus eingebaut sein, der je nach Anforderung oder „Laune“ die Verhaltensprogramme ändert. In diesem Sinne erklärt die Maschinenmetapher menschlichen Lebens zwar das Zustandekommen von bestimmten komplexen Bewegungen, nicht jedoch menschliche Handlungsplanung und -ausführung. Was eigentlich durch die Metapher erklärt werden sollte, wird tatsächlich ausgespart. Ein Homunkulus wäre nötig um der Maschine das einzuhauchen, was sie nach Anspruch ihrer Konstrukteure bereits besitzen sollte. Es soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass das Homunkulusproblem nicht allein auf mechanische Automatenfiguren beschränkt ist. Psychologische Erklärungsansätze, die sich den Phänomenen psychischer Prozesse (wie z.B. Verhalten, Kognition, Emotion, Wahrnehmung) unter Rückgriff auf einfache linear kausale Modelle nähern, geraten zwangsläufig an ein Homunkulusproblem. Linear kausale Modelle enthalten immer nur so viel Erklärungspotenz, wie ihnen von ihren Schöpfern mitgegeben wird. Sie eignen sich daher sehr gut, um Bekanntes nachträglich nachzuzeichnen. Wird z.B. ein Wissenschaftler gebeten zu beschreiben, wie er für ein komplexes Problem zu einer Lösung kam, so erscheint der Lösungsweg durchaus zwingend und verstehbar (auch wenn an der Lösung zufällige Ereignisse beteiligt waren). Jeder, der der Argumentation des Wissenschaftlers folgt, kommt zu der gleichen Lösung. Wenn die Lösung eines Problems bereits bekannt ist, fällt es leicht, sie als zwingend und logisch zu beschreiben und die Lösungsschritte nach-

⁸ 1724 bis 1804

zuvollziehen. Wird jedoch das Finden von Lösungen für komplexe Problemstellungen im Nachhinein als kausale Abfolge von Ursache-Wirkungs-Ketten beschrieben, so wird ein wesentlicher Teil des Problemlöseprozesses ausgeblendet.

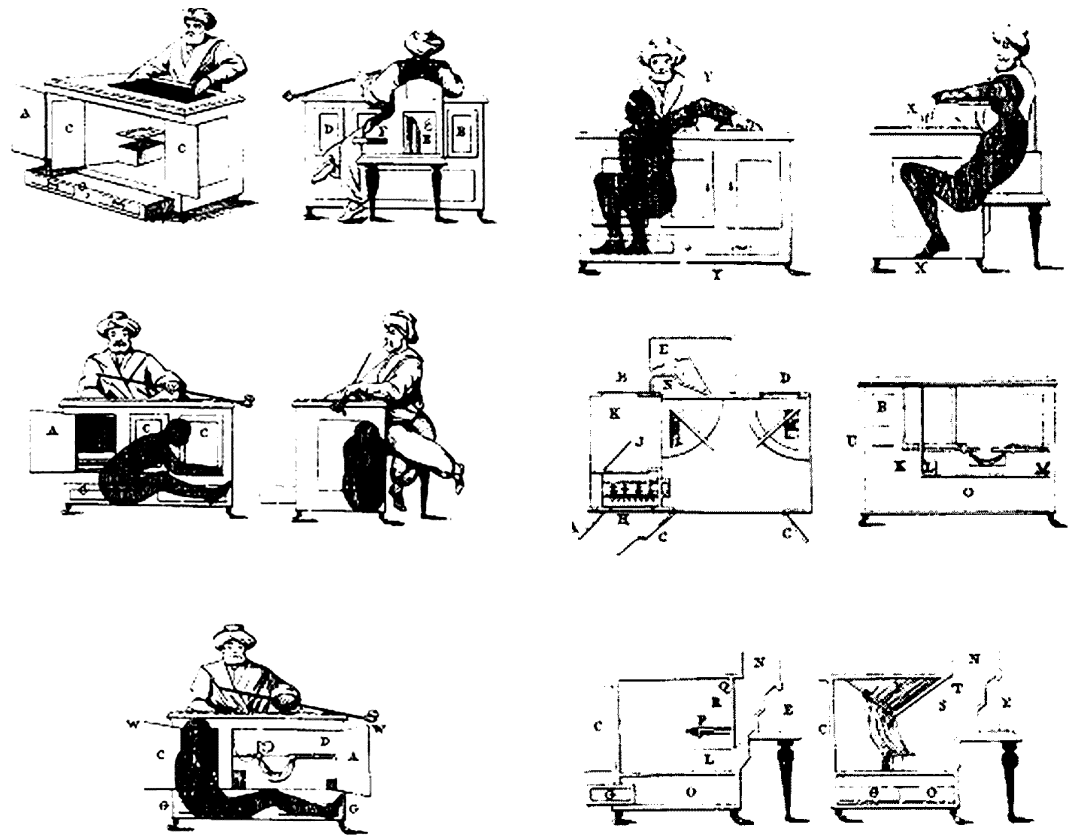


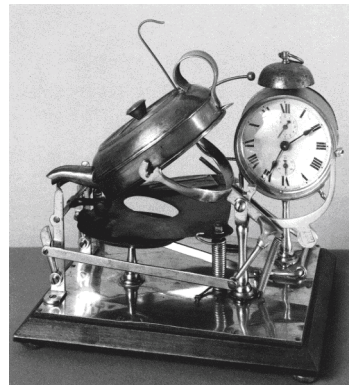
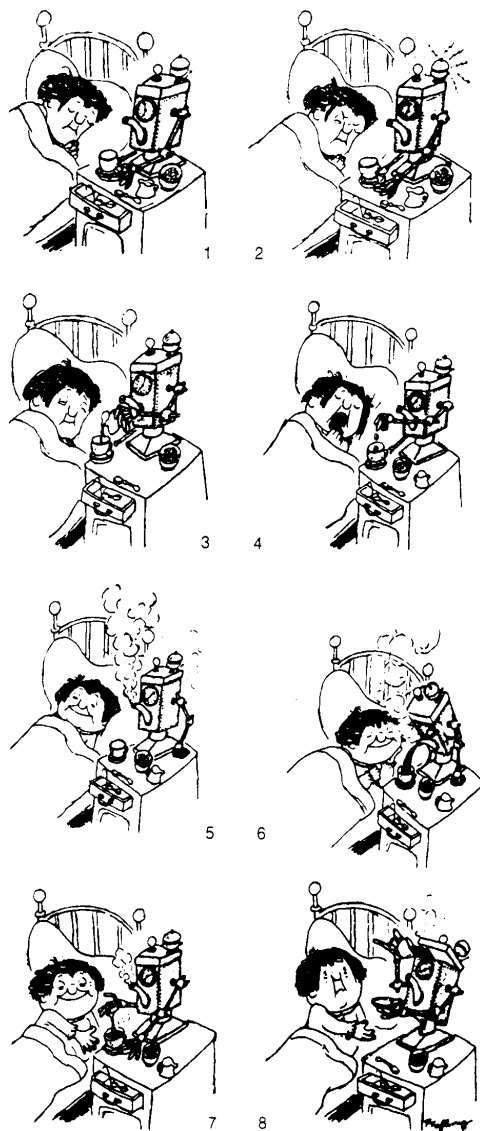
Abbildung 10: Das Geheimnis des „Schachautomaten“

Das Geheimnis des „Schachautomaten“ beschäftigte von Anfang an zahllose Menschen, darunter den schottischen Physiker David Brewster sowie Edgar Allan Poe. Brewster veröffentlichte in „Letters on Natural Magic“ 1833 entlarvende Zeichnungen und Texte. (Simmen 1967, zitiert nach Richter 1989, S.147f.). Obwohl im Verlauf der über 70 Jahre, in denen der Schachautomat in weiten Teilen Europas und später auch in den USA vorgeführt wurde, immer wieder Vorwürfe laut wurden, dass der Automat entweder durch Magnete von außen ferngesteuert, oder durch einen menschlichen Spieler von innen gesteuert werde, faszinierte der Automat das Publikum immer wieder. Es schien beinahe so, als ob das Publikum von der Vorstellung es mit einem wirklichen, mechanischen Automaten zu tun zu haben zwar geängstigt wurde, diese Überzeugung aber nicht aufgeben wollte. Es ist also durchaus erstaunlich, dass der Automat trotz Beschreibung seiner tatsächlichen Funktionsweise in verschiedenen Zeitungen und Zeitschriften, trotz vereinzelter Augenzeugenberichte, die einen Menschen aus dem Androiden haben steigen sehen, oder Berichte der unzähligen Schachspieler, die den Automaten letztlich das Leben einhauchten, über 70 Jahre lang die Gemüter bewegte (vgl. Wood 2002, S.60ff.).

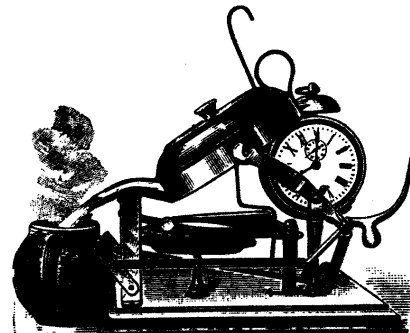
Wie kann aus Unordnung Ordnung entstehen?

Für den angenommenen Wissenschaftler erschien das Problem zu Beginn seiner Forschung als verwirrend, unüberschaubar, weder in Worte noch in Gesetze zu fassen. Die eigentliche Leistung seiner Tätigkeit besteht in der Erzeugung von Ordnung und Gesetzmäßigkeit in einem Bereich, der zunächst als ungeordnet und chaotisch erscheint. Ist die Ordnung erst einmal erzeugt, lässt sie sich schnell erzählen. Wie aber bildet der Wissenschaftler aus der Unordnung des Problems eine Ordnung? Zum Verständnis solcher Ordnungsbildungsprozesse reichen mechanis-

tische Erklärungsmodelle nicht aus, da sie nicht über die Grenzen hinausgehen können, die ihnen, durch ihre Konstruktion gesteckt sind. Sie verkörpern die *Nachbildung* einer hochkomplexen geordneten Dynamik, können deren *Entstehung* jedoch nicht nachvollziehen.



**A CLOCK THAT
MAKES TEA!**



Calls the sleeper at a given hour, automatically lights spirit lamp, boils a pint of water for tea, shaving, and other purposes, pours it into a pot, extinguishes lamp, and finally rings second bell to signify all is ready. Invaluable to Ladies, Nurses, Professional and Business Men. It is strong, simple, and in no sense a toy. Prices 25s. to 70s. Postage in United Kingdom 1s. extra. With Foreign orders sufficient postage to cover 11 lb. Weight should be sent.

Please send for Illustrated Booklet, post free from
AUTOMATIC WATER BOILER CO.,
26a, Corporation St., Birmingham.
LONDON OFFICE AND SHOWROOM—
31, George Street, Hanover Square.

Abbildung 11: Eine Uhr die Tee kocht

Zeitungsanzeige für einen Wecker, der zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Großbritannien angeboten wurde. Der Wecker war in der Lage selbstständig Tee zu kochen. Die Karikaturen (links) wurden kurz nach Erscheinen der Anzeige in der selben Zeitung veröffentlicht (Abbildungen aus Richter 1989, S. 9f. und S. 144).

Die beschränkten Verhaltensweisen der Automaten und die Ansprüche, durch diese zumindest prinzipiell die Natur des Menschen nachzubilden, reizte Künstler seit dem 19. Jahrhundert dazu, Maschinen in Karikaturen zu vermenschlichen, um so genau auf die Aspekte hinzuweisen, die dem Menschen zu eigen sind, den Maschinen jedoch fehlen (vgl. Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 11).

4.2 Formale Gesichtspunkte der klassischen Mechanik

Einfache mechanische Systeme lassen sich als lineal-kausale Ketten auffassen

Die Maschinenmetapher menschlichen Verhaltens begründete sich auf der Überzeugung, dass die Gesetze der Mechanik universellen Charakter besitzen und ausreichen, um auch komplexe Vorgänge in der belebten und unbelebten Natur zu beschreiben. Tatsächlich liefern die vorgestellten Automaten ein eindruckliches Bild von den Möglichkeiten mechanischer Handwerkskunst. Vor dem Hintergrund des naturwissenschaftlichen Wissens des 16. und 17. Jahrhunderts erschienen diese Automaten als verkleinertes Modell des komplexen Systems Natur. In diesem Sinne können auch die Automaten selbst als höchst komplexe Systeme aufgefasst werden. Dennoch bleiben sie in ihrem Verhaltensrepertoire auf vorgegebene Bewegungsabläufe beschränkt. Obwohl also in einer komplizierten Automatenfigur Hunderte von Rädern und Hebeln kunstvoll ineinander greifen und damit durchaus ein komplexes System bilden, beschränken sich die vorgesehenen Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen auf eine einfache Weitergabe von Bewegung. Das komplexe System der Automatenfiguren entpuppt sich bei genauerer Betrachtung als eine zeitlich vorwärts gerichtete *lineale* Kette von Bewegungen, die andere Bewegungen auslösen.

Der Begriff der „Linealität“ betont dabei die, wie an einem Lineal geradlinig ausgerichtete, Weitergabe von Ursachen an Wirkungen (vgl. Böse & Schiepek 1989). Das Konzept der Linealität wird häufig mit dem, in der Mathematik gebräuchlichen Begriff der *Linearität* verwechselt (vgl. z.B. die vehemente Kritik an der unpräzisen, metaphorischen und häufig widersprüchlichen Nutzung des Linearitätsbegriffes in den Sozialwissenschaften in Sokal 1999, S. 164f.). Während jedoch der mathematische Begriff die *Art* der Weitergabe von einzelnen Ursachen an bestimmte Wirkungen kennzeichnet (Lineare Beziehungen sind im Wesentlichen Proportionalitätsaussagen wie z.B. y ergibt sich aus dem zweifachen von x . Eine nichtlineare Beziehung ist z.B. gegeben durch: y ergibt sich aus dem Quadrat von x .), bezieht sich der Begriff der Linealität auf die Struktur des Systems, die für klassisch mechanische Systeme als eine endlose vorwärts gerichtete Kette ohne Rückkopplungsschleifen (das wäre dann *Nichtlinealität*) erscheint. Die Struktur, der so aufgebauten Systeme ist damit stark beschränkt. Schematisch ist sie in Abbildung 12 wiedergegeben.

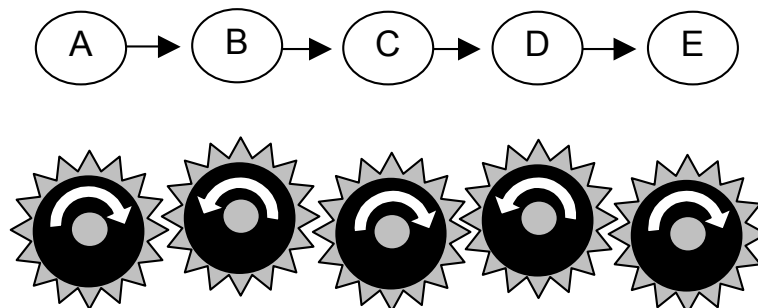


Abbildung 12: Schematische Systemstruktur: Lineale Kette

Obwohl Räderwerke in Uhren und Automatenfiguren hoch komplexe mechanische Meisterleistungen darstellen können, ist die Systemstruktur als einfache lineale Kette angelegt und damit in ihren Verhaltensmöglichkeiten stark beschränkt.

Einfachen mechanischen Systemen fehlen Rückkopplungsschleifen

Die Verhaltensmöglichkeiten von Systemen, wie sie in Abbildung 12 dargestellt werden, beschränken sich auf die Aneinanderreihung vordefinierter Bewegungsabläufe. In diesem Sinne erscheint eine Automatenfigur als nichts anderes als eine dreidimensionale, anfassbare Videoprojektion. Da der Systemstruktur Rückkopplungsschleifen (Nichtlinearitäten) fehlen, können die Automaten weder auf interne noch externe Ereignisse reagieren. Der Automat spielt sein Programm ab, ohne seine Umwelt und sich selbst wahrnehmen zu können.

Zusammenfassend können in Bezug auf klassisch mechanische Systeme folgende Aspekte hervorgehoben werden:

Systemstruktur. Die Systemstruktur klassisch mechanischer Systeme, wie sie hier am Beispiel der Maschinenmetapher menschlichen Verhaltens beschrieben wurde, ist als lineale Kette angelegt. Obwohl diese Systeme in der Lage sind, komplexe Bewegungsabläufe realgetreu nachzubilden, beschränken sie sich auf das Abspielen eines vorgegebenen Verhaltensprogramms. Rückkopplungsschleifen sind nicht vorgesehen, sodass die Automaten prinzipiell nicht in der Lage sind ihr Verhalten in Hinblick auf bestimmte Systemgrößen oder Umwelterfordernisse flexibel zu verändern.

Lineale Ketten sind funktional nicht geschlossen

System-Umwelt-Verhältnis. Das Fehlen von Rückkopplungsschleifen im Aufbau der Systemstruktur führt dazu, dass die Automaten weder auf interne Zustandsveränderungen noch auf externe Rahmenbedingungen reagieren können. In diesem Sinne besitzen diese Systeme keine definierte Schnittstelle zu ihrer Umwelt. Dennoch oder gerade deswegen sind diese Systeme Umweltveränderungen hilflos ausgesetzt. Die hier vorgestellten Automaten sind nicht in der Lage ihre Prozesse unabhängig von internen und externen Einflüssen selbsttätig aufrecht zu erhalten. Sie sind nicht in der Lage sich aktiv von ihrer Umwelt abzukoppeln. Daher strampelt ein mechanischer Hund mit seinen Beinen, auch wenn er auf dem Rücken liegt, schreibt der Schreiber ungerührt weiter, auch wenn das Tintenfass leer ist und führen klemmende Hebel und Räder zu sonderbaren Bewegungsabläufen. Es handelt sich damit um funktional offene Systeme, die nicht in der Lage sind ihre Prozesse vor Umwelteinflüssen aktiv abzugrenzen.

Insgesamt entspricht diese Konstruktionsweise den Vorstellungen des 16. Jahrhunderts, die davon ausgehen, dass das gesamte Universum als ein großes Räderwerk anzusehen ist. In diesem Sinne führt auch kein reales Lebewesen ein autonomes Eigenleben, sondern ist mit allen seinen Prozessen und Verhaltensweisen eng mit dem großen Räderwerk des Universums verzahnt.

Zeit und Ewigkeit. Aus der Perspektive eines klassisch mechanischen Weltverständnisses ergibt sich die Zukunft gesetzmäßig zwingend aus den Bedingungen der Gegenwart. Da sich die Ursachen niemals verbrauchen und jeweils nur an Wirkungen weitergereicht werden, die ihrerseits zu Ursachen für weitere Wirkungen werden, wird der Prozess des Lebens, der Evolution, die Bewegungen der Planeten in alle Ewigkeit weiterbestehen und als zwingend vorherbestimmt angesehen. Ähnlich steht es mit der Vergangenheit, die als Ursache für die Beschaffenheit der Gegenwart zwingend zurückverfolgt werden kann. In diesem Sinne besitzt keine Bewegung im Universum eine Zeitlichkeit im Sinne eines Werdens (es entsteht nichts, was nicht bereits in den Anfängen des Universums angelegt gewesen wäre) und Vergehens (weder Energie noch Materie gehen verloren).

Das gesamte Universum erscheint als ein sich ewig drehendes Räderwerk

Sowohl die Vergangenheit als auch die Zukunft sind miteinander kausal gekoppelt, sodass eine Vorhersage der Zukunft und eine Ermittlung der Vergangenheit nur ein Problem der Verfügbarkeit der nötigen Informationen, nicht jedoch ein prinzipielles Problem bereitet, wie es sich ergeben würde, wenn tatsächlich Neues entstünde oder wenn auf eine Ursache mehrere verschiedene Wirkungen folgen *könnten*. Damit erscheint das Universum und alles in ihm als großes Räderwerk, das sich ewig drehen wird. Die konsequente Anwendung des klassisch mechanischen Weltbildes auf alle Naturvorgänge führt zu unendlichen Ursache-Wirkungsketten, aus denen logisch der Laplacesche⁹ Dämon folgen muss, der, wenn es ihn gäbe, Zukunft und Vergangenheit des Universums kennte (vgl. Abbildung 26, S. 83):

Die gegenwärtigen Ereignisse sind mit den vorangehenden durch das evidente Prinzip verknüpft, dass kein Ding ohne erzeugende Ursache entstehen kann. Dieses Axiom, bekannt unter dem Namen des ‚Prinzips vom zureichenden Grunde‘, erstreckt sich auch auf die Handlungen, die man für gleichgültig hält. Der freieste Wille kann sie nicht ohne ein bestimmendes Motiv hervorbringen; denn wenn er unter vollkommen ähnlichen Umständen das eine Mal handelte und das andere Mal sich der Handlung enthielte, dann wäre seine Wahl eine Wirkung ohne Ursache: sie wäre dann, wie Leibniz sagt, der blinde Zufall der Epikuräer. Die gegenteilige Meinung ist eine Täuschung des Geistes, der die flüchtigen Gründe, welche die Wahl des Willens bei gleichgültigen Dingen bestimmen, aus dem Auge verliert und sich einredet, dass der Wille sich durch sich selbst und ohne Motive bestimmt hat.

Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Weltalls als die Wirkung eines früheren und als die Ursache des folgenden Zustands betrachten. Eine Intelligenz, welche für den gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kennte, und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Weltkörper wie des leichtesten Atoms umschließen; nichts würde ihr ungewiss sein und Zukunft wie Vergangenheit würde ihr offen vor Augen liegen. (de Laplace 1996/1814, S. 1f.)

Determinismus und Kausalität. Die Frage nach der Entstehung komplexer Ordnungsstrukturen stellt sich unter dem Blickwinkel einer auf einem strengen Determinismus begründeten Weltansicht erst gar nicht. Alles was war, ist und wird, beruht auf einer bereits „vorprogrammierten“ Gewissheit.

Mechanischen Systemen fehlt grundsätzlich die Möglichkeit zur Erklärung von Neuem, Kreativität und freiem Willen

Gehen alle Vorgänge in der Natur auf kausalgeseztliche Ursache-Wirkungszusammenhänge zurück, so kann es keine Vorgänge in der Natur geben, die grundsätzlich neu, kreativ oder von einem freien Willen initiiert sind. Unter diesem Blickwinkel unterscheidet sich ein Mechaniker, der eine Uhr oder einen Automaten (Androiden) baut, nicht von seinem Werk. Auch er ist nur ein Räderwerk im großen Räderwerk des Universums. Auch er kann nicht aus dem Determinismus vorgegebener Gesetzmäßigkeiten ausbrechen.

Die Teile und das Ganze. Komplexe Vorgänge in der belebten und unbelebten Natur werden im Rahmen eines klassisch linealen Weltbildes unter Rückgriff auf einzelne wohldefinierte Bausteine naturwissenschaftlich analysierter Gesetzmäßigkeiten zurückgeführt. Komplexität bedeutet hier die additive Verknüpfung vie-

⁹ Pierre Simon de Laplace, französischer Mathematiker (1749 bis 1827)

ler solcher Bausteine zu einem Ganzen. Das Ganze erscheint einem Beobachter nur dann als etwas komplexes, im Sinne von unüberschaubar, wenn ihm nicht alle Zusammenhänge bekannt sind. Die Komplexität des Universums ergibt sich als einfache Summe seiner Bestandteile.

Entstehung komplexer Ordnung (Organisation). Die Entstehung komplexer Ordnungsmuster in der Natur braucht im Rahmen eines mechanischen Weltbildes nicht erklärt zu werden, die komplexe Ordnung des Universums existiert bereits. Das „Uhrwerkuniversum“ mit allen seinen unzähligen Rädchen und Hebeln existiert seit Anbeginn der Welt und wird bis in alle Ewigkeit weiterbestehen. Die Ordnung der Welt ist damit gottgegeben und kann in ihrer Entstehung ohnehin nicht verstanden werden, da sie auf einen göttlichen Schöpfungsakt *ex nihilo* zurückgeht. Das Ziel eines Wissenschaftlers ist es, die komplexe Ordnung des Universums, wie er sie vorfindet, zu analysieren und zu verstehen.

4.3 Der kybernetische Ansatz

Die eingangs beschriebenen Automatenfiguren, die sich seit der Mitte des 16. Jahrhunderts einer wachsenden Beliebtheit erfreuten, wurden als Maschinen konstruiert, für die prinzipiell keine Umwelt existiert. Sie spulen, einmal in Bewegung versetzt, ein festgelegtes Verhaltensprogramm ab, ohne auf Umwelteinflüsse reagieren zu können. Damit sind sie Veränderungen in ihrer Umwelt hilflos ausgeliefert. So schreibt der Androide „der Schreiber“ auch dann weiter, wenn das Tintenfass schon lange leer ist.

Vor allem im technischen Bereich der Nutzbarmachung von Maschinenkraft ist der Umstand störend, dass einfach strukturierte Maschinen nicht auf interne und externe Veränderungen reagieren können. Mit nicht unerheblichem Aufwand mussten vielfach noch bis ins 18. Jahrhundert Windmühlen von Mensch und Tier in den Wind gedreht werden. Auch eine einfache Dampfmaschine zeigt die ungünstige Eigenschaft, dass sie unter Last bedeutend langsamer läuft. Je größer die Belastung desto mehr Dampfdruck ist nötig, um die gleiche Drehzahl zu gewährleisten.

Solch primitive Maschinen zeigen damit einen auffälligen Unterschied zu lebenden Systemen, die auf Veränderungen in ihrer Umwelt reagieren und dabei in der Lage sind, bestimmte Systemparameter unabhängig von äußeren Einflüssen in einem konstanten Rahmen zu halten.

Das Prinzip der konstanten Aufrechterhaltung bestimmter Systemparameter in sich verändernden Umwelten wurde vor allen durch die grundlegende Arbeit Norbert Wieners „*Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*“ (Wiener 1948), die als Grundlagenwerk des kybernetischen Ansatzes der Systemtheorie gilt, als *Regelkreis* beschrieben.

Negatives Feedback führt in Regelkreisen dazu, dass bestimmte Systemparameter konstant gehalten werden können

Ein Regelkreissystem führt einen ständigen Vergleich zwischen der als *Soll-Wert* festgelegten Größe eines Systemparameters und dem tatsächlichen momentanen Zustand dieses Parameters, dem *Ist-Wert* durch. Abweichungen des Ist-Wertes vom Soll-Wert wird jeweils durch sog. *negatives Feedback* begegnet. Weicht der Ist-Wert nach oben ab, so wird eine Verringerung des Ist-Wertes initiiert, weicht er nach unten ab, werden Mechanismen zu einer Erhöhung ausgelöst (vgl. Abbildung 13).

Vereinzelt wurden Regelkreise zur Aufrechterhaltung bestimmter Systemparameter bereits Anfang des 17. Jahrhunderts erdacht und eingesetzt. Erste Regelkreismaschinen waren die thermostatischen Öfen des Holländers Cornelius Drebbel¹⁰, die in der Lage waren konstante Temperaturen in Öfen, unabhängig von äußeren und inneren Einflussfaktoren (Schwankungen in der Umgebungstemperatur, wechselnde Wärmeabgabe des Brennmaterials etc.) zu realisieren. Sie dienten als Brutöfen und als Öfen für chemische Prozesse. Vermutungen weisen darauf hin, dass Drebbel Alchimist war, und durch die Nutzung der Öfen die Transmutation, das heißt die Herstellung von Gold, zu erreichen versuchte (vgl. Richter 1989).

¹⁰ 1572 bis 1633

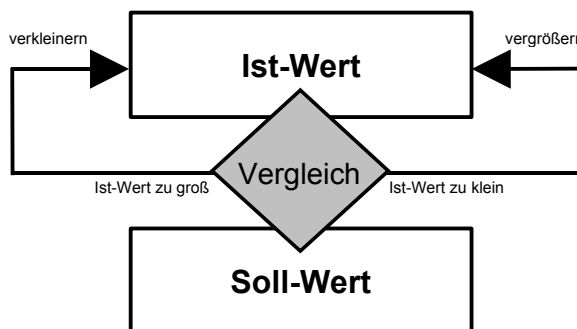


Abbildung 13: Struktur eines Regelkreismodells

Ein Regelkreissystem führt einen ständigen Vergleich zwischen der als Soll-Wert festgelegten Größe eines Systemparameters und dem tatsächlichen momentanen Zustand dieses Parameters, dem Ist-Wert durch. Abweichungen des Ist-Wertes vom Soll-Wert wird jeweils durch sog. negatives Feedback begegnet. Weicht der Ist-Wert nach oben ab, so wird eine Verringerung angestrebt, weicht er nach unten ab, wird eine Erhöhung angestrebt.

Zu Weiterentwicklungen in der Nutzung von Regelkreisen kam es im 17. und 18. Jahrhundert, z.B. durch das von William Henry¹¹ im 18. Jahrhundert vorgestellte „Sentential Register“, einem Apparat zur Temperaturregelung in chemischen Öfen, welcher bei der Porzellan- und Stahlherstellung sowie in Treibhäusern und Brutöfen eingesetzt wurde. Auch die schon länger bekannte Schwimmerregulierung zur Konstanzhaltung des Niveaus eines Flüssigkeitsspiegels in geschlossenen Gefäßen (z.B. unser heutiges WC), wurde im 18. Jahrhundert in England wieder zunehmend verwendet.

Wichtige Beiträge zur Entwicklung mechanischer Regelkreise lieferte im 18. Jahrhundert der Windmühlenbau. Ein Schmied aus Lancaster, Edmund Lee¹², ließ sich 1745 eine sich selbst in den Wind drehende Windmühle patentieren, die zudem je nach Windstärke den Anstellwinkel der Windmühlenflügel einstellen konnte.

Ebenfalls zur Regulation von Windmühlen ließ sich der Engländer Thomas Mead¹³ 1787 die Zentrifugalregelung mit Fliehkraftpendel patentieren. Diese Fliehkraftregulierung wurde später von James Watt¹⁴ verbessert und zur Dampfdruckregulation in Dampfmaschinen eingesetzt (Bernstein 2003; vgl. Abbildung 14). Der Regler besteht aus einer sich drehenden Anordnung von Gewichten, die je nach Stärke der Drehbewegung, durch die Wirkung der Fliehkraft, unterschiedlich weit nach außen drängen. Bei der Außenbewegung betätigen die beweglich gelagerten Gewichte ein Ventil, welches die Drehzahl der Dampfmaschine beeinflusst. Dreht sich die Maschine zu schnell, sorgen die auseinander fliehenden Gewichte für eine Drosselung der Maschine, dreht sie hingegen zu langsam, öffnen die Gewichte das Ventil, sodass die Maschine wieder schneller dreht. Durch die Nutzung der Zentrifugalregelung war es möglich auch bei wechselnder Belastung der Maschine konstante Drehzahlen einzuhalten.

¹¹ 1775 bis 1836

¹² Geburts- und Sterbedaten unbekannt

¹³ Geburts- und Sterbedaten unbekannt

¹⁴ 1736 bis 1819

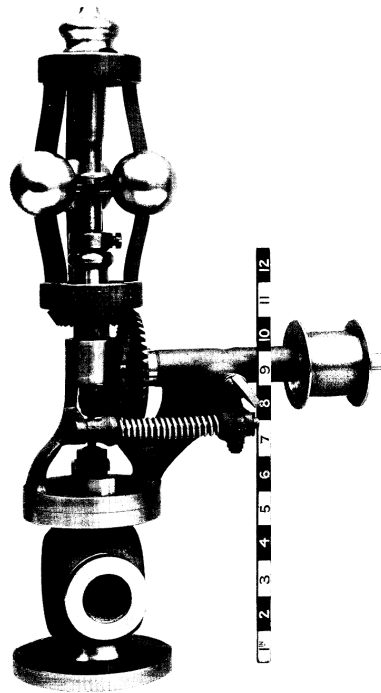


Abbildung 14: Fliehkraftregelung

Der Regler besteht aus einer sich drehenden Anordnung von Gewichten, die je nach Stärke der Drehbewegung, durch die Wirkung der Fliehkraft, unterschiedlich weit nach außen drängen. Bei der Außenbewegung betätigen die beweglich gelagerten Gewichte ein Ventil, welches die Drehzahl der Dampfmaschine regelt (Abbildung aus: Richter 1989, S. 152).

Das Denken in Regelkreisen bedeutete eine neue, höhere Form menschlichen Denkens

Das beeindruckendste und jedem Technikbegeisterten des 18. Jahrhunderts bekannte Merkmal von Dampfmaschinen bildete diese Fliehkraftregelung. Für Historiker der technischen Entwicklungen der Neuzeit gilt die Anwendung von Regelkreisen in Maschinen als neue höhere Stufe menschlichen Denkens und Planens (vgl. Richter 1989). Das Fliehkraftpendel und seine als mystisch geltenden selbstregulatorischen Eigenschaften beschäftigten in der Folge eine ganze Reihe namhafter Wissenschaftler, wie z.B. Lord Kelvin¹⁵, James Clerk Maxwell¹⁶ und Charles William Siemens¹⁷ (Bernstein 2003).

Während die Androiden des 16. Jahrhunderts ihrer Umwelt hilflos ausgeliefert sind und nur dazu befähigt sind vorgegebenes Verhalten wieder und wieder abzuspielen, sind reale Lebewesen in der Lage auf ihre Umwelt zu reagieren. Sie nutzen dazu Informationen aus der Umwelt und überprüfen, wie sich diese auf ihre Funktionsweise auswirken, um darauf entsprechend zu reagieren. Lebewesen sind im Gegensatz zu den trivialen Uhrwerkmechanismen in der Lage ihre internen Prozesse in Abhängigkeit von der Systemumwelt selbsttätig zu regulieren. Damit halten sie ihre Autonomie und Unabhängigkeit aufrecht. In diesem Sinne bilden zur Selbstregulation fähige Systeme aktiv eine System-Umwelt-Grenze aus.

¹⁵ 1824 bis 1907

¹⁶ 1831 bis 1879

¹⁷ 1823 bis 1883

Regelkreise handeln weitgehend autonom und grenzen sich damit von ihrer Umwelt ab

Innerhalb des Systems werden bestimmte Parameter selbstständig geregelt und damit von den Einflüssen der Umwelt abgekoppelt. So bleibt die Körpertemperatur des Menschen konstant auf einem Niveau, unabhängig davon, wie sich die Temperatur seiner Umwelt verändert. Damit besteht keine direkte Wechselwirkung mehr zwischen der Umgebungstemperatur und der Körpertemperatur.

Diese Abkopplung geschieht aber eben nicht dadurch, dass die Umgebungstemperatur überwacht wird, vielmehr fragt das System beständig Informationen über seinen eigenen Zustand ab und reagiert entsprechend darauf. Veränderungen in der Umwelt erscheinen aus der Sicht eines solcherart autonom operierenden Systems als Verstörungen, die das Systemgleichgewicht stören. Paradoxer Weise vermag ein solches System auf Veränderungen in der Umwelt zu reagieren, ohne dass es die Umwelt selbst beobachtet. Die Konzepte der Ausbildung einer System-Umwelt-Grenze durch Selbstbeobachtung wurden seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts zur Theorie Autopoietischer Systeme erweitert (vgl. Maturana 1982, Luhmann 1984, Maturana & Varela 1987; vgl. auch S. 167ff.).

Die Folgerungen, die sich aus der Tatsache ergeben, dass solcherart autonome und in ihrer Operationslogik geschlossene Systeme immer nur auf sich selbst und ihre Systemzustände Bezug nehmen (sog. *Selbstreferenzialität*) und die Umwelt daher nur indirekt und unspezifisch erschließen können, führte zur erkenntnistheoretischen Grundposition des Konstruktivismus (z.B. Glasersfeld 1990).

In der Natur bilden sich beständig homöostatische Gleichgewichtszustände aus

Insgesamt gehen die hier vorgestellten Folgerungen über die autonome Selbstregulation von Systemen weit über das hinaus was ein einfacher Regelkreis zu leisten vermag. Dennoch stößt die Entdeckung von Regelkreisen und deren prinzipielle Möglichkeiten die Tür auf zu einem besseren, höheren Verständnis komplexer selbstorganisierter Systeme. Das Modell des einfachen Regelkreises des 17. Jahrhunderts führte zu der Auffassung, dass das Erfolgsgeheimnis der Natur in der Aufrechterhaltung bestimmter Gleichgewichtszustände zu finden ist. Die Natur, so lautete die Überzeugung, bildet an vielen Stellen ein Gleichgewicht der Kräfte und Prozesse aus. Versucht der Mensch gestaltend einzugreifen, so hat er sich dem natürlichen Gleichgewicht zu beugen oder muss damit rechnen, dass die Natur zurückschlägt.

Bereits im 18. Jahrhundert wurden Parallelen zwischen mechanischen Regelmechanismen und den Vorgängen in Natur, Staat und Wirtschaft gesehen. So empfiehlt z.B. der *Physiokratismus*, die von François Quesnay¹⁸ entwickelte Lehre von der Herrschaft der Natur, eine von staatlicher Reglementierung unbehinderte Entfaltung der Naturgesetze auch in der Staatsführung und Wirtschaft. Quesnay empfahl Ludwig XVI. auf dessen Frage, wie er regieren solle, am besten gar nichts zu tun, sondern alles dem „Gesetz“ (dem Naturgesetz) zu überlassen.

Adam Smith¹⁹ greift diesen Grundgedanken für die Ökonomie auf, indem er postuliert, dass sich mit dem Verzicht auf alle staatlichen Begünstigungs- und Beschränkungssysteme „das klare und einfache System der natürlichen Freiheit von selbst“ einstellt (Adam Smith, zitiert nach Richter 1989, S. 145).

¹⁸ 1684 bis 1774

¹⁹ 1723 bis 1790; schottischer Nationalökonom und Philosoph

4.4 Formale Gesichtspunkte des kybernetischen Ansatzes

Wie die aufgezeigten Beispiele verdeutlichen, haben viele Grundgedanken der Kybernetik eine Tradition, die bis weit vor den Beginn ihrer formalen wissenschaftlichen Beschreibung zurückreicht. Naschold und Narr (1969) verweisen darauf, dass „über die Ahnenreihe und das Ausmaß an Originalität des kybernetischen Ansatzes zur Steuerung komplexer Systeme trefflich gestritten werden“ (S. 16) kann.

Die Kybernetik fasst Erkenntnisse der Regeltechnik, der Physiologie und Biologie sowie der Informationstheorie zu einer gemeinsamen Konzeption zusammen

Insgesamt hat sich jedoch die relativ einheitliche Meinung durchgesetzt, dass die Kybernetik eine Wiederbelebung sehr alter Belange mit völlig neuer Blickrichtung und Bedeutung darstellt (vgl. Cherry 1954, Naschold & Narr 1969). Die Kybernetik vereint verschiedenste Forschungsrichtungen in einem einheitlichen theoretischen Konzept. Kybernetische Prinzipien zur Kontrolle von Produktionsvorgängen und von Abläufen in Maschinen spielten zunächst in der *Regeltechnik*, der Theorie technischer Regelgeräte, eine wichtige Rolle. Ähnliche Phänomene wurden jedoch auch in der Physiologie und Biologie beobachtet, sodass auch hier Prozesse der Regulierung und der Homöostase in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit rückten und zunehmend mit den Prinzipien negativer Feedbackprozesse erklärt wurden. Dabei wurde vermehrt auf mathematische Modelle der Regeltechniker zurückgegriffen, um komplexe Vorgänge in und zwischen Organismen zu beschreiben.

In der Nachrichtentechnik wurden die verschiedenen Probleme der Nachrichtenübermittlung, der Kodierung und Dekodierung von Informationen und deren Störanfälligkeit formal beschrieben. Dies führte zur grundlegenden Definition des *Informationsbegriffes* durch Shannon (1948), der eine augenfällige Nähe zum physikalischen Entropiebegriff aufweist (vgl. zum Begriff der Entropie und zum Begriff der Information Gleichung 48 und S. 359f.). Dem Informationsbegriff kam in der Folge eine starke Bedeutung für die Regeltechnik, die Biologie und die Sozialwissenschaften zu. In seinem grundlegenden Werk „*Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*“ hat Norbert Wiener (1948) die Bestrebungen der verschiedenen Ansätze vereinheitlicht. Dabei geht er über eine bloße Beschreibung der Analogien hinaus, indem er diese auf eine gemeinsame theoretische Grundlage stellt.

Kybernetik kann dabei als die mit mathematischen Mitteln erfolgende Erforschung oder technische Beherrschung des Problemkreises der Aufnahme, Verarbeitung und raumzeitlichen Verbreitung von Nachrichten innerhalb oder zwischen Systemen verstanden werden, wobei davon abstrahiert wird, ob diese Systeme als physikalisch, physiologisch, biologisch oder psychologisch zu kennzeichnen sind (vgl. Naschold & Narr 1969).

Kernelemente der Kybernetik sind zum einen der Regelkreis, wie er oben bereits beschrieben wurde und die Informationstheorie (vgl. Shannon 1948), die eine grundlegende Definition des Informationsbegriffes bietet.

Zusammenfassend werden Systeme in der Kybernetik als Einheiten verstanden, die mittels negativen Feedbacks so auf Umwelteinflüsse zu reagieren vermögen, dass bestimmte Systemparameter homöostatisch auf einen Soll-Wert festgelegt bleiben.

Regelkreise zeigen das Verhalten eines Fixpunktattraktors

In der Abbildung 15 wird das Verhalten solcher Regelkreise als sog. Potenziallandschaft dargestellt (vgl. auch Abbildung 54, S. 170). Der zu regelnde Systemparameter wird durch die schwarze Kugel symbolisiert, die in einem Gefäß immer wieder den tiefsten Punkt, den Soll-Wert aufsucht. Auslenkungen aus dieser *Ruheelage* des Systems wird jeweils durch eine Gegenbewegung begegnet. Anhand der Darstellung wird zudem deutlich, dass das System nach einer verstörenden Auslenkung aus dem Gleichgewicht zunächst über das Ziel hinaus eine Pendelbewegung vollzieht und erst nach und nach, bei kleiner werdender Amplitude im sog. *Fixpunkt* zur Ruhe kommt. Ein solches Verhalten auf dem Weg in den angestrebten Systemzustand wird als *transientes* (Übergangs-)Verhalten bezeichnet.

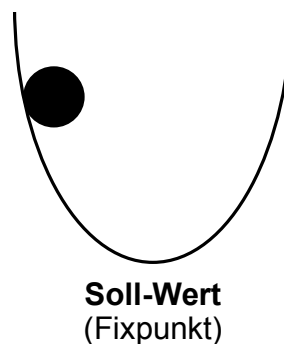


Abbildung 15:

Das Verhalten von Regelkreisen als Potenziallandschafts-Darstellung

Der zu regelnde Systemparameter wird durch die schwarze Kugel symbolisiert, die in einem Gefäß immer wieder den tiefsten Punkt, den Soll-Wert aufsucht (vgl. auch Abbildung 54, S. 170).

In neueren mathematisch-systemwissenschaftlichen Ansätzen, wie sie z.B. in Kapitel 6.2 (siehe S. 131ff.) genauer beschrieben werden, bezeichnet man einen solchen Fixpunkt als einen attraktiven Systemzustand, den das System beständig aufzusuchen bemüht ist. Dieser Systemzustand wird daher als *Attraktor*, genauer als *Fixpunktattraktor* bezeichnet. Allgemein wird unter einem Attraktor ein Bewegungsmuster verstanden, welches das System bestrebt ist einzunehmen. Im einfachsten Fall ist ein solches Bewegungsmuster durch einen Fixpunktattraktor, also eine zeitliche Konstanz gegeben.

Erst nichtlineare dynamische Systeme sind in der Lage komplexere Attraktoren auszubilden

Die Regelkreise der Kybernetik können als erste einfache Bausteine moderner mathematischer Systemtheorien verstanden werden. Im Wesentlichen gehen die Erweiterungen neuerer mathematischer Systemtheorien den Weg über eine Generalisierung des Attraktorbegriffs und damit über einen einfachen Fixpunkt hinaus. Komplexe nichtlineare dynamische Systeme sind im Gegensatz zu einfachen Regelkreisen in der Lage auch komplexe raum-zeitliche Ordnungsmuster als Attraktoren auszubilden und damit unabhängig von Umwelteinflüssen aufrecht zu erhalten.

Zusammenfassend können in Bezug auf kybernetische Regelkreissysteme folgende Aspekte hervorgehoben werden:

Systemstruktur. Regelkreissysteme nutzen negatives Feedback zur homöostatischen Regelung eines Systemparameters. Das System verfügt daher über einen Mechanismus zur ständigen Überwachung seines eigenen Systemzustandes.

Weicht der Systemzustand von einer vorgegebenen Sollgröße ab, ändert das System sein Verhalten so, dass die Sollgröße wieder erreicht wird. Die Systemstruktur ist damit kreisausal bzw. *nichtlineal* angelegt. Jeder Output des Systems wird über eine Rückkopplung zu einem Input für das System. Diese beständige Speisung des Systems mit seinem eigenen Output wird allein über negative Rückkopplungsschleifen realisiert (vgl. Abbildung 16). Nur negative Feedbackprozesse führen dazu, dass das System einen konstanten Wert einzuhalten bestrebt ist. Eine positive Rückkopplung würde hingegen zu einem Aufschaukeln des Systemparameters führen, wie es für sog. Teufelskreismodelle beschrieben wird.

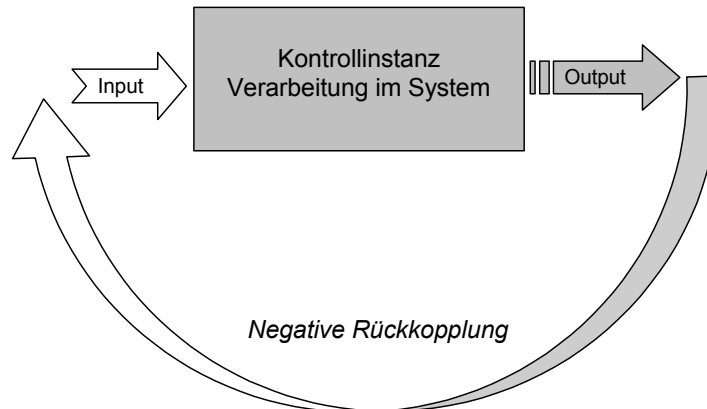


Abbildung 16: Schematische Darstellung einer einfachen Rückkopplungsschleife

Regelkreise führen beständig den Output ihrer eigenen Prozesse als Input wieder in das System ein. Dabei wird die Rückkopplung als negative Feedbackschleife realisiert.

System-Umwelt-Verhältnis. Kybernetische Regelkreismodelle sind in der Lage, unabhängig von Veränderungen in der Umwelt, bestimmte Systemparameter konstant zu halten. Dadurch koppeln sich solche Systeme zum Teil von der Umwelt ab. Sie agieren autonom und selbstregulierend. Obwohl in der Regel Veränderungen in der Umwelt eine Reaktion des Systems auslösen, erreichen solche Systeme ihre Umweltabhängigkeit durch die Beobachtung der eigenen Systemparameter. Veränderungen in der Umwelt werden vom System nur in der Form registriert, wie sie auch zu Veränderungen in den relevanten Systemparametern führen.

Zeit und Ewigkeit. Die grundlegenden Prozesse in Regelkreisen führen dazu, dass sich bestimmte Systemparameter zeitlich nicht verändern. Solche Systeme halten damit eine bestimmte, für sie „sinnvolle“ Ordnung im Verlauf der Zeit aufrecht. Durch solche Modelle sind weder ein zeitlicher Wandel noch komplexe Vorgänge wie die Herausbildung hochgeordneter raum-zeitlicher Ordnungsmuster erklärbar. Da Regelkreise eine zeitliche Konstanz und Unveränderbarkeit der Systemparameter anstreben, können sie Veränderungen, Wandel, Werden und Vergehen selbst nicht erklären. Regelkreissysteme sind insofern zeitlos, als es ihr Ziel ist sich zeitlichen Veränderungen zu widersetzen.

Determinismus und Kausalität. Kausale Zusammenhänge werden in Regelkreissystemen schwerer durchschaubar, als es für einfache lineale Ursache-Wirkungsketten der Fall ist. Ihr Verhalten ist kreisausal, da ihr eigener Output als Ursache

für einen weiteren Output dient. Der Output ist damit gleichzeitig Ursache und Wirkung seiner selbst. In einem solchen System kann nicht mehr entschieden werden was zuerst da war, der Output oder der Input. Beide sind gleichzeitig und permanent miteinander verknüpft.

Das Zerschneiden von kreisförmigen Prozessen in lineare Ketten bringt keinen Erkenntnisgewinn

Watzlawick, Beavin und Jackson (1969) verweisen für die zwischenmenschliche Kommunikation, die sie ebenfalls als kreisförmigen Prozess auffassen, darauf, dass es generell keinen Erkenntnisgewinn bringt Kreisprozesse künstlich in lineare Ursache-Wirkungsketten zu zerschneiden (vgl. z.B. Watzlawick, Beavin & Jackson 1969, Selvini-Palazzoli et al. 1978, Watzlawick & Beavin 1980/1966):

Ein Großteil der Arbeit, die in den Verhaltenswissenschaften (und vielen anderen Wissenschaften) geleistet wird, dient der Auffindung von Ursachen für bestimmte beobachtete Wirkungen. Diese Ursachen werden in geradliniger Beziehung zu ihren Wirkungen gesehen, d.h. Ereignis B geschieht (oder geschah), weil Ereignis A gerade geschieht (oder früher geschah). Da Längsschnittuntersuchungen leider die Ausnahme sind und Querschnitts- oder Zeitstichprobenuntersuchungen in unserer Forschung dominieren, ist diese Annahme nie adäquat getestet worden. Es werden jedoch – trotz der unleugbaren Gleichzeitigkeit der Beobachtung – ‚Ursache‘ und ‚Wirkung‘ so behandelt, als würden sie in geradliniger Ordnung und in der richtigen Reihenfolge auftreten. Ein wichtiges Konzept, das in dieser Theorie ignoriert wird, ist das der Rückkopplung, das besagt, dass die Information über das Ereignis B auf Ereignis A einwirkt, welches wiederum B beeinflusst usw., in einem Kreislauf von Ereignissen, die sich gegenseitig modifizieren. ...

Da psychische ‚Ereignisse‘ selten nur einmal auftreten, sondern meistens andauern und sich in verwirrender Komplexität überlagern, ist dieses Kreislauf-Modell oft angemessener als eines, das diese Ereignisse künstlich aus der komplizierten Zeitfolge, in der sie auftreten, herauslöst. Die Vorstellung einer geradlinigen Kausalität ist besonders unangemessen, wenn man sie auf die Familie anwendet ...

Da man sich der nicht zu leugnenden Tatsache gegenübersieht, dass die Mitglieder einer Familie dauernd aufeinander einwirken, wobei sie gegenseitig ihr Verhalten beeinflussen, nützt ein begriffliches Modell wenig, welches Ereignis A von Ereignis B abgrenzt, oder noch weniger, wenn es sie in eine kausale Reihe stellt. Außerdem sind solche Zielsetzungen steril, da sie letzten Endes nur unbeantwortbare Fragen aufwerfen, wie z. B., ob die Eltern eines Schizophrenen deshalb so sind, weil sie ein organisch krankes Kind haben oder ob der Patient aufgrund des Verhaltens der Eltern schizophren ist. (Jackson 1980, S. 25f.)

Die Teile und das Ganze. Regelkreissysteme können in ihrer Funktionsweise durchaus aus der Summe ihrer Einzelteile verstanden werden. Die Prozesse in Regelkreisen sind leicht überschaubar und können in ihren Funktionsprinzipien gut verstanden werden. Dennoch zwingen Regelkreissysteme dazu, den Blick von einzelnen Ursache-Wirkungsbeziehungen hin auf die Gesamtheit eines Systems zu richten. Ein Regelkreis und seine Fähigkeit umweltunabhängig bestimmte Systemparameter selbstorganisiert in Homöostase zu halten, zeigt auf, dass bestimmte Systemstrukturen zu neuen anderen Verhaltensweisen fähig sind als es isolierte Ursache-Wirkungsbeziehungen erahnen lassen. Das Wesen eines Regelkreises erschließt sich nur dem, der ihn in seiner Gesamtheit, als System betrachtet. Die Kybernetik als eigenständige Wissenschaftsdisziplin trägt dem Rechnung, indem

sie die Steuer- und Regelvorgänge in der belebten und unbelebten Natur vor den Hintergrund ihrer wechselseitigen Interdependenzen als komplexes System auffasst und damit qualitativ über die Beschreibung lineal-kausaler Ketten hinausgeht.

Entstehung komplexer Ordnung (Organisation). Im Wesentlichen beschränken sich Regelkreismodelle auf die Aufrechterhaltung einer bestimmten einfachen Ordnung, nämlich auf die homöostatische Regelung bestimmter Systemparameter. In diesem Sinne können Regelkreismodelle nicht die Entstehung neuer, komplexer Ordnungsmuster beschreiben. Zwar sind die kybernetischen Regelkreise zu einer rudimentären Form von Selbstorganisation fähig, indem sie sich von ihrer Umwelt abgrenzen und ihre Systemparameter selbsttätig regulieren, dennoch bleibt diese Selbstorganisationsfähigkeit auf eine bestimmte Form des Verhaltens beschränkt, nämlich auf die Ausbildung eines Fixpunkt-Verhaltens.

Eine weiterführende Darstellung kybernetischer Ansätze und deren Bedeutung für die Psychologie findet sich z.B. bei Dörner (1998).

4.5 Von der klassischen Mechanik zur Kybernetik – Entwicklungen in der Psychologie

In den folgenden Kapiteln wird der Frage nachgegangen, inwieweit sich die Entwicklungen der Erkenntnisperspektiven von einer klassisch mechanischen Weltansicht hin zu einer kybernetischen Weltansicht in der akademischen Psychologie widerspiegeln. Der Anspruch einer vollständigen Analyse der gesamten akademisch psychologischen Disziplin mit allen ihren Strömungen in Hinblick auf jeweils vorherrschende Forschungsparadigmen (im Sinne Thomas Kuhns²⁰, z.B. Kuhn 1973) kann hier jedoch nicht geleistet werden. Vielmehr werden einige Aspekte und Grundpositionen hervorgehoben, die als grundlegende Eckpfeiler und Bestimmungsstücke akademisch psychologischer Forschungsparadigmen angesehen werden können. Die Auswahl dieser Grundpositionen ergibt sich zum einen auf Grund ihrer Illustrationsfähigkeit für die beiden Erkenntnisperspektiven (klassisch mechanische und kybernetische Weltansicht) und zum anderen durch ihren Bezug zur Sequentiellen Plananalyse als Methode zur Mikroprozessanalyse menschlichen Verhaltens, wie sie im empirischen Teil dieser Arbeit dargestellt wird (siehe S. 492ff. und S. 509ff.).

In den folgenden Kapiteln werden zunächst der Ansatz der klassisch behavioralen Psychologie, die sich daraus entwickelnde therapeutische Schule der Verhaltenstherapie (insbesondere die klinische Verhaltensanalyse) und daran anschließend das kybernetische Modell der TOTE-Einheiten zur Erklärung menschlichen Verhaltens behandelt.

4.5.1 Klassisch behaviorale Ansätze

Das Verhalten und Erleben des Menschen in seiner Umwelt bilden definitionsgemäß den Gegenstand der modernen Psychologie. Als empirisch wissenschaftliche Disziplin bemüht sich die Psychologie ordnende Begriffe, sowie Erklärungen und Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln, die es erlauben menschliches Verhalten und Erleben zu verstehen und wo möglich vorherzusagen (z.B. Popp 1991, S. 18; Dorsch, Häcker & Stapf 1987, S. 520ff.; Rohrer 1947, S. 1-11).

Im weitesten Sinne kann das Ziel der Psychologie, als empirische Verhaltenswissenschaft, darin gesehen werden, menschliches Verhalten auf gesetzmäßig ablaufende Ursache-Wirkungsmechanismen zurückzuführen. Verhalten soll nach Maßgabe dieser Programmatik nicht als willkürlich, einem freien Willen entspringend angesehen werden, sondern vielmehr als determinierte Antwort auf eine spezifische diese Antwort auslösende Ursache.

Der grundlegende Baustein klassisch behavioraler Ansätze ist der Reflexbogen

Gesetzmäßig ablaufendes Verhalten, das durch spezifische Reize zwangsläufig ausgelöst wird, findet sich in Tieren und Menschen bereits in Form von angeborenen Reflexen. Wird einem hungrigen Hund ein Stück Fleisch vorgehalten, so führt dieses Fleischstück zwangsläufig und damit kausal determiniert zu einem angeborenen Verhalten: dem Hund läuft das Wasser im Maul zusammen. Neben diesem

²⁰ 1922 bis 1996

Speichelsekretionsreflex können noch weitere Reflexe benannt werden, die belegen, dass bestimmte Verhaltensweisen als Reflexe kausal durch spezifische Ursachen ausgelöst werden können. Solche angeborenen Reflexe demonstrieren eindrücklich, dass zumindest bestimmte Verhaltensweisen im Sinne von kausalen Ursache-Wirkungszusammenhängen beschrieben und vorhergesagt werden können.

Durch die Erklärung von Verhalten als Reflex, der auf bestimmte, den Reflex auslösende Stimuli folgt, kann jedoch zunächst nur ein sehr begrenztes Verhaltensrepertoire vorhergesagt werden. Die Zahl der angeborenen Reflexe und damit der naturgesetzlich determinierten Verhaltensweisen ist beim Menschen relativ stark begrenzt, sodass der größte Teil des Verhaltens nicht so einfach erklärt und vorhergesagt werden kann. Erst die Entdeckung des klassischen Konditionierens durch Iwan Petrowitsch Pawlow²¹ (1897; vgl. Pawlow 1953) und die Gesetze des operanten Konditionierens (von Pawlow als „*second kind of conditioning*“ bezeichnet; der inzwischen allgemeingültige Begriff „*operante Konditionierung*“ geht auf B. F. Skinner²² zurück; z.B. Skinner 1935) erlaubten es, den Reflexbegriff auf jegliches Verhalten auszudehnen.

Verhalten muss, nach den Grundannahmen des Konditionierungsparadigmas, zunächst einmal gelernt werden. Während die angeborenen Reflexe von Geburt an zwangsläufig durch bestimmte Stimuli ausgelöst werden, werden alle anderen Verhaltensweisen erst durch den Akt des Lernens gesetzmäßig mit spezifischen Reizen verknüpft. Lernen, wie es hier verstanden wird, bedeutet also den Aufbau einer gesetzmäßigen Verknüpfung zwischen einem Stimulus und einem Verhalten. Ist das Verhalten erst einmal gelernt, so wird es wie ein angeborener Reflex durch den Stimulus, mit dem es verknüpft wurde, ausgelöst.

Klassisches Konditionieren bedeutet die Verknüpfung eines indifferenten Reizes mit einem angeborenen Reflex

Das Prinzip der klassischen Konditionierung, wie es von Pawlow 1897 entdeckt wurde, beschreibt, wie angeborene Reflexe, als gesetzmäßige Antwort auf einen natürlichen Reiz, mit ursprünglich indifferenten Reizen verknüpft werden können, sodass nach der Konditionierung der ehemals indifferente Reiz das angeborene Verhalten genauso gesetzmäßig auszulösen in der Lage ist wie der natürliche Reiz.

Bei hungrigen Hunden löst beispielsweise der Anblick von Fleisch (*natürlicher, verhaltensrelevanter Reiz*) eine vermehrte Speichelabsonderung (*angeborener Reflex*) aus. Wird einem Hund mehrmals (z.B. 20 – 30 mal) kurz vor dem natürlichen Reiz, dem Fleisch, ein *indifferenter Reiz*, z.B. ein Glockenton dargeboten so kommt es zu einer Konditionierung des Speichelflusses auf diesen ehemals indifferenten Reiz. Es reicht danach aus, den Glockenton darzubieten, um die Speichelsekretion auszulösen.

Das Verfahren der klassischen Konditionierung beschreibt also, wie angeborene Reaktionen auf natürliche Reize durch die Konditionierung mit vormals bedeutungslosen Reizen zur einer neuen Ursache-Wirkungs-Kette verknüpft werden können. Neben diesem Grundprinzip können ergänzend noch weitere Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden, die hier nur kurz genannt sein sollen (vgl. z.B. Atkinson et al. 1990, S. 249ff.):

²¹ 1849 bis 1936

²² 1904 bis 1990

- Die Verknüpfung zwischen einem konditionierten Stimulus und dem Verhalten bleibt nicht unbegrenzt bestehen. Wird der konditionierte Reiz häufig ohne den zugehörigen natürlichen Reiz dargeboten, verliert sich nach und nach die konditionierte Reiz-Reaktions-Verknüpfung (*Extinction*).
- Die Verknüpfung, die zwischen einem Reiz und einer Reaktion durch eine Konditionierung aufgebaut wird, lässt in Bezug auf den Reiz eine gewisse Unschärfe zu, sodass neben dem konditionierten Reiz auch ähnliche andere Reize das Verhalten auslösen können (Prinzip der *Generalisation*).
- Wird bei der Konditionierung systematisch nur ein bestimmter Reiz zusammen mit dem natürlichen Reiz dargeboten, wohingegen ähnliche Reize ohne den natürlichen Reiz präsentiert werden, ist es möglich das Verhalten nur mit diesem speziellen Reiz zu verknüpfen (Prinzip der *Diskrimination*).
- Es lässt sich zeigen, dass auch *Konditionierungen höherer Ordnung* möglich sind, nämlich dadurch, dass auch ein konditionierter Reiz durch einen neuen ursprünglich indifferenten Reiz ersetzt werden kann.

Die Prinzipien der klassischen Konditionierung wurden vornehmlich in Tierexperimenten nachgewiesen, haben jedoch auch für die Erklärung menschlichen Verhaltens eine nicht von der Hand zu weisende Bedeutung. Obwohl Konditionierungsexperimente mit Menschen nach ethischen Gesichtspunkten abzulehnen sind, führten Watson und Rayner ein Experiment mit dem neun Monate alten Albert durch. In diesem Konditionierungsexperiment wurde Albert eine Angst gegenüber kleinen Pelztierchen wie z.B. Kaninchen oder seinem Teddybären ankonditioniert. Die natürliche Angst des Kleinkindes vor lauten und plötzlichen Geräuschen, in diesem Fall erzeugt durch einen Hammerschlag, wurde immer dann ausgelöst, wenn Albert eine kleine weiße Ratte mit seinen Fingern berühren wollte (vgl. Watson & Rayner 1920).

Die Bedeutung des klassischen Konditionierens zeigt sich z.B. bei der Genese von Angststörungen und PTSD

Obwohl die Bedeutung der klassischen Konditionierung im Alltagsbereich nicht allzu groß sein dürfte, wurde sie wiederholt in verschiedenen Bereichen nachgewiesen. Insbesondere Seligman hat auf die zentrale Rolle der klassischen Konditionierung im Zusammenhang mit Angststörungen hingewiesen (Seligman 1971). Seligman geht davon aus, dass Menschen biologisch dazu prädispositioniert sind, auf eine bestimmte Klasse von Situationen und Objekten mit Angst zu reagieren. Machen Menschen traumatische Erlebnisse mit solchen Situationen oder Objekten, so wird eine Angst-Konditionierung extrem schnell aufgebaut, die nur schwer wieder zu löschen ist (Seligman 1971, Seligman & Rosenhan 1984). Ebenfalls nach dem Paradigma des klassischen Konditionierens lässt sich die Genese Posttraumatischer Belastungsreaktionen (PTSD) verstehen (Kapfhammer 2002). Unspezifische Reize, die in einer räumlichen und zeitlichen Kontingenz zur traumatischen Reizquelle stehen, können die Qualität von konditionierten Stimuli annehmen und dann selbst bei selektivem Auftreten Furcht-, Angst-, und Panikreaktionen auslösen. Diese Verknüpfungen können als extrem intensiv und überdauernd angesehen werden, sodass sie selbst Jahre nach dem Trauma noch wirksam bleiben (Kapfhammer 2002, S. 248).

Eysenck, einer der Begründer der behavioral orientierten Verhaltenstherapie vertritt in seinen Arbeiten eine Position in der die zentrale Bedeutung der Lerngesetze besonders stark betont wird. Um den Nachweis zu erbringen, dass Sexualpräferenzen von Menschen konditionierte und damit erlernte Reaktionen sind, konditionierte

er erwachsenen Männern mittels mechanischer Stimulatoren am Penis einen Schuhfetischismus (Eysenck 1973; zur ethisch-moralischen Kritik an dieser und an anderen Arbeiten Eysencks vgl. Hirsch 1989).

Das Grundprinzip des operanten Konditionierens besagt, dass gelernt wird, was vorher zu einem Erfolg führte

Während das klassische Konditionieren das Vorhanden-Sein von natürlichen Reflexen voraussetzt, weisen die Prinzipien des *operanten Konditionierens* (Skinner 1935, 1937, 1938, 1948) diese Beschränkung nicht auf. Das operante Konditionieren, auch das *Lernen am Erfolg* genannt, lässt sich auf die einfache Formel bringen, dass jedes Verhalten, das in einer bestimmten Situation zu einem Erfolg führte, also belohnt wurde, in der Folge mit dieser Situation gesetzmäßig verknüpft wird.

Dem Prinzip des operanten Konditionierens wurde eine universelle Bedeutung für jedes Verhalten von Menschen und Tieren zugesprochen. Jedes menschliche Verhalten, so lautete die Überzeugung, wird gesetzmäßig durch bestimmte Stimuli ausgelöst mit denen es zuvor durch eine Belohnung verknüpft worden war. Demnach lassen sich gelernte Verhaltensweisen durch die Darbietung der passenden Stimuli gesetzmäßig hervorrufen und im Rahmen von Ursache-Wirkungs-Ketten vorhersagen. Menschliches Verhalten wird nach dieser Modellvorstellung vollständig durch äußere Stimuli gesteuert und ist in seinem Auftreten ausnahmslos determiniert.

Innerpsychische Einflüsse sind generell verzichtbar

Auch zum Zeitpunkt des erstmaligen Ausführens einer Handlung müssen keine innerpsychischen Prozesse, wie z.B. die mentale Planung einer möglicherweise erfolgreichen Handlung angenommen werden. Es reicht davon auszugehen, dass sich ein Individuum, wenn es sich einer neuen Situation gegenüber sieht, zufällig verhält. Kommt es dabei zu einem Verhalten, welches von der Umwelt belohnt wird, so wird es gelernt. Edward Lee Thorndike²³ formuliert dies 1911 als das *Gesetz des Effektes*, nach dem der Erfolg eines Verhaltens in Richtung auf einen angestrebten Zustand für das Erlernen des Verhaltens verantwortlich ist (vgl. Thorndike 1911, 1913, 1932).

Probleme aus dieser Definition ergeben sich jedoch durch ihre Zirkularität. So kann letztlich alles als Erfolg gewertet werden, was zum Lernen eines Verhaltens führt. Was eine Person als Erfolg oder Belohnung deutet ist individuell sehr unterschiedlich und objektiv nicht vorab bestimmbar.

Die Kausalaussage, dass ein erfolgreiches Verhalten zum Erlernen des Verhaltens führt kann nicht zur Vorhersage des Lernerfolges genutzt werden, da erst im Nachhinein sichtbar wird, nämlich erst durch das tatsächliche Lernen des Verhaltens, was die Person als Belohnung ansieht. Ähnliches gilt auch für die ein Verhalten auslösenden Stimuli. Letztlich können beide Aspekte nur von der jeweiligen Person introspektiv benannt werden.

Eine gezielte experimentelle Manipulation der Umwelt erlaubt das Aufdecken des gesamten menschlichen Verhaltensrepertoires

Die Möglichkeit, menschliches Verhalten kausal gesetzlich auf in der Umwelt verortete Stimuli zurückzuführen bedeutete für die Psychologie behavioristischer Ausrichtung sich als Zweig der modernen Naturwissenschaften zu verstehen. Die Beschreibung von Verhalten mittels der Prinzipien des klassischen und operanten Konditionierens ermöglicht es in der empirischen Arbeit auf Introspektion, Selbsterforschung und ähnlich unsichere Methoden zu verzichten. Da Verhalten gesetzmäßig durch in der Umwelt sichtbare Stimuli ausgelöst wird, kann auf die Be-

²³ 1874 bis 1949

schreibung innerpsychischer Prozesse verzichtet werden. Da die Quelle der Verhaltenssteuerung nicht mehr im Menschen sondern in dessen Umwelt verortet wird, kann durch die gezielte Manipulation dieser Umwelt menschliches Verhalten im Rahmen von Experimenten nach dem Modell der isolierenden Variation systematisch erforscht werden.

Als einer der Ersten erkannte Thorndike diese methodischen Möglichkeiten. Er entwickelte ein standardisiertes experimentelles Vorgehen zur empirischen Prüfung von Lerngesetzen bei Tieren (z.B. Thorndike 1911). Thorndikes experimenteller Ansatz war objektiv, quantitativ und reproduzierbar:

In this work (gemeint ist Thorndike 1911), Thorndike was also a methodological innovator, developing a general experimental technique that was to revolutionize the psychological study of animal behavior. As described by a prominent modern researcher, Thorndike's approach to method 'was *objective*: it minimized the influence of the observer...

quantitative: the course of learning could be measured accurately in terms of the time taken for the appearance of the correct response on each trial...

reproducible: the work of one investigator could be repeated and verified by others...

flexible: the responses required could be varied in kind and complexity...

natural:...the problems presented ... were not too remote from the animal's ordinary course of life... [and]

convenient: a large enough sample of animals could be studied to provide a representative picture of each of a variety of species'.

(Bitterman 1969, zitiert nach Wozniak 1999)

1913 begründet Watson den Behaviorismus

1913 fasste John Broadus Watson²⁴ die Erkenntnisposition der behavioral orientierten Psychologie in einem Manifest zusammen, mit dem er praktisch über Nacht den Behaviorismus begründete.

Psychology as the behaviorist views it is a purely objective experimental branch of natural science. Its theoretical goal is the prediction and control of behavior. Introspection forms no essential part of its methods, nor is the scientific value of its data dependent upon the readiness with which they lend themselves to interpretation in terms of consciousness. (Watson 1913)

Für Watson kann bei gezielt geplanten systematischen Experimenten auf Introspektion gänzlich verzichtet werden. Durch systematische Variation einzelner Umweltbedingungen, bei gleichzeitiger Konstanthaltung aller anderen Variablen, gelingt es auslösende Stimuli ebenso zu identifizieren wie auch die jeweiligen Verstärker des Verhaltens.

Die Prinzipien der „objektiven Psychologie“ wurden schon früh in einen therapeutischen Kontext übertragen

Schon früh gewannen die Behavioristen einen Einfluss auf praktische Anwendungsgebiete, vor allem in der Pädagogik und der Behandlung von psychisch gestörten Patienten bzw. Patientinnen. Die Ergebnisse der „objektiven Psychologie“ wurden direkt in der Praxis genutzt. Watson selbst beteiligte sich daran und supervidierte Untersuchungen zum Abbau von Ängsten bei Kindern, die von Mary Cover Jones²⁵ in den frühen zwanziger Jahren durchgeführt wurden. Als Möglich-

²⁴ 1878 bis 1958

²⁵ 1897 bis 1987

keiten der Behandlung wurden Konfrontation mit dem gefürchteten Objekt, Re-konditionierung durch positive Reize (z.B. Süßigkeiten) und der Aufbau positiver Verhaltensweisen gegenüber dem angstauslösenden Objekt durch Imitation des Verhaltens des Versuchsleiters erprobt. Am wirkungsvollsten stellten sich die Re-konditionierung und die Imitation heraus (Jones 1924).

Reiz-Reaktions-Verknüpfungen sind mehr Interpretation als physiologische Tatsache

Letztlich führte die Deutung der von Pawlow beobachteten Phänomene zu einer naturwissenschaftlichen Begründung psychologischer Forschungsansätze. Es ist in diesem Zusammenhang spannend zu beobachten, wie Pawlow diese Interpretation durch einen geschickten Schachzug gelingen konnte. Während die damalige Psychologie weitgehend von assoziations-theoretischen Ansätzen geprägt war, die damit klar auf innerpsychischen Prozessen aufbauten, interpretierte Pawlow den Verhaltensaufbau in Tieren als rein mechanischen Vorgang der Verknüpfung eines Reizes mit einer Reaktion, obwohl es naheliegend gewesen wäre, den Speichelfluss seiner Hunde als kognitive Leistung zu interpretieren, die sich in Erwartung des Futters einstellt. Pawlows mechanistische Interpretation des Phänomens macht die Annahme von Antizipation und Kognition unnötig und ebnete so den Weg der Psychologie in die Naturwissenschaften (vgl. Kriz 1994, S. 121).

4.5.2 Der Behaviorismus und die klassische Verhaltenstherapie

Die Begründung der Verhaltenstherapie in den vierziger und fünfziger Jahren griff zunächst auf die vorliegenden Lerntheorien der Behavioristen zurück. Insbesondere der Arbeitsgruppe um Burrhus Frederic Skinner (z.B. Lindsley, Skinner & Solomon 1953) ging es um den Aufbau neuer Fertigkeiten nach Maßgabe des operanten Konditionierens. Die Südafrikaner Arnold A. Lazarus (z.B. 1958), Joseph Wolpe²⁶ (z.B. 1958), sowie die „Maudsley-Gruppe“ um den Engländer Hans Eysenck²⁷ (z.B. 1959) versuchten hingegen Behandlungsmethode zu entwickeln, die die Erkenntnisse der Experimentalpsychologie im Bereich des Lernens für die Behandlung psychischer Krankheiten zur Anwendung bringen sollten. Dabei wählten sie zunächst einen Schwerpunkt im Abbau von Ängsten und Neurosen (vgl. Kriz 1994, S. 134).

Die praktischen Möglichkeiten der Lerntheorie bei der Behandlung von Klienten stellten sich jedoch schon in den historischen Anfängen der Verhaltenstherapie als zu einschränkend heraus. Viele Praktiker nutzten schon bald Techniken aus anderen therapeutischen Ansätzen und zeigten sich recht innovativ bei der Erfindung von Methoden deren theoretische Begründung oftmals im Dunklen blieb (vgl. Kriz 1994, S. 150).

Die Integration von kognitiven Techniken in den 60er Jahren führte zur kognitiven Wende in der Verhaltenstherapie. Die meisten kognitiven Ansätze wurden so übernommen, dass sie mit den alten, behavioralen Lerntheorien kombiniert werden konnten oder diese ergänzten.

²⁶ Geb. 1915

²⁷ 1916 bis 1997

Obwohl die unmittelbaren Therapieziele einer heutigen ‚kognitiv orientierten‘ Verhaltenstherapie überwiegend im Bereich der Grundeinstellungen liegen (z.B.: sich selbstsicher zu fühlen, statt: sich selbstsicher zu verhalten) und obwohl ... die Lerntheorien in der heutigen VT fast nur noch mit kognitiven ‚Ergänzungen‘ verwendet werden, ist die VT doch verhaltensorientiert geblieben (Maderthaner 1994, S. 111).

Aufbauend auf D’Zurilla und Goldfried (1971) lassen sich heute im Verhaltenstherapeutischen Prozess sechs bis sieben Stufen unterscheiden. Frei nach Kanfer, Reinecker und Schmelzer (2000, S. 138ff.) sind dies:

1. **Schaffung günstiger Ausgangsbedingungen.** Erste Informationssammlung, Aufbau einer kooperativen Arbeitsbeziehung zwischen Therapeut und Patient, Abklärung der beiderseitigen Therapieerwartungen.
2. **Analyse und Aufbau von Änderungsmotivation.** Reduktion von Demoralisierung und Resignation, erste „Ziel- und Wertklärung“, vorläufige Auswahl von Änderungsbereichen.
3. **Durchführung von Problem- und Bedingungsanalysen.** Zusammenhänge zwischen den Problemen sowie Ober-, Unter- und Hintergrundprobleme werden aufgedeckt. Die funktionalen Bedingungen sowie die strukturellen und kontextuellen Hintergründe wichtiger Symptome werden analysiert.
4. **Vereinbaren therapeutischer Ziele.** Klären von Änderungszielen und gemeinsame Zielanalyse: Welche Unterziele dienen welchen Oberzielen?
5. **Planung, Auswahl und Durchführung spezieller Methoden.**
6. **Evaluation therapeutischer Fortschritte.** Beurteilung, ob die angestrebten Änderungen eintreten; eventuell Zurückgehen auf frühere Prozess-Stufen.
7. **Stabilisierung und Transfer therapeutischer Fortschritte.** Einüben, Bearbeiten ähnlicher Probleme, Erlernen selbständigen therapeutischen Vorgehens, Übergang zum nächsten Therapieabschnitt mit Stufe 3 oder Beendigung der Therapie (vgl. Maderthaner 1994, S. 112f.).

Der Ansatz der Verhaltenstherapie mit allen seinen Strömungen kann hier nicht erschöpfend dargestellt werden. Hier soll vielmehr festgehalten werden, in wie weit die Vorstellungen einer behavioral orientierten Grundlagenpsychologie in den therapeutischen Ansatz integriert wurden.

Problem- und Bedingungsanalyse sind eine konkrete Übertragung des behavioralen Paradigmas in die klinische Diagnostik

Die Problem- und Bedingungsanalyse, wie sie in der dritten Stufe einer verhaltenstherapeutischen Behandlung vorgesehen ist (siehe oben) begründet sich im Wesentlichen auf den theoretischen Grundannahmen klassisch behavioraler Positionen. Ihr kommt auch in der heutigen Verhaltenstherapie eine wichtige Bedeutung zu (vgl. Reinecker 1991, S. 131, der darauf verweist, dass eine verhaltenstherapeutische Intervention immer auf einer „sauberen und konsequenten“ Bedingungsanalyse beruhen müsse.), obwohl verschiedene andere Konzepte diskutiert wurden und werden²⁸. In der Literatur findet sich häufiger die Bezeichnung *Ver-*

²⁸ Insbesondere sei hier auf die Plananalyse verwiesen, die als vertikale Verhaltensanalyse von Grawe in die Verhaltenstherapie eingeführt wurde (Grawe & Dzielwas 1978; vgl. auch Caspar & Grawe 1982, Caspar 1986, 1987, 1989). Eine Weiterentwicklung der Plananalyse zu einem prozessuralen Erhebungsinstrument, der sog. Sequentiellen Plananalyse (Köhler 1992, Richter 1993, Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995) führte zu den in dieser Arbeit analysierten Daten. Eine ausführliche Darstellung findet sich in Kapitel 10 (siehe S. 492ff.).

haltensdiagnostik als Problem-, bzw. Bedingungsanalyse (häufig auch funktionale Bedingungsanalyse genannt). Daher wird im Folgenden von Verhaltensdiagnostik die Rede sein, auch wenn heute damit nicht nur das Verhalten sondern auch das Erleben der Klienten gemeint ist. In der Diskussion um diagnostische Verfahren in der Verhaltenstherapie werden generell zwei Konzepte unterschieden (z.B. Barrios & Hartmann 1986 in Anlehnung an Pawlik 1976):

1. Zum einen sei auf die *Eigenschaftsdiagnostik* verwiesen:
Gemessen an allgemeinen Normen sollen interindividuelle Unterschiede im Sinne eines Ist-Zustandes erfasst werden.
2. Zum anderen kann von der Eigenschaftsdiagnostik die *Verhaltensdiagnostik*, mit dem Ziel der Veränderungsmessung unterschieden werden:
Diese Form der Diagnostik ist kriteriumsorientiert. Als Kriterium wird z.B. ein problematisches Verhalten eines Klienten exakt definiert und dann das Auftreten dieses Verhaltens in verschiedenen Situationen ausgezählt. Ein weiteres Ziel ist das Inventarisieren von Verhaltensweisen um ein Verhaltensrepertoire des Klienten zu erhalten. Zudem sollen direkt Behandlungsinformationen gewonnen werden, die es erlauben z.B. den bisherigen Erfolg der Behandlung einzuschätzen.

Reinecker-Hecht und Baumann (1990) zeigen eine Reihe von Unterschieden zwischen eigenschaftsdiagnostischen und verhaltensdiagnostischen Verfahren auf. Resümierend kommen sie zu dem Schluss, dass die Unterschiede zwischen beiden Ansätzen häufig überbewertet werden. Vielmehr handle es sich um unterschiedliche Akzentuierungen mit teilweise vergleichbaren Lösungsansätzen. Dennoch sollen hier vier wesentliche Unterschiede kurz ausgeführt werden (vgl. Reinecker-Hecht & Baumann 1990, S. 59ff.):

1. Stabilität versus Veränderung.
 - *Eigenschaftsdiagnostischen* Methoden ist es gemein, dass sie stabile, überdauernde Eigenschaften einer Person erfassen. Therapeutisch erwünschte Veränderungen sind in diesem Modell nur schwer konzipierbar. Daraus folgt zudem die Feststellung, ob eine Person als „gestört“, bzw. außerhalb der Norm liegend angesehen werden kann oder nicht.
 - *Verhaltensdiagnostische* Verfahren richten ihren Fokus hingegen auf Veränderungsprozesse. Damit stehen sie therapeutischen Interventionen näher als die Eigenschaftsdiagnostik. Aber auch angestrebte Veränderungen zielen letztlich auf die Veränderung stabiler Störungsmuster und damit im weitesten Sinne auf Eigenschaften.

In der *Eigenschaftsdiagnostik* werden situationsunabhängige und zeitlich überdauernde „Traits“ als Ausdruck der Persönlichkeit eines Klienten angenommen und identifiziert. Hingegen werden in der *Verhaltensdiagnostik* die situativen Bedingungen für das Auftreten bestimmter Verhaltensweisen betont und analysiert, womit Verhaltensmodifikationen durch die Variation der Umwelt induziert werden können.

2. Normal versus gestört.

- Die *eigenschaftsdiagnostische* Feststellung einer von der Norm abweichenden Eigenschaft einer Person führt letztlich zu der Klassifikation der Person als „gestört“. Gründe für eine Normabweichung werden in der Person verortet.
- In der *Verhaltensdiagnostik* werden Verhaltensweisen und Symptome im Rahmen eines allgemeinen theoretischen Modells gedeutet, welches Erklärungen für die Entstehung und Aufrechterhaltung der Symptome anbietet. Im Rahmen der Lerntheorien werden Symptome als erlerntes Verhalten aufgefasst. In diesem Sinne erscheint nicht eine Person als „gestört“, sondern als Opfer dysfunktionaler Lernerfahrungen. Das theoretische Erklärungsmodell der Verhaltensdiagnostik kann sowohl das Erlernen dysfunktionaler als auch funktionaler Verhaltensweisen erklären wodurch die Unterschiede zwischen beiden nicht mehr in der Person selbst verortet werden.

3. Unterschiede in den Untersuchungsverfahren.

Die unterschiedlichen Ziele der beiden Vorgehensweisen schlagen sich auch in der angewandten Methodik nieder:

- Da es das Ziel der *Eigenschaftsdiagnostik* ist, die Klassifikation einer Abweichung von der Norm bei gleichzeitiger Ausblendung situativer Variablen vorzunehmen, kommen klassische teststatistische Verfahren zur Anwendung. Die Güte der diagnostischen Instrumente wird demnach von Kriterien wie Reliabilität, Objektivität, Normierung und Validität bestimmt. Die teilweise Unvereinbarkeit von Reliabilität und Validität und der große Aufwand bei der Bestimmung der Validität eines diagnostischen Instrumentes führt dabei häufig zu einer Optimierung der Reliabilität und zu einer Abschwächung der Validität (vgl. z.B. Lienert & Raatz 1994).
- *Verhaltensdiagnostische* Verfahren finden sich nicht in gleicher Vielfalt wie eigenschaftsdiagnostische Methoden. Aber auch häufig eingesetzte verhaltensdiagnostische Modelle sind weder ausreichend auf Validität noch auf Reliabilität geprüft (Reinecker-Hecht & Baumann 1990, S. 60). Aus diesem Grunde werden in der verhaltenstherapeutischen Behandlung seit einigen Jahren vermehrt überindividuelle Modelle der Verhaltensdiagnostik genutzt. Ausgehend von einer Klassifikation der Störung des Klienten nach z.B. dem DSM (Diagnostic and Statistical Manual) werden allgemeine Bedingungen für die Entstehung und Aufrechterhaltung der Krankheit angenommen, die aus umfassenden anamnestischen Untersuchungen und zum Teil aus klinischen Experimenten gewonnen wurden (zur Diskussion über das Für und Wider individueller Fallkonzeptionen vgl. Caspar & Grawe 1996). Aber vor allem bei komplexen oder schwer durchschaubaren Symptomen bzw. Problemen ist die Verhaltensdiagnostik in ihrer ausführlichen Form nach wie vor ein notwendiger Ausgangspunkt des verhaltenstherapeutischen Problemlöse-Prozesses (vgl. Reinecker 1991, S. 131; Maderthaner 1994).

4. Theoretische Verankerung.

- Die Verankerungen *eigenschaftsdiagnostischer* Instrumente im Rahmen theoretischer Modelle und Grundannahmen über z.B. die Bedeutung oder das Zustandekommen von Abweichungen, aber auch die konkrete Definition der zu messenden Merkmale, sind so vielgestaltig wie die Instrumente selbst (vgl. in diesem Zusammenhang z.B. die zwei Faktoren der Persönlichkeit nach Eysenck 1953, Eysenck & Rachmann 1971, die sechzehn Faktoren nach Cattell 1986 oder die fünf Faktoren nach McCrae & Costa 1987).
- In der klassischen Form der *Verhaltensdiagnostik* geht es darum die einem Symptom zeitlich unmittelbar vorausgehenden und nachfolgenden Bedingungen aus lerntheoretischer Sicht zu analysieren. Sie werden interpretiert als das Symptom auslösende und aufrechterhaltende Stimuli. Obwohl im Zuge der Weiterentwicklung (siehe unten) der klassischen Verhaltensdiagnostik auch Erweiterungen des theoretischen Grundmodells vorgenommen wurden, stützt sich die Verhaltensdiagnostik auch heute noch stark auf das theoretisch im Behaviorismus verankerte Grundmodell der Reiz-Reaktionsverknüpfung.

Im Zuge der kognitiven Wende werden auch innerpsychische Prozesse als Reiz-Reaktions-Verknüpfungen interpretiert

In der klassischen, behavioral orientierten Verhaltenstherapie blieb die Verhaltensdiagnostik auf motorische und physiologische Reaktionen beschränkt. Im Zuge der kognitiven Wende in der Verhaltenstherapie kam es zu einer Differenzierung des Konzeptes, sodass es möglich wird drei Reaktionstypen zu unterscheiden:

1. *Reaktionen auf der externen Ebene*, wie motorische und behaviorale Reaktionen.
2. *Physiologische Reaktionen* im Bereich des körperlichen und der Psychosomatik.
3. Reaktionen auf der kognitiven Ebene.

Nach Kanfer und Karoly (1972) werden zudem drei Stimulusvarianten, bzw. Einflussbereiche auf das menschliche Verhalten, als α -, β - und γ -Variablen unterschieden. Dabei umfassen die α -Variablen situationale Einflüsse. Die β -Variablen fassen innerpsychische, selbsterzeugte und gelernte Stimuli als Auslöser und Verstärker zusammen. Mit γ -Variablen werden biologische Bedingungen bezeichnet (vgl. Kanfer & Karoly 1972). In späteren Arbeiten wurde dieses Modell dann um Aspekte der Selbstregulation erweitert (vgl. Abbildung 17; Reinecker 1991, S. 130; Kanfer, Reinecker & Schmelzer 2000).

Für eine umfassende Analyse sowohl des symptomatischen Verhaltens als auch der auslösenden bzw. aufrechterhaltenden Bedingungen ergibt sich aus diagnostischer Sicht die Notwendigkeit adäquater Situationsstichproben. Schon Watson hatte 1913 für den Verzicht auf introspektive Daten, zu Gunsten umfassender Verhaltensstichproben, unter kontrollierten situationalen Bedingungen plädiert.

**Die Grundformel des Verhaltens lautet:
S → (O+C) → R → K**

Als Grundlage vieler verhaltensdiagnostischer Verfahren dient die „verhaltensanalytische Methode“ nach D’Zurilla und Goldfried (1971, Goldfried & D’Zurilla 1969) in der auf konkrete Situationen und Ereignisse Bezug genommen wird. Der Klient hat zu den Situationen und Ereignissen Stellung zu nehmen und seine Reaktionen zu beschreiben. Der behaviorale Ansatz geht in der Regel von einer direkten

Beobachtung der relevanten Verhaltensweisen aus, wobei natürlich nur eine begrenzte Stichprobe von Situationen und Ereignissen dargeboten werden kann. Aus der unermesslichen Vielzahl von Situationen und Ereignissen, mit denen Menschen im Alltag konfrontiert werden gilt es also eine möglichst repräsentative Stichprobe zu wählen. Aus den beobachteten Verhaltensweisen wird dann auf Verhaltenswahrscheinlichkeiten unter den gegebenen situationalen Bedingungen geschlossen. Jedoch muss die Verhaltensdiagnostik dabei meistens auf berichtetes Verhalten zurückgreifen, ein Vorgehen, welches zu der Frage führt, in wie weit eine Übereinstimmung zwischen verbaler Aussage über ein Verhalten und dem tatsächlichen Verhalten in der fraglichen Situation angenommen werden kann.

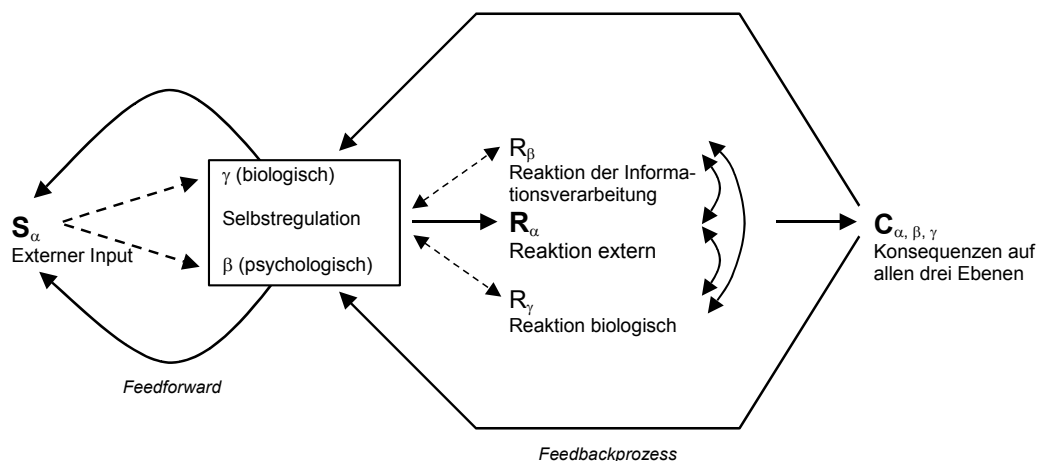


Abbildung 17: Selbstregulationssystem

Das klassische, allein auf beobachtbarem Verhalten fußende behavioristische Modell (vgl. Abbildung 18) wird in neueren Ansätzen (vgl. z.B. Kanfer, Reinecker & Schmelzer 2000) um innerpsychische und biologische Ebenen ergänzt. Der hohe Abstraktionsgrad des Modells macht es aber im therapeutischen Kontext nicht immer leicht, sich konsequent darauf zu beziehen (Reinecker 1991, S. 130). Zudem werden in dem Modell zwei Feedbackprozesse unterschieden. Der Feedforwardprozess beeinflusst die Wahrnehmung und den Einfluss von Umgebungsreizen. Der Feedbackprozess geht hingegen von den Konsequenzen der gezeigten Reaktionen aus und kann als korrigierendes Feedback interpretiert werden. Kanfer und Karoly (1972) unterscheiden neben dem Feedforward zwei Feedbackprozesse. Die erste Feedbackschleife vergleicht die gezeigte Reaktion mit persönlichen Standards und die zweite vergleicht die Konsequenzen des Verhaltens mit den vorherigen Erwartungen (Abbildung nach Kanfer, Reinecker & Schmelzer 2000, S. 39; vgl. auch Reinecker 1991, S. 130).

Die genannten Probleme führen zu der Forderung die gewonnenen Hypothesen laufend im Rahmen des therapeutischen Prozesses zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Flankierend soll zur Absicherung der Verhaltensdiagnostik, wo möglich, auch auf klassisch diagnostische Methoden der Eigenschaftsdiagnostik zurückgegriffen werden, die den üblichen Gütekriterien (Reliabilität, Validität, Objektivität, Normierung) genügen.

Insgesamt dient die verhaltensdiagnostische Methode der Auswahl an Informationen, auf deren Grundlage der therapeutische Prozess geplant werden kann. Damit sollte die Güte dieser Methoden vornehmlich über ihre Nützlichkeit für den Therapieprozess beurteilt werden (vgl. in diesem Zusammenhang die Einteilung psychologischer Theorien nach Foppa 1984).

Die derzeit übliche Form der Verhaltensanalyse orientiert sich an der folgenden Formel. Ein Beispiel für eine nach diesem Grundmodell durchgeführte Verhaltensanalyse findet sich in Tabelle 1 (siehe folgende Seite).

$$S \rightarrow O + C \rightarrow R \rightarrow K$$

S = Externe Ausgangssituation, Auslösereize (Stimulus)

O = vermittelnde Organismusvariablen (Organism)

C = vermittelnde Kognitionen (Cognition)

R = symptomatische Reaktion (Response)

K = verstärkende oder bestrafende Konsequenzen

Abbildung 18: Grundformel des Verhaltens

Die grau unterlegten Bestimmungsstücke sind nicht direkt beobachtbar. In der klassischen „objektiven“ Psychologie Watsonscher Prägung fehlen sie daher auch.

Der Grundformel des Verhaltens fehlen Rückkopplungsschleifen

In der dargestellten Grundformel des Verhaltens werden Wechselwirkungen mit der Umwelt und den möglichen Symptomebenen nicht sichtbar gemacht. Dies hat allerdings weitreichende Folgen für die Interpretation. Das zu Grunde liegende einfache lineal-kausale Modell stützt sich auf eine kausale Abfolge, die allein in einer Richtung orientiert ist (horizontale, serielle Ausrichtung). Es wird damit eine zeitliche Abfolge suggeriert, die das Individuum zum Opfer seiner Umwelt macht. Verhaltensweisen werden durch Situationen ausgelöst. Wohl sind vermittelnde Organismusvariablen und Kognitionen zwischengeschaltet, Aktivitäten auf dieser Ebene werden jedoch zeitlich den auslösenden Stimuli nachgeordnet und erst durch diese ausgelöst. Es kann für menschliches Verhalten jedoch als sehr wahrscheinlich gelten, dass Kognitionen, Emotionen und physiologische Bedingungen erst dazu führen, bestimmte Umweltstimuli aufzusuchen (vgl. z.B. Caspar & Grawe 1982, Grawe 1987b, 1988, Caspar 1989).

Vielfach wird betont, dass eine grundsätzliche Rekursivität dem Modell implizit sei, so wirken die Konsequenzen direkt zurück auf den Organismus, die Kognitionen oder auf die Stimuli, die sich durch die gezeigten Reaktionen verändern können. Erweiterungen der Grundformel durch die Selbstmanagementtheorie (z.B. Kanfer, Reinecker & Schmelzer 2000) gehen dazu über, Wechselwirkungsprozesse explizit zu verdeutlichen und im Modell sichtbar zu machen (vgl. Abbildung 17, S. 62).

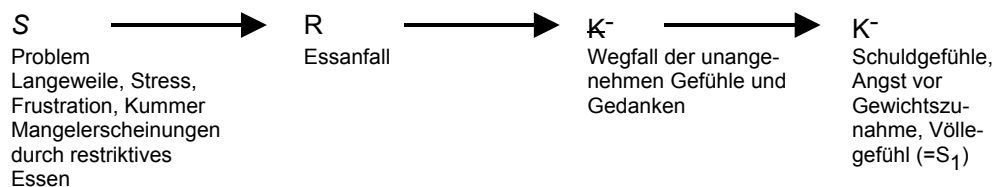
In der Praxis der Verhaltensanalyse werden diese Möglichkeiten jedoch nur sehr selektiv genutzt (vgl. Reinecker 1991, S. 130). Die konsequente Beachtung von Wechselwirkungen zwischen allen Ebenen kann letztlich nur zu der Erkenntnis führen, dass Verhaltensanalysen prinzipiell unmöglich sind. Der Wunsch Verhalten lineal-kausal zu interpretieren ist nur erfüllbar, wenn die Wechselwirkungen aufgebrochen werden zu einer Kette, die eine Verursachung am Anfang und ein Verhalten am Ende aufweist. Aber auch dieses Modell kann unweigerlich zu einer verwirrenden Unübersichtlichkeit führen, sobald der einfache Fall einer Interaktion zwischen nur zwei Personen betrachtet wird (vgl. die folgende Abbildung 19).

Fallbeispiel zur Verhaltensanalyse – Analyse eines Einzelsymptoms

Die 26jährige Patientin arbeitet als Sprechstundenhilfe und schildert täglich Essanfälle nach Dienstschluss in ihrer eigenen Wohnung; zum Wochenende können diese auch bei Besuchen in der elterlichen Wohnung und öfters (zwei bis viermal) auftreten. Die Patientin isst während eines Essanfalles entweder direkt aus dem Kühlschrank oder Vorratsschrank oder vor dem Fernsehgerät, wohin sie sich dann die jeweiligen Vorräte mitnimmt und aus der Verpackung heraus isst. Bevorzugte Lebensmittel während solcher Attacken sind kalorienreiche Speisen wie Brot, Butter, Käse, Wurst und diverse Süßigkeiten, welche alle ohne besondere Zubereitung zu ‚genießen‘ sind. Wenn die Patientin Besuch erhält, ausgeht oder verreist, treten keine Essanfälle auf. Zwischen den Anfällen isst sie, um ihr Gewicht einigermaßen zu halten oder wegen Magenschmerzen sehr wenig bzw. hält sich an kalorienarme Diätvorschriften (sie isst etwa kein Frühstück aufgrund noch herrschenden Völlegefühls und ‚schlechten Gewissens‘ und auch über den Tag verteilt nur Kaffee, Joghurt, Knäckebrötchen, Obst, mageres Fleisch, Gemüse, Salat).

Der Beginn unkontrollierten Essens erfolgt nach Aussage der Patientin, wenn sie müde, mit dem Gefühl, im Beruf nicht voll entsprochen zu haben und ohne ‚Abendprogramm‘ abends in ihre Wohnung kommt. Sie isst die auf dem Heimweg besorgten Lebensmittel und evtl. noch vorhandene mit dem Gefühl, dass ihr Bewusstsein dabei aussetzt, meist sehr schnell und mit einer Abnahme vorhandener Erregung. Erst danach tauchen Schuldgefühle, Angst vor Gewichtszunahme, Ärger, Verzweiflung und körperliches Unbehagen auf, aber auch eine gewisse Erschöpfung und Müdigkeit. Als wichtige körperliche (und psychische) Determinante des unkontrollierten Essens müssen die komplizierten physiologischen Folgen des außerhalb der Essanfälle überkontrollierten Essens, der Einschränkung auf bestimmte Arten und Mengen von Nahrungsmitteln und der Essanfälle berücksichtigt werden. Als Versuche, das Problem selbst unter Kontrolle zu bringen, sind zu werten, dass die Patientin möglichst wenig Vorräte in ihrer Wohnung hat bzw. diese einsperrt und sich (zum Wochenende) durch Hausarbeit oder Verabredungen ablenkt.

Die folgende schematisierte Darstellung nach der klassischen Form der Verhaltensgleichung (Kanfer & Phillips 1970) zeigt einen Ausschnitt aus der Verhaltenskette. Für das hypothetische Bedingungsmodell kann man daraus mögliche auslösende (S) und aufrechterhaltende Bedingungen (c⁻ als längerfristige Konsequenz und neuerliche Problemsituation S₁) erkennen und in weiterer Folge entsprechende prinzipielle Behandlungsschritte (Problemlösetraining, Ernährungsmanagement, körperbezogene Übungen etc.) ableiten.



S = Stimulus, Auslöser.
 R = Reaktion.
 K⁻ = negative Verstärkung (Wegfall der negativen Konsequenz).
 K⁻ = negative Konsequenz.

Tabelle 1: Fallbeispiel einer Verhaltensanalyse

Fallbeispiel zur Verhaltensanalyse – Analyse eines Einzelsymptoms (zitiert nach Reinecker-Hecht & Baumann 1990, S. 64).

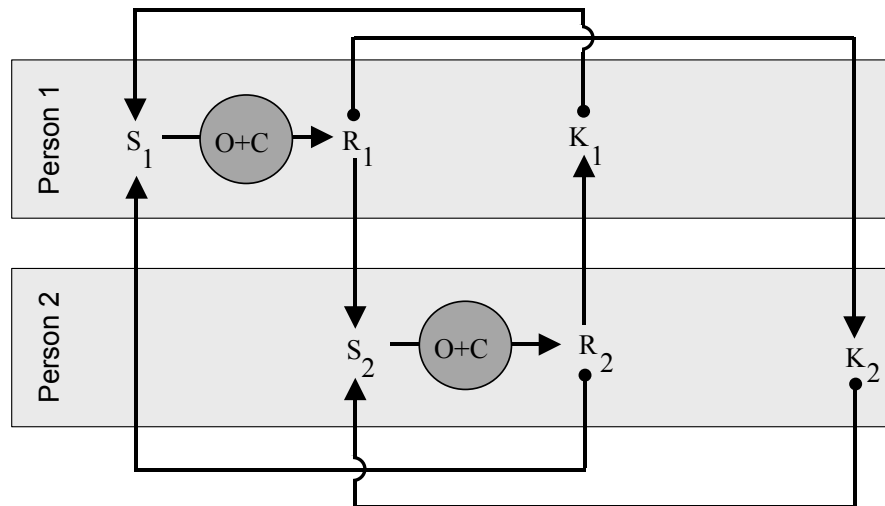


Abbildung 19: S-(O+C)-R-K-Modell einer dyadischen Interaktion

Die Indizes bezeichnen Person 1 und Person 2, die miteinander in Interaktion stehen. Auf einen Stimulus reagiert die jeweilige Person mit einem Response. Dieser Response gilt in einer dyadischen Interaktion der jeweils anderen Person als Stimulus, und damit als Auslöser für einen weiteren Response. Das Verhalten der jeweils anderen Person kann also jeweils als neuer Stimulus gedeutet werden, sodass es zu zwei ineinander verwobenen Kreisen kommt. Also auch das als völlig kausal determiniert angesehene S-(O+C)-R-K-Schema führt in der dyadischen Interaktion zu Verquickungen, die kausale Aussagen über das Gesamtsystem nicht zulassen (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 41).

4.5.3 Zusammenfassung: Klassisch behavioral orientierte Ansätze in der Psychologie und Psychotherapie als Ausdruck einer mechanischen Weltsicht

In den vorhergegangenen Abschnitten wurde auf einige Grundpositionen behavioraler Ansätze in der Psychologie und der Psychotherapie eingegangen. Dabei wurden einige Kernelemente und Bestimmungsstücke behavioraler Ansätze dargestellt und wo nötig auf Weiterentwicklungen verwiesen. Lässt man die Entwicklungen der sog. „kognitiven Wende“ außer acht und stützt sich auf die Wurzeln des behavioralen Ansatzes, der sog. objektiven Psychologie nach Watson (1913), so kann man die theoretischen Grundpositionen vereinfachend als Ausdruck einer mechanischen lineal-kausalen Weltsicht interpretieren.

- Das Verhalten von Menschen wird auf der Grundlage klassischen und operanten Konditionierens beschrieben. Der Mensch erscheint hier als eine kausal determinierte Maschine, die reflexartig Verhaltensprogramme abspult, die durch Stimuli in der Umwelt ausgelöst werden.
- Dabei ist zwar grundsätzlich eine Lernfähigkeit des Menschen impliziert, die über die Konsequenzen des gezeigten Verhaltens zu einer Verstärkung bzw. Abschwächung des entsprechenden Verhaltens in der Zukunft führen kann, allerdings sind diese Prozesse an konstante Bedingungen gebunden und erfordern ein mehrfaches Durchlaufen ähnlicher Situationen um zu einer Veränderung des Verhaltensrepertoires zu führen.

- Lernprozesse laufen damit langsamer ab als die Reproduktion des Verhaltens. Obwohl also anerkannt wird, es beim Lernen von Verhaltensweisen mit einem zyklischen Prozess zu tun zu haben, können Lernen und Reproduktion von einander getrennt werden. Lernen vollzieht sich durch nichtlineales Feedback (auf ein Verhalten folgt eine Verstärkung oder keine Verstärkung, was zur Veränderung des Verhaltens führt – Lernen), wohingegen einmal Gelerntes als zeitlich stabil und damit als lineal beschreibbar angesehen wird.
- Auch der Lernprozess selbst wird weitgehend von der Umwelt determiniert.
- Menschen erscheinen zumindest dort, wo der zyklische Prozess des Lernens und vermittelnde Organismusvariablen sowie Kognitionen ausgeblendet werden, als etwas nicht viel anderes als sie im Rahmen der Maschinenmetapher des 16. Jahrhunderts beschrieben wurden, nämlich als von außen programmierte, Verhaltensprogramme mechanisch abspulende Automaten.
- Die Forschung im Rahmen klassisch behavioraler Ansätze orientiert sich daher ebenfalls am klassischen experimentellen Paradigma der isolierenden Variation, auf deren Grundlage Verhaltensprogramme eines Menschen in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen deutlich werden sollen.
- Die Zusammenhänge zwischen den äußeren, in der Umwelt zu verortenden Stimuli und dem Verhalten wurden nicht selten als kausal determinierende 1-zu-1-Beziehung aufgefasst und auch so behandelt. Ähnlich wie bei den vorgestellten Automatenfiguren bei denen nach einer Programmierung Nocken auf Walzen jeweils einzelne Verhaltensweisen determinieren, lösen Stimuli Verhaltensweisen im Menschen aus. Als Metapher wurde in frühen behavioralen Ansätzen der menschliche Geist mit einer Telephonzentrale verglichen, in dem zu jeden einkommenden Reiz eine Verbindung zum zugehörigen Verhalten hergestellt wird (vgl. auch unten S. 69).
- Im Rahmen der Psychopathologie wird krankheitswertiges menschliches Verhalten auf Fehlprogrammierungen zurückgeführt, denen technisch mit Mitteln der Lerntheorien begegnet werden kann. Der Therapeut erscheint als Techniker, der zunächst analysierend dysfunktionales Verhalten im Rahmen der auslösenden Umweltstimuli aufdeckt und in der Folge den Klienten einer Umprogrammierung unterzieht.
- Der Komplexität menschlichen Verhaltens wird zum einen durch die Annahme Rechnung getragen, dass ein Mensch eine sehr große Anzahl von Verhaltensprogrammen in sich vereint und zum anderen durch die Vielfalt seiner Umwelt, die als Trigger und Auslöser für verschiedene Verhaltensweisen die Komplexität menschlichen Verhaltens bedingt.

4.5.4 Der kybernetische Ansatz der Verhaltenssteuerung

Die verschiedenen Strömungen, Schulen und Paradigmen der akademischen Psychologie sind relativ vielgestaltig und nur schwer zu entwirren. Ähnlich wie es Kuhn (1973) im naturwissenschaftlichen Kontext beschreibt, bilden sich ausgehend von grundlegenden Arbeiten einiger weniger Wissenschaftler Paradigmen heraus, die eine Zeit lang als bestimmende Lehrmeinung der *scientific community*

anerkannt werden, bis sich auf Grund zunehmender Belege für das Scheitern des Paradigmas unter bestimmten Bedingungen kritische Einwände und Gegenentwürfe häufen (z.B. Kuhn 1973).

Nicht selten wird bei der wissenschaftshistorischen Betrachtung der psychologischen Disziplin darauf hingewiesen, dass im eigentlichen Kuhnschen Sinne noch kaum von Paradigmen in der Psychologie gesprochen werden kann (z.B. Breuer 1989, S. 188ff.). Als vergleichsweise junge Disziplin kam es bisher noch zu keiner Ausbildung eines vorherrschenden Paradigmas. Unabhängig von der Diskussion ob die Verwendung des Kuhnschen Paradigma-Begriffs (mit allen seinen bereits bei Kuhn angelegten Unschärfen; vgl. dazu Masterman 1974) in der Psychologie möglich ist oder nicht, scheint es doch durchaus angemessen von verschiedenen Schulen zu sprechen. Die im vorangegangenen Kapitel beschriebene Schule des Behaviorismus, die in ihren Ursprüngen auf Watson zurückgeht, stützt sich relativ orthodox auf die aus den Naturwissenschaften entlehnte mechanische Weltansicht.

Der gestalttheoretische Ansatz geht von einer aktiven Gestaltung der Umwelt durch die Wahrnehmung eines Beobachters aus

Einen ganz anderen Zugang zum menschlichen Verhalten wählte die Gestaltpsychologie um Wolfgang Köhler²⁹, Max Wertheimer³⁰, Frederic Bartlett³¹, Kurt Lewin³².

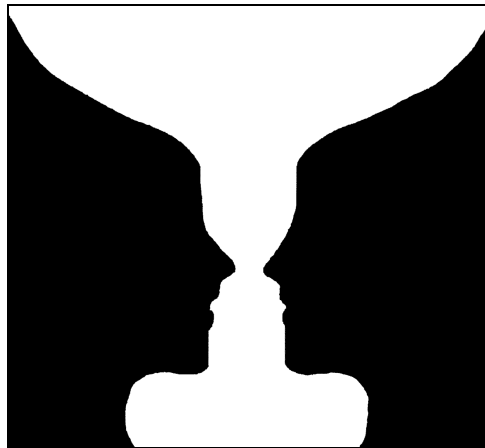


Abbildung 20: Rubin Vase

Viele Arbeiten der Gestaltpsychologie stützen sich auf Experimente mit „Kippfiguren“ eines der prominentesten Beispiele ist die nach Edgar Rubin³³ benannte Vase (Abbildung nach Koffka 1922, zitiert nach Green 2000).

Während sich die Behavioristen als grundlegendes Bestimmungsstück des Menschen am beobachtbaren Verhalten orientieren, richteten die Gestaltpsychologen ihre Aufmerksamkeit zunächst auf das Erleben und die Wahrnehmung des Menschen und darauf aufbauend auf die kognitiven Funktionen des menschlichen Geistes. Grundlegende Erkenntnisse waren hier zum Beispiel die Beschreibung der Gestaltgesetze, die im Wesentlichen zeigen können, dass die Wahrnehmung

²⁹ 1887 bis 1967

³⁰ 1880 bis 1943

³¹ 1886 bis 1969

³² 1890 bis 1947

³³ 1886 bis 1951

der Umwelt nicht als passive Abbildung physikalischer Umweltreize anzusehen ist, sondern als aktive Interpretation des Wahrnehmungsapparates im Zusammenspiel mit kognitiven Funktionen (vgl. die vorstehende Abbildung 20).

Beide Ansätze, der behaviorale und der gestaltpsychologisch-kognitive, kommen damit zu recht widersprüchlichen Konzeptionen, Menschenbildern und Erklärungsansätzen, was zu umfangreichen Konflikten zwischen den Schulen führte. Miller, Galanter und Pribram versuchten mit ihrem kybernetischen Ansatz, der 1960 in Buchform erschien (1973 in deutscher Sprache), dem Schulenstreit ein Ende zu setzen. Sie wandten sich mit ihrem Konzept sowohl von der damals üblichen klassisch behavioralen Psychologie als auch von den ersten Ansätzen der kognitiven Psychologie ab.

Ihre Kritik an beiden Richtungen erscheint aus heutiger Sicht nicht gerade neu, enthielt aber in ihrer damaligen Formulierung eine besondere Schärfe und Klarheit, sodass ihre Ausführungen auch heute noch mit Gewinn gelesen werden können. Vor allem die allgemeinen erkenntnistheoretischen Argumente in Bezug auf die Erklärung menschlichen Verhaltens erscheinen im Rahmen dieser Arbeit von Interesse. Im Folgenden werden daher zunächst einige Argumente der beiden Schulenrichtungen widergegeben, bevor auf das kybernetische TOTE-Modell von Miller, Galanter und Pribram eingegangen wird.

4.5.5 Streit der Schulen: Die Optimisten und die Pessimisten

Wissenschaftlich arbeitende Psychologen können nach Ansicht von Miller, Galanter und Pribram (1973/1960) grundsätzlich in zwei Gruppen eingeteilt werden, die Optimisten und die Pessimisten. Die Optimisten halten die Verhaltenssteuerung des Menschen für relativ einfach strukturiert. Sie nehmen als Grundkomponente des Handelns die Reiz-Reaktions-Beziehung nach dem Prinzip des klassischen Pawlowschen Reflexbogens an.

Die Isolierung eines Reflexes ist die Demonstration einer vorhersagbaren Verhaltensgleichförmigkeit. Keine Wissenschaft vom Verhalten kann ohne das Reflexkonzept in der einen oder anderen Form auskommen ... Der Reflex ist selbstverständlich nicht eine Theorie. Er ist eine Tatsache. Er ist eine Analyseeinheit, welche die Erforschung des Verhaltens ermöglicht. (Skinner 1938, S. 9)

Dem entgegnen Miller, Galanter und Pribram (1973/1960, S. 30):

Einen Behavioristen, der behauptet, der Reflex sei eine Tatsache, kann man ignorieren. Man versuche aber, einem Physiologen zu widersprechen, wenn er einem den Reflexbogen als Zeichnung präsentiert. Man kann ja auch nicht einem Mediziner sagen, es gebe keine Nebenniere oder keine medulla oblongata. Sogar der hartnäckigste Gegner von physiologischen Erklärungen in der Psychologie kann kaum das blutende Gewebe vergessen, in dem man ihm den Reflex – wenn auch ohne Bogen – ursprünglich gezeigt hat.

Für viele Psychologen war es unmöglich, sich aus dieser physiologischen Umklammerung zu befreien. Der Reflex war eine physiologische Grundtatsache und unlegbar. Aber auch, wenn man in einem „wilden und unverantwortlichen Hö-

henflug der Phantasie annehmen wollte, dass die Physiologen und Neurologen plötzlich erklärten, sie hätten nur irrtümlicherweise angenommen, es gebe einen Reflexbogen, während man nun wisse, dass es in Wirklichkeit keinen gebe“ (Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 30), so hätten es viele Psychologen dennoch nicht für möglich erachtet, auf das Konzept zu verzichten.

Bereits die physiologischen Grundlagen einfacher Reflexbögen zeigen Aspekte, die über linearkausale Ketten hinausgehen

Es zeigt sich aber, dass auch die physiologischen Grundlagen des Reflexbogens sich bei genauerem Hinsehen als vereinfachende, problembeladene Konstruktion herausstellen. Während z.B. die afferenten Rezeptorzellen nach dem Alles-Oder-Nichts-Prinzip reagieren, wie das bei Reflexen als üblich angesehen wird, zeigen sich auf der Seite der Efferenzen durchaus unterschiedliche Reaktionen, insbesondere in Abhängigkeit von der Stärke des Reizes. Die Afferenzen können somit nicht die wirklichen Auslöser der Reaktionen sein. Dies wurde schon von Charles Scott Sherrington³⁴ zu Beginn des 20. Jahrhunderts, in seinem Werk „*Integrative Action of the Nervous System*“ beschrieben (Sherrington 1906). Des weiteren ließen sich efferente Beeinflussungen höherer neuronaler Regionen auch auf simple Reflexbögen nachweisen.

Aus Beispielen wie diesen wird deutlich, dass ein einfacher Reflexbogen oder gar nur eine Reiz-Reaktions-Kette nicht genügen, um alles darzustellen, was während einer Reflexhandlung im Nervensystem geschieht. Viele komplexere Arten der Leitung von Energien oder Testverfahren, als der klassische Reflexbogen je zu erklären vermag, liegen in üblichen Reflexhandlungen vor. Die einzigen Hindernisse, die der Stimulus in der klassischen Elementenkette überspringen muss, ist die Schwelle: wenn der distale Stimulus stark genug ist, alle Schwellen des ganzen Bogens zu überwinden, tritt die Reaktion ein. In einem gewissen Sinne ist auch die Schwelle eine Art Test, aber sie stellt nur die Reizstärke auf die Probe. (Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 33)

Neben diesen trivialen Tests sind jedoch noch weitere, hierarchisch höhere, kognitive Tests in Handlungsketten anzunehmen. Zumindest sei das Konzept des Reflexbogens um eine Rekursionsschleife zu erweitern, die die Ergebnisse einer Handlung fortlaufend mit einer kognitiven Repräsentation eines Handlungszieles vergleichend testet.

Gegen die Reflextheoretiker richten sich die Pessimisten, die davon ausgehen, dass es sich beim Menschen um einen komplizierten, irreführenden und der Erforschung wenig entgegenkommenden lebenden Organismus handelt. Nach ihrer Ansicht hängt die Wirkung von Umweltreizen davon ab, wie sie sich im Eigen- und Umweltbild des Organismus kognitiv repräsentieren. Als Repräsentanten einer kognitiven Psychologie können vor allem Psychologen in der Tradition von Wolfgang Köhler und Edward C. Tolman³⁵ genannt werden. Während klassische Reflextheorien das menschliche Gehirn mit einer Telefonzentrale vergleichen, in der lediglich Reize entsprechenden Reaktionen zugeordnet werden, stellt dem Tolman (1948) folgende Vorstellungen entgegen (vgl. Abbildung 21):

Das Gehirn ist viel eher mit einem Kommandoraum, in dem Landkarten hängen, zu vergleichen als mit einer altmodischen Telefonzentrale. Die ankommenden Reize werden nicht einfach durch Eins-zu-eins-Schaltungen

³⁴ 1852 bis 1952

³⁵ 1886 bis 1959

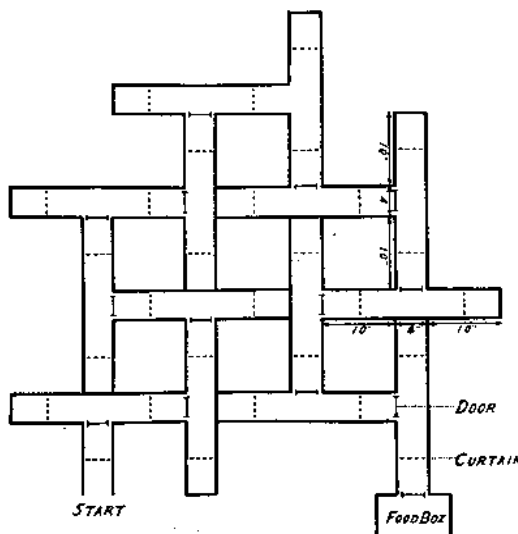
mit den abgehenden Reaktionen verbunden. Vielmehr werden sie normalerweise überarbeitet und in einer zentralen Kontrollstelle zu einer vorläufigen kognitiven Karte der Umgebung verarbeitet. Diese vorläufige Karte, die Straßen, Wege und Zusammenhänge anzeigt, bestimmt letztendlich, welche Reaktion das Tier am Ende wahrscheinlich ausführen wird. (Tolman 1948, zitiert nach Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 18)

Die Ratte bleibt in Gedanken versunken...

Wenn man Tolmans Argumentation folgt und kognitive Repräsentationen anerkennt, ergibt sich daraus jedoch ein ernstes Problem für die Konzeptualisierung von Verhalten, *da sie das Verhalten des Tieres gar nicht betrifft*. Edwin R. Guthrie³⁶ stellt dies besonders scharf dar, indem er 1952 schreibt:

Nach Tolmans Theorie lösen Zeichen im Versuchstier entweder Kognitionen, Urteile, Hypothesen oder Abstraktionen aus, aber sie veranlassen keine Handlung. In seinem Bemühen um das, was im Innern der Ratte vor sich geht, vergisst er vorauszusagen, was die Ratte tun wird. Nach seiner Theorie bleibt die Ratte in Gedanken versunken. Wenn sie am Ende doch zum Futtertrog geht, ist das ihre Sache, hat aber mit der Theorie nichts zu tun. (Guthrie 1952, zitiert nach Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 19)

Mit einer dieserart konzeptualisierten kognitiven Verhaltensbeschreibung ist es zwar möglich zu argumentieren, dass klassische Reflextheorien unzureichend sind, aber eine tatsächliche Antwort auf die Frage, warum eine Handlung gezeigt wird, bleibt offen.



Plan of maze
14-Unit T-Alley Maze

FIG. 1

(From M. H. Elliott, The effect of change of reward on the maze performance of rats. *Univ. Calif. Publ. Psychol.*, 1928, 4, p. 20.)

Abbildung 21: Versuchsaufbau zum Nachweis von kognitiven Landkarten bei Ratten

Tolman (1948) fasst eine Reihe von Arbeiten über die Lernfähigkeiten von Ratten zusammen. Zusammenfassend kommt er zu dem Schluss, „Das Gehirn ist viel eher mit einem Kommandoraum, in dem Landkarten hängen, zu vergleichen als mit einer altmodischen Telefonzentrale“ (zitiert nach Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 18). Unter anderem führt er den in der Abbildung wiedergegebenen Versuchsaufbau als Beleg für seine These an (Abbildung aus: Tolman 1948, entnommen aus: Green 2000).

³⁶ 1886 bis 1959

So weisen beide der dargestellten theoretischen Konzeptionen, die reflextheoretische und die kognitive, ihre spezifischen Grenzen und Mängel auf. Während die Erstere die Steuerung von Verhalten direkt an einen spezifischen Reiz gekoppelt sehen will, verliert sie aus den Augen, welche weit komplexeren Verarbeitungs- und Steuerungsschritte tatsächlich angenommen werden müssen, um zu befriedigenden Verhaltensbeschreibungen zu gelangen. Ihr Paradigma des Reflexbogens erscheint bei genauer Betrachtung als zu eng.

Frühen kognitiven Ansätzen fehlen motivationale und Verhaltensaspekte

Die kognitiven Theorien verweisen hingegen einseitig auf die Bedeutung kognitiver Prozesse, die ihre Psychologie vielmehr als denk- denn als verhaltensbeschreibend erscheinen lässt. Ihre Konzepte verstärken damit wohl den Eindruck der Unzulänglichkeit der Reflextheorien. Eine einheitliche neue Konzeption der Verhaltenssteuerung können sie jedoch nicht anbieten. In vielen Fällen war den kognitiven Psychologen die genannte Kritik unbegreiflich. Dass eine hungrige Ratte zum Futter läuft, ist in ihren Augen nicht erklärungsbedürftig. Zu erklären bleibt, wie eine Ratte den Weg zum Futter als kognitives Wissen repräsentiert.

Klassisch reflextheoretischen Ansätzen fehlt die Annahme innerpsychischer Prozesse

Was den Reflextheorien vor dem Hintergrund der vorgestellten Argumentation fehlt, ist zumindest die Annahme weiterer steuernder Mechanismen wie z.B. die oben erwähnten Rekursionsschleifen. In den kognitiven Ansätzen fehlen dagegen Vorstellungen über Motivation und Wille. Miller, Galanter und Pribram (1973/1960) schlagen daher die Ersetzung des Reflexbogens durch ein kybernetisches Regelkreismodell vor. Solche Regelkreise bilden in ihrer Konzeption die kleinsten Einheiten des Verhaltens. Für eine komplexe Handlung ist dann eine hierarchische Verknüpfung solcher elementarer Regelkreise anzunehmen. In eine psychologische Semantik übersetzt kann man einen solchen Regelkreis als einen zielorientierten und motivierten Handlungs-Plan auffassen. Diese Konzeption soll im Folgenden etwas genauer beschrieben werden.

4.5.6 TOTE-Einheiten und Plankonzept

Verhalten wird als hierarchische Verknüpfung von Handlungsschritten verstanden

Verhalten wird im Konzept von Miller, Galanter und Pribram (1973/1960) als hierarchisch organisiert verstanden. Dabei ergibt sich die hierarchische Ordnung aus der Zielorientierung von Handlungen. Jedes Verhalten lässt sich in elementare Handlungsschritte untergliedern, die jeweils für sich gesehen abgeschlossene Handlungssequenzen bilden (vgl. Abbildung 22).

Eine so komplexe Handlung wie das Schreiben einer wissenschaftlichen Arbeit ist in eine große Anzahl von Einzelschritten unterteilbar, wie Literatursuche und Lesen, Hypothesenbildung und Testen derselben, viel Kaffee Trinken, Schreiben und immer wieder Korrigieren u.s.w. Dabei ist jeder Einzelschritt wieder in weitere Einzelschritte unterteilbar, bis hin zu quasi elementaren Handlungen, wie z.B. das Umblättern einer Seite eines Buches. Alle diese Verhaltenssequenzen dienen damit jeweils höheren Handlungen und zuletzt der Handlung „Schreiben einer wissenschaftlichen Arbeit“. Aber auch diese Handlung ist jener, wissenschaftliches Ansehen zu erlangen, untergeordnet und diese ist wiederum im Zusammenhang mit einer umfassenden Lebensplanung zu sehen.

Verhalten ist grundsätzlich zielorientiert

Jede Handlung wird also als hierarchisch eingeordnet in andere Handlungen angesehen, wobei die jeweiligen Handlungen durch eine Ziel-Mittel-Relation miteinander verbunden sind. Damit wird jedes Verhalten als grundsätzlich zielorientiert aufgefasst. Die Handlungskomponente nennen Miller, Galanter und Pribram *Plan*. Das Wort *Plan* bezeichnet in ihrem Konzept eine Hierarchie von Instruktionen. Dabei gehen sie von der Auffassung aus, dass ein *Plan* für einen Organismus im Wesentlichen dasselbe ist, wie ein Programm für einen Computer (vgl. Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 24).

Von Verhaltensstrategien und Verhaltens-taktiken

Hierarchisch hohe Pläne, wie z.B. Selbstverwirklichung u.ä. werden als *Verhaltensstrategien* und die molekularen, elementaren Pläne als *Verhaltenstaktiken* bezeichnet.

Es scheint, dass das Verhaltensmuster bei niederen Tieren normalerweise mehr oder weniger zufällig von der Umwelt bestimmt wird – nur der Mensch ist in die Illusion verliebt, er sei Herr seines Schicksals. Die Umwelt gibt also die Reize ab, welche beim Tier die nächste Stufe der Aktivität auslösen. Die Frage ist eher philosophischer Art, ob wir an Pläne glauben wollen, die irgendwo außerhalb der Nervensysteme existieren. Wir wollen bloß soviel sagen: niedere Tiere scheinen mehr taktische als strategische Verhaltensmuster zu haben. (Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 44)

Diese Unterscheidung zwischen Tieren und Menschen erinnert stark an die Diskussion, die oben (vgl. S. 33ff.) bereits im Zusammenhang mit der Mensch-Maschine-Metapher dargestellt wurde. Auch Descartes und später Kant halten den Menschen im Gegensatz zu Tieren für ein selbstmotiviert handelndes Lebewesen, dem eine individuelle Willensfreiheit zugesprochen werden müsse, die allein auf der Grundlage einer mechanischen Logik nicht erklärt werden könne. Dies führte bei Descartes zur Annahme einer neben und parallel zur materiellen Welt existierenden Seele (Leib-Seele-Dualismus bzw. -Interaktionismus).

Von der *Ausführung* eines Planes kann erst dann gesprochen werden, wenn tatsächlich die Instruktionen, die er enthält, umgesetzt wurden. Dabei ist nicht jede Planaktivität direkt beobachtbar, wie es die Behavioristen annehmen würden.

Besonders beim Menschen scheint es so zu sein, dass ebenso Pläne zum Sammeln und Umwandeln von Informationen wie zum Steuern von Handlungen vorhanden sind. (Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 26f.)

Das Verhältnis von Schemata und Plänen...

Jedoch reicht die Annahme von Plänen in Form hierarchisch angeordneter Instruktionen nicht aus, um Verhalten schlüssig erklären zu können. Die Instruktionen selber enthalten relativ viel Wissen, in Form von kognitiven Landkarten, die einen möglichen Weg von einem Problem zu einer Lösung aufweisen. Eine andere Art von Wissen muss angenommen werden, um aus einer großen Anzahl von Plänen nur die für eine Aufgabe relevanten zur Ausführung zu bringen. Wieder anderes Wissen wird benötigt, um die Effektivität ausgeführter Handlungen zu überprüfen u.s.w. Diese verschiedenen Formen von Wissen werden als *Bild (Image)* bezeichnet, welches sich in seiner Konzeption am *Schemata*-Begriff von Bartlett (z.B. Bartlett 1932; vgl. auch Piaget 1969/1936, 1969/1945, 1976, 1981) orientiert (vgl. ausführlicher ab S. 451ff.).

Das *Bild (Image)* besteht aus dem angehäuften, organisierten Wissen, das der Organismus über sich selbst und seine Umwelt gesammelt hat. (Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 27)

Beide Konzepte, Plan und Image werden durch das kybernetische Modell eines Regelkreises zu einer gemeinsamen Konzeption verknüpft. Dieses Regelkreismodell wird *TOTE-Konzept* genannt. TOTE steht dabei für Test-Operate-Test-Exit (vgl. auch Abbildung 25, S. 80).

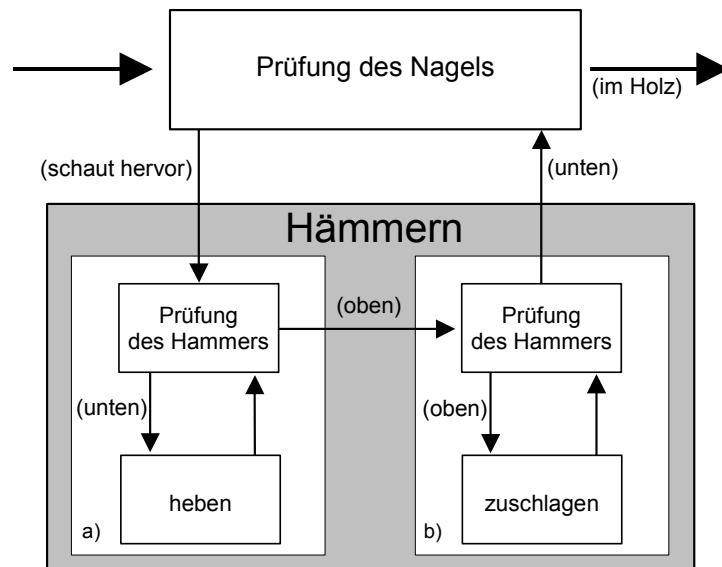


Abbildung 22: Ein hierarchischer Plan für das Nageleinschlagen

Das Einschlagen eines Nagels wird unterteilt in drei sog. TOTE-Einheiten: a) Heben des Hammers und b) Zuschlagen mit dem Hammer. Befindet sich der Hammer unten, wird er gehoben, sobald er oben ist, wird zugeschlagen und das so fort, bis der übergeordnete Plan, Prüfung des Nagels, befindet, dass der Nagel vollständig eingeschlagen ist. Dieses Vorgehen lässt sich als eine serielle Folge von Handlungen und Prüfungen beschreiben: „Prüfe den Nagel! (Kopf schaut hervor.) Prüfe den Hammer! (Hammer ist unten.) Hebe den Hammer! Prüfe den Hammer! (Hammer ist oben.) Schlage zu! Prüfe den Hammer! (Hammer ist unten.) Prüfe den Nagel! (Kopf schaut hervor.) Prüfe Hammer! ...“ (Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 41).

Zusammenfassend können folgende Bestimmungsstücke des TOTE-Konzeptes benannt werden:

- Die Handlungskomponente einer Handlung wird als Plan bezeichnet.
- Bei komplexen Handlungen liegen hierarchische Verknüpfungen von Plänen vor.
- Die Zielkomponente erhält eine Handlung durch eine Reihe von Vorstellungen und kognitiver Repräsentationen, die als Bild oder Image bezeichnet werden.
- Diese Vorstellungsbilder leiten die Handlungen, indem sie beständig mit der durch die Handlung erzielten Annäherung an das Bild verglichen werden (Test der Ist-Soll-Abweichung, bei Abweichung folgt eine weitere Handlungsausführung, die Operate genannt wird, liegt keine Ist-Soll-Abweichung mehr vor, wird der Plan beendet – Exit).
- Dabei entspricht die Definition, von dem was ein Image ausmacht der Konzeption von Schemata bzw. kognitiven Repräsentationen.
- Die Testung auf Übereinstimmung von durch Handlungen hervorgerufenen Effekten mit dem Image wird durch Regelkreise (TOTE-Einheiten) gesteuert.

Die gegenseitige
Verschränkung von
Images und Plänen ist
relativ komplex

Die Unterscheidung von Plänen auf der einen Seite und Images auf der anderen erscheint auf den ersten Blick als durchaus sinnvoll, stellt sich jedoch bei genauer Betrachtung als relativ komplex heraus.

So nebeneinandergestellt, mag es scheinen, wir stellen uns die beiden Begriffe scharf zweigeteilt vor, sodass man sinnvoller Weise fragen könnte: 'befindet sich dieser oder jener Prozess ausschließlich im Plan oder ausschließlich im Bild?'

Dass die beiden Gesichtspunkte nicht so benützt werden können, dass die Prozesse in gegenseitig sich ausschließenden Kategorien eingeteilt werden, wird dann deutlich, wenn wir Überlegungen wie die anstellen:

- Ein Plan kann gelernt werden und ist somit Bestandteil eines Bildes.
- Die Namen, die Menschen ihren Plänen geben, müssen ein Teil ihres Selbstbildes einschließen, da es ja ein Bestandteil des Selbstbildes einer Person ist, imstande zu sein, diesen oder jenen Plan ausführen zu können.
- Wissen muss im Plan eingegliedert sein, sonst könnte es keine Grundlage für die Anleitung des Verhaltens zur Verfügung stellen. Folglich können Bilder Bestandteile von Plänen sein.
- Änderungen in den Bildern können nur von ausgeführten Plänen für das Sammeln, Aufbewahren oder Umwandeln von Informationen ausgehen.
- Änderungen in den Plänen können nur von Information, welche aus Bildern stammt, ausgehen.
- Die Umwandlung von beschreibendem Wissen auf Seiten des Bildes in instruktives Wissen auf Seiten des Planes ist für Menschen ein einfaches sprachliches Kunststück.
(vgl. Miller, Galanter & Pribram 1973/1960, S. 27f.)

4.5.7 Lernen

Das TOTE-Konzept sieht neben reinen, beobachtbaren Verhaltensplänen gesonderte Pläne für die Veränderung von anderen Plänen bzw. von Images vor. Auch diese veränderungssteuernden Pläne lassen sich in einer Regelkreisanalgie als TOTE-Einheiten beschreiben.

Ein Fehlschlagen von Plänen oder eine lückenhafte Wissensbasis auf Seiten von Images ist bei einem Vergleich von imaginiertem Idealbild (Soll-Wert) und der Wahrnehmung der erzielten Verhaltensausswirkungen (Ist-Wert) durchaus feststellbar und kann zu Veränderungen in Plänen oder Images führen. Damit befindet sich das TOTE-Konzept nicht nur in einer Nähe zu Leon Festingers³⁷ *Dissonanztheorie* (Festinger 1957), die Miller Galanter und Pribram durchaus bewusst ist, sondern auch in theoretische Nähe zu Jean Piagets³⁸ *Äquilibrationstheorie* (z.B. Piaget 1969/1936, 1969/1945, 1976, 1981; für einen Überblick über die Äquilibrationstheorie siehe Oerter & Montada 1987 und vgl. S. 451ff.).

³⁷ 1919 bis 1990

³⁸ 1896 bis 1980

Das Plankonzept weist Parallelen zur Dissonanztheorie und zu Piagets Lerntheorie auf

Die theoretischen Implikationen sowohl in Bezug auf die Empfindung von Dissonanzen bei sich widersprechendem sozialen Handeln und darauf bezogenen Kognitionen (Festinger 1957) als auch in Bezug auf die kognitive Entwicklung nach Piaget, werden von Miller, Galanter und Pribram nicht ausführlich diskutiert. Es bleibt jedoch festzustellen, dass sie Veränderungen von Bildern und Plänen durchaus vorsehen und relativ ähnlich den Äquilibrationstheorien konzipieren.

Es erstaunt daher nicht, wenn in den 70er Jahren, bis Mitte der 80er Jahre die theoretischen Strömungen zusammenfließen. Schon Miller, Galanter und Pribram hatten auf die Möglichkeit hingewiesen, menschliches Handeln mittels Computeralgorithmen zu simulieren. Dazu würden sich, ihrer Meinung nach, vor allem listenorientierte hierarchische Programmiersprachen anbieten, wie sie von Newell und Simon vorgeschlagen wurden (Newell & Simon 1956). Anfang der 70er Jahre wählten Newell und Simon dann vor allem sog. *Production Systems* zur Simulation kognitiver Prozesse (Newell & Simon 1972). Diese Art der Computerprogrammierung ermöglichte es, kognitive Entwicklungsprozesse in der Tradition von Piaget zu simulieren. Wegweisend wurden hier die Arbeiten von David Klahr und Robert Siegler (Klahr 1973, Klahr & Wallace 1973, Klahr & Siegler 1978, Klahr 1981; Sekundärliteratur: Keller 1988).

Production Systems als Programmiersprache zur Simulation kognitiver Prozesse

Production Systems bestehen aus einem Set vom Programmbefehlen, den sog. *Productions*, die alle nach dem gleichen Muster aufgebaut sind. Jedes *Production* besitzt eine einfache Wenn-dann-Struktur (*Wenn* Bedingung erfüllt ist, *dann* führe folgende Aktion aus:...), und somit eine Bedingungskomponente und eine Aktionskomponente. Die Aktionskomponente entspricht dem was Miller, Galanter und Pribram als Plan bezeichnet haben. Ein Teil des *Image* (vgl. auch S. 72) findet sich im Bedingungsteil einer *Production*. In dieser einfachen Form der Befehlsstruktur sind jedoch noch keine kybernetischen Rückkopplungsschleifen im Sinne von TOTE-Einheiten vorgesehen.

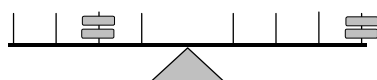
In den 70er Jahren wurden solche *Production Systems* in der Entwicklungspsychologie herangezogen, um kognitive Prozesse einzelner Problemlöseaufgaben (z.B. das Balkenwaagenexperiment, Klahr & Siegler 1978, Klahr 1981) zu simulieren. Dabei wurden verschiedene Programme (*Performanzmodelle*) für verschiedene kognitive Entwicklungsstufen entwickelt. Der Vergleich der einzelnen *Performanzmodelle* der Entwicklungsstufe gibt einen Einblick in verschiedene Lernstrategien und Mechanismen, die nötig sind, um durch auf Erfahrung gestütztes Lernen erklären zu können, wie aus einem früheren Performanzmodell ein neues adäquateres gebildet werden kann. So wurde es Mitte der 80er Jahre möglich, fünf Arten von *Productions* zu formulieren, die rekursiv so in die bestehende Performanzstruktur eingreifen, dass *selbstmodifizierende* und damit *lernfähige Production Systems zur Modellierung kognitiver Entwicklungen* erstellt werden konnten. Im Einzelnen sind das die folgenden Strategien:

1. Die *Diskrimination* einer *Production* in mehrere, wenn es unter bestimmten Bedingungen nicht richtig arbeitet.
2. Die *Generalisation* einer *Production*, wenn sie sich auch unter allgemeineren Bedingungen als denen im Bedingungsteil angegebenen bewährt hat.
3. Das *Chunking* d.h. die Zusammenfassung mehrerer *Productions* zu einer, wenn sie immer zusammen zur Anwendung kommen.

4. Das *Verstärken* von *Productions* bei korrekter Anwendung. Dadurch werden die *Productions* mit Gewichtungen versehen, um bei *Conflict Sets* (mehrere *Productions* werden aktiv und kommen zu unvereinbaren Verhaltensanweisungen) zu einer „Einigung“ zu kommen.
5. Das *Prozeduralisieren*, welches zu der Bildung von neuen *Productions* führt, die einen sehr eingeschränkten Bedingungsteil besitzen, wenn diese Bedingungen schon sehr häufig auftraten. Dadurch ist es möglich Effekte des Auswendiglernens zu erklären (vgl. Keller 1988).

Die Simulation kognitiver Lernerfahrungen mit Hilfe von *production systems* war nur mäßig erfolgreich

Um kognitive Entwicklungen tatsächlich simulieren zu können, bedarf es jedoch noch weiterer struktureller Annahmen über den kognitiven Apparat (z.B. ist die Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses zu kurz und zu klein, um Erinnerungen an frühere Erfahrungen mit gleichen oder ähnlichen Problemen speichern zu können. Klahr nimmt daher eine „*Time-Line*“ an, die Erfahrungen zu bestimmten Problemen in ihrer Abfolge speichert und als Datenbasis für die Veränderung von *Production Systems* zur Verfügung stellt), die hier nicht weiter dargestellt werden sollen. Auch lassen sich am beschriebenen Vorgehen eine Reihe von Grenzen und Mängeln nachweisen, die Klahrs Anspruch auf eine umfassende Simulation der kognitiven Entwicklung als zu hoch gegriffen erscheinen lassen. Im Zusammenhang mit kybernetischen Modellen in der Psychologie ging es jedoch darum aufzuzeigen, wie sich das TOTE-Konzept in Theorien über kognitive Veränderungen struktureller Art, d.h. in Lerntheorien einpassen lässt.



Verteilung von Gewichten auf den Waagarmen:

-	-	2	-	-	-	-	2
3	-	-	-	-	-	-	1
2	-	-	-	-	-	-	2
2	-	-	-	-	4	-	-

Richtige Antwort:

- rechts geht runter
- links geht runter
- Balance
- Balance

Modell I

- P1: ((Gleiches Gewicht)→(Sage "Balance"))
- P2: ((Seite X mehr Gewicht)→(Sage "X runter"))

Modell II

- P1: ((Gleiches Gewicht)→(Sage "Balance"))
- P2: ((Seite X mehr Gewicht)→(Sage "X runter"))
- P3: ((Gleiches Gewicht)&(Seite X mehr Abstand)→(Sage "X runter"))

Modell III

- P1: ((Gleiches Gewicht)→(Sage "Balance"))
- P2: ((Seite X mehr Gewicht)→(Sage "X runter"))
- P3: ((Gleiches Gewicht)&(Seite X mehr Abstand)→(Sage "X runter"))
- P4: ((Seite X mehr Gewicht)&(Seite X weniger Abstand)→(Raten))
- P5: ((Seite X mehr Gewicht)&(Seite X mehr Abstand)→(Sage "X runter"))

Modell IV

- P1: ((Gleiches Gewicht)→(Sage "Balance"))
- P2: ((Seite X mehr Gewicht)→(Sage "X runter"))
- P3: ((Gleiches Gewicht)&(Seite X mehr Abstand)→(Sage "X runter"))
- P4: ((Seite X mehr Gewicht)&(Seite X weniger Abstand)→(Berechne Drehmoment))
- P5: ((Seite X mehr Gewicht)&(Seite X mehr Abstand)→(Sage "X runter"))
- P6: ((Gleiches Drehmoment)→(Sage "Balance"))
- P7: ((Seite X größeres Drehmoment)→(Sage "X runter"))

Abbildung 23: Das Balkenwagenexperiment

Am Beispiel des Balkenwaagenexperimentes lassen sich für verschiedene Altersstufen von Kindern verschiedene „Performanzmodelle“ der Problemlösung finden. Im ersten Modell werden nur die Gewichte ohne Einbeziehung des Abstandes vom Drehpunkt beachtet. Von Modell zu Modell kommen neue Fertigkeiten hinzu oder werden bereits bestehende modifiziert. Durch den Vergleich der vier Modelle ist es möglich, die Entwicklung von Modell I zu Modell IV auf der Grundlage allgemeiner Prinzipien zu simulieren (vgl. Keller 1988).

4.5.8 Das Plankonzept in der Psychotherapie

Das Plankonzept wurde 1977 von Grawe und Dziewas als Grundlage der sog. *vertikalen Verhaltensanalyse* in die Klinische Psychologie eingeführt. Wie oben bereits dargestellt (vgl. S. 57ff.), bildet die Verhaltensdiagnostik einen Kernbestandteil der Verhaltenstherapie, der es zum Ziel hat, die serielle zeitliche Abfolge von auslösenden und aufrechterhaltenden Bedingungen für das Auftreten symptomatischen Verhaltens zu erfassen. Auf Grund der linealen zeitlichen Abfolge der durch dieses diagnostische Verfahren beschriebenen Verhaltensketten kann diese Form der Diagnostik auch als *horizontale Verhaltensanalyse* bezeichnet werden. Trotz ausführlicher und umfassender Verhaltensanalysen von Klienten einer Gruppentherapie fiel Grawe und Dziewas auf, dass sich die Klienten vielfach entgegen der theoretischen Annahmen verhielten. Es schien so, als ob die Klienten auch bei Wegfall der auslösenden und aufrechterhaltenden Stimuli ein Bedürfnis hätten symptomatisches Verhalten zu zeigen, bzw. Situationen aufzusuchen, die es ihnen ermöglichen sich erneut „schlecht zu fühlen“. Die horizontale Verhaltensanalyse reichte zur Beschreibung dieser Phänomene nicht aus.

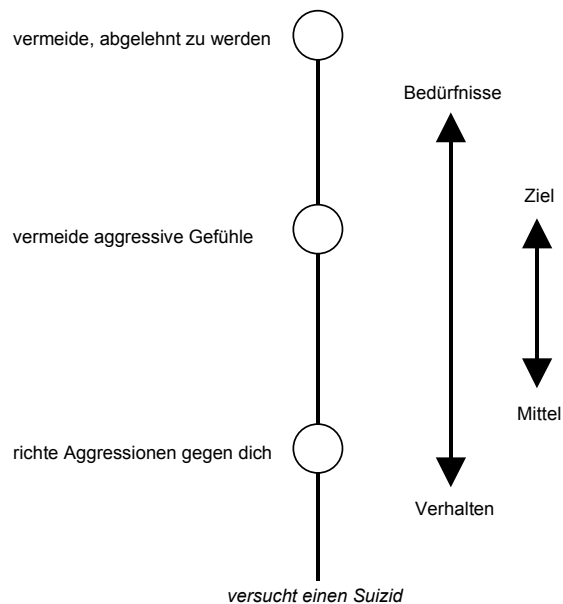


Abbildung 24: Beispiel für Ziel-Mittel-Relationen in Plananalysen

In der Plananalyse (vgl. z.B. Caspar 1996), werden Pläne (dargestellt als Kreise) als in einer Ziel-Mittel- bzw. Bedürfnis-Verhaltens-Relation stehend interpretiert. Der Plan, „vermeide, abgelehnt zu werden“ kann als Bedürfnis interpretiert werden, welches sich in dem hierarchisch untergeordneten Plan „vermeide aggressive Gefühle“ konkreter äußert.

Bezugnehmend auf die Arbeiten zum Plankonzept von Miller, Galanter und Pribram erarbeitete Caspar aufbauend auf Grawe die Plananalyse als vertikale Ergänzung zur klassischen horizontalen Verhaltensanalyse (Grawe & Dziewas 1978, Caspar & Grawe 1982, Caspar 1986, Grawe 1986, Caspar 1987, Grawe 1987a, 1987b, Caspar 1989; für einen Überblick über die Entstehungsgeschichte der Plananalyse siehe Caspar 1996, S. 27ff.). Die vertikale Ausrichtung der Plananalyse bezieht sich auf die instrumentelle Interpretation menschlichen Verhaltens, die

konsequent jede Form von Verhalten, also sowohl interpersonelles als auch privates und damit auch innerpsychisches Verhalten als eingebettet in eine hierarchische Struktur von Bedürfnissen und Mitteln zur Befriedigung dieser Bedürfnisse betrachtet (vgl. Abbildung 24).

Trotz der expliziten Bezüge der Plananalyse zum Plankonzept von Miller, Galanter und Pribram werden die wichtige Kernbestandteile, nämlich z.B. die Beschreibung von Verhaltensregulation als kybernetischer Regelkreis (das TOTE-Modell) nicht in das Konzept der Plananalyse übernommen. Die Kernannahmen der Plananalyse nutzen vielmehr die Definition des Planbegriffes und die Bedeutung des Schemata-Begriffs. Letzteres vor allem in der Konzeption von Grawe (vgl. z.B. Grawe 1986, 1987a, 1987b).

Insbesondere, die in ihren Anfängen stark betonte Nähe der Plananalyse zum kybernetisch fundierten Plankonzept von Miller, Galanter und Pribram und die damit verbundene eher technische und an die „Maschinenmetapher“ menschlichen Verhaltens erinnernde Modellvorstellung veranlasste Grawe dazu, die Kybernetik fallen zu lassen, den Schemata-Begriff stärker zu betonen, Bezüge zu Piaget herauszuarbeiten und in neuerer Zeit Bezüge zu den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme herzustellen (vgl. z.B. Grawe 1998). Grawes Kritik am allgemeinpsychologisch fundierten Plankonzept (z.B. Grawe 1987b) ist jedoch nur teilweise begründet, so geht das TOTE-Konzept weit über einfache mechanistische Vorstellungen hinaus. Auch die von Grawe als „Modernisierung“ des Ansatzes vorgeschlagene Nutzung des Schemabegriffes war bereits in der Originalarbeit angelegt (vgl. S. 73), wurde jedoch in der Konzeption der Plananalyse ausgespart.

Die Plananalyse und die von Schiepek vorgeschlagene Erweiterung zur *Sequentiellen Plananalyse* (z.B. Schiepek et al. 1995d) wird im empirischen Teil dieser Arbeit noch ausführlicher dargestellt werden (siehe unten, S. 494ff.).

4.5.9 Zusammenfassung: Der kybernetische Ansatz der Verhaltenssteuerung Der Regelkreis als Kernbaustein menschlichen Verhaltens

Der kybernetische Ansatz der Verhaltenssteuerung wie er 1960 von Miller, Galanter und Pribram vorgelegt wurde kann als umfassender Entwurf zur Ersetzung des klassischen Reizreaktionsparadigmas angesehen werden. Als kleinste abstrakte Einheit menschlichen Verhaltens wird die Reiz-Reaktions-Verknüpfung durch TOTE-Einheiten ersetzt, die mit dem Instrumentarium der Kybernetik und der Computerwissenschaften beschreibbar und simulierbar werden.

Das Konzept des Plans als mehr oder minder komplexer Instruktionsplan zur Ausführung verschiedener Handlungen, die Annahme eines Ist-Soll-Wert-Vergleiches zwischen der durch einen Plan erreichten Manipulation der Umwelt (bzw. innerpsychischer Variablen) und einem angestrebten Zielzustand, wie er durch die abstrakte Klasse der Images beschrieben wird, interpretiert menschliches Handeln und Denken als ständigen kreisförmigen Prozess.

**TOTE-Einheiten sind
frei skalierbar**

Die freie Skalierbarkeit von TOTE-Einheiten, angefangen bei konkretem beobachtbarem Verhalten auf der Mikroebene, welches „hinunter“ zu einzelnen Muskelzuckungen reichen kann und nach „oben“ bis hin zu abstrakten Lebensentwürfen, lässt das Modell als potentes Konzept für relativ viele psychologisch relevante Lebensbereiche erscheinen.

Insbesondere die Annahme von Plänen zur Organisation, Verfügbarmachung, Auswahl und Sammlung von Wissen lässt den Ansatz als frühen Entwurf selbstorganisierten Lernens und Problemlösens erscheinen, wie er in ähnlicher Form rund 40 Jahre vorher von Piaget in der Entwicklungspsychologie formuliert wurde. Die Plananalyse als diagnostisches Instrument in der Klinischen Psychologie nutzt aus dem breit angelegten Plankonzept mehr den Planbegriff als die damit verbundene Konzeption kybernetischer Verhaltensregulation.

**Das Problem der
Motivation im Plan-
konzept**

Obwohl es auf den ersten Blick so scheint, als ob das Konzept der TOTE-Einheiten selbstorganisierte Entwicklungen und Verhaltenssteuerungen beschreiben kann, also Prozesse, die aus sich selbst heraus gesteuert ablaufen, ist es doch zumindest in Hinblick auf den Aspekt der den Handlungen zu Grunde liegenden Motivationen relativ voraussetzungsreich. So können TOTE-Einheiten relativ gut beschreiben, wie eine Verhaltensregulation als beständiger Ist-Soll-Wert-Vergleich abläuft, nicht jedoch woher die Soll-Werte eigentlich kommen. Soll-Werte als angestrebte Ziele eines Menschen erscheinen hier als ordnende, richtungsgebende Steuerung menschlichen Verhaltens. Erklärungswert besitzt die Theorie also immer dann, wenn vorausgesetzt werden kann, dass ein Mensch ein bestimmtes Ziel bereits a priori *besitzt*. Piaget löst dieses Problem relativ elegant, indem er beim Menschen eine angeborene Lust am Explorieren und Erfahrungen sammeln auf der einen Seite und eine Unlust und Frustration beim Scheitern von Verhaltensweisen auf der anderen Seite annimmt. Als Keim ist dem Menschen also ein Ziel angeboren, andere ergeben sich aus Lust und Unlust im Laufe der Entwicklung vom Säugling zum Greis quasi von selbst – sie entstehen selbstorganisiert.

**Trotz Selbstregulation
läuft Verhalten in
TOTE-Einheiten wie
auf Schienen**

Die Stärke der TOTE-Einheiten, nämlich menschliches Verhalten in einzelne Schritte zu zerlegen, die jeweils für sich gesehen nacheinander als kybernetische Regelkreise ablaufen ist auch gleichzeitig die Schwäche des Ansatzes. Zwar findet Selbstregulation statt, sie bleibt in der praktischen Anwendung der Theorie jedoch auf einzelne Schritte beschränkt, die jeweils nach Erreichung eines definierten Zieles abgeschlossen und Verlassen werden (TOT-Exit). Trotz Selbstregulation läuft Verhalten wie auf „Schienen“.

Wie die schematische Darstellung gekoppelter TOTE-Einheiten in Abbildung 25 verdeutlicht, handelt es sich bei den so konzeptualisierten Verhaltensprogrammen im Wesentlichen ebenfalls um eine lineal-kausale Abfolge von Ursache und Wirkungsketten. Die unbestreitbare Leistung des Konzeptes liegt jedoch darin, dass jedes einzelne Kettenglied im Detail als kybernetischer Regelkreis verstanden wird und damit Selbstregulationsfähigkeiten aufweist.

Dennoch gelten auch für diese Modelle im Wesentlichen die Schlussfolgerungen, wie sie bereits auf Seite 39ff. und 47ff. beschrieben wurden. Zwar werden die theoretischen Lücken in Bezug auf die Entstehung komplexer Ordnung thematisiert, gelöst werden sie jedoch nicht. Die Entstehung von TOTE-Einheiten, d.h. die e-

mergente Herausbildung spezifischer Pläne und Planhierarchien können durch das Modell nicht wirklich erklärt werden. In diesem Sinne bleiben die Modelle auf die Beschreibung bereits vorgegebener Verhaltensabläufe beschränkt.

Für weitaus tragfähiger hält Dörner (1998) den Ansatz der Kybernetik für die Psychologie. Aufbauend auf einer umfassenden Darstellung der Kybernetik, wie sie sich heute, insbesondere durch die rasante Entwicklung in den Computerwissenschaften, darstellt, kommt er unter dem pragmatischen Titel „Bauplan für eine Seele“ zu dem Schluss, dass so ziemlich alle Phänomenbereiche des menschlichen Lebens kybernetisch interpretiert und erklärt werden können (vgl. Dörner 1998). Dabei geht er jedoch, z.B. durch die Anwendung von Konzepten der *fuzzy-logic* weit über die ursprüngliche Programmatik der Kybernetik hinaus.

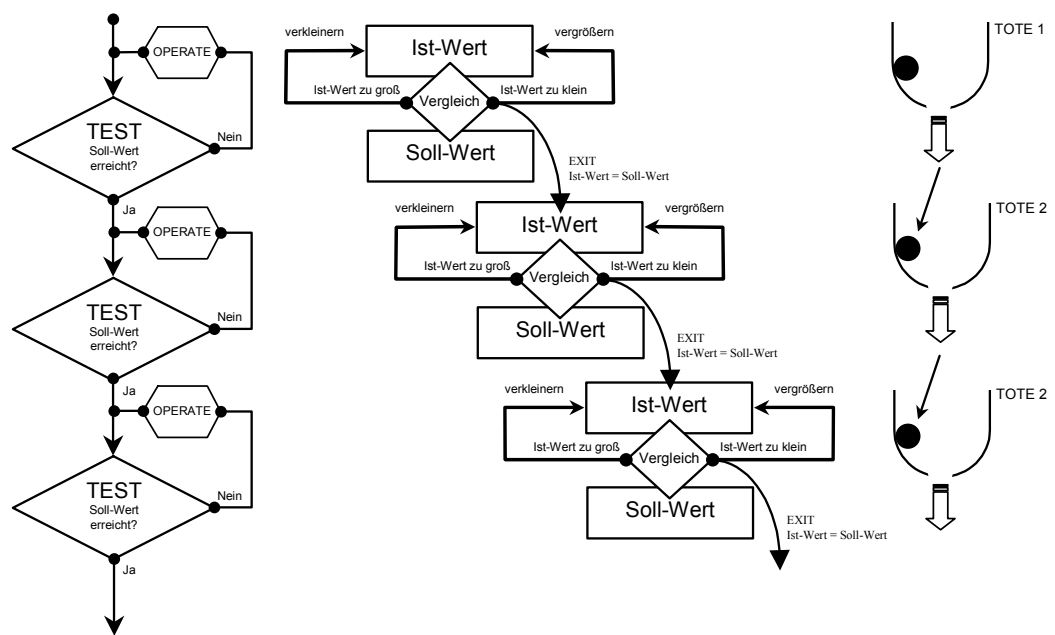


Abbildung 25: Schematische Darstellungen gekoppelter TOTE-Einheiten

Bei TOTE-Einheiten handelt es sich um klassische Regelkreise: Wird der Soll-Wert erreicht, wird der Regelkreis nicht weiterausgeführt und verlassen (Exit). In der kybernetischen Flussdiagrammdarstellung (links) erscheint eine TOTE-Einheit als TEST-OPERATE-TEST-Schleife, die erst dann verlassen wird, wenn der Test eine Soll-Wert-Erreichung ergibt. In der Mitte wird der gleiche Sachverhalt etwas detaillierter für die Regelung einer stetigen Zielgröße (kann größer oder kleiner dem Soll-Wert sein) dargestellt. Die Potenziallandschaftsdarstellung (rechts) entlarvt TOTE-Einheiten als untereinander gehängte Trichter. Das System gehorcht dem Fallgesetz seiner inneren Logik und kommt nach Ablauf des gesamten Programms zum Stillstand (Fixpunkt).

5. Anomalien – Verunsicherungen der Normalwissenschaften

Obwohl die bisher dargestellten Ansätze, angefangen bei der klassischen Mechanik bis zur Kybernetik, auch heute noch als fruchtbringende Forschungsansätze innerhalb und außerhalb der Psychologie betrachtet werden können, unterliegen sie doch bestimmten Beschränkungen, auf die zum Teil schon eingegangen wurde. Insbesondere die mit diesen Ansätzen verbundenen Vorstellungen der Allgemeingültigkeit, Unvergänglichkeit und exakten Berechenbarkeit gerieten in verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen zum Teil bereits sehr früh ins Wanken.

Bereits 1865 führt die Formulierung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik zumindest theoretisch zu einem Ende der Ewigkeitsvorstellung vom Uhrwerkuniversum. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gerät die Vorstellung von der Stabilität des Sonnensystems durch die Arbeiten von Henri Poincaré³⁹ in starke Bedrängnis, allerdings ohne dass dies von der Fachwelt weiter beachtet worden wäre. Ähnliche bizarre Beobachtungen führten Edward Lorenz 1963 bei Arbeiten über globale Wettermodelle zur Formulierung des inzwischen berühmt gewordenen *Schmetterlingseffekts*, der in der Originalarbeit von Lorenz noch als Auswirkung des Flügelschlags einer Seemöwe beschrieben wird.

Sonderbares Verhalten zeigen aber auch mathematische Modelle, die in der Ökologie zur Beschreibung von Populationsdynamiken bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts benutzt werden und bestimmte chemische Reaktionszyklen, die heute unter der Bezeichnung Belusov-Zhabotinsky-Reaktionen zusammengefasst werden.

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die genannten Anomalien und Verunsicherungen, die zusammen mit anderen Entdeckungen zur Formulierung von theoretischen Erklärungsansätzen führten, die unter dem Sammelbegriff „*Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme*“ zusammengefasst werden können.

5.1 Das Ende der Ewigkeitsvorstellung: Die Entdeckung der Vergänglichkeit

Die Ordnung der Welt ist gottgegeben

Das Universum ist ein sich ewig drehendes komplexes Uhrwerk. Ungefähr so lassen sich die Vorstellungen des 16. Jahrhunderts, die bis ins ausgehende 19. Jahrhundert ihre Gültigkeit behalten sollten, zusammenfassen. Den Menschen des 16. Jahrhunderts stellte sich die Welt als gigantisches Räderwerk dar. Eng mit dieser Metapher verbunden war die Annahme der Ewigkeit. Das „Uhrwerkuniversum“ mit all seinen unzähligen Rädchen und Hebeln existiert in dieser Vorstellung seit Anbeginn der Welt und wird bis in alle Ewigkeit weiterbestehen (vgl. auch S. 39ff.). Die Ordnung der Welt ist gottgegeben. Einmal in Bewegung versetzt bestimmt das ewige Zusammenspiel der Naturgesetze kausal determiniert

³⁹ 1854 bis 1912

alle Prozesse im Universum. Diese Vorstellung hat etwas Beruhigendes, verweist sie doch auf eine gottgegebene ewige Ordnung der Dinge. Alles was ist und sein wird, ergibt sich kausal determiniert aus dem ewigen Wechselspiel der Kräfte und Bewegungen des Kosmos. Dieses Universum galt als vollkommen, es braucht ihm weder etwas hinzugefügt zu werden, noch geht ihm etwas verloren.

Die Ewigkeitsvorstellung des Universums begründet sich auf dem Konzept des Atoms

Bereits für den griechischen Philosophen Demokrit⁴⁰ stellte sich die Welt als aus kleinsten nicht mehr teilbaren ewigen Bausteinen, den Atomen, zusammengesetzt dar. Atome gelten für ihn als unvergänglich, sodass sich zwar die Zusammensetzung von mehreren Atomen zu verschiedenen Körpern mit der Zeit ändern kann nicht jedoch deren Zahl. Die Bewegungen dieser ewigen kleinsten Bausteine werden durch die Naturgesetze bestimmt, die damit zwangsläufig alle Bewegungen aller Körper im Universum auf ewig determinieren.

Dürr (1990) fasst diese Ewigkeitsvorstellung vom „Uhrwerkuniversum“ anschaulich zusammen:

Nach der klassisch-mechanistisch atomistischen Vorstellung besteht die Welt aus einer großen Anzahl von nicht mehr weiter zerlegbaren, strukturellen und unzerstörbaren Bausteinen, von irgendwelchen Atomen. ‚Atome‘ sollen hierbei nicht die Atome im engeren Sinne, die Bausteine der chemischen Elemente bedeuten, sondern deren Subpartikel, die sogenannten Elementarteilchen...

Welches nun letztlich die kleinsten Bausteine sind, soll uns hier nicht kümmern, sondern nur, dass es überhaupt solche kleinsten und unzerstörbaren Bausteine der Materie gibt, also ‚Objekte‘ in einem bestimmten Sinne, die zeitlich unveränderlich sind, also über alle Zeiten hin mit sich selbst identisch bleiben. Sie verbürgen bei dieser Vorstellung gewissermaßen die zeitliche Kontinuität unserer Welt. Jedes dieser Atome könnten wir anschaulich mit einem unendlich langen, in seiner ganzen Länge mit sich selbst gleichbleibenden Nylonfaden vergleichen, der aus frühester Vergangenheit kommt und in die fernste Zukunft läuft (vgl. Abbildung 26).

Die Welt ist ein dickes Nylonseil, das aus unzählig vielen solcher Fasern besteht. Das Weltgeschehen besteht nur in einer komplizierten Durchmischung und Umordnung dieser vielen Atome, in unserem Bild also in den Verflechtungen und Verwicklungen der einzelnen Nylonfäden entlang des Seils.

Diese Verwicklungen sind in einem mechanistischen Weltbild nicht zufällig, sondern gehorchen ganz bestimmten Gesetzen...

Eine strenge Determiniertheit des Weltgeschehens würde – wenn man auch die belebte Welt und die Menschen mit in diese Gesetzmäßigkeit einbezieht – keine Freiheit des Handelns mehr zulassen! Das Weltgeschehen würde unbeeinflussbar wie ein Uhrwerk ablaufen! (Dürr 1990, S. 36ff.)

Im deterministisch atomistischen Weltbild ist die Zeit grundsätzlich umkehrbar

Die Vorstellungen eines solcherart gestalteten deterministisch-atomistischen Weltbildes führen zwangsläufig zum Laplaceschen Dämon (vgl. S. 41) und dazu, dass der Zeitpfeil zumindest prinzipiell umgekehrt werden kann (vgl. Mainzer 1996, S. 38f.). Die Bewegungen rechts und links der Gegenwart in Abbildung 26 unterscheiden sich qualitativ nicht voneinander. Weder in der Vergangenheit noch in der Zukunft finden sich Brüche im Zeitverlauf. Weder entsteht grundsätzlich Neues, noch kommen Bewegungen in bestimmten Zeitpunkten zum Erliegen. Werden

⁴⁰ 460 bis 370 v.Chr.

und Vergehen, verstanden als einmalige nicht umkehrbare zeitliche Prozesse, treten nicht auf.

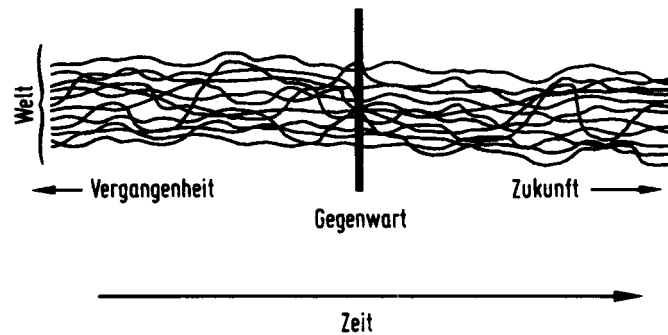


Abbildung 26: Deterministisch-atomistisches Weltmodell „Nylonseil“

Im Rahmen eines deterministisch-atomistischen Weltbildes ergibt sich die Zukunft zwingend aus den Bewegungen der „Atome“ in der Gegenwart. Ebenso wie die Zukunft sich zwingend aus den Bewegungen und Bedingungen der Gegenwart ergibt, lässt sich jede Bewegung in die Vergangenheit zurückverfolgen. Obwohl die Zeit in einer Richtung verläuft, sind Vergangenheit und Zukunft austauschbar. Qualitativ unterscheiden sich die Bewegungen rechts und links der Gegenwart nicht voneinander (Abbildung aus: Dürr 1990, S. 37).

Die direkte Koppelung von Ursache und Wirkung im Rahmen eines allgemeingültigen deterministischen Weltbildes lässt für jeden Vorgang in der Natur eine vollständige Umkehrung von Ursache und Wirkung und damit eine Umkehr des Zeitpfeils zu. Macht man die Wirkung rückgängig, so wird das „Rückgängig-Machen“ selber zur Ursache, die durch die konsistente Gültigkeit der kausalen Gesetze dazu führt, dass prinzipiell jeder Vorgang in der Natur umgekehrt werden kann. Wer schon einmal eine Tasse hat fallen lassen, weiß, dass diese Umkehrbarkeit – die direkt aus den Annahmen des mechanistischen Weltbildes folgt – tatsächlich nur prinzipiell gilt. Beschreibungen der Natur, die eine Unzeitlichkeit, weil Umkehrbarkeit der Naturprozesse implizieren, stimmen nicht mit Alltagserfahrungen überein.

Ein rückwärts laufender Film simuliert die Umkehrung von linealen Kausalvorgängen recht anschaulich: Tatsächlich scheint es eine Klasse von Verhaltensweisen zu geben, die sich sehr wohl umkehren lassen, ohne dass dies auffiele. Ob das Räderwerk einer Uhr vorwärts oder rückwärts läuft, lässt sich nur durch den Blick auf das Zifferblatt feststellen. Ebenso umkehrbar ist die Fahrtrichtung eines Autos. Dass ein Auto in einer Situation vorwärts oder rückwärts fährt, erscheint je nach Situation eventuell unlogisch oder gegen die Straßenverkehrsordnung, nicht aber unmöglich. Als unmöglich und in der Natur nicht vorkommend würde aber sofort erkannt werden, wenn dieses Auto seine Fahrt durch den Zusammenprall mit einem Baum beendet hätte. Läuft der Film rückwärts, springen die Scheiben wieder zusammen, beulen sich die Kotflügel wieder aus, richtet sich die verbogene Antenne wieder auf. Obwohl auch hier, wie im Räderwerk einer Uhr einfache mechanische Gesetze zur Beschreibung ausreichen, kommt zwar der Vorgang der Zerstörung von Gegenständen in der Natur vor, nicht jedoch die spontane Neuordnung und „Heilung“ eines Haufens Schrott zu einem schnittigen Sportwagen.

Die traurige Erkenntnis, dass der Zahn der Zeit jedes noch so kunstvolle Menschenwerk nach und nach wieder in seine Bestandteile zerlegt, jede Bewegung

nach und nach zum Erliegen kommt, der Zeitpfeil also auf eine Zerstörung jeglicher Ordnung ausgerichtet zu sein scheint und diese Prozesse sich anscheinend nicht wieder umkehren lassen, ereilte die Physik zum Ende des 19. Jahrhunderts.

Hinter dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik lauert die Vergänglichkeit allen Seins

Wurde die Ewigkeitsvorstellung des Universums noch vom 1. Hauptsatz der Thermodynamik gestützt, der postuliert, dass Energie in einem geschlossenen System nicht verloren gehen kann, verweist der 2. Hauptsatz der Thermodynamik auf die prinzipielle Vergänglichkeit jeglicher Prozesse des Universums (für eine umfassende und vor allem kritische Diskussion zur Bedeutung der Thermodynamik für die Beschreibung irreversibler Prozesse vgl. Uffink 2001).

Die *Gesetze der Thermodynamik* dienten zunächst dazu, auf makroskopischer Ebene Vorgänge in Dampfmaschinen physikalisch zu beschreiben. 1865 formulierte der Physiker Rudolf Clausius⁴¹ die zwei Hauptsätze der Thermodynamik in einer kosmologischen Form, indem er das gesamte Universum als vollständig energetisch geschlossenes System auffasst (vgl. Coveney & Highfield 1992, S. 196). Clausius' thermodynamische Deutung des Universums als vollständig geschlossenes System erschütterte die Ewigkeitsvorstellung grundlegend. Das Universum konnte fortan nicht mehr als *Perpetuum Mobile* (vgl. Abbildung 27), als eine sich ewig bewegende Maschine angesehen werden.

Energetisch geschlossene Systeme nehmen weder Energie von außen auf noch geben sie Energie nach außen ab. In solchen geschlossenen Systemen gelten die klassischen physikalischen Erhaltungssätze, wie z.B. der der *Energieerhaltung*, der als *1. Hauptsatz der Thermodynamik* bezeichnet wird. Ein einfaches Fadenpendel, das an einem Haken an der Zimmerdecke hängt, kann zur Verdeutlichung vereinfachend als energetisch geschlossenes System betrachtet werden. Und als solches wird es da hängen bleiben und sich nicht bewegen. Die Energie im System ist gleich Null, und da laut Definition von außen keine zusätzliche Energie zugeführt werden kann, bleibt das auch so. Wird das Pendel nun doch einmal angestoßen, also kurzzeitig mit Energie versorgt, so behält das System diese Energie ohne Verluste bei. Dennoch bleibt das Pendel nach einiger Zeit stehen.

In energetisch geschlossenen Systemen nimmt die Entropie bis zum Systemtod beständig zu

Dies scheint dem Energieerhaltungssatz zu widersprechen, lässt sich jedoch mit der *Entropie* der Energie erklären. Mit dem Begriff der Entropie wird die „Unordnung“ von Energie bezeichnet. Je größer die Entropie, desto größer ist die energetische Unordnung. Kurz nach dem Anstoßen des Pendels ist die Ordnung der Energie hoch und die Entropie klein, da die Energie sich streng gerichtet allein in der Bewegung des Pendels konzentriert. Nach und nach verteilt sich die Energie immer mehr im System. Sie wandelt sich durch die Luftreibung und die Reibung der Pendelaufhängung in ungerichtete und für die Bewegung des Pendels unbrauchbare Wärmeenergie um. Diese geht nicht verloren, ist jedoch von zunehmend höherer Entropie, sodass das Pendel zum Stillstand kommt. Alle energetisch geschlossenen Systeme produzieren laufend mehr Entropie und damit den Zerfall ihrer Systemeigenschaften (zum Pendelbeispiel vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 149). Dies entspricht dem *2. Hauptsatz der Thermodynamik* und führt unweigerlich zu der Unmöglichkeit einer tatsächlichen Reversibilität physikalischer

⁴¹ 1822 bis 1888; Clausius formulierte nicht nur den 2. Hauptsatz der Thermodynamik, sondern führte auch den Begriff der Entropie (vgl. unten, S. 84) ein.

Vorgänge. Die Umwandlung in Wärmeenergie hoher Entropie lässt sich nicht vollständig rückgängig machen.

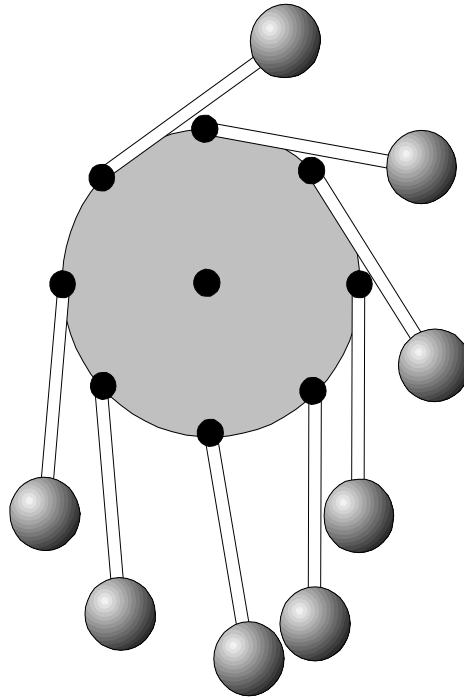


Abbildung 27: Schematische Darstellung eines Perpetuum Mobile

Die Abbildung gibt eine der klassischen Entwürfe für ein Perpetuum Mobile wieder, wie es sich z.B. auch bei Leonardo DaVinci⁴² finden lässt (vgl. z.B. Wallace 1976).

Hinter dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik lauert die Zeitlichkeit aller Vorgänge. Kosmologisch gesehen müsste es zu einer ständigen Erwärmung des Universums kommen und letztlich zu dessen Stillstand führen⁴³.

In diesen Sätzen drückt sich eine allgemein in der Natur obwaltende Tendenz zu Veränderungen in einem bestimmten Sinne aus. Wendet man dieses auf das Weltall im Ganzen an, so gelangt man zu einer eigentümlichen Schlussfolgerung, auf welche zuerst W. Thomson aufmerksam machte, nachdem er sich meiner Auffassung des zweiten Hauptsatzes angeschlossen hatte. Wenn nämlich im Weltall die Wärme stets das Bestreben zeigt, ihre Verteilung in der Weise zu ändern, dass dadurch die bestehenden Temperaturdifferenzen ausgeglichen werden, so muss sich das Weltall allmählich mehr und mehr zu dem Zustand nähern, wo die Kräfte keine neuen Bewegungen mehr hervorbringen können, und keine Temperaturdifferenzen mehr existieren. (Clausius 1864, S. 323, zitiert nach Uffink 2001, S. 336)

⁴² 1452 bis 1519

⁴³ Gegen das daraus folgende Szenario des Hitzetodes des Universums sprechen jedoch Überlegungen, welche die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass sich das Universum seit dem Urknall noch immer weiter ausdehnt, und es durch die Abnahme von Materie pro Volumeneinheit eher zu einem Kältetod kommen könnte.

5.1.1 Wie es lebende Systeme vermögen, sich dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik zu widersetzen

**Negative Entropie.
Oder: Wie Ordnung
aus Ordnung entsteht**

Vor dem Hintergrund des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik stellt sich die Frage neu, wie es vorstellbar sein kann, dass mechanische Vorgänge, wie sie durch die klassischen Naturwissenschaften beschrieben werden „negative Entropie“ erzeugen können. Der Begriff „negative Entropie“ wurde erstmals von Erwin Schrödinger⁴⁴ 1944 eingeführt (Schrödinger 1989/1944). Er bezieht sich ursprünglich auf Lebewesen und bezeichnet den nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik prinzipiell nicht vorstellbaren Umstand, dass Lebewesen in der Lage sind, ihre Lebensvorgänge über relativ lange Zeiträume aufrechtzuerhalten. Nach Schrödingers Vorstellungen entziehen sie der Umwelt durch die Aufnahme von Nahrung beständig „negativ Entropie“ und halten sich damit auf dem Niveau einer relativ geringen Entropie.

Ein Organismus erscheint deswegen so rätselhaft, weil er sich dem raschen Verfall in einen unbewegten ‚Gleichgewichtszustand‘ entzieht, und dieses Rätsel hat der Menschheit so viel zu schaffen gemacht, dass sie seit den frühesten Zeiten des philosophischen Denkens und teilweise auch heute noch behauptet, im Organismus sei eine unkörperliche, übernatürliche Kraft wirksam (vis viva, Entelechie).

Wie entzieht sich der lebende Organismus dem Zerfall? Die Antwort lautet offenbar: Durch Essen, Trinken, Atmen und (im Falle der Pflanzen) durch Assimilation. Der Fachausdruck heißt Metabolismus. Das griechische Wort (μεταβολειν) bedeutet Wechsel oder Austausch. Was wird ausgetauscht? Die ursprünglich zugrundeliegende Vorstellung ist zweifellos ein Auswechseln von Stofflichem (daher die deutsche Bezeichnung Stoffwechsel für Metabolismus). Es wäre unsinnig anzunehmen, dass der Austausch von Stofflichem das Wesentliche wäre. Jedes Atom Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel usw. ist ebensoviel wert wie jedes andere seiner Art; was ließe sich durch ihren Austausch gewinnen? ...

Was ist denn dieses kostbare Etwas in unserer Nahrung, das uns vor dem Tode bewahrt? Das ist leicht zu beantworten. Jeder Vorgang, jedes Ereignis, jedes Geschehen – man kann es nennen, wie man will, – kurz alles, was in der Natur vor sich geht, bedeutet eine Vergrößerung der Entropie jenes Teiles der Welt, in welchem es vor sich geht. Damit erhöht ein lebender Organismus ununterbrochen seine Entropie – oder wie man auch sagen könnte, er produziert eine positive Entropie – und strebt damit auf den gefährlichen Zustand maximaler Entropie zu, der den Tod bedeutet. Er kann sich ihm nur fernhalten, d.h. leben, indem er seiner Umwelt fortwährend negative Entropie entzieht – welche etwas sehr Positives ist, wie wir gleich sehen werden. Das, wovon ein Organismus sich ernährt, ist negative Entropie. Oder, um es etwas weniger paradox auszudrücken, das Wesentliche am Stoffwechsel ist, dass es dem Organismus gelingt, sich von der Entropie zu befreien, die er, solange er lebt, erzeugen muss. (Schrödinger 1989/1944, S. 124ff.)

⁴⁴ 1887 bis 1961

5.1.2 Kann Ordnung aus Unordnung entstehen?

Durch die Einführung der „negativen Entropie“ erfasst Schrödinger jedoch nur zum Teil die „Tricks des Lebens“ (Fischer im Vorwort zu Schrödinger 1989/1944, S. 22). Er beschreibt, wie es Lebewesen gelingt ihre Ordnung eine Zeit lang aufrecht zu erhalten, wie jedoch neue höhere Formen von Ordnung z.B. im Zuge evolutionärer Prozesse entstehen können, vermag er nicht zu erklären. Schrödinger übertitelte das entsprechende Kapitel mit „Ordnung beruht auf Ordnung“. Damit bleibt die Frage offen, wie Ordnung aus Unordnung und wie aus Ordnung noch mehr Ordnung entstehen kann. Oder anders ausgedrückt, wie vermögen es bestimmte Systeme ihre Entropie zu verringern ohne der Umwelt genau diese Ordnung zu entziehen?

Die Antworten auf die genannte Frage sind nicht älter als 40 Jahre. Sie sind eng mit den Namen Ilja Prigogine und seiner *Theorie Dissipativer Systeme* (z.B. Prigogine & Stengers 1986, Prigogine 1987, Prigogine & Stengers 1993), Hermann Haken und der von ihm begründeten *Synergetik* (z.B. Haken 1985, 1990a, Haken & Wunderlin 1991) und der von Manfred Eigen konzeptualisierten *Theorie der Hyperzyklen* (z.B. Eigen 1971, Eigen & Schuster 1979) verknüpft.

Wie ist Selbstorganisation möglich?

Im Zusammenhang mit den genannten theoretischen Ansätzen steht das Konzept der „Selbstorganisation“, welches erstmals Erklärungen für selbsttätige Ordnungsbildung in der belebten und unbelebten Natur anbietet. Die Fähigkeit zur selbsttätigen Ausbildung von Ordnungsstrukturen kann als das beeindruckendste Merkmal bestimmter ausgezeichnete Systeme verstanden werden.

Disziplinenübergreifend zeigen sich diese Fähigkeiten bestimmter Systeme in analoger Weise in den verschiedensten wissenschaftlichen Fachrichtungen. Die genannten systemtheoretischen Ansätze besitzen damit eine Universalität, die sie über die Detailfragen einzelner disziplinspezifischer Erklärungsansätze erheben. Systeme erscheinen vor diesem Hintergrund als Strukturen mit bestimmten Fähigkeiten und Eigenschaften, die erst im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Betrachtung deutlich werden. Systeme erscheinen daher als eine Klasse von Strukturen, mit spezifischen Eigenschaften, die sich aus ihrer Klassenzugehörigkeit ergeben. Hieraus begründet sich der Anspruch der Systemwissenschaften auf Eigenständigkeit.

Erste Verunsicherungen im deterministisch kausalen Weltbild zeigten sich bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert

Die Erkenntnisse darüber, wie es bestimmten Systemen gelingt emergent selbstorganisierte Ordnungsstrukturen auszubilden (zum Emergenzbegriff siehe z.B. Goldstein 1999, Stephan 2001), wurden vermehrt erst seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts gewonnen. Verunsicherungen des deterministisch kausalen Weltbildes zeigten sich jedoch vereinzelt bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert, so z.B. bei Lösungsversuchen zum berühmten Drei-Körper-Problem, das Henri Poincaré Zeit seines Lebens beschäftigen sollte; oder in den „mathematischen Monstern“ von Georg Cantor⁴⁵, Gaston Julia⁴⁶, Helge von Koch⁴⁷, Pierre Fatou⁴⁸ und anderen.

⁴⁵ 1845 bis 1918

⁴⁶ 1893 bis 1973

Die Aufarbeitung dieser *Anomalien* und ihre Integration in eine umfassende Theorie über die Vorgänge in komplexen Systemen ging nur sehr allmählich voran und ist nicht zuletzt erst durch die Rechenleistung moderner Computer ermöglicht worden. In vielen Bereichen der Wissenschaften hat sich seitdem ein umfassender Paradigmenwechsel vollzogen, dessen Tiefe heute noch nicht endgültig ausgelotet werden kann.

Neben einem fortschreitenden Wandel von Forschungsparadigmen und Theoriegebäuden finden sich jedoch weit größere Teile der Wissenschaften, die die neuen Erkenntnisse nur sehr zögerlich rezipieren oder ihnen gar ablehnend gegenüber stehen. Insbesondere in der Psychologie scheint man auf klassisch kausalmechanistische Forschungs-, Theorie- und Methodenansätze nicht verzichten zu wollen (vgl. Schiepek 1996). Damit ergibt sich leider der paradox anmutende Umstand, dass psychische Prozesse heute vielfach deterministischer und zwingender erklärt werden als die Vorgänge in physikalischen Systemen.

⁴⁷ 1870 bis 1924

⁴⁸ 1878 bis 1929

5.2 Henri Poincaré und das Drei-Körper-Problem

Das Chaos zeigte sich erstmals im Jahr 1889

Die Entdeckung bestimmter mathematisch beschreibbarer Systeme, die zur Selbstorganisation und damit zur spontanen selbstgesteuerten Ordnungsbildung fähig sind, reicht in ihren Anfängen bis in das Jahr 1889 zurück. Dennoch sollten weitere 70 Jahre vergehen, bis die Vorgänge in selbstorganisierten Systemen und die Entstehung chaotischer Prozessdynamiken, wie sie solche Systeme auszubilden in der Lage sind, verstanden werden konnten.

Isaac Newton⁴⁹ formulierte in seiner berühmten *Philosophiae naturalis principia mathematica* 1687 die grundlegenden Bewegungsgesetze zur Beschreibung von Planetenbahnen. Die Beschreibung gelang ihm jedoch nur für zwei Körper, die sich gegenseitig durch Gravitation beeinflussen. In diesem Sinne konnten die seit Kepler⁵⁰ bekannten elliptischen Bahnen, in denen sich die Planeten um die Sonne bewegen, jeweils nur für einzelne Planeten bestimmt werden, obwohl davon ausgegangen werden kann, dass die Bahnen zweier Planeten durch nur einen weiteren verformt werden müssten.

In über zweihundert Jahren kam es nur zu wenigen Fortschritten bei der Lösung des *Drei-Körper-Problems*, geschweige denn bei der Lösung eines generalisierten *N-Körper-Problems*. Mathematiker, die sich dem Problem zu nähern versuchten, gingen relativ schnell dazu über, die generelle Aufgabenstellung zu spezifizieren und einzuschränken, z.B. indem sie davon ausgingen, dass einer der drei Planeten eine sehr viel geringere Masse aufweist als die anderen beiden. Pierre-Simon de Laplace gelang die Lösung eines solchen Spezialfalls, aber er scheiterte an einer allgemeinen Lösung.

Es begann mit einem Wettbewerb

Der erste Blick ins Chaos ergab sich unerwartet und wurde von bizarren Ereignissen begleitet. In den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde anlässlich des 60. Geburtstages von König Oscar II. von Schweden ein mathematischer Wettbewerb ausgeschrieben, bei dem es neben 2.500 Kronen hohes Ansehen und Reputation, sowie eine Goldmedaille zu erringen gab. Insgesamt vier Probleme wurden von den Mathematikern Karl Weierstraß⁵¹, Charles Hermite⁵² und Gösta Mittag-Leffler⁵³ für diesen Wettbewerb formuliert. Drei der Probleme bezogen sich auf den Bereich der reinen Mathematik. Das vierte Problem beruhte auf der Behauptung des angesehenen Göttinger Mathematikers Peter Gustav Lejeune Dirichlet⁵⁴, der berichtete einen Beweis dafür gefunden zu haben, dass das Sonnensystem ein stabiles System sei (vgl. Peterson 1994, S. 168ff.). Allerdings hat er den Beweis niemals niedergeschrieben und starb, ohne dass er jemandem sein Geheimnis mitteilte (wenn er es denn überhaupt besaß). Weierstraß versuchte sich in der Folge mit wenig Erfolg an dem Problem und beschloss es als vierte Aufgabe für den Wettbewerb vorzuschlagen (Parker 1996). Die Formulierung der vierten Aufgabe

⁴⁹ 1642 bis 1727

⁵⁰ 1571 bis 1630

⁵¹ 1815 bis 1897

⁵² 1822 bis 1901

⁵³ 1846 bis 1927

⁵⁴ 1805 bis 1859

durch Weierstraß zielte explizit darauf ab nachzuweisen, dass es sich bei einem Planetensystem aus N Objekten um ein stabiles System handelt, dessen Planetenbahnen sich als konvergierende Reihe darstellen lassen:

Given a system of arbitrarily many mass points that attract each other according to Newton's laws, assuming that no two points ever collide, give the coordinates of the individual points for all time as the sum of a uniformly convergent series whose terms are made up of known functions. (Zitiert nach Peterson 1999)

Bei dem genannten Problem handelt es sich keinesfalls um ein Problem, das nur von theoretischem Interesse ist. Galt für das 17. und 18. Jahrhundert das Universum noch als gigantisches den Newtonschen Gesetzen gehorchendes ewiges Räderwerk, so ließen der 2. Hauptsatz der Thermodynamik und die bisher gescheiterten Versuche zur Lösung des Drei-Körper-Problems Zweifel daran aufkommen, ob das Universum wirklich von Dauer ist. Handelt es sich bei unserem Sonnensystem um kein stabiles System, so würde das bedeuten, dass das System durch kleine Verstörungen aus seiner Bahn geworfen werden könnte oder gar aus sich selbst heraus „zerfällt“.

Einer derjenigen, die sich dem Problem stellten war Henri Poincaré. Poincaré, der häufig als das letzte Universalgenie im Bereich der Mathematik bezeichnet wird hatte ursprünglich vor, das Problem auf das damals bekannte Sonnensystem mit insgesamt neun Objekten, also die Sonne und acht Planeten (Pluto war noch nicht entdeckt worden) zu beschränken. Es stellte sich jedoch heraus, dass auch die kleineren Objekte im Sonnensystem zu beachtlichen Störungen der Bahnen der großen Planeten beitragen, sodass sich die Beschränkung auf das Sonnensystem weniger als ein Neun- denn als ein 50-Körper-System herausstellte (Parker 1996).

Poincaré war schnell klar, dass eine solche Aufgabe nicht zu lösen wäre und beschränkte sich auf das Drei-Körper-Problem. Aber auch dieses stellte sich als extrem schwierig heraus.

Neun Integrale müssen für das Drei-Körper-Problem gelöst werden. Nicht für alle ist eine algebraische Lösung möglich

Für eine vollständige Lösung des Drei-Körper-Problems müssen neun Integrale gelöst werden (vgl. auch Gleichung 16f. ab S. 184). Zu der Zeit als sich Poincaré mit dem Problem beschäftigte ging man noch davon aus, dass jedes dieser Integrale durch eine algebraische Lösung beschrieben werden könne. 1892 zeigte Heinrich Bruns⁵⁵, dass diese Annahme nicht für alle neun Integrale gilt (vgl. Parker 1996). Auch Poincaré versuchte sich zunächst an der Lösung der Integrale, wählte dann jedoch einen geometrischen Zugang. Dazu erstellte er zunächst so genannte *Phasenraumdarstellungen* der drei Planetenbahnen.

Während durch so genannte (x,t)-Diagramme zeitliche Entwicklungen einzelner Variablenausprägungen veranschaulicht werden (vgl. Abbildung 28), werden in Phasenraumdarstellungen die verschiedenen Variablen eines Systems gegeneinander aufgetragen (vgl. Abbildung 29).

⁵⁵ 1866 bis 1919

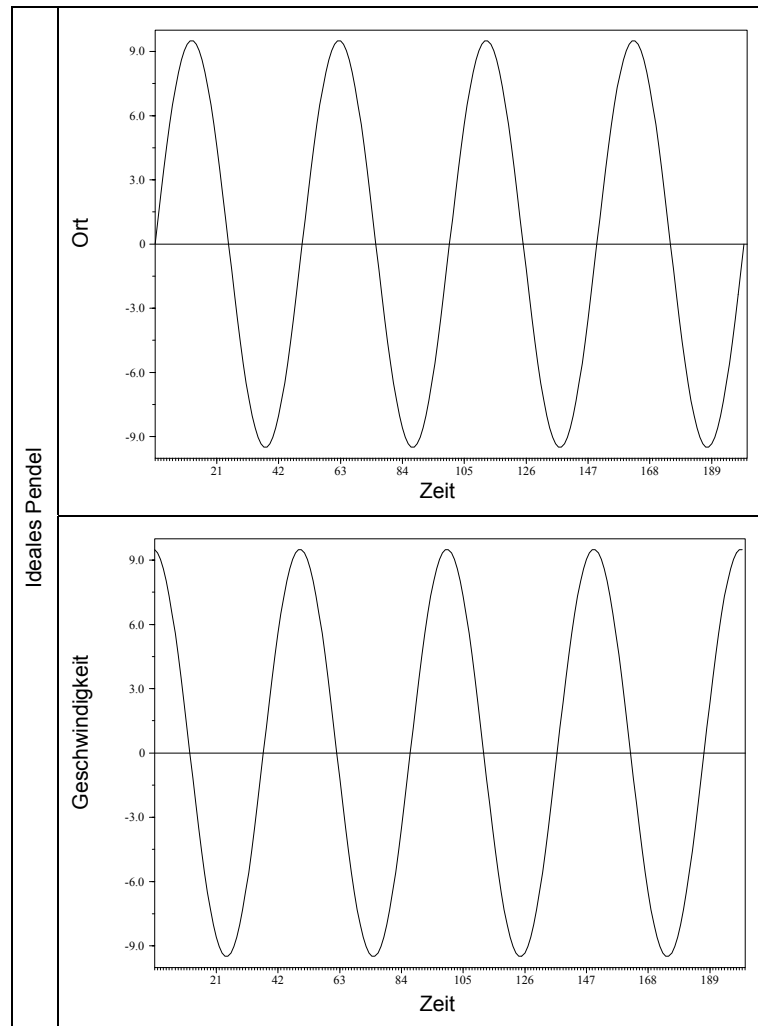


Abbildung 28: (x-t)-Diagramme einer Sinus- und einer Kosinus-Funktion

In (x-t)-Diagrammen wird die Ausprägung einer Variablen über die Zeit aufgetragen. Da ein System durch mehrere Variablen gekennzeichnet sein kann, kann es zu einem System auch mehr oder weniger viele „Zeitreihen“ geben. Die dargestellten Zeitreihen könnten zum Beispiel von einem idealen Pendel stammen. Die obere Zeitreihe zeigt, wie das Pendel im Verlauf der Zeit von der einen Seite zur anderen schwingt, während die untere Zeitreihe angibt, wie sich dabei die Geschwindigkeit des Pendels ändert. Jeweils bei den Endpunkten (Maximum und Minimum der oberen Zeitreihe) wird die Geschwindigkeit des Pendels minimal, um in der Mitte den maximalen Wert zu erhalten.

Empirisch interessante Realitätsausschnitte lassen sich nur in den seltensten Fällen mit Hilfe einer einzigen Variable darstellen. Meist wird eine Vernetzung von mehreren Variablen nötig, um ein Phänomen inhaltlich angemessen beschreiben zu können. Wird zum Beispiel ein System betrachtet, welches durch das Zusammenwirken von nur zwei Variablen, nämlich x und y konstituiert wird, so können sowohl x als auch y über die Zeit aufgetragen werden.

Werden die Variablen eines Systems gegeneinander aufgetragen entsteht ein Phasenraum-Diagramm

Es ist aber ebenso möglich, und in vielen Fällen sinnvoller, x gegen y aufzutragen, was bedeutet, dass x und y einen *Phasenraum aufspannen*. In Phasenraum-Diagrammen bilden die Systemvariablen Achsen kartesischer Koordinatensysteme, in denen die Ausprägungen der Variablen gegeneinander aufgetragen werden. Graphisch darstellbar sind natürlich nur maximal dreidimensionale Räume. Systeme

mit mehr als drei Variablen können zwar nicht mehr anschaulich dargestellt, aber dennoch mit den Methoden der Vektoralgebra behandelt werden. Die entstehenden Kurven im Phasenraum werden als *Trajektorien* bezeichnet.

Die zeitliche Entwicklung des Systemverhaltens lässt sich erkennen, indem man die Trajektorie „entlangfährt“. Handelt es sich bei der durch die Trajektorie im Phasenraum dargestellten Dynamik um ein zeitlich stabiles Systemverhalten, so spricht man von einem *Attraktor*.

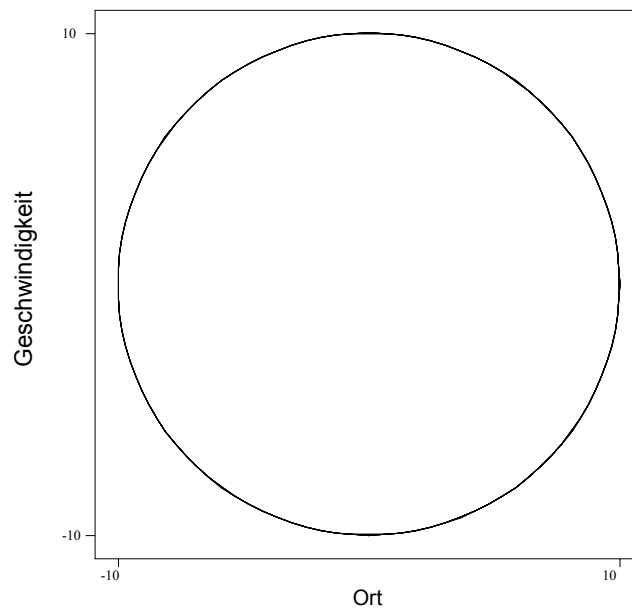


Abbildung 29: Phasenraum-Diagramme einer Sinus- und einer Kosinus-Funktion

Werden eine Sinus- und eine Kosinus-Funktion in einem Diagramm gegeneinander aufgetragen so ergibt sich die in der Abbildung wiedergegebene Phasenraumdarstellung. Die entstehende Kurve im Phasenraum wird als *Trajektorie* bezeichnet. Die zeitliche Entwicklung des Systemverhaltens lässt sich erkennen, indem man die Trajektorie „entlangfährt“. Handelt es sich bei der durch die Trajektorie im Phasenraum dargestellten Dynamik um ein zeitlich stabiles Systemverhalten, so spricht man von einem *Attraktor*. Da sich die Abfolge der Variablenausprägungen bei einer Sinus- bzw. Kosinus-Funktion zyklisch wiederholen ergibt, sich in der Abbildung ein Kreis, der als *Grenzyklus-Attraktor* bezeichnet wird.

Poincaré-Schnitte erlauben es auch hoch-dimensionale Systeme zu untersuchen

Poincaré nutzte eine solche Phasenraumeinbettung um die Bahnen der drei Planeten, von denen jede durch ihren Ort und ihren Impuls (Masse mal Geschwindigkeit) charakterisiert wird, zu untersuchen. Da sich durch diese Phasenraumdarstellung ein mehrdimensionales Koordinatensystem ergibt, das graphisch nicht mehr dargestellt werden kann, führte Poincaré Schnitte durch den Phasenraum ein, die heute als Poincaré-Schnitte bezeichnet werden (vgl. Abbildung 30 und Abbildung 31).

Sein Ziel war es, zu überprüfen, ob das System insgesamt stabil ist. Zeigt das System sich wiederholende Zyklen, so sollte dies leicht an den Poincaré-Schnitten ersichtlich sein, nämlich daran, dass das System immer wieder die gleichen Punkte auf der Schnittfläche hinterlässt. Durch diese Methode sollte es ihm möglich sein, die Stabilität des Systems zu überprüfen. Allein es gelang ihm nicht, die Stabilität des Drei-Körper-Systems zweifelsfrei zu belegen. Dennoch hatte er durch

seine 200 Seiten umfassende Arbeit Lösungswege für eine ganze Reihe von mathematischen Problemen aufgezeigt. Beeindruckt von seinen Leistungen beschloss die Jury ihm den Preis zuzuerkennen.

Ein Berechnungsfehler stößt das Tor zum Chaos auf

Während der *Vorbereitung zur Drucklegung seiner Arbeit* in der *Acta Mathematica* kam es zu Fragen über einzelne Passagen seiner Arbeit. Während der Korrespondenz über die auftauchenden Fragen fiel Poincaré ein gravierender Fehler in seiner Arbeit auf. Ergebnisse in den Poincaré-Schnitten, die er zunächst als Hinweise für ein stabiles Verhalten gewertet hatte, stellten sich bei genauerer Betrachtung eher als Hinweise auf ein instabiles Systemverhalten heraus. Poincaré telegraphierte dem Herausgeber den Druck zu stoppen. Doch es war zu spät, die Arbeit war bereits gedruckt und einige Vorabdrucke an prominente Mathematiker und Astronomen versandt worden. Nur mit Mühe gelang es Mittag-Leffler, dem Herausgeber der *Acta Mathematica*, die bereits verschickten Ausgaben zurück zu erlangen – ein enormer Skandal für Autor und Herausgeber (vgl. Peterson 1994, Jackson 1999, S. 182f.).

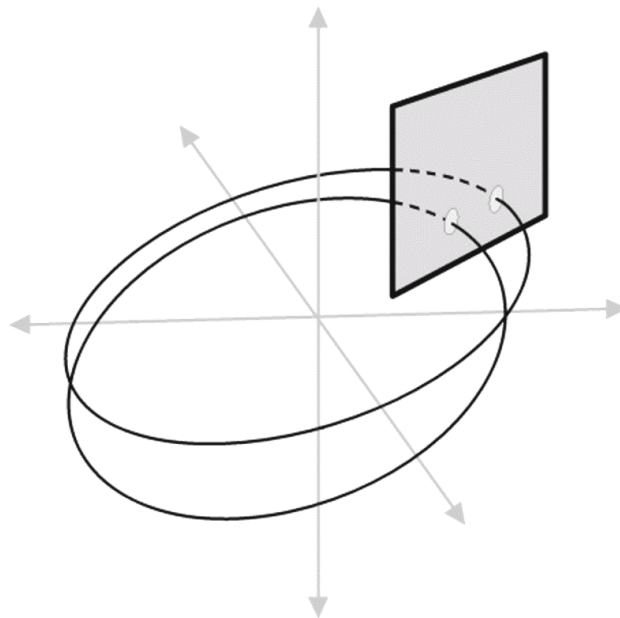


Abbildung 30: Poincaré-Schnitt

Bei so genannten Poincaré-Schnitten werden die Punkte, an denen die Trajektorien eine Ebene durchstoßen, markiert.

Chaos ist gekennzeichnet durch eine sensitive Abhängigkeit des Systems von seinen Startbedingungen

Die Überarbeitung seines Aufsatzes führte dazu, dass die Arbeit noch einmal annähernd hundert Seiten länger wurde (insgesamt umfasst sie 270 Seiten. Vgl. Peterson 1994, S. 184). Viele Teile der neuen Arbeit unterscheiden sich nicht oder nur unwesentlich vom Original. In den überarbeiteten Abschnitten gelangen Poincaré jedoch die ersten Einblicke in die tatsächliche Komplexität Newtonscher Dynamik. Tatsächlich gibt er die erste Beschreibung einer sensitiven Abhängigkeit des Systems von seinen Startbedingungen (eines der wichtigsten Definitionsmerkmale von chaotischen Systemen; vgl. auch S. 151ff.).

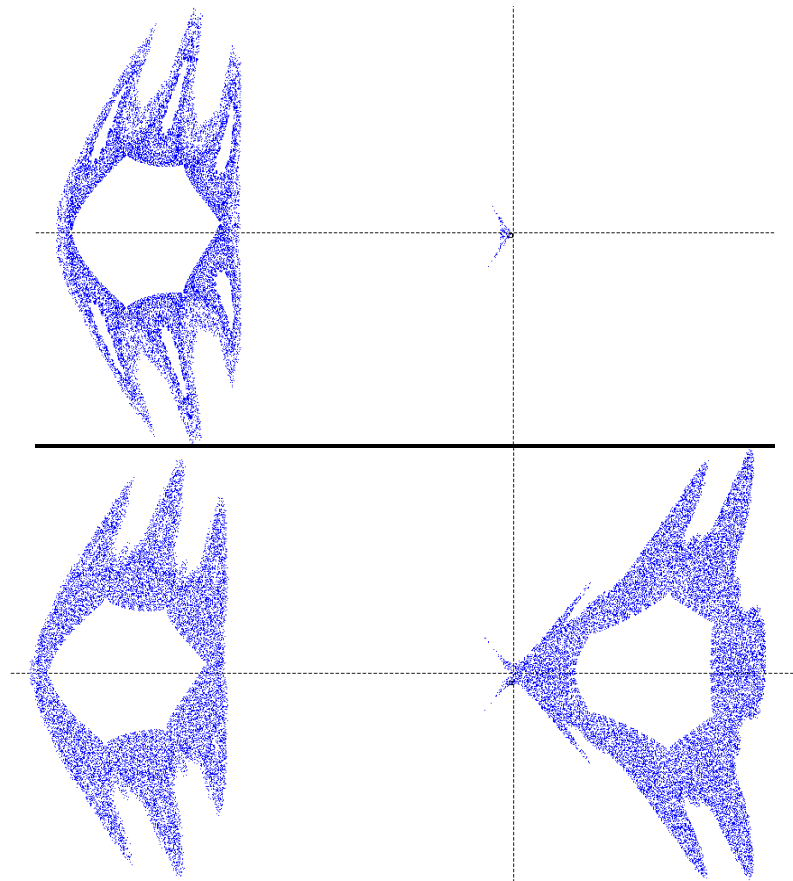


Abbildung 31: Poincaré-Schnitte für ein Doppelsternsystem

Die Abbildungen zeigen die Poincaré-Schnitte für ein Doppelsternsystem bei dem die beiden Sonnen die gleiche Masse besitzen. Der Planet umkreist dabei abwechselnd die beiden Sonnen. Abhängig von seiner Ausgangsgeschwindigkeit und damit der Energie im System kann er auf eine der beiden Sonnen stürzen oder sich aus dem System entfernen. In der oberen Abbildung beschränkt sich der Planet weitgehend auf eine Bahn um die linke Sonne. Nur vereinzelt nähert er sich der zweiten Sonne. Dieses System wurde mit einer sehr geringen Ausgangsgeschwindigkeit des Planeten gestartet. Abhängig von seiner Ausgangsposition wird er dabei entweder von der linken oder der rechten Sonne eingefangen. Die untere Abbildung wurde mit einer sehr hohen Ausgangsgeschwindigkeit gestartet. Der Planet kreist abwechselnd um beide Sonnen (Berechnungen durchgeführt mit Köppen 2000).

Die geschilderte Komplexität der Systemdynamik, basierend auf dem Drei-Körper-Problem, kann heute relativ leicht in Computersimulationen veranschaulicht und durch die *Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme* als chaotische Systemdynamik verstanden werden. Poincaré standen keine Computer zur Verfügung, zudem war er der erste, der mit der Möglichkeit konfrontiert wurde, dass sich deterministische Systeme nicht vorhersagbar verhalten können. Ein besonderer Verdienst Poincarés war es daher, sich diesen Entdeckungen gestellt zu haben. Dennoch war er durch die Möglichkeit des Chaos zutiefst beunruhigt. Zeit seines Lebens kam er mit Unbehagen auf die Erkenntnisse seiner Arbeit zurück:

...es kann der Fall eintreten, dass kleine Unterschiede in den Anfangsbedingungen große Unterschiede in den späteren Erscheinungen hervorrufen. Ein kleiner Irrtum in den ersteren kann dann einen außerordentlich großen Irrtum für die letzteren nach sich ziehen. Die Vorhersage wird unmöglich und wir haben eine ‚zufällige‘ Erscheinung. (Poincaré 1908, zitiert nach Peterson 1994, S. 193)

Während Newton 1687 noch schreiben konnte: „Die Natur erfreut sich der Einfachheit; sie bedarf nicht des Scheinglanzes überflüssiger Gründe“ (zitiert nach Coveney & Highfield 1992, S. 354), hält ihm Poincaré zweihundert Jahre später entgegen: „Noch vor einem Jahrhundert hat man mit Überzeugung kundgetan, dass die Natur die Einfachheit bevorzuge; seitdem hat es sich bei mehr als einer Gelegenheit erwiesen, dass das Gegenteil zutrifft“ (Poincaré 1904, zitiert nach Coveney & Highfield 1992, S. 354).

Die Entdeckungen, die Poincaré Zeit seines Lebens irritieren und beunruhigen sollten (vgl. Peterson 1994, S. 193), wurden von der Fachwelt wenig beachtet. Erst ca. 70 Jahre später wurden seine Entdeckungen wieder aufgegriffen. Um zu verstehen, welche große Bedeutung die von Poincaré entdeckte starke Abhängigkeit des Systemverhaltens von seinen Startbedingungen für die Prognose eines solchen Systems besitzt, muss man sich vor Augen führen, dass alle bis dahin bekannten klassisch deterministischen Systeme in ihrem Verhalten relativ genau beschrieben werden können. Die Bewegung einer Billardkugel ist über physikalische Gesetzmäßigkeiten wie die Bewegungsgesetze und die Energieerhaltungssätze hinreichend genau beschreibbar. Fehler in der Vorhersage solcher Systeme beruhen im Wesentlichen auf Messungenauigkeiten bei der Bestimmung der Ausgangsbedingungen, von denen ausgehend das Verhalten vorhergesagt werden soll. Nun können solche Messfehler jedoch in der Regel abgeschätzt und in die Vorhersage mit einbezogen werden. Bei Annahme eines normalverteilten und damit unsystematischen Messfehlers⁵⁶ lässt sich für sog. abgeleitete Größen, also Größen die sich aus Grundgrößen (wie z.B. Länge, Masse, Zeit) herleiten lassen (wie z.B. Geschwindigkeit, Dichte etc.), aus den Fehlertoleranzen der gemessenen Grundgrößen der Fehlerbereich der zusammengesetzten Größen exakt mit Hilfe des Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetzes bestimmen (vgl. z.B. Grehn et al. 1986, S. 7).

Dabei zeigt sich, dass kleine Messfehler in der Bestimmung der Ausgangsbedingungen auch zu kleinen Fehlern in den Vorhersagen führen. Hinreichend genaue Messungen der Ausgangsbedingungen führen bei Anwendung vieler theoretischer Modelle in der Physik zu akzeptablen Vorhersagen, d.h. zu Vorhersagen, die mit dem empirisch beobachtbaren Verhalten relativ gut übereinstimmen (Gültigkeit des Gesetzes der „starken Kausalität“; vgl. Schiepek & Strunk 1994; siehe ausführlicher auch S. 173).

Diese Toleranz gegenüber grundsätzlich nicht zu vermeidenden Messfehlern kann bei bestimmten Systemen, wie sie von Poincaré erstmals beschrieben wurden, nicht mehr in jedem Fall vorausgesetzt werden. Solche Systeme können unter bestimmten Bedingungen ein Verhalten zeigen, welches trotz Kenntnis aller Systemzusammenhänge nicht mehr über größere Zeiträume hinweg vorhergesagt werden kann. Bei einem solchen Systemverhalten spricht man von einem *chaotischen* Verhalten. Im Falle chaotischen Verhaltens eskalieren selbst kleinste Messfehler zu einem nicht mehr prognostizierbaren Systemverhalten (Verletzung des Gesetzes der „starken Kausalität“; vgl. Schiepek & Strunk 1994; siehe ausführlicher auch S. 173).

⁵⁶ Sollte sich in den Berechnungen herausstellen, dass ein systematischer Fehler vorliegt, verweist seine Systematik darauf, dass bestimmte Gesetzmäßigkeiten in die Überlegungen noch nicht mit einbezogen wurden. Systematische Fehler gilt es daher schrittweise auszumerzen, indem entsprechend fehlende Gesetzmäßigkeiten in die Modellbildung mit aufgenommen werden.

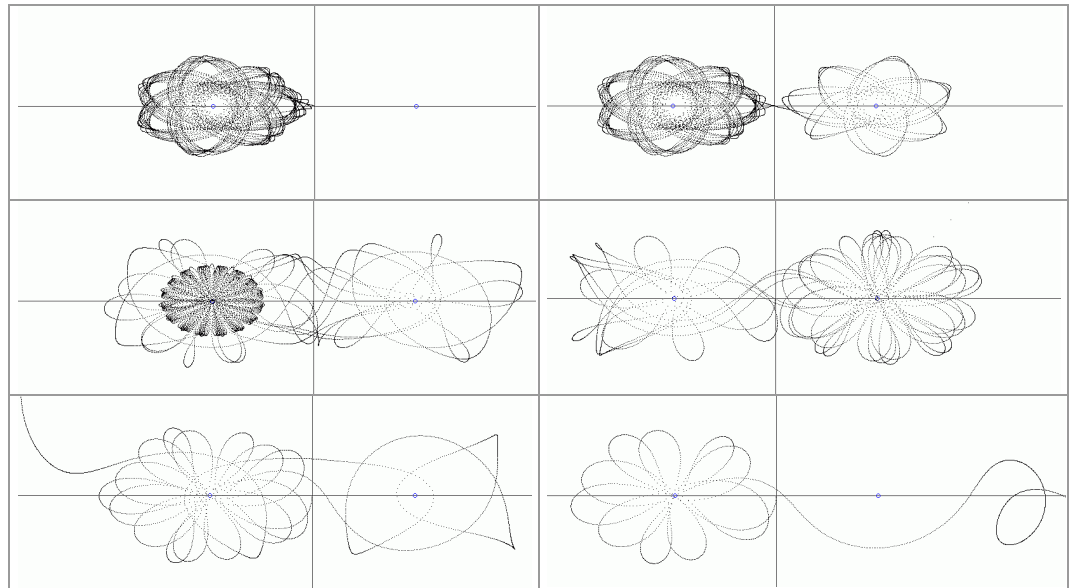


Abbildung 32: Planetenbahnen eines Doppelsternsystems

Die Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Bahnen eines Planeten um ein Doppelsternsystem. Es handelt sich dabei um die Lösung eines eingeschränkten Drei-Körper-Problems. Die Positionen und Massen der beiden Sterne ändern sich in der Simulation nicht. Von Abbildung zu Abbildung wurde die Startgeschwindigkeit des Planeten erhöht. (Berechnungen durchgeführt mit einer modifizierten Version des Programms von Schürer 2000).

Ein solches System kann dann zwar theoretisch exakt vorhersagbar sein, indem z.B. alle Relationen zwischen allen beteiligten Systemkomponenten gesetzmäßig bekannt und mit einbezogen werden, sich aber empirisch entgegen der Vorhersage verhalten. Dabei sind nicht etwa die Vorhersagen grundsätzlich fehlerhaft, sie sind nur nicht in der Lage, Messungenauigkeiten und kleinste Störungen zu kontrollieren.

5.3 Edward Lorenz und das Wetter

Als eines der prominentesten Beispiele für ein chaotisches System kann das Wetter gelten. So versuchte der Meteorologe Edward Lorenz 1956 eine Analyse zur Wettervorhersage, der er ein relativ einfaches mathematisches Gleichungssystem zu Grunde legte (erschieden ist diese Arbeit von Lorenz 1963). Obwohl das mathematische Gleichungssystem das Verhalten dieses theoretischen Systems vollständig determinierte, stieß er zufällig auf einen „*Mangel an Vorhersagbarkeit bei ungenauen Ausgangsbedingungen*“ und entdeckte damit die Befunde von Poincaré rund 60 Jahre nach ihrer Veröffentlichung noch einmal neu. Lorenz selbst berichtet rückblickend darüber:

Nun, all dies nahm seinen Anfang um 1956, als gewisse ... Methoden der [Wetter-] Vorhersage als die besten verfügbaren Methoden angepriesen worden waren, was ich in Frage stellte.

Ich beschloss, ein unscheinbares Gleichungssystem für die Simulation der Atmosphäre aufzustellen und es mit damals gerade zum Einsatz gelangenden Computern zu lösen. Die dann als Output erscheinenden Rechenergebnisse wollte ich wie wirkliche atmosphärische Beobachtungsdaten behandeln und dabei feststellen, ob die darauf angewandte vorgeschlagene Methode funktionieren würde. Die Schwierigkeit der vorliegenden Aufgabe bestand darin, ein Gleichungssystem zu finden, dessen Lösung sich für die Erprobung der Methode eignen würde. Denn es stellte sich bald heraus, dass die vorgeschlagene Methode im Falle von Gleichungen mit periodischer Lösung trivial sein würde; sie würde einwandfrei funktionieren. So mussten wir nach einem System von Gleichungen mit nichtperiodischen Lösungen Ausschau halten, die sich nicht wiederholen, sondern ungesetzmäßig und unbestimmt fortsetzen würden. Schließlich fand ich ein System von zwölf Gleichungen, das diese Anforderungen erfüllte. Dabei stellte sich heraus, dass die darauf angewandte vorgeschlagene Methode nicht sonderlich gut funktionierte, jedoch erwachte im Verlauf dieser Arbeit in mir der Wunsch, gewisse Ergebnisse einer näheren Prüfung zu unterziehen.

Ich hatte damals einen kleineren Computer in meinem Büro stehen, dem ich nun einige Zwischenergebnisse, die er ausgedruckt hatte, als neue Anfangsbedingungen wieder eingab, um eine weitere Berechnung zu veranlassen. Dann überließ ich den Computer eine Zeitlang sich selbst. Nach meiner Rückkehr musste ich feststellen, dass die neue Lösung von der alten abwich; der Computer hatte sein Verhalten geändert. Zuerst tippte ich auf einen Computerfehler aber bald merkte ich, dass der Grund ein anderer war. Die Zahlen, die ich eingegeben hatte, waren von den ursprünglichen verschieden. Jene [früheren Zahlen] waren abgerundet worden, und der geringfügige Unterschied zwischen sechs festgehaltenen Dezimalstellen und auf drei Ziffern abgerundeten Stellenzahl hatte sich im Verlaufe der Wettersimulation für zwei Monate so weit verstärkt, bis es seinerseits Signalgröße erreichte. Für mich bedeutete dies, dass wir ganz einfach nicht in der Lage sein würden, Vorhersagen auf zwei Monate hinaus zu machen, falls die wirkliche Atmosphäre sich wie in diesem Modell verhalten würde, denn solch geringfügigen Beobachtungsungenauigkeiten würden sich viel zu sehr verstärken. (Lorenz, zitiert nach Peitgen, Jürgens & Saupe 1992, S. 59f.; vgl. Peitgen et al. 1990; siehe auch Lorenz 1963, Lorenz 1991)

In chaotischen Systemen erreichen auch kleinste Messfehler in kurzer Zeit Signalstärke

Das Lorenz-Experiment verweist auf das *grundsätzliche* Problem der Vorhersagbarkeit chaotischer Prozesse bei ungenauer Kenntnis der Anfangsbedingungen des betrachteten Systems. Lorenz erkennt hier folgerichtig ein grundsätzliches Problem, welches auch nicht durch genauere Messungen behoben werden kann. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis auch die dort vorhandenen – wenn auch geringeren – Messfehler „Signalstärke“ erreichen und die Prognose ungenau wird.

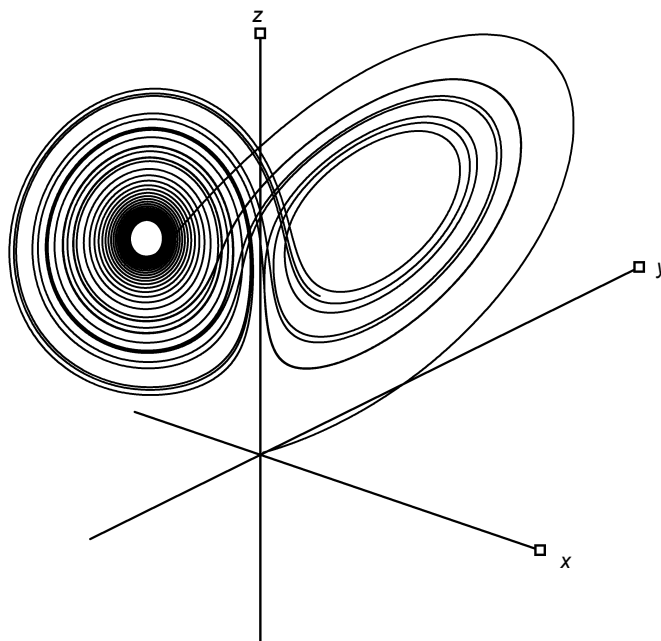


Abbildung 33: Der Lorenz-Attraktor

Die Abbildungen zeigt die Phasenraumdarstellung des von Lorenz benutzten Wettermodells. Die drei generierenden Gleichungen sind relativ einfach. Sie lauten:

$$\dot{x} = -sx + sy, \quad \dot{y} = -xz + rx - y, \quad \dot{z} = xy - bz.$$

Die dargestellte Trajektorie beruht auf Berechnungen mit $r = 28$, $s = 10$, $b = 8/3$. Hinsichtlich ihrer physikalischen Bedeutung beschreiben die genannten Gleichungen Konvektionsströme, wie sie auch in Flüssigkeiten beobachtet werden können (sog. Bénard-Konvektion). Nach Lorenz ist x der Stärke konvektiver Bewegung proportional, z ist ein Maß der Abweichung vom linearen vertikalen Temperaturprofil und y ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen aufsteigenden und abfallenden Strömungen. Für nicht zu große r sollen die Gleichungen ein realistisches Modell konvektiver Bewegung darstellen (Kazantsev 1998).

Top-down-Experimente simulieren einen Vorgang im Computer. Von einer Entsprechung der Simulation mit der Empirie kann nicht immer ausgegangen werden

Die Interpretation des Systems „Wetter“ als chaotisches System liegt nahe. Es handelt sich um ein System mit vielen Teilprozessen (vgl. Abbildung 34). Es „...sollte sich im Prinzip chaotisch verhalten, wenn es sich nicht in einem jener Fast-Gleichgewichtszustände befindet, die es manchmal einnimmt“ (Untersteiner 1995, S. 141). Dennoch ist diese Hypothese nicht ganz unumstritten. Das Lorenz-Experiment ist ein reines *Top-down-Experiment*. Ein theoretisches Modell des Wetters wird postuliert. Analysiert wird in der Folge das Modell, nicht jedoch das Wetter selbst. Die erneute Eingabe der gerundeten Wetterdaten findet auf der empirischen Seite keine Entsprechung. Die Wiederholung des Experimentes in der Natur ist nicht möglich.

Möglich sind jedoch genaue Wetterbeobachtungen. Mittels ausgefeilter mathematischer Analysemethoden lässt sich in *Bottom-up-Analysen* aus den zeitlichen Abfolgen der Wetterdaten eventuell rekonstruieren, ob eine chaotische Prozessdynamik anzunehmen sei. Insgesamt sind die bisherigen Befunde zu dieser Fragestellung wenig eindeutig (neuere Arbeiten widersprechen der Möglichkeit, es beim Wetter mit einem chaotischen System zu tun zu haben grundlegend; vgl. Robert 2001), sodass Untersteiner resümiert:

Die Erkenntnisse von Lorenz und anderen über Chaos und Seltsame Attraktoren sind der Klimatologie sozusagen auf den Leib geschrieben. ... In Zeiträumen von hundert oder zweihundert Jahren, in denen sich unsere Erde im Prinzip nur wenig verändert hat, sehen manche Klimatologen gewisse bevorzugte Zustände der Atmosphäre, ähnlich den Seltsamen Attraktoren, jedoch sind diese Analysen umstritten. Ob man die dramatisch unterschiedlichen Zustände der Erde, wie sie während und zwischen den quartären Vereisungsstadien geherrscht haben, als Seltsame Attraktoren betrachten kann, ist ebenfalls zweifelhaft, denn in den langen Zeiträumen seitdem hat die Erde auf starke äußere Kräfte reagiert und sich daher verändert, sodass ihre innere (möglicherweise chaotische) Dynamik nicht mehr erkennbar ist. (Untersteiner 1995, S. 141)

Die Bottom-up-Analyse klimatischer Bedingungen scheint so absurd wie der Versuch einer Eintagsfliege die vier Jahreszeiten zu verstehen

Auch wenn Untersteiner (1995) nur indirekt auf die Problematik eingeht, scheint doch der Kern der von ihm angeführten Argumente darauf abzuzielen, dass nur begrenzte Beobachtungszeiträume einer mathematischen Analyse zugänglich sind, und dass es sich bei den vorhandenen Daten um reine Beobachtungsdaten handeln muss.

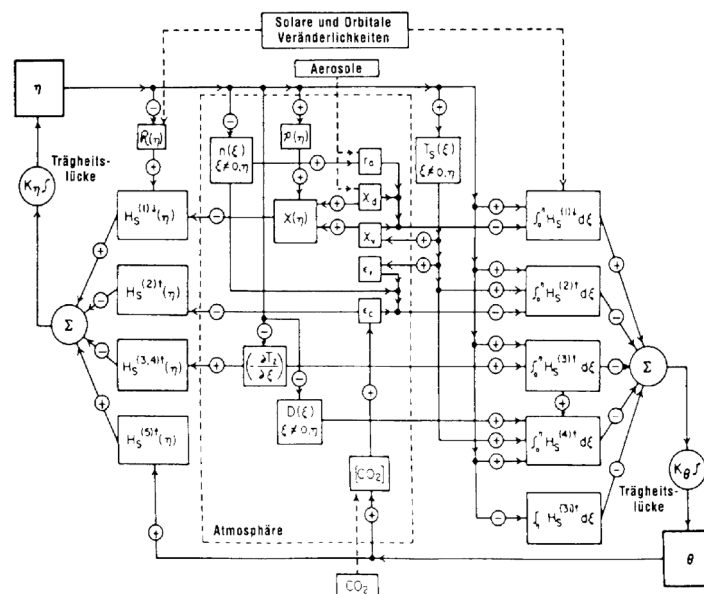


Abbildung 34: Ein einfaches Klimamodell

Systemmodell der Einzelprozesse und ihrer Wechselwirkungen in einem eher einfachen Klimamodell von Saltzman und Moritz (1980). „Es beschränkt sich im Wesentlichen auf die Thermodynamik des Systems (keine Dynamik), und es postuliert eine von Wasser konstanter Tiefe bedeckte Erde ohne zonale Unterschiede. Variabler Kohlendioxidgehalt sowie variable Eisbedeckung und Temperaturen der Meere bilden den Gegenstand der Rechnung“ (Abbildung aus: Untersteiner 1995, S. 143).

Die Beobachtung und Auswertung der Wetterdaten der letzten 200 Jahre zeigt eine relativ einheitliche Struktur, die jedoch im Widerspruch zu dramatischen Klimaveränderungen steht, wie sie im Laufe der Erdgeschichte, z.B. im Rahmen von Eiszeiten stattfanden. Der begrenzte Untersuchungszeitraum ermöglicht es nicht zu entscheiden, welche *Prozessgestalt* das Wetter letztlich hat, ob wiederkehrende Eiszeiten einfach dazu gehören oder auf äußere, systemfremde (kosmische) Einflüsse zurückgehen. Vor diesem Hintergrund scheint die Bottom-up-Analyse klimatischer Prozesse auf der Grundlage von Daten aus nur 200 Jahren so absurd wie der Versuch einer Eintagsfliege, die vier Jahreszeiten zu verstehen.

Nur durch gezielte Experimente wäre zu klären welche Phänomene zur Prozessdynamik gehören und welche nicht

Ein prinzipiell immer begrenzter Beobachtungszeitraum macht es schwer, aus Prozessdaten endgültige Rückschlüsse über die gesamte Prozessdynamik zu gewinnen. Hinzu kommt, dass es bei Beobachtungsdaten, wie z.B. bei Wetterdaten nicht möglich ist zu entscheiden, ob das Verhalten des Systems selbstorganisiert ist oder sich in Folge einer äußeren Verstörung erst auf dem Weg in eine selbstorganisierte Prozessgestalt befindet oder permanent durch äußere Einflüsse an der Ausbildung eines selbstorganisierten Musters gehindert wird. Es ist also schwer zu entscheiden, ob Eiszeiten zum Klima-System der Erde gehören oder ob sie auf äußere Verstörungen zurückgehen. Solche und ähnliche Unterscheidungsprobleme lassen sich nur im Rahmen gezielter experimenteller Manipulationen des Systems klären. Das ist bei einigen physikalischen Phänomenen im Labor möglich, beim Wetter und bei vielen sozialwissenschaftlichen Phänomenen jedoch nicht (vgl. hierzu auch Abbildung 35).

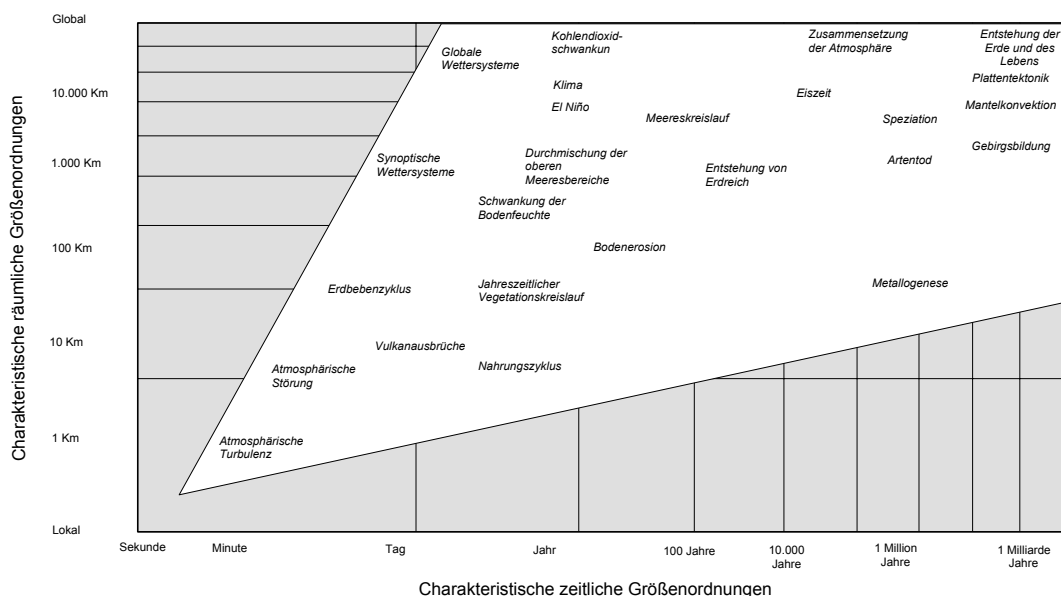


Abbildung 35: Zeitliche und räumliche Größenordnungen des Systems Erde

Charakteristische zeitliche und räumliche Größenordnungen (logarithmisch) einer Auswahl wichtiger Prozesse im „System Erde“ (Abbildung nach Untersteiner 1995, S. 142).

Auf den Punkt gebracht hat Hofstadter (1985) dieses Problem, wenn auch auf der Grundlage einer anderen Fragestellung:

Man betrachte zum Beispiel das System, dessen ‚Hardware‘ die Erdatmosphäre ist (nicht sehr hart, aber lassen wir das), und dessen ‚Software‘ das Wetter ist. Die Bewegungen aller Moleküle gleichzeitig zu verfolgen, wäre ein Versuch auf sehr niedriger Stufe, das Wetter zu ‚verstehen‘ ...

Offensichtlich übersteigt dies das menschliche Denkvermögen bei weitem. Wir haben indessen noch immer unsere eigene, spezifisch menschliche Art und Weise, Wetterphänomene zu betrachten und zu beschreiben. Unsere ‚geballte‘ Sicht des Wetters beruht auf Phänomenen sehr hoher Stufe, wie etwa Regen, Nebel, Schnee, Orkane, Kältefronten, Jahreszeiten, Luftdruck, Passatwinde, Höhenströmungen, Kumulus-Nimbuswolken, Gewitter, Inversionslagen usw. An all diesen Phänomenen sind Moleküle in astronomischer Zahl beteiligt, die irgendwie zusammenwirken, sodass sich Trends in großem Maßstab ergeben. ...

Gibt es [zudem die Möglichkeit] ... der Betrachtung des Wetters auf einer mittleren Stufe ...?

Gibt es zum Beispiel sehr kleine lokale ‚Mini-Stürme‘, etwa wie die kleinen Windhosen, die den Staub in einer sich drehenden Säule von höchstens zwei oder drei Metern Durchmesser hochwehen? Ist ein örtlicher Windstoß eine Ballung auf der Zwischenstufe, die bei der Erzeugung von Wetterphänomenen auf höherer Stufe eine Rolle spielt? Oder gibt es einfach keine praktische Methode, unser Wissen über Phänomene dieser Art zu verknüpfen, um eine umfassende Erklärung des Wetters zu erhalten?

Zwei andere Fragen fallen mir hierbei ein. Die erste lautet: ‚Wäre es möglich, dass die Wetterphänomene, die wir auf unserer Skala wahrnehmen – ein Wirbelsturm, eine Dürreperiode – bloß Phänomene einer Zwischenstufe sind: Teile von größeren, langsameren Phänomenen?‘ Wenn ja, dann wären die wirklichen Wetterphänomene, auf hoher Stufe, global, und ihre Zeitskala wäre geologisch. Die Eiszeit wäre ein Wetterphänomen hoher Stufe. Die zweite Frage lautet: ‚Gibt es Wetterphänomene der mittleren Stufe, die bisher dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen entgangen sind, die aber, nähme man sie wahr, zu besserem Verständnis beitragen, warum das Wetter so ist, wie es ist?‘ (Hofstadter 1985, S. 324f.)

Unabhängig von der Frage, ob es sich bei den auf einem theoretischen Modell beruhenden Befunden von Lorenz um ernstzunehmende Hinweise auf einen prinzipiellen Mangel an Prognostizierbarkeit in Bezug auf das Wetter oder nur in Bezug auf das theoretische Modell handelt, zeigen die Arbeiten von Poincaré und Lorenz, dass es mathematische Beschreibungen von Systemen gibt, die sehr empfindlich auf kleine Verstörungen, bzw. ungenaue Ausgangsbedingungen reagieren. Die Merkmale und Charakteristika solcher chaotischer Systeme wurden jedoch erst später im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme herausgearbeitet.

5.4 Komplexe Ökosysteme

Chaotische Dynamiken, wie sie von Poincaré und Lorenz beschrieben werden ergeben sich nicht selten bei der Analyse schon sehr einfacher Gleichungssysteme, wie sie z.B. in der Ökologie bereits seit dem 19. Jahrhundert bekannt sind. Bei den im Folgenden dargestellten ökologischen Modellen zur Populationsdynamik verschiedener Lebensformen handelt es sich entweder um Differentialgleichungssysteme, oder im einfachsten Fall, der *Verhulst-Gleichung*, um ein iteratives Gleichungssystem.

Unabhängig davon ob zur Modellierung der Populationsgrößen von Tierarten stetige Funktionen über Differentialgleichungssysteme oder einfache iterative Gleichungssysteme gewählt werden, ist ihnen gemeinsam, dass sie die Entwicklung der Populationsgrößen im Verlauf der Zeit zu beschreiben versuchen. Damit werden dynamische Prozesse explizit zum Thema der Analyse. Die Strukturen der Gleichungssysteme fußen dabei auf der Überzeugung, dass sich die zu beschreibende Dynamik jeweils selbstorganisiert aus den Lebensbedingungen und Interaktionen der Tierarten im betrachteten Ökosystem ergibt. In diesem Sinne versuchen die Gleichungen die Vorgänge im Ökosystem in ihrer Gesamtheit abzubilden. Damit dies gelingt, müssen hinsichtlich der betrachteten Systemzusammenhänge eine Reihe von Einschränkungen vorgenommen werden. Aber, obwohl keines der Modelle den Anspruch erheben kann ein komplexes Ökosystem mit allen seinen Verflechtungen vollständig abzubilden, zeigen bereits die vereinfachten und eingeschränkten Modelle höchst komplexe Verhaltensmuster.

Der Erkenntnisgewinn aus solchen Modellen kann auf Grund der vorgenommenen Einschränkungen nicht allein an seinem „Wahrheitsanspruch“ gemessen werden. Vielmehr vermitteln die folgenden dynamischen Modelle eine genauere Vorstellung von den inneren Gesetzmäßigkeiten komplexer Systeme und dem sich daraus ergebenden Verhalten.

5.4.1 Das Lotka-Volterra-Modell

Allgemein beschreibt das Lotka-Volterra-Modell⁵⁷ (Lotka 1925, Volterra 1931) die Populationsdynamik zweier Tierarten. Betrachtet werden Tierarten, die in einem Jäger-Beute-Verhältnis zueinander stehen. Angeregt wurde das Modell durch Beobachtungen von Populationsveränderungen in Fischbeständen der Adria. Umberto D'Ancona⁵⁸, ein italienischer Meeresbiologe, erstellte zwischen 1910 und 1923 eine statistische Analyse der Fischbestände in der Adria und stellte dabei sonderbare Schwankungen im Vorkommen bestimmter Fischarten fest (D'Ancona 1926, 1954).

Während des 1. Weltkrieges, als das Fischen in der Adria verboten war, hatten sich Haie und andere Raubfische erstaunlich vermehrt. D'Ancona schloss, dass

⁵⁷ Alfred James Lotka (1880 bis 1949), geb. in Österreich, amerikanischer Biophysiker. Vito Volterra (1860 bis 1940), italienischer Mathematiker.

⁵⁸ 1896 bis 1964

das Fischverbot erst zu einem Anwachsen der Fischbestände und dann – daraus resultierend – zu einer Vermehrung der Raubfische geführt habe. Eine vollständige Beschreibung der Vorgänge gelang ihm jedoch nicht.

Während der Zeit als sich D'Ancona mit dem Problem beschäftigte war er verlobt mit der Ökologin Luisa Volterra. Ihr Sohn, Vito Volterra, sein späterer Stiefsohn löste das Problem mit Hilfe eines einfachen mathematischen Modells, in dem die eine Spezies Beute, und die andere Spezies Jäger genannt wird.

Die Originalarbeiten, in denen Volterra und unabhängig von ihm Lotka ein Modell zur Beschreibung solcher Räuber-Beute-Systeme vorstellen, datieren bereits auf die Jahre 1925 (Lotka) und 1931 (Volterra).

Das Modell kommt nicht ohne eine Reihe von Annahmen aus, die das Setting stark vereinfachen, sodass eine mathematische Lösung überhaupt erst möglich wird⁵⁹:

**Annahmen zum
Lotka-Volterra-Modell**

1. Im betrachteten Zeitraum verändert sich die Umwelt nicht.
2. Die Beutetiere finden zu allen Zeiten genügend Nahrung, ihre Nahrungsgrundlage unterliegt keinen Schwankungen. Durch diese Umweltbedingung wird das betrachtete System zu einem so genannten dissipativen System, welches beständig mit Energie versorgt wird (eine ausführliche Kennzeichnung der von Prigogine eingeführten dissipativen Systeme findet sich ab S. 124ff.).
3. Die Jäger ernähren sich ausschließlich von den betrachteten Beutetieren. Sie können sich keiner Ersatznahrung zuwenden.
4. Die Sterberate der Jäger bleibt konstant.
5. Es treten keine Lerneffekte auf.
 - a) Die Beutetiere lernen nicht, sich zu verstecken, sie finden keine ökologischen Nischen.
 - b) Die Jäger bleiben, relativ zur Beutetierzahl, gleich erfolgreich. Sie lernen keine Jagdstrategien dazu.
 - c) Genetische Anpassungen finden im betrachteten Zeitraum nicht statt.

Hinzu kommen vier Annahmen über die Proportionalität der Wechselwirkungen zwischen den betrachteten Variablen:

**Annahmen zur
Proportionalität**

1. Die Verlustrate der Beute ist proportional zu ihrer Anzahl und zur Anzahl der Jäger.
2. Die Verlustrate der Jäger ist proportional zu ihrer Anzahl.
3. Die Zuwachsrate an Beute ist proportional zu ihrer Anzahl.
4. Die Zuwachsrate an Jägern ist proportional zu ihrer Anzahl und zur Anzahl der Beutetiere.

⁵⁹ Die mangelnde Passung des Modells an die Realität wird unter anderem von Dubois (1975) hervorgehoben. Er stellt heraus, dass sich seit den Originalarbeiten von Lotka (1925) und Volterra (1931) wenig weiterentwickelt habe. Vieles in der Literatur über Modelle von Ökosystemen sei redundant und/oder falsch (vgl. Dubois 1975, S. 189).

Das mathematische Modell

Aus den genannten Annahmen und Einschränkungen ergibt sich folgendes Modell (vgl. Batschelet 1975, S. 370ff.), welches sich mathematisch noch weiter formalisieren lässt:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Veränderung der} \\ \text{Zahl der Beutetiere} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Wachstum der} \\ \text{Beutetiere} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Verluste durch} \\ \text{Räuber} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Veränderung der} \\ \text{Zahl der Räuber} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Wachstum der} \\ \text{Räuber aufgrund der} \\ \text{Zahl der Beutetiere} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{natürliche} \\ \text{Verluste der Räuber} \end{array} \right\}$$

In beiden, hier zunächst noch wenig formalisierten, Gleichungen geht es um die zeitliche Veränderung der beiden Tierpopulationen. Zeitliche Veränderungen werden mathematisch als Ableitungen nach der Zeit beschrieben, sodass sich ergibt:

**Gleichung 1.1:
Lotka-Volterra
Beutetiere**

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy.$$

**Gleichung 1.2:
Lotka-Volterra
Jäger**

$$\frac{dy}{dt} = dxy - cy.$$

*x sei hier die Zahl der Beutetiere und y die Zahl der Jäger.
Das Wachstum der Beute (Geburt), ist proportional zu ihrer Anzahl x. Der Proportionalitätsfaktor sei hier a.
Der Verlust durch die Jäger ist proportional zu x und zu y. Der Proportionalitätsfaktor sei hier b.
Das Wachstum der Jäger ist proportional zur Beute x und zur Anzahl der Jäger y.
Der Proportionalitätsfaktor sei hier c.
Der Verlust der Jäger (natürlicher Tod) ist proportional zu y. Der Proportionalitätsfaktor sei hier d.
Alle vier Konstanten (a, b, c, d) sind positiv.*

Wie am Beispiel des Lotka-Volterra-Modells deutlich wird, ist die Formalisierung theoretischer Grundannahmen durch ein mathematisches Differentialgleichungssystem nicht sonderlich aufwändig. Allerdings beschreiben die vorliegenden Gleichungen noch nicht das tatsächliche Verhalten der beiden Populationen im Verlauf der Zeit. Dieses ergibt sich nämlich erst, wenn die Differentialgleichungen über die Zeit integriert werden. Nicht jedes Differentialgleichungssystem kann durch Integration in eindeutige Bewegungsgleichungen überführt werden, ein Umstand, der bereits beim Drei-Körper-Problem angeklungen war (vgl. S. 90). Auch die Lösung des durch das Lotka-Volterra-Modell beschriebenen Integrals ist relativ schwierig und gelingt nur für weitere Einschränkungen des Modells. Im Rahmen der Ausführungen zur Synergetik (siehe unten, S. 131) wird jedoch unter Verweis auf den Differentialquotienten gezeigt werden, wie Differentialgleichungen in Differenzgleichungen umgewandelt werden können. So ist es auch ohne großen mathematischen Aufwand möglich, sich durch eine einfache Computersimulation zumindest ein Bild von der Dynamik des Systems zu machen. Dabei muss dann allerdings in Kauf genommen werden, dass es prinzipiell unendlich viele Parameter-Einstellungen für a, b, c und d geben kann, bei denen sich das System möglicherweise jeweils ganz unterschiedlich verhält. D.h., dass Simulationen über Differenzgleichungen immer nur Ausschnitte der Systemdynamik abzubilden vermögen. Vollständige Beschreibungen aller Systemverhaltensweisen

sind nur durch vollständige mathematische Lösungen (z.B. mittels des für die Synergetik beschriebenen Vorgehens; vgl. dazu S. 139ff.) der Differentialgleichungen möglich.

Beim Lotka-Volterra-Modell kann eine Lösung der beiden Integrale nur für geringe Auslenkungen des Systems gefunden werden. Im Phasenraum beschreibt das System bei geringen Auslenkungen nämlich mathematisch exakte Ellipsen. Diese Tatsache ermöglicht eine Lösung der Gleichungen, deren Herleitung an anderer Stelle schon dargestellt wurde (Schiepek & Strunk 1994, S. 133ff.). Es ergibt sich danach folgende Gleichung für X in Abhängigkeit von der Zeit t :

Gleichung 2.1:
Lotka-Volterra
Bewegungsgleichung
für die Beutetiere

$$X = \sqrt{\frac{C}{d^2 a}} \sin(-\sqrt{cat} - \beta),$$

wobei β und C Integrationskonstanten darstellen. Das bedeutet, dass es keine eindeutige Bewegung des Systems durch den Phasenraum gibt. Vielmehr beschreibt dieses System eine Schar von Lösungen (vgl. Abbildung 36 für entsprechende Phasenraumdarstellungen), die jedoch grundsätzliche Eigenschaften gemeinsam haben. Für Y lässt sich die folgende Bewegungsgleichung angeben:

Gleichung 2.2:
Lotka-Volterra
Bewegungsgleichung
für die Jäger

$$Y = \sqrt{\frac{C}{cb^2}} \sin(\sqrt{cat} - \beta).$$

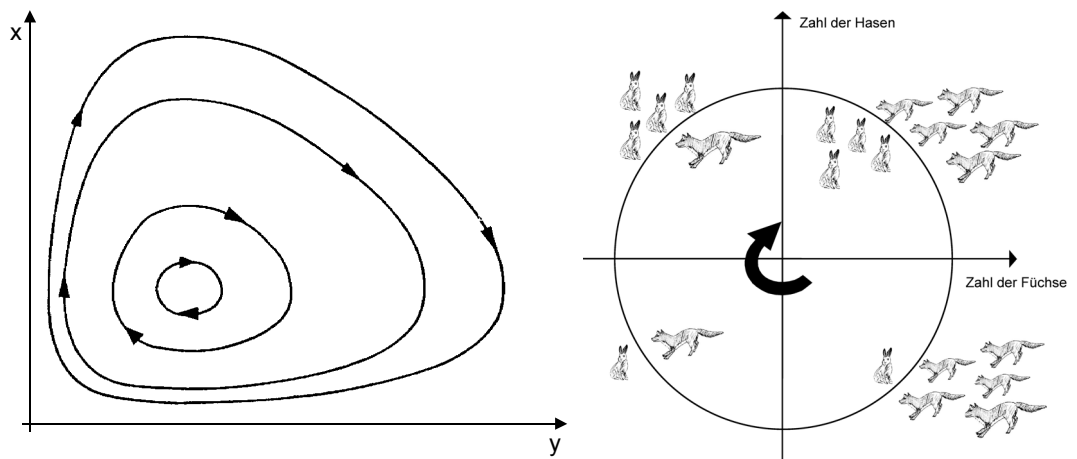


Abbildung 36: Schar von Lösungen des Räuber-Beute-Modells

Links: Darstellung möglicher Lösungen der Integrale der Differentialgleichungen des Lotka-Volterra-Modells. Für diese Gleichungen sind keine eindeutigen Lösungen möglich, sondern eine Schar geschlossener Kurven, wobei sich die Mitglieder dieser Schar durch verschiedene Integrationskonstanten von einander unterscheiden. Beide Populationen folgen auf ewig dem zyklischen Weg auf dem sie gestartet sind. Rechts: Mathematisch weniger korrekte aber anschaulichere Darstellung: Beginnt man in der linken unteren Ecke, so ist die Zahl der Beutetiere gering sowie auch die der Jäger, sodass sich zunächst die Beutetiere vermehren können, worauf allmählich auch die Population der Jäger anwächst. Die Kurven erreichen ihren höchsten Punkt. Später geht die Zahl der Beutetiere zurück, da sie von zu vielen Jägern gefressen werden. Nach und nach verringert sich nun auch die Population der Jäger, wegen des zunehmenden Beutemangels. Die Kurven erreichen ihren Ausgangspunkt (Abbildung links nach Schiepek & Strunk 1994, S. 136; vgl. auch Nicolis & Prigogine 1977, S. 162).

Für die Gleichungen 2.1 und 2.2 lassen sich vier Eigenschaften für kleine Zyklen um den Ruhepunkt ableiten:

1. Die Größe beider Populationen schwankt sinusförmig, mit einer Periodendauer von $T = 2\pi\sqrt{ac}$. Die Periodendauer ist für beide Populationen gleich. Sie hängt einzig von den Parametern a und c ab.
2. Die beiden Zyklen sind phasenverschoben. Dies ergibt sich aus der Phasendifferenz von π zwischen \sqrt{ac} und $-\sqrt{ac}$ (bei $\beta = 0$). Die Phasendifferenz ändert sich mit der Integrationskonstanten β . Sie beträgt $\pi - 2\beta$.
3. Die Amplituden der Kurven liegen für die Zahl der Beutetiere (x) bei

$$\frac{1}{d}\sqrt{\frac{C}{a}}$$

und für die Zahl der Räuber (y) bei

$$\frac{1}{b}\sqrt{\frac{C}{c}}$$

4. Die durchschnittliche Populationsgröße beider Populationen ist jeweils eine Konstante. Sie beträgt c/d für die Beute und a/b für die Räuber.⁶⁰

Obwohl die Arbeiten von Lotka und Volterra in Bezug auf die Übereinstimmung mit der Realität immer wieder kritisiert wurden (z.B. Pielou 1969, Dubois 1975) und einige alternative Modelle entwickelt wurden (vgl. z.B. Gleichung 6.1/2, S. 116), zeigt dieses System doch zumindest aus theoretischer Sicht erstaunliche Eigenschaften. Weder lineal-kausale Ketten noch kybernetische Regelkreise lassen sich auf einfache Weise mit dem hier beobachtbaren Verhalten in einen Zusammenhang bringen.

Obwohl es sich bei der, dem Modell zu Grunde liegenden, Fragestellung um ein relativ einfaches Problem handelt und der vorgeschlagene Lösungsweg weitere Vereinfachungen vornimmt, ist die sich ergebende Systemdynamik ohne eine aufwändige mathematische Analyse nicht mehr bestimmbar, geschweige denn intuitiv zu erfassen. Ein relativ einfaches System zeigt damit ein Verhalten, das nicht mehr nur durch „bloßes Nachdenken“ oder nach einem einfachen Schema (wie z.B. dem des Regelkreises, der sich unabhängig vom konkreten Aufbau immer homöostatisch verhält) erschlossen werden kann.

Weit komplexeres Verhalten kann paradoxer Weise für noch einfachere Systeme beobachtet werden. Ein solch einfaches Populationsmodell mit extrem komplexem Verhalten wird im folgenden Kapitel dargestellt.

⁶⁰ Dies folgt allerdings nicht direkt aus den genannten Gleichungen, die eigentlich eine konstante durchschnittliche Population von Null für beide Populationen voraussagen. Dies liegt jedoch daran, dass die Ausgangsgleichungen für die mathematische Analyse in ein Koordinatensystem transformiert wurde, welches diese Bedingung erfüllt (näheres siehe bei Schiepek & Strunk, 1994, S. 136f).

5.4.2 Die Verhulst-Gleichung – Wege ins Chaos

Bereits um 1844⁶¹ schlug Pierre François Verhulst⁶² eine einfache Gleichung vor, die die Populationsentwicklung einer Spezies in einem umgrenzten Lebensraum von einem auf das nächste Jahr simuliert. Im Gegensatz zu dem von Lotka und Volterra vorgeschlagenen Gleichungssystem handelt es sich hier um ein diskretes Modell. Die Gleichung ist daher auch nicht als Differentialgleichung formuliert. Es handelt sich vielmehr um eine iterative Gleichung, die jeweils von einem Jahr auf das nächste die Entwicklung der betrachteten Population beschreibt.

Die Verhulst-Gleichung, die auch „diskrete logistische Gleichung“ bzw. vereinfacht „logistische Gleichung“ genannt wird, lautet (vgl. z.B. Briggs & Peat 1990, Schiepek & Strunk 1994; mathematisch anspruchsvoller vgl. Peitgen, Jürgens & Saupe 1992):

Gleichung 3:
Verhulst-Gleichung

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n), \text{ mit } 0 \leq x \leq 1.$$

*x ist die Größe der Population
r sind die Lebensbedingungen im Ökosystem*

Die Größe der Population der Tierart im folgenden Jahr x_{n+1} ergibt sich aus einer Konstanten für die Lebensbedingungen r und der Kenntnis der Populationsgröße des Ausgangsjahres x_n . Definiert ist die Gleichung für Werte zwischen Null und Eins, wobei Eins einer 100%igen Auslastung des Ökosystems entspricht. Mehr als 100% verträgt das Ökosystem nicht. Selbst bei einer 100%igen Auslastung stirbt im nächsten Jahr die Population aus, da sämtliche Ressourcen des Ökosystems aufgebraucht wurden.

Auf diese Weise lässt sich z.B. die Population des „Großen Schwammspinners“, eines Falters (vgl. Briggs & Peat 1990, S. 75), für ein beliebiges Jahr aus der Zahl der Falter im Vorjahr berechnen. Obwohl diese Gleichung mathematisch nicht besonders kompliziert ist, zeigen sich für verschiedene Lebensbedingungen r höchst unterschiedliche und zum Teil komplexe Entwicklungen der Anzahl der Falter.

Die Tabelle 2 zeigt für „schlechte“, „mittelmäßige“ und „sehr gute“ Lebensbedingungen die Zahl der Falter im Verlauf von 16 Jahren (die Zahlenwerte wurden mit 12 Stellen nach dem Komma berechnet. Die in der Tabelle wiedergegebenen Werte wurden jedoch zur besseren Lesbarkeit auf zwei Nachkommastellen gerundet).

Gestartet wird die Berechnung jeweils mit 0,6 (entspricht 60%). Der Wert der sich als Ergebnis der Gleichung für das folgende Jahr ergibt, wird dann für die Berechnung des übernächsten Jahres als Ausgangswert herangezogen und so weiter. Mathematisch lässt sich die genannte Gleichung für „sehr gute“ Lebensbedingungen nicht abkürzen. In diesem Sinne müssen, um die Population in 10 Jahren vorhersagen zu können, alle Iterationsschritte der Gleichung durchlaufen werden, bis das 10. Jahr erreicht ist.

⁶¹ Zwei ausführliche Untersuchungen erschienen in den Mémoires de l'Académie Royale de Belgique, 1844 und 1847; (Anmerkung nach Peitgen, Jürgens und Saupe, 1992, S. 54).

⁶² 1804 bis 1849

Während sich die Zahl der Falter bei „schlechten Lebensbedingungen“ nach einigen Jahren auf einen festen Wert einpendelt, ergibt sich für „mittelmäßige Lebensbedingungen“ ein beständiges Pendeln zwischen zwei Werten.

Lebensbedingungen

	schlecht ($r = 2,8$)	mittelmäßig ($r = 3,0$)	sehr gut ($r = 3,9$)
Startwert (Jahr Null)	0,60	0,60	0,60
1. Jahr	0,67	0,73	0,94
2. Jahr	0,63	0,60	0,23
3. Jahr	0,66	0,72	0,70
4. Jahr	0,63	0,61	0,82
5. Jahr	0,65	0,72	0,57
6. Jahr	0,64	0,61	0,96
7. Jahr	0,64	0,72	0,17
8. Jahr	0,64	0,61	0,54
9. Jahr	0,64	0,72	0,97
10. Jahr	0,64	0,61	0,12
11. Jahr	0,64	0,72	0,42
12. Jahr	0,64	0,61	0,95
13. Jahr	0,64	0,72	0,20
14. Jahr	0,64	0,61	0,60
15. Jahr	0,64	0,72	0,93
16. Jahr	0,64	0,61	0,24

ab dem 6. Jahr immer 0,64 ab dem 3. Jahr immer abwechselnd 0,72 und 0,61 keine sich wiederholende Abfolge

Tabelle 2: Verschiedene Entwicklungsszenarien für die Verhulstgleichung

Die Tabelle zeigt die Entwicklung von Populationen wie sie aus der Verhulst-Gleichung für verschiedene Lebensbedingungen folgen. Die Berechnung erfolgte mit 12 Stellen nach dem Komma und wird hier gerundet wiedergegeben.

Deterministisches Chaos zeigt sich in der Verhulst-Gleichung bei „sehr guten“ Lebensbedingungen

Für „sehr gute“ Lebensbedingungen geht jedoch jede Systematik verloren. Tatsächlich lässt sich keine Regelmäßigkeit mehr finden. Die Zahl der Falter schwankt bei „sehr guten“ Lebensbedingungen hoch komplex und ohne dass sich die Zahlenabfolgen jemals wiederholen würden (fehlende Periodik). Bei genauer Betrachtung muss jedoch einschränkend hinzugefügt werden, dass die fehlende Periodik durch Berechnungen am Computer nicht sichtbar gemacht werden kann. Sie folgt vielmehr aus mathematisch-theoretischen Herleitungen. Durch die begrenzte Möglichkeit für die Darstellung und Verarbeitung von Nachkommastellen ergibt sich für Computeralgorithmen das Problem, dass der Zustandsraum künstlich begrenzt wird. Für eine fehlende Periodik würden für die Verhulst-Gleichung unendlich viele Zahlenwerte für das Intervall zwischen Null und Eins benötigt. Da ein Computer für dieses Intervall nur eine begrenzte Anzahl von Zahlenwerten zur Verfügung hat, werden irgendwann wieder die gleichen Zahlenwerte auftauchen. Ab dieser Stelle folgen dann aber aus den Berechnungen die gleichen Ergebnisse, wie sie sich schon beim ersten Berechnungsdurchlauf ergeben hatten. Es zeigt sich also eine Periodik, die mathematisch gesehen eigentlich nicht vorliegt.

Neben der fehlenden Periodik in der Verhulst-Dynamik für „sehr gute“ Lebensbedingungen, ergeben sich aus der iterativen Gleichung jeweils dramatisch andere Ergebnisse, wenn der Startwert der Berechnungen nur ganz geringfügig geändert wird. Die mathematische Gleichung beschreibt hier ein Verhalten, welches als deterministisches Chaos bezeichnet wird (vgl. z.B. Schuster 1989a; vgl. auch S. 151ff.), d.h., dass sich das System in einem Zustand befindet, in dem es höchst sensibel auf kleine Verstörungen reagiert und sich abhängig von den Ausgangsbedingungen höchst unterschiedlich entwickeln kann.

Bei „sehr guten“ Lebensbedingen zeigt sich also ein Verhalten, wie es bereits von Poincaré für das Drei-Körper-Problem und von Lorenz für ein Wettermodell beschrieben wurde: Kleine Veränderungen in den Ausgangsbedingungen des Systems können im Detail zu höchst unterschiedlichen Systemdynamiken führen (vgl. Abbildung 37).

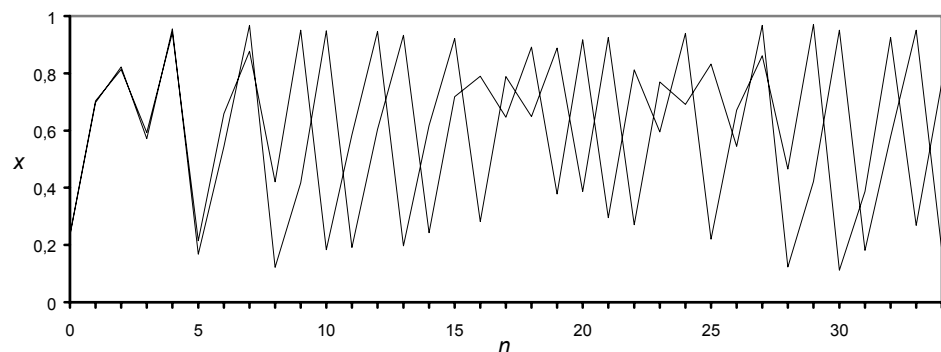


Abbildung 37: Schmetterlingseffekt bei Lösungen der Verhulst-Gleichung im chaotischen Bereich

Schon nach 5 Iterationen laufen die beiden Zeitreihen der Verhulst-Dynamik auseinander. Die eine war mit einem Wert von $x = 0,600$ und die andere mit $x = 0,601$ gestartet (r lag mit 3,9 im chaotischen Bereich).

Ähnliche Ursachen können bei Vorliegen von Chaos also zu völlig unterschiedlichen Wirkungen führen. Dabei ist das zu Grunde liegende Phänomen nicht einfach durch möglichst exakte Angaben der Anfangsbedingungen zu umgehen. Peitgen, Jürgens und Saupe (1992) zeigen, wie bei exakt gleichen Startbedingungen zwei verschiedene Taschenrechner nach nur 10 Iterationen die ersten Abweichungen voneinander und nach 40 Iterationen völlig verschiedene Ergebnisse erbrachten, allein weil der eine Rechner mit 10 Nachkommastellen und der andere mit 12 Stellen rechnete.

Noch verblüffender wird das Phänomen, wenn der vermeintlich gute Rechner in einem weiteren Durchgang mit sich selber nicht mehr übereinstimmt, wenn nur die Gleichung ausmultipliziert wird, also nicht

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n), \text{ mit } 0 \leq x \leq 1 \quad \text{sondern} \quad x_{n+1} = rx_n - rx_n^2, \text{ mit } 0 \leq x \leq 1$$

zur Berechnung gewählt wird. Selbst kleinste Abweichungen, hier durch Rundungen nach der 12. Stelle führen zu nicht abschätzbaren Fehlereskalationen (vgl. Peitgen, Jürgens & Saupe 1992, S. 66).

Ein Kontrollparameter bestimmt den Energiedurchsatz eines Systems

Die Veränderung der Verhaltensmuster des Verhulst-Systems in Abhängigkeit von den Lebensbedingungen zeigt sich besonders eindrücklich im nach dem amerikanischen Physiker Mitchell Feigenbaum benannten *Feigenbaum-Szenario* (siehe Abbildung 38 und S. 156; vgl. Feigenbaum 1978). Der Parameter r kann in der Terminologie der *Synergetik* (siehe S. 131ff.) als *Kontrollparameter* verstanden werden, der den Energiedurchsatz im System bestimmt. Dabei zeigt das Verhulst-System als *dissipatives System* (siehe genauer ab S. 124ff.) höchst unterschiedliche Verhaltensweisen in Abhängigkeit vom Kontrollparameter bzw. seiner Auslenkung vom thermodynamischen Gleichgewicht.

Während bei Erreichen des thermodynamischen Gleichgewichtes im Allgemeinen eher metaphorisch vom *Systemtod* gesprochen werden kann, würde es hier tatsächlich den Tod der Spezies bedeuten. So geht die Populationsgröße bei Lebensbedingungen mit Werten kleiner 1,0 nach und nach auf Null. Die Auslenkung aus dem Gleichgewicht geschieht durch optimale Lebensbedingungen ($1,0 \leq r \leq 4,0$) für die Population, die sich in einer hohen Geburtenrate widerspiegelt. Auf der Abszisse der Abbildung 38 ist die Ausprägung des Parameters r im Intervall von 2,8 bis 4,0 aufgetragen, auf der Ordinate die jeweils dazugehörigen Werte der Populationsgröße x . Dadurch lässt sich ablesen, welche Populationsgrößen von x bei der jeweiligen Parameter-Einstellung in 300 aufeinanderfolgenden Jahren eingenommen werden. Dazu werden ausgehend von einem Startwert für die Population und einem festen r alle 300 Werte berechnet und je nach Ausprägung in die Grafik senkrecht über dem jeweiligen r eingetragen. Es zeigt sich dann, dass für einen bestimmten Wertebereich von r ($2,8 \leq r \leq 3,0$), die gesamten 300 Jahre über die exakt gleiche Populationsgröße auftritt (vgl. Tabelle 2; „schlechte Lebensbedingungen“).

Bifurkationspunkte sind unvorhersagbare singuläre Brüche im Systemverhalten

Wird r allmählich erhöht, so treten in immer kürzeren Abständen so genannte *Bifurkationspunkte* auf. Zwischen dem ersten (bei $r = 3,0$) und dem zweiten Bifurkationspunkt (bei $r = 3,449490\dots$; vgl. Liening 1998, S. 98) schwankt das System zunächst von einem Jahr zum darauf folgenden zwischen zwei Populationsgrößen. In dem Punkt in dem der Parameter r den Bifurkationspunkt überschreitet, kann nicht vorhergesagt werden mit welcher der möglichen Populationsgrößen das System seinen alternierenden Rhythmus beginnen wird. Im Bifurkationspunkt befindet sich das System in einem gänzlich unbestimmten Zustand. Das System verhält sich wie eine Kugel auf einer Bergspitze, der zwei Täler zur Verfügung stehen (vgl. auch Abbildung 54, S. 170). Kleinste Fluktuationen führen zum Kippen in eines der beiden. Kippt das System in den Wert mit der größeren Population, so fressen die Tierchen beinahe alles was an Nahrung in ihrem Biotop vorhanden ist auf, sodass im Folgejahr nur wenige überleben, was zu einem Futterüberschuss führt, der im darauf folgenden Jahr wieder zu einer übermäßigen Steigerung der Populationsgröße führt, u.s.w.

Das System alterniert in diesem Parameterbereich ($3,0 < r < 3,449490$) zwischen den beiden Zuständen. Wird das System noch weiter aus seinem thermodynamischen Gleichgewicht ausgelenkt, indem der Kontrollparameter r weiter erhöht wird, so treten in immer kürzeren Abständen zunehmend mehr Bifurkationspunkte auf. Das System schwankt zunächst zwischen 2 dann 4, dann 8, dann 16, 32, 64, 128 usw. möglichen Werten.

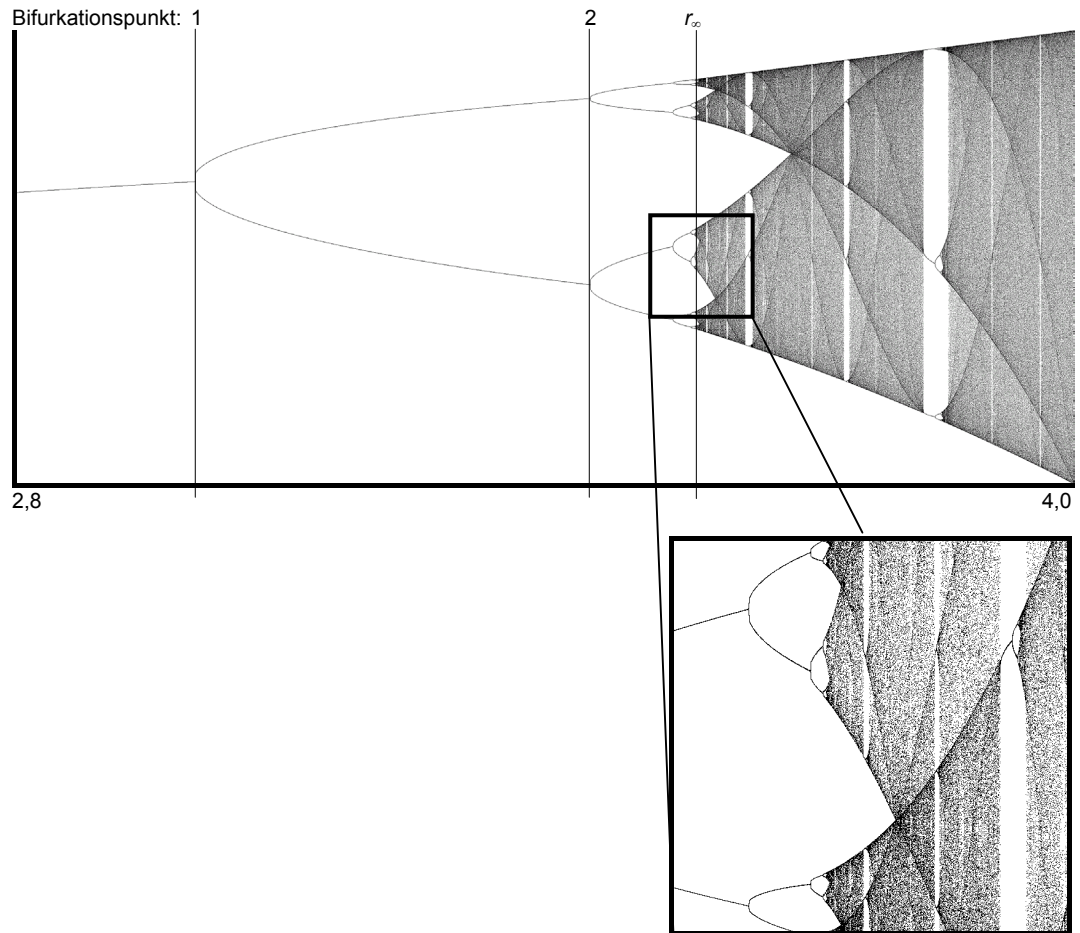


Abbildung 38: Feigenbaum-Szenario der Verhulst-Gleichung

Feigenbaum-Szenario der Verhulst-Gleichung: Auf der Abszisse ist die Ausprägung des Parameters r aufgetragen, auf der Ordinate die jeweils dazugehörigen Werte der Variablen x . Es kann abgelesen werden, welche Werte x bei der jeweiligen Parametereinstellung prinzipiell eingenommen werden können. r_∞ bezeichnet den Parameterwert, ab dem chaotisches Verhalten auftritt. Der Index ∞ erklärt sich dadurch, dass vor diesem Punkt eine theoretisch unendliche Kaskade von immer kürzeren Periodenverdopplungen liegt. Man beachte die „Fenster der Ordnung“ (Intermittenzen) im chaotischen Wertebereich von r .

Bei jeder Bifurkation verdoppelt sich die Periode der Alternierungen. Zudem folgen die Bifurkationspunkte immer schneller aufeinander. r_∞ bezeichnet den Parameterwert, ab dem chaotisches Verhalten auftritt ($r_\infty > 3,569946\dots$; vgl. Schuster 1999, S. 20). Der Index ∞ erklärt sich dadurch, dass vor dieser kritischen Grenze eine theoretisch unendliche Kaskade von immer kürzeren *Periodenverdopplungen* liegt. In der Abbildung werden, wie schon erwähnt, nur 300 Jahre abgebildet. Im chaotischen Bereich könnten jedoch prinzipiell unendlich viele Jahre berechnet werden, ohne dass ein Jahr dem anderen gleicht (dafür müssten jedoch auch unendlich viele Nachkommastellen berechnet werden).

**Fenster der Ordnung:
Periode Drei bedeutet
Chaos**

Erstaunlicher Weise finden sich aber „Fenster der Ordnung“ (sog. *Intermittenzen*) im chaotischen Wertebereich von r , in denen das Chaos unvermittelt abbricht. Für das größte „Fenster der Ordnung“ wird erkennbar, wie das System dort zunächst zwischen drei (nicht zwei und nicht vier) Werten alterniert. Während sich danach, bei wachsenden Parameterwerten, die Bifurkationskaskaden so wiederholen, dass

der Eindruck entsteht, dass sich in der Vergrößerung das Gleiche wie im Original noch einmal abbildet (sog. *Selbstähnlichkeit*; siehe auch S. 143ff.), treten daneben unvermittelt neue Systemzustände als kleine Punkte auf – das System versinkt erneut im Chaos. Li und Yorke definieren in ihrem 1975 erschienenen Aufsatz, der als die erste wissenschaftliche Publikation gilt, die das Wort „Chaos“ im Titel trägt, solche Systeme als chaotisch, bei denen es zu irregulären Periodizitäten kommt, wie z.B. der Dreier-Periode im Fenster der Ordnung des Verhulst-Systems (vgl. Li & Yorke 1975; vgl. ausführlicher S. 151ff.).

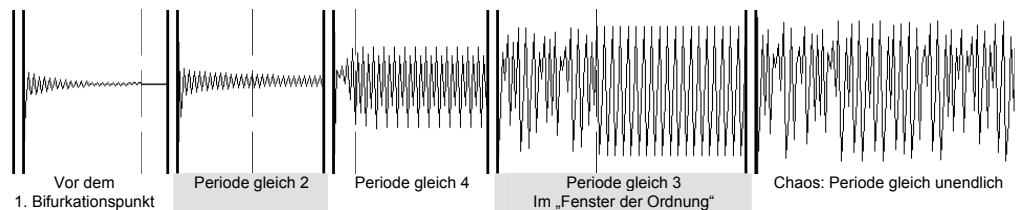


Abbildung 39: (x-t)-Diagramme zur Verhulst-Gleichung

(x-t)-Diagramme der Verhulst-Gleichung für ausgewählte Parameterwerte. Vor dem ersten Bifurkationspunkt realisiert das System einen Fixpunkt, dem es sich nach einer Auslenkung zyklisch annähert. Dort wo das System ein zyklisches Verhalten zeigt (Periode gleich zwei, vier und drei), führen Auslenkungen zunächst zu größeren bzw. kleineren Amplituden, bevor es seine zyklischen Muster mit stabiler Amplitude ausbildet. Im Fenster der Ordnung führen kleine Verstörungen zunächst zu einem irregulären Verhalten, welches an Chaos erinnert. Aber auch hier handelt es sich nur um ein transientes (Übergangs-) Verhalten des Systems in sein zyklisches Verhaltensmuster. Im chaotischen Bereich sind transiente Verhaltensweisen nicht mehr vom eigentlichen Verhaltensmuster zu unterscheiden. Das System ist hier ganz besonders sensibel für bereits mikroskopisch kleine Verstörungen.

Während die Abbildung der Bifurkationskaskaden im Feigenbaum-Szenario aufzeigt, welche Populationsgrößen bei einem bestimmten Parameterwert eingenommen werden, gibt die Abbildung 39 auch die Abfolge der Populationsentwicklungen in (x, t)-Diagrammen für ausgewählte Parameterwerte wieder. Die gestrichelte Linie gibt dabei den Bereich an, der noch nicht zu einem stabilen Muster gezählt werden kann.

Ein Attraktor ist ein attraktives Verhaltensmuster, welches ein System auch nach einer Verstörung wieder einnimmt

Werden als Startwerte solche Werte gewählt, die das System gewöhnlich nicht einnimmt (*Verstörung*), so kann es dadurch relativ lange verstört bleiben. Dieser fremdbestimmte Eingriff wird erst nach längeren Zeiträumen durch die Selbstorganisationskräfte des Systems überwunden. Erst rechts von den gestrichelten Linien in Abbildung 39 zeigt sich also das selbstorganisierte Systemverhalten. Dieses Systemverhalten entspricht dem vom System unter den gegebenen Parametereinstellungen bevorzugten Verhalten. Dieses Systemverhalten wird *Attraktor* genannt, da es sich um ein „attraktives“ Verhaltensmuster handelt, welches das System immer wieder einzunehmen bestrebt ist (vgl. hierzu auch die Ausführungen im Zusammenhang mit Regelkreismodellen in Abbildung 15, S. 48).

In der Nähe von Bifurkationspunkten dauern transiente Prozesse länger als im Attraktor

Hingegen wird die Einschwingphase auf dem Weg in einen Attraktor als *transientes* (Übergangs-)Verhalten bezeichnet. Die Dauer, die ein System transient von einer Auslenkung zurück in den Attraktor benötigt, wird bestimmt von der Stärke der Auslenkung und der Eindeutigkeit des Systemzustandes. Die Eindeutigkeit des Systemzustandes oder auch die Stärke der Anziehung des Attraktors hängt

von der Nähe zu Bifurkationspunkten ab. Befindet sich das System in der Nähe eines Bifurkationspunktes, so führen bereits mikroskopisch kleine Verstörungen zu weitreichenden Beeinflussungen des Systemverhaltens, indem sie darüber entscheiden können in welchen von zwei möglichen Attraktoren das System kippen wird (*kritische Fluktuationen*). Es dauert unter Umständen lange, bis es sich für eine Ordnung „entschieden“ hat (*kritisches Langsamerwerden*).

Im chaotischen Bereich ist dann allerdings nicht mehr zu unterscheiden, was transientes Verhalten und was stabiles Verhalten ist. Allgemein betrachtet, bedeuten solche transienten Einschwingvorgänge größte Probleme bei der Untersuchung *empirischer Systeme* die sich zum Zeitraum der Untersuchung chaotisch verhalten. Während bei mathematischen Systemen durch sog. Störungsrechnungen (wie sie z.B. auch von der Synergetik vorgeschlagen werden, siehe S. 139ff.) angegeben werden kann, ob ein System einen stabilen Zustand einnimmt und welcher das sein wird, ist es empirisch so gut wie unmöglich, vollständig nachzuweisen, einen stabilen Zustand zu beobachten. Unter Umständen sind die Beobachtungszeiträume zu kurz oder zu lang (das System hat inzwischen den Attraktor gewechselt) oder Fremdverstörungen triggern das System die ganze Zeit, sodass es überhaupt gar nicht in den Zustand der Selbstorganisation übergehen kann (dieses Problem wurde oben bereits in Bezug auf das Wetter diskutiert; vgl. S. 97ff.).

Chaos bedeutet die Unvorhersehbarkeit der Dynamik eines deterministischen Systems

Obwohl aber das chaotische Systemverhalten keine längerfristigen Vorhersagen zulässt (die tatsächliche Genauigkeit lässt sich z.B. an der Autokorrelationsfunktion, die ausführlich auf S. 341 beschrieben wird, ablesen. Diese wird bei der Verhulst-Gleichung schon bei einem Time-Lag von Eins verschwindend gering, d.h., dass zwei direkt auf einander folgende Werte nicht miteinander korrelieren), ist für mathematische Systeme genauestens ihr Berechnungsmodus bekannt. Jeder Folgewert ist durch seinen Vorgänger und die gegebene Funktionsgleichung eindeutig determiniert. Das Chaos muss also eine Ordnung besitzen.

Die Unordnung im Chaos beruht auf einer hohen Sensibilität für die Startwerte. Als Startwert kann jeder Punkt auf der Zeitreihe, also jeder Zeitpunkt aufgefasst werden. Da aber aus einem Startpunkt der Folgewert und daraus wieder ein Folgewert berechnet wird und das System ohnehin schon höchst empfindlich auf kleinste Unterschiede in Zahlenwerten reagiert, pflanzen sich minimale Unterschiede in den Werten der Startbedingungen explosionsartig fort, sodass auch unendlich kleine Unterschiede nach endlicher Abfolge von Iterationen gigantische Unterschiede produzieren. Hier zeigt sich der *Schmetterlingseffekt*⁶³, wie er bereits von Lorenz (1963) für das Wetter beschrieben wurde (siehe S. 97ff.).

Da bei dem hier vorgestellten Verhulst-System jeder Wert genau durch seinen Vorgänger definiert ist, könnte es sinnvoll sein ein Phasenraumdiagramm derart zu erzeugen, dass jeder Wert der chaotischen Zeitreihe gegen seinen Nachfolger aufgetragen wird. (In anderen Systemen, z.B. der Populationsentwicklung von zwei Tierarten, bei denen sich die eine von der anderen ernährt, ist die Entwicklung der einen Population von der Entwicklung der anderen Population abhängig. Hier bietet es sich also an, die eine Tierart gegen die andere Tierart aufzutragen. Vgl. dazu auch oben, S. 91f.).

⁶³ Lorenz (1963) spricht jedoch nicht direkt von einem „Schmetterlingseffekt“ sondern von einer Möwe: „one flap of a sea gull's wings would forever change the future course of the weather“.

Der Phasenraum einer chaotischen Dynamik zeigt sich hoch geordnet

Die in der Abbildung 40 wiedergegebene Phasenraumdarstellung der Verhulst-Dynamik zeigt eine hoch geordnete Struktur. Alle Punkte der chaotischen Zeitreihe springen wild auf diesem Attraktor hin und her. Beliebige andere Punkte im Phasenraum werden jedoch nicht eingenommen. Hier zeigt sich die Ordnung im Chaos (die Eigenschaften chaotischer Systemdynamiken sollen hier nicht weiter vertieft werden. Eine ausführliche Kennzeichnung von Chaos erfolgt ab S. 151ff.).

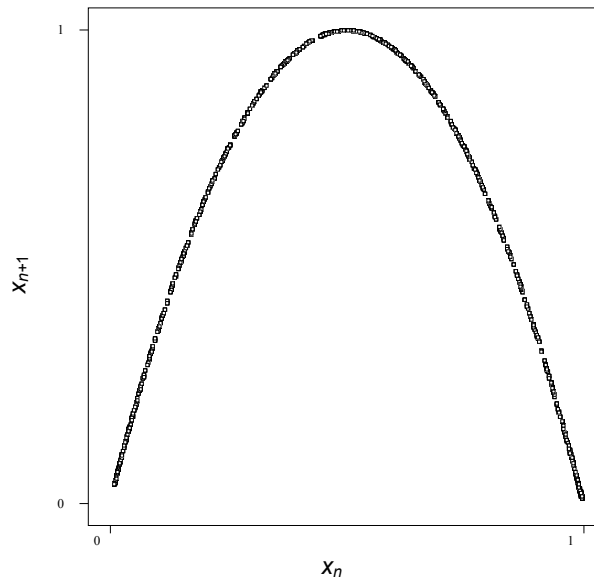


Abbildung 40: Attraktor der Verhulst-Gleichung

Auch für die Dynamik der Verhulst-Gleichung kann ein Phasenraum konstruiert werden. Werden jeweils die Werte von x zum Zeitpunkt n gegenüber dem jeweils nachfolgenden Zeitpunkt aufgetragen, so zeigt sich die Ordnung im Chaos: Der Attraktor der Verhulst-Gleichung ist eine umgekehrte Parabel. Aufeinanderfolgende Werte liegen immer auf dieser Parabel. Die Abfolge der Punkte auf der Parabel folgt jedoch keiner ersichtlichen Ordnung.

5.4.3 Exkurs: Weitere Modelle

Die von Lotka, Volterra und Verhulst vorgeschlagenen Gleichungssysteme zur Simulation von Populationsdynamiken sind hinsichtlich ihrer Validität für „tatsächliche“ Populationsdynamiken vielfach in Zweifel gezogen worden. Obwohl z.B. für das Räuber-Beute-Modell alternative Formalisierungen entwickelt wurden, die einen Teil der bereits beschriebenen Grundannahmen und Vereinfachungen vermeiden, kann derzeit sicher keines der Modelle für sich in Anspruch nehmen, „perfekt“ mit der „Wirklichkeit“ überein zu stimmen. Dies kann jedoch auch gar nicht das Ziel sein. Insbesondere für eine chaotische Prozessdynamik ist eine solche „perfekte“ Übereinstimmung von vornherein ausgeschlossen. Mathematische Formalisierungen theoretisch angenommener Zusammenhänge und Relationen haben viel mehr das Ziel einen Eindruck davon zu vermitteln, was aus einer komplexen Theorie eigentlich folgt (siehe dazu genauer S. 205ff.; vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 100f.; Schiepek & Schaub 1991).

Die mathematische Formalisierung ökologischer Systeme orientiert sich auch heute noch weitgehend am Vorbild des Lotka-Volterra-Modells und dem Verhulst-System. Sie geben trotz aller Kritik an der externen Validität der Modelle Einblicke in die Möglichkeiten für die Simulation und Modellbildung in der Ökologie, an deren Beispiel sich auch eine psychologische Modellbildung orientieren könnte, wie es zum Teil bereits geschehen ist (z.B. Weidlich & Haag 1983, Kriz 1990, Schiepek & Schaub 1991, Schiepek & Schoppek 1991, Schiepek & Schoppek 1992).

Eine Auswahl von in der Ökologie diskutierten Modellen soll im Folgenden kurz vorgestellt werden (die Modelle werden ausführlicher beschrieben bei: Pielou 1969, Dubois 1975, Haken 1985).

Intraspezifische Interferenz

Wie bereits dargestellt, ist im Lotka-Volterra-Modell sowohl ein Einfluss der Beute auf die Jäger als auch ein Einfluss der Jäger auf die Beute vorgesehen (vgl. Gleichung 1.1/2, S. 104). Ein Anwachsen der Zahl der Beutetiere führt zu einem Anwachsen der Zahl der Jäger. Ein Anwachsen der Zahl der Jäger führt andererseits zu einer Abnahme der Beute. Intraspezifische Veränderungen sind in dem Modell jedoch nicht enthalten.

Es werden natürliche Grenzen bei der Vermehrung der Beutetiere angenommen

Es ist jedoch realistisch anzunehmen, dass die Population der Beutetiere auch ohne Jäger nicht bis in die Unendlichkeit anwachsen kann. Dem Wachstum sind Grenzen gesetzt. Sei es, dass der Lebensraum nicht ausreichen würde, oder dass die Nahrungsgrundlage nicht groß genug wäre, immer würde ein Mehr an Beute zu einer Verringerung der Zuwachsrates führen. Diese Mechanismen bleiben natürlich auch noch wirksam, wenn ein Jäger hinzukommt. Dieser Fall soll hier nicht in allen Einzelheiten diskutiert werden (siehe für eine ausführliche Darstellung Pielou 1969, S. 71). Das Nennen der Grundgleichungen soll genügen.

**Gleichung 4.1:
Intraspezifische Interferenz – Jäger**

$$\frac{dx}{dt} = ax - ex^2 - bxy.$$

**Gleichung 4.2:
Intraspezifische Interferenz – Beute**

$$\frac{dy}{dt} = dxy - cy.$$

Die Gleichung unterscheidet sich vom Lotka-Volterra-Modell einzig durch den Term: $-ex^2$. Es wird hier angenommen, dass ein Anwachsen der Beute x zu einer Abnahme der Zuwachsrates dx/dt führt. Diese Abnahme sei dem Quadrat der Zahl der Beutetiere proportional. Die Proportionalitätskonstante sei e .

Ausweichen auf andere Beute

Eine andere Möglichkeit eröffnet sich, wenn angenommen wird, dass die Jäger auf eine andere Nahrung ausweichen können, wenn die Zahl der Beutetiere abnimmt. Die Jäger können sich vermehren, ohne auf die Abnahme der Beutetiere selbst mit Abnahme reagieren zu müssen.

**Gleichung 5.1:
Andere Beute – Jäger**

$$\frac{dx}{dt} = ax - ex^2 - bxy.$$

Gleichung 5.2:
Andere Beute –
Beute

$$\frac{dy}{dt} = dxy - fy^2 + cy.$$

Die Parameter a , e , f , c sind die Proportionalitätskoeffizienten für die Populationen, wenn sie unabhängig voneinander existieren. Die Terme x^2 und y^2 beschreiben, wie oben erläutert, die natürlichen Grenzen des Wachstums beider Populationen. Ohne gegenseitigen Einfluss entsprechen beide Gleichungen der Verhulst-Gleichung (vgl. Gleichung 3, S. 107ff.). Der Term xy in der ersten Gleichung besitzt ein negatives Vorzeichen, da die Zahl der Jäger die Zahl der Beutetiere verringert. Für die Jäger ist dieser Term als Vermehrungsrate zu sehen, die aus dem Vorhandensein der Beute als Nahrung entsteht. Sie könnten sich jedoch auch ohne Beutetiere durch den Term cy weiter vermehren (siehe für eine ausführliche Darstellung Pielou 1969, S. 71f.).

Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung der Jäger-Beute-Beziehung wurde von Leslie und Gower (1960) durch folgende Gleichungen vorgestellt:

Gleichung 6.1:
Alternative Jäger-
Beute-Beziehung –
Jäger

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy.$$

Gleichung 6.2:
Alternative Jäger-
Beute-Beziehung –
Beute

$$\frac{dy}{dt} = cy - d\frac{y^2}{x}.$$

Der Term y^2/x in der Gleichung der Jäger stützt sich auf die Annahme, dass das Verhältnis beider Populationsgrößen (Zahl der Jäger im Verhältnis zur Zahl der Beute) das Anwachsen der Jäger steuert. Wenn viele Jäger im Vergleich zur Beute existieren, werden mehr Jäger aus Nahrungsmangel sterben als sonst. In diesem Fall wird der Term y^2/x groß, sodass der Zuwachs der Jäger gestoppt oder umgekehrt wird. Dieser Term wird jedoch klein, wenn die Zahl der Beutetiere hoch ist, im Vergleich zur Zahl der Jäger. In diesem Fall steht dem Wachstum der Jäger nur die übliche Sterberate entgegen.

Die Räuber-Beute-
Dynamik konvergiert
gegen den Ruhepunkt

Interessanter Weise unterscheiden sich die Trajektorien dieses Gleichungssystems stark von denen des Lotka-Volterra-Modells. Das System bildet, wie ein Regelkreis, eine Homöostase aus und ist daher beständig bestrebt einen Fixpunkt zu erreichen. Bei Auslenkungen nähert es sich spiralförmig (in der Phasenraumdarstellung) diesem Fixpunkt an (Leslie & Gower 1960, zitiert nach: Pielou 1969, S. 74).

Koexistenz

Wenn zwei oder mehrere Populationen ohne gegenseitige Einflussnahme koexistieren, also die zeitliche Veränderung der Größe einer Population jeweils unabhängig von der bzw. den anderen ist, lassen sich folgende Gleichungen leicht finden:

Gleichung 7:
Koexistenz

$$n_i = a_i n_i - b_i n_i, \text{ mit } i = 1, 2, 3, \dots$$

n bezeichnet die Größe der zu betrachtenden Population. Wie schon bekannt, entspricht an der Geburts- und bn der Sterberate der Population. Haken (1985, S. 308f.), vom dem dieses Beispiel stammt verzichtet hier auf quadratische Sterberaten, wie sie in der Verhulst-Gleichung vorgesehen sind.

Wettbewerb und Koexistenz

Ebenfalls von Haken (1985) stammen die folgenden Gleichungen, die in allgemeiner Form sowohl den Wettbewerb als auch die Koexistenz zweier Populationen formalisieren.

**Gleichung 8.1:
Wettbewerb und Koexistenz
– Population x**

$$\frac{\delta x}{\delta t} = (a_1 N_1 + a_2 N_2)x - bx.$$

**Gleichung 8.2:
Wettbewerb und Koexistenz
– Population y**

$$\frac{\delta y}{\delta t} = (c_1 N_1 + c_2 N_2)y - dy.$$

Mit x und y seien die beiden Populationen, mit N_1 und N_2 die beiden Nahrungsquellen bezeichnet. Da beide Arten sich von beiden Nahrungsquellen ernähren, hängt ihr Zuwachs proportional von der vorhandenen Nahrungsmenge ab. a und c sind also die Konstanten der Geburtsrate, die sich nach dem Nahrungsangebot richten. b und d sind die bekannten Koeffizienten der Sterberate. Es soll hier vereinfachend angenommen werden, dass sich die Sterberate nicht quadratisch ändert, wie es oben unter „intraspezifische Interferenz“ (vgl. Gleichung 4.1/2, S. 115) bereits diskutiert wurde. Zur Beschreibung der Nahrungsquellen seien die folgenden Gleichungen angenommen:

**Gleichung 9.1:
Nahrungsquelle 1**

$$\frac{\delta N_1}{\delta t} = e(N_1^* - N_1) - v_1 x - v_2 y.$$

**Gleichung 9.2:
Nahrungsquelle 2**

$$\frac{\delta N_2}{\delta t} = f(N_2^* - N_2) - v_3 x - v_4 y.$$

Dabei sei eN_1^* der Futterzuwachs und $-eN_1$ der Futterschwund durch Verderben oder Ähnliches. Mit v werden die Koeffizienten bezeichnet, die die Abnahme des Futters pro Individuum der beiden Arten modellieren. Haken wendet hier das Verfahren der adiabatischen Elimination⁶⁴ an (vgl. Haken 1985). Er argumentiert, dass die zeitliche Veränderung der Nahrung in Relation zur zeitlichen Veränderung der Populationen vernachlässigbar gering sei. Auf dieser Grundlage lassen sich diese Differentiale Null setzen und direkt nach N_1 bzw. N_2 umstellen. Diese lassen sich sodann in dx/dt und dy/dt einsetzen. Es soll hier darauf verzichtet werden die resultierenden Gleichungen anzugeben.⁶⁵

Die Nullstellen beider Gleichungen werden stationäre Zustände des Systems genannt. Je nach Lebensbedingungen, d.h. je nach den Werten der Parameter, sind verschiedene stabile Zustände denkbar. So kann es geschehen, dass nur eine Art überleben kann, die andere aber zugrunde gehen muss. Der Ruhepunkt läge bei Null für die eine Gleichung und bei ungleich Null für die andere. Die Parameter lassen sich aber auch so wählen, dass nicht mehr vorhergesagt werden kann, welche Art auf Kosten der anderen überlebt.

Damit sind die möglichen Verhaltensweisen dieses Systems jedoch noch nicht erschöpft. Es können Parameterwerte gefunden werden, die zu der oben bereits beschriebenen Koexistenz der Arten führen. Als Ruhepunkt existiert hier für beide Populationen ein Wert, der ungleich Null ist.

⁶⁴ vgl. Haken 1985, S. 222f; adiabatische Elimination der schnell relaxierenden Variablen aus der Master-Gleichung.

⁶⁵ Haken selber belässt es bei einer bloßen Nennung der Gleichungen, ohne ihre weitere Behandlung explizit anzuführen (vgl. Haken 1985, S. 309).

5.5 Chemische Oszillatoren

Auch auf dem Gebiet der Chemie zeigten sich bereits im 19. Jahrhundert Vorläufer für eigentlich ernst zu nehmende Anomalien, die aber ebenso wie die Entdeckungen von Poincaré keine weitere Beachtung fanden. Bereits 1828 beschreibt Gustav Theodor Fechner⁶⁶ eine elektrochemische Zelle, die einen oszillierenden Strom erzeugt (Fechner 1828). In Fechners Zellen läuft eine chemische Reaktion ab, die zunächst einen Strom erzeugt, dann aber für eine bestimmte Zeit die Polarität ändert um dann abermals die Polarität zu wechseln. Wie es möglich sein kann, dass eine chemische Reaktion sich nach einem mehr oder minder konstanten Zeitintervall immer wieder umkehrt, um dann erneut zu beginnen, ist ein Rätsel, dem die Chemie rund 150 Jahre ohne Antwort gegenüber stand (vgl. Epstein & Pojman 1998).

Während für lebende Systeme eine Reihe von zyklischen Prozessen beschrieben werden können, folgen chemische Reaktionen – zumindest in ihren Ergebnissen – dem Alles-oder-Nichts-Prinzip. Die Reaktion eines Stoffes mit einem anderen führt zu einem neuen Stoff.

Dass sich ein solches Reaktionsprodukt von selbst wieder in die ursprünglichen Reaktionspartner zerlegen sollte, um dann erneut zu reagieren, widersprach eindeutig dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik. Woher sollte ein System die Energie nehmen zunächst chemisch zu reagieren und daraufhin die Reaktion zu lösen, um sie danach erneut zu wiederholen?

Selbstorganisation in chemischen Reaktionen wurde zunächst auf schlecht geputzte Reagenzgläser zurückgeführt

Der erste homogene isothermische chemische Oszillator wurde von William Bray⁶⁷ 1921 als eine Reaktion von Jodat, Jod und Wasserstoff-Peroxyd beschrieben. Dabei zersetzt sich das Wasserstoff-Peroxyd zu Sauerstoff und Wasser. Es zeigte sich, dass die Konzentration des erzeugten Sauerstoffs nahezu periodisch schwankt (Bray 1921, Bray & Liebhafsky 1931, zitiert nach Epstein & Pojman 1998). Fünfzig Jahre lang wurden diese Ergebnisse von Chemikern auf unsaubere Versuchsbedingungen zurückgeführt. Staub, schlecht geputzte Reagenzgläser oder Blasen würden das bizarre Verhalten hervorrufen. Es könne sich unmöglich um eine wirklich homogene Reaktion handeln. Erst 1975 gelang es Noyes und anderen, in sorgfältigen Experimenten und mit Hilfe von mathematischen Modellen die Arbeiten von Bray zu rehabilitieren (Sharma & Noyes 1975, eine Darstellung weiterer Musterbildungsprozesse in der Chemie findet sich bei Müller 1994).

Die Grundsteine für die Lösung des Rätsels wurden von Boris Pavlovich Belusov⁶⁸ gelegt, obwohl es ihm Zeit seines Lebens wie Bray vor ihm erging. Auf ein 1951 zur Publikation eingereichtes Manuskript antworteten ihm die Redaktionsmitglieder, dass die Ergebnisse unmöglich stimmen können (Coveney & Highfield 1992, S. 258; vgl. Strunk & Schiepek 1996).

⁶⁶ 1801 bis 1887

⁶⁷ 1879 bis 1946

⁶⁸ 1893 bis 1970

1950 begann Belusov als Leiter des Laboratoriums für Biophysik des Ministeriums für Gesundheit der UdSSR Arbeiten über anorganische Reaktionszyklen, die eine große Ähnlichkeit zur Entstehung von Krebs aufweisen. Er untersuchte eine Lösung aus Bromat, einer schwefligen Säure und Cerium-Ionen (Ce^{+4}). Er erwartete eine zunehmende Verfärbung der gelblichen Flüssigkeit (Ce^{+4}) zu einer klaren Lösung (Ce^{+3}). Überraschender Weise klärte sich die Lösung zunächst und fing dann an sich erneut gelb zu färben, um danach erneut ihre Farbe zu verlieren. Belusov untersuchte die Vorgänge sorgsam unter verschiedenen Bedingungen und unterschiedlichen Ausgangskonzentrationen der beteiligten Stoffe. Immer fand er das gleiche Ergebnis: eine blinkende Flüssigkeit (für eine Rezeptur siehe Deutsch 1994, S. 266).

Nachdem seine Arbeit zunächst nicht publiziert wurde, widmete er sich weitere sechs Jahre dem Studium der von ihm entdeckten Reaktion. Aber auch die überarbeitete Studie wurde abgelehnt. Belusov gab auf. Die einzige von ihm publizierte Arbeit über die Reaktion erschien als ein kurzes Abstrakt zu einer Konferenz (vgl. Epstein & Pojman 1998). Erst nach seinem Tod wurde seine Originalarbeit von 1951 zunächst in Russland und später in englischer Sprache veröffentlicht (Belusov 1981, 1985).

Anatol Zhabotinsky nahm sich der von Belusov beschriebenen Reaktion im Jahr 1961 an. Als einziger Zugang stand ihm die Originalrezeptur zur Herstellung der Lösung zur Verfügung. Einen Zugriff auf die unpublizierten Arbeiten Belusovs hatte er nicht. Zhabotinsky ersetzte einige Bestandteile in der Rezeptur, um zu besseren Ergebnissen zu gelangen. Zusammen mit Zaikin nutzte er ähnlich wie Belusov vor ihm Ferroin als Redoxindikator, sodass die Lösung insgesamt einen stärkeren Farbwechsel von rot zu blau erzeugte (Coveney & Highfield 1992, S. 259). Durch weitere Veränderungen wurde es ihnen zudem möglich die Reaktion in weiten Gefäßen zu beobachten. Hier zeigten sich neben den zeitlichen Farbwechseln auch räumlich Muster in Form von verschiedenfarbigen Wellen.

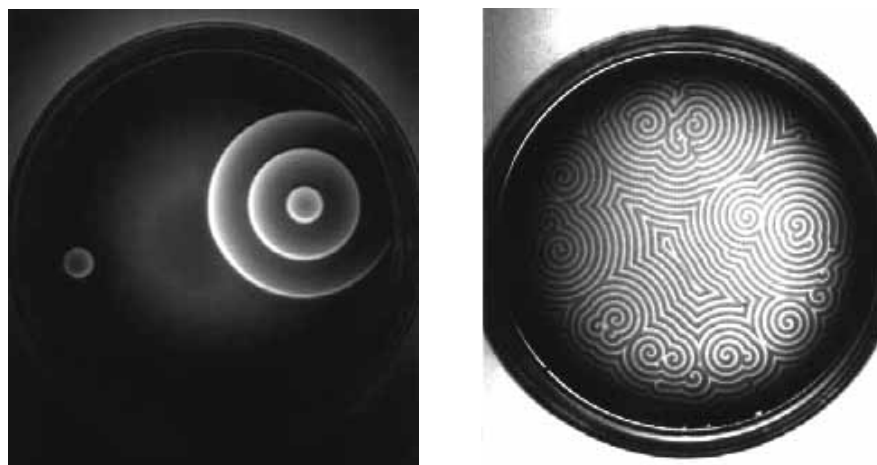


Abbildung 41: Räumliche Muster in der Belusov-Zhabotinsky Reaktion

Die beiden Abbildungen zeigen unterschiedliche räumliche Muster, wie sie sich während der Belusov-Zhabotinsky Reaktion ergeben können. Links zeigen sich so genannte Zielscheiben-Strukturen, während sich rechts mehrarmige Spiralwellen zeigen (Abbildung aus: Epstein & Pojman 1998).

Zehn Jahre nach seinem Tod wurde Belusov der Lenin Preis verliehen

Zhabotinsky verfasste eine Arbeit und ließ sie von Belusov begutachten. Letzterer wollte sich nicht persönlich mit dem jüngeren Kollegen treffen und antwortete per Post. Beide sind sich nie begegnet (Epstein & Pojman 1998). Insgesamt erscheinen in Russland zehn Arbeiten über die Belusov-Zhabotinsky Reaktion (BZ-Reaktion), wie sie inzwischen genannt wurde, bevor nur ein einziger Artikel in einer englischsprachigen Zeitschrift erschien. Erst eine Tagung, die 1968 in Prag abgehalten wurde und deren Beiträge auch in Englisch erschienen, machte westliche Chemiker mit der Reaktion vertraut. 1980 wurden Belusov, Zhabotinsky, Krinsky Ivanitsky und Zaikin für ihre Arbeit zur BZ-Reaktion der Lenin Preis verliehen. Belusov war 1970 gestorben (vgl. Coveney & Highfield 1992, S. 259).

Bevor die BZ-Reaktion durch Prigogines Theorie Dissipativer Systeme verstanden werden konnte und teilweise noch während laufend neue Arbeiten zur BZ-Reaktion veröffentlicht wurden, erschien eine ganze Anzahl von Artikeln, die nachzuweisen versuchten, dass oszillierende Reaktionen in homogenen Lösungen unmöglich seien. Einige dieser Arbeiten nahmen als Ursache Verschmutzungen durch kleine Partikel an. Andere gingen davon aus, dass heterogene Faktoren, wie z.B. die Bildung von Blasen für die Reaktion verantwortlich seien.

Widerspricht die BZ-Reaktion dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik?

Wieder andere argumentierten, dass die beobachteten spontanen Selbstorganisationsvorgänge auf eklatante Weise den 2. Hauptsatz der Thermodynamik verletzen (siehe oben S. 81ff.). Bei konstanter Temperatur und Umgebungsdruck sollte sich eine chemische Reaktion wie ein geschlossenes System verhalten und dabei kontinuierlich mehr Entropie erzeugen. Unabhängig von den Ausgangsbedingungen ist die Veränderung der Entropierate kontinuierlich und vor allem positiv. Vielfach wurden die Prozesse in oszillierenden chemischen Reaktionen fälschlicher Weise mit der Bewegung eines Pendels verglichen. Ein Pendel durchläuft bei jeder Schwingung den Gleichgewichtspunkt, der bei Erreichen der maximalen Entropie eingenommen wird. Es kann bei jedem Durchlauf durch den Gleichgewichtspunkt nur noch den „Schwung“ nutzen, den es nach Abzug der erzeugten Entropie noch besitzt und kommt damit „schnell“ zum Stillstand. Chemische Oszillatoren unterscheiden sich jedoch grundlegend von der Bewegung eines Pendels. Es ist das Verdienst von Prigogine, diesen Umstand als erster erkannt zu haben (vgl. z.B. Prigogine & Stengers 1986, Prigogine 1987, Prigogine & Stengers 1993).

5.6 Zusammenfassung einiger bemerkenswerter Aspekte

Die historischen Wurzeln der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme sind relativ vielgestaltig und reichen weit hinein in unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen. In den vorangegangenen Abschnitten wurden einige bedeutsame Beispiele für das zum Teil bizarre – und aus der Perspektive eines mechanistischen Weltbildes sogar *anomale* Verhalten – dynamischer Systeme vorgestellt. Im Folgenden sollen einige auffällige Aspekte noch einmal zusammenfassend diskutiert werden.

Entropie und negative Entropie. Vor dem Hintergrund des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik, der eine beständige Zunahme der Entropie geschlossener Systeme postuliert, erscheint das Verhalten der beschriebenen Systeme bizarr und nur schwer verständlich. Wie ist Selbstorganisation im Sinne von Entropiereduktion möglich, ohne dass dem System die gleiche Ordnung von außen vorgegeben wird? Diese Frage beschäftigte bereits Schrödinger, der als Erklärungsansatz den Begriff der negativen Entropie anbietet, dabei aber nur zu erklären vermag, wie Ordnung aus Ordnung entsteht. Die Verletzung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik war auch das wichtigste Argument gegen die in den Augen der klassischen Chemie nicht mögliche Belusov-Zahbotinsky-Reaktion. Wird das Problem jedoch reformuliert, zu der Frage, ob es sich bei den hier beschriebenen Systemen auch wirklich um geschlossene Systeme handelt, so ergeben sich Ansätze für eine Lösung, die zuvor nicht offensichtlich sein konnte.

Energetisch offene Systemstrukturen. Nur bei einem der betrachteten Systeme handelt es sich im klassischen physikalischen Sinne um ein geschlossenes System, für das der 2. Hauptsatz der Thermodynamik Gültigkeit besitzt. Sowohl die mathematischen Gleichungen für das Drei-Körper-Problem als auch die dem Wetter-System zu Grunde liegenden Gleichungen sind idealisierte Differentialgleichungen, die keine Terme zur Beschreibung des Entropiezuwachses enthalten. So gelten die Newtonschen Gravitationsgesetze im idealen luftleeren Raum, in dem keine Reibung auftritt und damit auch keine Entropiesteigerung. Etwas anders aber mit der gleichen Schlussfolgerung können die Modelle zur Populationsdynamik interpretiert werden. Bei weitem offensichtlicher als bei den anderen Beispielen wird hier durch Terme, die z.B. die Lebensbedingungen repräsentieren, die Versorgung des Systems mit Energie explizit gemacht. Es soll hier nicht verschwiegen werden, dass solche Terme auch im Drei-Körper-Problem (z.B. die Masse der Planeten, oder die Startgeschwindigkeit eines Planeten) und im dargestellten Wetter-System gefunden werden können, jedoch nicht ausführlich beschrieben wurden. In jedem Fall handelt es sich also um mathematische Gleichungen, die Systeme beschreiben, die als offene Systeme interpretiert werden können: Die Energieversorgung ist gesichert und die Entropieerzeugung spielt keine ernstzunehmende Rolle (sie tritt z.B. in der Leere des Universums in ganz geringem Maße auf und verliert sich sofort in dessen gigantischen Ausmaßen).

Prigogine nennt solche Systeme, die beständig mit Energie versorgt werden und ihre Entropie an die Umwelt abgeben können *dissipative Systeme*. Solche Systeme befinden sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht maximaler Entropie. Erst diese Gleichgewichtsferne ermöglicht es ihnen selbstorganisiert komplexe

dynamische Ordnungsstrukturen auszubilden. Besonders deutlich wird der Einfluss der Energie im Verhulst-System. Der Umweltparameter r bestimmt wie gut es der Population geht, welche Ressourcen ihr zur Verfügung stehen, um sich ungehindert vermehren zu können. Ist dieser Parameter klein, so befindet sich das System nahe am thermodynamischen Gleichgewicht. Die Energie reicht nur für einfache Verhaltensmuster. Ohne, dass sich das System als solches geändert hätte führt eine erhöhte Zufuhr an Energie zu einem qualitativ völlig anderen Verhalten. Auf Grund der großen Bedeutung, die die Energiezufuhr für ein solches System besitzt, wird diese Größe in der von Hermann Haken begründeten Synergetik *Kontrollparameter* genannt. Ein Kontrollparameter kontrolliert den Energiefluss durch ein System und ermöglicht, je nach Größe, die selbstorganisierte Ausbildung völlig unterschiedlicher Verhaltensmuster in ein und dem selben System. Die Rolle des Kontrollparameters beschränkt sich jedoch allein auf das Bereitstellen der Energie (notwendige Rahmenbedingung), ohne dass er dem System ein bestimmtes Verhalten von außen vorgibt.

Als einzige Ausnahme kann in den angeführten Beispielen die Belusov-Zhabotinsky-Reaktion benannt werden. Hier handelt es sich um ein reales, nicht mathematisch simuliertes System, bei dem die Entropiesteigerung, die nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik zu erwarten ist, nicht vernachlässigt werden kann. Es handelt sich also eher um ein geschlossenes als um ein offenes System. Dass das beobachtbare Verhalten dieses Systems jedoch keineswegs dem 2. Hauptsatz widerspricht, wurde von Prigogine ausführlich herausgearbeitet (siehe S. 125ff.).

Ähnliche Phänomene in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen. Obwohl die beschriebenen Systeme ganz verschiedenen wissenschaftlichen Fachrichtungen zugeordnet werden können, zeigen sie doch in Hinblick auf ihr Verhalten mehr Ähnlichkeiten als Unterschiede. Jedes der beschriebenen Systeme zeigt Phänomene spontaner Selbstorganisation, die bei einigen der ausgewählten Beispiele von einer erheblich gesteigerten Sensibilität für kleinste Verstörungen bzw. geringe Unterschiede in den Ausgangsbedingungen begleitet werden. Sowohl das Drei-Körper-System, das Wetter-System, als auch das Verhulst-System sind chaotische Systeme oder doch zumindest chaosfähig. Ähnlich Phänomene finden sich auch in der Chemie – wie das letzte Beispiel der Belusov-Zhabotinsky-Reaktion zeigen konnte – und der Physik. Für die Chemie gelang Prigogine erstmals eine umfassende und schlüssige Erklärung der beschriebenen Phänomene im Rahmen der von ihm begründeten *Theorie Dissipativer Systeme* (siehe S. 125ff.). Aus der Physik stammt hingegen die von Hermann Haken entwickelte *Synergetik*, die inzwischen erfolgreich auch auf verschiedene Bereiche der Sozialwissenschaften übertragen wurde (siehe S. 131ff.).

Attraktoren. Insbesondere für die Verhulst-Gleichung konnte gezeigt werden, dass das System unter einer gegebenen Kontrollparametereinstellung bestimmte bevorzugte Verhaltensmuster ausbildet, die auch gegen Verstörungen stabil sind. Solche Attraktoren erinnern an die Gleichgewichtszustände, die kybernetische Regelkreise selbsttätig immer wieder einnehmen (siehe S. 47ff.). Tatsächlich zeigt z.B. das Verhulst-System bei geringen Werten des Kontrollparameters ein homöostatisches Systemverhalten, welches das System immer wieder dazu führt, einen Fixpunkt einzunehmen. Aber auch die ebenfalls beim Verhulst-System zu beobachtenden, gegen äußere Verstörungen immunen, Verhaltensweisen des zyklischen

Schwankens und des deterministischen Chaos zeigen die Selbstregulationsfähigkeiten eines Regelkreises, nur dass hier nicht ein Fixpunkt sondern die jeweiligen Verhaltensmuster aufrechterhalten bleiben. Das Konzept des Attraktors kann als eine verallgemeinerte dynamisierte Form des Regelkreiskonzeptes aufgefasst werden.

Bifurkationen – Phasenübergänge. Attraktoren sind über relativ weite Bereiche der Kontrollparameter stabil. Das heißt, dass sich das Systemverhalten auch bei Änderung der Kontrollparameter qualitativ nicht verändert, solange der Kontrollparameter bestimmte Grenzen nicht über- bzw. unterschreitet. Erst durch das Passieren einer solchen Grenze kippt das Verhalten schlagartig in ein anderes Muster. Ein solches Umschlagen wird *Phasenübergang* oder *Bifurkation* genannt. Der Begriff Phasenübergang stammt aus der Physik und beschreibt dort auch den plötzlichen Wechsel von Aggregatzuständen, wie zum Beispiel bei Wasser, wenn es bei Null Grad Celsius plötzlich gefriert. Der aus der Mathematik stammende Begriff der Bifurkation betont zudem die kritische Verzweigung in der Geschichte des Systems, die es durchläuft, wenn es einen Bifurkationspunkt überschreitet. Im Bifurkationspunkt ist ein System ein Spielball seiner Umwelt. Es „steht auf der Kippe“ und muss eine von mehreren möglichen Verhaltensweisen wählen. Mikroskopische und damit nicht vorhersagbare Fluktuationen bestimmen in einem Bifurkationspunkt über das weitere Schicksal eines Systems.

Chaos und Ordnung. Von einer chaotischen Systemdynamik wird dann gesprochen, wenn ein System die von Poincaré und von Lorenz beobachtete Sensitivität für kleinste Verstörungen aufweist. Ein solches System ist nur über kurze Zeiträume hinweg prognostizierbar. Aber auch eine chaotische Systemdynamik wird von einem vollständig determinierten System erzeugt. Daher sind chaotische Strukturen, wenn auch im Detail nicht prognostizierbar, so doch hoch geordnet. Es handelt sich um hoch geordnete, hoch komplexe dynamische Muster. Die Ordnung im Chaos kann nicht selten durch Phasenraumdiagramme sichtbar gemacht werden. Sowohl der von Lorenz beschriebene Wetterattraktor als auch die Parabel der Verhulst-Gleichung zeigen, dass sich das System nicht zufällig verhält. Verhielte es sich nämlich nach dem Prinzip des Zufalls, so sollte es jeden nur möglichen Zustand im Phasenraum einnehmen können. Tatsächlich zeigen die Phasenraumdarstellungen komplexer Systeme klare Strukturen, die auf die Zustände verweisen, die ein solches System gewillt ist einzunehmen und diejenigen, die es nicht einnehmen wird, solange die Umwelt es nicht dazu zwingt.

6. Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme

Die Zahl der mathematisch-naturwissenschaftlich begründeten Theorien über nichtlineare dynamische Systeme, wie sie im vorhergehenden Kapitel beschrieben wurden, ist in den letzten Jahren relativ unübersichtlich geworden. Vieles, was vor 20 Jahren noch unter dem Dach der von Hermann Haken begründeten Synergetik firmierte wird heute unter dem Begriff der Chaostheorie zusammengefasst. Je nach fachlicher Herkunft eines Autors findet sich jedoch auch der gegenteilige Trend. Es ist heute nicht mehr leicht, die einzelnen Aspekte der verschiedenen Theorien auseinander zu halten und in der Begriffsvielfalt, die sich aus unterschiedlichen Wurzeln der Ansätze ergeben hat, den Überblick zu behalten. Vielfach wurde in dieser Arbeit bereits auf die Theorie Dissipativer Systeme und die Synergetik Bezug genommen, die sich in ihrem Erklärungsbereich weitgehend überschneiden. Unterschiede bestehen neben den Begrifflichkeiten vor allem in den Aspekten, die die eine Theorie gegenüber der anderen besonders stark betont und in der Weiterentwicklung der Ansätze über ihren ursprünglichen Anwendungsbereich hinaus.

Die unterschiedlichen Wurzeln der Chaostheorie

In ihren mathematischen Grundlagen stützen sich beide jedoch auf Werkzeuge, die zum Teil unabhängig und zum Teil in gegenseitiger Befruchtung in der Mathematik entwickelt und in der Regel erst durch die Rechenleistung moderner Computer handhabbar wurden. Viele Grundlagen zur mathematischen Beschreibung komplexer dynamischer Strukturen wurden z.B. von Poincaré, Kolmogorov (siehe dazu z.B. auch S. 399ff.) und anderen lange vor deren Nutzung im Rahmen der „Chaostheorie“ entwickelt. Auch Bifurkationsdiagramme waren in der Mathematik lange vor Feigenbaum bekannt. Er war jedoch der erste, der sie in einem Computerprogramm umsetzte und damit das Tor aufstieß zur Beschreibung vorher nicht sichtbarer Phänomene, wie z.B. dem Phänomen der *Selbstähnlichkeit*. Aber auch dieser Begriff stammt ursprünglich aus einem ganz anderen theoretischen Kontext, nämlich dem der Geometrie fraktaler Strukturen, die ihrerseits auf der computergestützten Neuentdeckung bestimmter bereits hundert Jahre vorher formulierter Gesetzmäßigkeiten und Beispielen aufbaut. Chaotische Systeme zeigen viele Eigenschaften, die sie mit Fraktalen gemeinsam haben und werden zum Teil erst durch diese Eigenschaften als chaotisch identifizierbar.

Chaos ist nur eines der Phänomene komplexer Systeme

Dass Chaos jedoch nur eine von verschiedenen möglichen Verhaltensweisen komplexer Systeme darstellt, wurde schon mehrfach deutlich. Die einseitige Betonung des Chaos als prominenteste Erscheinungsform der Selbstorganisation vernachlässigt wichtige Aspekte, wie z.B. Phasenübergänge und Ähnliches.

Aus der Fülle der hier nur ansatzweise skizzierten Strömungen und Entwicklungen sollen im Folgenden die Grundzüge der Theorie Dissipativer Systeme, der Synergetik und der fraktalen Geometrie dargestellt werden. Bei letzterer handelt es sich nicht explizit um eine Systemtheorie. Auch beschreibt sie im Wesentlichen keine Prozesse sondern bestimmte geometrische Formen. Sie ist jedoch für die Kennzeichnung wichtiger Aspekte im Rahmen des dynamischen Phänomens „Chaos“ unerlässlich und wurde daher in dieses Kapitel mit aufgenommen.

6.1 Die Theorie Dissipativer Systeme

Das Geheimnis der Selbstorganisation zeigt sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht

Die Wurzeln der Theorie Dissipativer Systeme reichen bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts und die Arbeiten von Lars Onsager⁶⁹ zurück. Er, Ilya Prigogine und andere bemühten sich thermodynamische Prinzipien auf Systeme zu übertragen, die sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewichtszustand der maximalen Entropie befinden. Schnell war ihnen klar, dass die Erklärung der Dynamik solcher Systeme einer neuen Theorie bedarf. Prigogine und seinen Mitarbeitern in Brüssel gelang es erstmals Selbstorganisationsprozesse in chemischen Systemen zu erklären, indem sie darstellten, dass es bestimmten Systemen möglich ist, sich selbst zu organisieren und damit ihre Entropie zu verringern, solange ein Durchfluss an Energie durch das System stattfindet, dessen Netto-Entropierate positiv ist (vgl. Nicolis & Prigogine 1987, S. 96ff.). Systeme, die kontinuierlich mit Energie niedriger Entropie versorgt werden und die von ihnen erzeugte Entropie an die Umwelt abgeben können, befinden sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht. Nur diese energetisch offenen Systeme sind zur Selbstorganisation fähig.

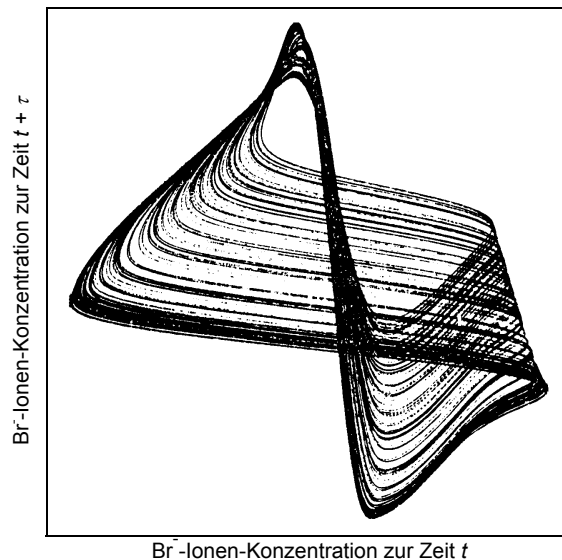


Abbildung 42: Chaotischer Attraktor der Belusov-Zhabotinsky-Reaktion

Die Abbildung zeigt den chaotischen Attraktor der Belusov-Zhabotinsky-Reaktion in einem offenen System. Das gemessene Signal ist proportional zum Logarithmus der Br^- -Ionen-Konzentration. Das Signal zu den Zeiten t wird gegen das Signal zum Zeitpunkt $t + \tau$ aufgetragen ($\tau = 53$ sec.) (Abbildung aus: Prigogine 1987, S. 181).

Für oszillierende chemische Reaktionen (vgl. Abbildung 41 und Abbildung 42), wie z.B. die Belusov-Zhabotinsky-Reaktion bedeutet dies, dass die Umwandlung der Reaktionspartner zu Reaktionsprodukten und umgekehrt beständig vor sich gehen kann, während die freie Energie niedriger Entropie beständig dadurch abnimmt, dass die mit hoher freier Energie ausgestatteten Reaktionspartner zu niedrig energetischen Reaktionsprodukten umgewandelt werden. Jede Abnahme der

⁶⁹ 1903 bis 1976

Entropie durch Selbstorganisation wird mehr als kompensiert durch eine Zunahme der Entropie durch die anderen Prozesse. Ganz anders als bei einem Pendel durchläuft ein oszillierendes chemisches System während der Oszillation nicht seinen Gleichgewichtspunkt, sodass zu keinem Zeitpunkt gegen den 2. Hauptsatz der Thermodynamik verstoßen wird.

Selbstorganisierte raum-zeitliche Strukturen heißen „dissipative Strukturen“

Prigogine stellt 1955 fest, dass offene Systeme, also Systeme die offen sind für einen Austausch von Energie mit ihrer Umwelt und sich dadurch fern vom thermodynamischen Gleichgewichtszustand befinden, zu spontaner Selbstorganisation fähig sind, indem sie die Abnahme an Entropie durch die Abgabe von Energie hoher Entropie an ihre Umwelt ausgleichen (Prigogine 1955). Prigogine nennt die räumlichen und zeitlichen Strukturen, die diese Systeme in der Lage sind auszubilden „dissipative Strukturen“.

Während ein geschlossenes System zu keinem anderen Verhalten fähig ist, als der Einnahme des Gleichgewichtszustandes, treten komplexe raum-zeitliche Strukturen nur in dissipativen Systemen fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht auf.

6.1.1 Dissipative vs. konservative Systeme

Thermodynamisch geschlossene Systeme erhöhen beständig ihre Entropie, was zwangsläufig zum Systemtod führt. Solche Systeme sind nicht in der Lage komplexe Ordnungsstrukturen hervorzubringen, da alle Prozesse auf ein allmähliches Zum-Erliegen-Kommen ausgerichtet sind. Solche Systeme werden von Prigogine als konservative Systeme bezeichnet.

Sämtliche Prozesse in konservativen Systemen sind reversibel

Insbesondere bei den durch Newton beschriebenen Bewegungsgesetzen und den in früheren Kapiteln dargestellten mechanischen Systemen (siehe Kapitel 4.1, S. 31f.) handelt es sich um solche konservativen Systeme. Eine Besonderheit dieser Systeme ist die Ungerichtetheit des Zeitpfeils. Sämtliche Prozesse in konservativen Systemen sind reversibel. Dies ist zum einen das erklärte Ziel der Theorien, die solche Prozesse beschreiben und folgt zum anderen aus der Art der zu ihrer Beschreibung herangezogenen physikalischen Größen.

Wenn Naturgesetze immer und überall gelten sollen, fallen singuläre Ereignisse durch das Sieb

Schon Poincaré forderte in *Science et méthode*, dass der Physiker, der zu allgemeinen Gesetzen gelangen wolle, sich wiederholbare Phänomene auswählen müsse (Poincaré 1908, zitiert nach Prigogine 1995, S. 21). Damit werden aber bewusst Phänomenbereiche ausgewählt, die mit zeitlosen Gesetzen beschrieben werden können. Naturgesetze haben immer und überall zu gelten. In diesem Sinne sind bestimmte Aspekte im Naturgeschehen, nämlich einmalige Ereignisse und einzigartige Phänomene von vornherein von der Beschreibung durch Naturgesetze ausgeschlossen.

„Ungerade Variablen“ ermöglichen durch Wechsel des Vorzeichens eine Zeitumkehr

Neben dieser Ausnahme von bestimmten, per Definition singulären und damit irreversiblen Ereignissen, implizieren auch die zur Beschreibung der Natur herangezogenen Messgrößen automatisch die Möglichkeit der Reversibilität der durch sie beschriebenen Phänomene. Impuls, Geschwindigkeit oder Beschleunigung sind typische Variablen zur Beschreibung klassisch mechanischer Gesetze. Da diese Variablen Zeitableitungen von Ortsvariablen sind, können sie bei Zeitumkehr ihr Vorzeichen wechseln. Eine Gleichung, die die Bewegung eines Körpers im

Verlauf der Zeit charakterisiert, ändert für eine Zeitumkehr einfach das Vorzeichen: Der Körper bewegt sich nun in entgegengesetzter Richtung. Von Prigogine werden solche Variablen, die bei Zeitumkehr ihr Vorzeichen wechseln können „*ungerade Variablen*“ genannt (vgl. Nicolis & Prigogine 1987, S. 80). Diese Ausschaltung des Zeitpfeils wurde von den bedeutendsten Physikern mit Begeisterung propagiert. Selbst Einstein schreibt, dass die Irreversibilität des Zeitpfeils, d.h. die Unterscheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nichts als eine Illusion sei, wenn auch eine sehr hartnäckige (vgl. Coveney & Highfield 1992, S. 27).

Selbstorganisation wird durch Energiefluss angeregt, ohne dass die Energie das Systemverhalten determiniert

Im Gegensatz zu konservativen Systemen befinden sich dissipative Systeme in einem beständigen Energieaustausch mit ihrer Umwelt. Damit halten sie sich fern vom thermodynamischen Gleichgewicht. Die Dynamik solcher Systeme ist gekennzeichnet von spontanen Selbstorganisationsprozessen, die im Detail keinesfalls von der sie hervorrufenden Energie determiniert werden. In diesem Sinne organisiert sich die Systemdynamik selbst, ohne dass die dazu nötige Energie vorgibt, wie sich das System verhalten soll.

Eine ideale Pendeluhr versorgt ein Pendel z.B. immer im geeigneten Augenblick mit neuem Schwung, ohne jedoch in die Pendelbewegung einzugreifen und die Selbstorganisation zu stören (vgl. auch Abbildung 43). In diesem Fall bewegt sich das Pendel gleichmäßig auf einer festen Bahn. Auch kleinere äußere Eingriffe, wie das Festhalten des Pendels führen nach dem Wieder-Loslassen zu keiner Veränderung im Verhalten. Selbstorganisiert bildet sich die Pendelbewegung auch nach Verstörungen durch die Umwelt immer wieder aus.

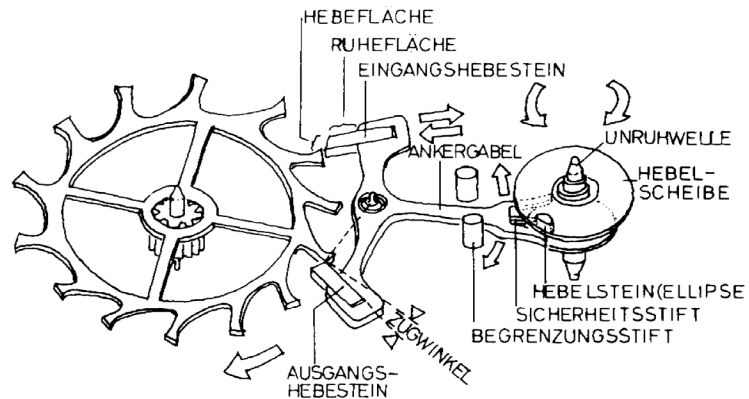


Abbildung 43: Schematische Darstellung einer modernen Anker-Hemmung

Die sog. Hemmung verfolgt in einer Uhr zwei Aufgaben. Zum einen soll sie das unter dem Zug einer Feder oder eines Gewichtszuges stehende Räderwerk der Uhr in regelmäßigen Zeitabständen anhalten und wieder freigeben. Zum andern soll sie die Schwingungen der Unruh oder des Pendels durch einen von der Zugfeder oder Gewichtsspannung veranlassten Antriebsimpuls in Gang halten, ohne die selbstorganisierte Bewegung des Pendels oder der Unruh zu stören. Die in der Abbildung gezeigte moderne Ankerhemmung lässt die Unruh frei schwingen, während die Hebesteine des Ankers mit den Ruheflächen das Ankerrad blockieren. Erst die Unruhe selbst stößt durch den Hebestein die Ankergabel an, die dadurch die Hebesteine aus dem Ankerrad herauszieht. Das freigegebene Ankerrad streicht nun an der schräg geschnittenen Hebefläche des Hebesteines entlang, sodass die Ankergabel einen Impuls erfährt, bis der zweite Hebestein das Ankerrad wieder blockiert. Nun kann die Unruh einmal frei hin- und her schwingen, bevor der Vorgang erneut beginnt (Abbildung aus: von Osterhausen 1993, S. 205).

Eine etwas eigenwillige aber durchaus zutreffende Erklärung für das „Wesen“ dissipativer Systeme legen Gibson und Sterling (1992) in ihrem Science-Fiction-Roman „Die Differenz Maschine“ Edward Mallory in den Mund. Während London um 1850 im Chaos einer Umweltkatastrophe, hervorgerufen durch unmäßige Luft und Wasserverschmutzung versinkt, bündelt Edward Mallory mit einer Dirne an:

‚Verdammt dunkel in der Stadt‘, sagte er.
 ‚Ja, nicht wahr?‘ sagte sie neben ihm. Sie roch nach Schweiß und Teerosen. ‚Warum ist es so, Ned?‘
 ‚Was?‘
 ‚Warum ist es so dunkel? Ist es dieser Dunst?‘
 ‚Gaslaternen‘, sagte er. ‚Die Regierung hat einen Plan, die Gaslaternen abzuschalten, weil sie Rauch erzeugen.‘
 ‚Klug von ihnen.‘
 ‚Jetzt laufen die Leute in den verdunkelten Straßen herum, schlagen Schaufenster ein und plündern die Auslagen.‘
 ‚Woher weißt du das?‘
 Er zuckte mit der Schulter.
 ‚Du bist kein Polyp?‘
 ‚Nein, Hetty.‘
 ‚Ich mag die Schmiere nicht. Die reden immer so, als ob sie etwas wüssten, was du nicht weißt. Und sie wollen dir nicht sagen, woher sie es wissen.‘
 ‚Ich könnte es dir sagen. Aber du würdest nicht verstehen.‘
 ‚Natürlich würde ich verstehen, Ned‘, sagte Hetty mit aufgeweckter Stimme.
 ‚Es macht mir Spaß, kluge Männer reden zu hören.‘
 ‚London ist ein komplexes System, das aus dem Gleichgewicht geraten ist. Es ist wie – ein Stockbetrunkenener in einem Raum mit Whiskyflaschen. Der Whisky ist versteckt, also tappt er ständig auf der Suche nach ihm herum. Wenn er eine Flasche findet, nimmt er einen langen Zug, stellt sie aber wieder weg und vergisst sie sofort. Dann tappt er weiter und sucht wieder, und so fort.‘
 ‚Schließlich geht ihm der Whisky aus, und er muss nachkaufen‘, sagt Hetty.
 ‚Nein. Er geht ihm nicht aus. Da ist ein Dämon, der die Flaschen ständig auffüllt. Darum ist es ein offenes dynamisches System. Er tappt ewig in dem Raum herum, ohne zu wissen, was sein nächster Schritt sein wird. Blind und ahnungslos tappt er im Kreis, in Schlangenlinien, wie sie ein Schlittschuhläufer macht, aber nie verlässt er die Grenzen.‘
 (Gibson & Sterling 1992, S. 296f.)

Die Stärke des Energieflusses durch ein System bestimmt die Komplexität des Verhaltens

Wie sich am Beispiel der Verhulst-Gleichung gezeigt hat (siehe S. 107ff.) und dort bereits ausführlich besprochen wurde, bestimmt die Größe des Energieflusses durch ein System, wie komplex die selbstorganisiert auftretende Prozessdynamik ausfällt. Ist der Energiedurchfluss, also der Grad der Auslenkung aus dem thermodynamischen Gleichgewicht gering, so wird auch sein Verhalten in der Regel nur wenig komplex sein. Erst wenn der Energiedurchfluss bestimmte kritische Grenzen überschreitet, kann das Systemverhalten schlagartig komplexer werden. Es bilden sich raum-zeitliche Strukturen und Muster heraus (vgl. Abbildung 41), die als *dissipative Strukturen* bezeichnet werden. Nicht selten besitzen Systeme mehrere solcher kritischen Grenzen, sodass das Verhalten bei jedem Überschreiten in eine andere Struktur kippen kann.

Sobald sich komplexe dissipative Strukturen herausbilden, gewinnt das System seine Zeitlichkeit, sodass der Zeitpfeil nicht mehr wie bei konservativen Systemen umgekehrt werden kann. Diese Zeitlichkeit dissipativer Systeme ergibt sich im Wesentlichen aus zwei Merkmalen:

**„Gerade Variablen“
ändern ihr Vorzeichen
bei Zeitumkehr nicht.**

1. Im Gegensatz zu den oben bereits beschriebenen konservativen Systemen können dissipative Systeme Variablen enthalten, die bei Zeitumkehr nicht das Vorzeichen wechseln. Ein Beispiel für eine solche – von Prigogine „gerade Variablen“ genannte – physikalische Größe wäre z.B. die Temperatur oder die Konzentration eines chemischen Stoffes in einer Flüssigkeit (vgl. Nicolis & Prigogine 1987, S. 80).

**Ein System entwickelt
an Bifurkationspunk-
ten seine eigene Ge-
schichte**

2. In Bifurkationspunkten (vgl. Abbildung 38, S. 111) werden dissipative Systeme, entgegen ihrer ansonsten relativ stabilen dissipativen Strukturen, extrem empfindlich für äußere Einflüsse und Verstörungen. Im Moment des Überschreitens einer solchen kritischen Grenze ist das System hilflos auch mikroskopisch kleinen Störeinflüssen aus seiner Umwelt ausgeliefert. Solche zufälligen Störeinflüsse entscheiden beim Überschreiten der Bifurkationsgrenze über die weitere Prozessdynamik, indem sie ein nichtvorhersagbares Kippen des Systems in einen von mehreren Zuständen anregen. Es sind solche zufälligen Fluktuationen, die dazu führen, dass sich ein System im Verlauf der Zeit eine eigene Geschichte erarbeitet, die nicht wieder umgekehrt werden kann.

6.1.2 Selbstorganisation in dissipativen Systemen

Die Beschreibung dissipativer Systeme als gleichgewichtsferne, beständig mit Energie versorgte Systeme begründet jedoch nicht nur die Zeitlichkeit ihrer Prozessdynamik sondern auch die Fähigkeit zur selbstorganisierten Musterbildung, also der Herausbildung dissipativer Strukturen. Auch hier stellt die Energie im Sinne eines „Schaffens von Bedingungen für die Möglichkeit von Selbstorganisation“ den entscheidenden Schlüsselfaktor dar.

**Selbstorganisation
meint mehr als nur
„selbst bestimmt“**

Der Begriff der Selbstorganisation kennzeichnet im Allgemeinen einen Prozess, der aus einem System selbst hervorgeht und zudem eine erkennbare Ordnung aufweist, also „organisiert“ ist. So ist z.B. die Bewegung eines einfachen Pendels vollständig durch den Aufbau des Pendels zumindest selbst-bestimmt. Wenn hingegen eine Hand in das Geschehen eingreift und dem Pendel eine andere Bewegung aufdrängt, so ist das Systemverhalten als fremd-bestimmt aufzufassen. Wird ein solches Pendel jedoch nicht mit Energie versorgt, bleibt es über kurz oder lang stehen. Daher gleicht keine Pendelbahn der anderen. Die Amplituden werden beständig kleiner. Die Bewegung des Pendels ist von daher nicht als geordnet zu bezeichnen, vielmehr beschreibt sie eine Bewegungsbahn, die unweigerlich in die Ruhelage führt. Erst das Aufsuchen der Ruhelage ist ein selbst-bestimmter und zudem ein selbstorganisierter, wenn auch trivialer Akt des Systems. Die Ruhelage ist also die einzige selbstorganisierte Verhaltensweise eines energetisch geschlossenen Pendels.

Dass dieses wenig spektakuläre selbstorganisierte Verhalten allgemein für alle konservativen Systeme gilt wurde oben (siehe S. 81ff.) bereits mit Hilfe des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik begründet. Konservative, d.h. energetisch geschlossene Systeme sind nur zu einem Ordnungszustand fähig, nämlich der Ruhelage, da sie beständig mehr Entropie (Unordnung) erzeugen. Nach dieser Definition von Organisation und Ordnungsbildung, ist die schwingende Pendelbewegung im Rahmen eines energetisch geschlossenen Systems zwar selbst-bestimmt aber nicht selbst-organisiert – ganz im Gegenteil führt sie zur Steigerung der Entropie.

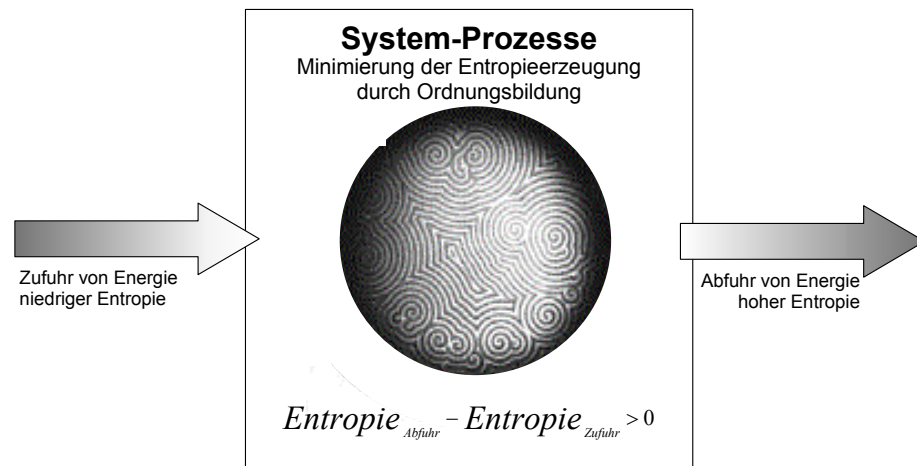


Abbildung 44: Entropie und dissipative Strukturen

Die Abbildung fasst die Zusammenhänge zwischen Energiezufuhr, Abfuhr und Ordnungsbildung (Selbstorganisation) in dissipativen Systemen zusammen.

Selbstorganisation beruht auf dem „Bestreben“ dissipativer Systeme die Entropieproduktion zu minimieren

Auch dissipative Systeme, die im Gegensatz zu konservativen Systemen die Möglichkeit zur komplexen Selbstorganisation besitzen, erzeugen beständig Entropie. Diese wird jedoch, da sich die Systeme als offene Strukturen im Austausch mit ihrer Umwelt befinden, nach außen abgegeben, während ihnen beständig Energie niedriger Entropie zugeführt wird. Die Netto-Entropie-Rate ist auch in solchen offenen Systemen positiv, d.h. dass sie den 2. Hauptsatz der Thermodynamik nicht verletzen. Dennoch versetzt sie die beständige Energiezufuhr in die Lage, systemimmanente Prozesse selbständig aufrecht zu erhalten bzw. erst entstehen zu lassen, wobei sie das „Bestreben“ zeigen, die Entropieerzeugung so gering wie möglich zu halten (vgl. Abbildung 44).

Die komplexen aber wohlgeordneten Verhaltensweisen der bisher beispielhaft skizzierten Systeme, angefangen beim Drei-Körper-Problem, über die geordneten Strukturen des Lorenz-Attraktors, den Strukturen im Feigenbaum-Szenario bis hin zur raum-zeitlichen Musterbildung der Belusov-Zhabotinsky-Reaktion, beruhen auf diesem Prinzip der Selbstorganisation. Sie entfalten das ihnen innewohnende Verhalten, da sie sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht befinden, die von ihnen produzierte Entropie in die Systemumwelt abgeben können (ohne daran „ersticken“ zu müssen) und durch die eigene Ordnungsbildung, die die Entropieproduktion auf ein Minimum beschränkt.

6.2 Synergetik

Während die Theorie Dissipativer Strukturen in ihrer Methodologie und in ihren theoretischen Ansätzen vornehmlich auf chemische Prozesse beschränkt bleibt, bietet die Synergetik einen theoretischen Rahmen und ein Methodeninventar an, welches sich generell zur Beschreibung von Selbstorganisationsprozessen in verschiedenen Disziplinen eignet. Es handelt sich bei der Synergetik also um den offeneren Ansatz, der bereits vielfach erfolgreich auf die Sozialwissenschaften und die Psychologie übertragen wurde.

Die *Synergetik*, die Lehre vom Zusammenwirken, wurde von ... Hermann Haken im Jahre 1969 im Laufe einer Vorlesung an der Fakultät für Physik an der Universität Stuttgart gegründet. Schon in den ersten Anfängen dieser Wissenschaftsdisziplin ist es gelungen, eine Vielzahl von renommierten Forschern für die Problemstellungen dieses Gebietes zu interessieren. Der Anspruch der Synergetik nämlich, interdisziplinär zu wirken, insbesondere auch Verbindungen zwischen Natur- und Geisteswissenschaften herzustellen, hat inzwischen nicht nur unter Wissenschaftlern, zu ihrer besonderen Attraktivität beigetragen ... Inzwischen ist eine ganze Serie von Büchern erschienen, die sich mit dem Thema Synergetik befassen [z.B. die Springer Series in Synergetics, mit inzwischen über 70 Bänden]. (Haken & Wunderlin 1991, S. V)

Die Synergetik bietet einen theoretischen Rahmen, der auch für die Psychologie genutzt werden kann

Die Synergetik hat sich in der Folge auch in Bereichen der Psychologie, insbesondere der Klinischen, der Wahrnehmungs-, Gruppen- und Organisationspsychologie bewährt. Die Synergetik gilt heute als die am weitesten entwickelte und umfassendste Theorie unter den Selbstorganisationstheorien (vgl. Manteufel 1995). Für die Psychologie sind vor allem die Arbeiten von Kriz sowie von Tschacher, Schiepek und Brunner als frühe Positionsbestimmungen der Psychologie im Feld der Synergetik zu nennen (Kriz 1989, Kriz 1990, Tschacher, Schiepek & Brunner 1992). 2002 fand in Seon am Chiemsee die nunmehr 10. Herbstakademie statt, eine Tagungsreihe, die sich seit ihrer Begründung durch Schiepek, Tschacher und Brunner im Jahre 1990 dem Thema: „Selbstorganisation in Psychologie und Psychiatrie“ unter der Schirmherrschaft Hermann Hakens widmet. Einen Überblick über die Möglichkeiten zur Nutzung der Synergetik in der Klinischen Psychologie gibt der Tagungsbericht über das Fredeburger Symposium „Verhaltensmedizin als angewandte Systemwissenschaft“ von Schiepek (Schiepek & Spörkel 1993), sowie eine Übersichtsarbeit von Manteufel (Manteufel 1995). Eine neuere, umfassendere Darstellung der Anwendungsmöglichkeiten der Synergetik im Rahmen psychologischer Fragestellungen findet sich bei Schiepek und Tschacher (Schiepek & Tschacher 1997) und bei Mainzer (Mainzer 1999, Kapitel V und VI).

6.2.1 Selbstorganisation am Beispiel des Lasers

Das grundlegende Paradigma der Synergetik ist die Beschreibung des Lasers als selbstorganisiertes dissipatives System. Dass gerade der Laser das grundlegende Beispiel der Synergetik wurde, hängt damit zusammen, dass Hermann Haken als erster durch seine Lasertheorie zeigen konnte, dass Laserlicht eine einzige Wellenlänge aufweist.

Die Gleichförmigkeit des Laserlichtes ist eine erstaunliche Tatsache, die nur durch *Selbstorganisationsphänomene* erklärbar ist. Ganz im Gegensatz zum beobachtbaren geordneten Laserlicht sollte theoretisch erwartet werden, dass durch eine erhöhte Energiezufuhr in einem Licht emittierenden System auch die Anzahl der emittierten Wellenlängen zunimmt und damit auch die Unordnung des Laserlichts.

Dies war auch tatsächlich die Ansicht vieler Physiker.

Wie ich als erster (und darüber freue ich mich heute noch) in meiner Lasertheorie zeigen konnte, passiert beim Laser aber etwas völlig anderes. Anstelle des wirren Knäuels [unterschiedlicher Wellen] tritt ein völlig gleichmäßiger, praktisch unendlich langer Wellenzug auf. Experimente, die in verschiedenen Laboratorien auf der ganzen Welt anschließend durchgeführt wurden, bestätigten voll und ganz diese Vorhersage. Es besteht also ein drastischer Unterschied zwischen dem Licht einer gewöhnlichen Lampe und dem Laserlicht. (Haken 1995/1981, S. 71f.)

Um zu verstehen, was dieser Unterschied eigentlich bedeutet und wie er zu Stande kommt, soll zunächst kurz darauf eingegangen werden, wie Licht in einer gewöhnlichen Glühlampe entsteht.

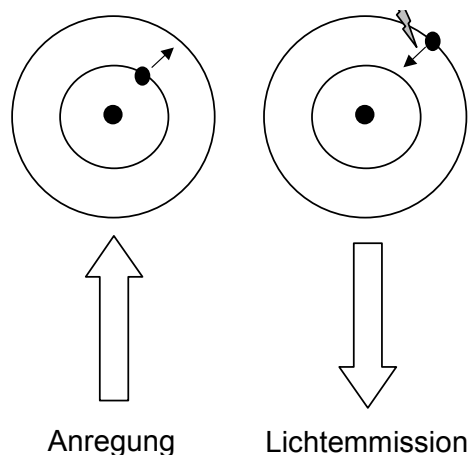


Abbildung 45: Schematische Darstellung der Lichtemission

Wird ein Elektron auf seiner Bahn um den Atomkern angeregt, so kann es auf eine höhere Bahn um den Atomkern springen. Spontan kann das Elektron wieder auf eine niedrigere Bahn zurück fallen und gibt dabei die zunächst aufgenommene Anregungsenergie in Form von Licht wieder ab. (Abbildung nach Haken 1992, S. 34).

Eine der erstaunlichen Erkenntnisse der Quantenphysik besagt, dass die Elektronen, die um einen Atomkern kreisen, sich nur auf bestimmten wohl definierten Bahnen um den Kern bewegen können. Zwischenwerte zwischen diesen Bahnen sind hingegen keine möglichen Aufenthaltsorte. Je weiter ein Elektron vom Kern entfernt ist, um so mehr Energie besitzt es. Nun kann durch äußere Einwirkungen, durch Wärme, durch Stöße von anderen Atomen und/oder durch Lichteinwirkung, einem Elektron Energie zugeführt werden. In der Folge nimmt das angeregte Elektron eine höhere Bahn um den Kern ein. Diese Bahn behält das Elektron eine Zeitlang bei, bevor es spontan in eine tiefere Bahn zurück fällt. Dabei gibt es die Energiedifferenz zwischen der angeregten und weniger angeregten Bahn in Form

von Licht nach außen hin ab (vgl. Abbildung 45). In einer gewöhnlichen Glühlampe werden durch den Stromfluss, d.h. durch die schnelle Bewegung vieler freier Elektronen, Atome angeregt, die in der Folge Licht emittieren. Dabei verhalten sich die einzelnen Lichtquellen unkoordiniert und wahllos. Insgesamt sendet eine Lampe ein Gemisch verschiedenster Wellenlängen aus, welches als weißes Licht erscheint (vgl. Haken 1992, S. 34f.).

Mikroskopisches Chaos ist das Gegenteil von deterministischem Chaos

In der Terminologie der Synergetik wird in einem solchen Fall von *mikroskopischem Chaos* gesprochen: jedes Elektron verhält sich hier unabhängig von den anderen. Kein Elektron wird durch ein anderes wesentlich beeinflusst, sodass jedes „tut was es will“. Heraus kommt ein Chaos auf der atomaren *Mikroebene*.

Ein Laser enthält Feedbackschleifen

In einem Laser wird nun durch zwei Spiegel das erzeugte Licht zurück in die Licht emittierende Substanz gespiegelt. Das emittierte Licht wird dabei zwischen zwei Spiegeln beständig hin und her und damit immer wieder zurück in die Lichtquelle reflektiert. Dadurch wird es möglich, dass das erzeugte Licht selbst auf den Prozess der Lichterzeugung Einfluss nimmt. Erst durch diese Rückkopplung entsteht ein System im eigentlichen Sinne (vgl. S. 21). Der strukturelle Aufbau eines Lasers sorgt also dafür, dass bestimmte Beziehungen zwischen den lichtemittierenden Atomen überhaupt erst etabliert werden. Ohne Spiegel wäre ein Laser kein Laser und läge keine relevante Interaktion zwischen den Atomen vor – also auch kein System (vgl. Abbildung 46).

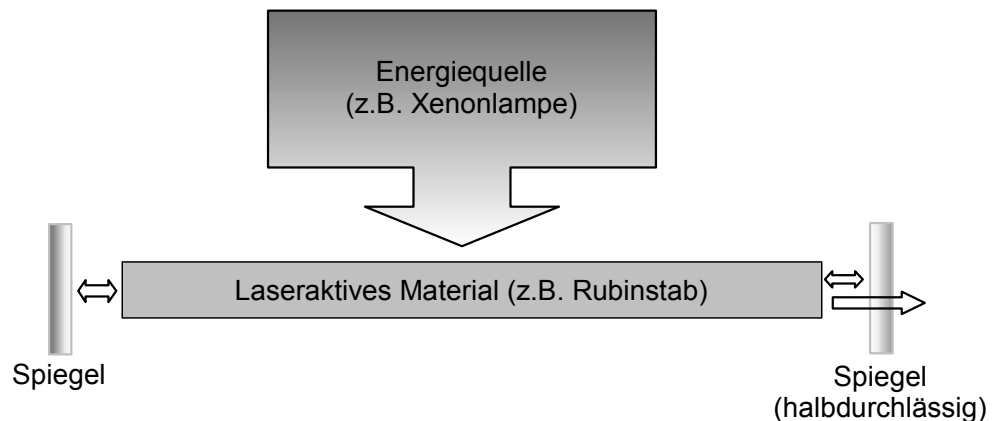


Abbildung 46: Schematische Darstellung eines Lasers

Ein Laser besteht aus einer Energiequelle und einem laseraktiven Material. Der Spiegel (links) und der halbdurchlässige Spiegel (rechts) reflektieren das Licht zurück in das laseraktive Material. Durch den halbdurchlässigen Spiegel tritt das Licht nach außen aus (Abbildung nach Eichler et al. 1979, S. 285).

Es lässt sich nun theoretisch vorhersagen und empirisch nachweisen, dass die zurückgespiegelte Lichtenergie bestimmter Wellenlängen im laseraktiven Material zu einer verstärkten Emission eben dieser Wellenlängen führt. Letztlich geht aus diesem Rückkopplungsprozess nur eine einzige Wellenlänge siegreich hervor. Aus dem mikroskopischen Chaos entsteht hier selbstorganisierte Ordnung. Haken (1995/1981) beschreibt diesen Prozess wie folgt:

Tatsächlich gibt es zu Anfang einer jeden Laserausstrahlung im Laser in diesem Sinne ganz verschiedene Wellen, die bereits von einigen ‚vorwitzigen‘ Leuchtelektronen ausgestrahlt wurden. Diese Wellen treten miteinander in Konkurrenz in ihrem Verlangen, von den übrigen angeregten Leuchtelektronen Verstärkung zu erhalten. Die Elektronen selbst verstärken verschiedene Lichtwellen aber nicht in ganz gleicher Weise, sondern geben ihre Energie mit einem meist nur kleinen Vorzug an eine bestimmte Welle ab. Es ist diejenige Welle, die in ihrem Rhythmus dem ‚inneren Tanztakt‘ der Leuchtelektronen am nächsten kommt. Obwohl also diese spezielle Welle oft nur ein ganz klein wenig bevorzugt wird, wird sie lawinenartig verstärkt und gewinnt schließlich gegenüber allen anderen. Diese werden unterdrückt, und alle Energie der Leuchtelektronen geht nur noch in die eine völlig gleichmäßig schwingende Welle. Umgekehrt, hat sich diese Welle erst einmal durchgesetzt, so zwingt sie ständig jedes neu angeregte Leuchtelektron eines Atoms in ihren Bann und bringt es zum Mitschwingen im Takt. Die neu entstandene Welle bestimmt somit die Ordnung im Laser, sie spielt die Rolle des Ordners, ein Begriff, den wir schon mehrfach erwähnt haben.

Da dieser Ordner die einzelnen Elektronen genau im Takt mitschwingen lässt und somit den einzelnen Elektronen deren Handeln aufprägt, sagen wir wieder, dass der Ordner die einzelnen Elektronen ‚versklavt‘. Umgekehrt bringen aber die Elektronen durch ihr gleichmäßiges Schwingen erst die Lichtwelle, das heißt den Ordner, hervor. Das Auftreten des Ordners einerseits und das kohärente Verhalten der Elektronen andererseits bedingen sich gegenseitig. Man spricht von zyklischer Kausalität. (Haken 1995/1981, S. 76)

Die beschriebene Ordnungsbildung im Laser ist aber nicht alleine vom Aufbau des Lasers abhängig. Eine wichtige Rolle kommt der Energie zu, mit der der Laser überhaupt zum Emittieren von Licht angeregt wird. Es bedarf einer mindest erforderlichen kritischen Menge an Energie, um die Laseraktivität anzuregen. Die Selbstverstärkung der Lichtwellen wird z.B. durch Unsauberkeiten im Spiegel und sonstige Verluste behindert. Überschreitet die Stromstärke mit der der Laser angeregt wird jedoch die kritische Grenze, ab der die Selbstverstärkung gegenüber den Energieverlusten die Überhand gewinnt, so tritt schlagartig geordnetes Laserlicht auf. Vor dieser Grenze emittiert der Laser ganz normales weißes Licht wie jede andere gewöhnliche Lampe auch.

Selbstorganisation setzt einen genügend hohen Energiedurchfluss voraus

Es findet also ein Übergang von einem ungeordneten mikroskopisch chaotischen Zustand zu einem hoch geordneten kohärenten Verhalten statt. Dieser Übergang tritt schlagartig auf, wenn die zugeführte Energie, der *Kontrollparameter*, eine kritische Grenze überschreitet. In der Terminologie der Theorie Dissipativer Systeme spricht man hier vom Einsetzen der Dissipation.

Selbstorganisation ist ein Phänomen der Makroebene

Die erstaunliche Herausbildung eines kohärenten Verhaltens einer Unzahl von Systemelementen, wie sie im Laser in Form von lichtemittierenden Atomen vorliegen, zeigt zudem sehr anschaulich auf, dass die in der Synergetik beschriebenen Selbstorganisationsphänomene erst auf einer makroskopischen Ebene erkennbar werden. Fehlt die Energiezufuhr, so können die einzelnen Atome der Mikroebene „tun was sie wollen“. Ihnen stehen sehr viele *Freiheitsgrade* zur Verfügung. Auf der Makroebene, auf der nicht nur ein einzelnes Atom beobachtet wird, sondern eine Vielzahl von Atomen, ergibt sich ein Gemisch aller vorhandenen Verhaltens-

weisen, die kein Muster erkennen lassen. Überschreitet die Energiezufuhr die kritische Grenze, so ist die schlagartige Ordnungsbildung nur auf der Makroebene zu beobachten: alle Atome verhalten sich gleich. Wird auf der Mikroebene nur ein Atom beobachtet, fällt das Phänomen der Ordnungsbildung gar nicht auf. Ordnungsbildung, wie sie in der Synergetik verstanden wird, bedeutet also die Herausbildung raum-zeitlicher Strukturen eines Viel-Teilchen-Systems, die auf einer Makroebene beobachtet werden können, die aber, bei Kenntnis der beinahe unendlich großen Anzahl von möglichen Freiheitsgraden der Mikroebene, völlig unwahrscheinlich erscheinen. Diese Ordnungsbildung auf der Makroebene, die auf der Mikroebene nicht beobachtet werden kann, zeigt sich z.B. auch in der bereits beschriebenen Belusov-Zhabotinsky-Reaktion (vgl. S. 118ff.).

Der folgende Abschnitt geht auf die hier am Beispiel des Lasers beschriebenen Mechanismen noch einmal vertiefend ein.

6.2.2 Grundlegende Konzepte der Synergetik

Die Synergetik beschreibt selbstorganisierte Ordnungsbildung in Systemen verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen als Ausbildung kohärenten Verhaltens der Systemkomponenten. Sie bezieht sich dabei auf spezielle Eigenschaften nichtlinearer dynamischer Systeme.

Unordnungs-Ordnungs-Übergänge

Der Fokus der Synergetik richtet sich auf die Beziehungen zwischen Elementen einer *Mikroebene*, die auf Grund ihrer großen Anzahl sonst nur statistisch in ihrem Verhalten beschrieben werden könnten (beispielsweise Moleküle in einer Flüssigkeit, Photonen in einem laseraktiven Material oder Einstellungen von Personen einer Gruppe), und einer *Makroebene*, auf der Muster bzw. Ordnungszustände als „kollektives Verhalten“ der Komponenten beobachtbar werden (*Unordnungs-Ordnungs-Übergänge*).

Das Prinzip der „Versklavung“

Selbstorganisation wird damit in der Synergetik als Wechselspiel von kohärenter Musterbildung durch Verhaltenssynchronisation von unten nach oben (also von der Mikroebene zur Makroebene) und Angleichung individueller Verhaltensweisen der Komponenten auf der Mikroebene an ein makroskopisches Muster von oben nach unten (sog. „Versklavung“) beschrieben (vgl. Abbildung 47). Beide Aspekte, Ordnungsbildung und Versklavung, bedingen sich dabei gegenseitig: Zum einen kommt es zu der Herausbildung synchronisierten Verhaltens der Elemente der Mikroebene die auf der Makroebene als Ordnungsparameter beobachtet werden können, und zum anderen wird das Verhalten auf der Mikroebene erst durch den Ordnungsparameter erzwungen (vgl. Haken & Wunderlin 1991, S. 37).

Ehe sich ein Ordnungsparameter, also ein dominantes makroskopisches Muster ausgebildet hat, kann ein ausgewogener Symmetriezustand zwischen mehreren in gleicher Weise möglichen Verhaltensweisen (sog. „Moden“) bestehen. Die Wechselwirkung zwischen den Systemkomponenten und den Kontrollparametern schafft dabei die Bedingung für die Möglichkeit der *Emergenz* bestimmter Ordnungszustände. Der Wettbewerb zwischen den Moden wird nur von einer Mode für sich entschieden, sodass der Symmetriezustand gebrochen wird. Die siegreiche Mode wird zum Ordnungsparameter, der in der Folge die anderen unterdrückt.

Welche der vielen möglichen Moden letztendlich aus dem Wettbewerb als Ordnungsparameter hervorgeht, kann nicht immer vorhergesagt werden, da mikroskopisch kleine Fluktuationen an dieser Entscheidung beteiligt sein können. Dieser Vorgang wurde oben bereits als Bifurkation beschrieben (vgl. Abbildung 38, S. 111).

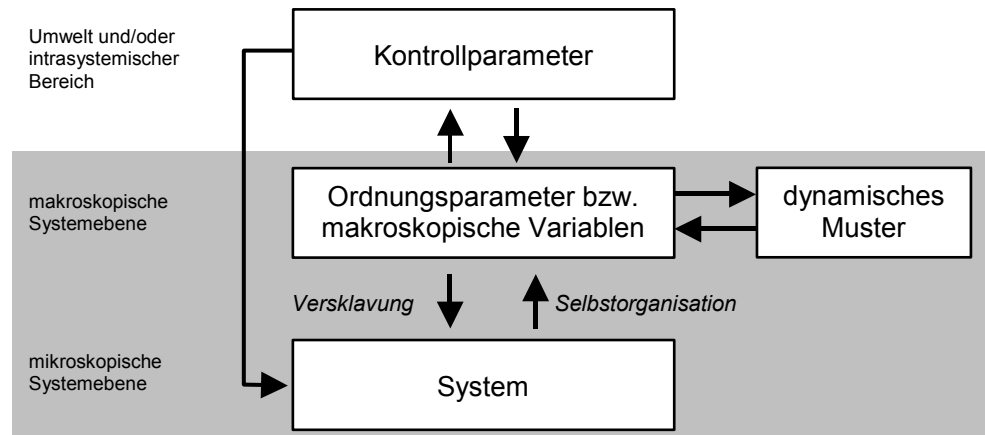


Abbildung 47: Grundmodell der Synergetik

In der Synergetik wird eine Mikro- und eine Makroebene von Systemen unterschieden. Die Elemente der Mikroebene bilden das System in seiner Struktur und seinem Aufbau ab. In der Regel besitzen komplexe Systeme auf der Mikroebene eine große Anzahl möglicher Freiheitsgrade. Selbstorganisation als beobachtbarer Prozess bedeutet die Reduktion dieser auf der Mikroebene möglichen Freiheitsgrade. Auf der Makroebene sind dann Ordnungsparameter, d.h. dynamische Muster beobachtbar. Notwendige Bedingung für die Herausbildung makroskopischer Ordnungsmuster ist die Versorgung des Systems mit Energie. Die Energieversorgung wird durch Kontrollparameter gesteuert (Abbildung nach Schiepek & Strunk 1994, S. 27).

Veränderungen der Kontrollparameter können zu Ordnungs-Übergängen führen

Entstandene Muster können sich durchaus wieder destabilisieren, in einen erneuten Wettbewerb treten und in anderer Form restabilisieren (*Ordnungs-Übergänge*). Derartige Destabilisierungen kommen durch Veränderungen der Kontrollparameter, d.h. durch eine Veränderung der Energiezufuhr, oder – mit anderen Worten – durch Veränderung der Auslenkung des Systems aus dem thermodynamischen Gleichgewicht zu Stande.

6.2.3 Ordnungsparameter bzw. Attraktoren

Ordnungsparameter und Attraktor sind synonyme Begriffe

Wie sich schon bei der Darstellung der Theorie Dissipativer Systeme gezeigt hat, neigt jedes System, sobald die Dissipation einsetzt, also die Energiezufuhr hoch genug ist, zur Verringerung seiner Entropie durch Selbstorganisation, was dazu führt, dass sich komplexe Systeme nicht beliebig verhalten. Jedes System bildet bei einer gegebenen Kontrollparametereinstellung eine ihm *eigene* Prozessgestalt im Sinne eines Ordnungsparameters aus, die auch gegen kleine Verstörungen aus der Umwelt immun bleibt. Der Begriff des Ordnungsparameters beschreibt also im Wesentlichen das, was oben als Attraktor bezeichnet wurde.

Welche Ordnungsparameter bzw. Attraktoren ein System in der Lage ist einzunehmen, hängt vom spezifischen Aufbau des Systems ab und zeigt sich erst für eine konkrete Kontrollparametereinstellung. Formal ist ein Ordnungsparameter und damit auch ein Attraktor als ein mathematisches System von Bewegungsgleichungen (vgl. z.B. die Gleichung 2.1/2.2 auf S. 105 für das Lotka-Volterra-System) definiert, die bei Systemen mit bis zu drei Freiheitsgraden in Phasenraumdarstellungen visualisiert werden können. Wie die Synergetik am Beispiel des Lasers zeigt, bedeutet Selbstorganisation eine Art „Vereinfachung“ des mathematischen Systems von Bewegungsgleichungen. Müsste für die Vorgänge im Laser bei Fehlen von genügend hoher Energiezufuhr ein Gleichungssystem, bestehend aus Gleichungen für jedes Atom des Laseraktiven Materials erstellt werden (also beinahe unendlich viele), so reduziert sich das Verhalten durch die Ausbildung des relativ einfachen Ordnungsparameters auf nur eine Bewegungsgleichung, die für alle Atome gleichermaßen gilt.

Ordnungsparameter lassen sich qualitativ klassifizieren

Qualitativ lassen sich die möglichen Ordnungsparameter nichtlinearer dynamischer Systeme nach der Anzahl ihrer Freiheitsgrade und dem Fehlen bzw. Vorhandensein einer Periodizität in vier Klassen einteilen, die zum Teil noch weiter untergliedert werden können (vgl. z.B. Schuster 1989a).

Fixpunkt

Die folgende Tabelle 3 gibt die möglichen Ordnungsparameter nichtlinearer dynamischer Systeme im Überblick wieder. Systeme, die einen Ordnungsparameter mit nur einem Freiheitsgrad ausbilden, sind nur zu einem relativ trivialen Verhaltensmuster, nämlich der homöostatischen Aufrechterhaltung eines Fixpunktes in der Lage. Sie entsprechen damit der Funktionsweise eines Regelkreises.

Grenzyklus

Auch für die Ausbildung eines Ordnungsparameters von zwei Freiheitsgraden steht nur eine Verhaltensmöglichkeit zur Verfügung, nämlich die Ausbildung eines stabilen periodischen Zyklus, der wegen seiner Stabilität gegen äußere Verstärkungen als Grenzyklus bezeichnet wird. Die Form des Grenzyklus im Phasenraum kann dabei ganz unterschiedliche Gestalt annehmen. Allen gemeinsam ist jedoch, dass es sich um geschlossene Kurven handelt, deren Trajektorien sich nicht überschneiden (vgl. die Phasenraumdarstellungen zum Lotka-Volterra-Modell, Abbildung 36, S. 105).

Torus

Erst wenn ein System Ordnungsparameter mit drei Freiheitsgraden generiert, sind sowohl periodische als auch nicht periodische Verhaltensweisen möglich. Bei den beiden in der Tabelle angeführten periodischen Ordnungsparametern handelt es sich im Wesentlichen um einen dreidimensionalen Grenzyklus. Diese als Torus bezeichnete Gestalt im Phasenraum kann in einer periodischen und einer quasiperiodischen Ausformung auftreten. Während beim periodischen Torus Start- und Endpunkt der Trajektorien zusammenfallen, sodass ab diesem Zeitpunkt die Periode abgeschlossen ist und erneut beginnen kann, treffen sich die Trajektorien im quasi-periodischen Torus nie. Dennoch kann auch diese Form des Attraktors als annähernd periodisch behandelt werden. Vorhersagen über das Systemverhalten sind relativ gut, auch bei Verstärkungen durch die Umwelt möglich.


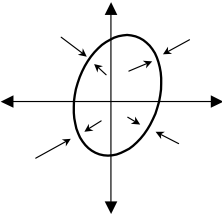
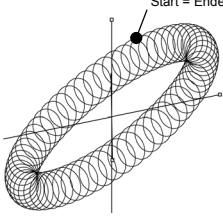
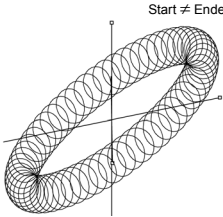
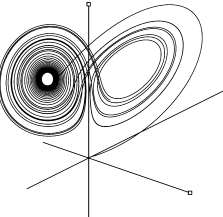
		1 Freiheitsgrad Topologische Dimension = 0	2 Freiheitsgrade Topologische Dimension = 1	3 Freiheitsgrade Topologische Dimension = 2	> 3 Freiheitsgrade Topologische Dimension > 2		
		eine eindimensionale Darstellung im Phasenraum genügt	eine 2-dimensionale Darstellung im Phasenraum genügt	eine 3-dimensionale Darstellung im Phasenraum genügt	eine 3-dimensionale Darstellung wäre zu gering		
		eine eindimensionale Darstellung wäre zu gering	eine 2-dimensionale Darstellung wäre zu gering	eine 3-dimensionale Darstellung wäre zu gering			
		Fixpunkt					
							
Periodisch					Grenzyklus	Periodischer Torus	n-dimensionaler Torus
							<i>Nicht darstellbar</i>
Quasi-periodisch					Quasiperiodischer Torus	Quasiperiodischer n-dimensionaler Torus	<i>Nicht darstellbar</i>
						<i>Nicht darstellbar</i>	
Nicht-periodisch					Niedrigdimensionales Chaos	Hochdimensionales Chaos	<i>Nicht darstellbar</i>
						<i>Nicht darstellbar</i>	

Tabelle 3: Vier Klassen qualitativ unterschiedlicher Ordnungsparameter

Die Tabelle gibt einen Überblick über vier qualitativ unterschiedliche Ordnungsparameter nichtlinearer dynamischer Systeme (Fixpunkt, Grenzyklus, Torus und Chaos; vgl. Schuster 1989a, Anishchenko et al. 2002, Kapitel 1.1.5). Zum Begriff der topologischen Dimension siehe S. 145ff.

Deterministisches Chaos

Als nichtperiodischer Ordnungsparameter tritt ab mindestens drei Freiheitsgraden erstmals deterministisches – in der Terminologie der Synergetik *makroskopisches* – Chaos auf, welches sich durch die bereits besprochene sensitive Abhängigkeit von mikroskopisch kleinen Verstörungen auszeichnet, sodass das Systemverhalten nur über einen sehr begrenzten Zeitraum hinweg prognostiziert werden kann. Ausführlich wurde chaotisches Verhalten oben bereits für die Verhulst-Gleichung

(vgl. Gleichung 3, S. 107) beschrieben, bei der jedoch entgegen der hier angeführten Regel ein zweidimensionaler Phasenraum zur Darstellung ausreichte. Dieses eher ungewöhnliche Verhalten zeigt sich nur bei diskreten, iterativen Gleichungen (vgl. in diesem Zusammenhang auch Sprott & Linz 2000, die einen Überblick über einfache chaotische Gleichungssysteme zusammenstellen). Für stetige Funktionen tritt Chaos tatsächlich erst ab drei Freiheitsgraden auf. Einen Beweis dafür liefert das Poincaré-Bendixon-Theorem (vgl. Schuster 1989a, S. 105).

Obwohl graphisch nicht mehr darstellbar, kommen periodische und nicht-periodische Ordnungsparameter auch in höherdimensionalen, mit mehr als drei Freiheitsgraden ausgestatteten Bewegungsgleichungen vor. Die Grenze, ab der niedrigdimensionales Chaos von hochdimensionalem Chaos unterschieden wird, ist jedoch relativ willkürlich und hängt eher von der Leistungsfähigkeit der zur Analyse herangezogenen mathematischen Methoden als von einem objektiven Kriterium ab (vgl. S. 366ff.). Für die Visualisierung höherdimensionaler Systeme kann auf die bereits von Poincaré vorgeschlagenen Schnitte der Phasenräume mit einer Ebene zurückgegriffen werden (vgl. Abbildung 30, S. 93).

6.2.4 Kartierung des Systemverhaltens

Ein System kann über viele Ordnungsparameter verfügen

Da ein und dasselbe nichtlineare dynamische System über einen ganzen „Zoo“ von unterschiedlichen Ordnungsparametern verfügen kann, von denen sich ein jeder jedoch erst für bestimmte Einstellungen der Kontrollparameter zeigt, ist es ein wichtiges Ziel der Synergetik eine Art „Kartierung“ des Systemverhaltens für alle jeweils möglichen Kontrollparametereinstellungen anzubieten. Das mathematisch höchst anspruchsvolle Vorgehen kann hier nur in seinen Grundzügen vereinfachend beschrieben werden. Für eine ausführliche und mathematisch vollständige Darstellung sei auf die Originalliteratur verwiesen (z.B. Haken 1985, 1990a, Haken & Wunderlin 1991; für wichtige Grundlagen siehe auch Arnol'd 1992, Anishchenko et al. 2002).

Das Vorgehen der Synergetik bei der Analyse eines nichtlinearen dynamischen Systems kann in drei Schritte untergliedert werden:

1. Formulierung eines Differentialgleichungssystems.
2. Auffinden eines möglichst einfachen Ordnungsparameters.
3. Stabilitätsanalyse im Umkreis um den Ordnungsparameter.

Formulierung eines Differentialgleichungssystems. Zu Beginn der Analyse eines nichtlinearen dynamischen Systems im Sinne der Synergetik werden zunächst theoretische Annahmen über die Zusammenhänge der Systemkomponenten in mathematischen Gleichungen formalisiert. Die mathematischen Relationen zwischen den Systemkomponenten bilden sich, da es sich um eine dynamische Beschreibung von Systemen handeln soll, aus einem Satz von Differentialgleichungen, deren Ableitung nach der Zeit erfolgte (vgl. z.B. Gleichung 2.1/2, S. 105). Die so gewonnenen Gleichungen beschreiben einen Vektor zu einem Punkt im Phasenraum, der durch die Systemkomponenten aufgespannt wird. Die Stärke der

Relationen zwischen den Systemkomponenten wird durch Kontrollparameter bestimmt, die den Energiedurchfluss des Systems und damit seine Auslenkung aus dem thermodynamischen Gleichgewicht steuern. Man beachte: Handelt es sich bei dem zu untersuchenden System um ein Gas, so kommt man bei nur einem Mol dieses Gases zu ca. 6×10^{23} Molekülen und damit zu 36×10^{23} Systemkomponenten (für jedes Molekül sind in drei Raumrichtungen jeweils Impuls und Masse als unabhängige Größen zu beachten; vgl. Arnol'd 1992, S. 13). Die Möglichkeiten des Systemverhaltens sind damit nahezu unvorstellbar vielfältig.

Auffinden eines möglichst einfachen Ordnungsparameters. Im zweiten Schritt geht es darum, einen möglichst einfachen Ordnungsparameter (z.B. einen Fixpunkt) zu identifizieren. Dazu ist es jedoch nötig, dass Kontrollparametereinstellungen gewählt werden, bei denen Dissipation bereits eingesetzt hat, sodass sich überhaupt erst Ordnungsparameter ausbilden können. Wie sich am Beispiel des Lasers gezeigt hat, verhalten sich die Systemkomponenten völlig wahllos (mikroskopisches Chaos), solange die Kontrollparameter noch nicht genügend Energie für dissipatives Verhalten zur Verfügung stellen. Für einen einfachen Überblick über das Systemverhalten kann es genügen mit verschiedenen Parametereinstellungen und Näherungslösungen aus dem Computer zu experimentieren. Eine Möglichkeit dafür ist z.B. dadurch gegeben, dass die Differentialgleichungen durch eine „Entschärfung“ der Grenzwertbetrachtung des Differentialquotienten in Differenzgleichungen umgewandelt werden. Da nämlich die Ableitung einer Funktion $f(x_t)$ nach t nichts anderes ist, als die Grenzwertbildung des Differenzenquotienten bei Δt gegen Null,

Gleichung 10:
Differentialquotient

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

kann, wenn Δt nicht ganz gegen Null geht, die Gleichung nach $x(t + \Delta t)$ umgestellt werden, sodass aus der zu integrierenden Funktion und einem beliebigen Zeitpunkt jeder Zustand der Variable zum nächsten Zeitpunkt, der genau um Δt weiter liegt, berechnet werden kann (vgl. ausführlicher S. 289ff.). Wird dieses Verfahren auf alle Systemkomponenten iterativ angewendet, so lässt sich die Bewegung des Systems an einem Computer als Phasenraumdiagramm oder als (x, t) -Diagramm nachvollziehen. Bei dem so ermittelten Systemverhalten handelt es sich um eine relativ gute Näherung, die jedoch rein numerisch, d.h. rechnerisch, Iterationsschritt für Iterationsschritt erfolgt. Eine analytische und damit vollständige Lösung durch Integration der Gleichungen, ist für viele komplexe Systeme aus mathematischen Gründen nicht möglich (vgl. in diesem Zusammenhang die Beschreibung des Drei-Körper-Problems, S. 89ff. und S. 183ff.). Die über Differenzenquotienten erreichte Simulation des Systemverhaltens repräsentiert zunächst nur das Verhalten des Systems bei *einer* gegebenen Kontrollparametereinstellung. Das Ziel der Synergetik ist es jedoch eine vollständige Beschreibung des Systemverhaltens unter allen möglichen Kontrollparameterkonstellationen zu ermöglichen. Dazu wird im nächsten Schritt das Einzugsgebiet, des z.B. durch numerische Näherung ermittelten Ordnungsparameters bestimmt. Handelt es sich bei diesem Ausgangs-Ordnungsparameter (von dem ausgehend die komplette Systemanalyse vorgenommen wird) um einen Fixpunktattraktor, so lässt sich das Einzugsgebiet, das sog. *Bassin* um den Attraktor relativ einfach bestimmen.

Stabilitätsanalyse im Umkreis um den Ordnungsparameter. Um die Stabilität des identifizierten Attraktors zu überprüfen, wird das System mit einer standardisierten Größe vom Fixpunkt ausgelenkt. Dabei kann eine Auslenkung in Richtung aller vorhandenen Phasenraumdimensionen in Betracht gezogen werden. Wird der Ursprung eines orthogonalen Koordinatensystems in den Fixpunkt verlegt und das System so gewählt, dass jede Koordinatenachse einer Phasenraumdimension entspricht, so kann das Zurücklaufen auf den Fixpunkt nach einer Auslenkung jeweils einzeln für jede Komponente des Systems beobachtet werden. Bei sehr kleinen Auslenkungen aus dem Fixpunkt kann jede Gleichung des Gleichungssystems mittels des ersten Terms einer Polynomentwicklung als lineare Gleichung approximativ beschrieben werden. Die Lösung einfacher linearer Differentialgleichungen hat aber aus jeder orthogonalen Raumdimension und damit für jede Variable eine eindeutige Lösung die gegeben ist mit (vgl. Arnol'd 1992, S. 48f.):

Gleichung 11:
Lösung einer homogenen linearen Gleichung mit einer abhängigen Variable

$$|\vec{q}|_{(t)} = |\vec{q}|_{(0)} e^{\lambda_i t}.$$

$|\vec{q}|_{(t)}$ Betrag des Vektors \vec{q} zum Zeitpunkt t

$|\vec{q}|_{(0)}$ Betrag des Vektors \vec{q} zum Zeitpunkt $t = 0$

λ_i Konstante für jede Raumdimension, die sich aus den Konstanten der linearen Gleichung ergibt

Wird das System um den Betrag des Vektors \vec{q} in Richtung einer Phasenraumdimension ausgelenkt, so wird es sich beschleunigt zurückbewegen, wenn λ_i kleiner Null ist. Andernfalls bewegt sich das System vom Fixpunkt weg. Es ist nun aber so, dass sich die approximative linearisierte Lösung des Gleichungssystems mit der Veränderung des Kontrollparameters ändert.

Bifurkationspunkte
zeigen sich im Vorzeichenwechsel der λ_i

Durch die Wahl eines geeigneten orthogonalen Koordinatensystems erhält man also *sämtliche möglichen Verhaltensweisen* des Systems als Einzelbewegung in den definierten Raumdimensionen. Diese Verhaltensmöglichkeiten wurden oben bereits als *Moden* beschrieben. Um eine Kartierung des Systemverhaltens vornehmen zu können, interessieren die Grenzen zwischen benachbarten Attraktoren. Diese Grenzen heißen *Instabilitäten*. Wird nun der Kontrollparameter so verändert, dass es zu einem Vorzeichenwechsel der λ_i kommt, so befindet sich das System im Bifurkationspunkt ($\lambda_i = 0$), d.h. in einem instabilen Zustand, und zwar genau in Richtung der Raumdimension, die durch das i bei λ_i gekennzeichnet ist. Auf diese Weise kann eine Klassifikation von *stabilen* und *instabilen* Moden vorgenommen werden. Stabile Moden können daran erkannt werden, dass es bei ihnen zu keinem Wechsel des Vorzeichens, bei Veränderung der Kontrollparameter kommt, während sich die instabilen Moden durch Umkehrung des Vorzeichens von λ_i identifizieren lassen.

Das beschriebene Verfahren ermöglicht nun eine Analyse sämtlicher Systemverhaltensweisen, indem jeweils von den bereits ermittelten Attraktoren ausgehend eine Stabilitätsbetrachtung für kleine Auslenkungen vorgenommen wird. Dazu ist es jedoch nötig, dass die beschriebenen Stabilitätsanalysen nicht daran gebunden sind, dass als Ausgangspunkt der jeweiligen Analyse ein Fixpunkt-Attraktor vorliegt. Das Verfahren lässt sich daher auch auf andere Attraktortypen, z.B. auf alle Bahnpunkte eines Grenzzyklus erweitern. Haken und Wunderlin (1991) leiten weiterhin die Möglichkeit einer nichtlinearisierten und damit vollständigen Lösung her.

**Die langsamen Moden
versklaven die
schnellen**

Durch die Anwendung der nichtlinearisierten Lösung ist ebenfalls eine Einteilung in stabile und instabile Moden möglich. Für jede Mode lässt sich nämlich die Zeit angeben, die sie braucht um nach einer Einheitsauslenkung zum System zurückzukehren. Das heißt, dass ihre Rückkehrgeschwindigkeit bestimmbar ist. Die instabilen Moden kehren sehr langsam zurück, die stabilen schnell. Diese Einteilung in langsame und schnelle Moden ergibt sich allein aus den Systemzusammenhängen und ist damit selbstorganisiert. Nun lässt sich aber mathematisch zeigen, dass langsame Moden die schnellen *versklaven*, was direkt zur Definition des Systemverhaltens jenseits der Instabilitätsgrenze führt. Da nämlich die Moden als Bewegungsvektoren definiert sind, reicht die Identifikation der langsamen Moden aus, um aus ihnen direkt die Bewegungsgleichungen aller Systemkomponenten ablesen zu können.

**Synergetik, auch
ohne Gleichungen**

Haken und Wunderlin (1991) leiten aus diesen Zusammenhängen Heuristiken ab, die bei der Beschreibung von Systemen helfen sollen, für die keine Differentialgleichungen aufgestellt werden können. Im Wesentlichen umschreiben sie damit ein experimentelles Paradigma, welches gezielte Veränderungen von angenommenen Kontrollparametern nach systematischen Gesichtspunkten als unabhängige Variable vorsieht. Es zeigt sich nämlich, dass häufig recht breite Einzugsbereiche (sog. *Bassins*) in der Phasenraumumgebung eines Attraktors zu finden sind. Diese Bassins bilden Gebiete, in denen Kontrollparameteränderungen keine qualitativen Veränderungen des Systemverhaltens produzieren, sodass auf der Grundlage dieses Kerngedankens folgende Annahmen formuliert werden können:

- Da der mögliche Skalierungsbereich eines Kontrollparameters zu einem hohen Prozentsatz von Bassins gebildet wird, bestehen ein großer Spielraum und eine breite Fehlertoleranz bei der empirischen Manipulation des entsprechenden Kontrollparameters, in welcher ein gesuchter Attraktor tatsächlich kaum verfehlt werden kann.
- Gebiete kritischer Instabilitäten sind verschwindend klein im Vergleich zu den breiteren Bassins. Es ist daher wahrscheinlicher ein System in einem Bassin anzutreffen als in einem kritisch instabilen Zustand, der Aussagen über das zukünftige Systemverhalten unmöglich macht.
- Besitzt ein System mehr als einen Kontrollparameter, so können auch Grenzen höherer Ordnung zwischen den Attraktoren vorkommen. Zwei Kontrollparameter spannen eine Fläche von möglichen Parametereinstellungen auf. Auf dieser Fläche lassen sich Instabilitätspunkte als eine Trennungslinie zwischen zwei Attraktoren vermuten, die damit auch bei der Variation nur eines Parameters gefunden werden müsste (wenn man von dem ziemlich unwahrscheinlichen Fall absieht, dass man den Kontrollparameter parallel zur Trennlinie verändert, sie somit nicht überschreitet). Diese Grenzen heißen *Grenzen 1. Ordnung*.
- Des weiteren können aber auch zweidimensionale Grenzen – anschaulich als Berge in einer Potenziellandschaft – vermutet werden. Dies wären Instabilitätsgrenzen *2. Ordnung*, deren Spitzen jedoch nur schwer durch Experimente an einem empirischen System gefunden werden können. Allein eine Suchbewegung durch Variation zweier Kontrollparameter vermag sie aufzudecken. Die Variation nur eines Kontrollparameters kann hier hingegen kaum von Erfolg gekrönt sein. Dreidimensionale Kontrollparameter Räume können als Grenzen Flächen und Kreuzungen von Flächen enthalten u.s.w.

6.3 Fraktale Strukturen und das Konzept der Dimensionalität

Während die Synergetik Top-down, ausgehend von mathematisch formalisierten Systemzusammenhängen, eine mathematische Analyse möglicher Systemzusammenhänge zum Ziel hat, nähern sich andere Ansätze Bottom-up, über die Verhaltensweisen, die bestimmte Klassen von Systemen von andern unterscheiden.

Das Konzept der „*fraktalen Dimensionalität*“ stellt in diesem Zusammenhang ein wichtiges Unterscheidungskriterium dar. Insbesondere kann die Struktur eines chaotischen Attraktors in der Phasenraumdarstellung als Fraktal bezeichnet werden. Daher liegt es umgekehrt nahe zu überprüfen, ob ein Attraktor eine fraktale Struktur besitzt, wenn nachgewiesen werden soll, dass es sich bei der fraglichen Dynamik um Chaos handelt. Dieses Vorgehen ist sogar dann möglich, wenn nur der Attraktor (z.B. als Rekonstruktion aus gemessenen Zeitreihen-Daten), nicht jedoch das Gleichungssystem bekannt ist (vgl. dazu ausführlicher S. 154ff. und S. 366ff.).

6.3.1 Begriffbestimmung

Beim Begriff des *Fraktals* handelt es sich um eine von Benoît B. Mandelbrot eingeführte Bezeichnung für geometrische Figuren, die sich im Gegensatz zu klassischen euklidischen Figuren (Kreise, Quadrate, Dreiecke, Kuben, Okta-, Iko-saeder etc.) durch eine mit herkömmlichen mathematischen Methoden nicht beschreibbare Unregelmäßigkeit auszeichnen. Folgt man Mandelbrots Argumentation, so handelt es sich bei dem von ihm eingeführten Konzept nicht um das kunstvolle Glasperlenspiel eines Elfenbeinturm-Mathematikers. Vielmehr bilden fraktale Strukturen in der belebten wie unbelebten Natur eher die Regel als die Ausnahme.

Das Wort Fraktal wurde von Mandelbrot erfunden, um eine umfangreiche Klasse von Objekten unter einem Begriff zu vereinen, die in der Entwicklung der reinen Mathematik eine historische Rolle gespielt haben...

Eine große Revolution der Ideen trennt die klassische Mathematik des 19. Jahrhunderts von der modernen Mathematik des 20. Jahrhunderts. Die Wurzeln der klassischen Mathematik liegen in den regulären geometrischen Strukturen von Euklid und den stetigen Dynamiken von Newton.

...Historisch wurde die Revolution von der Entdeckung mathematischer Strukturen erzwungen, die nicht in die Muster von Euklid und Newton passen. Diese neuen Strukturen betrachtete man ... als ‚pathologisch‘, ... als eine Galerie von Monstern – dem Kubismus und der atonalen Musik verwandt...

Die Mathematiker benutzten die von ihnen geschaffenen Monster zum Nachweis, dass der Variantenreichtum der reinen Mathematik weit über die einfachen, in der Natur sichtbaren Strukturen hinausgeht...

Doch... die Natur hat – wie Mandelbrot herausarbeitet – mit den Mathematikern ihren Spaß getrieben. Vielleicht fehlte es den Mathematikern des 19. Jahrhunderts an Vorstellungskraft, der Natur jedenfalls nicht. Von den gleichen pathologischen Strukturen, die die Mathematiker erfanden, um sich vom Naturalismus des 19. Jahrhunderts zu lösen, erweist sich nun, dass sie vertrauten, uns umgebenden Objekten innewohnen. (Dyson 1978, zitiert nach Mandelbrot 1987, S. 15f.)

Viele der nicht durch Menschen geschaffenen Strukturen z.B. der Botanik (Strukturen von Baumkronen, Blattformen etc.), der Tierwelt (vor allem komplexe Färbungsmuster z.B. auf Schmetterlingsflügeln, die Streifen von Zebras oder die Flecken von Leoparden) oder der Geographie (Gebirgsformen, Küstenformen, etc.) lassen sich mittels euklidischer Mathematik nicht ausreichend beschreiben.



Abbildung 48: Mathematisch generierter fraktaler Farn (Barnsley-Farn)

Viele in der belebten und unbelebten Natur vorkommende Strukturen zeichnen sich durch einen hohen Komplexitätsgrad aus, dem klassische Methoden der euklidischen Geometrie nicht immer gerecht werden können. Mit den Möglichkeiten moderner computergestützter Grafiksysteme und den Methoden der fraktalen Geometrie wird es jedoch möglich solche komplexen Strukturen mathematisch zu behandeln und künstlich zu generieren (Abbildung aus: Peitgen, Jürgens & Saupe 1992, S. 305).

Die Länge einer Küstenlinie ist nicht bestimmbar

So scheitert z.B. die einfache Angabe der Länge einer Küstenlinie an der unendlich feinen Buchtenstruktur, die eben nicht als gerade oder gekrümmte Linie erscheint. Vielmehr zeigen sich bei immer näherer Betrachtung einer Küste immer neue Buchten und Einschnitte, die aber dennoch nicht wahllos, sondern nach einem festen Muster, einer zu Grunde liegenden Struktur gebildet erscheinen. So ist die deutsche Nordseeküste anders strukturiert als die fjordzerschnittene Struktur der Küste Norwegens. Mandelbrot nennt solche komplexen geometrischen Strukturen Fraktale.

Aus dem lateinischen Adjektiv ‚fractus‘ habe ich ‚Fraktal‘ (im Original ‚fractal‘) geprägt. Das entsprechende lateinische Verb ‚frangere‘ bedeutet ‚zerbrechen‘, ‚unregelmäßige Bruchstücke erzeugen‘. Es ist deshalb vernünftig – und für uns sehr geeignet! –, dass fractus neben ‚in Stücke zerbrochen‘ (wie in Fraktion oder Refraktion) auch noch ‚irregulär‘ meint. (Mandelbrot 1987, S. 16)

Fraktale bemessen sich nach ihrer Komplexität, nicht jedoch nach Länge, Fläche oder Rauminhalt

Während euklidische Figuren klar nach ihrer Länge, Breite, Fläche oder ihrem Rauminhalt bemessen werden können, entziehen sich Fraktale durch ihre unendlich unregelmäßige Struktur diesen Maßen. Die Bestimmung der Länge einer fraktalen Linie ist genauso zum Scheitern verurteilt, wie die Bestimmung des Flächen-

inhalte einer fraktalen Fläche. Dennoch können Fraktale mathematisch beschrieben werden. Die geeignete Beschreibungsform für Fraktale ist die, die es vermag ein Maß ihrer strukturellen Komplexität zu liefern. Die Grundlagen dazu wurden schon Anfang des 20. Jahrhunderts von Mathematikern wie Felix Hausdorff⁷⁰ und Abram Samoilovitch Besicovitch⁷¹ (z.B. Hausdorff 1919, Besicovitch & Ursell 1937) gelegt.

Definition eines Fraktals

Mathematisch ist ein Fraktal definiert als eine Menge, deren Hausdorff-Besicovitch-Dimension echt die topologische Dimension übersteigt. *Jede Menge mit einer nicht ganzzahligen Hausdorff-Besicovitch-Dimension ist ein Fraktal.* Diese Definition soll im Folgenden näher erläutert werden.

6.3.2 Dimensionskonzepte

Bereits im Alltagsverständnis wird ein Würfel als dreidimensional, ein Quadrat als zwei-, eine Gerade als ein- und ein Punkt als nulldimensional bezeichnet. Aber schon bei dieser Einteilung wird von der physikalischen Umwelt auf idealisierte geometrische Figuren der euklidischen Geometrie abstrahiert. Dabei sind mathematische Geraden unendlich dünn, ohne jede Ausdehnung in eine andere Richtung als in die Länge. Schon eine Bleistiftlinie hat aber – genau besehen – eine Ausdehnung in die zweite Dimension; und – noch genauer – findet sich sogar eine dritte, nämlich die Dicke der aus dreidimensionalen Graphitmolekülen bestehenden Linie.

Effektive Dimension

Auch Physiker ziehen es vor, sich einen Schleier, einen Faden oder eine Kugel – wenn sie nur fein genug sind – als „effektiv“ von der Dimension Null, Eins bzw. Zwei zu denken (vgl. Mandelbrot, 1987, S. 29). Mandelbrot schlägt für dieses intuitive Verständnis der Dimensionalität von Körpern den Begriff *effektive Dimension* vor. Es zeigt sich jedoch, dass die effektive Dimension vom Auflösungsgrad und damit von der Beobachter-Objekt-Beziehung abhängig ist. Mandelbrot beschreibt diesen Sachverhalt am Beispiel eines Wollknäuels:

Einem Beobachter, der weit genug entfernt ist, erscheint das Knäuel als eine nulldimensionale Figur: ein Punkt. ...

Mit 10 cm-Auflösung betrachtet, ist das Knäuel eine dreidimensionale Figur. Bei 10 mm-Auflösung ist es ein Wirrwarr von eindimensionalen Fäden. Bei 0,1 mm-Auflösung wird jeder Faden zur Säule, und das Ganze wird wieder eine dreidimensionale Figur. (Mandelbrot 1987, S. 29)

Topologische Dimension

Die intuitive Betrachtung der in Abbildung 49 wiedergegebenen Koch-Kurve mit Hilfe des Konzepts der effektiven Dimension legt es nahe, für dieses fraktale Gebilde eine Dimensionalität von Eins anzunehmen, es also als Gerade aufzufassen. Ein Zweig der Mathematik, die *Topologie*, kommt zu der gleichen Feststellung.

⁷⁰ 1868 bis 1942

⁷¹ 1891 bis 1970

In der Topologie, die auch „analysis situs“, Geometrie der Lage genannt wird, „...geht man davon aus, dass alle Töpfe mit zwei Henkeln die gleiche Form haben, weil sie, unendliche Flexibilität und Kompressibilität vorausgesetzt, stetig ineinander umgeformt werden können, ohne neue Löcher aufzureißen oder alte zu schließen.“ (Mandelbrot 1987, S. 28).

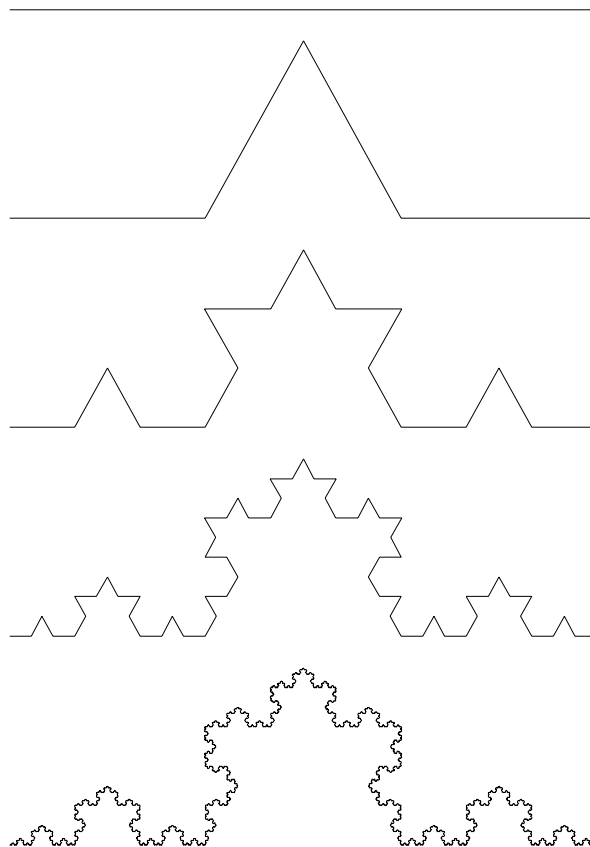


Abbildung 49: Produktionsmodus der Koch-Kurve

Der Produktionsmodus der Koch-Kurve ist einfach. Aus einer gegebenen Linie wird das mittlere Drittel herausgeschnitten und die Lücke durch ein „Dach“ von der Seitenlänge des herausgeschnittenen Drittels ersetzt. Mit den so entstandenen vier Linien wird die Prozedur wiederholt. Die unendlich häufige iterative Anwendung dieser Produktionsregel führt zur fraktalen Koch-Kurve (unten).

Danach ist jede Art von Kurve (auch die Koch-Kurve) topologisch äquivalent zu einer Geraden. Dies erklärt sich aus der Entstehungsgeschichte der Topologie. Gesucht wurde nach Eigenschaften von Objekten, die invariant gegenüber geeigneten Transformationen sein sollten. Eine dieser Invarianten sollte die Dimensionalität sein. Schwierigkeiten ergaben sich jedoch bei der mathematischen Definition der Dimension, zu der es eine Reihe von Vorschlägen gibt. Geht es um die Beschreibung von Fraktalen, so können diese Dimensionsbegriffe jedoch nicht weit tragen, da sie, ähnlich wie die effektive Dimension, fraktale Zerklüftungen ignorieren.

Die Hausdorff-Besicovitch-Dimension

Stark zerklüftete Kurven, wie sie z.B. die Koch-Kurve darstellt, finden sich auch in der Natur. So lässt sich z.B. die Küstenlinie eines Landes als fraktale Kurve auffassen. Mandelbrot zeigte dies beispielhaft an der Küstenlinie Britanniens. Ausgehend von der Frage, wie lang denn eine Küstenlinie sei, kam er zu einem Dimensionalitätsmaß, das er *fraktale Dimension* nannte. Die Grundkonzeption dieses Maßes entspricht dabei in etwa den von Hausdorff (1919) und Besicovitch (z.B. Besicovitch & Ursell 1937) vorgeschlagenen Dimensionskonzepten.

Mandelbrot zeigte, dass die Länge einer Küste kein eindeutig zu bestimmendes Maß sein kann. „Alle Messmethoden führten letztlich zu dem Schluss, dass die Länge einer typischen Küstenlinie sehr groß und so schlecht bestimmt ist, dass sie am besten als unendlich angesehen wird“ (Mandelbrot 1987, S. 37). Hierzu eine kleine Geschichte, die von C. Fadiman berichtet wurde:

Dessen Freund Edward Kasner bat kleine Kinder, die Länge der Ostküste der Vereinigten Staaten zu erraten. Nachdem ein ‚vernünftiger‘ Wert geraten wurde ... erklärte er, dass diese Zahl enorm größer wird, wenn der Umfang jeder kleinen Bucht mit vermessen wird, dann der von jedem Vorsprung und jeder Krümmung, dann der Abstand zwischen den kleinen Teilchen, jedem Molekül, jedem Atom, usw. Offensichtlich ist die Küste so lang, wie ihr sie machen wollt. Die Kinder haben das sofort verstanden – mit den Erwachsenen hatte Kasner mehr Mühe. (Mandelbrot 1987, S. 40)

Wird die Länge einer Küstenlinie mit verschiedenen Zirkelweiten auf Karten verschiedenen Maßstabes gemessen, so gelangt man zu ziemlich unterschiedlichen Ergebnissen. Allgemein: je kleiner die gewählt Zirkelweite, desto länger die Küste (vgl. Abbildung 50).

Dieser Zusammenhang lässt sich mathematisch formalisieren: Man bestimme die Länge einer Küstenlinie zunächst durch das Messen der Luftlinie zwischen dem Anfangs- und dem Endpunkt des betrachteten Küstenabschnitts. Diese Länge sei λ genannt, also:

$$Länge_1 = \lambda .$$

Wenn nun die Luftlinie z.B. mit $\varepsilon = \frac{1}{2}$ halbiert wird, und mit diesem Längenabschnitt als Zirkelweite

$$Länge_{Abschnitt} = \varepsilon \lambda ,$$

noch einmal die Küste ausgemessen wird, so ergibt sich eine Küstenlänge größer als λ . Es berechnet sich die Länge der Küstenlinie aus der Anzahl N der benötigten Zirkelabschnitte, multipliziert mit der Länge eines Abschnitts. Daher gilt für die Länge der Küste in Abhängigkeit von ε :

$$Länge_\varepsilon = \varepsilon \lambda N_\varepsilon .$$

Bei kleiner werdendem ε steigt die Zahl der benötigten Längenabschnitte exponentiell mit dem Exponenten D an, sodass gilt:

Gleichung 12:
Anzahl Längenab-
schnitte bei Verklei-
nerung der Zirkel-
weite

$$N_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon^D}.$$

Je kleiner ε^D , desto größer wird N . Die Länge der Küste nimmt zu, wenn $D > 1$ ist. Zusammenfassend ergibt sich für die Länge einer Küstenlinie folgende Gleichung:

Gleichung 13:
Länge einer Küsten-
linie

$$\text{Länge}_\varepsilon = \varepsilon \lambda N_\varepsilon = \varepsilon \frac{\lambda}{\varepsilon^D} = \frac{\lambda}{\varepsilon^{D-1}}.$$

Länge_ε ist die Länge der Küstenlinie in Abhängigkeit von ε
ε Verkleinerungsfaktor der Luftlinie (Zirkelweite)
λ Luftlinie
N Anzahl der Zirkelweiten in Abhängigkeit von ε
D Dimensionalität der Küstenlinie



Abbildung 50: Die Küstenlinie Britanniens

Die Küstenlinie Britanniens, gemessen mit unterschiedlichen Zirkelweiten (die Daten für die Darstellung sind Beispieldaten des Computerprogramms „FD3“ von Sarraille & DiFalco 1992).

Aus den Beobachtungen von Mandelbrot und anderen ergeben sich für Küstenlinien die folgenden Zusammenhänge:

- Der Exponent D stellt ein Dimensionsmaß dar, welches in etwa der Hausdorff-Besicovitch-Dimension entspricht.
- Für Küstenlinien, obwohl topologisch eindimensional, ergeben sich Exponenten D , die größer als Eins und kleiner als Zwei sind.
- D ist bei Küstenlinien keine ganze Zahl.
- Stark zerklüftete Küsten führen zu einem größeren D als schwach zerklüftete.
- D unterscheidet also zwischen fraktalen und nicht fraktalen Kurven und vermag darüber hinaus einen Wert für das Ausmaß der *Fraktalität*, der Zerklüftung bzw. Komplexität zu geben.

Selbstähnlichkeitsdimension

Ebenso wie die Länge einer Geraden mit Hilfe einer kleineren Geraden in der oben beschriebenen Weise gemessen werden kann, so kann auch die Fläche eines Quadrates über die Anzahl der in ihm enthaltenen kleineren Quadrate bestimmt werden. In beiden Fällen wird als Vergleichsobjekt eine Figur gewählt, die der zu beschreibenden Figur (selbst-)ähnlich ist. Werden zur Bestimmung der Fläche eines Quadrates immer kleinere Quadrate herangezogen, so bleibt die ermittelte Fläche doch die gleiche: Messquadrate mit einer Seitenlänge, die der halben Seitenlänge des auszumessenden Quadrates entspricht, werden in vierfacher Menge gebraucht; Messquadrate, deren Seitenlänge einem Drittel der Seitenlänge des auszumessenden Quadrates entspricht, werden in neunfacher Menge gebraucht, usw. Die Anzahl der benötigten selbstähnlichen Teile wächst hier mit einer Potenz von zwei, da es sich um ein echt zweidimensionales Objekt handelt. Dies stimmt mit der topologischen Dimension überein. Auch in Fraktalen lassen sich selbstähnliche Figuren identifizieren. Bei der Koch-Kurve (vgl. Abbildung 49) ist es das in der folgenden Abbildung dargestellte Grundmuster, bei dem es sich um den so genannten Iterator, also um die iterativ zur Anwendung kommenden Erzeugungsvorschrift handelt.

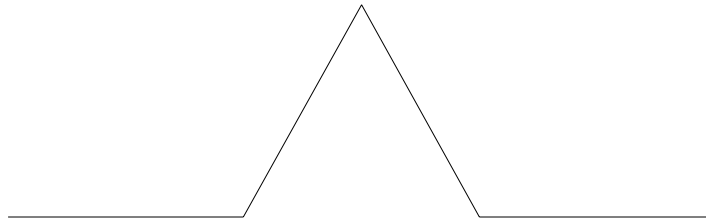


Abbildung 51: Iterator der Koch-Kurve

Da die Koch-Kurve mit Hilfe des dargestellten Iterators gebildet wird, finden sich in ihr immer wieder Teilstücke, die dem Iterator ähneln, sie also selbstähnlich sind.

Hier wächst die Anzahl der benötigten selbstähnlichen Teilfiguren bei zunehmender Verkleinerung jedoch nicht mit der Potenz ihrer topologischen Dimension. Prinzipiell gelten hier nämlich die gleichen mathematischen Zusammenhänge wie für die Länge einer Küstenlinie.

Das auf diese Art, nämlich mit Hilfe selbstähnlicher Teilfiguren bestimmte D heißt *Ähnlichkeitsdimension* oder auch *Selbstähnlichkeitsdimension*. Da mathematische Fraktale, wie z.B. die Koch-Kurve, aus selbstähnlichen Teilfiguren erstellt werden, lässt sich die Selbstähnlichkeitsdimension relativ einfach angeben. Da jede selbstähnliche Teilfigur der Koch-Kurve vier Seiten besitzt, die alle so lang sind, dass auf ihnen die gleiche Figur, um ein Drittel verkleinert, Platz findet, folgt daraus, dass bei der Verkleinerung der selbstähnlichen Messfigur um den Faktor $1/3$ genau 4 Teilfiguren benötigt werden, um zusammen wieder das Fraktal zu erhalten. Es ergibt sich also für die Anzahl der Teile $N = 4$, wenn $\varepsilon = 1/3$ ist. Da wie in Gleichung 13 beschrieben gilt:

$$N = \frac{1}{\varepsilon^D},$$

ergibt sich hier:

$$4 = \frac{1}{\left(\frac{1}{3}\right)^D} \Leftrightarrow \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{3}\right)^D \Leftrightarrow \frac{1}{4} = \frac{1}{3^D} \Leftrightarrow 4 = 3^D \Leftrightarrow D \log 3 = \log 4.$$

Nun berechnet sich hiernach:

$$D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1,2618.$$

Allgemein:

$$N = \frac{1}{\varepsilon^D} \Leftrightarrow \frac{1}{N} = \varepsilon^D \Leftrightarrow \frac{1}{N} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^D} \Leftrightarrow \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^D = N \Leftrightarrow D \log \frac{1}{\varepsilon} = \log N.$$

Woraus für die Bestimmung der Selbstähnlichkeitsdimension folgt,

Gleichung 14:
Selbstähnlichkeitsdi-
mension

$$D = \frac{\log N}{\log \frac{1}{\varepsilon}}.$$

Auch über das Auszählen von Zirkelabschnitten, wie für die Küstenlinien beschrieben, kann exakt der gleiche Wert ermittelt werden. Die hier angegebene Methode ist jedoch zeitsparender und eleganter.

Box-Dimension

Da aber bei Küstenlinien nicht auf mathematisch wohldefinierte selbstähnliche Teilstücke zurückgegriffen werden kann und auch das wiederholte Ausmessen der Küstenlänge mit immer kleineren Zirkelweiten sehr aufwändig ist, empfiehlt sich die Ermittlung der Box-Dimension mittels eines Computerprogramms (z.B. Liebovitch & Tóth 1989). Die Box-Dimension stellt eine gute Schätzung der fraktalen Dimension dar. Dazu wird die zu bestimmende Küstenlinie mit immer feineren Gitternetzen bedeckt und die Boxen, die von der Küstenlinie „besucht“ werden ausgezählt („box-counting“). Wenn ε den Faktor der Verkleinerung der jeweils zu wählenden Boxgrößen bezeichnet und N die Anzahl der besuchten Boxen angibt, so ergibt sich D aus der bereits genannten Gleichung 14.

Obwohl es sich bei Fraktalen um abstrakte geometrische Figuren handelt, also um statische Strukturen, haben sie eine große Bedeutung im Zusammenhang mit der Identifikation von deterministischem Chaos (vgl. dazu ausführlicher S. 154ff., ab S. 366ff. finden sich zudem weitere Methoden zur Bestimmung der fraktalen Dimensionalität, die speziell zum Nachweis von Chaos in Zeitreihendaten entwickelt wurden). Auf die näheren Zusammenhänge zwischen fraktaler Geometrie und chaotischen Attraktoren wird im nachfolgenden Kapitel ausführlicher eingegangen.

6.4 Chaos, ein schwer zu definierendes Phänomen

Die prominenteste und sicherlich populärste Verhaltensweise nichtlinearer dynamischer Systeme ist die chaotische Systemdynamik. Obwohl der Begriff des Chaos relativ alt ist und weit in die archaische Mythologienwelt der Menschheit zurück reicht (vgl. Paslack 1996), ist die Definition einer chaotischen Systemdynamik nur schwer zu geben.

Vor dem Hintergrund einer physikalisch-mathematischen Perspektive stellt sich sogar die Frage neu, welcher Chaosbegriff verschiedenen Schöpfungsmythologien zu Grunde liegt. Ein völlig strukturloses „Tohuwabohu“ ist praktisch nur schwer vorstellbar und findet sich bei näherer Betrachtung in kaum einer Schöpfungsmythologie (Paslack 1996, S. 13f.). Immer schon ist auch im Chaos des Urzustandes der Welt eine Ordnung als Keimzelle angedeutet oder erscheint es als produktives Element, welches die Ordnung der Welt hervorzubringen vermag.

Völlige Strukturlosigkeit. Kann es so etwas geben?

Am ehesten ließe sich ein solch chaotischer Urzustand mit einer Wüste, einer ebenen Sandfläche vergleichen. Dem Beobachter erscheint der Sand als strukturlose Menge, bei der die einzelnen Sandkörner ohne jede erkennbare Ordnung nebeneinander liegen. Ein Spiegel ließe sich beliebig im Sand platzieren, ohne dass sich ein anderes Bild zeigen würde. Eine völlig ebene Sandfläche wäre, egal wie groß oder wie klein ein Beobachtungsausschnitt gewählt wird, immer mit sich selbst identisch. Mathematisch gesprochen wäre sie eine maximal symmetrische Ebene.

Physikalisch ließe sie sich vereinfachend als Zustand maximaler Entropie beschreiben. Die Frage danach, ob es solche maximal symmetrischen Mengen in der Natur überhaupt geben kann, entpuppt sich jenseits dieses Gedankenexperimentes als empirisch nicht überprüfbar. Theoretisch lassen sich jedoch Argumente dafür und dagegen finden. Die erkenntnistheoretische Grundposition einer klassischen Mechanik käme zu dem Schluss, dass jede aktuelle, vergangene und zukünftige Position jedes Teilchens im Universum und damit auch in einem Sandhaufen durch Naturgesetze determiniert wird. Eine völlige Strukturlosigkeit könnte sich allenfalls für einen Betrachter ergeben, der die Zusammenhänge des großen Spiels der ewigen Gesetze nicht zu durchschauen vermag.

Der Zustand maximaler Entropie impliziert, dass er nicht beobachtet werden kann

Mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik ist die Möglichkeit des Fehlens jeglicher Ordnung als theoretisch möglicher Endzustand eines jeden geschlossenen Systems erstmals formuliert worden. So lange aber dieser Zustand nicht erreicht ist, sollte es, wenn auch nicht immer beobachtbar, noch Strukturen geben. Kosmologisch gesehen würde ein Zustand maximaler Entropie jedoch die völlige Auflösung jeglicher Strukturen implizieren, sodass es niemanden mehr gäbe, der ihn beobachten könnte. In diesem Sinne ist es auch nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik relativ gut möglich bestimmte physikalische Systeme so zu beschreiben, als ob er nie formuliert worden wäre. So fällt z.B. der Anstieg der Entropie bei der Beschreibung von Planetenbahnen mittelfristig so wenig ins Gewicht, dass die Unterschiede nicht messbar wären.

Bestimmte andere Systeme, die sehr stark der eingangs beschriebenen maximal symmetrischen Sandfläche ähneln, können aus *praktischen* Gründen nur sehr schwer im Detail erfasst werden. Wenn z.B. die Bewegungen von Molekülen in

einem gasgefüllten Behälter beschrieben werden sollen, reicht es nicht aus, die Stoßgesetze zwischen den Molekülen und weitere ähnliche Gesetze zu kennen, um die Bahn eines jeden Moleküls zu beschreiben, wenn die Zahl der Moleküle insgesamt zu hoch ist. Ein solches nur noch statistisch über Mittelwerte beschreibbares System befindet sich *nahe* am thermodynamischen Gleichgewicht. Sein Zustand wird in der Synergetik als mikroskopisches Chaos bezeichnet.

Deterministisches Chaos ist nicht strukturlos. Es tritt bereits in einfachen Systemen auf

Ganz im Gegensatz zu der hier diskutierten Möglichkeit bzw. Unmöglichkeit einer völlig chaotischen Strukturlosigkeit entdeckte Poincaré Chaos in einer ganz anderen Form und in einer Klasse von physikalischen Systemen, für die es eigentlich nicht zu vermuten gewesen wäre. Die Beschreibung der Planetenbahnen von nur drei Planeten, für die zudem der 2. Hauptsatz der Thermodynamik vernachlässigt werden kann, sollte eigentlich möglich sein, ist jedoch praktisch nicht durchführbar, da bereits kleinste Verstörungen in kürzester Zeit zu einem veränderten Verhalten führen. Dieses veränderte Verhalten ist jedoch keinesfalls strukturlos und wahllos, es folgt den internen Mechanismen des Systems. Diese operieren jedoch als gigantischer Verstärker kleinster Störungen.

Chaos ist gekennzeichnet von der exponentiellen Divergenz ähnlicher Systemzustände

Eines der Hauptkriterien bei der Definition von Chaos aus der Sicht der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme ist daher die sensible Abhängigkeit des Systemverhaltens von kleinen Fluktuationen. Liegt Chaos vor, dann streben beliebig nahe benachbarte Punkte im Phasenraum im Verlauf der Zeit exponentiell auseinander. An diesem zentralen Definitionsmerkmal sind zwei Aspekte besonders hervorzuheben:

1. **Exponentielle Divergenz.** In chaotischen Systemen streben nahe benachbarte Trajektorien nicht wahllos und beliebig auseinander. Sie divergieren exponentiell, sodass sich eine kleine Störung zum einen lawinenartig vergrößert, sich aber zum anderen nicht zufällig auswirkt. Das System macht keine Sprünge, es springt im Phasenraum nicht wahllos hin und her, wie es sich z.B. bei der Phasenraumdarstellung eines Glücksspiels zeigen würde.
2. **Divergenz bedingt Konvergenz.** Würden die Trajektorien eines Systems nur divergieren, so würde sich der Phasenraum beständig vergrößern. Tatsächlich ist es ein Merkmal einer chaotischen Systemdynamik, dass sich der Phasenraum trotz exponentieller Divergenz mit der Zeit nicht vergrößert, da die exponentielle Divergenz auf der einen Seite durch konvergente Entwicklungen auf der anderen wieder aufgehoben wird. Anschaulich wird dies durch die sog. Bäckertransformation beschrieben (vgl. Abbildung 107, S. 381). Ebenso wie ein Bäcker einen Teig zunächst auswalzt und dehnt, um ihn danach wieder zusammenzufalten, dehnt und faltet sich auch ein chaotischer Attraktor. Wenn sich aber Divergenz und Konvergenz im Durchschnitt die Waage halten, wird es unter Umständen schwierig, Chaos in empirischen Systemen schlüssig zu identifizieren. In der Regel wird dann von Chaos gesprochen, wenn der Nachweis gelingt, dass *nahe* benachbarte Trajektorien exponentiell divergieren. Dass entfernte Trajektorien mit der Zeit konvergieren, fällt bei einem praktischen Nachweis von Chaos nicht ins Gewicht.

Chaos ist nichtperiodisch

In einem engen Zusammenhang mit der exponentiellen Divergenz nah benachbarter Trajektorien in chaotischen Systemen und der beschriebenen Bäckertransformation steht der Umstand, dass für diese Systeme keine periodische Lösung gefunden werden kann. Chaos ist nichtperiodisch, da sich die Dynamik des Systems,

obwohl sie auf einen umgrenzten Attraktor beschränkt bleibt, niemals wiederholt. Dieses Merkmal einer chaotischen Systemdynamik verweist auf mindestens drei wichtige Folgerungen:

1. **Berechenbarkeit der Dynamik.** Dynamische Systeme, verstanden als mathematische Gleichungssysteme, können komplex sein und zu komplexen Lösungen für die Beschreibung der Systemdynamik führen. Unabhängig davon, wie komplex die Lösung ausfällt, lässt sich für die Prognose des Systemverhaltens eine „Abkürzung“ in der Berechnung finden, wenn die Dynamik periodisch bzw. quasi-periodisch ist, sich also nach einer bestimmten Zeit wiederholt (vgl. auch Tabelle 3, S. 138). Es genügt dann also die Gleichungen zur Beschreibung nur einer Periode zu finden, um die Dynamik des Systems für einen beliebigen Zeitraum angeben zu können. Obwohl aber eine chaotische Prozessdynamik aus dem gleichen mathematischen Gleichungssystem hervorgehen kann, fehlt ihr jegliche Periodizität, sodass der Berechenbarkeit des Systemverhaltens praktische Grenzen gesetzt sind. Um z.B. für die Verhulst-Gleichung im Falle von Chaos den Systemzustand nach z.B. tausend Iterationen angeben zu können, muss jeder Iterationsschritt einzeln berechnet werden. Die fehlende Periodik eines solchen Systems bedeutet jedoch nicht automatisch, dass eine Berechnung der Dynamik nicht möglich wäre. Sie wird durch die Gleichungen des Systems ja exakt vorgegeben. Erst im Zusammenhang mit der bereits beschriebenen sensiblen Abhängigkeit des Systemverhaltens von mikroskopisch kleinen Fluktuationen ergibt sich das Problem, dass Prognosen des Systemverhaltens über längere Zeiträume nutzlos werden.
2. **Theorie vs. Empirie.** Obwohl das Fehlen einer Periodik in mathematischen Systemen zumindest theoretisch-analytisch nachgewiesen werden kann (z.B. Ruelle & Takens 1971) und Kriterien dafür angegeben werden können, in welchen iterativen Gleichungssystemen ein solches Fehlen zu erwarten sein wird, (untypische intermittierende Periodiken im Bifurkationsdiagramm der Feigenbaumdarstellung, wie sie sich auch im Fenster der Ordnung für die Verhulst-Gleichung finden lassen; Li & Yorke 1975; vgl. Abbildung 38, S. 111), lässt sich dieses Merkmal einer chaotischen Dynamik in realen Systemen nicht direkt beobachten, da dafür eine unendlich lange Zeitreihe erhoben werden müsste.
3. **Computer.** Obwohl die ersten Erkenntnisse über chaotische Systeme bereits von Poincaré stammen, ist die Chaosforschung erst sehr viel später entstanden. Ein Hauptgrund dafür liegt darin, dass die aufwändigen Berechnungen und die Möglichkeiten zur graphischen Veranschaulichung erst durch leistungsfähige Computer praktikabel wurden. In diesem Sinne ist die Entwicklung der Chaosforschung vielfach und eng mit den Möglichkeiten und Grenzen elektronischer Rechensysteme verknüpft. Paradoxer Weise sind jedoch Computer nicht dazu in der Lage, Chaos im strengen mathematischen Sinne zu generieren. Die digitale und damit begrenzte Auflösung von Zahlenwerten führt dazu, dass nach genügend langer Zeit bei jeder computergenerierten Zeitreihe eine Periodik festgestellt werden kann. Dann nämlich, wenn sich zum ersten Mal Zahlen aus der Berechnung ergeben, die wegen der immer vorhandenen Rundungsungenauigkeit mit vorher bereits berechneten Werten übereinstimmen. Ab dieser Stelle wiederholen sich dann die Berechnungen.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Identifikation und Definition von Chaos ist dessen Ordnung. Dass chaotische Dynamiken nicht strukturlos sind, wurde bereits mehrfach betont. In der Phasenraumdarstellung erscheint eine chaotische Dynamik als hoch komplexe aber geordnete Struktur, die im Zusammenhang mit der von Mandelbrot vorgeschlagenen Konzeption als Fraktal beschrieben werden kann. Es zeigt sich nämlich, dass die geometrischen Strukturen chaotischer Attraktoren die gleichen Eigenschaften aufweisen, wie sie für Fraktale festgestellt werden können. Versuche, einen Attraktor mit immer kleiner werdenden Maßstäben zu vermessen, führen zu immer größeren Werten. Das exponentielle Wachstum der Anzahl der nötigen Maßstäbe, bei gleichzeitiger Verkleinerung dieser Maßstäbe, ist keine ganze Zahl und übersteigt die topologische Dimension des Attraktors (vgl. die Definition von Fraktalen auf S. 145). Auch in Bezug auf dieses Definiensmerkmal gilt es einige Aspekte im Auge zu behalten:

1. **Struktur vs. Prozess.** Fraktale sind eine abstrakte Klasse mathematischer Strukturen. Auch wenn z.B. eine Küstenlinie mathematisch relativ gut als Fraktal beschrieben werden kann, so ist sie dennoch nicht chaotisch. Bei der mathematischen Beschreibung einer Küstenlinie handelt es sich um die Beschreibung einer statischen, unveränderlichen Figur, wohingegen Chaos als Prozessgestalt eines dynamischen Systems aufzufassen ist.
2. **Theorie vs. Empirie.** Die Definition von Fraktalen und deren Veranschaulichung mit Hilfe von Beispielen aus der Natur (Küstenlinien, Pflanzen etc.) legt die Vermutung nahe, dass es sich bei jeder komplexen Figur um ein Fraktal handeln müsse. Dieser Schluss ist jedoch nicht zwingend. Er beruht vielmehr auf dem Spannungsfeld zwischen einer *reinen* Mathematik auf der einen Seite und einer *angewandten* Mathematik auf der anderen. Die Beschreibung, Simulation und Veranschaulichung komplexer empirischer Strukturen gelingt in vielen Fällen besser mit Hilfe der fraktalen Geometrie als mit der klassischen euklidischen, bleibt aber vielfach auf Annäherungen beschränkt. Während z.B. bei der künstlich erzeugten Koch-Kurve (vgl. Abbildung 49, S. 146) selbstähnliche Strukturen bereits durch den Konstruktionsalgorithmus vorgegeben werden, sind sie bei Küstenlinien nur näherungsweise zu finden. Ähnliches gilt für fraktale Attraktoren: Werden sie mathematisch durch Gleichungssysteme erzeugt, so kann der Nachweis, es wirklich mit einem Fraktal zu tun zu haben, leichter geführt werden, als wenn die Dynamik eines realen empirischen Systems betrachtet wird.
3. **Komplex aber geordnet.** Auch zufällige Prozesse führen zu hoch komplexen Phasenraumdarstellungen. Allerdings fehlt ihnen die Ordnung, was dazu führt, dass theoretisch jeder Punkt im Phasenraum eingenommen werden kann und – langes Warten vorausgesetzt – mit der Zeit auch eingenommen wird. Die Dimensionalität eines solchen Attraktors ist unendlich hoch und kann nicht mehr bestimmt werden. Obwohl dieses Kriterium an die eingangs geführte Diskussion über die Möglichkeit oder Unmöglichkeit völlig strukturloser Mengen erinnert, besitzt ein solches Kriterium eine durchaus praktische Relevanz. Verfügt ein System über nahezu unendlich viele Freiheitsgrade, wie im Falle des mikroskopischen Chaos, so weist auch der Phasenraum nahezu unendlich viele Dimensionen auf. Wird der Phasenraum, in der Hoffnung, dass wenige Dimensionen zur Beschreibung genügen könnten, beschränkt und die fraktale Dimensionalität bestimmt, so ergibt sich ein Wert, der der Dimensionalität des Pha-

senraumes entspricht, unabhängig davon wie viele Dimensionen einschränkend gewählt werden. Zumindest theoretisch würde sich bei einem Phasenraum, der eine Dimension größer ist als die durch die nahezu unendlich Anzahl von Freiheitsgraden geforderte Dimensionalität, eine fraktale Dimension ergeben, die nicht mehr mit der Dimensionalität des Phasenraumes identisch ist. Praktisch ist eine solche Berechnung dann jedoch nicht mehr durchführbar.

Die beiden zuletzt genannten Aspekte sind bei dem Versuch die fraktale Struktur einer Phasenraumdarstellung empirisch nachzuweisen, wichtige Schlüsselfaktoren der Berechnungsalgorithmen (vgl. S. 366ff.).

6.4.1 Der Chaosbegriff im Spannungsfeld zwischen Empirie und Theorie

Zusammenfassend kann eine chaotische Systemdynamik über drei wesentliche Kriterien definiert werden. Das wichtigste und zentrale Kriterium ist die exponentielle Divergenz beliebig naher Trajektorien. In einem engen Zusammenhang dazu steht die fehlende Periodik der chaotischen Dynamik. Das dritte Kriterium ergibt sich eher indirekt aus der Phänomenologie eines chaotischen Attraktors, der in der Phasenraumdarstellung als Fraktal beschrieben werden kann.

Seltsame Attraktoren

Alle drei Aspekte lassen sich mathematisch relativ stringent formalisieren (insbesondere Ruelle & Takens 1971 prüfen die Existenz von nichtperiodischen Lösungen mathematischer Differentialgleichungssysteme und weisen als erste auf die fraktale Struktur chaotischer Phasenraumdarstellungen hin. Sie bezeichnen die von ihnen beschriebenen Attraktoren als *strange attractors*; deutsch: *seltsame Attraktoren*; vgl. auch Anishchenko et al. 2002, S. 30), führen aber zu mehr oder minder großen Schwierigkeiten bei der Identifikation von Chaos in empirischen Systemen, die durch Näherungslösungen und komplexe Berechnungsalgorithmen zu umgehen versucht werden. Diese Zweiteilung zwischen mathematischer Formalisierung und Beweisführung auf der einen Seite und der empirischen Identifikation von Chaos in realen Systemen auf der anderen, spiegelt sich mehr oder weniger explizit in der Literatur zur Chaosforschung wider.

Einige Definitionsmerkmale lassen sich empirisch nicht überprüfen

Während der erste bekannte Aufsatz, der das Wort Chaos im Titel trägt („*period three implies chaos*“; Li & Yorke 1975), einen mathematischen Beweis für die Chaosfähigkeit eines iterativen Gleichungssystems anbietet, spielt dieser Beweis in der angewandten Chaosforschung zu realen Systemen kaum eine Rolle. Er ist sogar völlig nutzlos, wenn das zu Grunde liegende System nicht vollständig als iteratives Gleichungssystem beschrieben werden kann.

Wege ins Chaos

Ähnliches gilt für die Klassifikationsschemata verschiedener chaotischer Attraktoren. Durch die mathematische Analyse von Differentialgleichungssystemen wurden inzwischen verschiedene *Wege ins Chaos* beschrieben, nach denen sich chaotische Systeme verschiedenen Gruppen zuordnen lassen. Der bekannteste Weg ins Chaos, der über die Periodenverdopplung führt, wurde bereits oben am Beispiel der Verhulst-Gleichung beschrieben (vgl. Abbildung 38, S. 111). Neben dem Szenario der Periodenverdopplung sind jedoch zwei weitere Wege ins Chaos beschrieben worden. Die Chancen solche Unterscheidungen allein auf der Grundlage empirisch gewonnener Zeitreihendaten treffen zu können sind jedoch verschwin-

dend gering. Dennoch sollen die drei bekannten Wege ins Chaos hier kurz skizziert werden (vgl. Anishchenko et al. 2002, Kapitel 2):

1. **Periodenverdopplung (Feigenbaum-Szenario).** Die Arbeiten von Feigenbaum und anderen zeigen, wie ein System nach einer Kaskade von Periodenverdopplungen relativ plötzlich im Chaos versinkt. Es handelt sich bei den zu Grunde liegenden Gleichungen in der Regel um iterative Gleichungssysteme. Fenster der Ordnung (Intermittenzen) sind charakteristische Merkmale von Systemen, die über den Weg der Periodenverdopplung ins Chaos gelangen. Allerdings können diese Fenster recht schmal sein, sodass sie empirisch nicht immer nachzuweisen sind. Dennoch konnte für viele empirische Systeme gezeigt werden, dass sie den Weg der Periodenverdopplung ins Chaos wählen.
2. **Krise und Intermittenz (Pomeau-Manneville-Szenario).** Während bei iterativen eindimensionalen Systemen, wie der Verhulst-Gleichung, der Attraktor während des Weges ins Chaos qualitativ immer derselbe bleibt (die umgekehrte Parabel in Abbildung 40 auf S. 114 verändert nur ihre Größe, bleibt aber in ihrer „Form“ erhalten), zeigt z.B. der Attraktor des Lorenzsystems starke qualitative Veränderungen auf dem Weg ins Chaos. Diese Veränderungen deuten sich in der Nähe von Phasenübergängen durch Intermittenzen in den Zeitreihen an, bei denen ein einfacher periodischer Grenzzyklus zunehmend „aus dem Tritt gerät“, bis er sich beim Überschreiten der Grenze zum Chaos völlig verändert hat. In der Regel weist ein System, welches über diesen Weg ins Chaos gerät, nur eine solche dramatische Veränderung von regulärem periodischen Verhalten ins Chaos auf.

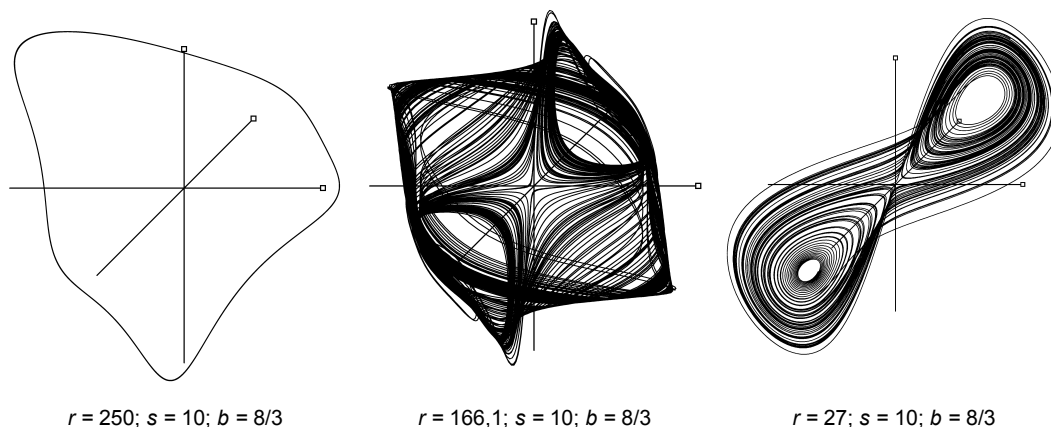


Abbildung 52: Der Weg des Lorenz-Attraktors ins Chaos

Die Abbildung zeigt die Phasenraumdarstellungen des Lorenzsystems für unterschiedliche Werte des Parameters r . Bei Veränderungen des Kontrollparameters r verändert der Attraktor seine Gestalt grundlegend. Die Differentialgleichungen des Systems lauten:

$$\dot{x} = -sx + sy, \quad \dot{y} = -xz + rx - y, \quad \dot{z} = xy - bz.$$

Vgl. auch Abbildung 33, S. 98.

3. **Zunehmender quasi-periodischer Zerfall (Ruelle-Takens-Newhouse-Szenario).** In Systemen mit mindestens drei Phasenraumdimensionen können reguläre Systemverhaltensweisen auftreten, die in Tabelle 3 (S. 138) bereits als

periodische und quasi-periodische Tori dargestellt wurden. Während bei einem periodischen Torus zwei überlagerte Frequenzen mit rationalen Zahlenverhältnissen (eine rationale Zahl ist eine Zahl, die als Verhältnis zweier ganzer Zahlen ausgedrückt werden kann) dazu führen, dass die Trajektorien sich nach einer bestimmten Zeit wieder treffen, herrschen bei quasi-periodischen Tori irrationale Verhältnisse zwischen den beiden Frequenzen vor (irrationale Zahlen lassen sich nicht durch Verhältnisse ganzer Zahlen darstellen. Beispielweise ist die Wurzel aus 2 nicht mehr als Bruch aus ganzen Zahlen darstellbar). Diese sorgen dafür, dass die Trajektorien zu keiner Zeit in sich selbst zurücklaufen, sodass exakt der gleiche Vorgang erneut beginnen könnte. Obwohl diese Beschreibung bereits auf eine Nähe zum Chaos verweist, handelt es sich bei einem quasi-periodischen Torus noch um ein relativ reguläres Verhalten, bei dem die fehlende Periodizität vernachlässigt werden kann. Sobald aber durch die Veränderung der Kontrollparameter in einem quasi-periodischen Torus plötzlich eine dritte Frequenz entsteht, zerfällt der Torus schlagartig zu einem chaotischen Attraktor, der auch als *torisches Chaos* bezeichnet wird. Das hier als quasi-periodischer Zerfall beschriebene Szenario wird nach ihren Entdeckern auch Ruelle-Takens-Newhouse Weg ins Chaos genannt (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 55). Obwohl dieses Szenario ursprünglich für zweidimensionale Tori (zwei Frequenzen im dreidimensionalen Phasenraum) formuliert wurde, lässt es sich auch bei mehrdimensionalen Tori beobachten (vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 130).

Die hier nur kurz skizzierten und vereinfacht dargestellten Wege ins Chaos werden in der Literatur (z.B. Anishchenko et al. 2002, S. 139) als universelle Wege ins Chaos diskutiert. Dennoch bleiben ihre universellen Charakteristika auf einige exemplarische Beispiele beschränkt. Viele bekannte chaotische Systeme folgen einem oder unter bestimmten Bedingungen sogar mehreren der dargestellten Wege ins Chaos, was jedoch nicht bedeutet, dass nicht auch andere Wege denkbar sind und für seltene spezielle Systeme auch nachgewiesen wurden.

Noch einmal komplexer wird der Versuch, den Begriff des Chaos zu definieren, wenn berücksichtigt wird, dass die bislang vorliegenden mathematischen Beweise für die drei genannten Definitionsmerkmale keinesfalls einheitlich ausfallen und nicht unter jeder Bedingung Geltung besitzen. Insbesondere die folgenden Einschränkungen sind hier zu beachten:

1. **Strange Attractors (seltsame Attraktoren).** Ruelle und Takens zeigen in ihrer 1971 publizierten Arbeit über turbulente Strömungen, dass es möglich ist, dass bestimmte mathematische Systeme über nicht-periodische Lösungen verfügen. Der mathematische Beweis dazu bleibt allerdings auf diese Klasse von Systemen beschränkt. Derzeit sind nur zwei konkrete mathematische Beispielsysteme bekannt, auf die die Bedingungen zutreffen. Die Definition von chaotischen Attraktoren als *strange attractors* im Sinne von Ruelle und Takens ist zwar mathematisch interessant, an empirischen Systemen nachgewiesen wurde sie bislang jedoch noch nie (vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 31).
2. **Chaotisch aber nicht fraktal.** Als Ausnahmen von der Regel, dass chaotische Attraktoren sich durch eine fraktale Struktur auszeichnen, sind inzwischen seltene mathematische Gleichungssysteme entdeckt worden, die zwar eine exponentielle Divergenz naher Trajektorien aufweisen, aber keine fraktale Struktur

besitzen (vgl. Abbildung 53a). D.h., dass bei diesen Systemen die fraktale Dimensionalität eine ganze Zahl ist, die mit der Anzahl der Freiheitsgrade des Systems übereinstimmt (vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 34ff.).

3. **Fraktal aber nicht chaotisch.** Umgekehrt lassen sich auch Gleichungssysteme benennen, für deren Attraktor eine fraktale Struktur nachweislich existiert, die jedoch keine exponentielle Divergenz aufweisen (vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 34ff.; vgl. Abbildung 53b).

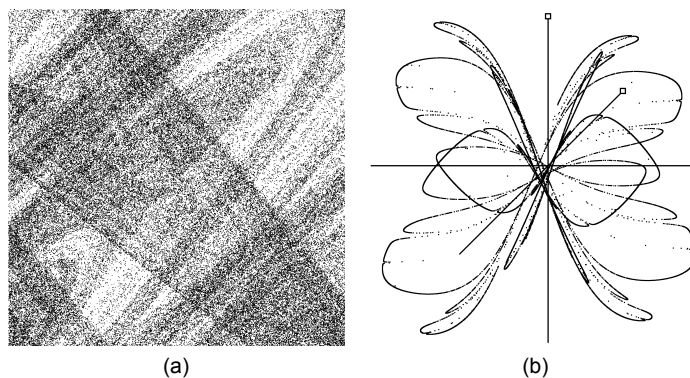


Abbildung 53: Ausnahmen von der Regel: Chaotische nicht fraktale und fraktale nicht chaotische Attraktoren

Die Abbildung (a) zeigt einen chaotischen aber nicht fraktalen Attraktor, wie er sich für die als Arnold's Cat Map bekannten Gleichungen bei $\delta = 1,7$ ergibt. Obwohl die in der Abbildung zu sehenden Strukturen auch hier an ein Fraktal denken lassen, füllen die Gleichungen ihren Zustandsraum mit der Zeit so gleichmäßig aus, dass sich eine geometrisch bestimmbare fraktale Dimension von genau zwei ergibt (vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 36). Die Gleichungen lauten:

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= x_n + y_n + \delta \cos(2\pi y_n), & \text{mod } 1, \\y_{n+1} &= x_n + 2y_n, & \text{mod } 1.\end{aligned}$$

Im Gegensatz dazu zeigt die Abbildung (b) die dreidimensionale Darstellung eines fraktalen nicht chaotischen Attraktors, der zwar über eine nicht ganzzahlige Dimensionalität, nicht aber über eine exponentielle Divergenz benachbarter Trajektorien verfügt. Die Gleichungen lauten:

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= 2\lambda \tanh(x_n) \cos(2\pi\varphi_n), \\ \varphi_{n+1} &= \omega + \varphi_n, & \text{mod } 1.\end{aligned}$$

Die Berechnungen wurden durchgeführt mit $\omega = 0,5(\sqrt{5} - 1)$ und $\lambda = 1,5$ (vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 36).

6.4.2 Voraussetzungen für das Auftreten von Chaos

Als notwendige Bedingungen für das Auftreten von deterministischem Chaos können vier Aspekte benannt werden, von denen eine jede erfüllt sein muss, damit ein System zumindest theoretisch zu einem chaotischen Verhalten in der Lage ist:

1. **Dissipation.** Chaos, verstanden als irreguläre Dynamik eines deterministischen Systems tritt nur bei Systemen auf, die sich fern vom thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Es muss sich also um dissipative Systeme handeln, die die Möglichkeit zur Entropieab- und zur Energiezufuhr besitzen (vgl. Abbildung 44, S. 130).

2. **Nichtlinearität.** Chaos kann nur in Systemen auftreten, die über mindestens eine nichtlineare Relation zwischen den Systemelementen verfügen. Lassen sich alle Relationen zwischen allen beteiligten Systemvariablen durch lineare Zusammenhänge (also durch Gleichungen der allgemeinen Form $y = ax + b$) modellieren, so kann in diesen Systemen kein chaotisches Verhalten entstehen.
3. **Gemischtes Feedback.** Verfügt ein System entweder nur über negative Feedbackschleifen (Regelkreis) oder nur über positive Feedbackschleifen (Teufelskreis), so wird sich das Systemverhalten trivial und leicht voraussagbar gestalten. Komplexe Systemdynamiken haben die Vereinigung beider Feedbackprozesse in einem System zur Voraussetzung (vgl. an der Heiden & Mackey 1987).
4. **Mindestens drei Systemelemente.** Als weitere Voraussetzung werden nach dem Poincaré-Bendixon Theorem (vgl. Schuster 1989a, S. 105) mindestens drei Systemelemente gefordert, die miteinander in Wechselwirkungsbeziehungen stehen. Ein System mit nur zwei Systemelementen ist nicht in der Lage einen deterministisch chaotischen Attraktor hervorzubringen. Diese Forderung nach mindestens drei Systemelementen beschränkt sich jedoch nur auf stetige Systeme. Für iterative Gleichungssysteme gilt diese Voraussetzung nicht.

Chaos kann, muss aber nicht auftreten, wenn die Systeme die Voraussetzungen erfüllen

Bei den genannten Voraussetzungen handelt es sich allein um notwendige, nicht aber um hinreichende Bedingungen für die Emergenz chaotischer Strukturen. So kann nicht immer davon ausgegangen werden, dass jedes beliebige System, das die Voraussetzungen erfüllt, auch tatsächlich dazu in der Lage ist, sich chaotisch zu verhalten. Aber auch, wenn gezeigt werden kann, dass ein bestimmtes System zu chaotischem Verhalten fähig ist, muss es dieses Verhalten nicht immer und unter jeder Rahmenbedingung zeigen. In der Regel müssen bestimmte Kontrollparameterwerte vorliegen, damit ein chaosfähiges System auch tatsächlich chaotisch wird.

6.4.3 Einordnung des Chaosbegriffes im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme

Wie im Verlauf des Kapitels 6 deutlich geworden ist, fließen in dem Forschungszweig, der heute vielfach als Chaosforschung bezeichnet wird, verschiedene Arbeiten recht unterschiedlicher fachlicher Disziplinen zusammen. Eine ganz besondere Rolle kommt dabei der Mathematik zu, die die Methoden zur Beschreibung und Analyse komplexer Dynamiken zur Verfügung stellt. Im Zusammenhang mit der geometrischen Behandlung komplexer Systemdynamiken in Phasenräumen sind hier unter anderem die Arbeiten Poincarés und die fraktale Geometrie Mandelbrots zu nennen.

Während ersterer jedoch eine Lösung für ein physikalisches System zu finden versuchte, begründete Mandelbrot einen neuen Zweig der Geometrie, indem er längst verstaubte und anscheinend völlig praxisferne geometrische Spielereien im Computer zu neuem Leben erweckte. Der Zusammenhang zwischen fraktalen Strukturen und der Geometrie chaotischer Attraktoren offenbarte sich erst 1971 durch die Arbeiten von Ruelle und Takens über das physikalische Phänomen der Turbulenz.

Erst 1986 und nach zahlreichen Arbeiten über physikalische und mathematische Systeme wurde der Begriff des Chaos von Mathematikern relativ vage als das stochastische Verhalten eines deterministischen Systems definiert (vgl. Stewart 2002, S. 12). Seit dem hat die Theoriebildung über das Phänomen des deterministischen Chaos rasant zugenommen und zu einer Flut von Arbeiten geführt, die in der mathematischen Grundlagenforschung angesiedelt sind, sodass deren Fruchtbarkeit für empirische Arbeiten über komplexe Systeme heute noch nicht abgeschätzt werden kann. In diesem Sinne ist es vielfach durchaus berechtigt, die Chaosforschung als eigenständige Disziplin im Spannungsfeld zwischen theoretischer und angewandter Mathematik anzusiedeln, wie es die Unmenge an populärwissenschaftlichen und fachbezogenen Publikationen, die das Wort Chaos im Titel tragen, nahe legen.

Chaos ist nur eine von vielen Spielarten dynamischer Systeme

Wird das Phänomen des chaotischen Verhaltens jedoch in einem größeren Zusammenhang betrachtet, so erscheint es als nur eine von vielen möglichen Spielarten nichtlinearer dynamischer Systeme. Erst die Arbeiten von Prigogine und anderen über dissipative Systeme belegen schlüssig, dass komplexe Systemdynamiken in bestimmten beobachtbaren Systemen überhaupt möglich sind. Heute wird vielfach das als Chaosforschung bezeichnet, was noch vor 20 Jahren unter dem Begriff der Synergetik firmierte. Bei dieser zunehmend zu beobachtenden Verschiebung der Betrachtung, weg von der Beschreibung des Verhaltens von Systemen, hin zu der Beschreibung chaotischer Dynamiken, kommt es dazu, dass mindestens ebenso interessanten Phänomenen ein immer geringerer Stellenwert eingeräumt wird. In einem Gespräch mit Rötzer (1997) beschreibt Haken die Beziehung zwischen der Chaosforschung und der von ihm begründeten Synergetik wie folgt:

Zur Chaostheorie: Es gibt eine Tendenz, dass man alles, was mit Selbstorganisation zu tun hat, heute unter das Wort Chaostheorie subsumiert. Die Chaostheorie befasst sich mit wenigen Freiheitsgraden oder wenigen Variablen und stellt fest, dass schon dann, wenn wenige Variable zusammenwirken, ein chaotisches, unregelmäßiges Verhalten zustande kommt. Man kann deshalb fragen, was die Chaostheorie überhaupt mit Selbstorganisation zu tun hat, weil Selbstorganisation ja aus dem Zusammenwirken von sehr vielen einzelnen Teilen entsteht. Eine Flüssigkeit besteht aus vielen einzelnen Molekülen, eine Gesellschaft aus vielen einzelnen Individuen, eine Wirtschaft aus vielen einzelnen Akteuren. Die Synergetik zeigt, dass eben auch ein komplexes System, das aus vielen einzelnen Teilen besteht, durch wenige Variablen, das sind dann die Ordner, beschrieben werden kann. Wenn man dann erst mal bei wenigen Variablen angelangt ist, dann können sie den Gesetzen der Chaostheorie unterworfen sein. Das lässt sich auch herleiten. Insofern ist die Chaostheorie ein Bestandteil der Synergetik. (Haken im Gespräch mit Rötzer 1997)

Für die Klinische Psychologie kann auf eine übergeordnete Systemtheorie nicht verzichtet werden

Die für die Anwendung der Chaosforschung in der klinischen Psychologie wohl wichtigste Folgerung, die aus der Synergetik, verstanden als allgemeine Systemtheorie, abgeleitet werden kann, ist die der Nicht-Stationarität dynamischer Systeme bei Veränderung der Kontrollparameter. Nichtlineare dynamische Systeme sind in der Lage ihr Verhalten qualitativ und grundlegend zu verändern, wenn sich die Kontrollparameter, die die Auslenkung des Systems aus dem thermodynamischen Gleichgewicht regeln verändern. Ein und dasselbe System kann sich einmal chaotisch und dann periodisch verhalten, mal zeigt es ein Chaos mit geringer exponentieller Divergenz und mal mit hoher.

Ändern sich die Kontrollparameter im Verlauf der Zeit, so durchläuft das System immer wieder neue und andere Bifurkationen, die das System mit einer ihm eigenen Geschichte ausstatten und als ein Schlüssel zum Tor der zeitlichen Irreversibilität aufgefasst werden können. Wird ein solches System über einen längeren Zeitraum beobachtet, so zeigt sich eine Fülle immer wieder wechselnder stationärer Attraktoren, die sich auflösen und in andere transformiert werden, sodass die Dynamik insgesamt als nichtstationärer Prozess erscheint. Es sind ganz besonders diese Wechsel in der Prozessgestalt und deren Erklärung durch das Begriffs- und Methodeninventar der Synergetik, die diese Theorie für die Konzeptualisierung von Verhaltensänderungen beim Menschen interessant erscheinen lassen. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, bei der Beschreibung menschlichen Verhaltens nicht auf eine übergeordnete allgemeine Systemtheorie zu verzichten, auch dann nicht, wenn davon ausgegangen werden kann, dass das zu beschreibende Verhalten höchstwahrscheinlich chaotisch ist.

6.5 Formale Aspekte der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme

Ebenso wie bei der Darstellung der klassischen Mechanik und der kybernetischen Regelkreise sollen im Folgenden auch für die Ansätze, die unter dem Dach der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zusammengefasst werden können, noch einmal einige formale Aspekte hervorgehoben werden, die abschließend zu einem vergleichenden Gesamtbild zusammengefasst werden.

Insbesondere bedarf die im Kapitel „Was ist ein System?“ (siehe S. 21ff.) vorgestellte vorläufige Definition des Systembegriffs im Rahmen mathematischer Systemtheorien einer Präzisierung. Der Einfachheit halber sei die Definition hier noch einmal angeführt:

Unter einem System wird eine von der Umwelt abgegrenzte funktional geschlossene Entität verstanden, die aus Elementen besteht, die miteinander in Wechselwirkung stehen. Systeme können offen sein für Austauschprozesse mit ihrer Umwelt. Je nach Tiefe der Systemanalyse können verschiedene hierarchische Ebenen innerhalb eines Systems und heterarchische Wechselwirkungen zwischen Systemen unterschieden werden.

Die allgemeine Definition des Systembegriffs wird von verschiedenen Ansätzen unterschiedlich präzisiert

Wie bereits ausgeführt bleibt dieser Systembegriff relativ offen für verschiedene Interpretationen in Hinblick auf das, was unter einem „Systemelement“ und was unter einer „Wechselwirkung“ verstanden werden kann, sodass damit verschiedene Konzeptionsmöglichkeiten für unterschiedliche Systemstrukturen in den Definitionsrahmen passen, diese jedoch, in Abhängigkeit von den jeweils vorgenommenen Konkretisierungen, zu ganz unterschiedlichen Verhaltensweisen der Systeme führen:

- **Kein Feedback.** Im Rahmen einer klassisch mechanischen Weltsicht werden Systeme als lineale Ketten ohne Rückkopplungsschleifen verstanden. Mögliche Rückkopplungsbeziehungen zwischen den Elementen werden damit explizit aus der Betrachtung ausgeschlossen (vgl. S. 39f.).
- **Negatives Feedback.** In kybernetischen Regelkreismodellen werden hingegen Rückkopplungsschleifen explizit gefordert, bleiben dabei allerdings allein auf negatives Feedback beschränkt (vgl. S. 47f.).
- **Positives Feedback.** Obwohl nicht gesondert besprochen, können Systeme auch unter Rückgriff auf positive Feedbackschleifen konzeptualisiert werden. Solche Systeme sind auch als Teufelskreismodelle bekannt.
- **Gemischtes Feedback.** Komplexe Selbstorganisationsprozesse zeigen sich erst in Systemen, die negative und positive Feedbackprozesse in sich vereinen.

Historisch ist eine fortschreitende Öffnung des Systembegriffs für immer vielfältigere Systeme zu beobachten

Die Entwicklung des systemischen Denkens in den Naturwissenschaften erscheint aus dieser historischen Perspektive als eine zunehmende Ausweitung der Konzeption für immer vielfältigere Systemstrukturen. Diese Entwicklung hat zunächst nur wenig Einfluss darauf, ob die jeweilige Systemstruktur komplexes oder weniger komplexes Verhalten hervorzubringen in der Lage ist. Bereits lineale Ketten können höchst komplexe Prozesse simulieren. Schon die Automatenfiguren des

16. Jahrhunderts waren in der Lage menschliche Bewegungsabläufe realgetreu nachzubilden. Ein großer qualitativer Sprung im systemischen Denken findet erst später mit der Konzeption von Feedbackschleifen und der Formulierung von Regelkreisen statt, die Systeme zumindest rudimentär als selbstorganisierte und operational geschlossene Entitäten erscheinen lassen. Die Beschränkung der Regelkreise auf negatives Feedback macht das Verhalten dieser Systeme jedoch leicht prognostizierbar und beschreibbar.

Ein erneuter qualitativer Sprung zeigt sich durch die prinzipielle Öffnung des Grundmodells für Systeme mit gemischten Feedbackprozessen. Dass solche Systeme ebenfalls in der Lage sind, einfaches homöostatisches Fixpunktverhalten zu generieren, darauf aber nicht beschränkt bleiben, wurde am Beispiel der Verhulst-Gleichung ausführlich demonstriert. Komplexe Formen der Selbstorganisation lassen sich nur für diese Klasse von Systemen beobachten. Die Vorgänge und Prozesse in solchen Systemen lassen sich jedoch nur noch selten ohne eine konkrete mathematische Formalisierung verstehen, sodass die eingangs angeführte Definition um eine mathematische Präzisierung erweitert werden muss.

6.5.1 Systemstruktur

Die Komponenten dynamischer Systeme sind „Variablen“

Die Elemente nichtlinearer dynamischer Systeme sind im mathematischem Sinne als Variablen aufzufassen. Als solche repräsentieren ihre Zahlenwerte (*Values*) jeweils die Ausprägung eines bestimmten Merkmals, z.B. einer physikalischen Größe oder einer psychischen Variablen wie z.B. Angst, Aggression, Freude etc. Die Dynamik in dynamischen Systemen wird daher nicht über qualitative Veränderungen (z.B.: Person X ist gestern ängstlich gewesen und heute aggressiv), sondern über quantitativ abbildbare Merkmalsausprägungen definiert⁷² (z.B.: Die Angst von Person X ist seit gestern zurückgegangen; die Aggressivität ist seit gestern gestiegen.).

Mit der Forderung nach quantifizierbaren Größen ist jedoch nicht automatisch auch ein hoher Anspruch hinsichtlich des Wertebereiches der Variablen verbunden. So können sowohl stetige als auch diskrete Variablen zur Anwendung kommen. Im einfachsten Fall bildet eine solche Variable das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein eines Merkmals durch zwei Zahlenwerte ab.

Nichtlineare dynamische Systeme werden durch Gleichungssysteme formalisiert

Die Wechselwirkungen zwischen diesen Variablen werden in der Form von Gleichungssystemen durch mathematische Funktionen modelliert. Im mathematischen Sinn kann ein dynamisches System also allgemein als ein Gleichungssystem verstanden werden, bei welchem eine Funktion f , die die Wechselwirkungen zwischen den Variablen definiert, auf diese Variablen angewendet wird. Dabei können zunächst zwei Arten von dynamischen Gleichungssystemen unterschieden werden:

⁷² Dennoch liegt der Fokus bei der Analyse dynamischer Systeme weniger auf den konkreten Prozessen als vielmehr auf den Prozessgestalten, die als voneinander abgrenzbare Qualitäten aufscheinen. So ist die Analyse dynamischer Verhaltensmuster durchaus eine Analyse qualitativer Veränderungen.

1. **Iterative Gleichungen.** Iterative Gleichungssysteme beschreiben die Dynamik eines Systems in der Abfolge diskreter zeitlicher Schritte. Der Systemzustand zum Zeitpunkt t_0 ist definiert durch die Werte aller Systemkomponenten. Zum Zeitpunkt t_1 gelangt man bei iterativen Gleichungssystemen durch Anwendung aller Relationen (verstanden als mathematische Operationen) auf die Ausgangsgrößen, die damit einen neuen Systemzustand im Sinne neuer Größen der Systemkomponenten herbeiführen. Daraufhin wird die gleiche „Operationsmatrix“ erneut auf das System angewendet, sodass es zum Zeitpunkt t_2 gelangt etc. Ein Beispiel für ein iteratives Gleichungssystem ist z.B. die Verhulst-Gleichung (vgl. Gleichung 3, S. 107), mit deren Hilfe die Veränderung einer Tierpopulation von einem Jahr auf ein anderes bestimmt werden kann. Iterative Gleichungen haben in der Mathematik eine lange Tradition. Relativ bekannt ist z.B. auch die Berechnung der Quadratwurzel einer beliebigen Zahl durch die folgende iterative Gleichung:

Gleichung 15:
Iterative Gleichung
für das Wurzelziehen

$$x_{n+1} = \frac{1}{2} \left(x_n + \frac{a}{x_n} \right).$$

Die Wurzel aus neun lässt sich demnach wie folgt berechnen: Zunächst wird irgendeine Lösung, z.B. fünf angenommen. Dieser beliebige Lösungswert wird für x_0 und neun für a eingesetzt. Es ergibt sich nacheinander:

$$x_1 = \frac{1}{2} \left(5 + \frac{9}{5} \right) = 3,4; \quad x_2 = \frac{1}{2} \left(3,4 + \frac{9}{3,4} \right) = 3,02; \quad x_3 = \frac{1}{2} \left(3,02 + \frac{9}{3,02} \right) = 3,00007; \dots$$

2. **Differentialgleichungssysteme.** Im Gegensatz zu iterativen Gleichungen werden Differentialgleichungssysteme zur Modellierung stetiger Dynamiken genutzt, sodass prinzipiell für beliebige Zeitpunkte (nicht nur für fest vorgegebene zeitliche Intervalle) Aussagen über den Systemzustand getroffen werden können. Da es sich bei den zu modellierenden Systemen um dynamische Systeme handelt, erfolgt die Formulierung der Gleichungen als Ableitung über die Zeit. Als Beispiele für solche Gleichungssysteme wurde bereits das Räuber-Beute-Modell von Lotka und Volterra (vgl. Gleichung 1.1/2, S. 104ff.) ausführlich besprochen. Für bestimmte Differentialgleichungen ist es jedoch nicht mehr möglich eindeutige Lösungen durch Integration zu bestimmen, sodass nicht selten auf numerische Lösungen zurückgegriffen werden muss.

Die prinzipielle Möglichkeit, die entsprechenden (und sehr zahlreichen) Gleichungen durchzurechnen, inspirierte L. F. Richardson schon 1920 zu einer oft zitierten Phantasie (Ashford 1985): In einem riesigen Amphitheater sitzen zigtausende von Menschen mit kleinen mechanischen Handrechnern und rechnen in fieberhafter Eile die Raum- und Zeitschritte der Gleichungen aus, während Boten ständig mit Resultaten von einem zum anderen rasen und eine Art Dirigent den Fortgang der Zeit markiert und für die Einhaltung der Rand- und Kontinuitätsbedingungen sorgt. Dieser Traum ist dank der Computer schon um die Mitte dieses Jahrhunderts Wirklichkeit geworden. (Untersteiner 1995, S. 140)

Eine vollständige Analyse solcher Systeme ist in einigen Fällen z.B. mittels der Synergetik (vgl. S. 139ff.) möglich.

Damit die formulierten Gleichungssysteme, unabhängig davon, ob es sich um ein iteratives oder um ein Differentialgleichungssystem handelt, dazu in der Lage sind so komplexe Verhaltensweisen wie Chaos zu produzieren, sollte mindestens eine der Beziehungen zwischen den Variablen durch eine nichtlineare Funktion gebildet werden. Man spricht dann im eigentlichen Sinne von *nichtlinearen dynamischen Gleichungen*. Für Differentialgleichungssysteme gilt zudem, dass sie über mindestens drei Variablen verfügen müssen, damit sie chaosfähig werden.

Eine mathematische Formalisierung bedeutet keine Einschränkung auf physikalische Systeme

Inhaltlich ist auch die mathematische Formalisierung von dynamischen Systemen nicht an bestimmte Phänomenbereiche, etwa die der Physik gebunden. Zum einen lassen sich durchaus auch Formalisierungen theoretischer Ansätze in der Psychologie und der Medizin realisieren, zum anderen können auch verschiedene Phänomenbereiche vermischt werden – etwa in Konzepten, die den Menschen als biopsychosoziales System auffassen (vgl. an der Heiden 1992b, S. 59; vgl. auch S. 211ff.).

Die Struktur der Gleichungen gilt als zeitlich stabil

Die Definition von Systemen im Rahmen einer mathematischen Formalisierung mittels Gleichungssystemen führt zu der Forderung nach einer zeitlichen Stabilität der Systemstruktur, d.h. dass dynamische Systeme während des Zeitraumes ihrer „Untersuchung“ als strukturell überdauernde Entitäten aufgefasst werden. Dabei werden Veränderungen zwischen den Relationen der Komponenten nicht generell geleugnet. Sie werden jedoch als relativ „langsam“ im Vergleich zur definierten Systemdynamik aufgefasst. Falls sich jedoch herausstellen sollte, dass ein mathematisch formalisiertes System nur unzureichend dazu in der Lage ist ein bestimmtes Phänomen zu beschreiben, weil unzulässiger Weise Veränderungen in der Systemstruktur vernachlässigt wurden, müssen diese Veränderungen ebenfalls in Form von Gleichungen mit in das Gleichungssystem aufgenommen werden.

Dynamik bedeutet die zeitliche Veränderung dynamischer Muster

Die Dynamik in dynamischen Systemen ergibt sich damit zum einen aus der Beschreibung der zeitlichen Veränderungen der einzelnen Variablen und zum anderen durch qualitative Veränderungen dieses Verhaltens bei Änderung der Kontrollparameter, d.h. durch Umwelteinflüsse, die als Konstanten in den Gleichungen enthalten sind. Da sich also bei nichtlinearen dynamischen Systemen eine zeitliche Konstanz der Systemstruktur und eine qualitative Veränderung des Systemverhaltens nicht ausschließt, sind diese Modelle *sparsam* in ihrer theoretischen Begründung (zur Bedeutung des Kriteriums der Sparsamkeit zur Beurteilung von Theorien vgl. z.B. Breuer 1989, S. 140f.).

Anmerkungen zur Beziehung zwischen Mathematik und „Wirklichkeit“

Obwohl die hier dargestellten formalen Aspekte zur Definition von dynamischen Systemen den Eindruck erwecken könnten, als ob solchen mathematisch modellierten Systemen eine wesensgleiche Entsprechung mit der „Realität“ zukommt, muss der Versuch, ein Phänomen durch Gleichungen abzubilden, weder bedeuten, dass dieses Phänomen mit den Gleichungen gleichgesetzt wird, noch dass dieses Phänomen zwingend als System aufgefasst werden kann. In diesem Sinne gilt es die drei folgenden Aspekte zu beachten:

1. **Konstruktivistische Grundhaltung.** Obwohl die Definition und Abgrenzung eines Beobachtungsausschnittes als System nicht völlig unabhängig von dem beobachtbaren Phänomen vorgenommen werden kann, liegt es im Ermessen des Betrachters, bestimmte Phänomene als System zu begreifen und zu konzipieren.

tualisieren. Eine solche Ein- bzw. Ausgrenzung kann sich weniger an den Kategorien wahr/falsch als an den Kategorien nützlich/nicht-nützlich orientieren. Erkenntnistheoretisch geht dieser Wechsel in der Leitdifferenz auf die erkenntnistheoretische Position des Konstruktivismus (z.B. von Foerster 1981, Maturana 1982, von Foerster 1985, Maturana & Varela 1987, Glasersfeld 1990) zurück. Daran, dass also eine gewisse subjektabhängige Entscheidung bei der Definition von Systemen eine Rolle spielt, ändert auch deren mathematische Formalisierung nichts. Der Vorteil einer solchen Formalisierung vor dem Hintergrund einer konstruktivistischen Erkenntnistheorie liegt darin, dass die Definition des Phänomens formal und nach festen Regeln vorgenommen wird und damit zumindest prinzipiell nachvollziehbar bleibt.

2. **Vorsicht bei der Übertragung.** Eine mathematische Formalisierung bedeutet die Übersetzung eines empirisch beobachtbaren Phänomens in die abstrakte und klaren formalen Regeln gehorchende Sprache der Mathematik, ohne dass deren gegenseitige Entsprechung empirisch geprüft werden könnte. Die Behandlung eines mathematischen Systems mit mathematischen Methoden kann daher zu Lösungen führen, die das empirische System gar nicht besitzt.
3. **Top-down vs. Bottom-up.** Die bisherigen Ausführungen zur Systemstruktur nichtlinearer dynamischer Systeme und auch die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Beispielsysteme könnten den Eindruck erwecken, dass die wissenschaftliche Betrachtung solcher Systeme ein möglichst klar formalisiertes Gleichungssystem voraussetzt, also prinzipiell Top-down zu erfolgen hat. Dies ist jedoch nicht der Fall. Auch eine Analyse des Verhaltens von empirischen Systemen (z.B. durch Zeitreihenanalysen), für die a-priori keine Gleichungen formuliert werden können, ist möglich. Solche Analysen können sowohl explorativ-beschreibend, als auch theoriebildend (Bottom-up) genutzt werden (vgl. ausführlicher S. 262ff.). Damit kann z.B. Chaos auch dann identifiziert werden, wenn das zu Grunde liegende System gänzlich unbekannt ist. Dass es sich in einem solchen Fall um ein System handelt, welches sich mathematisch nur durch nichtlineare dynamische Gleichungssysteme beschreiben lässt, ist dann jedoch ein zwingender Schluss und eine wichtige Anregung für die Theoriebildung.

Zusammenfassend können nichtlineare dynamische Systeme verstanden werden als eine geordnete Menge variabler quantitativer Größen, die durch mathematisch beschreibbare Gleichungssysteme (entweder durch iterative oder durch Differentialgleichungssysteme) miteinander in Beziehung stehen. Sie enthalten mindestens eine nichtlineare Funktion und sind als dissipative Systeme im Sinne von Prigogine aufzufassen. Die Energiezufuhr, die durch Kontrollparameter bestimmt wird, wird im Rahmen der Gleichungssysteme durch Konstanten realisiert (wie z.B. dem Parameter für die Lebensbedingungen im Verhulst-System; Gleichung 3, S. 107).

6.5.2 System-Umwelt Verhältnis: Von offenen und geschlossenen Systemen

Nur dissipative Systeme sind zur Selbstorganisation fähig

Entgegen der z.B. in der systemischen Psychotherapie weitverbreiteten Annahme es bei therapeutischen Systemen mit *geschlossenen Systemen* im Sinne von Luhmann und Maturana (z.B. Maturana 1982, Luhmann 1984, Maturana & Varela 1987; stellvertretend für die systemische Psychotherapie z.B. Ludewig 1992) zu tun zu haben, gehen mathematische Systemtheorien, immer dort wo sie von Selbstorganisation sprechen, von *offenen (dissipativen) Systemen* aus. Allerdings sind mit den Begriffen offen und geschlossen grundsätzlich verschiedene Aspekte gemeint. Auch die in Frage stehenden physikalischen Systeme kann man als *operativ geschlossen* bezeichnen. Das heißt, dass die Mechanismen nach denen das System operiert unveränderlich feststehen und das Verhalten nicht von außen vorgegeben wird, sondern von innen her emergiert (zum Emergenzbegriff vgl. auch Goldstein 1999, Stephan 2001).

Energetisch offene und operational geschlossene Systeme zeigen die Fähigkeit zur Selbstorganisation

Bei einem solchen emergenten Verhalten liegt jedoch die Schlussfolgerung nahe, dass diese Systeme den 2. Hauptsatz der Thermodynamik verletzen, der für geschlossene Systeme einen raschen Systemtod voraussagt. Da aber für physikalische Systeme die Entdeckung der Selbstorganisation an die Erkenntnis gebunden ist, dass sich energetisch offene Systeme ganz anders verhalten können als geschlossene, wird dieses Kriterium zu einem der wichtigsten Merkmale der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme erhoben: Selbstorganisation bleibt auf offene Systeme beschränkt.

Umgekehrt verliefen die Entwicklungen in der Neurobiologie (z.B. Maturana 1982) und der Soziologie (z.B. Luhmann 1984). Dort war man daran gewöhnt, Systeme als offene Strukturen zu beschreiben, womit der Input, den diese Systeme ständig aus der Umwelt erhalten, betont wird. Damit war dann vielfach auch die Auffassung verbunden, dass dieser Input das Systemverhalten determiniert. Die Konzeption der Autopoiese durch Maturana und Varela veränderte diese Sichtweise radikal (vgl. z.B. Maturana & Varela 1987 vgl. auch S. 427f.). Das Modell der Autopoiese geht davon aus, dass biologische Systeme zwar sehr wohl in einem regen Austausch mit ihrer Umwelt stehen, dieser Austausch jedoch nur die Bedingungen für die Möglichkeit des Systemverhaltens bereitstellt, das konkrete Verhalten hingegen aus dem System selbst heraus hervorgeht, indem dieses sich in seinen Operationen beständig auf sich selbst bezieht, sich damit operational schließt und von der Umwelt abgrenzt. Selbstorganisation in diesem Sinne ist also eine Leistung geschlossener Systeme.

Die Unterscheidung zwischen offenen und geschlossenen Systemen orientiert sich damit stärker an der Betonung von Aspekten, die für die jeweilige Wissenschaftsdisziplin eine hohe Bedeutung besitzen, als an unterschiedlichen inhaltlichen Auffassungen über das Wesen der Selbstorganisation. Diese sind in vielen Bereichen kleiner als es auf den ersten Blick scheint, was jedoch nicht bedeutet, dass die beiden Ansätze völlig deckungsgleich wären. Die folgende Tabelle 4 stellt die beiden Theorien in ihren Grundaussagen vergleichend gegenüber.

Autopoietische Systeme	Nichtlineare dynamische Systeme
<p>Verhalten</p> <p>Verhalten wird am Modell einer biologischen Zelle als unabhängig von der Umwelt beschrieben. Lebende Systeme werden als autonome Einheiten aufgefasst, die folgende Verhaltensweisen zeigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Produzieren von Bestandteilen ▪ Transformation von Bestandteilen ▪ Destruktion von Bestandteilen <p>Das Verhalten autopoietischer Systeme verfolgt das immanente Ziel beständiger Regeneration, Aufrechterhaltung und Hervorbringung ihrer Funktion.</p>	<p>Verhalten</p> <p>Verhalten wird als zeitliche Änderung von Variablenausprägungen verstanden. Je nach Komplexität der Systeme und je nach Stärke der zugeführten Energie bilden sich selbstorganisierte Verhaltensweisen heraus, die in vier Klassen eingeteilt werden können:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixpunkt ▪ Grenzyklus ▪ Torus ▪ Chaos <p>Das Verhalten nichtlinearer dynamischer Systeme verfolgt kein intentionales Ziel. Ihre Operationslogik führt jedoch dazu, dass sie die Entropieproduktion durch Selbstorganisation zu verringern versuchen.</p>
<p>System-Umwelt-Verhältnis</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ offen für unspezifische Einflüsse, wie Materie, Energie, Umweltreize ▪ Umwelt ist all das, was das Systemverhalten nicht determiniert (vorausgesetzt, Materie, Energie und Umweltreize sind ausreichend vorhanden) 	<p>System-Umwelt-Verhältnis</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ per Definition offen für Energie (sog. offene bzw. dissipative Systeme) ▪ offen für unspezifische Einflüsse, wie Materie, Energie, Umweltreize ▪ Umwelt ist all das, was das Systemverhalten nicht determiniert (vorausgesetzt, Materie, Energie und Umweltreize sind ausreichend vorhanden)
<p>Besondere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Struktur determiniertheit ▪ Autonomie ▪ Operationale Geschlossenheit ▪ Zwecklosigkeit (verfolgen kein anderes Ziel als ihre eigene Aufrechterhaltung) 	<p>Besondere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Struktur determiniertheit ▪ Autonomie ▪ Operationale Geschlossenheit ▪ Zwecklosigkeit (verfolgen kein Ziel)

Tabelle 4:

Vergleich zwischen autopoietischen und nichtlinearen dynamischen Systemen

Die Tabelle gibt einen groben und stark vereinfachten Überblick über die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen der Theorie der Autopoiese nach Maturana und Varela (z.B. 1987) und der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme (vgl. für einen knappen Überblick über das Konzept der Autopoiese Ludewig 1992, S. 68ff.).

6.5.3 Zeit und Ewigkeit

Im 16. Jahrhundert haben sich Feinmechaniker und Uhrmacher bemüht, komplexe Bewegungsabläufe in Menschen und Tieren möglichst realgetreu nachzubilden. Die Welt und das Universum erschienen ihnen als ewig währende Ordnung der Dinge, also als ein Ort dem nichts hinzugefügt oder weggenommen werden kann. Die Ordnung der Welt war gottgegeben, da dieser sie *ex nihilo* geschaffen hatte. In diesem Sinne konnte komplexe Ordnung nicht neu geschaffen sondern nur annähernd verstanden und in Ausschnitten künstlich nachgebildet werden. So waren die mechanischen Androiden prinzipiell nichts anderes als eine Art Video-Aufzeichnung. Einmal fertig gestellt konnten die Automaten das gewünschte Verhalten immer wieder abspulen. Zur eigenständigen Ausbildung komplexer Ordnungsmuster waren sie nicht in der Lage.

Selbstorganisierte triviale Ordnungsbildung findet sich bereits in Regelkreisen

Selbstständige Ordnungsbildung wurde erst mit Systemen realisiert, die über negatives Feedback verfügten. Allerdings blieb die Ordnungsbildung auf ein einfaches Fixpunktverhalten beschränkt. Auch hier gilt noch die Vorstellung von einem Universum, welches einer vorgegebenen Ordnung gehorcht – einer Ordnung, die sich nicht erst bilden muss, sondern bereits besteht. Der Unterschied zur klassischen Mechanik besteht jedoch darin, dass beschrieben wird, wie eine Ordnung auch bei Störungen durch die Umwelt aufrechterhalten werden kann.

Das Denken in Rückkopplungsschleifen bedeutet eine neue höhere Form des Denkens, löst aber nicht die Vorstellung vom Universum als ewiger Maschine ab. Auch im Rahmen kybernetischer Regelkreise ergibt sich noch keine Veränderung im Stellenwert des Phänomens Zeit, welches seit Newton allein zur Beschreibung von Bewegungen genutzt wird. Zeit tritt in der klassischen Mechanik nicht als richtungsgebende Größe auf. Kein Zustand eines solchen Systems verweist auf einen ausgezeichneten Anfangs oder Endpunkt, alle Prozesse können zumindest prinzipiell umgekehrt werden (vgl. Mainzer 1996, S. 38f.). In diesem Sinne ist es allein eine Frage des Wissens über die Mechanik eines Systems, die darüber entscheidet, ob alle seine Prozesse und Zustände für jede Vergangenheit und Zukunft bestimmt werden können. Diese Vorstellung gipfelte folglich im Laplaceschen Dämon (vgl. S. 41) und war eng mit der Vorstellung von kleinsten nicht mehr weiter teilbaren ewigen Bausteinen der Materie, den Atomen verknüpft (vgl. Abbildung 26, S. 83).

Irreversible Prozesse und der 2. Hauptsatz der Thermodynamik

Eine Reihe von wesentlichen Aspekten der uns umgebenden Welt widersprechen jedoch eklatant der beschriebenen zeitlichen Umkehrbarkeit aller Prozesse. Die Ausbildung einer komplexen Ordnung, wie das Wachsen einer Pflanze aus einem Samenkorn und der Verfall dieser Ordnung, wenn die Pflanze allmählich verblüht scheint einer Regel zu folgen, von der es keine Ausnahme gibt. Die Zeit verläuft nur in eine Richtung. Wie kann das in Einklang gebracht werden mit den mechanischen Gesetzen, die eben solche Prozesse zu erklären versuchen aber selbst keine bevorzugte Richtung der Zeit erkennen lassen? Es ist eine Reihe von philosophischen Antworten auf diese Frage gegeben worden, die im Wesentlichen darauf abzielen, dass neben den einfachen Bewegungsgesetzen höhere Prinzipien, einer anderen Seinssphäre angehörig, die Richtung des Zeitpfeils bestimmen (Seele, Entelechie). Durch die Einführung des Begriffs der Entropie und des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik kam es erstmals zu einer naturwissenschaftlichen Beschreibungen des Zeitpfeils. Allerdings konnte nunmehr zwar der Zerfall von Ordnung beschrieben werden, nicht aber deren Herausbildung.

Selbstorganisation ist möglich

Nichtlineare dynamische Systeme, wie sie z.B. von Prigogine als dissipative Systeme beschrieben werden, sind jedoch in der Lage komplexe hochgeordnete raumzeitliche Strukturen zu generieren, ohne dass ihnen diese, wie den Automatenfiguren des 16. Jahrhunderts, zunächst hätte einprogrammiert werden müssen. Nichtlineare dynamische Systeme fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht bilden selbstorganisiert neue und höhere Ordnungsstrukturen aus. Die dabei auftretenden Prozesse sind in weiten Bereichen nicht reversibel und lassen einen gerichteten Zeitpfeil erkennen.

Obwohl in nichtlinearen dynamischen Systemen stabile Verhaltensmuster ausgebildet werden, die an die Grundmechanismen eines Regelkreises erinnern sind diese Verhaltensmuster nicht immer so trivial wie die Homöostase eines Regelkreises.

Irreversibilität entsteht durch Bifurkationen und im Chaos

Irreversibles und damit historisch gewachsenes Verhalten kann in nichtlinearen dynamischen Systemen für zwei verschiedene Rahmenbedingungen beobachtet werden. Zum einen ist hier die Bifurkation zu nennen, zum anderen die deterministisch chaotische Prozessdynamik. In beiden Systemzuständen wird das System hochgradig empfindlich für kleinste Fluktuationen und Verstörungen durch die Umwelt. Diese Verstörungen können, so mikroskopisch sie auch sein mögen das Systemverhalten nachhaltig und irreversibel beeinflussen. Wäre ein System frei von mikroskopischen Einflussnahmen aus der Umwelt, würde es sich vollständig determiniert und reversibel verhalten. Allerdings ist es praktisch unmöglich ein System frei von Einflüssen zu halten, die *beliebig* klein sein können.

Kritisches Langsamwerden

Irreversibilität durch Bifurkation. In der Nähe eines Bifurkationspunktes sind im Verhalten dynamischer Systeme zwei, sich einander ergänzende, auffallende Verhaltensweisen zu beobachten, die sich grundlegend von denen unterscheiden, die das System fernab von einem Bifurkationspunkt zeigt. Wird ein System immer gleich stark aus seinem Attraktor ausgelenkt, so kann festgestellt werden, dass es fern von einem Bifurkationspunkt eine bestimmte ihm eigene Zeit benötigt, um den Attraktor nach der Verstörung wieder aufzusuchen. Je näher dieses System nun an einen Bifurkationspunkt gelangt, desto langsamer wird es. Es dauert immer länger, bis das System den Attraktor wieder einnimmt. Dieses Verhalten heißt in der Synergetik *kritisches Langsamwerden* (vgl. auch Kapitel 6.2.4, S. 139ff.). Der Attraktor verliert in der Nähe von Bifurkationspunkten seine Macht.

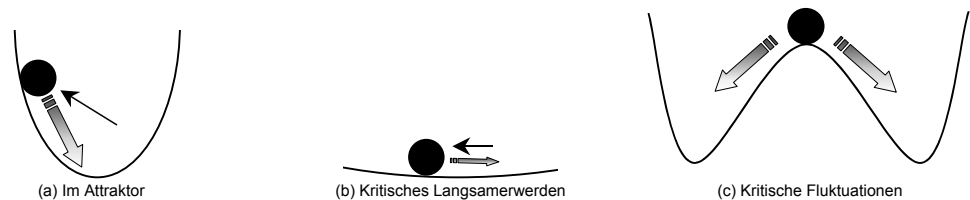


Abbildung 54: Veränderung der Potenziellandschaft bei einer Bifurkation

Potenziellandschaften kartieren das Verhalten eines Systems mit der Hilfe von Hügeln und Tälern. Ein Tal zeigt dabei die „Anziehungskraft“ eines Attraktors und dessen räumliche Ausdehnung. Dieses Einzugsgebiet wird vielfach auch als *Bassin* bezeichnet. Das Systemverhalten wird in Potenziellandschaftsdarstellung abstrahiert dargestellt und bezieht sich allein auf die Stabilität der Dynamik und nicht auf den konkreten Prozess. Die in der Abbildung schwarz dargestellte Kugel kann damit für einen Grenzyklus, ein chaotisches oder jedes andere Verhalten stehen. Durch die Veränderung von Kontrollparametern kommt es in der Nähe von Bifurkationspunkten zu einer starken Veränderung des Einzugsgebietes des Attraktors. Sein *Bassin* wird zunächst flacher (b) und wandelt sich im Bifurkationspunkt zu einer Potenzielspitze (c), die das Systemverhalten in einen von mehreren möglichen neuen Zuständen zwingt (vgl. auch Abbildung 133, S. 449).

Diese im Einzugsbereich eines Attraktors stattfindende Veränderung lässt sich graphisch durch Potenziellandschaften veranschaulichen (vgl. Abbildung 54; für einen Überblick über die graphischen Möglichkeiten zur Darstellung stabiler und instabiler Gleichgewichtszustände siehe Schwegler 1978, S. 182f.). In einer Potenziellandschaftsdarstellung zeigt sich ein Attraktor fern von einer Bifurkation als tiefes Tal mit steilen Hängen. Eine Verstörung muss schon sehr stark sein, um das System zum endgültigen Verlassen des Attraktors zu bewegen. Zudem wird es nach einer Auslenkung, die dies nicht vermag, schnell zurück in sein bevorzugtes

Verhalten finden. In der Nähe eines Bifurkationspunktes verflacht sich das Tal. Nach einer Verstörung braucht das System dann erheblich länger zurück in den Attraktor als das fern von einem Bifurkationspunkt der Fall ist.

Kritische Fluktuationen

Im Bifurkationspunkt hat sich dieses Tal in einen Berg gewandelt. Nun genügen bereits kleinste Fluktuationen, um das System wie einen Spielball von der Bergspitze zu stoßen. Diesen extrem starken Einfluss kleinster Fluktuationen auf das Systemverhalten nennt man in der Synergetik *kritische Fluktuationen*. Erst nach dem Überschreiten des Bifurkationspunktes bildet das System wieder eine stabile, aber in vielen Fällen qualitativ andere Ordnung aus. Welches Muster das System unmittelbar nach einem Bifurkationspunkt einnimmt hängt von den kritischen Fluktuationen ab und ist weder vorhersagbar noch reversibel. Der Zufall bestimmt in Bifurkationspunkten über die weitere Geschichte des Systems.

Irreversibilität durch Chaos. Eine ähnlich starke Wirkung von mikroskopischen Fluktuationen auf das Systemverhalten zeigt sich im deterministisch chaotischen Attraktor, der auch seltsamer Attraktor genannt wird (vgl. S. 157). Während das Systemverhalten bei anderen Attraktoren (z.B. einem Fixpunkt) klar determiniert beschrieben werden kann und damit völlig prognostizierbar ist, ist ein chaotisches Systemverhalten, obwohl hoch geordnet und strukturiert, durch den Einfluss kleinster Fluktuationen dennoch nicht mehr über längere Zeiträume hinweg prognostizierbar. Erst die Wirkung des Schmetterlingseffektes macht einen Prozess zu einem chaotischen Prozess. Vorhersagen über das Systemverhalten können nur über relativ kurze Zeiträume vorgenommen werden, da kleinste Verstörungen durch die Umwelt bereits nach kurzer Zeit Signalstärke erlangen. Im chaotischen Regime ist ein System ein gewaltiger Verstärker kleinster Verstörungen. Aber auch hier determinieren die Verstörungen keinesfalls das Systemverhalten. Das Verhalten dieser Systeme ist immer noch die selbstorganisierte deterministische und damit operativ geschlossene Leistung des Systems, allerdings ist es hochgradig input-sensibel und offen für Verstörungen. Auch hier ergibt sich die Irreversibilität der Prozesse aus der Unvorhersagbarkeit kleinster zufälliger Fluktuationen.

6.5.4 Determinismus und Kausalität

Nichtlineare dynamische Systeme werden verstanden als vollständig deterministische Systeme, die operational geschlossen eine ihnen eigene Dynamik emergent ausbilden. Auch in der Nähe von Bifurkationspunkten und im chaotischen Regime verhalten sich diese Systeme deterministisch, obwohl sie in beiden Fällen stark von äußeren Faktoren abhängig werden. Die Art, wie ein System auf solche äußere Verstörungen reagiert, ist jedoch durch die Systemstruktur determiniert und nicht durch die äußeren Einflüsse.

Dennoch kommt es im chaotischen Attraktor zu einer besonderen Form der sensiblen Abhängigkeit von kleinsten Verstörungen, die es unmöglich macht, das Systemverhalten über einen längeren Zeitraum zu prognostizieren. Der Verlust an Vorhersagbarkeit ist jedoch nichts anderes als ein Verlust der Kausalität bei gleichzeitiger Beibehaltung des systemimmanenten Determinismus.

Chaotische Systeme sind deterministische Systeme. Dennoch verletzen sie die Prinzipien der Kausalität

Im Rahmen philosophischer, erkenntnistheoretischer und wissenschaftstheoretischer Ansätze sind eine ganze Anzahl von Kausalitätsbegriffen formuliert worden (vgl. Breuer 1989, S. 152f.; Rost 2002, S. 23f.). Im Zusammenhang mit chaotischen Systemen soll die Diskussion zweier Kausalitätsprinzipien genügen, um zu verdeutlichen, wie chaotische Systeme zum einen deterministisch bleiben können aber zum anderen Kausalitätsgesetze verletzen.

Als primitivste Formulierung eines Kausalitätsprinzips kann die Aussage gelten, dass jede Wirkung eine Ursache besitzt. Dieser Kausalitätsbegriff impliziert eine Verbindung zwischen einem Ereignis, welches als Ursache bezeichnet wird und einem zweiten Ereignis, der Wirkung, die kausal auf das erste Ereignis folgt und damit von diesem bedingt wird. In der relativ primitiven Formulierung des genannten Kausalitätsbegriffes fehlt jedoch eine Aussage darüber welche Ursachen zu welchen Wirkungen führen. Der Kausalbegriff wird erst dann zu einem nützlichen Instrument für die Vorhersage von Ereignissen, wenn eine solche Spezifikation vorgenommen wird (bereits Wittgenstein⁷³ hat darauf hingewiesen, dass das Kausalitätsgesetz an sich kein Gesetz ist, sondern die Form eines Gesetzes; Wittgenstein 1963/1921, 6.32). Die Definition des Kausalbegriffes über die Aussage, dass auf gleiche Ursachen immer die gleiche Wirkung folgt, nimmt eine solche Spezifikation vor. Die genannte Definition lässt sich noch weiter präzisieren, wenn davon ausgegangen wird, dass auf *exakt* gleiche Ursachen immer *exakt* die gleiche Wirkung folgt (Mainzer 1995, S. 456 bezeichnet diese Art der Verknüpfung von Ursachen und Wirkung als das klassische Kausalitätsprinzip der Philosophie).

Prinzip der schwachen Kausalität: exakt gleiche Ursachen führen zu exakt gleichen Wirkungen

Obwohl dieser Kausalbegriff eine naturgesetzliche Verknüpfung bestimmter Ursachen mit bestimmten Wirkungen vorsieht und damit über einen primitiven Kausalbegriff hinausgeht, bleibt er für ein Verständnis der Welt und die Möglichkeit, Vorhersagen aus der Kenntnis der Gegenwart abzuleiten, nutzlos. Er wird daher auch *Prinzip der schwachen (weil im Wesentlichen nutzlosen) Kausalität* genannt (vgl. Schuster 1989a, S. 86). Da es nämlich niemals exakt gleiche Ursachen geben kann, können auch niemals exakt gleiche Ereignisse identifiziert werden, aus denen eine bestimmte Wirkung zwangsläufig geschlussfolgert werden könnte. Zumindest in Bezug auf die zwischen zwei Ereignissen verstrichene Zeit kann gefolgert werden, dass niemals die Wiederholung völlig identischer Ursachen möglich ist.

Prinzip der starken Kausalität: ähnliche Ursachen führen zu ähnlichen Wirkungen

Daher werden naturgesetzliche Vorgänge im Rahmen des *Prinzips der starken Kausalität* formuliert, welches davon ausgeht, dass *ähnliche* Ursachen zu *ähnlichen* Wirkungen führen (vgl. Schuster 1989a, S. 90f.; Mainzer 1995, S. 457; bereits Born 1955).

Mainzer (1995, S. 457) verweist darauf, dass bereits Gottfried Wilhelm Leibniz⁷⁴ 1687 ausführlich auf diese Form des Kausalitätsprinzips einging. Auch der bekannte Physiker James Clerk Maxwell⁷⁵ betont in einem Essay, das er 1873 im Zusammenhang mit einer Diskussion um den freien Willen verfasst hat, die große Bedeutung des Prinzips der schwachen Kausalität für die Physik:

⁷³ 1889 bis 1951

⁷⁴ 1646 bis 1716

⁷⁵ 1831 bis 1879

It is a metaphysical doctrine that from the same antecedents follow the same consequents. No one can gainsay this. But it is not of much use in a world like this, in which the same antecedents never again concur, and nothing ever happens twice.... The physical axiom which has a somewhat similar aspect is 'That from like antecedents follow like consequents.' But here we have passed ... from absolute accuracy to a more or less rough approximation. (Maxwell 1969/1873, zitiert nach Hunt & Yorke 1993, S. 3)

Chaotische Systeme verletzen das Prinzip der starken Kausalität in zweifacher Hinsicht

Nun zeigt sich aber in chaotischen Systemen eine starke Abhängigkeit des Systemverhaltens von mikroskopisch kleinen Unterschieden in den Variablenwerten. Mit anderen Worten führen einander noch so ähnliche – aber nicht gleiche – Systemzustände bereits nach kurzer Zeit zu unterschiedlichen Wirkungen. Chaotische Systeme verletzen damit das Prinzip der starken Kausalität. Umgekehrt führen sehr unterschiedliche Systemzustände mit der Zeit zu sehr ähnlichen Zuständen (vgl. die Prinzipien der Bäckertransformation, S. 152f. und Abbildung 107, S. 381). Konvergente und divergente Prozesse gehen in chaotischen Attraktoren Hand in Hand (vgl. Abbildung 55).

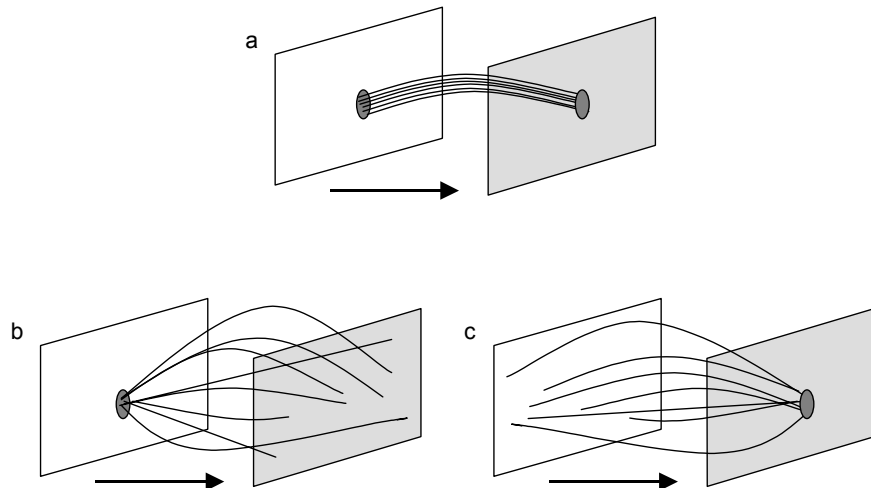


Abbildung 55: Verletzung des Prinzips der starken Kausalität in chaotischen Systemen

- a) Das Prinzip der starken Kausalität: Ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkung.
- b) Divergenz (ähnliche Ursachen haben unterschiedliche Wirkungen) und
- c) Konvergenz (unterschiedliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen) wirken in chaotischen Systemen zusammen (Abbildung nach Schiepek & Strunk 1994, S. 17).

Verletzungen der Kausalität finden sich auch in der Quantentheorie

Dürr (1990) zeigt, wie sich das Verständnis der kausalgesetzlichen Vorhersagbarkeit durch die Erkenntnisse der Quantenphysik im atomaren und subatomaren Bereich geändert hat. Während sich in einem klassisch kausal determinierten Weltbild die Zukunft (und auch die Vergangenheit) als einfache Extrapolation der Bewegung von Körpern aus der Gegenwart erschließen lässt (vgl. S. 81f.), ist die Zukunft in einem quantentheoretisch zu beschreibenden System relativ offen. Allein eine Wahrscheinlichkeitswolke möglicher Entwicklungen kann aufgezeigt werden, ohne dass wirklich exakte Vorhersagen möglich sind. Dieser Verlust an Vorhersagbarkeit und die damit sichtbare Lücke im kausalen Weltgeschehen bleibt jedoch auf den subatomaren Bereich begrenzt und hat auf die makroskopische Ebene,

auf der unsere Sinnesmodalitäten operieren, keine Auswirkung. Es kann jedoch vermutet werden, dass die hochgradige Sensibilität chaotischer Systeme für mikroskopisch kleine Unterschiede in den Variablenwerten dazu beiträgt, dass die Unvorhersagbarkeit des subatomaren Bereiches auf makroskopische Prozesse durchschlägt (vgl. Dürr 1990, S. 46; an der Heiden 1996, S. 117f.).

Unabhängig davon, ob ein solcher Übergriff mikroskopischer Verletzungen der Kausalität auf subatomarer Ebene in die makroskopische Sphäre möglich ist oder nicht, verletzen chaotische Systeme das Gesetz der starken Kausalität, sodass in makroskopischen Systemen ähnliche Phänomene auftreten, wie sie Dürr für das quantenmechanische Kausalitätsverständnis beschrieben hat (vgl. Abbildung 56 und im Gegensatz dazu die Abbildung 26, S. 83).

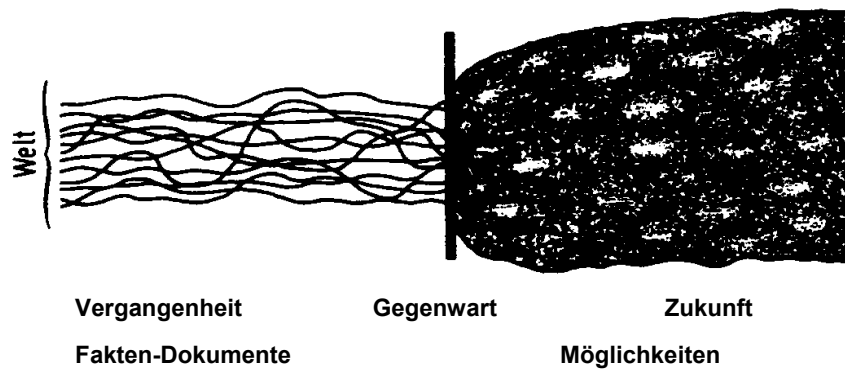


Abbildung 56: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in chaotischen Systemen

In chaotischen Systemen ist die Zukunft relativ offen und erschließt sich die Vergangenheit weniger aus einem „Zurückrechnen“ als durch die Analyse von dokumentierten Fakten (Abbildung aus: Dürr 1990, S. 40. Dürr nutzt die Abbildung zur Veranschaulichung der quantenmechanischen Verletzung der Kausalität).

Die Zukunft in chaotischen Systemen ist ein begrenzter Raum von Möglichkeiten, ohne jede Gewissheit

Auch für chaotische Systeme kann die Zukunft des Systemverhaltens nur noch als eine Möglichkeitswolke beschrieben werden. Die Dynamik ändert sich in Abhängigkeit von kleinen Fluktuationen sehr empfindlich und ist damit nicht oder nur eingeschränkt prognostizierbar. Wie weit eine Prognose für ein bestimmtes System sinnvoller Weise reichen darf, hängt vom System und dessen Ausmaß an Chaotizität ab. Zudem spielen Aspekte der Operationsgeschwindigkeit, d.h. des zeitlichen Horizontes eines Systems eine Rolle. Während die typischen Prozesse in einem Computer sich heute im Gigahertz-Bereich abspielen, müssen Klimamodelle zeitliche Veränderungen im Bereich von mehreren hundert Jahren berücksichtigen. In jedem Fall gilt für ein chaotisches System jedoch, dass kleine Fluktuationen nach relativ kurzer Zeit (gemessen am zeitlichen Horizont) selbst Signalstärke erreichen, sodass eine sinnvolle Prognose spätestens bei Erreichen der Signalstärke nicht mehr möglich ist. Dennoch verfügt auch ein chaotisches System über eine hoch strukturierte Ordnung. Der chaotische Attraktor kennzeichnet die bevorzugten Zustände eines solchen Systems. Die Wahrscheinlichkeit, dass es von sich aus andere, nicht zum Attraktor gehörende Zustände einnimmt ist relativ gering. Damit verhalten sich chaotische Systeme nicht wahllos. Auch wenn die Dynamik nicht im Detail vorausgesagt werden kann, wird sie sich doch im Bereich des Attraktors abspielen.

Die Vergangenheit eines chaotischen Systems lässt sich nicht aus der Gegenwart erschließen, sondern nur mehr „archäologisch“ rekonstruieren

Umgekehrt kann auf Grund der Irreversibilität der Prozesse nicht zwingend auf einen bestimmten Verlauf des Geschehens in der Vergangenheit geschlossen werden. Ganz unterschiedliche und im Detail nicht mehr rekonstruierbare Ereignisse haben zur „Geschichte“ des Systemverhaltens beigetragen. Auch eine noch so exakte Kenntnis über den gegenwärtigen Systemzustand erlaubt es nicht Rückschlüsse darüber zu ziehen, in welchem Zustand sich das System in der Vergangenheit befunden hat. Statt dessen lässt sich die Vergangenheit eines Systems nur noch „archäologisch“ aus den Spuren, die es hinterlassen hat rückblickend erschließen. Dabei ist es durchaus möglich, die Geschichte des Systems bis in die Gegenwart als einfache lineal-kausale Kette von Ereignissen „zu erzählen“. In diesem Sinne kann eine Automatenfigur eine bestimmte Szene „nachspielen“. Das tatsächliche Zustandekommen der entsprechenden Szene im Leben eines Menschen vermag die Maschine jedoch nicht zu erklären.

6.5.5 Die Teile und das Ganze

Bereits seit der Formulierung der Gestaltgesetze ist in der Psychologie die Behauptung darüber bekannt, dass *das Ganze mehr als die Summe seiner Teile* ist. Eine solche Aussage ist vor dem Hintergrund eines klassisch mechanischen Weltbildes und der mit ihm einhergehenden Forschungsmethodik hochgradig provokant. Dass nämlich das Ganze nichts anderes als die Summe seiner Teile ist, dass sich komplexe Vorgänge in der Natur in einfachere Bausteine zerlegen lassen, die jeweils einzeln gezielten experimentellen Manipulationen zugänglich sind, bildet den Kern des Selbstverständnisses und Erkenntniszuganges der klassischen Naturwissenschaften.

Ein solches Vorgehen kann jedoch nur dann eine adäquate Beschreibung komplexer Phänomene liefern, wenn die jeweils erbrachten Einzelbefunde und Gesetzmäßigkeiten sich auch tatsächlich wieder zusammenfügen lassen zu einem Gesamtbild. Ein beliebiges „Ganzes“ sollte sich demnach aus der Summe seiner Einzelteile zwingend erklären lassen. Dies scheint für bestimmte Systeme, wie sie oben als lineale Ketten beschrieben wurden (vgl. Abbildung 12, S. 39) auch zu gelten.

Für Systeme mit gemischten Feedbackprozessen verliert das Postulat vom summativen Ganzen dramatisch an Bedeutung. Selbst relativ einfache, mathematisch exakt formalisierte Systeme sind dazu in der Lage, einen ganzen „Zoo“ qualitativ unterschiedlicher Verhaltensweisen zu generieren. Die Kenntnis der einzelnen Beziehungen zwischen den Systemelementen vermag hier keine trivial ableitbaren Einblicke in die Dynamik des gesamten Systems mehr zu geben. Das Verhalten eines solchen Systems kann nur noch phänomenologisch und unter Berücksichtigung der spezifischen Einheit aus den Elementen des Systems und deren Beziehungen zueinander beschrieben werden.

Einfache nichtlineare dynamische Systeme: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass einfache Einzelzusammenhänge, deren Verhalten völlig trivial erscheint, allein durch das Zusammenfügen zu einem größeren Ganzen, nicht triviale, wenig vorhersehbare und in Abhängigkeit vom Energiedurchfluss immer wieder andere Prozessdynamiken generieren, gelangt die Grundaussage der Gestaltpsychologie zu neuen Ehren. In solchen Systemen ist das Ganze tatsächlich mehr als die Summe seiner Teile.

Nichtlineare dynamische Vielteilchen-Systeme: Das Ganze ist weniger als die Summe seiner Teile

Die Beschreibung von hoch komplexen und wandlungsfähigen Vorgängen auf der Grundlage relativ einfach strukturierter Systeme umfasst jedoch nur einen Teil der Phänomene, die mit Hilfe der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme verstanden werden können. Für einige Systeme zeigt sich nämlich auch der gegenteilige Effekt, der sich mit der Aussage zusammenfassen lässt, dass das Ganze in solchen Systemen weniger als die Summe seiner Teile ist (vgl. dazu auch Willke 1983). Insbesondere die Synergetik liefert vor dem Hintergrund der Lasertheorie ein eindruckliches Beispiel dafür, wie ein aus nahezu unendlich vielen Teilen bestehendes System vom mikroskopischen Chaos in ein hochgeordnetes Verhalten übergehen kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Prozesse nichtlinearer dynamischer Systeme nicht einfach summativ aus dem Verhalten ihrer Einzelelemente erschlossen werden können. Während eine Klasse von Systemen komplexere und vielfältigere Dynamiken generiert als sie aus der Kenntnis der Elemente zu vermuten wären, neigt die andere Klasse von Systemen dazu ihre Komplexität zu verringern und dort eine Ordnung auszubilden, wo zuvor völlig Unordnung herrschte. Als bloße Summe ihre Teile können beide nicht mehr betrachtet werden.

6.5.6 Entstehung komplexer Ordnung (Selbstorganisation)

Ludwig Boltzmann⁷⁶ hat den größten Teil seiner Karriere dem Versuch geopfert den 2. Hauptsatz der Thermodynamik auf der Grundlage mechanischer Gesetzmäßigkeiten herzuleiten. Immer dann, wenn er glaubte tatsächlich gezeigt zu haben, dass die auf Entropiezunahme beruhende Irreversibilität in geschlossenen Systemen nicht nur phänomenologisch erfahrbar, sondern tatsächlich beweisbar ist, wurden schwer zu widerlegende Einwände gegen seine Entwürfe vorgebracht (vgl. Uffink 2001, S. 387f.). Eines der berühmtesten Gegenargumente, nämlich der so genannte „Wiederkehrwand“, stammt von Henri Poincaré. Immer dann, so lautet Poincarés Argumentation, wenn ein System mit endlich vielen Freiheitsgraden einen bestimmten Zustand aufweist, muss es sich folglich um einen wahrscheinlichen Zustand des Systems handeln. Da aber nur Systemzustände, die eine Wahrscheinlichkeit von Null besitzen, niemals eingenommen werden, spricht nichts dagegen, dass ein System nach einem mehr oder minder langen Zeitraum noch einmal den gleichen Zustand einnehmen wird. Dass also ein hochgeordnetes dynamisches Verhalten, den Voraussagen des 2. Hauptsatzes folgend, irreversibel den Entropietod sterben muss, erscheint zwar als sehr wahrscheinlich, völlig unmöglich ist es jedoch nicht, dass sich ein solcher Prozess umkehrt und das System nach einiger Zeit hochgeordnet wieder aufersteht. Diese Überlegungen führten zu der berühmten Annahme, dass auch ein Affe durch wildes Herumhämmern auf einer Schreibmaschine irgendwann einmal ein Sonett von Shakespeare zustande bringen könnte. Dass die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis relativ gering ist, widerlegt jedoch nicht die Tatsache, dass Shakespeare in der Lage war ein Sonett zu dichten⁷⁷. Mit Hilfe welcher Fähigkeit gelingt ihm etwas, worauf man nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit nahezu unendlich lange warten müsste?

⁷⁶ 1844 bis 1906

⁷⁷ Hinzu kommt, dass der imaginäre Affe nicht einmal bemerken würde, dass er ein Sonett zustande gebracht hätte. Auf der Tatsache, dass Shakespeare hingegen in der Lage ist sein eigenes Werk zu beurteilen und wenn nötig zu verbessern, beruht sein Vorteil gegenüber dem Affen. Denn erst durch diese Rückkopplung bildet sich ein selbstorganisationsfähiges, sich selbst optimierendes System.

Wie gelingt es, allgemein gesprochen, bestimmten Systemen, eine höchst komplexe, kunst- und „sinnvolle“ Ordnung zu erzeugen? Bereits in den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat sich der Physiker Erwin Schrödinger dieser Frage vorsichtig von zwei Seiten genähert. Zum einen versucht er durch den Begriff der „negativen“ Entropie zu erklären, wie es lebende Systeme vermögen sich über einen relativ langen Zeitraum fernab von thermodynamischem Gleichgewicht zu bewegen. Zum anderen versucht er sich an einer Erklärung dafür, wie lebende Systeme ihre hoch komplexe Struktur durch Fortpflanzung reproduzieren können ohne dass diese sensible Struktur nach einigen Generationen zerfällt. Wesentliche Impulse zur Erforschung des menschlichen Genoms gehen auf die Arbeit von Schrödinger zurück (vgl. Schrödinger 1989/1944). Die Beschränkungen, die sich Schrödinger in seinen Aufsätzen auferlegt, sind jedoch klar ersichtlich. Er widmet sich vornehmlich der Frage, wie lebende Organismen sich gegen den Zwang des 2. Hauptsatzes überhaupt wehren können, nicht jedoch wie ihre Genese abgelaufen sein könnte (vgl. S. 87f.).

Im Verlauf der vorangegangenen Kapitel konnte anhand mehrerer Beispiele gezeigt werden, dass die Fähigkeit zur Ordnungsbildung eine Eigenschaft bestimmter nichtlinearer dynamischer Systeme ist, die sich durch Dissipation fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Durch die theoretischen Arbeiten von Prigogine, Haken und anderen sind erstmals Einblicke in die „Selbststrukturierung der Materie“ möglich geworden. Philosophisch und naturwissenschaftlich kommt dabei der Vorsilbe „Selbst“ eine besondere Bedeutung zu. Dass nämlich Menschen dazu in der Lage sind, komplexe Ordnungsstrukturen, verstanden als z.B. Kunst, Architektur oder Wissenschaft, hervorzubringen, ist relativ offensichtlich, dass sie dies jedoch allein aus sich selbst heraus vermögen, ohne dass ihnen *exakt* dieses Verhalten vorherbestimmt „einprogrammiert“ wurde, ist hingegen durchaus erstaunlich. Die Frage danach, wer den Programmierer eines Androiden programmierte (zum Homunkulusproblem siehe S. 36ff.), kommt vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zu der Antwort, dass sich bestimmte Systeme durchaus auch selbst „programmieren“ können und damit ein Verhalten zu zeigen in der Lage sind, welches ihnen nicht a priori mitgegeben wurde.

6.6 Die Evolution des systemischen Denkens – Zusammenfassung

Ausgehend von einer Minimaldefinition des Systembegriffs wurden bisher drei Ansätze dargestellt, die jeweils unterschiedliche Präzisierungen der Minimaldefinition anbieten. Dabei konnte gezeigt werden, dass der jeweils eingenommene Blickwinkel zu unterschiedlichen Interpretationen der belebten und unbelebten Welt führt. Insbesondere in Bezug auf die klassische Mechanik, die im eigentlichen Sinne noch nicht als Systemtheorie aufzufassen ist, und die Kybernetik wurde weitestgehend eine historische Perspektive eingenommen, die weit davon entfernt ist eine wirklich vollständige Übersicht über die verschiedenen Strömungen geben zu wollen. Vielmehr dienen sie als Folie und Vergleichsgrundlage, vor deren Hintergrund sich die Konzepte der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme und deren Bedeutung für die Beschreibung komplexer Vorgänge klarer erkennen lassen. Alle drei Ansätze wurden jeweils abschließend in Bezug auf sechs ausgewählte Kriterien diskutiert:

1. **Prototypische Systemstruktur.** Im Rahmen einer relativ offenen Definition des Systembegriffes unterscheiden sich die diskutierten Ansätze vor allem in der Art, wie sie den Aufbau eines Systems prototypisch beschreiben. In der Diskussion über den jeweils typischen Aufbau eines Systems erscheint insbesondere die Frage danach bedeutsam, ob und wie der jeweilige Ansatz Feedbackprozesse (Linealität vs. Nichtlinealität) konzeptualisiert.
2. **System-Umwelt-Verhältnis.** Dass die klassische Mechanik nicht im eigentlichen Sinne als Systemtheorie verstanden werden kann, liegt u.a. darin begründet, dass das System-Umwelt-Verhältnis nicht explizit thematisiert wird. Zwischen einem System und seiner Umwelt wird nicht explizit unterschieden. Systeme werden daher nicht als funktional geschlossene Entitäten beschrieben. Erst im Zuge der Formulierung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik rücken Fragen über offene und geschlossene Systemstrukturen vermehrt in den Fokus der Betrachtung, womit dann vor allem die Offenheit bzw. Geschlossenheit für den Austausch von Energie und Entropie gemeint ist. Auf der phänomenologischen Seite stellt sich zudem für jeden der drei theoretischen Ansätze die Frage, wie Systeme auf Verstörungen aus der Umwelt reagieren.
3. **Zeit und Ewigkeit.** Über das Wesen der Zeit kann trefflich gestritten werden. Insbesondere die Frage danach, ob dem Zeitpfeil eine bestimmte, nicht umkehrbare Richtung zukommt, ist im Rahmen der Diskussion um komplexe Systeme von Bedeutung.
4. **Determinismus und Kausalität.** Eine ganze Reihe von praktisch-methodologischen aber auch wissenschaftlich-theoretischen Implikationen gruppieren sich um den Themenbereich des Determinismus und der Kausalität in komplexen Systemen. So sind deterministische Systeme einer wissenschaftlichen Beschreibung verhältnismäßig leicht zugänglich. Intervention und Prognose setzen zudem möglichst einfache lineal-kausale Modelle sowie das Prinzip der starken Kausalität voraus.
5. **Teile und Ganzes.** Eine Systemtheorie als eigenständige Disziplin ist verzichtbar, wenn sich das Verhalten eines Systems aus der einfachen Summe seiner Teile relativ trivial ermitteln lässt. Gelingt dies jedoch nicht mehr, so sind damit Folgerungen über methodisch-empirische Zugänge verbunden. Klassische

Experimente, die sich am Paradigma der isolierenden Variation orientieren, sind z.B. an die Gültigkeit des Summativitätsprinzips gebunden. Auf der anderen Seite gelangen ältere Ansätze und Forschungstraditionen, wie z.B. die Gestaltpsychologie vor dem Hintergrund moderner Systemtheorien zu neuen Ehren.

6. **Entstehung komplexer Ordnung.** Phänomene organisierter Komplexität sind in der belebten und unbelebten Natur allgegenwärtig. Angefangen bei Gesteinsformationen, Kristallgittern, komplexen anorganischen Verbindungen über einfache organische Strukturen, den Blattformen von Pflanzen bis hin zu höheren Lebewesen, zeigen sich Strukturen die sich auf der einen Seite durch eine nahezu unbegrenzte Komplexität auszeichnen, auf der anderen Seite aber hoch geordnet sind. Wie kann die Entstehung solcher, sich durch organisierte Komplexität auszeichnenden Strukturen erklärt werden? Die drei dargestellten Ansätze geben auf diese Frage recht unterschiedliche Antworten.

Verschiedene systemtheoretische Konzeptionen unterscheiden sich zunächst in der zu Grunde gelegten Systemstruktur

In folgenden Tabelle 5 werden die drei theoretischen Ansätze in Hinsicht auf die genannten Kriterien überblicksartig und zusammenfassend dargestellt. Dabei zeigen sich zunächst die bereits mehrfach angesprochenen Unterschiede in der Konzeption der Systemstruktur. Während die klassische Mechanik keine Feedbackprozesse vorsieht, erweitert sich das Modell im Regelkreis um die explizite Nutzung negativen Feedbacks. Noch einmal erweitert wird die Systemstruktur im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. Vor dem Hintergrund des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik reicht eine solche Erweiterung der Systemstruktur jedoch nicht aus, um grundsätzlich neue Phänomene zu beschreiben. Die bis weit in das letzte Jahrhundert vorherrschende ausschließliche Betrachtung energetisch geschlossener Systeme führte nur zu der ernüchternden Erkenntnis, dass jedes System, unabhängig von seinem konkreten Aufbau, relativ schnell dem Systemtod zustrebt. Es genügt also nicht, möglichst viele Beschränkungen hinsichtlich der Systemstruktur aufzuheben. Hinzu kommen musste die Öffnung der Systeme für eine beständige Energiezufuhr und Entropieabfuhr, damit erstmals die emergente Entstehung organisierter Komplexität sichtbar werden konnte.

Aus dieser Perspektive betrachtet wurde das systemwissenschaftliche Denken zunehmend offener. Beschränkungen hinsichtlich der Systemstruktur wurden zunehmend aufgegeben. Die Beschränkung auf einmalig mit Energie versorgte, geschlossene Systeme wurde erweitert um Konzepte der Dissipation. Daraus erst ergab sich eine weitere Öffnung, nämlich die der Dynamik der betrachteten Systeme. Selbstorganisiert ist selbst ein einfaches aus wenigen Variablen bestehendes System zu unzählbar vielen, komplex geordneten Verhaltensweisen fähig.

Die „Offenheit“ der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme und die Überraschungen, die sie für die Forschung bereithalten, werden jedoch teuer erkaufte. Neben einem sehr hohen Innovationspotenzial für die Theoriebildung und die empirische Forschung fordern diese Ansätze auf eine radikale Weise dazu auf, einfachen (linealen und linearen) Lösungsansätzen zu misstrauen. In dem Maße, in dem nichtlineale, nichtlineare Systeme zur Ausbildung organisierter Komplexität fähig sind, können sie zwar eine sparsame Erklärung solcher Phänomene darstellen, ihre Behandlung, Analyse und ihr Verständnis sind häufig jedoch an einen enormen mathematischen Aufwand gebunden und erfordern nicht selten eine Toleranz für logische Widersprüche (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 124f. und vgl. S. 209f.).


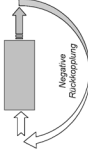
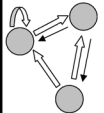
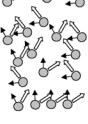
		Klassische Mechanik	Kybernetik	Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme
Protypische Systemstruktur				Systeme mit wenigen Freiheitsgraden  Vielteilchen-Systeme mit vielen Freiheitsgraden 
Feedback		Lineale Kette Kein Feedback	Regelkreis Negatives Feedback Nichtlineal	Dynamische (iterative bzw. Differential-) Gleichungssysteme Gemischtes Feedback Nichtlineal
2. Hauptsatz		Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik wird idealisierend außer Acht gelassen bzw. spielt bei der Beschreibung der Systeme keine wesentliche Rolle	Es handelt sich um idealisierte Systemstrukturen, die sich in verschiedenen Anwendungsfeldern identifizieren lassen. Die Energieversorgung des Systems spielt bei dieser Idealisierung keine besondere Beachtung.	Komplexe selbstorganisierte dynamische Strukturen sind an Dissipation gebunden, d.h. an eine beständige Energieversorgung und Entropieabfuhr, die das System über eine längere Zeit fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht hält.
Energie		Da idealisierend keine Entropieerzeugung beachtet wird, gilt der Energieerhaltungssatz ohne Einschränkungen. Findet der 2. Hauptsatz jedoch Beachtung, bedeutet die rasche Entropiezunahme einen schnellen Systemtod.	Operative Schließung gegenüber der Umwelt. Verstörungen aus der Umwelt begegnet ein Regelkreis mit negativem Feedback, indem er sich beständig selbst „beobachtet“ und entsprechend reagiert.	Operative Schließung gegenüber der Umwelt. Verstörungen aus der Umwelt begegnet ein nichtlineares dynamisches System nach Maßgabe seiner eigenen Prozesslogik. In der Regel behält es dynamische Ordnungsmuster (Attraktoren) bei.
Verstörung		Vollige Offenheit gegenüber der Umwelt. Keine operative Schließung. Keine Systemgrenzen. Gegenüber Verstörungen durch die Umwelt ist das System „hilflos“.	Die Funktionsweise eines kybernetischen Regelkreises erklärt zeitliche Konstanz bei sich ändernder interner und externer Umwelt (Homöostase).	Durch Bifurkationen und im Falle von Chaos generieren nichtlineare dynamische Systeme irreversible Prozesse. Der Zeitpfeil erhält dadurch eine Richtung. Das System gewinnt eine ihm eigene Geschichte.
Zeit und Ewigkeit		Alle Prozesse sind reversibel (Uhrwerkuniversum, Ewigkeitsvorstellung). Keine ausgedehnten Anfangs- und Endzustände. Kein gerichteter Zeitpfeil.	Triviale, kausal determinierte Prozesse. Zirkuläre Kausalität, die jedoch trivial prognostizierbar bleibt.	Im Fall von Chaos verhalten sich nichtlineare dynamische Systeme deterministisch bei gleichzeitiger Verletzung des Prinzips der starken Kausalität.
Determinismus und Kausalität		Strikte, kausal determinierte Prozesse. Einzige Ausnahme war der Schöpfungssakt.	Ein Regelkreis kann nur in seiner Gesamtheit verstanden werden.	Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Das Ganze ist weniger als die Summe seiner Teile
Teile und Ganzes		Kein qualitativer Unterschied zwischen komplexen und einfachen Systemen. Das Ganze ist die Summe seiner Teile	Organisierte Ordnung in Form von Homöostase besteht bereits und soll weiterhin aufrecht erhalten werden.	Selbstorganisierte emergente Ordnungsbildung. In Abhängigkeit von Kontrollparametern können qualitativ unterschiedliche Ordnungsstrukturen ausgebildet werden.
Beispiele		Mensch-Maschine-Metapher	Thermostat, Fliehkraftpendel	Verlust-System, Lorenz-System Laser, Belousov-Zhabotinsky-Reaktion

Tabelle 5: Vergleich zwischen der klassischen Mechanik, der Kybernetik und der Theorie Nichtlinearer Dynamischer Systeme

Die Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die bisher diskutierten theoretischen Ansätze. Die Darstellung beschränkt sich dabei auf die im Rahmen der vorliegenden Arbeit wesentlich erscheinenden Unterscheidungsmerkmale, ohne den Anspruch eines vollständigen Vergleiches.

Teil II: Systemwissenschaftliche Forschungsmethoden

7. Zugänge zu nichtlinearen dynamischen Systemen

Nichtlineare dynamische Systeme zeichnen sich durch eine große Anzahl an Besonderheiten in ihrem Aufbau und ihrem Verhalten aus, die nicht zuletzt auch Auswirkungen auf die zu ihrer Beschreibung nötigen methodischen und theoretischen Ansätze besitzen. In dem Maße, in dem komplexe Systeme nicht mehr nach der linealen Logik von Ursache und Wirkung beschrieben werden können, ergeben sich für ihre Darstellung und Interpretation weitreichende Herausforderungen. Wie lässt sich ein komplexes System überhaupt noch verbal im Zuge einer wissenschaftlichen Arbeit veranschaulichen, wenn die lineale Darstellung dem nichtlinealen Charakter des Systems nicht gerecht werden kann? Welchen Stellenwert besitzen bei der Analyse komplexer dynamischer Systeme die klassischen Ziele wissenschaftlicher Forschungsbemühungen wie Erklärung, Prognose und Technologie?

Sowohl theoretische als auch empirische Zugänge ändern sich unter dem Blickwinkel einer systemwissenschaftlichen Perspektive

Aber nicht nur die Entwicklung und Darstellung systemwissenschaftlicher Theoriegebäude oder die Ableitung von Folgerungen, Erklärungsansätzen bzw. die Umsetzung solcher Folgerungen im Rahmen technologischer Anwendungen sind unter dem Blickwinkel einer systemwissenschaftlichen Perspektive an neue und andere methodologische Zugänge gebunden. Auch die empirische Beschreibung einer komplexen Systemdynamik erfordert andere statistische Methoden als sie für lineale Systeme Anwendung finden können. So beschreibt ein Mittelwert oder eine Standardabweichung eben keinen dynamischen Aspekt sondern einen statischen, zeitlich invarianten Zustand. Die empirische Beschreibung komplexer Prozessdynamiken ist zum Teil an die Entwicklung neuer Kenngrößen gebunden. Fragen, die in diesem Zusammenhang zu beantworten sind, zielen dabei z.B. darauf ab, wie die Komplexität eines Prozesses quantifiziert oder das Ausmaß der Chaotizität einer erratischen Dynamik empirisch erfasst werden kann.

Insgesamt führt eine systemwissenschaftliche Perspektive also zu einem grundlegenden Wandel in Bezug auf beide Ebenen wissenschaftlicher Bemühungen, der konzeptionellen, theoretischen Modellbildung sowie der empirischen Überprüfung bzw. deskriptiven Beschreibung einer komplexen Systemdynamik. In der Folge ergeben sich dann weitere Fragen, wenn es darum geht, theoretische Modelle und empirische Befunde miteinander zu vergleichen. Wie z.B. lässt sich eine chaotische Systemdynamik, die sich im Rahmen einer Computersimulation aus einem theoretischen Modell ergibt, mit der Dynamik eines realen Systems vergleichen? Da chaotische Systeme auf Grund der sensiblen Abhängigkeit der Prozessdynamik von kleinsten Fluktuationen nie im Detail vorausgesagt werden können, kann das Ergebnis einer Simulation auch nicht auf einfachem Wege, z.B. mittels einer Korrelation mit einem empirisch beobachtbaren Systemverhalten, in Einklang gebracht werden.

Wenn sowohl empirische als auch theoretische Zugänge radikalen Änderungen unterworfen sind, stellt sich die Frage, wie beide aufeinander bezogen werden

Damit lassen sich insgesamt drei Problembereiche benennen mit denen eine systemwissenschaftliche Forschungsmethodologie konfrontiert ist:

1. **Systemwissenschaftliche Modellbildung.** Zunächst ergeben sich eine Reihe von Herausforderungen, die im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Modellbildung konstruktiv gelöst werden müssen.

2. **Empirische Zugänge zu dynamischen Systemen.** Aber auch eine empirische Beschreibung komplexer dynamischer Prozesse ist an neue und andere methodologische Zugänge gebunden, als sie bisher für lineale Systeme genutzt werden konnten.
3. **Verknüpfung zwischen Modellbildung und Empirie.** Letztlich stellt sich insgesamt die Frage danach, wie die verschiedenen methodologischen Ansätze, die sowohl im Hinblick auf eine systemwissenschaftliche Theoriebildung als auch im Hinblick auf die empirische Beschreibung von komplexen Prozessen nötig werden, im Rahmen einer gemeinsamen systemwissenschaftlichen Forschungsmethodologie aufeinander bezogen werden können.

Auf jeden der drei Bereiche soll in den folgenden Kapiteln kurz eingegangen werden, wobei zunächst die Anforderungen an eine systemwissenschaftliche Modellbildung dargestellt werden. Im Vordergrund stehen hier Aspekte der Generierung, Darstellung und Analyse theoretischer Modelle im Rahmen der systemwissenschaftlichen Perspektive. Im Kontext dieser zunächst an theoretischen Fragestellungen orientierten Kapitel wird an verschiedenen Stellen deutlich, wie sehr eine systemwissenschaftliche Modellbildung auch einer grundlegend neuen empirischen Methodologie bedarf, die zusammen mit der systemwissenschaftlichen Theoriebildung zu einem in sich schlüssigen, gemeinsamen systemwissenschaftlichen Forschungsmodell vereint werden sollte. Ein solches systemwissenschaftliches Forschungsmodell wird dann ab Seite 270ff. vorgeschlagen und ausführlich diskutiert. Der Darstellung mathematischer Methoden zur Kennzeichnung und Beschreibung komplexer dynamischer Prozesse bleibt ein eigenes Methodenkapitel vorbehalten (siehe S. 331ff.).

7.1 Systemwissenschaftliche Modellbildung – Als die Theorien laufen lernten

Auf der Ebene der Theoriebildung bedeutet die Berücksichtigung einer systemischen Perspektive wie sie durch die Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme nahegelegt wird, zunächst eine Abkehr von einfachen Aussagen über Ursachen und deren Wirkungen. Komplexe gemischte Feedbackmodelle lassen sich verbal, mit den Mitteln der deskriptiven anschaulichen Beschreibung, nur noch selten erfassen. Der lineale Aufbau einer wissenschaftlichen Abhandlung macht es nahezu unmöglich, komplexe Systeme nicht in kleinere Einheiten zu „zerbrechen“, die dann jeweils einzeln als Ausschnitte aus dem großen Ganzen doch wieder als Ursache-Wirkungs-Ketten beschrieben werden. Wenn ein solches System jedoch nur in seiner „Ganzheit“ verstanden werden kann, sich sein Verhalten nicht als einfache Summe seiner Teile erfassen lässt, dann ergeben sich aus einer solchen analytischen Theoriebildung Beschreibungen, die am Wesen der Phänomene vorbeigehen.

Eine deduktive Logik greift bei komplexen Systemen zu kurz

Neben den Problemen, die sich allein schon aus der Beschreibung einer Theorie ergeben, die nichtlineale Prozesse berücksichtigt, treten noch weit größere Probleme auf, wenn es darum geht, aus einer solchen Theorie Prognosen über das Verhalten des Systems abzuleiten. Eine einfache deduktive Logik greift hier zu kurz. Sie bleibt auf die Ableitung von Folgerungen aus einfachen kausal-gesetzlichen Theorieelementen beschränkt. So ist es durch die graphische Darstellung von Zu-

sammenhängen in komplexen Systemen oder durch die mathematische Formalisierung dieser Zusammenhänge durchaus noch relativ gut möglich komplexe Systeme anschaulich, wenn auch nicht immer verbal deskriptiv, darzustellen. Was ein solches, theoretisch erfasstes System jedoch unter diesen oder jenen Bedingungen für ein Verhalten zeigt, ist nur noch selten trivial ableitbar.

In diesem Sinne ist es nicht wirklich schwer z.B. die Gesetze der Gravitation zwischen zwei Körpern um einen dritten Planeten zu erweitern (vgl. aber auch S. 89ff.). Hier genügen die bereits für zwei Körper bekannten Gesetze, die paarweise auch auf die Wechselwirkungen zwischen dem dritten hinzugekommenen und den beiden anderen Planeten angewendet werden. Die „Theorie“ für die Darstellung der Bewegung von drei Körpern ist leicht skizziert und bedarf für ihr Verständnis keiner besonderen mathematischen Fähigkeiten. Werden hier vereinfachend diskrete zeitliche Intervalle angenommen, so ergeben sich nach Newton leicht folgende Zusammenhänge:

Um die Position eines jeden Körpers in Raum und Zeit zu bestimmen wird in jeder Raumrichtung (x , y , z) seine derzeitige Position und seine Geschwindigkeit (für jede Raumrichtung getrennt) benötigt. Für die Ausgangskoordinate in x -Richtung des ersten Planeten (x_{10} , die 1 bezeichnet den ersten Planeten, die 0 den Startzeitpunkt) ergibt sich nach einem festen Zeitintervall t durch folgende Beziehung die neue x -Koordinate (x_{11}), wobei v_{1x} die Geschwindigkeit des ersten Planeten in x -Richtung kennzeichnet:

Gleichung 16:
Bewegung eines
Körpers in x -Richtung

$$x_{11} = x_{10} + v_{1x}t.$$

Nun ergibt sich die Geschwindigkeit des Planeten durch die auf ihn einwirkende Gravitationskraft und seine Ausgangsgeschwindigkeit. Beide werden hier ebenfalls nur in x -Richtung betrachtet. Allgemein ergibt sich die Geschwindigkeit v eines Körpers aus der auf ihn einwirkenden Kraft F , seiner Masse m und der vergangenen Zeit t , nach folgender Gleichung:

Gleichung 17:
Geschwindigkeit in
Abhängigkeit von
Kraft und Masse

$$v = \frac{F}{m}t.$$

Nun sind für den ersten Planeten jedoch insgesamt drei Geschwindigkeiten zu berücksichtigen: zunächst einmal seine Ausgangsgeschwindigkeit, die Geschwindigkeit, die er im gegebenen Zeitintervall durch die gegenseitige Anziehung mit dem zweiten Planeten und die, die er durch den dritten Planeten erfährt. Alle drei Geschwindigkeiten werden einfach addiert. Mittels dieser, mathematisch nicht sonderlich anspruchsvollen Methodik, lassen sich dann auch vier oder mehr Planeten behandeln: eine einfache Addition der Geschwindigkeiten reicht aus. Für die y - und z -Koordinaten und für die Koordinaten der anderen Planeten lassen sich auf die gleiche Weise die Geschwindigkeiten und damit die zukünftigen Positionen bestimmen.

Der Vollständigkeit halber sei hier noch kurz auf die Bestimmung der Gravitationskraft F zwischen jeweils zwei Planeten eingegangen. Diese ergibt sich nach Newton aus der Gravitationskonstante (γ), den Massen der beiden Körper (m_1 und m_2) und dem Quadrat ihres Abstandes (r^2) über folgende Gleichung (vgl. Grehn et al. 1986, S. 86):

Gleichung 18:
Gravitationskraft

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Um nun die Gravitationskraft in x -Richtung zu erhalten muss F noch mit

Gleichung 19:
Multiplikant zur Bestimmung der Gravitationskraft in x -Richtung

$$-\frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}$$

multipliziert werden.

Die einfache Addition der Einzelzusammenhänge, wie sie hier für das Drei-Körper-Problem exemplarisch skizziert wurde, verleitet jedoch zu der fälschlichen Schlussfolgerung, dass ein beliebiges N -Körper-System sich nicht viel anders verhalten wird als ein Zwei-Körper-System aus dem es jeweils additiv zusammengesetzt ist. Diese Schlussfolgerung gilt aber eben nur für Systeme ohne Feedbackprozesse oder vollständig lineare Systeme. Für nichtlineare, nichtlineare Systeme kann erst eine häufig sehr aufwändige mathematische oder auf Computersimulationen beruhende Analyse ans Licht bringen, welche Verhaltensweisen das System zu generieren vermag. Hier ist dann zudem, in Abhängigkeit von den gewählten Kontrollparametern und Rahmenbedingungen, mit einer unglaublichen Vielfalt an komplexen und weniger komplexen dynamischen Strukturen zu rechnen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine systemwissenschaftliche Modellbildung zumindest mit zwei Problembereichen verbunden ist. Der eine Problembereich betrifft Schwierigkeiten, die sich bei der Darstellung einer komplexen nichtlinearen Modellvorstellung im Rahmen einer lineal angelegten wissenschaftlichen Arbeit ergeben können. Aber auch ein noch so verständlich dargestelltes komplexes System lässt nur selten triviale Schlussfolgerungen über seine Systemdynamik zu. Erratische Verhaltensmuster des deterministischen Chaos, Bifurkationskaskaden bei Veränderungen der Kontrollparameter, Phasen der Intermittenz, die Ausbildung komplexer Tori, etc. umschreiben nur einen kleinen Teil möglicher Verhaltensweisen, die ein nichtlineares dynamisches System in sich zu vereinen vermag. Welches Verhalten jeweils unter bestimmten Rahmenbedingungen gezeigt wird, lässt sich in der Regel nur mehr über aufwändige mathematische Analysen und Computersimulationen erschließen.

Systemwissenschaftliche Modelle bedürfen einer mathematischen Analyse und/oder Simulation ihres Verhaltens

Unter dem pragmatischen Titel „als die Theorien laufen lernten“ haben Schiepek und Schaub (1991) diese Problematik vor dem Hintergrund von theoretischen Ansätzen zur Erklärung der Depressionsentwicklung diskutiert. Werden die empirisch belegten und theoretisch vermuteten Mechanismen der Depressionsentwicklung, die in der Literatur als Einzelbefunde diskutiert werden, zu einem Gesamtbild zusammengefügt, so ergibt sich ein höchst komplexes System mit verschiedensten Feedbackprozessen. Dass dieses komplexe Modell keine trivialen Folgerungen über die Dynamik der Depressionsentwicklung mehr zulässt, wird bereits im Rahmen einer graphischen Darstellung offensichtlich. Erst eine aufwändige Computersimulation konnte in diesem Fall zeigen, dass das Modell in seiner Gesamtheit relativ plausible Prozessdynamiken zeigt, die gut mit klinischen Befunden übereinstimmen (Schiepek & Schaub 1991, aber auch Schiepek & Schoppek

1991, Schiepek & Schoppek 1992). Für eine systemwissenschaftliche Theorie- und Modellbildung scheint es unerlässlich, die erarbeiteten Modelle einer eingehenden mathematischen oder auf Computersimulationen beruhenden Testung zu unterziehen. Diese Forderung gilt jedoch bereits für relativ einfache Systeme, sofern sie über Rückkopplungsschleifen verfügen und nicht explizit als Regel- oder Teufelskreise konzipiert wurden.

Eine präzise mathematische Formalisierung ist unerlässlich

Um jedoch z.B. eine Computersimulation zu ermöglichen genügt es nicht, dass die postulierten Zusammenhänge, wie das in der Psychologie vielfach üblich ist, relativ vage beschrieben werden. Je nachdem welche Beziehungen zwischen den Systemelementen tatsächlich angenommen werden können, ergeben sich gravierende Unterschiede für das jeweilige Systemverhalten. Das folgende Beispiel zeigt, wie die relativ vagen Aussagen, wie sie durch die in der Sozialpsychologie bekannte Frustrations-Aggressionshypothese vertreten werden, so mit konkretem Inhalt gefüllt werden können, dass sich die altbekannte chaosfähige Verhulst-Gleichung ergibt. Obwohl es sich bei der hier gewählten Konkretisierung der Frustrations-Aggressionshypothese um eine bewusst auf die Verhulst-Gleichung (vgl. Gleichung 3, S. 107) hin ausgerichtete Argumentation handelt, die durch keine theoretischen Ableitungen gestützt werden kann außer durch die, dass die Theorie weder etwas darüber aussagt, dass es diese Gleichung nicht sein kann, noch welche denn wahrscheinlicher wäre, zeigt das Modell einige Grundprinzipien sowie Grenzen und Möglichkeiten der Modellbildung in der Psychologie.

7.1.1 Über die Notwendigkeit zur Konkretisierung – Führt Frustration zu Aggression?

Eine der berühmtesten Arbeiten der Sozialpsychologie ist die von der Yale-Group 1939 publizierte Monographie mit dem Titel „Frustration und Aggression“ (Dollard et al. 1939; für einen Überblick siehe z.B. Mummendey 1990). Die Autoren Dollard, Doob, Miller, Mowrer und Sears greifen darin frühe Arbeiten Freuds auf, die noch nicht von einem angeborenen Aggressionstrieb ausgehen⁷⁸. Die Autoren legen bei der Formulierung ihrer Hypothese „Frustration erzeugt Aggression“ besonderen Wert auf die Operationalisierbarkeit und damit auf die empirische Überprüfbarkeit ihrer Hypothesen.

Frustration führt zu Aggression

Unter Frustration verstehen sie im weitesten Sinne einen Zustand der entsteht, wenn ein Individuum an der Erreichung eines Zieles gehindert wird (Blockierung einer Zielreaktion). Aggression wird verstanden als Verhalten, welches auf die Verletzung, Schädigung oder Kränkung eines Organismus abzielt. Beide Konstrukte werden im Rahmen der sog. *Frustrations-Aggressionshypothese* zu der Aussage verknüpft, dass Frustration immer zu irgendeiner Form von Aggression führt. Für mehrere Jahrzehnte bildete die Frustrations-Aggressionshypothese das

⁷⁸ In der Freudschen Psychoanalyse wird die „Antriebskraft“ menschlichen Verhaltens in der Libido, dem Sexualtrieb verortet. Aggression oder Hass tritt in diesem Modell erst dann auf, wenn das geliebte Objekt verwehrt wird (vgl. z.B. Freud 2000/1913a, S. 116f; besonders deutlich in Freud 2000/1915a, S. 99ff). Erst im Zuge der Auseinandersetzung mit Wilhelm Stekel (1868 bis 1940) beschäftigt sich Freud zunehmend mit der Annahme eines eigenen Todes- bzw. Aggressionstriebes (vgl. Freud 2000/1929, S. 246ff, für eine historische Darstellung der Kontroverse mit Stekel und der Entwicklung des Todestriebes siehe Roazen 1976, S. 216ff).

theoretische Zentrum für die empirische Aggressionsforschung, die mit dem Erscheinen der Arbeit von Dollard et al. (1939) erst initiiert wurde (vgl. Mummendey 1990, S. 280).

Aggression führt zum Abbau von Frustration

Tatsächlich weisen Untersuchungen darauf hin, dass die Hypothese nicht nur im Sinne eines „wenn dann“ formuliert werden kann, sondern auch Aussagen über die Stärke der Frustration und der damit einher gehenden Stärke der Aggression gemacht werden können. Stark frustrierte Personen zeigen in der Folge auch eine stärkere Aggression als schwach frustrierte. Dabei muss sich die Aggression nicht immer gegen den Urheber der Frustration richten, auch besteht eine relativ große Auswahl an Möglichkeiten zum aggressiven Verhalten. Man spricht in diesem Zusammenhang von den Möglichkeiten zur *Zielsubstitution* und *Reaktionssubstitution*. Das Ausleben der aufgestauten Frustration in Form von Aggression wirkt reinigend und baut die angestaute Aggressionsenergie im Sinne eines *kathartischen Prozesses* ab.

Frustration führt manchmal zu Aggression

Schon bald nach der Publikation wurde die Hypothese wegen ihres zwingenden Charakters angezweifelt. Bereits 1941 liberalisierten Miller et al. die Hypothese zu „Frustration führt manchmal zu Aggression“ – eine wenig befriedigende Abschwächung ohne viel Erklärungswert.

Erst die Arbeiten von Leonard Berkowitz (Berkowitz 1964, Berkowitz & LePage 1967, Berkowitz 1969) präzisieren das unklare „manchmal“ durch die Annahme *aggressiver Hinweisreize*. Eine frustrierte Person zeigt dann aggressives Verhalten, wenn sie in ihrer Umgebung aggressive Hinweisreize wahrnimmt die ihr signalisieren, dass ein aggressives Verhalten möglich oder gar erwünscht ist. Besonders Aufsehen und vehemente Kritik lösten die Untersuchungen von Berkowitz und LePage (1967) zum sog. *Waffeneffekt* aus. In Experimenten, in denen Versuchspersonen – scheinbar unabsichtlich – zunächst frustriert wurden zeigten diejenigen in der Folge aggressives Verhalten, die im Experimentalraum Waffen vorfanden (z.B. vorgeblich von anderen Versuchspersonen liegen gelassene Springmesser). Obwohl diese Experimente zum Waffeneffekt in der Folge zum Teil bestätigt und zum Teil widerlegt wurden, kann die Erweiterung der Frustrations-Aggressionshypothese als durchaus sinnvoll angesehen werden:

Frustrations-Aggressionshypothese: Eine Person, die in einer Situation an der Erreichung ihrer Ziele gehindert wird (Frustration), zeigt dann verletzendes, kränkendes oder schädigendes Verhalten (Aggression), wenn sie in der gleichen oder einer anderen Situation Hinweise wahrnimmt, die ihr signalisieren, dass aggressives Verhalten eine zur Situation passende Verhaltensalternative darstellt.

Obwohl die Hypothese auf den ersten Blick recht einfach erscheint, stellt sich die Frage danach, welches Verhalten für eine Person in einer konkreten Situation eigentlich vorhergesagt werden kann. Angenommen eine Person befindet sich in einer Situation die sie frustriert und die ihr gleichzeitig vermittelt, dass aggressives Verhalten eine passende Verhaltensalternative darstellt, so müsste sie nach den Mechanismen der Frustrations-Aggressionshypothese nun aggressives Verhalten zeigen. Tut sie dies, so baut sie dadurch ihre Frustration ab. Wenn die Person jedoch weiterhin an der Erreichung ihrer Ziele gehindert wird, was durchaus wahrscheinlich ist, so wird sie auch weiter frustriert, was dazu führt, dass sie auch weiterhin aggressives Verhalten zeigt usw. Die Frage danach, ob die Aggression

letztlich eskaliert hängt davon ab, ob sich beständig mehr an neuer Frustration bildet als abgebaut werden kann und das wiederum hängt davon ab, wie frustrierend einerseits und wie offen andererseits die Situation für aggressives Verhalten ist. Werden diese Überlegungen schematisiert und etwas vereinfacht, so lässt sich das System mit insgesamt drei Variablen, nämlich der Situation als Auslöser, aber auch als Hinweisreiz, der Frustration und der Aggression beschreiben.

Versuch einer mathematischen Formalisierung

Die Abbildung 57 zeigt, wie sich die Variablen gegenseitig beeinflussen. Es ist durchaus naheliegend an dieser Stelle den Versuch zu unternehmen, das schematische Modell in eine mathematische Form zu bringen: Dazu wird zunächst angenommen, dass die Frustration und die Aggression eines Menschen durch geeignete Messinstrumente perfekt messbar sind. Durch diese Messung werden die beiden Konstrukte in Zahlenwerte zwischen Null und Eins überführt, wobei Eins als Maximum der Skala 100%ige Frustration bzw. Aggression bedeuten würde. Inhaltlich entsprechen 100% dem Höchstmaß an Frustration, das ein bestimmter Mensch verspüren kann bzw. dem Höchstmaß an Aggression, das er zu zeigen in der Lage ist. Da Frustration zu Aggression führt könnte man schreiben:

$$Aggression = Frustration.$$

Die Situation bestimmt aber, wie sehr es der Person möglich ist Aggression auch zu zeigen. Je angemessener die Situation für das Zeigen von Aggression wahrgenommen wird, desto höher wird die Aggression auch ausfallen, sodass die Situation in der Gleichung als Proportionalitätskonstante ergänzt wird:

$$Aggression = Situation * Frustration.$$

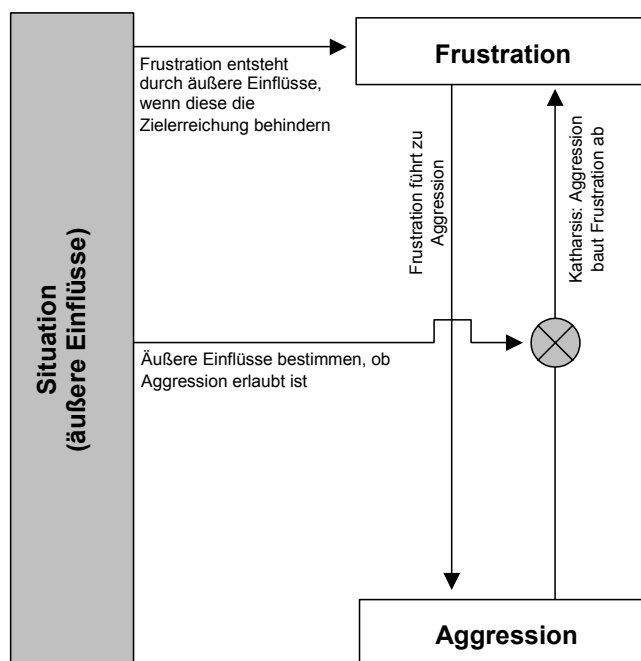


Abbildung 57: Schematische Darstellung der Frustrations-Aggressionshypothese

Die Abbildung zeigt die von der Frustrations-Aggressionshypothese postulierten Zusammenhänge, in deren Zentrum die wechselseitige Beeinflussung von Frustration und Aggression stehen.

Für die Frustration gilt aber nach der Hypothese, dass sie sich – nachdem sie in Aggression umgesetzt wurde – verringert. Die Frustration zum Zeitpunkt $t + 1$ ergibt sich also aus der Frustration zum vorhergehenden Zeitpunkt t minus der Aggression, die zum Abbau der Frustration beiträgt:

$$Frustration_{t+1} = Frustration_t - Aggression_t.$$

Aber auch die Frustration erwächst erst durch äußere situationale Einflüsse, so dass geschrieben werden kann:

$$Frustration_{t+1} = Situation * Frustration_t - Aggression_t.$$

Setzt man nun die oben bereits genannte Beziehung zwischen Aggression und Frustration in die Gleichung ein, so wird erkennbar, dass die Frustration zum Zeitpunkt $t + 1$ immer Null ist:

$$Frustration_{t+1} = Situation * Frustration_t - Situation * Frustration_t.$$

Bedeutung von Persönlichkeitsfaktoren

Dieses Modell ist wenig interessant, bedeutet es doch den jeweils sofortigen Abbau der kurz vorher erfahrenen Frustration. Wahrscheinlich liegt es nicht nur im Wesen der Situation begründet, ob ein solches Verhalten möglich ist. Unter Umständen spielen auch Persönlichkeitsfaktoren, das heißt die Toleranz gegenüber Frustrationen und damit deren Umsetzung in Aggression eine Rolle. Eventuell ist also die Gleichsetzung von Frustration mit Aggression ein Spezialfall. Eine Verallgemeinerung für verschiedene Persönlichkeitstypen wäre möglich, wenn die Aggression mit einer Potenz der Frustration wächst. Der Wert dieser Potenz kann dann als ein solches Persönlichkeitsmerkmal aufgefasst werden:

$$Aggression = (Frustration)^P.$$

Überreaktion

Ist P (als Konstante für die Persönlichkeit) gleich Eins, dann kommt es zu dem bereits beschriebenen Fall des sofortigen Ausgleichs der erfahrenen Frustration. Weist P Werte kleiner Eins auf, bedeutet dies den unangenehmen Umstand, dass die Aggression weitaus heftiger ausfällt, als es vor dem Hintergrund der Frustration gerechtfertigt erscheint. Da die Zahlenwerte für die Frustration zwischen Null und Eins liegen und z.B. $P = 0,5$ die Wurzel aus *Frustration* bedeuten würde, ergibt sich ein größerer Wert für die Aggression als für die Frustration. Im nächsten Zeitschritt wäre die Frustration negativ. Obwohl sich dies durchaus noch als Hoch- oder Machtgefühl interpretieren ließe, gerät das einfache mathematische Modell an seine Grenzen, indem im folgenden Zeitschritt die Wurzel aus einer negativen Zahl gezogen werden müsste.

Gedämpfte Aggression

Ist die Person jedoch moderater in ihrem Verhalten, lässt sich also nicht zu einem übermäßigen Aggressionsausbruch verleiten, so würde das durch einen Wert für P , der größer als Eins ist, modelliert werden könnte. Ist P z.B. gleich Zwei, so fällt die gezeigte Aggression direkt nach einer Frustration geringer aus, als die erfahrene Frustration. Die Frustration wird also nicht sofort abgebaut. Das sich ergebende Modell hätte dann die folgende Form:

$$Frustration_{t+1} = Situation * Frustration_t - Situation * (Frustration_t)^2.$$

Ein vollständiger Frustrationsabbau hängt von der Situation ab

Für Situationen mit Werten kleiner 2,8 zeigt sich dann auch ein nur allmähliches Absinken der Frustration, die erst nach und nach auf Null geht. Einer beständig frustrierten Person gelingt es erst im Laufe der Zeit, die Frustration vollständig durch aggressives Verhalten abzubauen.

Ab einem Situationswert von 2,8, der zu interpretieren ist mit mehr Frustrationen durch die Umwelt und mehr Hinweisreizen dafür, dass Aggression ein mögliches bzw. erwünschtes Verhalten ist, fällt die Frustration nicht mehr auf Null. Sie hält sich homöostatisch auf einem festen Wert. Die Person wird beständig mehr frustriert als sie durch Aggression wieder abbaut. Wird das System durch die situationalen Einflüsse noch weiter angeheizt, so folgt ab einem Wert von 3,0 für die Situation ein Verhalten, bei dem die Frustration abwechselnd hoch und wieder gering wird. Das System reagiert also mal stark frustriert und baut stark Frustration durch aggressives Verhalten ab, wobei es jedoch jeweils über das Ziel hinauschießt und mal besonders hoch aggressiv reagiert und dann wieder eher gelassen.

Periodenverdopplung

Heizt sich die Situation weiter an, folgt eine Kaskade beständiger Periodenverdopplungen, bis ab einem Situations-Wert von ca. 3,569946 (vgl. Schuster 1999, S. 20) ein chaotisches Verhalten auftritt. Die Frustration nimmt ab und zu, ohne dass in dieser Dynamik eine Ordnung erkennbar wäre.

Dieses Beispiel, das auf Grund der relativ einfach strukturierten Frustrations-Aggressionshypothese entwickelt wurde, verdeutlicht, wie auch in der Psychologie aus theoretischen Modellen durch Formalisierungen iterative Gleichungen generiert werden können. Das Beispiel wurde jedoch bewusst so gewählt, dass die Gleichung die Form der Verhulst-Gleichung erhält (vgl. ausführlicher S. 107ff.). Ob das Verhalten, wie es aus der postulierten Gleichung folgt einen empirischen Gehalt besitzt, kann nur sehr schwer überprüft werden. Auf Seite 247ff. wird dieser Aspekt als Hauptproblem solcher Top-down-Analysen ausführlicher diskutiert.

Unabhängig vom „Wahrheitsanspruch“ des Modells ist es dennoch eine plausible Umsetzung der Theorie in ein formales Gleichungssystem. Auch wenn diese Übersetzung nicht die einzig mögliche sein sollte, ist sie dennoch theoriegeleitet entstanden. Erstaunlich ist daher – unabhängig von der Stimmigkeit – die Komplexität, die bereits aus solch einfachen Aussagen, wie sie die Yale-Group 1939 formulierte, folgen kann.

In der Realität kann von weiteren Rückkopplungsschleifen ausgegangen werden

Gerade aber in der Vereinfachung solch komplexer, im Einzelfall von der Persönlichkeit des Individuums und der speziellen Charakteristik der äußeren Einflüsse abhängenden Vorgänge, wie sie die Frustrations-Aggressionshypothese stark übergeneralisierend beschreibt, liegen jedoch noch weitere Folgerungen für die systemische Modellbildung begründet. In einem konkreten Fall müssen weit mehr als die genannten Variablen und weit mehr Wechselwirkungen angenommen werden als sie im Modell bisher vorgesehen sind. Bereits die Annahme darüber, dass die von einer Person gezeigte Aggression allein dem psychischen Gleichgewicht dient, ist eine unzulässige Vereinfachung. In einer konkreten Situation kann die gezeigte Aggression unter anderem auch als mehr oder minder gezielter Versuch gedeutet werden, die Situation gemäß der eigenen Zielerreichungsmotivation zu verändern. Gelingt dies, im positiven wie im negativen Sinne, zeigen sich weitere Rückkopplungsschleifen, die im Falle einer Zielsubstitution hingegen gar nicht

aktiv werden. Daraus folgt dann aber, dass auch ein Modell, das nicht wie im vorliegenden Beispiel zu einem chaotischen Verhalten fähig ist, im Kontext einer konkreten Situation eingebunden sein kann in ein weitaus komplexeres übergeordnetes System. Ob die einzelnen Bausteine dieses größeren Systems aber jeweils einzeln behandelt werden können, um dann später durch eine Addition Aufschluss über das Verhalten des Gesamtsystems zu geben lässt sich im Vorhinein nicht sagen.

**Ohne Formalisierung
erklärt ein Modell
Alles und Nichts**

Es spielt in diesem Zusammenhang nur eine untergeordnete Rolle, ob es angemessen ist in der Psychologie eine solch konkrete Formalisierung, wie sie hier beispielhaft vorgestellt wurde, überhaupt vorzunehmen. Wird sie nicht zumindest angestrebt oder verschiedene Möglichkeiten einer solchen Konkretisierung diskutiert, so ist das oben hergeleitete Modell ebenso wahrscheinlich wie jedes andere plausible Modell. Je nachdem wird sich aber ein vollständig anderes Verhalten ergeben. Ohne jede Konkretisierung ist auch jedes Verhalten möglich. Die Theorie beschreibt dann zwar bestimmte Zusammenhänge, sagt aber kein Verhalten voraus.

Das vorliegende Beispiel hat also gezeigt, dass eine systemwissenschaftliche Theoriebildung erst dann zu einem nutzbringenden Konzept führt, wenn konkrete Modell- und Grundannahmen explizit herausgearbeitet werden. In diesem Zusammenhang werden in den folgenden Kapiteln Leitlinien und Grundfragen zur systemwissenschaftlichen Modellbildung etwas ausführlicher diskutiert. Ausgangspunkt der Diskussion bildet die Frage danach, wann und unter welchen Bedingungen eine systemwissenschaftliche Modellbildung überhaupt erforderlich erscheint.

7.1.2 Wann ist eine systemwissenschaftliche Modellbildung erforderlich?

Bereits im Kapitel 3 (siehe 21ff.) wurde auf die Probleme bei der Abgrenzung und Definition von Systemen eingegangen. Da es sich beim Systembegriff im Wesentlichen um eine abstrahierende und damit künstliche Unterscheidung zwischen einer Umwelt auf der einen und dem System auf der anderen Seite handelt, spielen subjektive Vorlieben und Akzentsetzungen desjenigen, der diese Definition vornimmt, eine nicht unerhebliche Rolle. In den folgenden Kapiteln wurde zudem deutlich, dass je nach konkreter Ausgestaltung des Systembegriffes sehr unterschiedliche Folgerungen über das Systemverhalten möglich sind.

**Über die Attraktivität
einfacher Modelle**

Lineale Modelle, aber auch komplexe lineare Ansätze sowie Teufels- und Regelkreise, verfügen über eine relativ simple Struktur und können in ihrem Verhalten relativ problemlos beschrieben werden. Ableitungen über das Verhalten dieser Systeme können leicht auch über Einzelbefunde zusammengetragen werden und machen eine explizite Diskussion möglicher komplexer Dynamiken auf der Grundlage von Simulationen weitgehend überflüssig. Da in solchen Systemen das Ganze der Summe seiner Teile entspricht, bzw. im Falle von Regelkreisen in seiner Dynamik bereits per Definition bekannt ist, sind diese Modelle leicht handhabbar und schnell analysiert. Diese Vorteile der relativ einfachen mathematischen Behandlung und die damit verbundene Möglichkeit experimentell gewonnene Einzelbefunde im Rahmen eines komplexeren Gesamtmodells nutzen zu können, erklärt zu einem wesentlichen Teil ihre Attraktivität für die Wissenschaften. Aber

nicht immer genügen solche trivialen Ansätze, um das Verhalten eines Systems zu beschreiben.

Dass es überhaupt Systeme geben kann, die nicht mehr über die Summe ihrer Einzelteile beschrieben werden können, ist eine relativ junge und überraschende Erkenntnis der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. In diesem Sinne verkörperte die Überzeugung, dass die Natur durch einfache Gesetze beschreibbar sei, einen der wichtigsten Grundpfeiler und Überzeugungen des klassischen naturwissenschaftlichen Weltverständnisses. Die Erschütterung dieses Grundpfeilers, wie sie zuerst von Poincaré beobachtet wurde, bedeutete eine grundlegende Umwälzung und Auflösung des wissenschaftlichen Selbstverständnisses. Zum ersten Mal wurden prinzipielle, nicht überwindbare Erkenntnisgrenzen deutlich.

Vor diesem Hintergrund stellte sich für Newton die Frage nach einer systemwissenschaftlichen Modellbildung erst gar nicht. Seiner Auffassung nach sollten sich alle Naturerscheinungen nach dem Modell einer zunächst durchgeführten Analyse sämtlicher Einzelbeziehungen und einer späteren Synthese dieser Einzelbefunde zu einem additiven Ganzen beschreiben lassen. Aber bereits er scheiterte an der Lösung des Drei-Körper-Problems, obwohl ihm alle Einzelbeziehungen bekannt waren. Dass eben dieses Drei-Körper-Problem rund 200 Jahre später das Tor zu einem grundsätzlich anderen Naturverständnis aufstieß, lag für Newton noch weit außerhalb der Vorstellungsmöglichkeiten.

Die Krise der akademischen Psychologie

Während mit den heute zur Verfügung stehenden mathematischen Methoden gut geprüft werden kann, ob sich ein mathematisch formalisierter Einzelbefund mit anderen Einzelbefunden zu einem additiven Ganzen relativ trivial zusammenfügen lässt, ergeben sich für die Sozialwissenschaften in diesem Zusammenhang zumindest zwei Problembereiche, von denen der erste auf methodologische Grenzen zurückgeht und der zweite auf psychologischen Barrieren der Forscher bzw. der Forscherinnen selbst beruht.

In Bezug auf die methodologischen Grenzen kann für die Sozialwissenschaften festgestellt werden, dass mathematische Formalisierungen, die für eine umfassende Analyse des Verhaltens eines komplexen Systems unerlässlich sind, in der Regel fehlen. Dort wo solche Formalisierungen vereinzelt vorgenommen wurden (vgl. z.B. Weidlich & Haag 1983, Schiepek & Schaub 1991, Kriz 1992, Schaub & Schiepek 1992, Schiepek, Schoppek & Tretter 1992), können Entscheidungen über die Modellierung der Zusammenhänge mittels nichtlinearer Gleichungssysteme nicht hinreichend begründet werden. Empirische Belege für die Gültigkeit der vorgeschlagenen Modelle werden in der Regel nicht vorgelegt.

Experimente sagen mitunter nichts über das Verhalten eines Systems im Feld aus

Während es im Hinblick auf diesen ersten Problembereich genügt weitere Forschungsbemühungen abzuwarten, betrifft der zweite Problembereich grundlegendere Aspekte impliziter Weltanschauungen und Überzeugungen. Das klassische experimentelle Vorgehen der isolierenden Variation liefert immerhin in vielen Bereichen der Psychologie Ergebnisse zu wiederholbaren und damit replizierbaren Phänomenen. Ähnlich wie für Newton außer Zweifel stand, dass die Bewegungen von drei Körpern mit den Gesetzen für zwei Körper beschrieben werden können, sind die meisten experimentellen Psychologen davon überzeugt, dass die mühsam in methodisch sauberen Experimenten gewonnenen Erkenntnisse etwas mit dem

Verhalten realer Menschen (im Gegensatz zu Versuchspersonen) in realen Situationen (im Gegensatz zu der kontrollierten Umwelt des Experimentallabors) zu tun haben. Es führte zu einer jahrelang andauernden Krise in der akademischen Psychologie, als sich herausstellte, dass sich ein großer Teil von experimentellen und unter Laboratoriumsbedingungen erarbeiteten Theorien in der „Realität“ des Feldes als unnütz erwies (vgl. Holzkamp 1972).

Das Problem, dass mühsam in experimentellen Studien erarbeitete Befunde im Feld nicht mehr nachweisbar sind, nur eine verschwindend geringe externe Validität aufweisen, von anderen Zusammenhängen überlagert oder gar ins Gegenteil verkehrt werden, ändert jedoch wenig daran, dass diese Befunde in kontrollierten Experimenten reproduzierbar auftreten. Dass hier wie dort jeweils grundsätzlich unterschiedliche Gesetzmäßigkeiten gelten, ein komplexes System zur selbstorganisierten Ausbildung hoch geordneter aber komplexer, emergenter Verhaltensmuster in der Lage ist, die in kontrollierten Experimenten gar nicht erst auftreten können, bedeutet eine grundsätzliche methodisch nicht zu überwindende Grenze experimenteller Studien. Die Hoffnung darauf, dass sich diese Lücke zwischen Feld und Labor dann schließen lässt, wenn weitere Einzelbefunde vorliegen, entspringt der Hoffnung, es mit additiv arbeitenden Systemen zu tun zu haben. Ob dies jedoch tatsächlich der Fall ist, lässt sich im Vorhinein nur schwer beantworten.

**Aufforderung zur
Benennung möglicher
Einflussfaktoren**

Die Abgrenzungsregel, die besagt, dass zu einem System diejenigen Elemente gehören, die sein Verhalten insgesamt zu beschreiben in der Lage sind, also die Grenze zur Umwelt dort gezogen werden kann, wo ersichtlich ist, dass die Elemente innerhalb des Systems intensiver und qualitativ produktiver vernetzt sind, als die Beziehungen der Elemente zu Variablen aus der Umwelt, hilft in diesem Zusammenhang nicht sehr viel weiter. Sie gilt sowohl für additiv beschreibbare als auch für übersummativ Systeme. Dennoch wäre es ein erster Schritt in Richtung einer systemwissenschaftlichen Modellbildung, wenn im Zusammenhang mit einem zu beschreibenden Phänomen neben den untersuchten unabhängigen Variablen noch weitere mögliche Einflussfaktoren zumindest diskutiert würden. Die Praxisferne und geringe externe Validität vieler Experimentalstudien ließe sich bereits erheblich lindern, wenn ihnen ein in einem größeren Zusammenhang eingebettetes Forschungsprogramm zu Grunde läge. Der Verweis darauf, dass nacheinander verschiedenste Einflussfaktoren untersucht werden müssen um zu einem Gesamtbild zu kommen unterbleibt in der Forschungspraxis viel zu häufig. Hier ist auch im Rahmen einer klassisch experimentell ausgerichteten Psychologie ein weiter Blick hinein in angrenzende Forschungsfelder, sowohl der eigenen als auch fremder Disziplinen, zu fordern (vgl. dazu ausführlicher S. 211ff.).

Neben der Forderung danach, die in einem Zusammenhang mit einem Phänomen stehenden Variablen explizit zu benennen, lassen sich weitere Kriterien dafür angeben, bei welchen Systemen mit einer komplexen Dynamik gerechnet werden kann und eine systemwissenschaftliche Modellbildung unerlässlich erscheint (vgl. Abbildung 58).

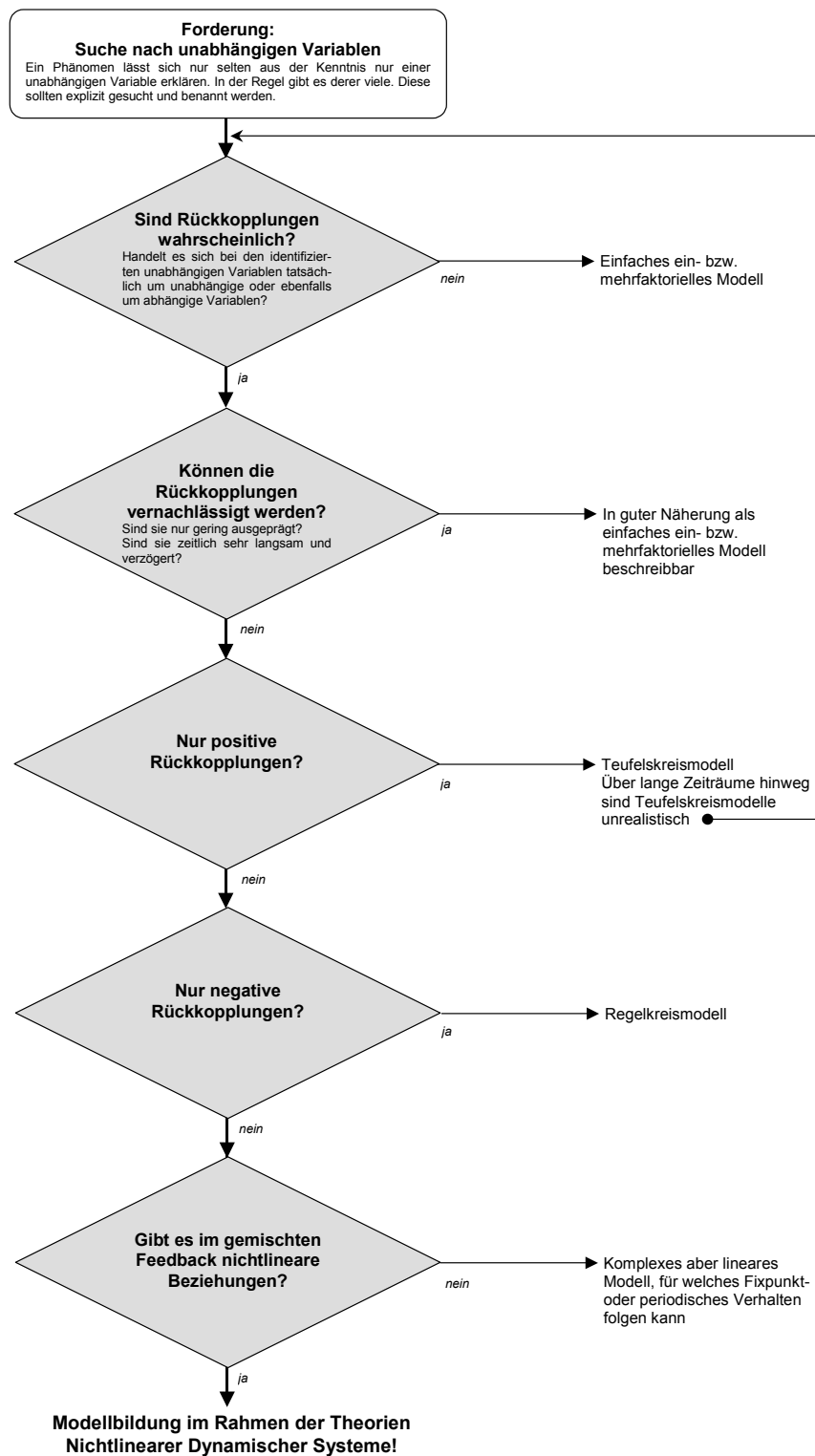


Abbildung 58: Entscheidungsbaum: Wann ist eine systemwissenschaftliche Modellbildung nötig?

Ausgangspunkt des Entscheidungsbaumes ist die Forderung, Phänomene nicht nur vor dem Hintergrund einer einzigen unabhängigen Variable zu analysieren. Ein solcher Fall ist so gut wie für jeden Phänomenbereich unrealistisch. Weitere Prüfungen haben sich an die Identifikation mehrerer Variablen anzuschließen. Es soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass auch empirische Befunde, unabhängig von der theoretischen Ausgangslage, zu einer systemwissenschaftlichen Modellbildung vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zwingen können (vgl. dazu S. 262ff.).

Liegen Rückkopplungsschleifen vor?

Zunächst stellt sich hier die Frage danach, ob zwischen den identifizierten Variablen Rückkopplungsschleifen anzunehmen sind und ob diesen eine stärkere Bedeutung zukommt. Tatsächlich scheint es so zu sein, dass in der Natur Rückkopplungen eher die Regel als die Ausnahme sind. Nicht immer sind diese Rückkopplungen jedoch leicht ersichtlich. Sie können über Systemelemente auftreten, die einem anderen Phänomenbereich angehören und daher bereits im Vorhinein ausgeschlossen wurden. Wenn diese Annahme zutrifft, fordert dies erneut dazu auf, explizit nach möglichen Rückkopplungswegen (also auch nach Umwegen) zu suchen.

Ist eine Vernachlässigung von Feedbackprozessen möglich?

Aber auch wenn solche Rückkopplungsschleifen vorliegen ist damit nicht automatisch gesagt, dass sich ein System auch komplex verhalten muss. Zunächst gilt es zu prüfen, wie stark diese Rückkopplungen im Vergleich zu anderen Kopplungen im System sind. Sind sie nur sehr schwach ausgeprägt, können sie eventuell vernachlässigt werden, ohne dass die Qualität des Modells insgesamt darunter leidet. Ähnliches gilt für den Zeithorizont der Rückkopplungen. Dauert es sehr viel länger, bis ein Output des Systems zurück auf seinen Input wirkt, so kann auch hier die Rückkopplung vernachlässigt werden, wenn das zu beobachtende Phänomen sich in diesem begrenzten zeitlichen Rahmen bewegt.

Auf diese Weise lassen sich durchaus vorhandene aber nicht so relevante Feedbackprozesse eliminieren. Bleiben dann jedoch noch relevante Feedbackschleifen im Modell, die zudem nicht als einfaches gleichgerichtetes, d.h. nur positives oder nur negatives, Feedback beschrieben werden können, sollte in Betracht gezogen werden es mit einem komplexen System zu tun zu haben, das nicht mehr aus Einzelbefunden erschlossen werden kann.

Liegen nichtlineare Beziehungen vor?

Für diese gemischten Feedbackprozesse spielt es jedoch eine wichtige Rolle, ob sie in guter Näherung als linear beschrieben werden können oder ob dies nicht möglich ist. Gerade in der Psychologie ist diese Frage häufig nur auf Grund von Spekulationen zu beantworten. Aber bereits die Weber-Fechnerschen Gesetze der Psychophysik legen es nahe, dass zumindest die Schnittstellen zwischen physikalischen äußeren Einflüssen und dem psychischen System nichtlinearen Charakter besitzen (für einen historischen Überblick vgl. z.B. Benetka 2002, S. 45ff.). Vom Spezialfall einer perfekten proportionalen Beziehung zwischen zwei Variablen kann in der Psychologie wohl nur in Ausnahmefällen ausgegangen werden.

Insgesamt ergibt sich aus den bisher angeführten Leitlinien ein Entscheidungsbaum (vgl. Abbildung 58), der ausgehend von der Forderung nach Benennung von möglichen Einflussfaktoren über die Identifikation und eventuelle Vernachlässigung von möglichen Feedbackschleifen zur Abwägung über deren linearen bzw. nichtlinearen Charakter führt.

Über die Attraktivität systemwissenschaftlicher Modelle

In diesem Zusammenhang darf jedoch nicht vergessen werden, dass der erhöhte Aufwand in der Theoriebildung durch zumindest zwei mögliche Folgen gerechtfertigt erscheint. Zum einen könnten die so erarbeiteten Modelle eine weitaus größere externe Validität erlangen als dies für triviale Ansätze möglich ist. Zum anderen sind solche Modelle nicht selten in der Lage, auch widersprüchliche Befunde bzw. vielfältige Verhaltensweisen zu erklären. Im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse schneiden Modelle, die z.B. sowohl gesundes als auch krankheitswertiges

Verhalten gleichermaßen beschreiben, weitaus positiver ab, als die Bemühungen für die verschiedenen Aspekte menschlichen Verhaltens jeweils einzelne Modelle mit nur begrenzter Reichweite zu formulieren und zu prüfen.

Da aber jedes theoretisch erarbeitete Modell immer nur so gut sein kann wie seine Übereinstimmung mit der Empirie, haben sich sowohl im Rahmen einer systemwissenschaftlichen als auch einer klassisch linealen Theoriebildung empirische Prüfungen des Modells anzuschließen. Auf Grund der erhöhten Komplexität systemwissenschaftlicher Modelle ergeben sich hier jedoch besondere Problembereiche und qualitativ andere Lösungsansätze. In diesem Sinne ist es dann durchaus möglich, dass ein komplexes Modell, obwohl zu einer komplexen Dynamik zumindest prinzipiell fähig, in der Realität auf reguläres Verhalten beschränkt bleibt. In der Folge könnte dieses Modell dann durch einfachere lineare Näherungen ersetzt werden. Aber bereits ein in seinem Verhalten zumindest plausibles systemwissenschaftliches Modell stellt an sich schon ein höchst nutzbringendes Produkt dar, welches in Planspielen und Simulationsstudien zum Erlernen des Umgangs mit Komplexität anregen kann (vgl. S. 255f.). Folgt aus einem Modell jedoch eine komplexe Dynamik wie z.B. die des deterministischen Chaos, ist die empirische Überprüfung des Modells nur noch schwer möglich. Hier müssen sich dann aufwändige empirische Zeitreihenanalysen und Modelltestungen gegenseitig ergänzen und befruchten. Da aber in einem solchen Fall detaillierte Vorhersagen über ein konkretes Systemverhalten ohnehin nicht mehr über lange Zeitintervalle hinweg möglich sind, gewinnen qualitative Beschreibungen des Systemverhaltens (z.B. Einzugsgebiete um Attraktoren, selten und hoch wahrscheinliche Aufenthaltsorte des Systems etc.) eine besondere Bedeutung.

Neben der hier beschriebenen theoriegeleiteten Entscheidungsfindung für die Modellierung eines Phänomens können jedoch auch empirische Befunde (Bottom-up) zu einer systemwissenschaftlichen Modellbildung vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zwingen. Verhält sich ein empirisches System chaotisch, so kann daraus gefolgert werden, dass diesem Verhalten ein nichtlineares, nichtlineales System mit gemischten Feedbackprozessen zu Grunde liegt, für das neben den beobachteten chaotischen Ordnungsparametern auch die Kontrollparameter und deren Einfluss auf das Systemverhalten diskutiert werden sollten.

7.1.3 Anforderungen an die Darstellung von systemwissenschaftlichen Modellen

Auf die Probleme, die sich bei der Darstellung komplexer, sich durch Feedbackprozesse auszeichnender, Systeme ergeben können, wurde einleitend bereits kurz hingewiesen (vgl. S. 183f.). Der lineale Aufbau einer wissenschaftlichen Abhandlung macht es nahezu unmöglich, komplexe Systeme nicht in kleinere Einheiten zu „zerbrechen“, die dann jeweils einzeln als Ausschnitte aus dem großen Ganzen, doch wieder als einfache Ursache-Wirkungs-Ketten beschrieben werden.

Das Problem der Interpunktion

Insbesondere Watzlawick et al. (1969) haben auf die Problematik verwiesen, dass menschliche Kommunikation als kreiskausaler Prozess zu verstehen sei, Menschen jedoch dazu neigen, kommunikative Akte durch willkürliche Setzung eines

beliebigen Anfangs- und Endzustandes, also durch die Festlegung einer „Interpunktion“, in eine Kette von Verursachungen und Auswirkungen zu zerlegen (vgl. auch S. 69f.). Diese Interpunktion, die im Sinne Watzlawicks eine willkürliche Auslegung des einen Verhaltens als Ursache und des anderen Verhaltens als Folge oder Reaktion bedeutet (Watzlawick, Beavin & Jackson 1969), erlaubt es, den Interaktionspartnern einer Kommunikation, z.B. im Falle eines Streites, jeweils den anderen als Schuldigen, d.h. als Verursacher zu bezeichnen.

Es sind verschiedene Möglichkeiten beschrieben worden (vgl. z.B. Watzlawick & Beavin 1980/1966, S. 103ff.) die Beobachter nutzen, wenn sie kreiskausale Interaktionsprozesse in Abfolgen von Einzelhandlungen zerlegen. Watzlawick und Beavin (1980/1966) verweisen dabei ausdrücklich darauf, dass solche Zerlegungen in Einzelhandlungen auf Grund des syntaktischen Aufbaues „unserer Sprache faktisch so gut wie unvermeidlich sind“ (Watzlawick & Beavin 1980, S. 104). In diesem Sinne spiegelt sich bereits in der Struktur syntaktisch einfacher Sätze, bei denen klar zwischen dem Subjekt und dem Objekt eines Vorganges unterschieden wird, eine lineal-kausale Darstellung dieses Vorganges wider.

Menschen neigen zur Interpunktion

Damit bleibt das Phänomen nicht allein auf die zwischenmenschliche Kommunikation beschränkt. Immer dort, wo Beobachter Vorgänge beschreiben, neigen sie sowohl auf Grund der einer Beschreibung zu Grunde liegenden Syntaktik als auch auf Grund ihrer Informationsverarbeitung, die bereits Kant als an kausale Prinzipien gebundene Strukturierungsleistung des menschlichen Denkprozesses interpretiert, dazu, auch komplexe und durch vielfältige Feedbackprozesse zu Stande kommende Phänomene auf der Grundlage einfacher lineal-kausaler Erklärungsmuster zu beschreiben. Ob eine solche lineal-kausale Beschreibung dem jeweiligen Phänomen gerecht werden kann, hängt jedoch von der Systemstruktur ab, die das Phänomen hervorruft.

Watzlawick et al. (1969) verweisen darauf, dass sich Prozesse der zwischenmenschlichen Kommunikation eben nicht mehr adäquat in lineal-kausale Einzelzusammenhänge zerlegen lassen. Für Systeme deren Verhalten sich durch einfache Addition ihrer Einzelteile erschließen lässt, ist eine solche Beschreibung hingegen durchaus angemessen. Für überadditive Systeme führt sie jedoch unweigerlich zu logischen Widersprüchen und dem Problem, dem Verhalten des Gesamtsystems nicht mehr gerecht werden zu können.

Nur verbale Beschreibungen reichen nicht aus

Es ist also sprachlich unmöglich, bei der Darstellung eines komplexen, sich durch Feedbackprozesse auszeichnenden, Systems nicht zunächst willkürlich ein Systemelement herauszugreifen und von diesem ausgehend nacheinander alle anderen zu erläutern. Da die Auswahl des Systemelements, mit dem die Darstellung beginnt, vollkommen beliebig ist, ist es unerlässlich, diese Willkür explizit anzusprechen und auftretende Feedbackprozesse ausführlich zu diskutieren. In diesem Zusammenhang kann es bereits hilfreich sein, wenn der von der einen Variablen ausgehenden Beschreibung eine Darstellung gegenübergestellt wird, die einen anderen Aspekt zum Ausgangspunkt hat. Sobald sich der Kreis der Darstellung zu schließen beginnt sollte nicht vergessen werden, diese Schließung des Vorganges ausführlich darzustellen und dessen Auswirkungen auf den meist mehrere Druckseiten davor besprochenen Ausgangspunkt zu diskutieren.

In der Regel werden rein verbale Darstellungen nicht mehr ausreichen, wenn es um die theoretische Konzeption komplexer überadditiver Systeme geht. Auf graphische Visualisierungen und zum Teil auch auf mathematisch formalisierte Gleichungssysteme kann für solche Systeme kaum verzichtet werden.

Bei der graphischen Darstellung von Systemstrukturen reichen die vielfach in Lehrbüchern zu findenden einfachen Strukturdiagramme mit Kästchen für die Systemelemente und den obligatorischen Doppelpfeilen nur selten aus. Ein Beispiel für ein solches wenig hilfreiches „Herumspielen“ mit Systemelementen und Doppelpfeilen findet sich in Abbildung 59. Die Abbildung zeigt formelle, informelle und nicht-formelle Unterstützungssysteme und ihre Beziehung zur Familie (Andrews, Buchholz & Paolucci 1980, S. 41, zitiert nach Schneewind 1987, S. 1005). Der einzige Schluss, der aus der Darstellung der Unterstützungssysteme gezogen werden kann ist der, dass alles mit allem zusammenhängt. Dabei bleiben zumindest zwei Aspekte ungeklärt.

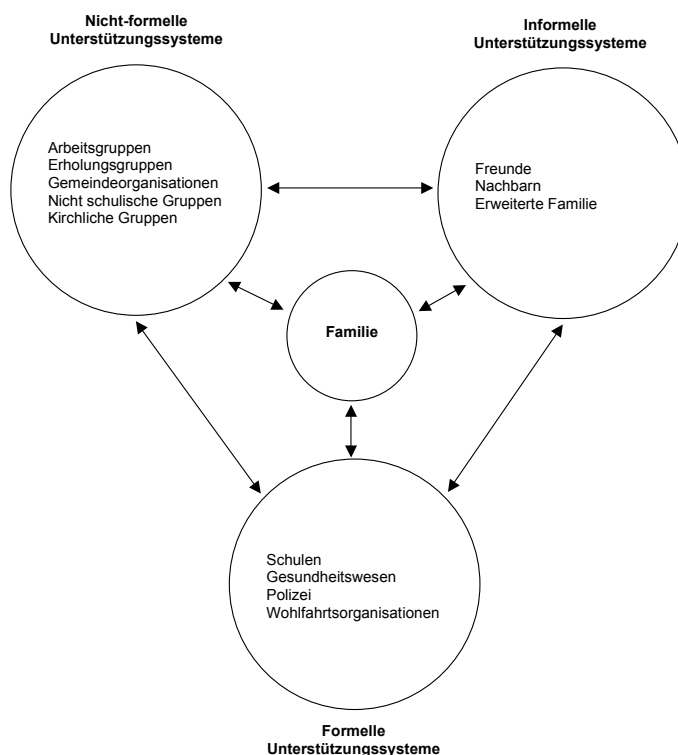


Abbildung 59: Unterstützungssysteme und ihre Beziehung zur Familie

Die hier nach Andrews, Buchholz und Paolucci wiedergegebene Abbildung (zitiert nach Schneewind 1987, S. 1005) kann als Beispiel für im Wesentlichen wenig aussagekräftige Systemmodelle angesehen werden. Die Bezeichnung der Systemelemente ist unkonkret und bei weitem zu abstrakt. Zudem ist wenig einsichtig, warum jedes Element mit jedem anderen in einer Interaktionsbeziehung steht. Welcher Art die Beziehungen zwischen den Variablen sind, bleibt ebenfalls unklar.

Inhaltliche Bedeutung der Pfeile

Zum einen ist die Bedeutung der Pfeile (der Beziehungen zwischen den Elementen) weder implizit, geschweige denn explizit ersichtlich. Auch wenn ein Pfeil, der von der Familie zu einem formellen Unterstützungssystem führt, noch als ein Ansuchen um Unterstützung und der umgekehrte Pfeil als Anbieten von Hilfe

verstanden werden könnte, bleibt völlig unklar, was unter den Pfeilen zwischen den Unterstützungssystemen verstanden werden kann. Aber auch die Beziehung zwischen der Familie und den Unterstützungssystemen kann im Einzelfall genau umgekehrt verlaufen. Zum Beispiel dann, wenn Wohlfahrtsorganisationen um Spenden bei Familien etc. bitten. Die Pfeile können damit alles und nichts bedeuten. Zudem bleiben alle Pfeile gleichwertig. Es wird damit nicht explizit zwischen intensiven und weniger intensiven Wechselwirkungen unterschieden.

Die Bedeutung des Einzelfalls

Zum anderen handelt es sich bei den dargestellten Systemelementen um extrem abstrahierende und globalisierende Bezeichnungen für ebenfalls hoch komplexe Systeme. Dies führt zu mehreren Problemen von denen das wichtigste die fehlende Bedeutung des Modells für einen beliebigen Einzelfall darstellt: Ohne die Konkretisierung des Systems an den Strukturen eines spezifischen Einzelfalles sind die Systemelemente weitgehend inhaltsleer. Erst durch die Konkretisierung des Modells mit Hilfe eines beliebigen Fallbeispiels wird sich dann zudem zeigen, welche Beziehungen zwischen den Elementen tatsächlich existieren und welche nicht, welche Kopplungen zwischen welchen Mitgliedern der Familie zu welchen Mitgliedern der Unterstützungssysteme anzunehmen sind und welcher Art diese Beziehungen sind, ob vollständig symmetrisch wie es die Doppelpfeile suggerieren oder asymmetrisch etc. Aber auch die Intensität der Beziehungen zwischen den Systemelementen kann sich von Fall zu Fall gravierend verschieben.

Systemelemente sind variable Größen

Weitere Probleme ergeben sich für das in der Abbildung 59 vorgestellte Modell durch die Bezeichnungen der Systemelemente. Diese würden im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme gar nicht als Systemelemente anerkannt werden, da es sich nicht um variable Größen handelt (vgl. S. 163ff.). Dabei wäre bereits viel gewonnen, wenn die Systemelemente als variable Größen gekennzeichnet würden. So könnte an Stelle der Bezeichnung „Familie“, „Hilfsbedürftigkeit der Familie“ und an Stelle der Bezeichnung „Polizei“, die Bezeichnung „Hilfestellung durch Polizei“ gewählt werden. Allein dadurch würde dann auch die Beziehung zwischen diesen Elementen und deren Stellenwert in der Gesamtstruktur des Systems verständlich. Auch die Bedeutung der Pfeile ließe sich in vielen Fällen bereits intuitiv erschließen, würden die Systemelemente als variable Größen aufgefasst. Wenn man vor dem Hintergrund der derzeitigen Benennung der Systemelemente berücksichtigt, dass z.B. die Benennung der „Polizei“ offen lässt, ob damit eine direkt unterstützende oder auch eine exekutive Funktion in Bezug auf die Familie oder einzelne Familienmitglieder gemeint ist, ergibt sich ein heilloses Durcheinander von möglichen Interpretationen.

Die Bedeutung autokatalytischer Prozesse darf nicht vernachlässigt werden

Obwohl es inzwischen in vielen Bereichen Mode geworden ist, graphische Systemmodelle in wissenschaftlichen Arbeiten zu verwenden, bei denen zwischen sämtlichen Systemelementen Doppelpfeile eingezeichnet werden, finden sich nur sehr selten Darstellungen, bei denen sich ein Element selbst beeinflusst. Während in der Ökonomie z.B. im Zusammenhang mit der Zins- und Zinseszins-Berechnung positive und negative Selbstverstärkungen vielfach explizit mitberücksichtigt werden, zeigen sich in der Psychologie Tendenzen, diese autokatalytischen Prozesse zu übersehen. Um beim Beispiel der Hilfsbedürftigkeit einer Familie zu bleiben, ist es durchaus plausibel davon auszugehen, dass diese sich beständig selbst verstärkt und vergrößert.

Aus der Kritik des genannten Beispielsystems ergeben sich insgesamt fünf Forderungen für die Darstellung komplexer Systeme, die neben ihrer Bedeutung für eine visualisierende graphische Repräsentation auch als allgemeine Richtlinien für die systemwissenschaftliche Modellbildung betrachtet werden können:

1. **Bezeichnung der Systemelemente.** In Systemen besitzen die Systemelemente immer eine bestimmte „Rolle“ oder verfügen über bestimmte für das System bedeutsame Eigenschaften. Diese Eigenschaften oder Rollen müssen bei der Bezeichnung der Systemelemente berücksichtigt werden. In diesem Sinne ist eine Familie kein Systemelement, wohl aber ihre „Hilfsbedürftigkeit“ oder ihr „Zusammenhalt“, ihre „emotionale Wärme“, ihre „Aggressivität“ etc. Dabei kann es vorkommen, dass ein und dasselbe Element über verschiedene Eigenschaften verfügt, die sofern sie eine Bedeutung für das Gesamtsystem besitzen, auch einzeln als verschiedene Elemente angeführt werden müssen. Als Leitlinie kann hier die Frage danach gelten, ob es sich bei einem Systemelement um eine variable Größe handelt. Ist dies nicht der Fall, so sollte hier eine Präzisierung erfolgen.
2. **Bedeutung der Pfeile.** Die Bedeutung der Pfeile als graphische Darstellung der Beziehungen zwischen den Elementen muss in jedem Fall explizit ausgewiesen sein. Vielfach ergibt sich diese Bedeutung bereits aus der Bezeichnung der Systemelemente als verstärkende bzw. abschwächende Beziehung. In den meisten Fällen dürfte zur Darstellung ein positiver und ein negativer Pfeil genügen (z.B.: je höher die „Hilfsbedürftigkeit der Familie“, desto größer ist das „Bemühen der Wohlfahrtsorganisation“). Schiepek (1986) hat in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass die Beziehungen zwischen den Elementen eines dynamischen Systems am besten nach dem Modell korrelativer Zusammenhänge beschrieben werden können. In diesem Sinne sind positive Zusammenhänge als gleichgerichtete Kovariation zu verstehen, sodass sie gleichzeitig zwei Aspekte umfassen: Zum einen beschreiben sie, dass bei einer Zunahme der einen Variable auch die andere Variable zunimmt. Zum anderen berücksichtigen sie jedoch auch den umgekehrten Fall, dass nämlich bei einer Abnahme der einen Variable auch die andere abnimmt. So beschreibt z.B. die positive Kovariation zwischen der „Hilfsbedürftigkeit einer Familie“ und dem „Bemühen der Wohlfahrtsorganisation“, dass eine Zunahme der Hilfsbedürftigkeit auch zu einer Zunahme der Bemühungen führt, andererseits aber, die Abnahme der Bedürftigkeit auch zu einer Abnahme der Bemühungen. Negative Beziehungen zwischen Systemelementen sind dann als gegengerichtete Kovariationen zu verstehen (je mehr, desto weniger und je weniger, desto mehr).
3. **Berücksichtigung autokatalytischer Beziehungen.** Für viele reale Systeme kann davon ausgegangen werden, dass sich einzelne Variablen auch selbstverstärkend (bzw. selbstverringend) auf sich selbst beziehen. Diese autokatalytischen Beziehungen werden bei der Suche nach Beziehungen zwischen verschiedenen Elementen nicht selten übersehen. Für die Dynamik komplexer Systeme besitzen sie jedoch eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung, die explizit herausgearbeitet werden sollte.
4. **Beeinflussungsstärke.** Als weitere Präzisierung eines Systemmodells sollten Angaben über die jeweils zwischen zwei Variablen herrschende Beeinflussungsstärke vorgenommen werden. Graphisch können hier verschiedene Strichstärken für die Pfeile zur Visualisierung genutzt werden. Insbesondere die Synergetik (vgl. S. 131ff.) verweist darauf, dass den Unterschieden in der Beeinflussungs-

stärke eine zentrale Schlüsselrolle bei der Beschreibung der Systemdynamik zukommt. Der Energiefluss durch das System wird nämlich über die Intensität der Beziehungen variiert. In den Zweigen bzw. Schleifen des Systems, die über vergleichsweise intensivere Beziehungen verfügen, fließt auch mehr Energie. Dass aber ein und dasselbe System in Abhängigkeit von solchen Kontrollparametern zu grundsätzlich anderen und qualitativ unterschiedlichen Verhaltensweisen fähig ist, ist eine der wichtigsten Erkenntnisse der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. In diesem Sinne kann sich die Intensität solcher Wechselwirkungen auch im Verlauf der Zeit durch äußere Einflüsse ändern. Interventionen setzen im Idealfall an diesen Kontrollparametern an. Während also die prinzipielle Systemstruktur eines konkreten Falles als relativ überdauernd betrachtet werden kann, werden Veränderungen im System vornehmlich über die Veränderung von Kontrollparametern modelliert. Die graphische Darstellung unterschiedlich intensiver Wechselwirkungen stellt damit nur eine Momentaufnahme einer Systemstruktur dar.

5. **Konkretisierung.** Werden die Systemelemente und auch die Beziehungen zwischen den Elementen in Sinne der bisherigen Ausführungen präzisiert, ergibt sich vielfach ein Zwang dazu, das Modell selbst genauer zu konkretisieren. So besitzt z.B. nicht jede Familie die gleichen Merkmale bzw. spielt im fraglichen System dieselben Rollen. Es wird sich in den folgenden Kapiteln (vgl. S. 244) noch zeigen, dass idiographische, an einem Einzelfall orientierte Modelle, allgemeinen und abstrakten Modellen vorzuziehen sind.

Die genannten Forderungen führen dazu, dass bereits vor der Erstellung einer graphischen Darstellung eines Systems umfassende Planungsarbeiten erforderlich werden. Insbesondere bei Systemen mit mehr als nur drei Variablen kann solch eine Systemstruktur hochgradig komplex werden. Daher ist bereits bei der Modellkonzeption ein weitgehend systematisches Vorgehen zu empfehlen. Hier bietet es sich an eine Matrix, die aus den Systemelementen gebildet wird, sowohl der theoretischen Konzeption als auch der graphischen Darstellung zu Grunde zu legen.

Eine Beeinflussungsmatrix kann als Grundlage für die Modellbildung dienen

Abbildung 60 zeigt eine solche Matrix für das Beispiel des Unterstützungssystems einer Familie. Dabei wird nacheinander geprüft, ob davon ausgegangen werden kann, dass eine in den Zeilen angeordnete Variable positiv, negativ oder gar nicht auf eine in den Spalten aufgeführte Variable Einfluss nimmt. Diese Einschätzung sollte sich an dem oben unter 2. beschriebenen Prinzip der Kovariation orientieren. Da jede Variable sowohl in den Zeilen als auch in den Spalten aufgeführt wird, kann auf diese Weise systematisch jede mögliche Kombination überprüft werden. Hierbei gilt zu beachten, dass in der Diagonalen jeweils autokatalytische Beziehungen auftreten und dass beide, durch die Diagonale getrennten Hälften der Matrix berücksichtigt werden müssen. Da der Einfluss zwischen je zwei Variablen mal von der einen und mal von der anderen ausgehend beschrieben wird, sollten sich auch jeweils unterschiedliche „Hälften“ ergeben. Die Diagonale wird nur in den seltensten Fälle als Spiegel zwischen den beiden Teilen der Matrix erscheinen (triviale Doppelpfeil-Strukturen wie in Abbildung 59 suggerieren jedoch gerade eine solche Spiegelung an der Diagonalen).

Die Identifikation des zentralen Elements

In einem weiteren Schritt lässt sich dann die jeweils zu vermutende Einflussstärke z.B. durch ein einfaches Ratingverfahren ergänzen. Obwohl ein solches Vorgehen, bei dem starke Einflüsse durch eine höhere Zahl bezeichnet werden als schwächere

Einflüsse (z.B. 1 für einen geringen Einfluss, 2 für einen mittleren und 3 für einen starken), relativ ungenau erscheint, ermöglicht es doch erste Einblicke in die Struktur des Systems zu gewinnen und zumindest grobe Unterschiede zwischen den Beziehungen festzulegen. Vester (z.B. Vester 1991/1976, Vester 1999) hat ein einfaches Verfahren dafür vorgeschlagen wie aus solchen Matrizen vier Schlüsselemente eines Systems bestimmt werden können. Ein ähnliches Verfahren wurde von Schiepek, Reicherts und Strunk (veröffentlicht in Manteufel & Schiepek 1998, S. 221ff.) für die Analyse von Interaktionsmatrizen vorgeschlagen. Da beide Verfahren die Beeinflussungsrichtung (positive vs. negative Kovariation) vernachlässigen, sagen die Analysen nicht viel über die Dynamik, wohl aber über die Systemstruktur aus (für ein praktisches Beispiel vgl. Strunk 1996a). In Anlehnung an Vesters Papiercomputer (z.B. Vester 1991/1976) können Spalten- und Zeilensummen der Matrizen gebildet und anschließend die zusammengehörenden Summen miteinander multipliziert werden. Abweichend von Vesters Vorschlag empfiehlt es sich hier jedoch, die Beeinflussungsstärke zu vernachlässigen und einfach diejenigen Zellen der Matrix zu zählen, die eine Interaktion enthalten. Das Element, welches das höchste Produkt aus den beiden Summen aufweist, steht mit den anderen Elementen am intensivsten in Beziehung. In einer graphischen Darstellung empfiehlt es sich daher diese Variable in der Mitte der Grafik zu platzieren, um unnötige Überschneidungen von Pfeilen zu vermeiden.

Wirkung von ↓ auf →	Anzahl Einflüsse					Anzahl Beeinflussungen	Produkt
	1. Hilfsbedürftigkeit der Familie	2. Emotionaler Zusammenhalt in der Familie	3. Angst der Familie vor Veränderungen	4. Bemühen um Hilfe von Seiten einer Familientherapeutin	5. Emotionale Belastung der Familientherapeutin		
1. Hilfsbedürftigkeit der Familie	+	-	+	+	+		
2. Emotionaler Zusammenhalt in der Familie	-	+	-	+	-		
3. Angst der Familie vor Veränderungen	0	-	+	-	+		
4. Bemühen um Hilfe von Seiten einer Familientherapeutin	-	+	-	0	0		
5. Emotionale Belastung der Familientherapeutin	0	0	0	-	+		
Anzahl Beeinflussungen							

Wirkung von ↓ auf →	Anzahl Einflüsse					Anzahl Beeinflussungen	Produkt
	1. Hilfsbedürftigkeit der Familie	2. Emotionaler Zusammenhalt in der Familie	3. Angst der Familie vor Veränderungen	4. Bemühen um Hilfe von Seiten einer Familientherapeutin	5. Emotionale Belastung der Familientherapeutin		
1. Hilfsbedürftigkeit der Familie	+1	-3	+4	+2	+1	5	15
2. Emotionaler Zusammenhalt in der Familie	-2	+1	-2	+4	-1	5	20
3. Angst der Familie vor Veränderungen	0	-3	+2	-4	+1	4	16
4. Bemühen um Hilfe von Seiten einer Familientherapeutin	-3	+2	-2	0	0	3	12
5. Emotionale Belastung der Familientherapeutin	0	0	0	-1	+1	2	8
Anzahl Beeinflussungen	3	4	4	4	4		

0	keine	Einwirkung	+	positive Kovariation
1	schwache	Einwirkung	-	negative Kovariation
2	mittlere	Einwirkung		
3	starke	Einwirkung		
4	sehr starke	Einwirkung		

Abbildung 60: Beeinflussungsmatrizen für ein konstruiertes familiäres Unterstützungssystem

Die beiden in der Abbildung dargestellten Matrizen zeigen die Beeinflussungsstrukturen für ein familiäres Unterstützungssystem. Es handelt sich hier um ein konstruiertes Beispiel, für das weder theoretische noch empirische Belege vorliegen. Im ersten Schritt (links) werden positiv und negativ kovariierende Einflüsse mit + bzw. - gekennzeichnet. Liegt kein Einfluss vor, wird eine Null eingetragen. Im zweiten Schritt (rechts) wird die Stärke der Beeinflussungen auf einer fünf-stufigen Skala eingeschätzt. Die Randsummen ergeben sich aus der Anzahl der jeweiligen Einflüsse bzw. Beeinflussungen der entsprechenden Variable. Das Produkt der beiden Randsummen gibt Aufschluss über die Eingebundenheit einer Variable in das System. In dem gegebenen Beispiel steht die Variable „Emotionaler Zusammenhalt in der Familie“ im Zentrum des Systems.

Die ausgefüllte Matrix bildet eine gute Grundlage für die graphische Umsetzung, indem das vorgenommene Rating die Stärke der Pfeile zwischen den jeweiligen Variablen angibt und die positive bzw. negative Beeinflussungsrichtung entweder durch Plus- und Minuszeichen oder durch eine farbliche Kodierung in die Grafik übernommen werden können. Durch die Berücksichtigung z.B. nur besonders starker oder mindestens mittelstarker Interaktionen können unterschiedlich detaillierte Grafiken erstellt und verglichen werden (vgl. Strunk 1996a und Abbildung 61).

Computersimulationen sollten das Ziel einer systemwissenschaftlichen Modellbildung darstellen

Wie am Beispiel der Frustrations-Aggressionshypothese (vgl. S. 186ff.) deutlich wurde, ist es in vielen Fällen unerlässlich, neben der verbalen Beschreibung des Systems und einer eventuell erforderlichen graphischen Darstellung nähere Angaben über die Beziehungen zwischen den Variablen mittels formaler mathematischer Gleichungssysteme vorzunehmen. Dazu ist es jedoch nötig, die Zellen der oben beschriebenen Matrizen mit linearen bzw. nichtlinearen Gleichungen weiter zu präzisieren. Die Plausibilität solcher Gleichungen kann dabei zwar im Einzelfall theoretisch begründet werden, sollte jedoch immer im Hinblick auf die Dynamik des Gesamtmodells geprüft werden. In diesem Sinne empfiehlt es sich bereits in diesem Stadium der Modellbildung Computersimulationen in Erwägung zu ziehen. Unterbleibt eine Simulation des Systemverhaltens, so kann nur noch selten erschlossen werden, was das Modell eigentlich für eine Dynamik zeigt. Eine Überprüfung des Verhaltens in Hinblick auf seine Plausibilität und eine empirische Testung ist weitgehend von solchen Computersimulationen abhängig.

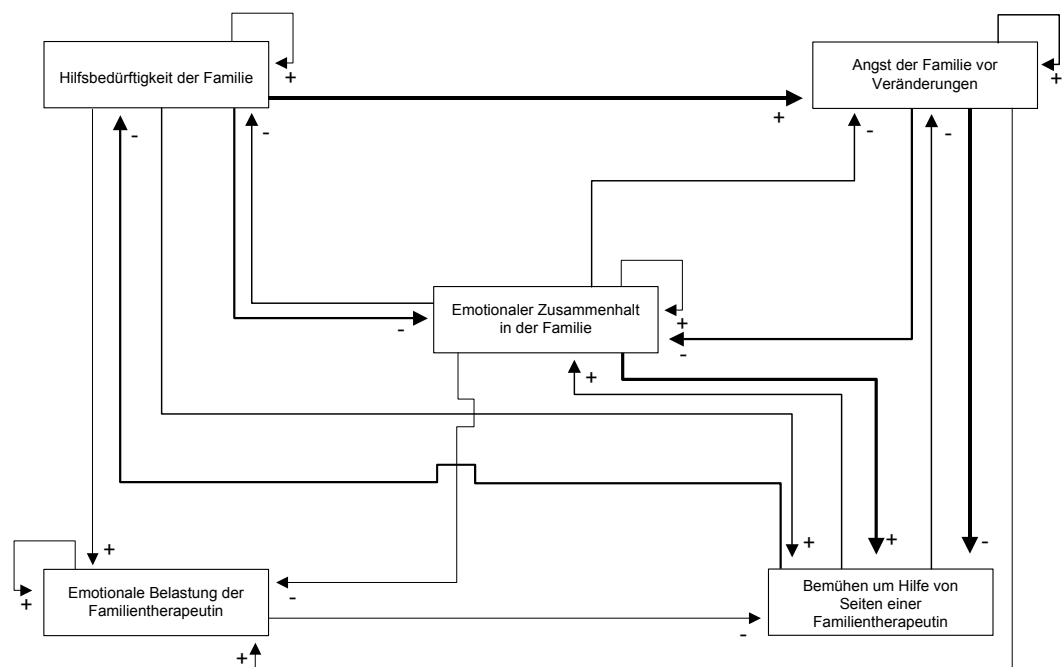


Abbildung 61: Schematische Systemstruktur des konstruierten familiären Unterstützungssystems

Die Abbildung zeigt die Systemstruktur des in Abbildung 60 eingeführten Systems. Die Stärke der Pfeile ergibt sich aus dem Rating der rechten Matrix aus Abbildung 60. Positive und negative Kovariationen sind jeweils durch ein Plus- und Minuszeichen gekennzeichnet.

In erster Näherung können einfache Simulationen, bei denen für jede Beziehung lineare Zusammenhänge angenommen werden und sich die Proportionalitätskonstanten direkt aus dem vorgenommenen Rating ergeben, bereits ein recht plausibles Verhalten generieren.

Zum Beispiel zeigen die linearen Simulationen von Systemmodellen, die zusammen mit anorektischen Klientinnen erarbeitet wurden, bereits sehr plausible Entwicklungen, die in Abhängigkeit von den Startwerten für die Variablen entweder Wege in die Krankheit oder aus der Krankheit heraus ergeben. Dass auch Wege in die Krankheit im Sinne von Attraktoren beschreibbar werden, ist um so erstaunlicher, wenn man bedenkt, dass die inzwischen erfolgreich behandelten Klientinnen gebeten wurden ein Modell für ihre Gesundheit zu erstellen (Bonney, Empt & Strunk 1998, Strunk, Bonney & Empt 1998). Die linearen Modelle bleiben jedoch in ihrer Dynamik relativ stark beschränkt und können die Prozessdynamik der Anorexia nervosa nur vereinfacht nachzeichnen.

Die Modellierung nichtlinearer Zusammenhänge ist vielfach unerlässlich

Soll die Modellbildung höheren Ansprüchen genügen, wird es nötig, die in der Regel zu erwartenden nichtlinearen Zusammenhänge herauszuarbeiten und zu formalisieren. In diesem Zusammenhang kann es sinnvoll sein, sich Anregungen aus den Modellen zur Populationsdynamik (vgl. die Gleichungen ab S. 102ff.) zu holen. Es wird hier jedoch nicht zu umgehen sein, sich mit den mathematischen Grundlagen zumindest einiger gebräuchlicher mathematischer Funktionen auseinander zu setzen. Hier kann es hilfreich sein, einfache mathematische Software, wie Funktionsplotter, die auch als Freeware angeboten werden, zu nutzen oder Funktionen mit einer Tabellenkalkulation zu untersuchen (ab Seite 279ff. wird auf einige mathematische Zusammenhänge näher eingegangen).

In Abhängigkeit von den gewählten mathematischen Funktionen ergibt sich das Problem, dass verschiedene Konstanten als Parameter mit in die Gleichungen einfließen. Während sich in der Physik fundamentale Naturkonstanten, für die hinreichend exakte Werte bekannt sind, von Konstanten unterscheiden lassen, die als Kontrollparameter den Energiedurchfluss des Systems modellieren, muss für die psychologische Modellbildung offen bleiben, welche Parameter als Konstante und welche als Kontrollparameter anzusehen sind. Zudem fällt es relativ schwer, diese Parameter inhaltlich zu interpretieren. Auf einige Probleme der mathematischen Formalisierung und ihrer Interpretation wird unten ausführlicher eingegangen (vgl. S. 247ff.).

Zusammenfassend kann im Zusammenhang mit der Darstellung komplexer Systeme für die verbale Beschreibung die ausführliche Berücksichtigung und Diskussion von Rückkopplungsprozessen und für die graphische Darstellung die möglichst konkrete Beschreibung der Systemelemente, die Kennzeichnung der Beziehungen als positive bzw. negative Kovariationen, die Berücksichtigung der Intensität der Beziehungen, die Berücksichtigung von autokatalytischen Beziehungen und der möglichst konkrete Bezug des Modells auf einen Einzelfall gefordert werden.

In vielen Fällen ist dann zur weiteren Präzisierung des Modells eine mathematische Formalisierung nötig. Auch wenn die Voraussetzungen für eine solche Formalisierung und die sich aus ihr ergebenden Probleme bei der Interpretation von

Parametern große Schwierigkeiten aufwerfen, wird ein Systemmodell erst durch eine solche mathematisch stringente Präzisierung kritisierbar. Wird eine Formalisierung hingegen unterlassen, bleibt völlig offen, was die Theorie eigentlich über das Systemverhalten aussagt. Die Theorie erklärt dann letztendlich gar nichts.

7.1.4 Anforderungen an Schlussfolgerungen aus systemwissenschaftlichen Modellen

Erklärung, Prognose und Technologie sind die wesentlichen Ziele wissenschaftlicher Bemühungen

Eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung von Theorien ist ihre Widerspruchsfreiheit. Dazu gehört die saubere und eindeutige Definition ihrer wichtigsten Begriffe ebenso wie die logisch stringente Kennzeichnung des Beziehungsgefüges, in dem die wissenschaftlichen Begriffe untereinander stehen. Das Ziel einer widerspruchsfreien Theorie ist es jedoch selten, allein für sich selbst und aus sich selbst heraus zu existieren. Neben einer systematischen Beschreibung eines Gegenstandsbereiches sind Erklärung, Prognose und technologische Umsetzung als die wesentlichen Ziele wissenschaftlicher Bemühungen anzusehen (vgl. Breuer 1989, S. 147). Sowohl die deduktionslogische Ableitung von Erklärungen dafür, warum ein bestimmtes Ereignis eingetreten ist, als auch die Prognose bestimmter Ereignisse vor dem Hintergrund gegebener Antezedenzbedingungen und der durch die Theorie beschriebenen Gesetzmäßigkeiten sind die erklärten Ziele wissenschaftlicher Theorienbildung. Gelingt darüber hinaus die praktische, technologische (wobei aus wissenschaftstheoretischer Sicht z.B. auch die Begründung einer Gesprächsführungstechnik als Technologie anzusehen wäre) Umsetzung der theoretischer Konzepte, so hat eine Theorie den Sprung von der irrelevanten Elfenbeinturmforschung zum relevanten Know-how vollzogen (zur Relevanzproblematik in der Psychologie siehe z.B. Holzkamp 1972).

Die Prinzipien der deduktiven Logik

Bei der Frage danach, wie die Widerspruchsfreiheit einer Theorie auf der einen Seite geprüft werden kann und wie auf der anderen Seite Prognosen oder gar technische Anwendungen aus ihr abgeleitet werden können, wird wissenschaftstheoretisch auch heute noch auf die Prinzipien der deduktiven Logik verwiesen (durchaus kritisch dazu Breuer 1989, S. 154). Karl Raimund Popper⁷⁹ (1990/1962, S. 179) verweist darauf, dass völlig unabhängig davon, ob eine Theorie nun zur Vorhersage, zur Erklärung oder zur Nachprüfung, also zur Hypothesentestung verwendet wird, eine deduktionslogische Ableitung solcher Erklärungen, Prognosen und Hypothesen aus der Theorie zu Grunde liegen müsse. Popper beschreibt Erklärungen folgendermaßen als deduktionslogische Ableitungen:

Einen Vorgang ‚kausal erklären‘ heißt, einen Satz, der ihn beschreibt (einen solchen Satz werden wir Prognose nennen), aus Gesetzen und Randbedingungen deduktiv abzuleiten. Wir haben z.B. das Zerreißen eines Drahtes ‚kausal erklärt‘, wenn wir festgestellt haben, dass der Draht eine Zerreißfestigkeit von einem Kilogramm hat und mit zwei Kilogramm belastet wurde. Diese Erklärung enthält zwei verschiedene Bestandteile:

(i) nehmen wir Hypothesen an, die den Charakter allgemeiner Naturgesetze haben. Also etwa: ‚Jedes Mal, wenn ein Draht mit einer Last von einer gewissen Mindestgröße belastet wird, zerreißt er.‘

⁷⁹ 1902 bis 1994

(ii) nehmen wir spezifische Sätze an (die Anfangsbedingungen), die sich auf das besondere Ereignis beziehen, das gerade untersucht wird. Etwa: ‚Für diesen Draht hier beträgt die charakteristische Mindestgröße ein Kilogramm‘, und ‚Das an diesen Draht angehängte Gewicht ist ein Zweikilogrammgewicht‘.

Aus den allgemeinen Sätzen (i) kann man mit Hilfe der Randbedingungen (ii) den folgenden Satz (iii) deduzieren: ‚Dieser Draht wird reißen.‘

Wir nennen diesen Schluss (iii) eine (besondere oder singuläre) Prognose. (Popper 1990/1962, S. 177f., auch in Popper 1973/1934, S. 31f.)

Das Hempel-Oppenheim-Schema der deduktiv-nomologischen Ereignis-Erklärung

Das Vorgehen bei der Ableitung von Erklärungen und Prognosen aus Theorien wurde im Rahmen des Hempel-Oppenheim-Schemas der deduktiv-nomologischen Ereignis-Erklärungen weiter systematisiert und formalisiert (Hempel & Oppenheim 1948, für einen Überblick siehe Breuer 1989, S. 149ff.). Im Wesentlichen folgt aber auch das Hempel-Oppenheim-Schema dem Vorgehen wie es bereits von Popper vorgestellt wurde. Das zu Erklärende, also das sog. Explanandum, muss logisch deduktiv aus dem Explanans folgen. Das Explanans wiederum unterteilt sich zum einen in allgemeine Gesetze bzw. mindestens ein allgemeines Gesetz, das zur Erklärung des betrachteten Phänomens unentbehrlich ist, und in die Antezedenzbedingungen, d.h. die Rahmen- bzw. Randbedingungen.

Tautologien und logische Widersprüche dürfen in Theorien nicht vorkommen

Eine fehlerhafte oder unzulässige Theorie lässt sich nun auf zwei Ebenen von widerspruchsfreien Theorien unterscheiden. Zum einen muss sich die abgeleitete Prognose in der Folge empirisch bewähren. Zum anderen können aber bereits auf der konzeptionellen Ebene vor dem Hintergrund der Deduktionslogik fehlerhafte Aussagen auf Grund ihrer Widersprüchlichkeit identifiziert werden. Tautologien oder sich widersprechende logische Schlussfolgerungen verweisen in diesem Sinne direkt auf Fehler in der Theorie. Sie werden in der Regel ernster und kritischer betrachtet als das empirische Scheitern einer Prognose, welche sich noch relativ leicht auf schlecht kontrollierte Rahmenbedingungen oder ungenaue Operationalisierungen zurückführen lässt.

Das Grundprinzip der Überprüfung der logischen Konsistenz einer Theorie mit Hilfe der Deduktionslogik lässt sich zusammenfassen mit der Aussage, dass Theorien nicht zu Paradoxien führen dürfen, wie sie sich z.B. für das klassische Lügen-Paradoxon ergeben, bei dem Epimenides die Aussage zugeschrieben wird, dass alle Kreter Lügner sind, wobei zu bedenken gilt, dass Epimenides selbst ein Kreter war. Verkürzt könnte man die Aussage auch so formulieren: „Ich lüge“, oder: „Diese Aussage ist falsch“ (vgl. Hofstadter 1985, S. 19).

Solche aussagelogischen Paradoxien lassen sich jedoch zunächst ohne Probleme in das Hempel-Oppenheim-Schema der deduktiv-nomologischen Ereignis-Erklärungen übersetzen, ist es doch nichts anderes als die Anwendung klassischer deduktiver Logik: Sind alle Kreter Lügner, so ist dies die Ursache dafür, anzunehmen, dass auch der Sprecher einer ist. Diese Folgerung wäre eine logisch saubere Ableitung. Allerdings wird die Ursache durch ihre Wirkung *gleichzeitig* negiert.

Feedbackprozesse führen eine deduktive Logik ad absurdum

Obwohl deduktionslogisch ein Widerspruch in sich, verhält sich bereits ein einfacher Regelkreis wie der Kreter, der seine Ehrlichkeit selbst in Frage stellt und dabei gleichzeitig behauptet die Wahrheit zu sprechen. Die klassische Aussagenlogik und auch die von Hempel, Oppenheim und Popper gegebenen Anleitungen für

die Ableitung von Erklärungen aus theoretischen Konzepten greifen bereits bei Regelkreisen ins Leere. Die Ursachen führen beständig zu einer Negierung der Ursache und die Negation derselben zur Ursache und dies in so kleinen Zeiträumen, dass man grenzwertig von der gleichzeitigen Koexistenz einer Ursache und ihrer Negation sprechen kann. Capra zitiert in diesem Zusammenhang ein Gespräch mit Gregory Bateson:

Wissen Sie, wenn man erst zu kreisläufigen Vorgängen der Verursachung kommt, wie es uns in der Welt des Lebendigen stets geschieht, dann verstrickt die Anwendung der Logik uns in Paradoxa.
Nehmen wir als Beispiel den Thermostaten ...
Ist er eingeschaltet, ist ausgeschaltet; ist er aus, dann ist eingeschaltet.
Wenn ja, dann nein; wenn nein, dann ja ...
Sie sehen, das kybernetische Äquivalent von Logik ist Oszillation. (Capra 1992, S. 83)

Das Wenn-Dann der Kausalität enthält Zeit. Das Wenn-Dann der Logik ist zeitlos

Nun kann aber nur schwerlich behauptet werden, dass die Kybernetik eine grundsätzlich fehlerhafte Theorie ist, nur weil sie den Prinzipien der klassischen Aussagenlogik widerspricht. Das Gegenteil scheint der Fall zu sein: Die Logik liefert ein zumindest unvollständiges Modell der Kausalität. Um es mit Bateson zu sagen, ist die Logik „ein armseliges Modell von Ursache und Wirkung“ (Bateson 1982, S. 77). Während nämlich das Wenn-Dann der Kausalität Zeit enthält, ist das Wenn-Dann der Logik zeitlos.

In diesem Sinne lassen sich logische Paradoxa dann auflösen, wenn sie als Prozesse und nicht als Aussagegefüge mit zeitlich stabiler Folgerung betrachtet werden. So zeigt z.B. die genauere Analyse einer Abwandlung des Epidemes- bzw. Lügenparadoxons genau die von Bateson im Gespräch mit Capra angesprochene Oszillation. Etwas weniger dramatisch aber nicht weniger paradox als die bereits genannten Kurzformen des Lügenparadoxons (z.B. „dieser Satz ist falsch“) erscheint die folgende Version, die aus sich jeweils widersprechenden Aussagen auf der Vorder- und Rückseite einer Spielkarte besteht.

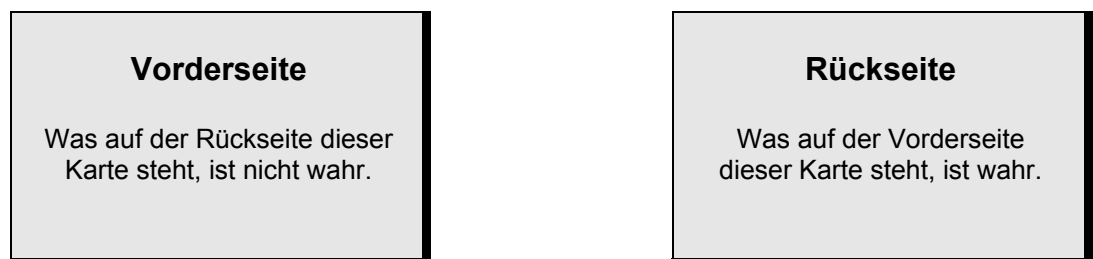


Abbildung 62: Spielkartenparadoxie

Das bekannte Lügenparadoxon wird mit Hilfe der dargestellten Spielkarte in zwei Aussagen zerlegt, die jeweils nacheinander gelesen zu einem scheinbar unlösbaren Widerspruch führen.

Nach einiger Verwirrung, die diese Karte stiften wird, lässt sich ein bestimmtes gleichbleibendes Prinzip in der Abfolge von Zuständen erkennen. Es ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben (vgl. Schiepek & Strunk 1994).

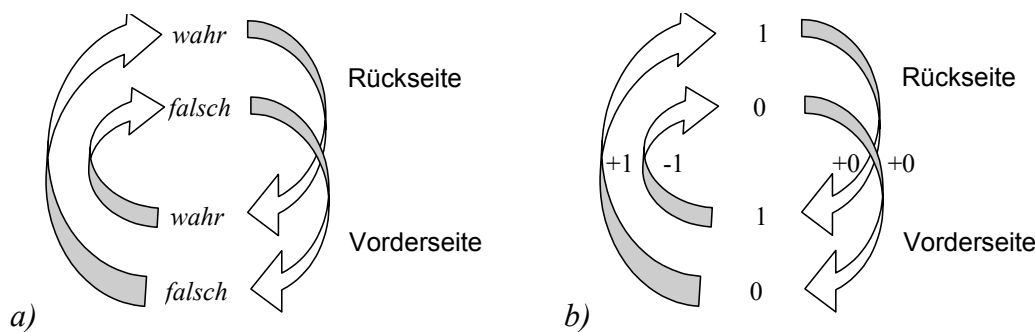


Abbildung 63: Zustandswechsel beim Kartenbeispiel

Der in a) dargestellte Zustandswechsel beim Kartenbeispiel, wird in b) in mathematische Symbole übersetzt, indem die Begriffe „wahr“ und „falsch“ durch die Zahlen „1“ und „0“ ersetzt werden. Zudem werden Rechenoperationen angegeben, die die jeweiligen Zustände ineinander überführen.

Unabhängig davon, wo begonnen wird, ergibt sich zwangsläufig ein nie endender iterativer Prozess. Nach jeder Iteration kehrt sich der vorhergehende Zustand ins Gegenteil um. Durch eine einfache Gleichung lässt sich dieses Phänomen wie folgt beschreiben:

Gleichung 20:
Iterative Gleichung
für das Kartenbeispiel

$$x_{n+1} = -x_n + 1, \text{ mit } x = 0 \text{ oder } x = 1.$$

Der Index n bezeichnet den Ausgangspunkt, für dessen Nachfolger $n+1$ der Zustand berechnet werden kann. Startet man z.B. zum Zeitpunkt n mit $x = 0$ als Codierung für „nicht wahr“, so wird x zum Zeitpunkt $n+1$, also nach dem Umdrehen der Karte, den Wert 1, als Codierung für „wahr“ annehmen. Nun wird x_{n+1} seinerseits zum Ausgangszeitpunkt für seinen Nachfolger. Im nächsten Schritt wird x_{n+1} für x_n in die Gleichung eingesetzt. Wird also Eins eingesetzt, so ergibt sich Null als Antwort, worauf wieder eine Eins folgt, und so weiter.

Die Umsetzung eines Aussagensystems in die Zahlentheorie heißt Gödel-Nummerierung

Prinzipiell ist die Umsetzung eines jedes logischen Aussagesystems in die Zahlentheorie möglich. Dabei ergibt sich jedoch nicht immer ein iteratives Gleichungssystem. Die Übersetzung eines Aussagesystems der formalen Logik in die Zahlentheorie heißt nach dem Mathematiker Kurt Gödel⁸⁰ *Gödel-Nummerierung*. Die Umsetzung im Rahmen dieses Beispiels gelingt jedoch nur durch den Kunstgriff, „wahr“ und „falsch“ nicht als einander ausschließende logische Aussagen zu betrachten. In diesem Sinne ist die vorgenommene Gödel-Nummerierung nicht vollständig.

Dass die Iteration, das heißt die beständige Rückführung des Outputs eines Systems in seinen Input, also das Vorliegen von Feedback (Nichtlinearität), das Kernmerkmal komplexer dynamischer Systeme ist, wurde oben bereits ausführlich diskutiert (vgl. z.B. Tabelle 5, S. 180). Das hier vorgestellte Beispiel kann zudem zeigen, dass die in der Logik bekannten Paradoxa weniger Hindernis bei der Konzeptualisierung systemorientierter Theorien als vielmehr eine notwendige Bedingung dafür sind.

⁸⁰ 1906 bis 1978

Ohne Tautologie,
Widersprüche und
Paradoxien ist eine
systemwissenschaftliche
Modellbildung
nicht denkbar

Ohne Paradoxie, ohne Tautologie in der Theorie bildet sich keine selbstorganisierte Dynamik. Wenn aber Tautologie und Paradoxie die Dynamik eines Systems erst ermöglicht, folgt daraus auf der anderen Seite, dass deduktionslogische Ableitungen von Hypothesen, Prognosen oder Erklärungen für solche Theorien nicht mehr möglich sind. Eine widerspruchsfreie zeitlose Folgerung kann für komplexe Feedbackprozesse nicht vorgenommen werden. Aus dem Modell folgt eine Dynamik, aber keine einfache Aussage über den endgültigen Zustand des Systems.

Diese Überlegungen fordern jedoch weniger dazu auf, auf Prognosen, Erklärungen etc. grundsätzlich zu verzichten. Eine solche Forderung käme einer Absage an die eingangs genannten Ziele wissenschaftlicher Bemühungen und dem Aufruf zum Verzicht auf empirische Überprüfungen gleich. Es stellt sich vielmehr die Frage danach, wie im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme Prognosen und Erklärungen generiert werden können, wenn dazu eben nicht mehr die altbekannten Methoden des Hempel-Oppenheim-Schemas zur Verfügung stehen. Tatsächlich sind Prognosen, Erklärungen und Hypothesen innerhalb gewisser Grenzen auch für kreisausal operierende Systeme möglich. Schiepek und Strunk (1994, S. 83ff.) haben ausführlich auf die Möglichkeiten und Grenzen von Prognosen über das Verhalten dynamischer Systeme hingewiesen. So nennen sie drei prinzipielle Erkenntnisgrenzen der Prognostizierbarkeit dynamischer Systeme.

1. **Chaotische Systemdynamik.** Eine chaotische Dynamik lässt trotz rein deterministischer Generierungsmechanismen nur für relativ kurze Zeiträume Prognosen über die konkrete Systementwicklung zu.
2. **Kritische Instabilitäten.** In der Nähe von Bifurkationspunkten und in Bifurkationspunkten selbst kommt es zum Phänomen der kritischen Instabilität. In der Nähe von Bifurkationspunkten wird das System höchst empfindlich für kleinste Verstörungen. Es dauert extrem lange bis es nach minimalen Störungen seinen alten Attraktor wieder einnimmt (kritisches Langsamerwerden). Kommt es inzwischen zu weiteren Verstörungen, so kann das System zum Spielball stochastischer Verstörungen werden (kritische Fluktuationen). Befindet sich das System in einem Bifurkationspunkt, so entscheiden kleinste Fluktuationen darüber welchen Attraktor es in weiterer Folge einnehmen wird (vgl. S. 170f.).
3. **Messfehler.** Messfehler, die bei jeder Messung unvermeidlich sind, erhalten in dynamischen Systemen, vor allem wenn sie sich im chaotischen Zustand befinden, eine besondere Bedeutung. Hier gelten keine klassischen Fehlerfortpflanzungsgesetze. Vielmehr sorgt der Schmetterlingseffekt für eine rasante Fehlereskalation (vgl. z.B. S. 152f.).

Dass es sich bei den genannten Grenzen für kausale Erklärungsmodelle im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Modellbildung nicht um althergebrachte Problemfelder handelt, sondern um grundsätzlich neue Phänomene, die erst bei komplexen dissipativen Systemen zu beobachten sind, betont auch Prigogine:

Mit gleichgewichtsfernen Situationen verbinden sich außerdem Begriffe wie Empfindlichkeit, Instabilität und Verzweigung (Bifurkation), durch die deutlich wird, dass man an Phänomene der Selbstorganisation mit einer anderen kausalen Erklärung herangehen muss als an Gleichgewichtszustände. (Prigogine & Stengers 1993, S. 91f.)

Dennoch stehen die Chancen, zu überprüfbareren Prognosen für ein dynamisches System zu kommen, auch für chaotische Systeme gar nicht so schlecht.

1. **Chaosfähig bedeutet nicht gleich Chaos.** Nichtlineare dynamische Systeme sind chaosfähig, müssen sich in einer gegebenen Situation jedoch nicht unbedingt auch chaotisch verhalten. Das bedeutet aber, dass Prognosen über das Auftreten von Chaos eine weit lohnendere Fragestellung darstellen als der Versuch, die Dynamik eines chaotischen Systems im Detail vorherzusagen zu wollen.
2. **Der Fingerabdruck eines chaotischen Systems.** Chaotische Attraktoren weisen eine innere Ordnung auf, die durch die Form des Attraktors im Phasenraum gegeben ist. Damit unterscheiden sie sich grundlegend von stochastischen Prozessen, die jeden Phasenraum bis in die letzte Ecke ausfüllen, also überhaupt keine Prognosen ermöglichen. Der chaotische Attraktor eines dynamischen Systems kann daher mit Recht als „Fingerabdruck“ (Schiepek & Strunk 1994) des Systems bezeichnet werden.
3. **Kurzfristige Prognose.** Auch während chaotischer Zustände können kurzfristige Prognosen des Systemverhaltens vorgenommen werden. Dabei entscheidet das Ausmaß der Chaotizität über die Grenzen der Vorhersage. Die Chaotizität kann mittels des größten *Lyapunov-Exponenten* oder der *Kolmogorov-Sinai-Entropie* direkt angegeben werden (siehe dazu weiter unten, S. 376ff.).

**Leitlinien für die
Prognose komplexer
dynamischer Systeme**

Insgesamt ist es jedoch wenig sinnvoll, an dynamische Prozesse die gleichen Fragen zu richten, wie sie für rein mechanistisch operierende Theorien formuliert werden. Dem Perspektivenwechsel bei der Konzeptualisierung der Theorie hat auch ein Perspektivenwechsel bei der Formulierung von Erklärungen und Prognosen zu folgen. Solche Folgerungen für komplexe dynamische Systeme können sich dabei an folgenden vier Leitlinien orientieren:

1. **Prognose einer Dynamik und nicht eines Outputs.** Es macht wenig Sinn den Output eines kreisförmigen Prozesses zu prognostizieren, wenn damit ein zeitlich stabiles Endergebnis gemeint ist. Ein solches kann es in dynamischen Systemen nicht geben. Dort, wo es für klassisch mechanische Theorien sinnvoll erscheint aus den Rahmenbedingungen und Gesetzmäßigkeiten eine (und eben nur eine) Folgerung zu ziehen, ist es für dynamische Systeme sinnvoll, aus den als Kontrollparametern bekannten Rahmenbedingungen, den Gesetzmäßigkeiten und den Startwerten des Systems eine Dynamik vorherzusagen. Dass diese Dynamik eben nicht beliebig ist, sondern bestimmte Verlaufsgestalten produziert und Attraktoren ausbildet, ist der Ansatzpunkt für die Prognose dynamischer Systeme.
2. **Prognose qualitativer Verlaufsgestalten.** Bei bekannten Rahmenbedingungen und Generierungsmechanismen lassen sich für dynamische Systeme die Verlaufsgestalten der Prozessdynamik sehr wohl prognostizieren. Es wird also weniger vorausgesagt, welchen Zustand ein System im nächsten Moment besitzen wird, als vielmehr welche grundsätzliche Dynamik es zeigen wird, ob es sich homöostatisch, periodisch oder chaotisch verhalten wird. Für den Fall der Homöostase und der periodischen Dynamik sind dann zudem detaillierte Prognosen möglich, die denen für einfache Systeme weitgehend entsprechen. Aber auch eine chaotische Systemdynamik ist nicht beliebig und zufällig. Auch sie hält sich an die Verlaufsgestalt, den Fingerabdruck des chaotischen Attraktors.

3. **Prognose von Phasenübergängen.** Da ein und dasselbe System verschiedene Attraktoren in sich vereinen kann, ist es ein wichtiges Ziel der Prognose dynamischer Systeme, Phasenübergänge, das heißt die Zustandswechsel in der Prozessdynamik, zu prognostizieren. Hier können Aussagen über die Veränderung der Systemdynamik bei Veränderung der Kontrollparameter getroffen werden. Auch hier stehen eher qualitative und makroskopische Veränderungen der Prozessgestalt und nicht so sehr konkrete Trajektorienverläufe im Vordergrund der Prognose.
4. **Prognosen über die Grenzen von Prognosen.** Selbst Chaos ist prognostizierbar, wenn die richtigen Fragen an das System gestellt werden. Im Zusammenhang mit chaotischen Systemen ist es eine wichtige Frage, wie chaotisch ein System denn eigentlich ist, d.h. wie lange es dauert, bis sich ein möglicher Messfehler so stark ausgewirkt hat, dass der Messfehler selbst Signalstärke erreicht. Aus der Kenntnis des Systems und der Randbedingungen lassen sich hoch chaotische und wenig chaotische Systemdynamiken voraussagen und auf der Grundlage von Zeitreihenanalysen überprüfen. In diesem Sinne können dann Prognosen über die Gültigkeit einfacher, auf die konkrete Dynamik bezogener, Prognosen angestellt werden.

Da aber die hier skizzierten Möglichkeiten für die Prognose komplexer Prozesse eben nicht mehr nach dem relativ einfachen und übersichtlichen Schema der Deduktionslogik erschlossen werden können, müssen an dessen Stelle andere, tragfähigere Methoden treten. Allen diesen Methoden ist jedoch gemein, dass sie erst auf der Grundlage einer umfassenden mathematischen Formalisierung der Theorie erfolgen können. Prognosen oder Erklärungen, aber auch die Ableitung einfacher Hypothesen sind auf der Grundlage einer nur verbalen, um Strukturgrafiken bereicherten, Darstellung nicht mehr möglich. Bereits das Beispiel der Frustrations-Aggressionshypothese hat vielmehr gezeigt, dass solche Darstellungen einen viel zu großen Raum für nahezu beliebige Interpretationen lassen. Eine allein aus Doppelpfeilen bestehende Theorie erklärt letztlich gar nichts, ermöglicht keine oder jede Hypothese und bleibt in ihrer praktischen Anwendung nutzlos. Schiepek und Strunk (1994) argumentieren in eine ähnliche Richtung indem sie fordern:

Da das Verhalten nichtlinearer dynamischer Systeme wesentlich durch die Ausprägung der jeweils relevanten Kontrollparameter bestimmt wird, kommt es für Prognosen darauf an, ob man den oder die jeweiligen Kontrollparameter kennt – mit anderen Worten: ob ein valides theoretisches Modell verfügbar ist – und ob sie gemessen oder zumindest in ihrer Ausprägung grob klassifiziert werden können. Dies ist für verschiedene physiologische bzw. biologische Systeme der Fall (vgl. z.B. Haken 1987, 1990a, an der Heiden 1992b, 1992c). Für Psychologie und Psychiatrie besteht hierin ein wesentliches Forschungsziel. (Schiepek & Strunk 1994, S. 85)

7.1.5 Forderung nach Interdisziplinarität und „über den Tellerrand schauen“

Eine der wesentlichen Erkenntnisse der systemwissenschaftlichen Perspektive ist die Anerkennung vielfältiger und weitreichender Verflechtungen von Systemen und Teilsystemen, die weit über die klar abgesteckten Grenzen von Fachdisziplinen hinausreichen. Auch wenn die oben dargestellte alltagsprachliche Auffassung von Systemen als sich im Wind drehende Mobile, bei denen alles mit allem

interagiert (vgl. S. 26), als zu strukturlos und offen zurückgewiesen wurde, reichen die Verflechtungen zwischen Systemelementen und verschiedenen Systemebenen doch weit über die im Fokus der Betrachtung stehenden Phänomenbereiche hinaus. Hierarchische und heterarchische Verflechtungen in und zwischen Systemen (vgl. Abbildung 2, S. 24 und Abbildung 3, S. 25) führen dazu, dass Veränderungen in einem System über verschiedene Umwege zurückwirken, kompensiert werden, oder gar ins Gegenteil umschlagen können. Für die Psychotherapieforschung kann festgestellt werden, dass sich zunehmend eine Sichtweise durchsetzt, die psychotherapeutische Prozesse als dynamisches bio-psycho-soziales System interpretiert (vgl. Schiepek et al. 1995d, S. 3). Damit hat das bio-psycho-soziale Menschenbild, das bereits 1946 von der World Health Organization (WHO) und der UNO erarbeitet wurde, eine lange Zeit gebraucht um im Rahmen der Forschung zur Psychotherapie seinen Niederschlag zu finden.

In der 1946 von der WHO der UNO erarbeiteten Definition von Gesundheit wird diese als Zustand völligen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur als Abwesenheit von Krankheit und Gebrechen definiert (vgl. Toifel 1999, S. 111). Damit wird die Basis für ein bio-psycho-soziales Menschenbild gelegt. 1986 wurde diese Definition durch die Ottawa Charta der WHO ergänzt und erweitert. Darin wird vor allem die individuelle selbstregulative Dynamik der Veränderung von Gesundheit sowie die Wechselwirkung von biologischen mit Umweltaspekten betont (vgl. Toifel 1999, S. 114). Des Weiteren wird auf die Notwendigkeit persönlicher wie auch politischer gesundheitsfördernder Maßnahmen hingewiesen.

Das Konzept vom Menschen als bio-psycho-sozialem System sollte mehr als nur ein Schlagwort sein

Entgegen dieser frühen Bemühungen ein Menschenbild zu etablieren, welches biologische, psychische, soziale und gesundheitspolitische Dimensionen in einem Konzept vereint, wird der bio-psycho-soziale Gesundheits- und Krankheitsbegriff auch heute noch sehr häufig entweder als alles umfassendes Schlagwort ohne konkrete Bedeutung oder als Randnotiz in Fußnoten oder Nebensätzen verwendet. Erst im letzten Absatz eines umfassenden Kapitels über den Krankheitsbegriff in der klinischen Psychologie kommt Schulte (1990) zu der Feststellung:

Doch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer psychischen Störung wird nicht nur durch bestimmte Merkmale der Person verringert, sondern auch durch Merkmale ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen. Ein Idealzustand der ‚Ungestörtheit‘, der für Prävention leitend sein könnte, ist demnach nicht nur durch Merkmale der Person, sondern umfassender durch Merkmale des Körpers, der Psyche, der Person-Umwelt-Interaktion und der Umwelt zu kennzeichnen. (Schulte 1990, S. 36)

Im Folgenden soll auf die verschiedenen Dimensionen eines bio-psycho-sozialen Menschenbildes etwas näher eingegangen werden, wobei hier nicht alle Aspekte im Detail behandelt oder angesprochen werden können.

7.1.5.1 Die Grenzen eines einseitigen hirnpfysiologischen Reduktionismus

Dass die Frage über Krankheit und Gesundheit des Menschen vor allem auf der Grundlage biologischer Faktoren beantwortet werden sollte, ist die Grundüberzeugung eines naturwissenschaftlichen Medizinmodells, welches sich in Europa

seit dem 19. Jahrhundert etablierte und vor allem in der westlichen Medizin vertreten wird (vgl. Kratky 2003). Dem gegenüber stehen östliche Medizinmodelle, wie etwa die traditionelle chinesische Medizin, die zudem Aspekte des Lebens- und Tageszyklus sowie spirituelle Aspekte mit umfassen. Für einen Überblick und den Versuch einer Integration verschiedener Medizinsysteme sei auf die Arbeit von Kratky (2003) verwiesen.

Das westliche, naturwissenschaftliche Medizinmodell birgt die Gefahr der Vernachlässigung von Wechselwirkungen

Grundlegendes Merkmal der westlich-naturwissenschaftlich orientierten Medizin ist die Annahme eines kausalen Ursache-Wirkungsprinzips. Schädigende Einflüsse auf den Organismus werden entweder in genetischen Prädispositionen oder aktuellen physischen Schädigungen gesehen. Dabei spielt es prinzipiell keine Rolle, ob äußere schädigende Einflüsse auf bakterielle Auslöser, Angriffe von Viren, eine einseitige Ernährung oder direkte physische Einwirkungen zurückgeführt werden können. Krankheitsauslöser sind in erster Linie physische Schädigungen. Durch die angenommene kausale Beziehung zwischen physischen Schädigungen und Krankheitsbild ergibt sich in umgekehrter Richtung die Behandlung einer Krankheit als Bekämpfung der die Krankheit auslösenden Schädigungen. Wird diese Sichtweise zu einseitig vertreten kommt es zu einer Vernachlässigung emotionaler und psychologischer Faktoren, die sowohl bei der Entstehung von Krankheiten eine Rolle spielen als auch bei der Prävention, Gesundung und Rehabilitation. Hinzu kommen soziale Aspekte, die einen starken Einfluss auf Krankheitsentstehung, Heilungschancen und Vermeidung von ernstzunehmenden gesundheitlichen Störungen haben können. Die hier angesprochene Problematik spiegelt sich dann in den viel zitierten Bemerkungen von Ärzten und Pflegern wider, die von der Niere in Zimmer 35 sprechen, wenn sie einen Patienten meinen. Kratky (2003, S. 84) sieht dementsprechend die Erfolge der westlichen Schulmedizin vor allem in Akutbereich, wohingegen sich große Probleme bei der Behandlung chronischer Krankheiten ergeben. Dabei sind viele chronische Entwicklungen hausgemacht und beruhen auf der Vernachlässigung von komplexen Wechselwirkungsbeziehungen.

Für den psychiatrischen Bereich konnten solche Effekte unter anderem für die Chronifizierung schizophrener Erkrankungen nachgewiesen werden. Die einseitige Konzentration auf wenige die Krankheit vermeintlich bestimmende Faktoren, führte hier zu dauerhaften Schädigungen der Patienten, für die eben auch eine angenehme, beruhigende Stationsatmosphäre mit Ruhe, Schutzräumen und einer verlässlichen sozialen Umgebung eine wichtige Rolle spielen (Dörner & Plog 1992, S. 168f.; Dörner & Plog 1972, Frank 1990, S. 189; Ciompi & Müller 1976, Ciompi 1989).

Neuere Entwicklungen in der Forschungslandschaft führen zu einer erneuten Vernachlässigung psychischer und sozialer Faktoren

Die Erfolge bei der Entschlüsselung des menschlichen Genoms (vgl. z.B. Pinel 2001, S. 43f.) und die Entwicklungen in der Hinforschung (vor allem durch neuere bildgebende Verfahren, z.B. Münte & Heinze 2001, Kaufmann & Auer 2002) führen hier vermehrt zu Tendenzen eines einseitigen Reduktionismus (vgl. zur Problematik des Reduktionismus in den Neurowissenschaften Schwegler 2001, Storch 2002), der zu einer erneut zunehmenden Vernachlässigung psychologischer und sozialer Faktoren führt (vgl. Manteufel 2003).

Die einseitigen Interpretationen psychischer Störungen wie z.B. der Depression (vgl. z.B. Nickel 2002), der Schizophrenie (vgl. z.B. Vogeley 2001, Meisenzahl & Möller 2002), der Zwangsstörung (vgl. z.B. Hegerl, Henkel & Pogarell 2002, Po-

garell & Hegerl 2002), Angst- und Panikattacken (vgl. z.B. Ströhle 2002), post-traumatischer Belastungsstörungen (vgl. z.B. Kapfhammer 2002) oder auch suizidalen Verhaltens (vgl. z.B. Brunner & Bronisch 2002) als genetische Störungen, Störungen des neuroendokrinen Systems, der Neurotransmitter und Ähnliches können – so hilfreich sie auch vereinzelt sein mögen – in eine gefährliche Einbahnstraße führen, wenn nicht die komplexen Wechselwirkungen im Zusammenhang mit sozialen, psychischen und biologischen Prozessen mitberücksichtigt werden.

Ein biologischer Reduktionismus beruht mehr auf Arroganz, als auf wissenschaftlichen Belegen

Vor den Gefahren eines biologischen Reduktionismus warnt auch Storch (2002, S. 239), wenn sie vor dem Hintergrund der Vorteile der neurobiologischen Forschung für die Psychotherapie darauf verweist, dass die Psychologie auch Verbindungen zu den Geisteswissenschaften besitzt, die genauso wichtig für das Verständnis des menschlichen Wesens sind wie biologisch-naturwissenschaftliche Ergebnisse. Hinzuzufügen bleibt, dass die Psychologie als empirische Wissenschaft vom Denken, Fühlen und Handeln des Menschen einen grundsätzlich anderen Phänomenbereich beschreibt als dies auf neurologisch-molekularer Ebene oder im Rahmen der Geisteswissenschaften geschieht. So fühlt sich eine depressive Stimmung anders an, wird anders kognitiv repräsentiert und sozial kommuniziert, als sie aus der Sicht einzelner Zellverbände erscheint. Ein Gewitter an Aktionspotenzialen ist nicht identisch mit einem Gedanken oder einer Emotion. Solange sich die Psychologie jedoch mit Emotionen und Kognitionen beschäftigt, kann sie aus den biologisch begründeten Erkenntnissen allenfalls Anregungen über neue Möglichkeiten, aber auch über die Grenzen ihrer Forschung mitnehmen.

Dass z.B. schwere Traumata direkt im impliziten unbewussten Wissensspeicher eingeschrieben werden und bei den häufig auftretenden Flashbacks das Sprachzentrum (Brokkazentrum) gehemmt wird, hilft zu verstehen, warum traumatische Erlebnisse nicht kommuniziert werden können (vgl. Kapfhammer 2002). Das Phänomen selbst ist jedoch jedem Praktiker, jeder Praktikerin, auch ohne bildgebende Verfahren bekannt.

Die wesentlichen Erkenntnisse biologischer Ansätze sollten eigentlich zu einer Stärkung der Psychologie beitragen können

In diesem Sinne belegt die biologisch orientierte Forschung in vielen Fällen längst bekannte Arbeitshypothesen der psychologischen Forschung und psychotherapeutischen Praxis. Großes Aufsehen erregten in jüngster Zeit Arbeiten, die nachweisen konnten, dass eine erfolgreiche Verhaltenstherapie zu den gleichen hirnhysiologischen Veränderungen führt wie eine erfolgreiche medikamentöse Behandlung (vgl. Rosenberg et al. 2000, Brody et al. 2001, Förstl 2002, Paquette et al. 2003, für verschiedene Treatments: Ebmeier & Kronhaus 2002, für die Identifikation von Placeboeffekten: Leuchter et al. 2002, für einen Überblick siehe auch Caspar 2003, S. 2). Dies führte jedoch keinesfalls zur Stärkung der wissenschaftlichen und methodologischen Position der Psychotherapie. Vielmehr werden nun verstärkt Psychotherapieevaluationen mittels bildgebender hirnhysiologischer Methoden gefordert (z.B. Meisenzahl & Möller 2002, S. 278; Kaufmann & Auer 2002, S. 201). Wenn man bedenkt, dass mit Nebenwirkungen behaftete Medikamente, deren Wirkung nur geringfügig, wenn überhaupt gegeben ist ohne Bedenken verabreicht werden, ist es doch verwunderlich mit welchem Widerstand psychotherapeutische Bemühungen zu kämpfen haben. Ohne konkrete Belege für die Wirksamkeit von Tomoxifen und dessen angeblich nur geringer toxischen Wirkung wurde das Medikament zur Brustkrebsprophylaxe an 16.000 gesunden Frauen angewendet. Angesichts dieser Vorgänge fragen Andersen et al (1994):

Thus, it would seem unusual to hold tests of psychological therapies (which by their nature are nontoxic) to higher standards than the ones used for clinical trials of immunotherapies, new agents, or new uses of old agents. (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994, S. 401)

Psychotherapie ist weitaus kostengünstiger als Pharmakotherapie

In eine ähnliche Richtung gehen Studien, die belegen, dass psychotherapeutische Interventionen bei depressiven Störungen mindestens ebenso effektiv (wenn nicht effektiver) sind wie pharmakologische Behandlungen. Eine Kombination aus beiden Behandlungsmethoden bringt hingegen kaum einen zusätzlichen Gewinn. Wenn zudem berücksichtigt wird, dass Psychotherapie weitaus kostengünstiger ist, schneidet in einem direkten Vergleich zwischen pharmakologischer und psychotherapeutischer Intervention die Psychotherapie eindeutig besser ab (vgl. Caspar 2003, S. 8).

Es ist beunruhigend, dass die Psychologie aus den neueren physiologischen Belegen ihrer Forschungsbemühungen weniger mit einem gestärkten Selbstbewusstsein als vielmehr mit einer Unterwerfung unter die angeblich objektiven Methoden der Hirnforschung hervorgeht. Dabei ist letztere in ihren Bemühungen nicht viel weiter gekommen als Hirnareale sichtbar zu machen, die bei einem bestimmten Gedanken stärker durchblutet werden als andere. Aber weder dieses Gehirnareal, noch die anderen weniger durchbluteten Areale und auch der Rest des menschlichen Körpers, der bei dieser Art von Forschung immer wieder ignoriert wird (die Vernachlässigung des Körpers und die einseitige Konzentration auf neuronale Netzwerke hat bereits die Forschung zur künstlichen Intelligenz in eine Sackgasse geführt; vgl. Longo 1995, S. 36ff. und S. 42), enthält den entsprechenden Gedanken. So kann letztendlich anhand eines noch so farbigen Bildes des Gehirns nicht geklärt werden, was es eigentlich zeigt (vgl. Caspar 2003, S. 5). Methodische Diskussionen im Bereich der Neurobiologie werfen zudem ähnliche Fragen über Reliabilität und Validität der Forschungsergebnisse auf, wie sie auch in der Psychologie und der Psychotherapieforschung diskutiert wurden und werden. In diesem Sinne zeigt die Neurobiologie auch nicht mehr Wahrheit über die Realität als psychologische Forschungsansätze (vgl. Caspar 2003, S. 5).

Auch Grawe (1998) geht in die neurobiologische Falle, indem er psychische Prozesse und neuronale Aktivierungsmuster miteinander verwechselt. So postuliert er z.B. *emotionale Attraktoren* (Grawe 1998, S. 500f.) unter Rückgriff auf neuronale Aktivierungsmuster. Die Prozesse der Neuronenverbände bilden demnach bestimmte Ordnungsparameter im Sinne bestimmter Aktivierungsmuster mit den Eigenschaften eines Attraktors aus, die als Emotionen wahrgenommen werden.

Grawe (1998) vermennt hier mindestens zwei Beschreibungsebenen, die besser auseinander gehalten werden sollten. Auf neuronaler Ebene wird es im Rahmen verschiedenster Zellverbände eine Unzahl von Attraktoren im permanenten Wechselspiel geben, ohne dass sich auf dieser Ebene ein Attraktor qualitativ von einem anderen unterscheidet. Die neuronale Aktivität einzelner Zellverbände weiß nichts davon, dass sie eine Emotion ist. Oder ist sie ein Bewegungsprogramm für „Gitarrespielen“? Die spezifischen psychischen (nicht neuronalen) Eigenschaften von Emotionen können auf der Ebene der Aktivierungen von Neuronen weder erklärt noch verstanden werden. Diese Eigenschaften meint Grawe dann jedoch, wenn er z.B. beschreibt, wie ein emotionaler Attraktor die gesamte momentane psychische Aktivität „*versklaven*“ kann. Als Beispiel führt er einen Menschen an, der sich in

einen Wutanfall steigert und dann Dinge tut, die seinen sonstigen Zielen entgegen stehen (vgl. Grawe 1998, S. 500).

Es ist nur schwer begründbar, warum es sich bei Emotionen um Attraktoren handeln sollte

Wenn man hier die Erklärung von Emotionen als neuronale Aktivierungsmuster zu Grunde legt, müsste die Versklavung der übrigen „psychischen Aktivität“ durch solch ein Muster die „Gleichschaltung“ aller beteiligten neuronalen Aktivität bedeuten. Wenn aber nun weite Teile des Gehirns das gleiche Prozessmuster aufweisen, wie erklärt das ein bestimmtes Verhalten? Nach diesem Modell sind bestenfalls epileptische Anfälle beschreibbar (vgl. die Befunde zur Epilepsieforschung z.B. Mackey & an der Heiden 1982, Iasemidis et al. 1990, Iasemidis & Sackellares 1991, an der Heiden 1992c, Friedrich & Uhl 1992, Elbert & Rockstroh 1993).

Es scheint hier schlüssiger auf der psychischen Ebene zu bleiben und zunächst davon auszugehen, dass eine Emotion wie z.B. Wut das System anders energetisiert als z.B. Angst und daher ein anderes Verhalten, also einen anderen Attraktor hervorrufen kann. Dieser andere Attraktor wird durch ein Verhaltensmuster beschrieben. Die Emotion Wut wäre kein Teil dieses Verhaltensmusters, sondern eine Randbedingung des Systems in Sinne eines Kontrollparameters, der das System energetisiert aber nicht sein Verhalten bestimmt. Das Verhalten folgt vielmehr aus der Selbstorganisation des Systems.

Das Problem der Vermischung von Ebenen, wie sie bei Grawe an mehreren Stellen beobachtet werden kann, wird von Hofstadter (1985) recht anschaulich beschrieben:

Zum Beispiel wissen wir alle, dass der Mensch aus einer ungeheuren Zahl von Zellen (etwa 25 Billionen) zusammengesetzt ist und dass deshalb alles, was wir tun, prinzipiell vom Standpunkt der Zellen aus beschrieben werden kann. Es ließe sich sogar vom Standpunkt der Moleküle aus beschreiben. Die meisten Menschen nehmen das als selbstverständlich hin; wir gehen zum Arzt, der uns auf tieferen Ebenen betrachtet als derjenigen, auf der wir uns selber betrachten. Wir lesen über DNS und Gentechnologie und schlürfen dazu unseren Kaffee.

Wir haben diese beiden völlig verschiedenen Bilder von uns selbst in Übereinstimmung gebracht, indem wir sie voneinander trennten. Es gibt fast keine Möglichkeit, eine mikroskopische Beschreibung von uns selbst mit unserem Bild von uns selbst in Einklang zu bringen, und deshalb ist es möglich, verschiedene Repräsentationen unserer selbst in ganz verschiedenen ‚Abteilungen‘ unseres Geistes zu lagern. Selten müssen wir zwischen diesen beiden Darstellungen von uns hin- und herspringen und fragen: ‚Wie können diese beiden völlig verschiedenen Dinge das gleiche Ich sein?‘

Oder nehmen wir eine Sequenz von Bildern auf einem Fernsehschirm, die eine lachende Shirley MacLaine zeigt. Wenn wir uns diese Sequenz anschauen, wissen wir, dass wir nicht wirklich eine Frau betrachten, sondern Mengen von flackernden Punkten auf einer ebenen Fläche. Wir wissen es – aber nichts liegt unseren Gedanken ferner. Wir haben also zwei extrem entgegengesetzte Repräsentationen dessen was sich auf dem Schirm befindet, aber in Verwirrung stürzt uns das nicht. Wir können einfach die eine ausschließen und unsere Aufmerksamkeit auf die andere richten – und das tun wir denn auch alle. Welche ist ‚wirklicher‘? Es hängt davon ab, ob Sie ein Mensch, ein Hund, ein Computer oder ein Fernsehgerät sind. ...

Im allgemeinen brauchen wir nicht mehr als eine Ebene zum Verständnis einer Situation. Zudem sind die verschiedenen Beschreibungen eines einzelnen Systems begrifflich so weit voneinander entfernt, dass, wie wir früher erwähnten, es kein Problem ist, sie beide auseinanderzuhalten; man legt sie einfach in verschiedenen Abteilungen des Gehirns ab. Verwirrend ist jedoch, wenn ein einzelnes System zwei oder mehr Beschreibungen auf verschiedenen Ebenen zulässt, die sich trotzdem in gewisser Weise ähneln. Dann fällt es uns schwer, beim Nachdenken über das System die verschiedenen Ebenen nicht durcheinanderzubringen, und wir können leicht völlig in die Irre gehen.

Zweifellos geschieht das, wenn wir über unsere eigene Psyche nachdenken – wenn wir zum Beispiel die Motivationen zu verstehen versuchen, die Menschen verschieden handeln lassen. In der Struktur des menschlichen Geistes gibt es viele Ebenen – es ist sicher ein System, das wir noch nicht sehr gut verstehen. Es gibt aber Hunderte von rivalisierenden Theorien darüber, warum die Menschen sich so verhalten, wie sie es tun, und jede Theorie beruht auf gewissen Annahmen, bis in welche Tiefe dieses Systems von Ebenen verschiedene psychologische Kräfte zu finden sind. ... Zum Beispiel sprechen wir von ‚Trieben‘ im Zusammenhang mit Geschlecht, Macht, Ruhm, Liebe usw., wissen aber nicht, woher diese Triebe in der geistigen Struktur der Menschen kommen. Ohne diesen Punkt strapazieren zu wollen, möchte ich ganz einfach sagen, dass unsere Verwirrung darüber, was wir sind, sicher mit der Tatsache in Zusammenhang steht, dass wir aus einer großen Anzahl von Ebenen bestehen, und dass wir zur Beschreibung unserer selbst auf allen diesen Stufen überlappende Sprachen gebrauchen. (Hofstadter 1985, S. 306 und S. 308)

7.1.5.2 Wechselwirkungen zwischen psychischen und physischen Prozessen

In der westlichen Medizin sind Ergebnisse über die Wechselwirkungen zwischen seelischer und körperlicher Verfassung erstmals in den Arbeiten von Jean Martin Charcot⁸¹ beschrieben worden. Obwohl Charcot die Rolle von Erbanlagen als eine Ursache der Neurose betonte, stellte er auf der anderen Seite fest, dass es möglich ist, durch Hypnose Symptome hervorzurufen, die bis dahin rein organischen Ursprungs zu sein schienen (vgl. Roazen 1976, S. 88).

Das Konzept der Katharsis beschreibt, wie die Auseinandersetzung mit einem Trauma gesundheitliche Probleme verringert

Zu den wichtigsten Arbeiten in diesem Zusammenhang zählen die berühmten „Studien über Hysterie“ in denen Freud⁸² und Breuer⁸³ die Grundfunktionen kathartischer Prozesse beschreiben (Freud & Breuer 1970/1895). Die Möglichkeit der Auseinandersetzung und Aussprache über psychische Traumata scheinen, neben der Behandlung der dadurch direkt hervorgerufenen Symptome (wie z.B. die der Hysterie), auch sonstige gesundheitsfördernde Bedeutung zu besitzen. In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass Studenten die über mehrere Tage hinweg über persönliche Traumata schrieben, in den folgenden Monaten weit seltener ärztliche Hilfe für Gesundheitsprobleme in Anspruch nahmen als Studenten einer Kontrollgruppe, die über triviale Themen schreiben sollten (vgl. für einen Überblick Pennebaker, Kiecolt-Glaser & Glaser 1988).

⁸¹ 1825 bis 1893

⁸² 1856 bis 1939

⁸³ 1842 bis 1925

Allgemein gesprochen scheint es Belege dafür zu geben, dass Psychotherapie als „Nebenwirkung“ eine Verringerung allgemeiner gesundheitlicher Störungen nach sich zieht. In einer Übersicht über 15 Studien, die zwischen 1965 und 1980 publiziert wurden, konnte eine Reduktion der Arztbesuche um 13% gegenüber nicht psychotherapeutisch behandelten Personen festgestellt werden. In einer weiteren Übersichtsarbeit konnte sogar eine 20%-ige Reduktion ermittelt werden (vgl. Pennebaker, Kiecolt-Glaser & Glaser 1988, S. 239). Pennebaker et al. (1988) kommen zusammenfassend zu der Schlussfolgerung, dass Psychotherapie eine direkte und mit geringen Kosten verbundene gesundheitsfördernde Wirkung besitzt. Diese positive Wirkung kann bereits für das Schreiben über traumatische Erlebnisse nachgewiesen werden. Dabei ergeben sich Verbesserungen auf der immunologisch-biologischen Ebene und in Bezug auf das subjektive Stressempfinden. Zudem kommt es zu einem Rückgang in der Anzahl von Arztbesuchen.

Umgekehrt war es bereits eine seit der Antike bekannte Überzeugung, dass negative Emotionen zu körperlichen Beschwerden, Krankheiten oder zum Tode führen können. Für Hippokrates⁸⁴ war Gesundheit mit der Ausgeglichenheit von vier Körpersäften verbunden. Einem Übergewicht eines Körpersaftes war entsprechend eine Charaktereigenschaft zugeordnet (vgl. Kiecolt-Glaser et al. 2002, S. 84; Kratky 2003). Der griechisch-römische Arzt Galen⁸⁵ entwickelte diese Grundidee weiter. Er spricht davon, dass emotionale Reaktionen verantwortlich sind für Krankheiten, wie z.B. Schlaganfälle, Geburtsfehler, Asthma, Geschwüre und plötzliche Todesfälle (vgl. Kiecolt-Glaser et al. 2002, S. 84). Bis in die Renaissance können diese Überzeugungen weiter verfolgt werden. Erst später wurden sie von einem nur mehr biologisch orientierten Medizinmodell abgelöst.

Im Zuge der psychosomatischen Forschung und Therapie wurden solche Modelle der Beeinflussung körperlicher Gesundheit durch psychische Prozesse wieder aktuell. Grundlegend waren in diesem Zusammenhang die Arbeiten von Georg Groddeck⁸⁶, der häufig als Begründer der Psychosomatischen Medizin bezeichnet wird. Diese Bezeichnung ist jedoch nur zum Teil richtig. In seinen grundlegenden Auffassungen über den Zusammenhang zwischen physischen und psychischen Leiden geht Groddeck klar über die Abgrenzungskriterien der Psychosomatik hinaus, die drei deutlich verschiedene Kategorien von Krankheiten unterscheidet, nämlich rein somatische, rein psychische und psychosomatische. Für Groddeck bildet der Mensch hingegen eine Einheit, in der jedes psychische Symptom einen physischen Ausdruck und jedes physische Symptom einen psychischen Ausdruck besitzt (vgl. Lewinter 1990, S. 8). Damit wehrt sich Groddeck sowohl gegen die rein somatische Medizin als auch gegen die rein psychisch ausgerichtete Therapie:

Die somatischen Therapien, die ausschließlich mittels Medikation oder Operation vorgehen, sind unzulänglich und oft sogar schädlich; da sie sich nur mit der Wirkung beschäftigen und die Ursache ignorieren, beseitigen sie höchstens die oberflächliche Wirkung und lassen die tiefere Ursache unangetastet. Sie sind nur eine grobe, brutale Veränderung, die, weit davon entfernt zu heilen, oft nur noch mehr schädigt, indem sie den Kranken noch wehrloser macht. Denn das organische Symptom drückt etwas aus, das sich auf andere Art nicht ausdrücken konnte oder wollte und das, wie jede

⁸⁴ 460 bis 377 v. Chr.

⁸⁵ 129 bis 199

⁸⁶ 1966 bis 1934

Neurose, gleichzeitig mit einer Schädigung auch einen Gewinn bietet – und oft ist es gerade diese Schädigung, die den angestrebten Gewinn ausmacht, die augenblicklich notwendige Abwehr. Was die psychischen Therapien angeht, so vernachlässigen sie, indem sie sich weigern, auch die organischen Symptome zu beachten, die spezifische Indikation des Kranken, den sie dichotomisieren, und gehen in die Falle ihrer Abstraktion: einer Topik, die nie mehr sein kann als eine operationale Fiktion.

Die Rolle des Arztes besteht für Groddeck ausschließlich darin, den Sinn des Symptoms zu verstehen und schließlich das Symptom, die Sprache, zu wechseln. (Lewinter 1990, S. 9)

Symptome werden damit als spezielle Ausdrucksformen, als eigene Sprache des Körperlichen und des Seelischen verstanden, so dass es keine Grenze zwischen gesund und krank geben kann. Krankheit und Gesundheit sind für Groddeck normale Lebensäußerungen des menschlichen Organismus (vgl. auch Will 1987, Lewinter 1990):

Und da schlage ich vor, klar auszusprechen: ‚Krankheit ist eine Lebensäußerung des menschlichen Organismus.‘ ...

Mit dem Augenblick, wo ich einsehe, dass die Krankheit eine Schöpfung des Kranken ist, wird sie für mich dasselbe wie seine Art zu gehen, seine Sprechweise, das Mienenspiel seines Gesichtes, die Bewegungen seiner Hände, die Zeichnung, die er entworfen, das Haus, das er gebaut, das Geschäft, das er abgeschlossen hat, oder der Gang, den seine Gedanken gehen: ein beachtenswertes Symbol der Gewalten, die ihn beherrschen und die ich zu beeinflussen suche, wenn ich es für recht halte. Die Krankheit ist dann nichts Abnormes mehr, sonder etwas, was durch das Wesen dieses einen Menschen, der krank ist und von mir behandelt werden will, bedingt ist. Ein Unterschied besteht darin, dass die Schöpfung des Es, die wir Krankheit zu nennen pflegen, unter Umständen für den Schöpfer selbst oder seine Umgebung unbequem sind. ...

Wir sind es im allgemeinen gewöhnt, die Gründe für unsere Erlebnisse, je nachdem es uns gefällt, in der Außenwelt oder in unserer Innenwelt zu suchen. Wenn wir auf der Straße ausgleiten, suchen und finden wir die Apfelsinenschale, den Stein, die äußere Ursache, die uns zu Fall gebracht hat. Wenn wir dagegen eine Pistole nehmen und schießen uns eine Kugel vor den Kopf, so sind wir der Ansicht, dass wir das aus inneren Gründen absichtlich tun. Wenn jemand eine Lungenentzündung bekommt, so schieben wir das auf die Infektion durch Pneumokocken, wenn wir aber vom Stuhl aufstehen, durch das Zimmer gehen und aus dem Schrank Morphiumgift holen, um es zu nehmen, so glauben wir aus inneren Gründen zu handeln. Ich bin, wie Ihnen bekannt ist, stets ein Besserwisser gewesen, und wenn mir jemand die berühmte Apfelsinenschale entgegenhielt, die trotz aller Polizeivorschriften auf der Straße lag und den Armbruch der Frau Lange herbeigeführt hatte, bin ich hingegangen und habe sie gefragt: ‚Welchen Zweck verfolgen Sie damit, den Arm zu brechen?‘ Und wenn mir jemand erzählte, der Herr Treiner hat gestern Morphium genommen, weil er nicht schlafen konnte, habe ich Herrn Treiner gefragt: ‚Wie und wodurch ist gestern die Idee ‚Morphium‘ so stark in Ihnen geworden, dass Sie sich schlaflos machten, um Morphium nehmen zu können?‘ Bisher ist mir immer Antwort auf solche Fragen geworden, was auch nicht allzu verwunderlich ist. Alle Dinge haben zwei Seiten, also kann man sie auch von zwei Seiten betrachten, und überall wird man, wenn man sich Mühe gibt, eine äußere und eine innere Ursache für die Geschehnisse des Lebens finden. (Groddeck 1979/1923, S. 247f.)

Auch in den USA entwickelte sich, unabhängig von Europa, zur gleichen Zeit eine psychosomatische Strömung. Zu einem der Pioniere gehörte Smith Ely Jelliffe⁸⁷. Groddecks und Jelliffes Wege kreuzten sich 1925 anlässlich des IX. Internationalen Psychoanalytischen Kongresses in Bad Homburg. Groddeck berichtete seinen Freunden amüsiert von dem Amerikaner, der ihn nach seinem Vortrag angesprochen habe und „mir in aller Kürze auseinander setzte, wie sehr er sich freue, seine Ideen nun auch in Europa verbreitet zu finden“ (Groddeck 1925, zitiert nach Will 1987, S. 78).

Dass alle Dinge zwei Seiten haben und dass man, wenn man sich Mühe gibt, eine äußere und eine innere Ursache für die Geschehnisse des Lebens finden kann, wird in jüngerer Zeit insbesondere durch die Forschungsarbeiten zur Psychoneuroimmunologie eindrucksvoll bestätigt. In der folgenden Aufzählung werden einige neuere Befunde aus diesem Bereich kurz referiert. Sie belegen in unterschiedlichen Bereichen die Beeinflussung physiologischer Parameter durch psychische Vorgänge. Insofern das Schlagwort vom Menschen als bio-psycho-sozialem System nicht nur ein Schlagwort bleiben soll, finden sich hier eine Fülle von Hinweisen für die komplexe Verschränkung psychischer und physischer Phänomene. Eingegangen wird dabei zunächst auf die Auswirkungen von Emotionen auf die Gesundheit:

Emotionen

- Sowohl Angst als auch depressive Stimmungen können sowohl die Sympathikus-Hypophysenvorderlappen-Nebennieren-Achse als auch das Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-System (englisch: hypothalamic-pituitary-adreno-cortical-system, HPA) beeinflussen. Eine ganze Anzahl an Studien zeigen, dass durch Emotionen ausgelöste Hormonausschüttungen, zu denen z.B. die Katecholamine (Norepinephrin und Epinephrin), adreno-corticotrope Hormone, welche im Hypophysenvorderlappen erzeugt werden und die Nebennierenrinde zur Ausschüttung ihrer Hormone wie Adrenalin (Epinephrin) anregen, Kortisol, Wachstumshormone und Prolaktin (ein Hormon des Hypophysenvorderlappens) gehören, zu quantitativen und qualitativen Veränderungen der Immunfunktionen führen (Kiecolt-Glaser et al. 1998). Zudem findet sich eine starke gegenseitige Beeinflussung zwischen dem endokrinen und dem Immunsystem (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Beispielsweise werden durch depressive Stimmungen die Kortisolausschüttungen angeregt, die ihrerseits zu einigen Verschlechterungen der Immunfunktionen beitragen, u.a. bei der Reaktion auf Krankheitserreger und der Wundheilung (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Im Gegensatz zu dem im Allgemeinen negativen Einfluss von Kortisol, fördern Wachstumshormone die Immunfunktion. Allerdings ist die Ausschüttung von Wachstumshormonen bei depressiven Patienten und Patientinnen oder unter dem Einfluss von Stress verringert (Kiecolt-Glaser et al. 2002). Die Verringerung von Wachstumshormonen wird dabei vor allem durch Schlafstörungen im Umfeld stressvoller Belastungen hervorgerufen (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

⁸⁷ 1866 bis 1945

- Die Zeitspanne, die ein Individuum nach einer Stressreaktion benötigt um zu seiner endokrinen Baseline zurück zu kehren, bestimmt im Wesentlichen das Ausmaß gesundheitlicher Probleme. Insbesondere bei als unkontrollierbar erlebten Stressoren zeigt sich jedoch keine Anpassung des endokrinen Systems. Es bleibt relativ lange und dauerhaft fehlgeregelt (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

Positive Emotionen

- Es gibt nur wenig Forschung über die Auswirkungen positiver Emotionen. Erst in den letzten Jahren hat es hier verstärkt Bemühungen gegeben (vgl. z.B. Martin et al. 2003).
- Dass Humor eine effektive Copingstrategie zum Umgang mit Stress ist, konnte inzwischen nachgewiesen werden (Lefcourt, Davidson & Prkachin 1997, Henman 2001, Pettit & Kline 2001, Millicent 2002), auch wenn die Ergebnisse nicht immer eindeutig ausfallen (z.B. White & Camarena 1989). Es scheint jedoch so zu sein, als ob Humor mit Entspannungsübungen vergleichbare positive Auswirkungen auf den Umgang mit Stress hätte (White & Winzelberg 1992).
- Zudem konnte gezeigt werden, dass humorvolle Personen höhere positive Emotionen äußern als weniger humorvolle Personen und zwar sowohl bei positiven als auch bei negativen Ereignissen. Bei weniger humorvollen Personen kann im Falle von negativen Ereignissen ein Absinken des Wohlbefindens festgestellt werden, wohingegen sich humorvolle Personen eher den auftretenden Problemen stellen, während sie sich gleichzeitig emotional distanzieren und zukünftige Ereignisse realistischer einschätzen. Zudem sehen sie Probleme eher als positive Herausforderung (Martin et al. 1993).
- Auch der Umgang mit Angst scheint humorvollen Menschen leichter zu fallen (Cann, Holt & Calhoun 1999).
- Das Erleben von Freude führte bei Frauen mit Brustkrebs zu einer deutlichen Vergrößerung der Überlebenschancen (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).

Angst

- Erhöhte Angstreaktionen zeigen einen starken Einfluss auf die Entwicklung von Herzkrankheiten. Sie sind verbunden mit einer schlechteren Prognose bis hin zum Tod nach akuten Herzproblemen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Phobisch-panische Angstzustände sind über einen 7-Jahres Zeitraum mit einem zwei bis drei mal so hohen Risiko für fatale Herzkrankheiten verbunden (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Ängstlichkeit hat ebenso negative Konsequenzen für die Erholung nach chirurgischen Eingriffen (Kiecolt-Glaser et al. 2002). Im Allgemeinen ist eine höhere präoperative Angst und eine höhere Stressbelastung mit einem schlechteren Heilungsverlauf nach einer Operation verbunden. Dazu gehören das Auftreten größerer Schmerzen, längerer Krankenhausaufenthalte, mehr postoperativer Komplikationen und einer geringeren Compliance (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

Depressive Störungen

- Eine große Anzahl gut kontrollierter Studien belegt starke Zusammenhänge zwischen depressiven Symptomen und koronaren Herzkrankheiten. Zum Beispiel zeigt eine 13 Jahre umfassende prospektive Studie ein 4,5 mal höheres Risiko für einen Herzinfarkt für Personen mit einer *Major Depression*. Die Risiken für Herzkrankheiten, die auf depressive Störungen zurück gehen, sind ähnlich hoch wie die anderer wohlbekannter Risikofaktoren, zu denen auch Rauchen, Bluthochdruck, Diabetes oder Fettsucht gehören (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Umstritten ist jedoch der Zusammenhang zwischen chronisch depressiven Verstimmungen und Krebsrisiko. Während in einigen Studien ein erhöhtes Krebsrisiko festgestellt werden konnte, gelang der Nachweis in anderen Studien nicht (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Insbesondere für ältere Menschen scheinen depressive Stimmungen ein hohes Gesundheitsrisiko zu bedeuten. So zeigt sich bei einer Stichprobe von 1.286 älteren Menschen (71 Jahre oder älter) ein verstärkter körperlicher Abbauprozess über vier Jahre, wenn depressive Symptome beobachtet werden konnten. Zudem erhöht eine Depression die Wahrscheinlichkeit von Osteoporose bei Frauen. Bei älteren Männern konnte im Zusammenhang mit depressiven Symptomen ein Abbau der Muskelkraft über den Beobachtungszeitraum von drei Jahren festgestellt werden (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Zudem zeigen sich im Umfeld depressiver Störungen geringere Erfolge von Rehabilitationen nach einer ganzen Reihe von Krankheiten (Lungenkrankheiten, Knochenbrüche, Schlaganfall). In eine ähnliche Richtung gehen Untersuchungen, die zeigen, dass depressive Diabetiker weniger gewillt sind, sich an Diätpläne zu halten (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Studien weisen darauf hin, dass depressive Stimmungen das Risiko für gesundheitliche Probleme im Verlauf von sechs Jahren um 73% erhöhen können (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- In einer großangelegten Studie mit insgesamt 11.242 Teilnehmern zeigten Personen mit depressiven Störungen oder Symptomen schlechtere gesundheitliche, physiologische und soziale Funktionen sowie eine größere Schmerzempfindlichkeit (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Negative Emotionen, wie depressive Stimmungen aber auch Angst und Stress, führen zu einer deutlichen Verlängerung der Wundheilung nach Verletzungen oder chirurgischen Eingriffen und erhöhen die Wahrscheinlichkeit von chronischen Entzündungen der Wunden (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

Stressbelastungen und Immunsystem

- Bereits geringe Stressbelastungen können zu einer Einschränkung von Immunfunktionen führen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- So zeigten sich während eines dreitägigen Examins von Studierenden signifikante Verringerungen in der Aktivität von Killerzellen (natural killer cells- NK, bei denen es sich um lymphozytenähnliche Zellen handelt, die spontan, d.h. ohne vorherige antigene Stimulation und ohne Beteiligung

von Antikörpern Zielzellen, vor allem virusinfizierte und maligne transformierte Körperzellen zerstören; vgl. Zink 1990), denen eine wichtige antivirale und Antitumor-Funktion zukommt (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).

- Ebenso kann ein Rückgang von Gammainterferon, einem wichtigen Regulator für das Wachstum von Killerzellen und deren Fähigkeit Ziele zu zerstören, beobachtet werden (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Auch die Produktion von Interleukin-2 (IL-2), einer Signalsubstanz des Immunsystems, die von T-Helferzellen produziert wird und T-Lymphozyten sowie Killerzellen aktiviert, geht während der Examensperiode zurück (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Diese Veränderung kann bereits auf genetischer Ebene beobachtet werden, auf der das Ablesen des genetischen Codes in den IL-2-Rezeptoren nachlässt, was sich durch eine geringere Menge an Messenger-RNA in den peripheren Leukozyten des Blutes nachweisen lässt (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Die Anfälligkeit für Erkältungskrankheiten lässt sich in einer einfachen Wirkungs-Dosis-Beziehung auf äußere Stressbelastungen zurückführen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Im Allgemeinen führen Stressbelastungen zu einer Verringerung der Immunfunktion. Chronischer Stress führt dabei zu keiner Adaptation des Immunsystems, sondern resultiert in einer dauerhaften Verringerung der Immunfunktionen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Betreuungspersonen, die seit über fünf Jahren demente Partner bzw. Partnerinnen pflegten, zeigen eine dauerhafte Verringerung der Immunfunktionen, verbunden mit einer Erhöhung des Infektionsrisikos für Erkältungskrankheiten (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Obwohl es eine Reihe von genetischen Einflüssen auf die Entstehung einer depressiven Symptomatik gibt, zeigen ältere Menschen, die dauerhaften Belastungen ausgesetzt sind (z.B. die Langzeitpflege eines dementen Partners) auch ohne vorherige persönliche oder familiäre Vulnerabilität beginnende depressive Störungen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Stress führt zudem zu einer deutlichen Verlängerung der Wundheilung nach Verletzungen oder chirurgischen Eingriffen und erhöht die Wahrscheinlichkeit von Entzündungen der Wunden (Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Stress führt über drei Wege, die sich zudem gegenseitig beeinflussen, zu Verringerungen in den Immunfunktionen des Körpers. Zum einen nimmt Stress direkten Einfluss auf das Hormonsystem (z.B. auf die Ausschüttung von Katecholaminen, wie Epinephrin und Norepinephrin, die in der adrenalen Medulla (Nebenniere) erzeugt werden, sowie Kortisol, welches im adrenalen Kortex und Wachstumshormone wie Prolaktin, die im Hypophysenvorderlappen erzeugt werden) und auf das zentrale Nervensystem (insbesondere über die adrenergen Bahnen des Sympathikus) (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994). Zudem sind mit Stress Veränderungen, d.h. Verschlechterungen im gesundheitsförderlichen Verhalten verbunden, die indirekt zu einer weiteren Fehlregulation des Immunsystems beitragen

(Kiecolt-Glaser & Glaser 1988, Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser et al. 2002).

- Langanhaltender Stress führt zudem indirekt zu negativen kognitiven Interpretationen und einem Rückgang sozialer Unterstützungssysteme (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).

Stress und gesundheitsförderliches Verhalten

- Neben den direkten Einflüssen die Stress, Belastungssituationen und emotionale Störungen auf das endokrine und immunologische System besitzen, zeigen sich bei Personen, die solchen psychischen Belastungen ausgesetzt sind eine ganze Anzahl von Verhaltensweisen, die das Gesundheitsrisiko weiter erhöhen. Hierzu gehören Schlafstörungen, Selbstmedikation mit Alkohol (Kiecolt-Glaser & Glaser 1988), höherer Zigaretten- und Koffeinkonsum (Kiecolt-Glaser et al. 1998), schlechte Ernährung, geringes Ausmaß an Bewegung und geringe Compliance mit medizinischen Behandlungen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1988, Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser et al. 2002). Solches Verhalten führt jedoch in der Regel zu einer Verstärkung der physiologischen Stressreaktion, z.B. durch die erhöhte Ausschüttung von Katecholaminen (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Problematisch werden diese Verhaltensweisen insbesondere dadurch, dass sie miteinander stark interagieren. So führt z.B. ein vermehrter Alkoholkonsum in der Regel auch zu einer schlechteren Ernährung (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

Persönlichkeit und Stressbewältigung

- Persönlichkeitsfaktoren und unterschiedliche Copingmechanismen beeinflussen die Auseinandersetzung eines Individuums mit äußeren und inneren Einflüssen. Die Empfänglichkeit optimistischer Menschen für positive Emotionen und die Offenheit von Pessimisten für alles Negative haben einen direkten Einfluss auf das Immunsystem (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Zum Beispiel führen Persönlichkeits- und Copingstile wie Verdrängung, Empfindlichkeit für Abweisungen, verschiedene Attributionstile, Offenheit für soziale Beziehungen und religiöse Überzeugungen zu großen Unterschieden in den Immunfunktionen, verbunden mit einer unterschiedlichen Anzahl von Immunzellen und Fehlregulationen in zellulären Immunfunktionen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Optimistische Männer zeigen nach Operationen schnellere Heilungserfolge. Sie sind früher in der Lage ihr Bett zu verlassen und werden vom Pflegepersonal früher als gesund eingeschätzt (Kiecolt-Glaser et al. 1998).
- Es scheint so zu sein, dass Personen, die sich als besonders selbstwirksam wahrnehmen mit Stressoren besser umgehen können und über entsprechend bessere Immunfunktionen verfügen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).

Schmerzen

- Schmerzen gehen in der Regel mit einer Erschwerung des Krankheitsverlaufes und einer erhöhten Mortalitätsrate einher. Schmerzen erhöhen die Herzfrequenz und den Blutdruck ebenso wie auch die Ausschüttung von Stresshormonen, wie Katecholamine (Epinephrin und Norepinephrin) und

Kortisol und führen zu einer Fehlregulation vieler Immunfunktionen (Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser et al. 2002).

- Zudem führen Schmerzen zu einer ganzen Reihe von mentalen, physiologischen und sozialen Problemen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Bei chirurgischen Eingriffen zeigt sich, dass schmerzstillende Medikamente und/oder Anästhetika vermittelt über die Schmerzlinderung zu einer Verringerung postoperativer Infektionen führen (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

Werden die bisher vorgestellten Zusammenhänge vereinfachend zusammengefasst, so können sie graphisch wie in Abbildung 64 dargestellt werden. Dabei werden negative Emotionen stark verkürzt und ohne weitere Differenzierung als „Stress“ bezeichnet. Noch nicht eingegangen wurde bisher auf die psychische Verarbeitung gesundheitlicher Probleme. Ob diese primär physiologischen Ursprungs sind oder erst vermittelt über eine *Downregulation* des Immunsystems auftreten, kann im Rahmen des kreiskausalen Modells der folgenden Abbildung 64 jedoch nicht mehr entschieden werden. Die folgende Aufzählung widmet sich diesen psychischen Verarbeitungsmechanismen schwerer Erkrankungen.

Schwere Krankheit als Stressor

- Schwere Krankheiten wie Krebs oder eine positive HIV Diagnose können als dramatische, anhaltend belastende Stressoren betrachtet werden. Neben der Krankheit selbst kommt es, ausgelöst durch die Mitteilung der Diagnose und der anschließenden psychischen Verarbeitung der Krankheit, zu einer weiteren Schädigung des Immunsystems (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Mit der psychischen Verarbeitung der Krankheit gehen in der Regel enorme Verschlechterungen im gesundheitsförderlichen Verhalten einher. Die Patienten klagen über einen geringen Appetit, essen zu wenig oder zu nährstoffarm. Zu geringe Nahrungsaufnahme kann jedoch in Verbindung gebracht werden mit einer ganzen Reihe von immunologischen Veränderungen.
- Zudem zeigen sich Tendenzen, die auch für ängstliche oder depressive Stimmungen beschrieben werden, in Alkohol, Nikotin oder Koffein zu flüchten. Solches Verhalten führt jedoch in der Regel zu einer Verstärkung der physiologischen Stressreaktion, z.B. durch die erhöhte Ausschüttung von Katecholaminen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1988, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994, Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser et al. 2002). Zudem zeigen sich häufig Schlafstörungen, wie ein frühmorgendliches Aufwachen, Einschlaf- und Durchschlafinsomnien (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994), die ebenfalls mit negativen Auswirkungen auf das Immunsystem verbunden sind, wie z.B. eine Verringerung der Ausschüttung von Wachstumshormonen (Kiecolt-Glaser et al. 1998).
- Besonders schwerwiegend sind zudem die Veränderungen die mit der Behandlung von Krebs einhergehen. Patienten lassen sich durch die starken und plötzlichen Nebenwirkungen der Behandlungen leicht entmutigen. Die Gefahr eines Therapieabbruchs ist relativ hoch. Die Compliance ist in vielen Fällen herabgesetzt (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).

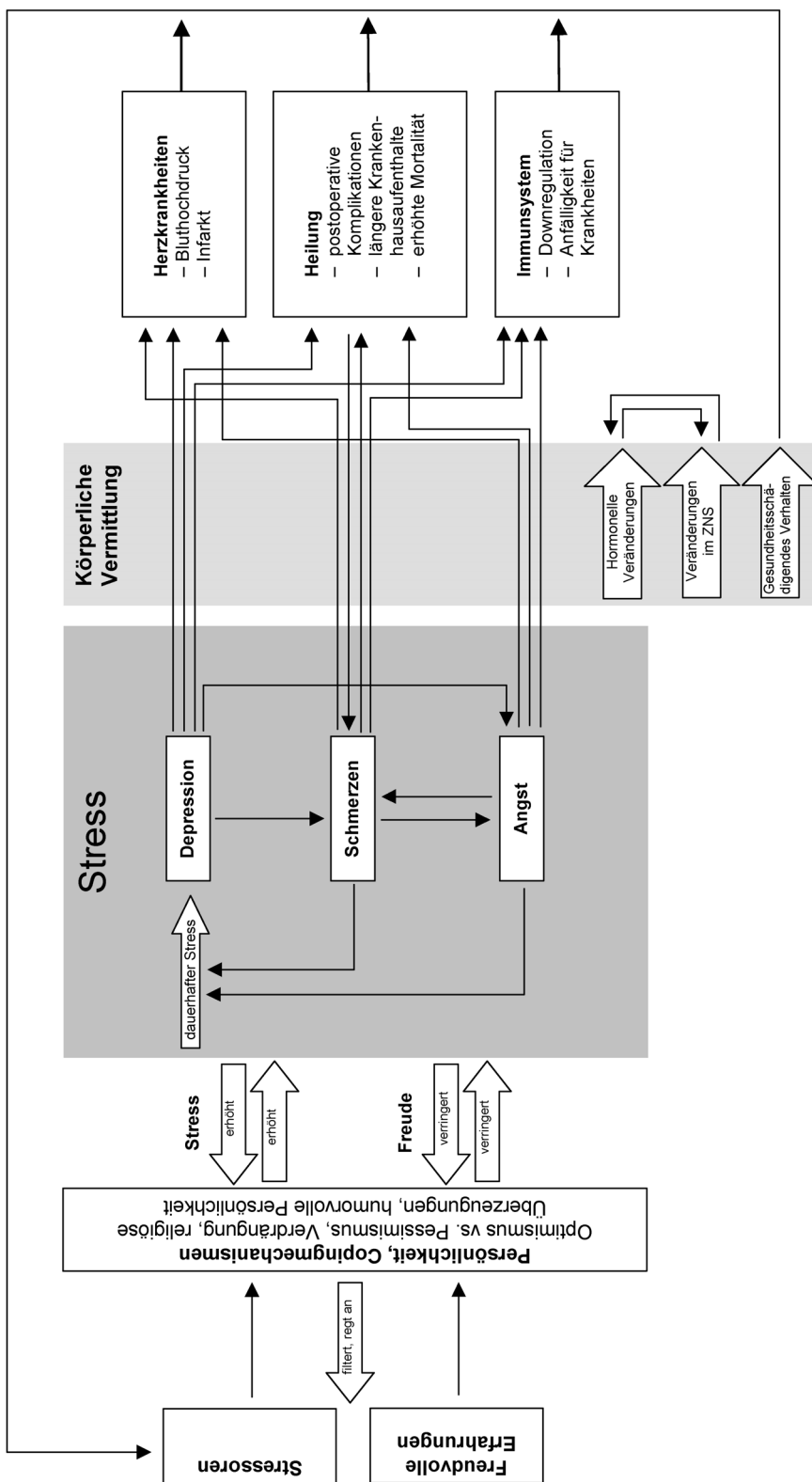


Abbildung 64: Psychologische Einflussfaktoren auf physiologische Prozesse

Das Modell fasst die Darstellungen zum Einfluss von Emotionen auf physiologische Funktionen stark vereinfacht zusammen. Insbesondere werden die Emotionen Angst, Schmerzen und Depressionen vereinfachend als Stress zusammengefasst. Einem Stresserleben sind Persönlichkeitsfaktoren und Copingmechanismen vorgeschaltet. Negative gesundheitliche Folgen von Stressreaktionen können erneut zu weiteren Stressoren führen, so dass das Modell insgesamt kreisförmig geschlossen ist. Wenn nicht anders bezeichnet, stellen die Pfeile positive Verstärkungen dar.

Bei der Verarbeitung schwerer Krankheitsdiagnosen und der Krankheit selbst treten im Wesentlichen die gleichen Mechanismen auf wie sie oben bereits für Stressoren im Allgemeinen beschrieben wurden. Zusätzlich ergeben sich Effekte, die über die Wirkungen und Nebenwirkungen einer entsprechenden Behandlung der Krankheit sowohl einen direkten Einfluss auf die physiologischen Aspekte der Krankheit haben, aber auch selbst als zusätzliche Stressoren erlebt werden. Das Modell aus Abbildung 64 (S. 226) sollte also um diesen Aspekt erweitert werden (vgl. Abbildung 65, S. 232).

Freud betonte bereits 1890 die starke Verbindung von Emotionen und körperlichen Geschehen

Dass Emotionen und Affekte starke Verbindungen zum körperlichen Geschehen aufweisen und nicht selten zu Fehlfunktionen im Immunsystem führen, wird durch die vorgestellten Studien eindrucksvoll belegt. Dabei handelt es sich jedoch nicht um eine überraschende Erkenntnis der jüngsten Forschung. Bereits Freud hat 1890 auf diese und ähnliche Zusammenhänge aufmerksam gemacht, die in neueren Lehrbüchern inzwischen zumindest am Rande erwähnt werden (z.B. Pinel 2001, S. 508f.). Freud (2000/1890) schreibt dazu weit ausführlicher:

Diese einseitige Richtung der Medizin auf das Körperliche hat in den letzten Jahrzehnten allmählich eine Änderung erfahren, welche unmittelbar von der ärztlichen Tätigkeit ausgegangen ist. Es gibt nämlich eine große Anzahl von leichter und schwerer Kranken, welche durch ihre Störungen und Klagen große Anforderungen an die Kunst der Ärzte stellen, bei denen aber sichtbare oder greifbare Zeichen des Krankheitsprozesses weder im Leben noch nach dem Tode aufzufinden sind, trotz aller Fortschritte in den Untersuchungsmethoden der wissenschaftlichen Medizin. ...

Die ärztliche Forschung hat endlich ergeben, dass solche Personen nicht als Magenkranke oder Augenkranke u. dgl. zu betrachten und zu behandeln sind, sondern dass es sich bei ihnen um ein Leiden des gesamten Nervensystems handeln muss. Die Untersuchung des Gehirns und der Nerven solcher Kranker hat aber bisher keine greifbare Veränderung auffinden lassen, und manche Züge des Krankheitsbildes verbieten sogar die Erwartung, dass man solche Veränderungen, wie sie imstande wären die Krankheit zu erklären, einst mit feineren Untersuchungsmitteln werde nachweisen können. ...

Über den Einfluss des Seelischen auf den Körper war vieles immer bekannt gewesen, was erst jetzt in die richtige Beleuchtung rückte. Das alltäglichste, regelmäßig und bei jedermann zu beobachtende Beispiel von seelischer Einwirkung auf den Körper bietet der sogenannte ‚Ausdruck der Gemütsbewegungen‘. ...

Bei gewissen Seelenzuständen, die man ‚Affekte‘ heißt, ist die Mitbeteiligung des Körpers so augenfällig und so großartig, dass manche Seelenforscher sogar gemeint haben, das Wesen der Affekte bestehe nur in diesen ihren körperlichen Äußerungen. Es ist allgemein bekannt, welche außerordentlichen Veränderungen im Gesichtsausdruck, im Blutumlauf, in den Absonderungen, in den Erregungszuständen der willkürlichen Muskeln, unter dem Einfluss z.B. der Furcht, des Zornes, des Seelenschmerzes, des geschlechtlichen Entzückens zustande kommen. Minder bekannt, aber vollkommen sichergestellt sind andere körperliche Wirkungen der Affekte, die nicht mehr zum Ausdruck derselben gehören. Anhaltende Affektzustände von peinlicher oder, wie man sagt, ‚depressiver‘ Natur, wie Kummer, Sorge und Trauer, setzen die Ernährung des Körpers im ganzen herab, verursachen, dass die Haare bleichen, das Fett schwindet und die Wandungen der Blutgefäße krankhaft verändert werden. Umgekehrt sieht man unter dem Einfluss freudiger Erregung, des ‚Glückes‘, den ganzen Körper aufblühen

und die Person manche Kennzeichen der Jugend wiedergewinnen. Die großen Affekte haben offenbar viel mit der Widerstandsfähigkeit gegen Erkrankung an Ansteckungen zu tun; es ist ein gutes Beispiel davon, wenn ärztliche Beobachter angeben, dass die Geneigtheit zu den Lagererkrankungen und zur Ruhr (Dysenterie) bei den Angehörigen einer geschlagenen Armee sehr viel bedeutender ist als unter den Siegern. Die Affekte, und zwar fast ausschließlich die depressiven, werden aber auch häufig genug selbst zu Krankheitsursachen sowohl für Krankheiten des Nervensystems mit anatomisch nachweisbaren Veränderungen als auch für Krankheiten anderer Organe, wobei man anzunehmen hat, dass die betreffende Person eine bis dahin unwirksame Eignung zu dieser Krankheit schon vorher besessen hat.

Bereits ausgebildete Krankheitszustände können durch stürmische Affekte sehr erheblich beeinflusst werden, meistens im Sinne einer Verschlechterung, aber es fehlt auch nicht an Beispielen dafür, dass ein großer Schreck, ein plötzlicher Kummer durch eine eigentümliche Umstimmung des Organismus einen gut begründeten Krankheitszustand heilsam beeinflusst oder aufgehoben hat. Dass endlich die Dauer des Lebens durch depressive Affekte erheblich abgekürzt werden kann sowie dass ein heftiger Schreck, eine brennende ‚*Kränkung*‘ oder Beschämung dem Leben ein plötzliches Ende setzen kann, unterliegt keinem Zweifel; merkwürdigerweise wird letztere Wirkung auch mitunter als Folge einer unerwarteten Freude beobachtet.

Die Affekte im engeren Sinne sind durch eine ganz besondere Beziehung zu den körperlichen Vorgängen ausgezeichnet, aber strenggenommen sind alle Seelenzustände, auch diejenigen, welche wir als ‚Denkvorgänge‘ zu betrachten gewohnt sind, in gewissem Maße ‚*affektiv*‘, und kein einziger von ihnen entbehrt der körperlichen Äußerung und der Fähigkeit, körperliche Vorgänge zu verändern. ...

Die Vorgänge des Willens und der Aufmerksamkeit sind gleichfalls imstande, die leiblichen Vorgänge tief zu beeinflussen und bei körperlichen Krankheiten als Förderer oder als Hemmungen eine große Rolle zu spielen. Ein großer englischer Arzt hat von sich berichtet, dass es ihm gelingt, an jeder Körperstelle, auf die er seine Aufmerksamkeit lenken will, mannigfache Empfindungen und Schmerzen hervorzurufen, und die Mehrzahl der Menschen scheint sich ähnlich wie er zu verhalten. Bei der Beurteilung von Schmerzen, die man sonst zu den körperlichen Erscheinungen rechnet, ist überhaupt deren überaus deutliche Abhängigkeit von seelischen Bedingungen in Betracht zu ziehen. Die Laien, welche solche seelischen Einflüsse gerne unter den Namen der ‚Einbildung‘ zusammenfassen, pflegen vor Schmerzen infolge von Einbildung im Gegensatz zu den durch Verletzungen, Krankheit oder Entzündung verursachten wenig Respekt zu haben. Aber das ist ein offenes Unrecht; mag die Ursache von Schmerzen welche immer sein, auch die Einbildung, die Schmerzen selbst sind darum nicht weniger wirklich und nicht weniger heftig.

Wie Schmerzen durch Zuwendung der Aufmerksamkeit erzeugt oder gesteigert werden, so schwinden sie auch bei Ablenkung der Aufmerksamkeit. ...

Der Einfluss des Willens auf Krankheitsvorgänge des Körpers ist weniger leicht durch Beispiele zu belegen, es ist aber sehr wohl möglich, dass der Vorsatz, gesund zu werden, oder Wille zu sterben selbst für den Ausgang schwer und zweifelhafter Erkrankungsfälle nicht ohne Bedeutung ist.

Den größten Anspruch an unser Interesse hat der seelische Zustand der *Erwartung*, mittels dessen eine Reihe der wirksamsten seelischen Kräfte für Erkrankung und Genesung von körperlichen Leiden regegemacht werden können. Die *ängstliche* Erwartung ist gewiss nichts Gleichgültiges für

den Erfolg; es wäre wichtig, mit Sicherheit zu wissen, ob sie so viel für das Krankwerden leistet, als man ihr zutraut, ob es z.B. auf Wahrheit beruht, dass während der Herrschaft einer Epidemie diejenigen am ehesten gefährdet sind, die zu erkranken fürchten. Der gegenteilige Zustand, die hoffnungsvolle und *gläubige Erwartung*, ist eine wirkende Kraft, mit der wir strenggenommen bei allen unseren Behandlungs- und Heilungsversuchen zu rechnen haben. Wir können uns sonst die Eigentümlichkeit der Wirkungen, die wir an Medikamenten und Heileingriffen beobachten, nicht erklären. Am greifbarsten wird aber der Einfluss der *gläubigen Erwartung* bei den sogenannten Wunderheilungen, die sich noch heute unter unseren Augen ohne Mitwirkung ärztlicher Kunst vollziehen. ...

Doch liegt keine Nötigung vor, zur Erklärung der Wunderheilung andere als seelische Mächte heranzuziehen. ...

Die Ärzte haben von jeher, in alten Zeiten noch viel ausgiebiger als heute, Seelenbehandlung ausgeübt. Wenn wir unter Seelenbehandlung verstehen die Bemühung, beim Kranken die der Heilung günstigen seelischen Zustände und Bedingungen hervorzurufen, so ist diese Art ärztlicher Behandlung die geschichtlich älteste. Den alten Völkern stand kaum etwas anderes als psychische Behandlung zu Gebote; sie versäumten auch nie, die Wirkung von Heiltränken und Heilmaßnahmen durch eindringliche Seelenbehandlung zu unterstützen. Die bekannten Anwendungen von Zauberformeln, die Reinigungsbäder, die Hervorlockung von Orakelträumen durch den Schlaf im Tempelraum u. a. können nur auf seelischem Wege heilend gewirkt haben. ...

Wir beginnen nun auch den ‚Zauber‘ des Wortes zu verstehen. Worte sind ja die wichtigsten Vermittler für den Einfluss, den ein Mensch auf einen anderen ausüben will; Worte sind gute Mittel, um seelische Veränderungen bei dem hervorzurufen, an den sie gerichtet werden, und darum klingt es nicht länger rätselhaft, wenn behauptet wird, dass der Zauber des Wortes Krankheitserscheinungen beseitigen kann, zumal solche, die selbst in seelischen Zuständen begründet sind. (Freud 2000/1890, S. 18-26)

7.1.5.3 Psychologische Interventionen und ihre Wirkung auf physiologische Variablen

Dass psychologische Interventionen, etwa über den Mechanismus der Katharsis, positive, gesundheitsverbessernde Maßnahmen darstellen können, wurde oben bereits angesprochen (vgl. S. 217f.) und wurde auch im Schluss der von Freud (2000/1890) zitierten Arbeit deutlich. Neben der Katharsis wurden im Umfeld ernstzunehmender Krankheiten verschiedene Interventionstechniken in Hinblick auf ihre physiologische Wirkung untersucht. Die folgende Aufzählung enthält einige der in der Literatur genannten Auswirkungen psychologischer Interventionen:

Psychotherapie und Immunfunktion

- Es scheint so, als ob Psychotherapie, die zu einer Erhöhung sozialer Beziehungen beiträgt, die Selbstwirksamkeit fördert und einen hilfreichen Umgang mit Stress vermittelt, positive Wirkungen auf das Immunsystem hat (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).

Kathartische Prozesse

- Bereits das Schreiben über traumatische Erlebnisse für jeweils 20 Minuten an vier aufeinander folgenden Tagen führt zu einer drastischen Verbesse-

rung des Immunsystems (Pennebaker, Kiecolt-Glaser & Glaser 1988, Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).

Spezielle psychologische Interventionen

- Die Verringerung von Immunfunktionen unter Stressbelastungen lässt sich durch Entspannungstraining abdämpfen aber nicht aufheben. Es zeigt sich, dass die Dauer von Entspannungsübungen einen starken Einfluss auf eine Verbesserung der Immunfunktion hat (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Bei älteren Personen zeigen sich positive Effekte der Progressiven Relaxationstechnik auf die Aktivität von Killerzellen um 30%. Zudem berichteten alle Studienteilnehmer über eine Verbesserung ihres Schlafes. Diesem gesundheitsförderlichen Verhalten kommt eine zusätzliche positive Auswirkung auf das Immunsystem zu (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Hingegen lässt sich die Immunfunktion nicht über ein optimales Maß hinaus steigern. Dies ist auch gar nicht empfehlenswert, da es in solchen Fällen zu Autoimmunreaktionen kommen könnte. Versuche, die Immunfunktion von Studierenden während der Sommerferien zu steigern, führten zu keiner Veränderung (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Entspannungstrainings zur Schmerzreduktion nach operativen Eingriffen führen zu einer starken Verkürzung des Krankenhausaufenthaltes und einer Verringerung in der Verabreichung von Schmerzmitteln (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

Interventionen bei schweren Krankheiten

- Gruppeninterventionen (Einübung in Problemlösefertigkeiten in Bezug auf die Diagnose, Stressmanagement-Techniken wie Entspannungsübungen und psychologische Unterstützung), die über sechs Wochen hinweg wöchentlich in Gruppen von 7-10 Krebspatienten durchgeführt wurden, führten zu einer starken Verbesserung des Immunsystems (Erhöhung der Aktivität von Killerzellen). Diese Veränderung im Immunsystem zeigten sich jedoch erst sechs Monate nach der Intervention und waren nach sechs Wochen noch nicht zu beobachten (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994). Die Verbesserungen in der Aktivität der Killerzellen ist besonders bedeutsam wenn bedacht wird, dass mit einem zunehmenden Tumorwachstum normalerweise eine Verringerung der Killerzellenaktivität einhergeht (Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Eine wöchentliche unterstützende Gruppentherapie an der über ein Jahr lang Frauen mit Brustkrebs teilgenommen hatten, führte zu einer drastischen Erhöhung der Überlebenserwartung (36,6 Monate gegenüber 18,9 Monate in der Kontrollgruppe). Zudem berichten die Teilnehmerinnen der Gruppentherapie über geringeren emotionalen Stress und geringeres maladaptives Coping. Die Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der Treatmentgruppe nahmen mit der Dauer der Behandlung stetig zu (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992, Anderson, Kiecolt-Glaser & Glaser 1994).
- Einschränkend ist darauf hinzuweisen, dass Patientinnen, die an solchen Interventionen teilnehmen auch sonst ein eher gesundheitsförderliches Verhalten (hohe Compliance, geringe Selbstmedikation mit Alkohol oder anderen Drogen) zeigen (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).

- Starke Verbesserungen des Heilungsprozesses nach operativen Eingriffen, wie z.B. Verringerung von Komplikationen und kürzerer Krankenhausaufenthalt, zeigen sich nach Gruppentrainings, die verschiedene Module integrieren, wie z.B. Entspannungsübungen, Übungen zur Reduktion von Schmerzen, Informationen über die Krankheit und den Operationsverlauf und psychologische Unterstützung. Verglichen mit den Kosten eines längeren Krankenhausaufenthaltes sind solche psychologischen Interventionen höchst effektiv und hilfreich (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

Psychotherapeutische Interventionen haben also in weiten Bereichen signifikant positive Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Menschen. Sie haben direkte positive Auswirkungen auf die Immunfunktionen und helfen so bei der Prävention und Behandlung organischer Erkrankungen. Abbildung 65 fügt diese Auswirkungen psychotherapeutischer Interventionen in das bereits dargestellte Modell ein. Auch hier müssen eine Reihe von Vereinfachungen vorgenommen werden. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass Psychotherapie über fünf Zugangswege auf die Befindlichkeit von Menschen einwirkt. Allerdings kann vor dem Hintergrund der bisher vorliegenden Befunde nicht geklärt werden, ob jeder der fünf Einflusspfade direkt oder über einen anderen Pfad indirekt vermittelt wird. Im Einzelnen wird davon ausgegangen, dass Psychotherapie angenehme, freudvolle Erfahrungen vermittelt und soziale Kontakte stärkt. Zudem vermittelt sie Strategien, die als Hilfe zur Selbsthilfe angesehen werden können. Diese Effekte wurden unter dem Aspekt „Vermittlung von Copingstrategien“ zusammengefasst. Psychotherapeutische Behandlungsansätze sind zudem mehr oder minder primär zur Behandlung konkreter psychischer Störungen und Probleme konzipiert, sodass sie als hilfreich in Bezug auf die Behandlung von Depressionen, Angststörungen und von Schmerzen angesehen werden können. Direkte Einflüsse lassen sich auf das Immunsystem nachweisen. Ob diese über das Immunsystem vermittelten Verbesserungen für die Wirkungen von Psychotherapie in der Krebsbehandlung und in der Verbesserung von Heilungserfolgen verantwortlich sind oder ob hier direktere oder andere Pfade wirken, ist derzeit noch ungeklärt.

Psychotherapie verfügt über ein breites Wirkungsspektrum in Bezug auf verschiedene körperliche Funktionen

Im Gegensatz zu medizinischen Behandlungen verfügen psychotherapeutische Eingriffe nur in den seltensten Fällen über schädigende Nebenwirkungen. Vergleicht man das Wirkungsspektrum von psychotherapeutischen Interventionen mit denen von medizinischen Behandlungen, so greifen letztere stark fokussiert an einer bestimmten Stelle des Systems an, wohingegen psychotherapeutische Interventionen breitbandig viele Aspekte des menschlichen Wohlbefindens umfassen. Trotz dieser Breitbandigkeit verlieren sich die Effekte psychotherapeutischer Interventionen nicht im System, sondern addieren oder multiplizieren sich. Im Gegensatz zu medikamentösen oder chirurgischen Eingriffen stärkt Psychotherapie die Selbstheilungskräfte des Körpers. Genau damit sind aber auch ihre Grenzen aufgezeigt. Immer dort, wo die Selbstheilungskräfte des Körpers nicht ausreichen, sind medizinische Eingriffe unerlässlich. Das solche Eingriffe durch eine Psychotherapie begleitet werden sollten, ist ein nicht zu widerlegendes Imperativ der vorliegenden Befunde. So lassen sich die Heilungs- und Überlebenschancen nach operativen Eingriffen durch eine begleitende Psychotherapie stark verbessern. Weitere Einschränkungen für psychotherapeutische Interventionen ergeben sich dann, wenn die Patienten ohne eine vorherige medizinische Behandlung keiner psychotherapeutischen Hilfe zugänglich sind (für eine ausführliche Darstellung von psychotherapeutisch-medikamentösen Kombinationsbehandlungen psychischer Störungen siehe Kapfhammer 1998).

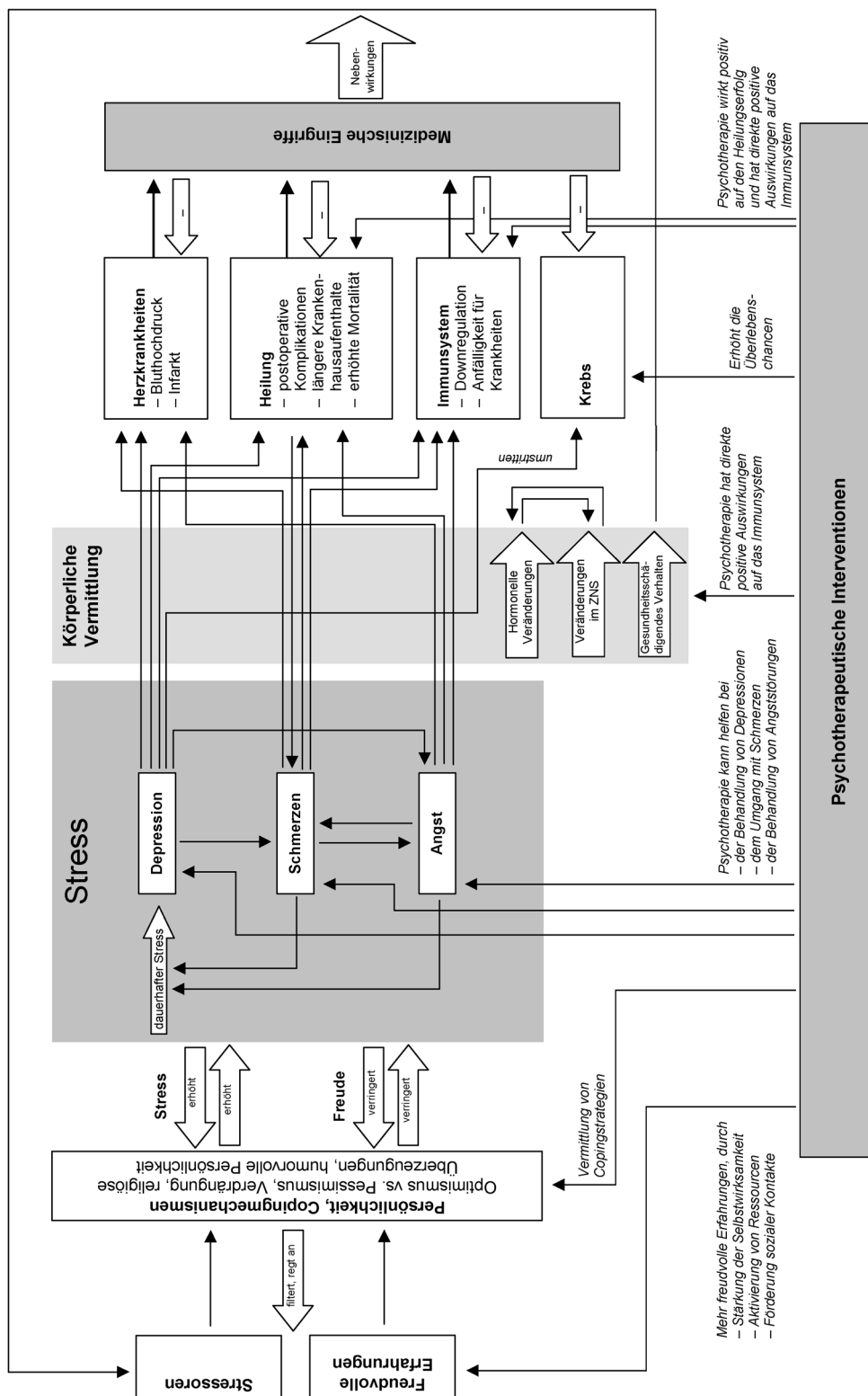


Abbildung 65: Psychologische Einflussfaktoren auf physiologische Prozesse II

Das dargestellte Modell fasst die Wirkmechanismen zum Einfluss von Emotionen auf physiologische Funktionen stark vereinfacht zusammen. Insbesondere werden die Emotionen Angst, Schmerzen und Depressionen vereinfachend als Stress zusammengefasst. Gegenüber der Abbildung 64 (S. 226) werden hier weitere Einflussfaktoren integriert, nämlich Krebs, sowie medizinische und psychotherapeutische Interventionen. Wenn nicht anders bezeichnet stellen die Pfeile positive Verstärkungen dar.

7.1.5.4 Der Mensch, ein soziales Wesen

Mit dem Aufkommen psychotherapeutischer Behandlungsmethoden, insbesondere der Psychoanalyse, war zunächst eine starke Fokussierung auf rein psychische Prozesse verbunden, die man hoffte in Zukunft auf biologisch-hirnphysiologische Fundierungen zurückführen zu können. Freud (2000/1938) verweist entschuldigend auf die Unzulänglichkeiten der psychoanalytischen Methode und äußert die Hoffnung auf eine zukünftige medikamentöse Unterstützung:

Aber uns beschäftigt die Therapie hier nur insoweit sie mit psychologischen Mitteln arbeitet, derzeit haben wir keine anderen. Die Zukunft mag uns lehren, mit besonderen chemischen Stoffen die Energiemengen und deren Verteilung im seelischen Apparat direkt zu beeinflussen. Vielleicht ergeben sich noch ungeahnte andere Möglichkeiten der Therapie; vorläufig steht uns nichts Besseres zu Gebote als die psychoanalytische Technik, und darum sollte man sie trotz ihrer Beschränkungen nicht verachten. (Freud 2000/1938, S. 420f.)

Auch Alfred Adler⁸⁸ kam wie Freud zunächst über biologisch-medizinische Modelle zur Psychotherapie. Aber bereits in seiner noch sehr stark medizinisch orientierten „Studie über Minderwertigkeit von Organen“ (Adler 1977/1907) finden sich bereits Ansätze, die weit mehr als Freud die sozialen Beziehungen des Menschen in seinem seelischen und körperlichen Erleben in den Mittelpunkt stellen. Dennoch ist Adlers Ansatz hier noch ganz im Gedankengebäude der Psychoanalyse verankert. Zunehmend betonte er jedoch soziale Einflüsse gegenüber der infantilen Sexualität. Überhaupt kam es vermehrt zu einer Kritik des Libidobegriffes. Als aktiver Sozialist strebte er leidenschaftlich danach, die Welt durch Erziehung und Psychotherapie zu verbessern. 1910 machte Freud Adler zum Präsidenten der Wiener psychoanalytischen Vereinigung. Freud wollte Adler damit beschwichtigen, der es nach eigenen Angaben satt hatte sein Leben lang in Freuds Schatten zu stehen. Anfang 1911 beschloss Freud die Schwierigkeiten mit Adler zu einer entscheidenden Aussprache zu bringen. Adler stellte im Januar und Februar in zwei Vorträgen seine Positionen dar, worauf Freud mit seiner Kritik nicht zurückhielt. Was neu scheine sei banal und das übrige habe er von Freud übernommen. „Es war ein Gerichtsverfahren und die Anklage lautete auf Ketzerei. Freud als das Oberhaupt der Kirche tat Adler in den Bann. Er warf ihn aus der offiziellen Kirche hinaus“ (Roazen 1976, S. 191).

Adler trat zunächst als Präsident der Vereinigung zurück und dann ganz aus. Er gründete wenig später den Verein für Individualpsychologie. Der Kern von Adlers theoretischer Konzeption ist das ganzheitliche, einheitliche, schöpferische Individuum, welches im Zustand der Gesundheit in einer positiven, konstruktiven ethischen Beziehung zu seinen Mitmenschen steht. Adler entwickelt damit eine frühe humanistische Theorie der menschlichen Persönlichkeit, die eine Antithese zu Freuds Konzeption darstellt. Dabei kennzeichnet das Wort Individualpsychologie den Menschen als ein unteilbares Wesen (individere). Individualpsychologie bedeutet also die Lehre vom Innenleben des Menschen, der dabei als unteilbare, einheitliche und einmalige Ganzheit verstanden wird (vgl. Ansbacher & Ansbacher 1972, S. 20f.). Die Kernidee des einheitlichen, unteilbaren Individuums wird in

⁸⁸ 1870 bis 1937

der Theorie Alfred Adlers durch den Begriff des Lebensstils verankert, der davon ausgeht, dass jeder Mensch bewusst oder unbewusst nach einem ihm eigenen Lebensplan, ähnlich einer Leitlinie handelt. Dieser Lebensstil wird in der Verarbeitung sozialer Rollen und der spezifischen Umwelteinflüsse eines Menschen individuell entwickelt, wobei der Ausgangspunkt dieser Entwicklung in genetischen Einflüssen und frühesten Kindheitserfahrungen gesehen wird (vgl. Ansbacher & Ansbacher 1972, S. 21).

Die Individualpsychologie unterstellt jedem menschlichen Verhalten einen subjektiven Sinn und tendenziell allem Handeln einen sozialen Bezugspunkt. Sie ist darüber hinaus tiefenpsychologisch zu nennen, da sie auch mit unverstandenen, unbewussten Sinn-Setzungen rechnet. Damit ist dieses Menschenbild gekennzeichnet von dem holistischen, sozialpsychologischen, finalen und aufklärerischen Ansatz Alfred Adlers. Im Folgenden soll auf einige Grundkonzepte der Individualpsychologie kurz eingegangen werden:

- **Wider die Analyse – der Holistische Ansatz.** Die Individualpsychologie betrachtet den Menschen und menschliches Handeln als unteilbare Einheit: Alles, was sich an Verschiedenartigkeiten beobachten lässt, wird unter dem Gesichtspunkt der Einheit der Individualität miteinander verglichen, auf eine gemeinsame Linie gebracht und zu einem Gesamtportrait individualisierend zusammengetragen. Erwin Wexberg⁸⁹ fasst die Auffassung der Individualpsychologie über die Einheit menschlichen Verhaltens, die davon ausgeht, dass sich in jedem Detail der ganze Mensch zeigt, treffend zusammen:

Wir können viel vermuten, aber nichts wissen, wenn uns bloß ein Ausschnitt der Persönlichkeit vorliegt. Aber wir verstehen die kleinste Geste, wenn wir das Ganze, dessen Teil sie ist, individualpsychologisch erfasst haben. (Wexberg 1991/1914, S. 47)

- **Individuum und Gemeinschaft – der sozialpsychologische Ansatz.** Freud nimmt Triebbedürfnisse an, bei denen die Anderen zwangsläufig zu Rivalen, die Kultur zwangsläufig zum Unterdrücker wird (z.B. Freud 2000/1929). Hier zeigt sich Freuds Kulturpessimismus. Adler leugnet nicht, dass es zu solchen, von Freud beschriebenen, Konstellationen kommen kann, führt dagegen aber die sozialen Bedürfnisse des Menschen an. Die Annahme sozialer Bedürfnisse führt dazu, das „Du“ nicht mehr als Rivalen anzusehen, sondern es als notwendige Bedingung für Bedürfnisbefriedigungen zu betrachten.

Für Adler ist der Menschen von Geburt an ein soziales Wesen. Mensch und Kultur stehen einander nicht gegenüber. Menschliche Handlungen haben einen sozialen Ursprung. Die erste soziale Beziehung zwischen Mutter und Kind sowie die Konstellationen zum Vater und zu Geschwistern, formen überdauernd die Einstellungen des Handelnden und führen zu der Entwicklung eines individuellen Lebensstils.

Freud wirft dem Kultur-Über-Ich vor: „Es erlässt ein Gebot und fragt nicht, ob es den Menschen möglich ist, es zu befolgen“ und sieht sich in therapeutischer Hinsicht oft genötigt das Über-Ich zu bekämpfen. Adler bezweifelt demgegenüber, dass es dem Menschen möglich sei, gewisse

⁸⁹ 1881 bis 1958

Vorschriften, die sich aus der Logik des menschlichen Zusammenlebens ergeben ohne Schaden zu nehmen nicht zu befolgen und sieht sich seinerseits in seiner therapeutischen Arbeit veranlasst, die gestörte Kommunikations- und Kooperationsbereitschaft wieder herzustellen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Freud den Menschen als isoliertes Subjekt betrachtet. Die Dynamik ist rein inner-organisch. Das Subjekt ist dabei mit seinen Organen allein. So betrachtet Freud den Menschen als primär asozial, nur nach eigener Triebabfuhr strebend. Adler kehrt sich von diesem Ursolipsismus und dieser Urasozialität ab.

- **Die Zielgerichtetheit menschlichen Handelns – der finale Ansatz.** Der Aspekt der Finalität im individualpsychologischen Ansatz spiegelt sich in der Überwindung von Mangellagen. So lässt sich mit Adler sagen: Die wichtigste Frage des gesunden und kranken Seelenlebens lautet nicht woher, sondern wohin.
Dieser finale Aspekt, der Frage nach dem „Wohin“ spiegelt sich in der Frage nach dem Lebensstil eines Individuums wider. Die Ausdifferenzierung und Entwicklung des Lebensstiles eines Menschen lässt sich in der Dynamik des Strebens nach Überwindung von Mangellagen finden. Dabei ist an subjektiv erlebte Mangellagen zu denken, die sich auf die eigene organische Ausstattung (Organminderwertigkeit), auf schwer erträgliche Lebenslagen (Situationsproblematik), auf die Unterlegenheit der eigenen Person (Geltungsproblematik) oder auf unerledigte Aufgaben beziehen können.
- **Grenzen und Möglichkeiten persönlicher Selbstbestimmung – der aufklärerische Ansatz.** Die Individualpsychologie betrachtet menschliches Handeln als biologisch und gesellschaftlich prädisponiert, nicht aber als determiniert. Erfahrungen werden aktiv gemacht, Erlebnissen werden Bedeutungen zugeschrieben: Handeln ist – wenn auch in Grenzen – selbstbestimmt. So determinieren nicht die Erlebnisse eines Kindes seine Handlungsweisen, sondern die Schlussfolgerungen die es aus diesen Erlebnissen zieht, oder um es mit Adler zu sagen, „dass wir nicht von ‚Tatsachen‘, sondern von unserer Meinung über Tatsachen beeinflusst sind, liegt klar auf der Hand“ (Adler 1973/1933, S. 29). Neben Milieu und Anlagen betont Adler damit die schöpferische kreative Kraft des Kindes.

Wie oben bereits dargestellt ist das Gemeinschaftsgefühl eines der zentralen, wenn nicht das zentrale Konzept der Individualpsychologie. Körperliche und seelische Gesundheit äußert sich immer in einer sinnvollen, ethischen und aktiven Eingebundenheit in eine Gemeinschaft:

In den früheren Kapiteln habe ich gezeigt, dass die volle Entwicklung des menschlichen Körpers und Geistes am besten gewährleistet ist, wenn sich das Individuum in den Rahmen der idealen Gemeinschaft, die zu erstreben ist, einfügt, als Strebender und Wirkender. Zwischen denen, die, bewusst oder ohne es zu wissen, diesem Standpunkt gerecht werden, und den vielen anderen, die ihm nicht Rechnung tragen, klafft ein unüberbrückbarer Spalt (S. 71).

Es wird sich zeigen, dass ihre Lösung einen gewissen Grad von Gemeinschaftsgefühl voraussetzt, eine Angeschlossenheit an das Ganze des Lebens, eine Fähigkeit zur Mitarbeit und zur Mitmenschlichkeit. Mangelt diese Fähigkeit, so wird man in tausendfachen Varianten ein verstärktes Minder-

wertigkeitsgefühl und dessen Folgen, im Großen und Ganzen als ‚zögernde Attitüde‘ und als Ausweichen beobachten können. Die dabei auftretenden körperlichen oder seelischen Erscheinungen in ihrem Zusammenhang habe ich als ‚*Minderwertigkeitskomplex*‘ bezeichnet. Das nie ruhende Streben nach Überlegenheit trachtet diesen Komplex durch einen Überlegenheitskomplex zu verdecken, der immer außerhalb des Gemeinschaftsgefühls auf den Schein einer persönlichen Überlegenheit hinzielt. (Adler 1973/1933, S. 37)

Gemeinschaftsgefühl und körperliche Gesundheit

Was Adler als Versuch die eigene Überlegenheit immer wieder hervorzukehren beschreibt und auf Störungen des Selbstwertgefühls zurückführt, ist z.B. in einer übertriebenen Aggressivität und Feindseligkeit von Ehepartnern zu finden. Neuere Forschungsarbeiten der Neuroimmunologie zeigen, dass solche das Gemeinschaftsgefühl verlassende Verhaltensweisen mit einer Reihe von körperlichen Folgen sowohl bei den Tätern als auch den Opfern einhergehen. Ähnlich wie es Adler bereits postulierte, zeigen sich umgekehrt körperliche und seelische Gesundheit vor allem bei denen, die sich in ihre soziale Umgebung aktiv als Gestaltende einfügen.

Die folgenden Befunde sollen einen knappen Überblick über die neueren Forschungsarbeiten zum Verhältnis zwischen sozialen Faktoren und psychischen sowie physischen Auswirkungen darstellen:

Soziale Unterstützung und Immunfunktion

- Die Verbindung zwischen Immunfunktionen und sozialen Beziehungen kann als das am besten belegte und robusteste Ergebnis der Psychoneuroimmunologie gelten (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Sozial isolierte Personen zeigen eine größere Anfälligkeit für Krankheiten und sterben früher. Allerdings sind sie seltener pathogenen Einflüssen ausgesetzt (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992). Daten aus großen, gut kontrollierten Studien zeigen, dass soziale Isolation mit einem großen gesundheitlichen Risiko und einer höheren Sterblichkeit verbunden ist. Die Effektgrößen sind dabei ähnlich ausgeprägt wie für wohlbekannte Gesundheitsrisiken, wie Rauchen, Bluthochdruck etc. (Kiecolt-Glaser & Newton 2001, Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Studierende, die sich selbst als einsam bezeichnen, zeigen schlechtere Immunfunktionen als nicht einsame Studenten (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Studierende, die über starke soziale Unterstützung verfügen, zeigen eine geringe Anfälligkeit für Hepatitis B (getestet mit inaktiven Erregern) (Kiecolt-Glaser & Glaser 1992).
- Männer, die über eine stärkere soziale Unterstützung berichten, zeigen nach Bypassoperationen geringere Schmerzen und konnten sowohl die Intensivstation als auch das Krankenhaus früher verlassen als Männer mit geringer sozialer Unterstützung (Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser & Newton 2001).

Partnerschaft und Gesundheit

- Insgesamt kommt dem Zusammenleben in Partnerschaft und Ehe eine starke gesundheitsförderliche Wirkung zu. Die Lebenserwartung von Verheirateten ist bedeutend höher als die von Alleinlebenden. Dies gilt unter anderem für eine ganze Reihe akuter und chronischer Erkrankungen wie

z.B. für Krebs, Herzinfarkte und chirurgische Eingriffe (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).

- Gegen die Hypothese der gesundheitsförderlichen Wirkung von Partnerschaft und Ehe sprechen jedoch Überlegungen, die davon ausgehen, dass insbesondere gesündere Menschen heiraten und länger verheiratet bleiben (Kiecolt-Glaser & Newton 2001). Wahrscheinlich werden beide Aspekte gleichermaßen wirksam sein.
- Die gesundheitsförderliche Wirkung der Ehe ist bedeutend größer für Männer als für Frauen. Nichtverheiratete Frauen weisen eine um 50% erhöhte Mortalität gegenüber verheirateten Frauen auf. Für Männer ergibt sich hingegen ein Unterschied von 250% (Kiecolt-Glaser & Newton 2001). Als besonders bedeutsam wird in diesem Zusammenhang die positive Wirkung partnerschaftlicher Beziehungen auf ein gesundheitsförderliches Verhalten angesehen (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).
- Sowohl Männer als auch Frauen, die über eine gute partnerschaftliche Beziehung berichten zeigen weniger dentale Probleme wie Karies, als Personen, die über eine gestörte Partnerschaft klagen (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).
- Für Frauen ist eine kameradschaftliche Beziehung in der sie gleichberechtigt an Entscheidungen beteiligt werden mit einer starken gesundheitsförderlichen Wirkung verbunden (höhere Lebenserwartung), wohingegen für Männer keine entsprechenden Zusammenhänge festgestellt werden können (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).

Ehekonflikte

- Frauen reagieren auf Ehekonflikte länger anhaltend. Es findet keine Habituation der Stressreaktion statt. Männer zeigen sich hingegen geringer anfällig für Partnerschaftskonflikte und weisen bereits kurze Zeit nach einem Streit keine Stresssymptome mehr auf (Kiecolt-Glaser & Newton 2001, Kiecolt-Glaser et al. 2003).
- Wenn enge Beziehungen gestört sind, hat das einen starken Einfluss auf immunologische Funktionen und depressive Stimmungen. Sowohl depressive Störungen als auch depressive Verstimmungen zeigen sich gehäuft im Umfeld gestörter Partnerschaften (Kiecolt-Glaser et al. 2002). Im Umfeld gestörter Partnerschaften erhöht sich das Risiko für eine depressive Störung um das 10- bis 25-fache. Diese Ergebnisse sind besonders erstaunlich, da sie sowohl für Frauen als auch für Männer gleichermaßen zu beobachten sind und das, obwohl für Frauen Beziehungen in der Regel bedeutsamer sind als für Männer und Frauen ein doppelt so hohes Risiko für eine depressive Störung aufweisen (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).
- Schmerzen gehen in der Regel mit einer Erschwerung des Krankheitsverlaufes und einer erhöhten Mortalitätsrate einher. Schmerzen erhöhen die Herzfrequenz und den Blutdruck ebenso wie auch die Ausschüttung von Stresshormonen und führen zu einer Fehlregulation vieler Immunfunktionen (Kiecolt-Glaser et al. 1998, Kiecolt-Glaser et al. 2002). Gestörte partnerschaftliche Beziehungen wirken in der Regel negativ auf das Schmerzempfinden, wobei der Effekt eher für Frauen als für Männer beobachtet

werden kann (Kiecolt-Glaser & Newton 2001). Hier spielt unter anderem der Umgang des jeweiligen Partners mit den Schmerzen des anderen eine wichtige Rolle. Zunehmende Besorgnis und ein entsprechendes Verhalten führt dabei eher zu einer Verschlechterung des Schmerzempfindens als zu einer Linderung (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).

- Gestörte Partnerschaften sind zudem mit einem Rückgang gesundheitsförderlichen Verhaltens verbunden. So trinken sowohl Frauen als auch Männer mehr Alkohol, wenn ihre Partnerschaft nachhaltig gestört ist. Ähnliches zeigt sich für Zigarettenkonsum und sogar die Einnahme von Tranquilizern (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).

Ehekonflikte und Stresshormone

- Zufriedenheit und Unzufriedenheit mit der Ehe spiegeln sich in Stresshormonen wider. Schwierige Ehen ließen sich über einen 10-Jahreszeitraum hinweg über die Messungen von Stresshormonen prognostizieren. Paare mit einer problematischen Beziehung zeigten bereits zehn Jahre zuvor doppelt so hohe ACTH-Werte (adrenocorticotropes Hormon, welches im Hypophysenvorderlappen erzeugt wird und die Nebennierenrinde zur Ausschüttung ihrer Hormone wie Adrenalin (Epinephrin) anregt) wie Paare mit einer zufriedenstellenden Beziehung (Kiecolt-Glaser et al. 2003).
- In diesem Zusammenhang ist es jedoch wichtig darauf hinzuweisen, dass sich die Einflüsse einer gestörten Paarbeziehung zunächst auf emotionale Faktoren und über diese vermittelt auf das Immunsystem auswirken, ohne dass diese Vorgänge bewusst wahrgenommen werden (Kiecolt-Glaser et al. 2003).
- Der Verlust eines Partners, z.B. durch eine Scheidung, hat lang anhaltende negative Einflüsse auf das Immunsystem (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

Ehekonflikte und Herzkrankheiten

- Langzeitkonsequenzen gestörter Paarbeziehungen zeigen sich vor allem für Frauen mit koronarer Herzkrankheit. Für diese zeigt sich ein drei mal höheres Risiko für Herzinfarkte und Infarkte mit Todesfolge (Kiecolt-Glaser et al. 2003).
- Zudem zeigen Frauen aus gestörten Partnerschaften einen höheren systolischen Blutdruck und eine höhere Herzfrequenz, wenn sie über Ehekonflikte berichten als Frauen aus intakten Ehen (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).
- Im Zusammenhang mit Herzkrankheiten von Frauen spielt insbesondere das Verhalten des Ehemannes eine wichtige Rolle. Hier ist es wichtiger, dass die Männer kein aggressives oder feindseliges Verhalten zeigen, als dass sie liebevoll sind (Kiecolt-Glaser & Newton 2001). Insbesondere zynisch feindseliges Verhalten der Männer führt bei Frauen zu einer starken Steigerung des Blutdrucks, wohingegen feindseliges Verhalten von Frauen gegenüber ihren Partnern weder zu Erhöhung ihres eigenen noch des Blutdrucks ihrer Ehemänner führt (Kiecolt-Glaser & Newton 2001).

Ehekonflikte und Krankheitsverlauf

- Anhaltende und starke Konflikte in der Partnerschaft erhöhen insbesondere für Frauen das Risiko dafür, schwere Krankheiten nicht so gut zu überstehen. Für Dialysepatientinnen (nicht für Männer) steigt das Sterberisiko bei starken Partnerschaftskonflikten um 46% (Kiecolt-Glaser et al. 2003).

Feindseligkeit und Gesundheitsrisiken

- Stark feindseliges oder zorniges Verhalten von Männern führt zu einem doppelt so hohen Risiko für Herzkrankheiten mit Todesfolge, im Vergleich mit nicht feindseligen Männern (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Feindseligkeit von Männern (nicht von Frauen) sagt zu einem großen Prozentsatz gesundheitlich bedingte Langzeit-Abwesenheit vom Arbeitsplatz voraus (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

Gemeinschaftsgefühl und körperliche Gesundheit, ein Problem von Henne und Ei

Die hier dargestellten Befunde werden in der Regel einseitig dahingehend interpretiert, dass soziale Beziehungen, so sie gelingen, als Ursache für eine bessere Gesundheit anzusehen sind. Vereinzelt finden sich jedoch auch gegenteilige Überlegungen, die davon ausgehen, dass gerade körperlich und seelisch gesunde Menschen in der Lage sind, erfüllende Partnerschaften einzugehen. Diese Auffassung spiegelt im Wesentlichen das oben erläuterte Verständnis Alfred Adlers wider. Im Gegensatz zu den Befunden, die oben für die Auswirkungen von Emotionen auf das physische System berichtet wurden, können in der Untersuchung von sozialen Beziehungen keine experimentellen Daten gewonnen werden. In diesem Sinne muss die Kausalrichtung hier offen bleiben. In der Regel kann jedoch davon ausgegangen werden, dass beide Beeinflussungsrichtungen sich gegenseitig verstärken. So werden vor allem seelisch gesunde Menschen eine Partnerschaft eingehen, ganz so, wie es Adler beschreibt. Die dabei erfahrene positive Wertschätzung, Freude und Gemeinsamkeit in der Bewältigung von Lebensaufgaben wird aber umgekehrt zur wachsenden Gesundheit, Reifung und seelischen Fortentwicklung positiv beitragen.

Wenn vom Menschen als bio-psycho-sozialem System die Rede ist, so wird mit dem sozialen Aspekt zumeist seine nähere soziale Umgebung wie Partner, Familie und Freunde verbunden. Neben diesen naheliegenden Aspekten des sozialen Lebens ist ein Mensch jedoch eingebunden in eine größere gesellschaftliche soziale Struktur. Seine Verortung in der Gesellschaft ist wiederholt in Zusammenhang gebracht worden mit körperlichen und psychischen gesundheitlichen Unterschieden. Die im Folgenden kurz dargestellten Befunde werfen ein beschämendes Licht auf soziale Ungerechtigkeiten in eigentlich ökonomisch sehr weit entwickelten Ländern. Dass sich auch heute noch starke Unterschiede in der Gesundheit zwischen Reichen und Armen finden lassen, spricht nicht sonderlich für die bisherigen Strukturen des Gesundheitssystems und des Sozialstaats.

Soziodemographische Variablen – Alter

- Der Einfluss von positiven und negativen Emotionen auf die Gesundheit ist in den Phasen der Entwicklung am größten, in denen die Vulnerabilität am stärksten ausgeprägt ist, also bei Kindern und alten Menschen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

- Intensive emotionale Erfahrungen haben die Fähigkeit, das neuroendokrine System anhaltend zu verändern. Dies gilt besonders dann, wenn die emotionalen Erfahrungen bereits in der Kindheit gemacht werden. So zeigen Frauen, die in ihrer Kindheit missbraucht wurden ein weit größeres Risiko für depressive und Angststörungen, sowie eine dauerhafte Veränderung der Immunfunktionen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Insgesamt nimmt die Funktionsfähigkeit des Immunsystems bei alten Menschen ab. Zudem zeigt sich, dass alte Menschen anfälliger für negative Emotionen sind, da sie in der Regel nur noch über kleine soziale Netzwerke verfügen. Allerdings nimmt die Intensität emotionaler Reaktionen mit dem Alter ab, sodass von dieser Seite her Verbesserungen zu verzeichnen sind (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Ältere, ängstliche Patienten zeigen signifikant mehr Komplikationen nach Operationen (Kiecolt-Glaser et al. 1998).

Soziodemographische Variablen – Gender

- Es kann eine große Anzahl von komplexen Wechselwirkungen zwischen dem Alter, dem sozialen Umfeld, Persönlichkeitsfaktoren und dem Geschlecht, mit starken Auswirkungen auf das Immunsystem beschrieben werden (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Dies zeigt sich allein schon daran, dass depressive Störungen häufiger bei Frauen vorkommen.
- Interaktionseffekte mit dem Alter zeigen sich z.B. auch durch die hormonellen Veränderungen bei Frauen, während und nach der Menopause, die mit starken Veränderungen im Immunsystem einhergehen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Zudem kann vermutet werden, dass Männer und Frauen sowohl unterschiedliche emotionale Reaktionen auf äußere und innere Stimuli zeigen als auch im Ausdruck und der Verarbeitung von Emotionen Unterschiede aufweisen. Zudem sind große Differenzen in der Bedeutung und Funktion sozialer Netzwerke zwischen den Geschlechtern feststellbar. So zeigen Männer in der Regel in geringerem Maße gesundheitsförderliche Verhaltensweisen als Frauen. Auch wenn nur schwer geklärt werden kann, ob diese Differenzen auf biologische Unterschiede zwischen den Geschlechtern oder auf sozialisatorische Faktoren zurückgeführt werden können, führen sie doch zu biologisch feststellbaren Unterschieden im Immunsystem (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

Sozioökonomischer Status und Ethnie

- Der sozioökonomische Status, in der Regel gemessen über Bildungsniveau, Einkommen und Beruf, hat einen starken Einfluss auf verschiedene gesundheitsrelevante Faktoren (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Sowohl in Hinblick auf Depression, depressive Stimmungen, Aggressivität als auch die meisten Krankheits- und Sterbeursachen zeigen sich starke Unterschiede zwischen Personen mit einem hohen sozioökonomischen Status gegenüber Personen mit einem geringen Status. In der Regel kommen die genannten Problembereiche in einem stark erhöhten Ausmaß bei statusniedrigeren Personen vor (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

- Als Langzeitstressoren, die im Zusammenhang mit einem geringen sozio-ökonomischen Status häufig auftreten, können Burnout-Symptome im Zuge starker beruflicher Belastungen, allgemeine berufliche Belastungen und Arbeitslosigkeit gelten (Kiecolt-Glaser et al. 2002).
- Einkommensunterschiede spiegeln sich sowohl in der Lebenserwartung als auch in der Lebensqualität wider. In einer Studie mit über 43.000 analysierten Datensätzen aus Schweden konnten starke Unterschiede sowohl in der Lebensqualität als auch der Lebenserwartung in Abhängigkeit vom Einkommen festgestellt werden. In der Gruppe mit dem geringsten Einkommen (unterste 10% der Einkommenspyramide) beträgt die Lebenserwartung eines 20-29-jährigen Mannes weitere 49,7 Jahre, wohingegen in der höchsten Einkommensgruppe (Top 10% der Einkommenspyramide) eine Lebenserwartung von 53,8 Jahren festgestellt werden kann. Für Frauen zeigen sich ähnlich große Unterschiede (Gerdtham & Johannesson 2000). Die Auswirkungen des Einkommens auf die Lebensqualität und die Lebenserwartung kann jedoch nicht als kausal einseitige Beziehung betrachtet werden. Vielmehr sind hier Interaktionseffekte mit verschiedenen Faktoren zu vermuten, wie einem geringeren gesundheitsförderlichen Verhalten in schlechteren Einkommensklassen, welches sich beispielsweise im Alkoholkonsum zeigt. Zudem sind berufliche Belastungen und Belastungen durch Arbeitslosigkeit sowie häufiger auftretende negative *Life-Events* als intervenierende Effekte zu bedenken (Geckova et al. 2003). In einer belgischen Studie konnten Unterschiede in der Lebenserwartung für unterschiedliche Einkommensgruppen bestätigt werden. Es zeigte sich jedoch dass die Unterschiede mit zunehmendem Alter geringer werden und in der Gruppe der über 65-jährigen gar nicht mehr beobachtet werden können (Ourti 2003). Erstaunlich ist in diesem Zusammenhang, dass nicht so sehr das absolute Einkommen einen Unterschied in der Sterberate bewirkt als vielmehr die Unterschiede im Einkommen. Ungleichheit im Einkommen spiegelt sich demnach stark in einer Ungleichheit des Gesundheitszustandes wider, auch dann wenn die Einkommen insgesamt als relativ hoch angesehen werden können (Wildman 2003).
- Umstritten sind Befunde über die Gesundheitsrisiken, die mit Arbeitslosigkeit verbunden sind. Obwohl in den meisten Studien zu diesen Thema eine geringere Lebenserwartung für Arbeitslose festgestellt werden konnte, gibt es vermehrt Belege dafür, dass Arbeitslosigkeit unter anderem durch eine geringere Gesundheit erst hervorgerufen wird. So ließ sich zeigen, dass die Unterschiede in der Lebenserwartung zwischen Arbeitslosen und Beschäftigten zurückgehen, wenn die Arbeitslosigkeit insgesamt zunimmt. So werden zunächst Personen arbeitslos, die ohnehin über eine schlechtere Gesundheit verfügen. Steigt die Arbeitslosigkeit jedoch an, so werden auch gesunde Arbeitnehmer arbeitslos (Stewart 2001, Gerdtham & Johannesson 2003). Verstärkt werden diese Effekte, wenn Arbeitslosigkeit direkt auf gesundheitliche Probleme zurück zu führen ist und damit die Wahrscheinlichkeit für eine Langzeitarbeitslosigkeit steigt. In einer schwedischen Studie konnte jedoch der Gesundheitszustand zu Beginn des Beobachtungszeitraumes festgestellt werden. Es zeigte sich ein starke Zunahme des Sterberisikos für Arbeitslose auch dann, wenn diese zu Beginn der Untersuchung über den gleichen Gesundheitszustand verfügten wie Nicht-Arbeitslose. Insbesondere zeigte sich unter den Arbeitslosen ein starker

Anstieg von Selbstmorden und verschiedenen Krankheiten mit Todesfolge, wobei in Bezug auf Krebs und Herzkrankheiten keine Unterschiede festgestellt werden konnten. Die Effekte waren für geringe Einkommensklassen stark ausgeprägt und das, obwohl die Unterstützung im Fall von Arbeitslosigkeit in Schweden relativ hoch ist. Auch zeigten sich geringere Effekte für Verheiratete und Familien mit Kindern (Gerdtham & Johannesson 2003).

- Psychische Probleme (Stress und depressive Stimmungen) kommen gehäuft im Zuge schlechter Arbeitsbedingungen vor. Risikofaktoren in diesem Zusammenhang sind ein geringer Einfluss auf die Arbeit, als sinnlos empfundene Arbeiten, monotone Tätigkeiten und geringe Freundschaftsbeziehungen zwischen Arbeitskollegen. Während Männer eher auf monotone Tätigkeiten mit psychischen Problemen reagieren sind es bei Frauen eher fehlende Freundschaften am Arbeitsplatz (Jonsson, Ferraz-Nunes & Rahmqvist 2002).
- Im Wesentlichen bilden sich über die Unterschiede im sozioökonomischen Status auch Unterschiede zwischen weißen und farbigen Bevölkerungsgruppen ab, wie sie z.B. für die USA berichtet werden (Kiecolt-Glaser et al. 2002). Vermutungen, die solche Unterschiede auf genetische Faktoren zurückführen, lassen sich in diesem Zusammenhang nicht bestätigen. Unterschiede zwischen verschiedenen Ethnien können am ehesten aus einer multidimensionalen Perspektive verstanden werden, die Unterschiede im sozioökonomischen Status, Minoritätenstatus, kulturelle Unterschiede und Aspekte ethnischer Identität umfassen (Kiecolt-Glaser et al. 2002).

7.1.5.5 Zusammenfassung

Wird der Mensch konsequent als bio-psycho-soziales System verstanden, so ergeben sich eine Vielzahl gegenseitiger Einflüsse und Wechselwirkungen, die heute noch wenig verstanden werden. Viele der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Aspekte waren lange vor ihrer neuroimmunologischen Bestätigung vermutet oder beobachtet worden, so z.B. die Zusammenhänge zwischen Emotionen und Immunfunktion. Ohne Zweifel sind die Belege heute jedoch reichhaltiger, detaillierter und besser begründet als noch zu Freuds Zeiten.

Emotionen wirken über drei Pfade auf das körperliche Befinden: hormonell, über das ZNS und das Verhalten

Zusammenfassend können für negative Emotionen drei Wege beschrieben werden, die insgesamt schädigend auf das Immunsystem und den Gesundheitszustand eines Individuums Einfluss nehmen. Zum einen sind hier hormonelle Veränderungen sowie direkte Einwirkungen über das ZNS zu beobachten. Aber auch auf der Verhaltensebene spielen negative Emotionen eine sich selbst potenzierende Rolle, indem sie zu einer Abnahme gesundheitsförderlicher Verhaltensweisen und zu einer Zunahme schädigender Verhaltensweisen (z.B. überhöhter Alkoholkonsum) führen. Obwohl die kausale Wirkrichtung dieser Befunde relativ gut gesichert ist, handelt es sich um einen kreisförmigen Prozess, bei dem sich ergebende negative Folgen für die Gesundheit ebenfalls als Stressoren aufgefasst werden können, die neben der direkten schädigenden Wirkung der Krankheit auch zu einer weiteren Fehlregulation des Immunsystems führen können.

Insbesondere psychotherapeutische Interventionen, die über die Stärkung von Copingmechanismen, der Vermittlung positiver Erfahrungen und sozialer Beziehungen ebenso wie durch eine direkte förderliche Einwirkung auf das Immunsystem und im Zuge einer direkten Behandlung psychischer Störungen wirken, zeigen sowohl allgemein gesundheitlich fördernde Effekte als auch Hilfe bei schwerwiegenden körperlichen Erkrankungen.

**Soziale Beziehungen
sind ein wichtiger
Aspekt körperlicher
Gesundheit**

In Bezug auf soziale Aspekte menschlichen Lebens konnten umfassende Studien über die positive Wirkung sozialer Beziehungen dargestellt werden. Ob dabei gesunde Menschen eher zu befriedigenden Beziehungen fähig sind oder befriedigende Beziehungen die Gesundheit von Menschen fördern ist vor dem Hintergrund der derzeit vorliegenden Studien nicht entscheidbar. Wahrscheinlich gelten beide Aspekte gleichermaßen. In Bezug auf die soziodemographische Verortung von Individuen in der gesellschaftlichen Hierarchie von Einkommen, Ansehen und Prestige lässt sich zeigen, dass es gravierende gesundheitliche Unterschiede zwischen den Einkommensklassen gibt, bei denen die Einkommensschwächeren auch als gesundheitlich schwächer erscheinen. Insbesondere hier sind sozialpolitische und gesellschaftliche Interventionen zu fordern.

Auf die Eingliederung dieser zuletzt genannten Befunde in ein umfassendes graphisches bio-psycho-soziales Modell, wie es für die Auswirkung von Emotionen und psychotherapeutischen Interventionen in Abbildung 65 versucht wurde, musste aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet werden. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die jeweils relevanten Ebenen vielfältig gegenseitig und in einem komplexen dynamischen Wechselspiel beeinflussen. Dass die hier dargestellten Zusammenhänge nicht alle Aspekte umfassen können, die im Zusammenhang mit Krankheit und Gesundheit eine Rolle spielen, versteht sich von selbst. Ziel war es vielmehr vor den Gefahren eines einseitigen Biologismus ebenso wie vor den Gefahren eines einseitigen Psychologisierens zu warnen. Dabei sind die Bemühungen von Forschern wie Klaus Grawe durchaus positiv zu würdigen. So unternimmt Grawe (1998) den Versuch, psychische und neurobiologische Befunde zu vereinen. Dass dieser Versuch nicht vollständig oder ohne logische Widersprüche gelingt, liegt dabei nicht so sehr in der Unvereinbarkeit der beiden Perspektiven, als vielmehr in dem Versuch die psychologische Ebene einseitig zu Gunsten einer neurobiologischen aufzugeben.

Dass an dem komplexen Geschehen im Zusammenhang mit Krankheit und Gesundheit weit mehr Variablen beteiligt sind als hier dargestellt wurden, zeigt sich zum Beispiel an einer Studie, die auf der Analyse von Patientendaten für Gallenoperationen beruht. Im Rahmen dieser Analyse, über die von Kiecolt-Glaser (1998) berichtet wird, stellte sich heraus, dass Patienten, die von ihrem Krankbett aus einen Blick aus einem Fenster genießen konnten weniger Tage im Krankenhaus verbrachten und geringere Mengen an Analgetika benötigten.

Auch auf die Darstellung neuerer Ergebnisse der Hirnforschung und deren Bedeutung für die Erklärung und Behandlung psychischer Störungen wurde im vorangegangenen Kapitel weitgehend verzichtet. Dies liegt vor allem daran, dass die derzeit vorliegenden Befunde relativ spezifisch auf einzelne Störungsbilder beschränkt bleiben und damit wenig in den allgemeinen Rahmen eines bio-psycho-sozialen Modells integriert werden können (für einen Überblick über die Befunde siehe zur Depression Nickel 2002, zur Schizophrenie Vogeley 2001, Meisenzahl

& Möller 2002, zur Zwangsstörung Hegerl, Henkel & Pogarell 2002, Pogarell & Hegerl 2002, für Angst- und Panikattacken Ströhle 2002, posttraumatischen Belastungsstörungen Kapfhammer 2002, suizidalem Verhalten Brunner & Bronisch 2002).

Wichtig für ein allgemeines bio-psycho-soziales Modell sind die genannten Arbeiten der neueren Hirnforschung jedoch in Bezug auf Hypothesen und Forschungsbefunde, die davon ausgehen, dass eine Vielzahl von psychischen Störungen und Persönlichkeitsfaktoren genetisch zumindest prädispositioniert sind. Damit knüpfen sie an das bereits seit langem bekannte Diathese-Stress-Modell an, welches davon ausgeht, dass psychische Störungen durch das Zusammenwirken einer genetischen Prädisposition mit stressvollen Erfahrungen entstehen (vgl. Pinel 2001, S. 510f.).

Folgerungen für die Psychotherapie können derzeit noch nicht aus neurobiologischen Befunden gezogen werden

Dass die neuere Hirnforschung noch weit davon entfernt ist, greifbare Brücken zwischen psychischen, sozialen und hirnorganischen Befunden zu schlagen und damit zu einem allgemeinen bio-psycho-sozialen Modell verwertbare Beiträge zu leisten, zeigt sich am ehesten in der Sprachlosigkeit der Autoren angesichts der Frage nach der Bedeutung der Befunde für die psychotherapeutische Praxis. Am ehesten gelingt es Storch (2002) Verbindungslinien aufzuzeigen, die jedoch nur schwach begründet werden können (für eine umfassende Diskussion zu diesem Thema vgl. Caspar 2003). Besonders treffend verleiht Förstel (2002) seiner Sprachlosigkeit Ausdruck, indem er schreibt:

Dies sind also Mechanismen, die menschlichen Verhaltensprogrammen zu Grunde liegen, welche in einem psychotherapeutischen Prozess, der deklarative Kanäle verwendet, neu kodiert werden. Ernsthafte praktische Konsequenzen mag ich, wie eingangs erwähnt, in diesen Jahren noch nicht ziehen (mit Vorbehalt wäre abzuleiten, dass optimale psychotherapeutische Erfolge zu erzielen wären bei Patienten vor Vollendung des 6. Lebensjahres; nach besonders behutsamen Umgang mit wiederholt aufgewärmten Erinnerungen; im Anschluss an eiweißreiche Mahlzeiten, gewürzt mit Acetylcholinesterasehemmern und L-Dopa, bei eingeschaltetem Kurzzeitgedächtnis [=Bewusstsein], was durch Wachheit belegt wird; und nach unmittelbar anschließendem Schlaf). (Förstl 2002, S. 187)

7.1.6 Forderung nach idiographischen Modellen

Es wurde oben bereits darauf hingewiesen, dass sich Folgerungen und Prognosen aus einem theoretischen Modell aus der Verknüpfung zweier Elemente ergeben (vgl. S. 205). Zum einen sind hier die Gesetzmäßigkeiten, die allgemeinen Sätze zu nennen, die im Rahmen einer Theorie die Mechanismen beschreiben, nach denen sich ein System verhält. Zum anderen werden, um konkrete Voraussagen aus der Theorie ableiten zu können, Informationen über die Rahmen-, Start- bzw. Randbedingungen, also die so genannten besonderen Gesetze benötigt. Beide Elemente ergeben erst zusammen eine konkrete Prognose.

Die Beziehung zwischen allgemeinen und besonderen Gesetzen in der systemwissenschaftlichen Modellbildung

Obwohl die Grundlagen einfacher deduktionslogischer Schlussfolgerungen für komplexe, über Feedbackprozesse verfügende Systeme zu kurz greifen, gilt sowohl für lineale als auch für nichtlineale Systeme gleichermaßen diese Zweiteilung in allgemeine Gesetze auf der einen und besondere Antezedenzbedingungen

auf der anderen Seite. Hier wie dort wird das allgemeine Gesetz erst durch konkrete Startbedingungen zum Leben erweckt. In diesem Sinne könnte es durchaus gerechtfertigt erscheinen, auch in der systemwissenschaftlichen Modellbildung möglichst allgemeine Modelle zu formulieren um diese dann je nach Anwendungsfall mit konkreten Angaben zu füttern. Tatsächlich sind die Möglichkeiten für die Wiederverwertbarkeit systemischer Modelle jedoch extrem beschränkt. In vielen Fällen lohnt sich die konkrete Ausformulierung einer allgemeingültigen Theorie gar nicht. Wenn überhaupt, kann sie als lose Sammlung möglicher Einflussfaktoren allenfalls einen heuristischen Wert besitzen. Für den Einzelfall muss sie dann aber immer wieder neu angepasst werden und kann dabei jeweils zu grundsätzlich unterschiedlichen Verhaltensweisen führen.

Der Grund für diese Problematik liegt weitgehend in der fehlenden Summativität des Systemverhaltens begründet. Während es z.B. im Rahmen der klassischen Mechanik vielfach möglich ist, auch komplexe Systeme aus der Summe ihrer Einzellelemente zu beschreiben, fehlen diese Möglichkeiten bei nichtlinearen dynamischen Systemen. Nur dann, wenn sich ein System aus der Summe seiner Einzelteile additiv erschließen lässt, empfiehlt es sich, Mechanismen über Einzelbeziehungen oder Ausschnitte des Systems quasi auf Vorrat analysiert, im Werkzeugkoffer der Modellbildung mit sich zu führen. Obwohl ein solches Vorgehen auch für komplexe, sich durch gemischtes Feedback auszeichnende Systeme hilfreich sein kann, lassen sich aus den Einzelteilen eben keine einfachen Folgerungen über das Verhalten eines jeweils spezifisch anders aufgebauten Systems ziehen.

Es hilft häufig wenig für die Prognose des Systemverhaltens eines komplexen Systems, wenn bekannt ist, dass es nahezu identisch wie ein anderes System aufgebaut ist. Es genügt, dass das eine System dort über eine quadratische Beziehung verfügt, wo sich beim anderen eine logarithmische zeigt, um zu gänzlich anderen Dynamiken zu gelangen.

**Allgemeine Gesetzes-
aussagen sind in der
Theorie Nichtlinearer
Dynamischer Systeme
verortet**

Konkrete Aussagen über das Verhalten komplexer nichtlinearer dynamischer Systeme beruhen in der Regel nicht nur auf der Kenntnis besonderer Sätze für die Rahmenbedingungen, sondern auch auf der Kenntnis besonderer jeweils spezifischer theoretischer Grundmodelle. Dort, wo in der Modellbildung und der Ableitung von Prognosen auf allgemeine Gesetzmäßigkeiten zurückgegriffen werden kann, beruhen diese vornehmlich auf Theorieelementen der übergeordneten Rahmentheorien, also den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. Eine systemwissenschaftliche Modellbildung geschieht daher vor dem Hintergrund dreier Elemente bzw. Aussagensysteme (vgl. Abbildung 66). Die allgemeinen Aussagen stammen aus den theoretischen Rahmentheorien, die grundlegende Definitionen und strukturierende Begriffe sowie typische Mechanismen und Erklärungsschablonen bereitstellen. In diesem Sinne regen sie z.B. dazu an, Systemelemente nach Variablen, Konstanten und Kontrollparametern zu unterscheiden. Sie liefern allgemein gültige Erklärungen für das Auftreten von Selbstorganisationsprozessen und zeigen typische Wege ins Chaos auf. Zudem verweisen sie auf die notwendigen Bedingungen für das Auftreten von Selbstorganisation und für die emergente Herausbildung chaotischer Prozessdynamiken. Auch die Merkmale, Bestimmungskriterien und Eigenschaften z.B. einer chaotischen Dynamik werden von ihnen in einer allgemeingültigen Form angeboten.

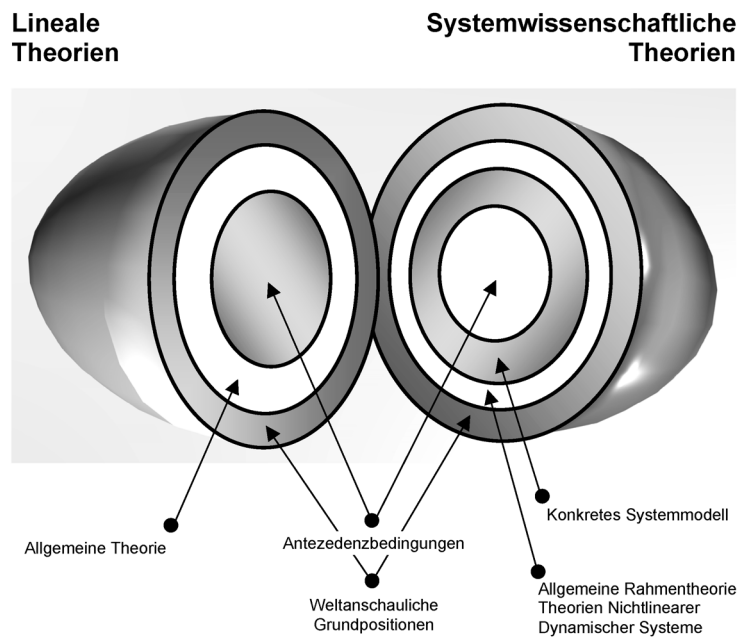


Abbildung 66: Zwiebelschalenmodell wissenschaftlicher Prognosen

Die Abbildung zeigt die Elemente aus denen sich eine Prognose aus einem wissenschaftlichen Modell ergibt. Während bei linealen Theorien allgemeine Gesetze und besondere Antezedenzbedingungen zu einer Prognose führen, sind bei systemwissenschaftlichen Modellen allgemeine Gesetzesaussagen in der Rahmentheorie verortet, wohingegen bereits auf der Ebene des konkreten theoretischen Modells weitreichende Besonderheiten des zu modellierenden Phänomenbereiches berücksichtigt werden müssen. Häufig außer Acht gelassen werden die jeweils äußeren Schichten einer Theorie, die sich auf nicht mehr falsifizierbare erkenntnistheoretische Axiome, also auf ein nicht weiter hinterfragbares Weltbild stützen.

Die Formulierung eines systemwissenschaftlichen Modells geschieht mittels besonderer Sätze

Bereits auf der zweiten Ebene einer systemtheoretischen Modellbildung sind spezifische und für das konkrete Verhalten des Systems höchst bedeutsame Konkretisierungen nötig. Diese betreffen nicht wie nach der oben beschriebenen Deduktionslogik des Hempel-Oppenheim-Schemas bereits die Rahmen- und Randbedingungen, sondern erst die Formulierung des theoretischen Modells selbst. Erst auf einer dritten Ebene werden konkrete Antezedenzbedingungen über Startwerte, Randbedingungen, Ausprägungen von Kontrollparametern genutzt, um zu einer konkreten Prognose der Systemdynamik zu gelangen. Die Besonderheit in der Theoriebildung mittels der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme gegenüber linealen Erklärungsmodellen liegt also vornehmlich in der bereits auf der Ebene der Gesetzmäßigkeiten stattfindenden Spezifizierung, die immer nur für einen konkreten Einzelfall Gültigkeit beanspruchen kann.

Nur Modelle über den Einzelfall sind empirisch überprüfbar

Es soll hier keinesfalls bestritten werden, dass es nicht auch im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Modellbildung sinnvoll sein kann, makroskopische allgemeine Erklärungsmodelle zu formulieren. Allerdings steht zu vermuten, dass diese Modelle über einen exemplarisch-beispielhaft deskriptiven Status selten hinausgehen können. Spätestens bei den Versuchen, eine solche Theorie empirisch zu belegen sind dann weitere Konkretisierungen nötig, die schnell dazu führen, dass sich ein völlig anderes Modell und ein grundsätzlich anderes Verhalten ergeben. Wenn also eine solche allgemeine Modellbildung vorgenommen wird, so sollte sie ihrerseits den Status einer Rahmentheorie anstreben, also z.B. nicht allzu weit über

die Übersetzung der aus den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme bekannten Begrifflichkeiten in die Psychologie hinausgehen. Hier kann es bereits hilfreich sein den Begriff des Kontrollparameters mit psychologischem Inhalt zu füllen. Anwendungen solcher Konzepte sollten sich jedoch möglichst am konkreten Einzelfall einer idiographischen Modellbildung orientieren, um einer empirischen Prüfung zugänglich zu werden.

7.1.7 Empirische Prüfung – Grenzen und Möglichkeiten

Kaum eine andere Disziplin besitzt eine so lange Tradition der systemwissenschaftlichen Modellbildung wie die Ökologie, wo Modelle zur Simulation von Populationsdynamiken bereits seit Beginn des vorigen Jahrhunderts genutzt werden. Die oben beschriebenen Modellsysteme (vgl. S. 102ff.) bilden sicherlich einen weitgehend vollständigen Überblick über die gängigen mathematischen Beschreibungen von Populationsdynamiken. Ungeachtet der Tatsache, dass z.B. das Lotka-Volterra-Modell in jedem Ökologiebuch zu finden ist, handelt es sich bei keinem der dargestellten Modelle um realitätsgetreue mathematische Beschreibungen eines tatsächlich vorfindbaren Ökosystems. In diesem Sinne räumt Haken (1985) vorsichtig ein:

Modelle von obigem Typus werden häufig in der Ökologie angewendet. Es sollte erwähnt werden, dass sie noch auf sehr globalem Niveau arbeiten. In einem nächsten Schritt müssen eine Vielzahl anderer Effekte berücksichtigt werden, so zum Beispiel Effekte der Zeitverzögerung, Jahreszeiten, unterschiedliche Todesraten, die vom Alter abhängen, sogar unterschiedliches Verhalten in den Reaktionen bei einzelnen Spezies. Auch wenn wir die Rechnungen in der oben erwähnten Form durchführen, bleiben biologische Populationsnetzwerke in der Realität komplizierter. (Haken 1985, S. 311)

Trotz wiederholter Forderungen nach passenderen Modellen fehlen diese bis heute

Die optimistische Forderung nach einer Einbeziehung von noch mehr Einflussgrößen ist nicht neu. Seit es das Lotka-Volterra-Modell gibt, wird betont, dass es sich hier nur um einen ersten Schritt zu einem besseren Verständnis handeln kann. Die Vorhersagen des Modells würden nur in wenigen Fällen mit der Realität übereinstimmen. Die Realität sei eben doch komplexer. Vergleicht man jedoch Hakens Angaben zur Anwendung der Synergetik in der Biologie, so sieht man, dass sich in dem halben Jahrhundert seit der Formulierung des Lotka-Volterra-Modells nicht viel getan hat. Dubois schreibt dazu 1975:

Die Literatur zu Modellen von Ökosystemen ist stark redundant und nur wenige Fortschritte wurden seit den Originalarbeiten von Lotka (1925) und Volterra (1931) gemacht. Die meisten Modelle, die bis jetzt vorgeschlagen wurden, sind in ihren Grundannahmen⁹⁰ falsch. Sie behindern den Fortschritt auf diesem Gebiet und verringern unser Verständnis der Natur. (Dubois 1975, S. 189; Übersetzung G.St.)

⁹⁰ Dubois bezieht sich hier vor allem auf die Annahme der konstanten Umwelt (siehe Annahmen zum Lotka-Volterra-Modell auf S. 103). Er macht an einigen Beispielen deutlich, dass erst die Annahme von Umweltveränderungen spezielle qualitative Aspekte von realen Ökosystemen zu modellieren vermag.

Pielou (1969) stellt für das ungewöhnliche Ereignis, dass reale Populationsdynamiken mit den mathematischen Modellen übereinstimmen, mögliche Gründe zusammen. Die Möglichkeit, dass ein Modell tatsächlich mit der Realität übereinstimmt, stellt dabei nur eine von mehreren Möglichkeiten dar, die nicht voneinander unterschieden werden können (vgl. S. 250f.). Auch er führt aus, dass die mathematischen Konzepte zur Beschreibung von Populationsdynamiken zu starke Vereinfachungen aufweisen, als dass sie realistisch sein könnten. Zu viele Faktoren blieben unberücksichtigt.

Die Überprüfung komplexer dynamischer Modelle bereitet zumindest in dreierlei Hinsicht Probleme:

1. **Falsifikation ohne Folgen.** Auch Modelle die einer empirischen Prüfung nicht standhalten werden nicht fallengelassen. Es gibt zu viele Möglichkeiten auch falsifizierte Modelle zumindest prinzipiell und von ihren theoretischen Grundannahmen her für zutreffend zu halten.
2. **Verifikation.** Die Verifikation eines Modells kann nur in den seltensten Fällen die Gültigkeit des Modells belegen. Die Übereinstimmung des Modells mit einem empirischen Realitätsausschnitt lässt eine Reihe von möglichen Alternativerklärungen zu.
3. **Mathematische Übergeneralisierung.** Die Folgerungen aus einem mathematischen Modell sind in der Regel sehr umfangreich. Für jeweils unterschiedliche Parametereinstellungen kann sich ein ganzer Zoo möglicher Dynamiken ergeben. Dieser Fülle an mathematischen Möglichkeiten steht in der Regel nur eine sehr begrenzte Anzahl empirischer Belege gegenüber. Ob die mathematisch möglichen Prozesse in der Realität überhaupt auftreten können bleibt vielfach ungeklärt.

Auf die genannten Problemfelder soll im Folgenden etwas ausführlicher eingegangen werden.

7.1.7.1 Falsifikation ohne Folgen

Trotz der vielfach festgestellten fehlenden Realitätsnähe werden Modelle zur Populationsdynamik wie z.B. auch das Lotka-Volterra-Modell seit Jahrzehnten beibehalten, ohne dass es bisher zu den propagierten Weiterentwicklungen kam. Widersprüche zwischen dem Modell und der Theorie lassen sich nur zu gut der *noch* fehlenden Komplexität der Lösung zuordnen. Diese Argumentation erscheint schlüssig. Es liegt in der Natur neuer wissenschaftlicher Ansätze, zunächst von stark vereinfachten Modellannahmen auszugehen. Wenn aber stark vereinfachende theoretische Annahmen für so hoch komplexe Forschungsfelder wie die der Ökologie oder der Psychologie getroffen werden, so sollte es eher wundern, wenn sie auf Anhieb zuträfen. In der Folge wird eine weitere Elaboration gefordert, die Theorie als solche jedoch nicht angegriffen.

Über das Festhalten
an Glaubensgrund-
sätzen

Wissenschaftstheoretisch ist dies längst von Thomas Kuhn⁹¹ (1973/1962) beschrieben worden. Kuhn spricht in diesem Zusammenhang vom Festhalten an *Glaubensgrundsätzen*, die sich mehr auf Überzeugungen als auf Beweise stützten

⁹¹ 1922 bis 1996

(vgl. Kuhn 1973/1962). Viele Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sahen in Kuhns Analysen einen direkten Angriff auf die Grundlage einer jeden Wissenschaft, nämlich auf ihre Rationalität. Stegmüller (1986) fasst die Meinung von Kuhns Gegnern treffend zusammen:

Wenn dieses Bild zutrifft, dann wäre nicht nur der Verlauf der normalen Wissenschaft, sondern dann wären auch die wissenschaftlichen Revolutionen nicht bloß von irrationalen Prozessen begleitet und durch sie getrübt. Vielmehr wären beide Formen der Wissenschaft ihrem Wesen nach durch und durch irrationale Geschehnisse. (Stegmüller 1986, S. 302, zitiert nach Breuer 1989, S. 99)

Kuhn (1974) hält dagegen:

Wenn Geschichte oder irgendeine andere empirische Disziplin uns zu der Überzeugung führt, dass die Entwicklung der Wissenschaft wesentlich auf einem Verhalten beruht, das wir zuvor als irrational ansahen, so sollten wir daraus nicht schließen, dass Wissenschaft irrational ist, sondern dass unser Begriff von Rationalität an verschiedenen Stellen entsprechend korrigiert werden muss. (Kuhn 1974, S. 130, zitiert nach Breuer 1989, S. 200)

**Forderung von
Schonraum für neue
Theorien**

In Folge der durch Kuhn angeregten Diskussion kam es zu einer Weiterentwicklung wissenschaftstheoretischer Konzepte, die einen Schonraum für neue Theorien geradezu fordern. Da eine neue Theorie noch nicht den gesamten Erklärungsgehalt einer weit ausgebauten alten Theorie habe und sie bei einem Leistungsvergleich immer unterliegen werde, sei ihr eine gewisse Schonzeit einzuräumen in der sie weiter verfolgt und elaboriert werden solle. Erst dann sei ein Leistungsvergleich zwischen der alten und der neuen Theorie sinnvoll.

In diesem Sinne ist es durchaus zu rechtfertigen, dass trotz widersprüchlicher empirischer Belege Modelle zur Populationsdynamik wie z.B. das Lotka-Volterra-Modell nicht sofort fallengelassen wurden. Zu kritisieren bleibt, dass entsprechende Weiterentwicklungen noch weitgehend ausstehen.

**Populationsmodellen
wird fälschlich der
Status allgemeiner
Gesetzesaussagen
zugesprochen**

Eventuell kann eine Erklärung für die hier beschriebene Problematik in der oben bereits geschilderten Grundstruktur systemwissenschaftlicher Prognosen gesehen werden (vgl. Abbildung 66 und die Ausführungen ab S. 244). Bei den ab Seite 102 dargestellten Modellen zur Populationsdynamik handelt es sich, ihrem Anspruch nach, um allgemeine Gesetzesaussagen, aus denen Vorhersagen durch die Spezifizierung mittels konkreter Antezedenzbedingungen möglich sein sollten. Dass aber die Formulierung allgemeiner Gesetzesaussagen im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Modellbildung zu Schwierigkeiten führt, wurde oben bereits deutlich. In diesem Sinne muss für einen konkreten Einzelfall, hier ein bestimmtes Ökosystem, eine weitgehende strukturelle Anpassungen des Systemmodells vorgenommen werden. Ein für alle Ökosysteme passendes Modell kann es mithin nicht geben. Dass aber ein solchermaßen angepasstes, konkretes Modell ein eventuell ganz anderes Verhalten zeigen wird als das bekannte Lotka-Volterra-Modell liegt auf der Hand. Ein solches Modell könnte dabei durchaus in der Lage sein sich in empirischen Untersuchungen zu bewähren. Allerdings blieben seine Erklärungsmöglichkeiten eben genau auf dieses konkrete Ökosystem beschränkt.

Der Wert des Lotka-Volterra-Modells und ähnlicher allgemeiner Modelle liegt daher weniger in ihrer Passung auf reale Ökosysteme, als in ihrem exemplarischen Charakter, der mögliche Zugänge zur Beschreibung von Populationsdynamiken beispielhaft aufzeigt.

7.1.7.2 Verifikation

Auch Pielou (1969) führt unter dem Punkt: *General Remarks on Simple Models in Population Dynamics* aus, dass jedes der von ihm in sechs Kapiteln dargestellten Modelle sehr vereinfachend sei. Sie seien zu einfach, um realistisch zu sein. Dennoch komme es ab und an zu Übereinstimmungen von Realität und Theorie. Pielou (1969) stellt drei mögliche Gründe für solche Übereinstimmungen vor. Er verweist darauf, dass diese drei Gründe nicht alle möglichen oder denkbaren Fälle einschließen:

1. Die Faktoren, die für die Erstellung des mathematischen Modells vernachlässigt wurden, dürfen tatsächlich vernachlässigt werden.
2. Die vernachlässigten Faktoren heben sich in der Realität gegenseitig auf.
3. Die Übereinstimmung des Modells mit der Realität ist nicht so stark wie es scheint.

Verifikationen sind kein Beleg für die Stimmigkeit des Modells

Der Möglichkeit, dass das Modell tatsächlich die realen Vorgänge beschreibt werden hier zwei weitere zur Seite gestellt (vgl. Pielou 1969). Als eine Möglichkeit von vielen lässt sich nicht entscheiden, ob dieser oder anderen Möglichkeiten der Vorzug zu geben sei. Praktisch gesehen lässt sich aus einem Vergleich von Modell und Realität nicht angeben, welche der vielen Gründe für eine Übereinstimmung verantwortlich sind. Da der Fall der tatsächlichen Gültigkeit des Modells nur einer unter vielen ist, darf eine solche Verifikation keinesfalls als Beweis für die Stimmigkeit des Modells angesehen werden.

Allgemein gesprochen werden hier natürlich grundlegende Aspekte der Verifikationsproblematik angesprochen, die ebenso für die Testung auch linearer theoretischer Ansätze gelten. Hier wie dort lässt sich aus der Verifikation einer Annahme nicht die Gültigkeit des zu Grunde liegenden theoretischen Modells testen. Im Sinne von Popper (z.B. Popper 1973/1934) sind viel mehr gezielte experimentelle Versuche der Falsifikation anzustreben. Erst wenn sich ein Modell trotz aller Bemühungen es zu falsifizieren bewährt, kann dies für eine Zeit lang als Beleg für dessen Gültigkeit angesehen werden. Hier zeigen sich dann jedoch die oben für die Falsifikation systemwissenschaftlicher Modelle vorgestellten Schwierigkeiten.

7.1.7.3 Mathematische Übergeneralisierung

Nur allzu oft wird auch aus vereinzelten Verifikationen der Schluss auf die prinzipielle Gültigkeit des Modells gezogen. Dies ist, wie oben erläutert, nur selten zu rechtfertigen. Ein weiteres Problem kommt jedoch hinzu: Nimmt man ein mathematisches Modell als gültig an, so heißt das, dass die Eigenschaften des Modells mit den Eigenschaften und dem Verhalten des zu beschreibenden Realitätsausschnittes als übereinstimmend betrachtet werden. Dies führt zu der Gefahr über

den Bereich der Übereinstimmung hinaus das mathematische System als Abbild der Realität zu betrachten. So kommt es dann zu unzulässigen Generalisierungen. Eine Übereinstimmung des Modells mit einzelnen empirischen Beobachtungen wird als genereller Beweis für die Gültigkeit des Modells bewertet. In der Folge kommt es zu der Gefahr, dass das Augenmerk weg von der Empirie hin zum Modell verlegt wird. Nullstellen, Differenzierbarkeit, Linearität, Proportionalitäten oder andere mathematische Eigenschaften werden aus den Gleichungen deduziert und daraufhin empirisch interpretiert. Kriz (1990) kommt in seinem Artikel „*Synergetics in Clinical Psychology*“ beispielsweise zu der Anmerkung, dass er zur Zeit noch keine Ahnung habe, was eine von ihm beschriebene Eigenschaft des vorgeschlagenen Modells psychologisch bedeuten könnte. Auf die Idee, dass diese Eigenschaft, der dem Modell immanenten Mathematik keine Eigenschaft der zu beschreibenden Kommunikation sein muss, kommt er erst gar nicht. Wird mit den mathematischen Möglichkeiten eines Modellgleichungssystems solchermaßen verfahren kommt es nicht selten zu Verletzungen der ökologischen Validität.

Mathematische Übergeneralisierungen führen zu Problemen in der ökologischen Validität

Die ökologische Validität trägt den Grenzen der Variationsspielräume einzelner Variablen Rechnung. So ist es mathematisch sehr leicht möglich, gewisse Variablen in Extremwerte zu zwingen, sie z.B. konstant zu halten, während sie sonst grenzyklisch verlaufen. Der ökologische (praktische) Wert dieser Erkenntnisse ist aber um so geringer, je unmöglicher es unter „normalen“ (ökologischen) Bedingungen ist, dass sich das System überhaupt in solchen Rahmenbedingungen befinden kann. Da erst eine komplexe Rückübersetzung des Zustandes des mathematischen Modells in empirische Begriffe nötig ist, bleibt es wegen des hohen Abstraktionsgrades der Modelle häufig ungeklärt, ob das Modell empirisch überhaupt in den Zustand versetzt werden kann, den es haben muss, damit eine bestimmte Eigenschaft zum Tragen kommen kann.

Das Problem der mathematischen Mehrdeutigkeit kann durch Verifikationen nicht gelöst werden

Ein weiteres Argument in diese Richtung ergibt sich, wenn man bedenkt, dass mehrere, verschiedene mathematische Modelle in gewissen Grenzen und mit häufig nur geringen Einschränkungen übereinstimmen können. D.h., mathematisch unterschiedliche Modelle können unter Umständen ähnliches Verhalten produzieren. Eine eindeutige Zuordnung eines Modells zu einem empirischen Befund ist durch eine simple Verifikationspraxis nicht möglich. Pielou (1969) führt hierzu aus:

Sehr unterschiedliche konzeptuelle Modelle führen zu sehr ähnlichen Kurven für Populationsveränderungen. Die Daten, die man aus Beobachtungen von Populationen erhält, reichen nicht aus, sich für eines der möglichen Modelle zu entscheiden. (vgl. Pielou 1969, S. 75; Übersetzung G.St.)

Beobachtung vs. Experiment

Ein Hauptmanko der dargestellten Verifikationsversuche stellt in diesem Zusammenhang ihr beobachtender Charakter dar. Der einfache Vergleich des Outcomes eines Modells mit den tatsächlichen Populationszahlen einer beliebigen Stichprobe hat nur den Status einer Beobachtung. Eine Nichtübereinstimmung kann hier nur zu einem Verweis auf die mangelnde Komplexität des Modells führen. Dieser unbefriedigende Zustand kann nur durch gezielte Experimente behoben werden. Diese Forderung wird auch von Pielou (1969) vertreten:

Zu jedem Modell ergeben sich mehrere Eigenschaften, nicht nur eine. Wege – diese Eigenschaften je für sich zu testen – müssen gefunden werden. (vgl. Pielou 1969, S. 75; Übersetzung G.St.)

Ein weiteres Problem ergibt sich aus den mathematischen Gleichungssystemen, bei denen eine Unzahl von Konstanten und Parametern allein durch die Auswahl einer bestimmten Gleichung nötig werden (so benötigen z.B. lineare Gleichungen ganz andere und insgesamt weniger Parameter, als z.B. quadratische Gleichungen). Die mathematischen Modelle enthalten dann eine große Zahl an Parametern, die sich zumeist nicht einzeln schätzen lassen. Bei psychologischen Fragestellungen, wie sie z.B. von Kriz (1992) angegangen werden, bleiben teilweise sogar die inhaltlichen Bedeutungen von Proportionalitätskoeffizienten ungeklärt. Solche Parameter bleiben faktisch Unbekannte der Gleichungen. Jeder Wert ist wahrscheinlich, wenn eine Überprüfung nicht möglich ist. Auf diese Weise werden die Modelle flexibel und prinzipiell an jeden empirischen Befund anpassbar, zumal ja auch oszillierende Parameter, Parametersprünge und Ähnliches denkbar sind, solange diese Annahmen empirisch nicht überprüfbar sind.

Dubois (1975) führt z.B. eine „oszillierende Umwelt“ bei Populationsmodellen ein. Seiner Meinung nach kommt es so zu einer Modulation von Phänomenen wie Lernen, Adaptation und Evolution. Gegen das Argument, dass die Annahme einer konstanten, sich nicht verändernden Umwelt nicht haltbar ist, lässt sich nichts sagen. Doch welche empirische oder theoretische Grundlage rechtfertigt eine „oszillierende Umwelt“?

Insgesamt können die Anforderungen an eine systemwissenschaftliche Modellbildungen wie folgt zusammengefasst werden:

1. **Falsifikationen anstreben.** Wenn seit über fünfzig Jahren immer wieder darauf verwiesen wird, dass die vorgeschlagenen Modelle derzeit noch zu einfach sind, um mit der Empirie überein zu stimmen, wäre es allmählich an der Zeit durch gezielte Weiterentwicklungen die Tauglichkeit des Ansatzes zu belegen. Dazu ist es dann allerdings nötig, falsifizierte Gleichungssysteme auch tatsächlich fallen zu lassen und entsprechende Alternativen zu erproben. Zumindest ist bei der Darstellung klassischer Gleichungen darauf zu verweisen, dass es sich um ein nicht mit der Empirie übereinstimmendes Modell handelt, das allein aus didaktischen Gründen und zur Erläuterung der Grundprinzipien der Modellbildung vorgestellt wird. Sollte sich die oben geäußerte Vermutung bestätigen, dass nur konkret auf den Einzelfall bezogene Modelle einer Falsifikation widerstehen, kann auf die Formulierung allgemeingültiger Systemmodelle in Zukunft gänzlich verzichtet werden. Dies erfordert allerdings ein Umdenken in der gängigen Forschungspraxis, in der es bisher üblich ist den Einzelfall gering zu schätzen und die allgemeingültigen Prinzipien hervorzuheben.
2. **Experimenteller Modellvergleich.** Alternative Modelle sollten experimentell gegeneinander getestet werden. Dabei können die oben genannten Prognosemöglichkeiten für systemwissenschaftliche Modelle als Richtschnur dienen (vgl. S. 210). Da es relativ unwahrscheinlich ist, dass zwei verschiedene Gleichungssysteme auch dann, wenn sie in weiten Bereichen ihres Verhaltens übereinstimmen, bei der Variation der Kontrollparameter die gleichen Phasenübergänge zeigen, könnte es prinzipiell möglich sein, verschiedene Modelle miteinander zu vergleichen und gegeneinander zu testen.
3. **Kreatives Nutzen der Modellvielfalt.** Die Kenntnis, dass es zu jedem Phänomen prinzipiell verschiedene mathematische Modelle geben kann, fordert geradezu zur Formulierung alternativer Ansätze auf. Hier ist Kreativität und Risikobereitschaft gefragt. Bereits Popper (1973/1934) verweist darauf, das Mut

und Kreativität, sowie die vielfältige Produktion wissenschaftlicher Theorien Motoren für einen nach dem Falsifikationsprinzip arbeitenden Wissenschaftsbetrieb sind: „Hypothesen sind Netze – nur der wird fangen, der sie auswirft“ (zitiert nach Breuer 1989, S. 45).

4. **Berücksichtigung der ökologischen Validität.** Vollständige mathematische Analysen des Modellverhaltens sollten auf ihre ökologische Validität überprüft werden bevor die mathematischen Eigenschaften des Gleichungssystems vor-schnell als Verhaltensweisen des empirischen Systems übergeneralisiert werden.
5. **Vermeiden inhaltsleerer Parameter.** Parameter und Variablen sollten inhaltlich interpretierbar sein. Sie sollten operationalisierbar sein und in den Modellvergleich mit einbezogen werden.
6. **Einbettung der Forschung in ein umfassenderes systemwissenschaftliches Forschungsmodell.** Besonders bei komplexen dynamischen Strukturen können Vergleiche zwischen Empirie und Modell nie durch einfache Korrelationen an-gestellt werden. Dies folgt allein schon aus den unterschiedlichen Datenebenen, aber auch aus Phänomenen wie dem deterministischen Chaos. Ebenso wie für die systemwissenschaftliche Theorienbildung einige Besonderheiten gegenüber linealen Theorieansätzen zu beachten sind, gilt es auch im Bereich der empiri-schen Analyse komplexer Systeme bestimmte Eigenheiten zu berücksichtigen. Grundsätzlich fordern diese sowohl für den empirischen Zugang als auch für die theoretische Modellbildung geltenden Besonderheiten dazu auf, beide For-schungsrichtungen – also Top-down- und Bottom-up-Analysen – in einem sich gegenseitig korrigierenden und innovativ befruchtenden Forschungsmodell miteinander zu verbinden. Ein solches systemwissenschaftliches Forschungsmodell wird in seinen Grundzügen ab S. 270 dargestellt.
7. **Vorsicht bei der Prognose konkreter Trajektorienverläufe.** Dass das konkrete Verhalten komplexer Systeme nur unter ganz bestimmten Bedingungen im Detail prognostiziert werden kann, wurde oben bereits mehrfach diskutiert. Daher können die Simulationen komplexer Systemmodelle selten als tatsächliche Verlaufsprognosen interpretiert werden. Vielmehr stellen sie mögliche Szenarien dar, die über ihre Verlaufsgestalt und die qualitativen Merkmale der Dynamik interpretiert und beurteilt werden sollten. Die Grenzen und Möglich-keiten von Prognosen in dynamischen Systemen wurden bereits ab S. 209 dis-kutiert.

Die Ziele von Simula-tionsmodellen

In diesem Zusammenhang weisen Schiepek und Strunk (1994, S. 100f.) auf die mit der Anwendung von Simulationsmodellen verbundenen Ziele und die Funkti-onen einer wissenschaftlichen Modellbildung hin. Es handelt sich bei systemwis-senschaftlichen Modellen um zweckabhängige, perspektivische Abstraktionen, deren Sinn es daher von vornherein nicht sein kann, möglichst detailtreue, rea-listische Abbildungen zu liefern. Vielmehr geht es um folgende Zielsetzungen (vgl. Wissel 1989, zitiert nach Schiepek & Strunk 1994, S. 100f.):

1. **Explikation.** Eines der wichtigsten Ziele der systemwissenschaftlichen Mo-dellbildung ist die Explikation und Formalisierung, d.h. die Konkretisierung theoretischer oder idiographischer Annahmen. In diesem Sinne genügt es eben nicht darauf zu verweisen, dass alles mit allem zusammenhängt. Dieses Ziel der systemwissenschaftlichen Theorienbildung ist jedoch kein Selbst-zweck. Es bildet vielmehr die Grundlage vor der das Tor aufgestoßen werden

kann zu einer ganzen Anzahl von Möglichkeiten, von denen einige nachfolgend dargestellt werden.

2. **Überprüfung der inneren Konsistenz und Stimmigkeit eines Modells.** Erst dann, wenn ein Gefüge von Variablen und deren Beziehungen entsprechend konkretisiert worden sind, lässt sich durch Simulationen zeigen, wie sich das System als Ganzes verhält. Die innere Konsistenz eines komplexen Modells kann erst über eine Simulation geprüft werden. Dabei genügt es dann eben nicht mehr Einzelbefunde jeweils für sich zu untersuchen. Da es für komplexe Systeme nicht mehr möglich ist das Verhalten des Modells trivial zu erahnen, kann erst die Überprüfung des Modells in seiner Gesamtheit offenbaren, ob es sich insgesamt plausibel verhält oder ob fehlerhafte Grundannahmen zu einem völlig unrealistischen Verhalten führen.
3. **Integration.** Es ist das erklärte Ziel einer systemwissenschaftlichen Modellbildung, Teilhypothesen und Einzelbefunde – meist disziplinübergreifend – zu einem Annahmen-Gefüge zu vereinen („multiocular viewing“). Erst eine solche Integration schafft die Möglichkeiten zur Verdeutlichung der dynamischen Konsequenzen eines Hypothesennetzes (Simulationsmodell).
4. **Kreativfunktion.** Eine systemwissenschaftliche und damit dynamische Perspektive kann zur Kreation neuer Fragestellungen und Hypothesen anregen. Insbesondere können Hypothesen über die Dynamik eines Systems gewonnen werden, die nicht schon vorher Teil des Strukturmodells waren (Hypothesen über emergentes Systemverhalten).
5. **Dialogische Interaktion mit einer Theorie.** Bereits für vollständig lineale Theorien kann es schwer fallen zu erschließen, was unter bestimmten Ausgangsbedingungen aus der Theorie folgt. Demgegenüber werden die Folgerungen aus nichtlinearen Systemmodellen bedeutend komplexer und im Hinblick auf die Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen nahezu unüberschaubar. In diesem Sinne ist es ein besonders großer Vorteil, wenn ein systemwissenschaftliches Theoriegebäude in Form einer Computersimulation vorliegt. Interventionen in bzw. Anfragen an ein solches Simulationsmodell führen unmittelbar zu dynamischen Antworten (vgl. auch unten S. 255ff.).
6. **Untersuchungsplanung.** Modelle bieten den konzeptuellen Hintergrund für die Datengewinnung bei empirischen Untersuchungen, z.B. bei der Variablenauswahl. Insbesondere sind sie dazu in der Lage die Konsequenzen und den Stellenwert von Einzelhypothesen in einem Hypothesennetz zu verdeutlichen. In diesem Sinne kann im Rahmen der Untersuchungsplanung gezielt die Manipulation sensibler Druckpunkte des Systems angestrebt werden, wohingegen auf die Variation von Variablen oder Kontrollparametern verzichtet werden kann, die kaum zu einer Veränderung im Systemverhalten führen dürften. In diesem Zusammenhang sollte dann jedoch berücksichtigt werden, dass im Rahmen eines gezielten Falsifikationsversuches genau das Gegenteil angezielt werden sollte.
7. **Qualitative vs. quantitative Prognosen.** Systemwissenschaftliche Modelle liefern eine Grundlage für qualitative Prognosen der Systemdynamik. Aber auch grobe (tendenzielle) quantitative Vorhersagen sind wünschenswert, unterliegen jedoch den ab Seite 209 diskutierten Einschränkungen.
8. **Entscheidungsfindung.** Modelle sollten eine Grundlage für Entscheidungen liefern, auch und insbesondere dort, wo empirische Experimente und Realitätserprobungen nicht möglich sind. Einem Simulationsmodell kann und darf der Mensch Entscheidungen allerdings nie allein überlassen.

7.1.8 Systemwissenschaftliche Modelle als Produkt – Grenzen und Möglichkeiten

Im vorhergehenden Kapitel wurden insgesamt acht Zielsetzungen für eine systemwissenschaftliche Modellbildung und Simulation benannt. Ein großer Teil der dargestellten Ziele und Funktionen hat jedoch einen rein wissenschaftsinternen Charakter, indem Simulationsmodelle z.B. dazu dienen Hypothesen zu formulieren, die interne Konsistenz theoretischer Annahmen zu prüfen oder Einzelbefunde zu einem Gesamtbild zu vereinen.

Dialog mit der Theorie

Eine weit größere Bedeutung, die über die rein wissenschaftlichen Interessen hinausgeht, haben Simulationsmodelle in Hinsicht auf die Möglichkeit in einen Dialog mit einer Theorie zu treten. Der Begriff Simulation stammt von dem lateinischen *simulare* ab und meint: ähnlich machen, nachahmen. In diesem Sinne erlauben Simulationsmodelle den spielerischen Umgang mit einem Modell, das der Realität weitgehend ähnlich ist, aber nicht wirklich in ihr stattfindet. Damit eröffnen Simulationen einen Schonraum, in dem einfach ausprobiert und experimentiert werden kann ohne Schaden anzurichten oder selbst Schaden zu erfahren.

Simulationsmodelle, die es erlauben den Umgang mit Komplexität spielerisch zu erlernen, haben eine Tradition, die bis in die Antike zurück reicht. Die Ursprünge sind vor allem militärischer Herkunft. So gab es in Indien um 1000 v. Chr. so genannte Kampfspiele. Im 17./18. Jahrhundert kamen „Kriegsspiele“ auf, die auf Landkarten gespielt wurden. Zu nennen wären hier das Kriegs-Schach oder das französische Karten-Manöver (vgl. Warndt & Warndt 1997, S. 21). Anfang des 19. Jahrhunderts wurden vom preußischen Generalstab Kriegsspiele in die Ausbildung der Soldaten aufgenommen und in diesem Rahmen weiterentwickelt. Militärische Übungen wurden so im Sandkasten (beim Heer) oder im Wasserkasten (bei der Marine) durchgespielt (vgl. Manteufel & Schiepek 1998, S. 82). In den 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden dann erstmals computergestützte militärische Plan- bzw. Simulationsspiele erarbeitet. Dies waren 1950 die Simulatoren der RAND Corporation zur thermonuklearen Kriegsführung und 1956 der *Navy Electronic Warfare Simulator* (NEWS) in den USA. Diese computergestützten militärischen Planspiele wurden bis heute zu einer ausgereiften Kriegssimulation weiterentwickelt.

Auch Spielzeuge, Tänze, Rituale oder Theater sind Simulationen

Bei einer genaueren Betrachtung zeigen sich aber auch im nicht militärischen Bereich frühe Zeugnisse von Simulationsverfahren und Techniken. Es scheint so als ob Menschen immer schon auf Methoden der Simulation zurückgegriffen haben, etwa in der bildlichen Darstellung von Tieren und Jagd, in der Herstellung und Nutzung von Spielzeug, in Tänzen, Ritualen und dem Theater (vgl. Pühr-Westerheide 1995, S. 11). Da eine Simulation nichts anderes ist als ein Spiel, das nach bestimmten Regeln abläuft und mit dazu geschaffenen Materialien durchgeführt wird, haben sich mit der zunehmenden Veränderung der Spielmaterialien auch die Simulationen selbst verändert. Insbesondere die Entwicklung computergestützter Simulatoren hat hier zu einer zunehmenden Realitätsnähe geführt. Aktuelle Schlagwörter in diesem Zusammenhang sind Multimedia, Cyberspace, die hochauflösende dreidimensionale interaktive Darstellung von Informationen, Räumen, Situationen und Szenen mittels animierter Grafiken, realistischer Klangwiedergabe und sich bewegender und „zurückschlagender“ Steuerknüppel und Lenk-

räder. Dabei unterscheiden sich die Simulatoren mit spielerischem Anspruch in ihren Grundprinzipien gar nicht so sehr von Simulatoren die in Wissenschaft, Forschung oder Wirtschaft genutzt werden. Der Kern einer Simulation wird in allen genannten Fällen von einem im Computer künstlich erzeugten Realitätsausschnitt gebildet. Im Zentrum steht also jeweils ein mathematisches Simulationsmodell, welches sich möglichst realitätsgetreu verhält.

Simulationen besitzen dort Vorteile, wo man mit normalen Mitteln nicht weiter kommt

Die Ziele solcher Simulationen sind relativ vielfältig, basieren jedoch in der Regel auf der Nachbildung von Realitätsausschnitten, die ansonsten nur schwer herstellbar, erlebbar bzw. zugänglich sind. Da es sich nur um eine Simulation der Realität handelt, können hier in einem risikofreundlichen Umfeld Erfahrungen gesammelt werden, die ansonsten mit einem hohen Gefahrenpotenzial oder hohen Kosten verbunden wären.

Longo (1995) verdeutlicht den Sinn einer Simulation mit einem Gedankenexperiment, bei dem er seine Leser und Leserinnen einlädt, die folgenden Fälle genauer zu betrachten:

- Eine chirurgische Operation
- Ein Dokumentarfilm über die Operation
- Eine in einem Film nachgespielte Operation
- Eine didaktische Übung einer Operation mit einem wirklichen Patienten oder einem Leichnam oder einer Puppe
- Das wissenschaftliche Protokoll einer Operation
- Das Wort ‚Operation‘
- ...

(Longo 1995, S. 36f.)

Simulationsmodelle in der Pädagogik

Auch wenn treffend festgestellt werden kann, dass die Nutzung von Simulationen als pädagogisches Hilfsmittel sicherlich eine ebenso lange Tradition hat wie Simulationen selber, wurden die Möglichkeiten mittels moderner computergestützter Simulationen Erfahrungen zu sammeln, die ansonsten nur schwer und unter großem Risiko vermittelt werden könnten, in den Wirtschaftswissenschaften schon früh aufgegriffen. Bereits um 1950 war man auf der Suche nach neuen, den geänderten Anforderungen des Wirtschaftslebens gerecht werdenden Methoden zur Ausbildung von Führungskräften (vgl. Warmdt & Warmdt 1997, S. 21). Zunächst wurden dazu Planspiele militärischer Herkunft in unternehmerische Planspiele umgewandelt. Auf dieser Basis wurde 1956 ein Simulationsmodell zum Training angehender Führungskräfte vorgestellt. Es handelte sich dabei um das Planspiel „*Top Management Decision Simulation*“ der American Management Association (AMA). Ziel dieses Planspieles war die Vorbereitung zukünftiger Manager auf ihren beruflichen Einsatz (vgl. Warmdt & Warmdt 1997, S. 21). Das Planspiel wurde begeistert aufgenommen und im Zuge der raschen Weiterentwicklung der Informations- und Datenverarbeitungstechnologie wurden schnell leistungsfähigere Planspiele verschiedenster betriebswirtschaftlicher Aufgaben- und Problembereiche entwickelt. Schon 1974 wurden im britischen und amerikanischen Sprachraum 1.700 verschiedene Wirtschaftssimulationsspiele gezählt.

Simulationszyklus

Obwohl der Ablauf solcher Simulationsspiele im Zuge weitreichender multimedialer Hilfsmittel immer offener wird, orientiert er sich doch weitgehend an einem sequentiellen Muster. Das Simulationsmodell verarbeitet die von den Spielteilnehmern und -teilnehmerinnen getroffenen Entscheidungen in einem mathemati-

schen Modell, das sich für diese zunächst als Black Box darstellt. Aus einer fortlaufenden Sequenz von Entscheidungen der Spieler bzw. Spielerinnen auf der einen Seite und den Antworten des Simulationsmodells auf der anderen, bekommen die Spielerinnen und Spieler nach und nach einen Einblick in die Mechanik der Simulation, indem sie Hypothesen über die Wirkungszusammenhänge aufstellen und diese Hypothesen mit den Ergebnissen aus ihren Entscheidungen vergleichen. In diesem Sinne gelten die Entscheidungen jeweils für eine Spielperiode, die je nach Hintergrund des Spieles einige Tage, einen Monat oder einen längeren Zeitraum des realen Geschehens simuliert. Die Entwicklungen, die während der Periode auf Grundlage der getroffenen Entscheidungen stattgefunden haben, werden den Spielerinnen und Spielern in einem nächsten Schritt zurückgemeldet, so dass sie die Entscheidungsgrundlage für die nächste Spielperiode bilden (vgl. Warmdt & Warmdt 1997, S. 23).

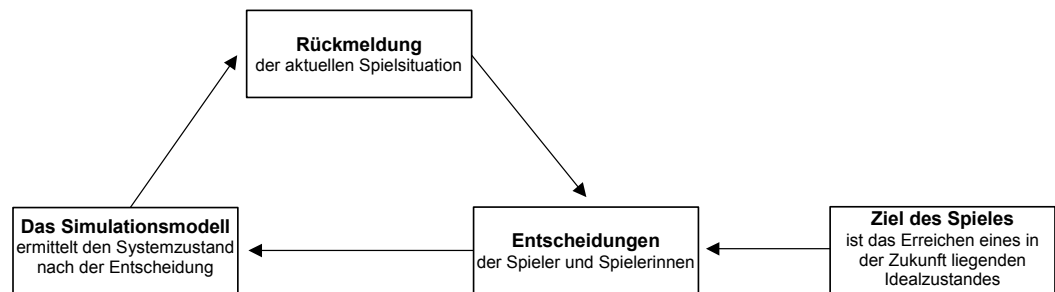


Abbildung 67: Schematische Darstellung des Ablaufs eines Simulationsspiels

Ein Simulationsspiel besteht aus einer Feedbackschleife die erst durch die Entscheidungen der Spieler geschlossen wird. Diese Entscheidungen beruhen auf der Rückmeldung der aktuellen Spielsituation und orientieren sich am Ziel des Spieles, welches als ein in der Zukunft liegender Idealzustand umschrieben werden kann. Der Kern des Simulationsspieles liegt im Simulationsmodell, welches den relevanten Realitätsausschnitt auf Grundlage der getroffenen Entscheidungen und der aktuellen Situation neu berechnet.

Kennzeichnend für ein Simulationsspiel sind daher die folgenden vier Aspekte (vgl. Abbildung 67):

1. **Simulationsmodell.** Der Kern eines jeden Simulationsspiels wird vom Simulationsmodell gebildet. In der Regel handelt es sich um ein mathematisches Modell, welches einen bestimmten Realitätsausschnitt simuliert.
2. **Zukunftsorientierte Aufgabe.** Das Spiel selbst erfordert das Lösen einer Aufgabe. Diese Aufgabe wird als ein in der Zukunft liegender Idealzustand beschrieben, den es mit den Entscheidungen der Spielteilnehmer zu erreichen gilt.
3. **Zeitlichkeit.** Ein Simulationsspiel bildet einen realen zeitlichen Ablauf nach. Einmal getroffene Entscheidungen können daher nicht rückgängig gemacht werden. Die Zeit schreitet unaufhaltsam fort, und das System entwickelt nach und nach eine eigene Geschichte, so dass die Gegenwart von den bisher getroffenen Entscheidungen bestimmt wird und in die Zukunft fortwirkt.
4. **Geschlossene Feedbackschleife.** Das Spiel auf der einen Seite und die beteiligten Spieler und Spielerinnen auf der anderen bilden zusammen eine geschlossene Feedbackschleife. Die Simulation präsentiert dabei zunächst die In-

formationen über den aktuellen Zustand des Systems und wartet, bis die Spielerinnen und Spieler ihre Entscheidungen getroffen haben. Erst wenn diese vorliegen, wird durch das Simulationsmodell der folgende Zustand des Systems ermittelt. Dieser wird erneut an die Spieler und Spielerinnen zurückgemeldet, sodass diese vor diesem veränderten Hintergrund zu neuen Entscheidungen aufgefordert werden usw.

**Ein klassisches
Beispiel**

Eines der klassischen Simulationsspiele ist das von Frederic Vester entwickelte *Ökolopoly* (in einer neueren Version heißt das Spiel *Ecopolity*; Vester 1997). Der Spieler hat die Aufgabe ein Land für einen begrenzten Zeitraum zu regieren. Dazu stehen ihm in jeder Spielrunde Aktionspunkte zur Verfügung, deren Anzahl sich aus dem Spielstand errechnet. Mittels dieser Aktionspunkte kann er auf einige wenige Variablen des Spiels Einfluss nehmen. Nach jeder Entscheidung wird die Spielrunde gestartet und das Simulationsmodell errechnet den nächsten Zustand des Systems und die Anzahl der nun zur Verfügung stehenden Aktionspunkte. Ungeübte Spieler werden bereits nach kurzer Zeit durch einen Volksaufstand entmachtet und können gerade noch das Land verlassen. Es ist also keineswegs trivial, dieses aus nur wenigen interagierenden Variablen bestehende Spiel erfolgreich zu steuern. Dabei ist es keinesfalls beabsichtigt, mit dem Simulationsspiel ein perfektes Abbild der Realität zu präsentieren. Vielmehr ist es das Ziel des Autors, grundlegende Prinzipien im Umgang mit Komplexität spielerisch zu vermitteln. Vester (1991/1976) fasst die wesentlichen Erfahrungen mit dem Simulationsspiel wie folgt zusammen:

- Kein Eingriff in ein vernetztes System bleibt ohne Folgewirkung.
 - In vielen Fällen wirkt ein Eingriff an einer Stelle mit mehr oder weniger starker Verzögerung in überraschender Weise wieder auf diese Stelle zurück.
 - Auf diese Weise kehren sich zunächst positiv erscheinende Änderungen über entsprechende Zwischenglieder oft ins Gegenteil um, werden unprofitabel und schädlich.
 - Durch nicht-lineare Wechselwirkungen beschleunigen sich manche Prozesse derart, dass sie nicht mehr zu kompensieren sind (Bevölkerungswachstum, Umweltbelastung).
 - Vorbeugende Maßnahmen (Alternativtechnologien, Aufklärung, Geburtenkontrolle) ziehen zwar zunächst einen Teil des begrenzten Aktionskapitals an Energie, Arbeitskraft und Kreativität ab, bringen jedoch, je früher man damit anfängt, um so größeren Profit nach Durchlaufen des Regelkreissystems.
 - Als besonders gefährlich und kritisch erweisen sich Stellen mit positiver Rückkopplung (Bevölkerungswachstum, Überlastung und Umkippen des Naturhaushalts) deren Kontrolle auch den stärksten Einsatz rechtfertigt.
 - Eine Einbeziehung größerer Zeiträume und prophylaktisches Denken erspart kostspielige Gegensteuerungen (und Übersteuerungen) des Systems, ist effizienter und führt schneller zum Ziel als jedes isolierte Behandeln inzwischen eingetretener Symptome.
 - Einen Nachteil lediglich als solchen zu korrigieren, führt ebenso wenig zu einem Gleichgewichtszustand wie das ständige Wiederholen zunächst richtiger Entscheidungen (starre politische Linie).
 - Nur unter einer klugen dynamischen Folge sich wandelnder Entscheidungen entwickelt sich ein System zur stabilen Selbstregulation.
- Vester (1991/1976, S. 150f.)

Auf den gleichen Prinzipien beruht auch das 2001 auf der *Science Week Austria* von Strunk, Friedlmayer und Brousek vorgestellte Systemspiel zur Simulation eines Betreuungsfalles aus dem Bereich der Sozialarbeit (Strunk, Friedlmayer & Brousek 2001). Das Simulationsspiel erlaubt es dem Spieler bzw. der Spielerin in die Rolle einer Sozialarbeiterin zu schlüpfen und einen einfachen Fall aus der täglichen Arbeit von Sozialarbeitern zu betreuen. Der Fall selbst dreht sich um die Problematik eines 13 Jahre alten Schülers, dessen Lehrer davon berichtet, dass der Junge die Schule nur noch sporadisch besucht. Auf der einen Seite befürchtet die Schule ein Abgleiten des Jugendlichen in die Kriminalität. Er wurde mehrfach beobachtet wie er mit einer Straßenbande durch die Stadt streunte. Auf der anderen Seite zieht sich der Junge mehr und mehr von seinen Klassenkameraden und auch den Lehrern zurück. Die Sozialarbeiterin, die mit dem Fall betraut wird, spricht mit dem Jungen, seinen Eltern und der Schule. Der Jugendliche wohnt bei seinen Eltern als Einzelkind. Beide Eltern sind berufstätig. Als Simulationsmodell für den Fall dient ein mathematisches Modell mit neun interagierenden Variablen (die Struktur des Systems ist in der folgenden Abbildung 68 dargestellt).

Ebenso wie das Simulationsspiel von Vester wird auch dieses Spiel in einer sequentiellen Abfolge von Spielrunden gespielt, bei denen jeweils Aktionspunkte vergeben werden können. Insgesamt können zehn Spielrunden gespielt werden, wenn das Spiel nicht vorher auf Grund von unerträglichen Zuständen in einer der Variablen abgebrochen wird. Obwohl es viele Möglichkeiten gibt, diesen Fall zu einem „guten“ Ende zu führen, gelangen viele Spieler und Spielerinnen nicht bis in die zehnte Spielrunde. Von 223 Spielen, die während der Science Week gespielt wurden, führten nur 18% bis in die letzte Runde. Im Allgemeinen zeichneten sich erfolgreiche Spieler und Spielerinnen durch flexible Strategien aus. Sie legten sich während des gesamten Spieles nicht auf eine beste Lösung fest, sondern passten ihre Interventionen immer wieder an sich verändernde Umstände an (vgl. Strunk, Friedlmayer & Brousek 2003).

**Systemkompetenz ist
lehr- und lernbar**

Die Studien der Arbeitsgruppe um Dietrich Dörner (z.B. Dörner 1989, Dörner et al. 1993) haben gezeigt, welche Probleme Menschen im Umgang mit komplexen Situationen haben. Simulationsmodelle und -spiele wie Vesters Ökopolopoly, aber auch das hier vorgestellte Erziehungsproblem können helfen ein besseres Verständnis für die Verhaltensweisen komplexer Systeme zu entwickeln. In diesem Zusammenhang haben Schiepek und Manteufel aber auch Kriz den Begriff der Systemkompetenz geprägt (vgl. Schiepek & Reicherts 1992, Schiepek, Manteufel & Reicherts 1993, Manteufel & Schiepek 1994, Schiepek et al. 1995c, Manteufel & Schiepek 1998, Schiepek 1999a, Kriz 2000). Auf der Basis von System- und Planspielen soll Systemkompetenz erlernbar und erlebbar werden.

**Gigo: Simulationen
sind nur so gut, wie
die zu Grunde liegenden
Modelle**

Wie bereits dargestellt, ist es das Ziel solcher Simulationsmodelle, pädagogisch und didaktisch einen Zugang zum Umgang mit Komplexität zu vermitteln. Das Ziel dieser Ansätze ist es daher nicht, ein aus wissenschaftlicher Sicht exaktes Modell der Wirklichkeit zu präsentieren. Es genügt wenn sich das System relativ ähnlich einer realen Situation verhält.

1. **Maßnahmen der Sozialarbeiterin.** Die Maßnahmen der Sozialarbeiterin umfassen alle Betreuungsmöglichkeiten die ihr als Fallführender zur Verfügung stehen. Diese können kontrollierend oder ressourcenorientiert sein.
2. **Stimmung des Jugendlichen.** Die Stimmung des Jugendlichen beschreibt seine momentane Gefühlslage: Von sehr traurig und selbstmordgefährdet bis sich selbst überschätzend, provokant, aggressiv.
3. **Schulleistung des Jugendlichen.** Die Schulleistung des Jugendlichen beschreibt in wie weit er die Schule meistert: Schlecht – Sehr gut.
4. **Arbeitsbelastung der Sozialarbeiterin.** Die Arbeitsbelastung der Sozialarbeiterin beschreibt wie stark sie durch andere Arbeit beschäftigt ist. Sie kann für den Fall ausreichend Zeit haben bzw. völlig überlastet sein.
5. **Einstellung der Mutter zum Problem.** Die Einstellung der Mutter zum Problem beschreibt wie viel Chancen die Mutter für ihren Sohn sieht. Sie schwankt zwischen Verzweiflung und engagierter Hilfe.
6. **Einstellung des Vaters zum Problem.** Die Einstellung des Vaters zum Problem beschreibt wie viel Chancen er für seinen Sohn sieht. Er reagiert entweder mit Desinteresse oder mit Strenge.
7. **Streit der Eltern über das Problem.** Über die Probleme ihres Sohnes streiten die Eltern oft. Eskaliert der Streit, droht einer von beiden mit Scheidung. Sie können aber auch harmonisch gemeinsam nach Lösungen suchen.
8. **Alkoholkonsum des Vaters.** Der Vater hat auch in früheren Krisensituationen Linderung im Alkohol gesucht. Trinkt er wenig, ist er in der Regel verträglich und offen. Es kann aber vorkommen, dass er dem Alkohol regelrecht verfällt.
9. **Schulklima.** Das Schulklima beschreibt wie sehr sich der Jugendliche in der Schule wohl fühlen kann. Es kann ein annehmes und freundliches oder strenges und reglementierendes Schulklima geben.

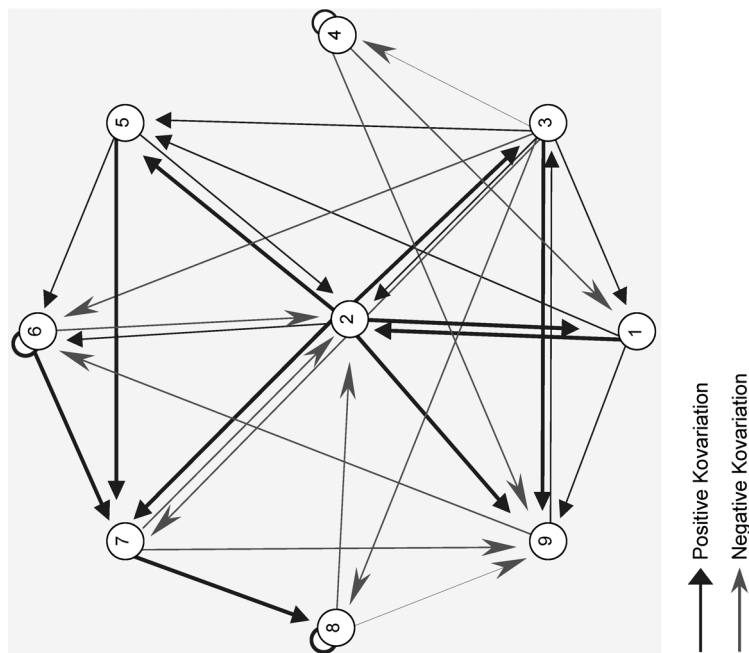


Abbildung 68: Struktur des Simulationsmodells: „Ein Erziehungsproblem, das kann doch nicht so schwer sein“

Wie die Abbildung der Struktur des Simulationsspiels „Ein Erziehungsproblem, das kann doch nicht so schwer sein“ zeigt, besteht das System aus insgesamt neun Variablen die untereinander in starken Wechselwirkungsbeziehungen stehen (vgl. Strunk, Friedlmayer & Brousek 2003).

Je wirklichkeitsnäher eine Simulation jedoch wird, desto eher besteht auch die Gefahr, die erarbeiteten Lösungen eins zu eins in die Realität umzusetzen oder zu ernst zu nehmen. So wurde z.B. am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, USA, ein Computerprogramm mit dem Namen „System Dynamics“

entwickelt. Dieses Programm sollte die Zusammenhänge zwischen den relevanten Variablen eines Landes wie etwa industrielles Wachstum, Umweltverschmutzung, Energieverbrauch u.s.w. simulieren. Die Simulation ergab für die Gegenwartssituation ein düsteres Zukunftsbild. Das Forscherehepaar Dana und Dennis Meadows veröffentlichte seine Ergebnisse in einem vom Club of Rome in Auftrag gegebenen Buch. „*Limits of Growth*“ (Meadows et al. 1972) wurde rasch zu einem Weltbestseller. Für die Medien und die computergläubige Öffentlichkeit waren die Zukunftsvisionen Realität. Den Forschern war allerdings klar, nur mögliche Szenarien aufgezeigt zu haben. Der Computer kann Probleme lösen, aber er kann nicht entscheiden ob die Lösungen sinnvoll sind oder nicht. *GIGO* nennen Programmierer dieses Dilemma: *garbage in, garbage out*.

Über die Bedeutung von Simulationsmodellen in der Wissenschaft, Industrie und Wirtschaft

In vielen Bereichen der Wissenschaft, aber auch in der industriellen Anwendung, werden Simulationen nicht nur zu didaktischen Zwecken genutzt, sondern dienen als Experimentierraum für schwer zugängliche, gefährliche oder extrem kostspielige Forschungs- und Entwicklungsfelder. Die Ansprüche an die Realitätsnähe dieser Modelle sind dann auch entsprechend hoch und bedürfen in ihrer Durchführung nicht selten der Kapazität von Großrechenanlagen. Pühr-Westerheide (1995, S. 20ff.) nennt hierzu einige Beispiele: So ist es erst durch die Leistung moderner Großrechner und komplexer mathematischer Simulationsmodelle möglich geworden in Klimasimulationen den Einfluss der Meere als Wärmespeicher aufzunehmen. Früher blieben solche Modelle wegen fehlender Rechenkapazität auf Meereszonen bis zu einer Wassertiefe von einem halben Meter beschränkt. Simulationsmodelle über Erdbeben und Vulkanismus lassen inzwischen auch Übertragungen auf andere Himmelskörper wie etwa den Mond oder den Jupiter zu. Zur Ausbildung von Medizinstudenten werden in den USA komplexe Simulationsmodelle des menschlichen Organismus vorbereitet. In der Industrie werden neue Produkte nicht nur am Computer designed, sondern auch gleich in ihrer Funktion und ihrem Verhalten simuliert. So entstand z.B. der erste Dieselmotor mit Direkteinspritzung auf der Grundlage von Computersimulationen. Auch in der Sicherheitstechnik für chemische Anlagen und die Kerntechnik haben Simulationen ihren festen Platz. Hier werden vor allem kritische Betriebszustände untersucht und das Verhalten der Werksmitarbeiter im „Ernstfall“ geprobt.

Diese und ähnliche Beispiele zeigen die große Bedeutung, die Simulationsmodelle in Forschung, Wissenschaft, Industrie und Ausbildung besitzen. In diesem Sinne sind Simulationsmodelle mehr als nur eine etwas aufwändigere Darstellung einer Theorie die sich durch Feedbackschleifen auszeichnet. Ganz im Gegenteil: Sie sind vielmehr als eigenständige Produkte wissenschaftlicher Bemühungen anzusehen. Die Frage nach der Realitätsnähe von Simulationen beantwortet Pühr-Westerheide (1995) sehr treffend indem er feststellt:

Simulationen bergen natürlich – im Gegensatz zur realen Beobachtung – mehr Fehlermöglichkeiten in sich. Besonders bekannt ist ein Fehler, der in der Fachwelt als Fehler dritter Art bezeichnet wird: ‚Sie haben das falsche Problem gelöst!‘ Angesichts der vielen Fallen, in die man beim Simulieren tappen kann, sollte man jedoch nicht resignieren: Gelegentlich spiegeln Simulationsergebnisse tatsächlich einen Ausschnitt der Wirklichkeit wider. Während meines Studiums sah ich im Elektronenmikroskop-Labor ein Schild, das auch auf die Simulationstechniken zutrifft: ‚*Note: not all you see is an artefact*‘. (Pühr-Westerheide 1995, S. 24)

7.2 Bottom-up-Analysen

Top-down-Analysen sind nur eine Möglichkeit des Zugangs zu komplexen Systemen

Der in Abbildung 58 (S. 194) dargestellte Entscheidungsbaum legt – aufbauend auf verschiedenen theoretischen Überlegungen – unter bestimmten Bedingungen eine systemwissenschaftliche Modellbildung nahe. Auch die im Kapitel 5 (S. 81ff.) dargestellten Beispielsysteme sind zunächst als theoretische Modelle formuliert und später in Hinblick auf ihre Dynamik hin untersucht worden. Ein solches *Top-down* Vorgehen bietet eine ganze Reihe von Vorteilen, die im Wesentlichen mit der Möglichkeit diese Systeme im Computer zu analysieren verbunden sind. Top-down-Analysen eröffnen damit einen Zugang zu Systemen, die ansonsten nur schwer zugänglich sind (vgl. auch S. 255ff.). Den genannten Vorteilen stehen aber auch eine Reihe von Nachteilen gegenüber die vor allem mit den Schwierigkeiten verbunden sind, solche Modelle einer empirischen Prüfung zu unterziehen. Vielfach kann daher nicht belegt werden, ob die Modelle tatsächlich einen empirischen Gehalt besitzen (vgl. dazu auch S. 247). Bereits in Bezug auf die Analyse von Wetterdaten, im Zusammenhang mit der Frage danach ob dem Wettersystem tatsächlich eine chaotische Dynamik zukommt, wurden solche Probleme angesprochen (vgl. S. 98f.).

Dass aber dennoch theoretische Systemmodelle einer empirischen Überprüfung zugeführt werden können, beruht zum einen auf der Möglichkeit spezifische Vorhersagen über das Systemverhalten bei bestimmten Einstellungen der Kontrollparameter mit andern Konstellationen zu vergleichen. Auf die Möglichkeiten, Vorhersagen über das Verhalten komplexer Systeme treffen zu können, wurde ausführlich auf Seite 209ff. eingegangen. Diese Aspekte wurden auf Seite 252ff. zu einer Darstellung von Anforderungen an die systemwissenschaftliche Modellbildung verdichtet. Die dort angesprochenen empirischen Zugänge erfordern aber auf der anderen Seite spezielle empirische Methoden die es ermöglichen, bestimmte Prozessdynamiken in ihrer Komplexität, in der Gestalt ihrer Attraktoren, in ihrer inneren Ordnung und im Ausmaß ihrer Chaotizität zu quantifizieren. Solche Methoden sind erst in den letzten 20 Jahren vorgeschlagen und erprobt worden (z.B. Grassberger & Procaccia 1983a, 1983b, Wolf et al. 1985, Rosenstein, Collins & De Luca 1993). Inzwischen steht hier ein reichhaltiges Methodeninventar verschiedenster zeitreihenanalytischer Methoden zur Verfügung (vgl. ausführlicher ab S. 331ff.).

Mit dem Aufkommen von Methoden zur differenzierten, quantitativen Analyse dynamischer Prozesse wird neben einem reinen Top-down-Vorgehen auch eine Bottom-up-Analyse komplexer Systeme möglich. Solche Analysen, die ausgehend von Zeitreihendaten die Komplexität der Dynamik bestimmen und die Gestalt des Attraktors charakterisieren sowie das Fehlen zufälliger Prozesse nachweisen oder die Identifikation von Chaos ermöglichen, erlauben es auch, Systeme für die a priori kein systemwissenschaftliches Modell vorliegt, als komplexe Systeme zu identifizieren. Damit kann sich dann aus solchen Zeitreihenanalysen die Notwendigkeit ergeben, sich von einfachen lineal kausalen Erklärungsmodellen zu verabschieden. Die Informationen, die aus der Quantifizierung einer komplexen Prozessdynamik gewonnen werden können, sind vielfältig und beinhalten in der Regel eine ganze Reihe von Imperativen für die systemwissenschaftliche Modellbildung.

Nur ganz bestimmte Systeme sind in der Lage Chaos zu generieren

In diesem Sinne ist mit der Identifikation von Chaos die Schlussfolgerung verbunden, dass es sich bei dem die Dynamik hervorrufenden System um ein deterministisches (nicht zufälliges), nichtlineales (also kreiskausales) System – bestehend aus mindestens drei interagierenden Variablen – handeln muss, bei dem mindestens eine der Interaktionen nichtlinearen Charakter besitzt. Analysen zur fraktalen Struktur der aus den Zeitreihendaten rekonstruierten Attraktoren liefern zudem Hinweise darüber, wie viele Variablen mindestens benötigt werden um die Dynamik replizieren zu können.

Mit dem Nachweis einer komplexen chaotischen Dynamik sind also weitreichende Schlussfolgerungen über das hinter der Dynamik liegende System möglich, die unter anderem bestimmte theoretische Zugänge nahe legen und andere ausschließen. Diese empirisch erzwungene Auswahl einer passenden Metatheorie führt zudem dazu, dass ordnende Begriffe und allgemeingültige Mechanismen und damit weit über den empirischen Befund hinausgehende Schlussfolgerungen aus der Metatheorie für das fragliche System übernommen werden können.

In den letzten Jahren sind solche Bottom-up-Analysen in immer größerer Zahl veröffentlicht worden. Die folgende Aufstellung fasst daher nur eine kleine Auswahl früher Arbeiten zusammen:

- Chaotische Attraktoren wurden z.B. nachgewiesen für das EEG (Babloyantz & Destexhe 1986, Mayer-Kress 1986, Babloyantz & Destexhe 1987, Babloyantz 1990, West 1990, Elbert & Rockstroh 1993). Inzwischen wurden jedoch viele der Befunde revidiert (vgl. ausführlicher S. 412ff.).
- Auch der gesunde Herzrhythmus ist nie wirklich gleichförmig, sondern chaotisch (Goldberger 1987, West 1990, Bettermann & van Leeuwen 1992).
- Ableitungen mittels MEG (*Magneto-Enzephalogramm*) zeigen ebenfalls chaotische Hirndynamiken (Elbert et al. 1994).
- Chaosanalysen zeigen, dass epileptische Anfälle durch bestimmte Kennwerte einer mathematischen Analyse, nämlich der Analyse der LLE (Largest Lyapunov-Exponent; vgl. dazu auch S. 376ff.), bereits fünf Minuten vor dem eigentlichen Anfall aus EEG Daten vorhergesagt werden können (Iasemidis et al. 1990, Iasemidis & Sackellares 1991, Elbert & Rockstroh 1993; vgl. ausführlicher S. 412ff.).
- Nach ausführlichen Analysen von EEG-Datensätzen zu Petit-Mal-Epilepsien konnten diese mit nichtlinearen dynamischen Modellen rekonstruiert werden (Friedrich & Uhl 1992).
- Das olfaktorische System von Kaninchen wurde mittels dynamischer Methoden untersucht und simuliert (Freeman & DiPrisco 1986, Skarda & Freeman 1987). Chaosanalytische Untersuchungen über Ableitungen am olfaktorischen System (laterale Oberflächenableitung am Bulbus olfactorius) zeigten Unterschiede im Bekanntheitsgrad von Gerüchen (Skinner et al. 1989).
- Empirische Arbeiten zu chaotischen Prozessen in der Epidemiologie gibt es von Olsen, Truty und Schaffer (Olsen, Truty & Schaffer 1988, Olsen & Schaffer 1990).

- Auch schizophrene Krankheitsverläufe die auf der Grundlage von Zeitreihendaten täglicher Symptomratings analysiert wurden lassen sich als chaotische Dynamik interpretieren (Ambühl, Dünki & Ciompi 1992).
- Gestaltmerkmale (Attraktoren, bzw. allgemeiner: dynamische Muster) in Psychotherapien wurden von Tschacher und Scheier nachgewiesen (Scheier & Tschacher 1994, Tschacher & Scheier 1995).
- Langzeit-Betreuungen devianter Jugendlicher im Kontext der Jugendwohlfahrt erscheinen aufgrund umfangreicher empirischer Zeitreihenanalysen ebenfalls als komplexe dynamische Verlaufsgestalten (Friedlmayer, Reznicek & Strunk 1996, Friedlmayer, Reznicek & Strunk 1997, Strunk, Friedlmayer & Brousek 2001, Strunk, Friedlmayer & Brousek 2003; vgl. auch Abbildung 69).

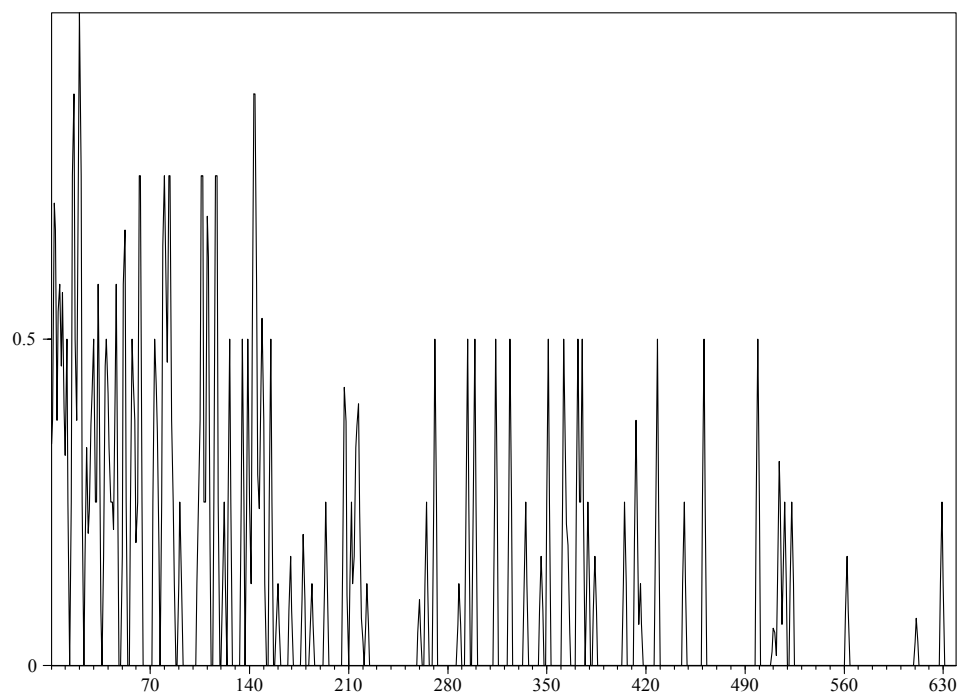


Abbildung 69: Zeitreihe aus dem Forschungsprojekt zu Langzeitbetreuungsverläufen in der Sozialarbeit

Die Abbildung zeigt die zeitliche Entwicklung in der relativen Häufigkeit von Interaktionssequenzen, bei denen sich die Mutter eines vom Jugendamt betreuten Kindes an die fallführende Sozialarbeiterin wendet (vgl. Friedlmayer, Reznicek & Strunk 1996, Friedlmayer, Reznicek & Strunk 1997, Strunk, Friedlmayer & Brousek 2001, Strunk, Friedlmayer & Brousek 2003).

- Die Frage danach, ob Karrieren von Hochschulabsolventen in den 90er Jahren tatsächlich – wie vielfach behauptet – komplexer ausfallen als Karrieren von Absolventen, die bereits in den 70er Jahren ins Berufsleben einstiegen, konnte inzwischen positiv mit Hilfe von Komplexitätsanalysen über Berufsverlaufsdaten beantwortet werden (Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003 vgl. auch Abbildung 70).

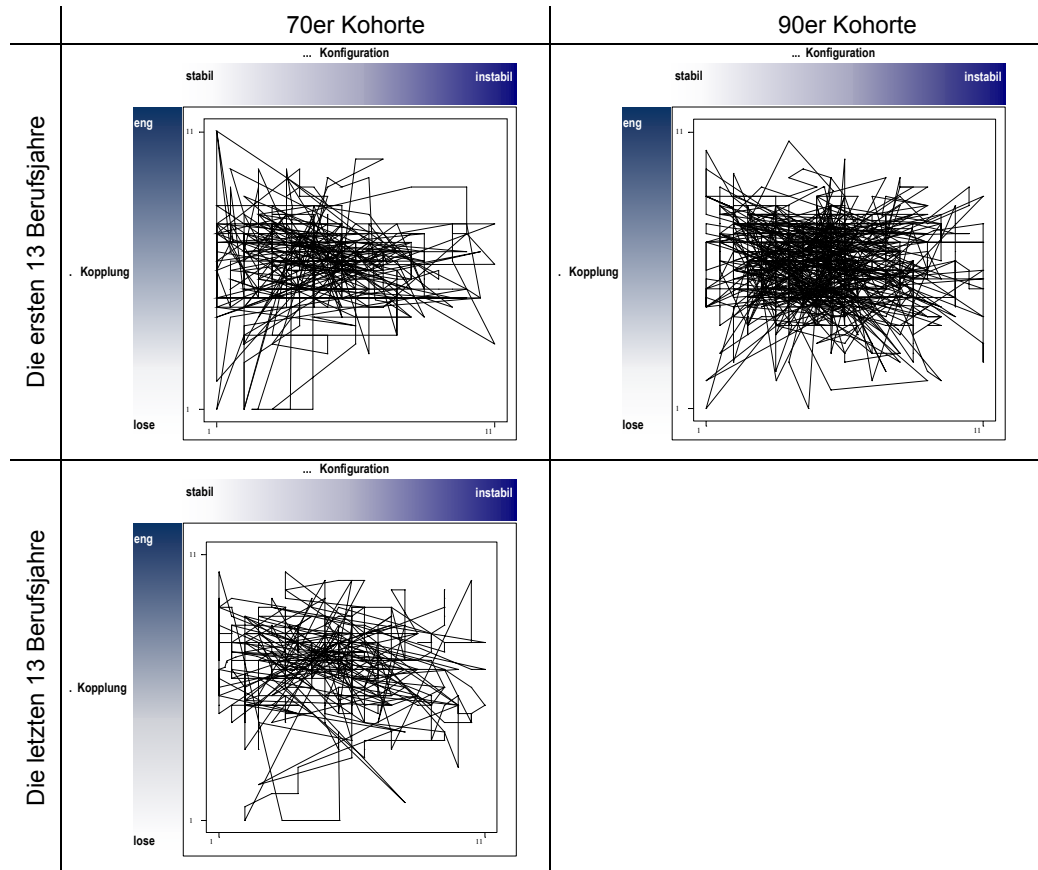


Abbildung 70: Attraktoren von Karriereverläufen im Kohortenvergleich

In einer groß angelegten Studie wurden die Karriereverläufe von insgesamt 215 Hochschulabsolventen retrospektiv erhoben. Damit standen Daten zur Verfügung, die einen Vergleich zwischen Karrieren, die in den 70er Jahren begonnen haben und solchen, die in den 90er Jahren begannen, ermöglichen. Aufbauend auf einer Konzeption von Mayrhofer et al. (2000) wurden hier zwei Variablen erhoben, nämlich die Stabilität der Bindung an das berufliche Umfeld und die gegenseitige Abhängigkeit der Akteure (Kopplung). Die Daten wurden durch Aneinanderreihung der Berufsverläufe sämtlicher Probanden einer Kohorte gewonnen. Es zeigt sich, dass Karrieren in den 90er Jahren tatsächlich komplexer ausfallen als in den 70er Jahren (Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003).

- Anhand zweier Einzelfallanalysen über das emotionale Erleben gelang der Nachweis, dass es sich in der Prozessgestalt von Emotionsverläufen weniger um allein von außen getriggerte zufällige Ereignisse als vielmehr um eine komplexe innere Dynamik handelt, die einer klaren Prozessgestalt folgt (Schiepek et al. 2003; vgl. auch Abbildung 71).

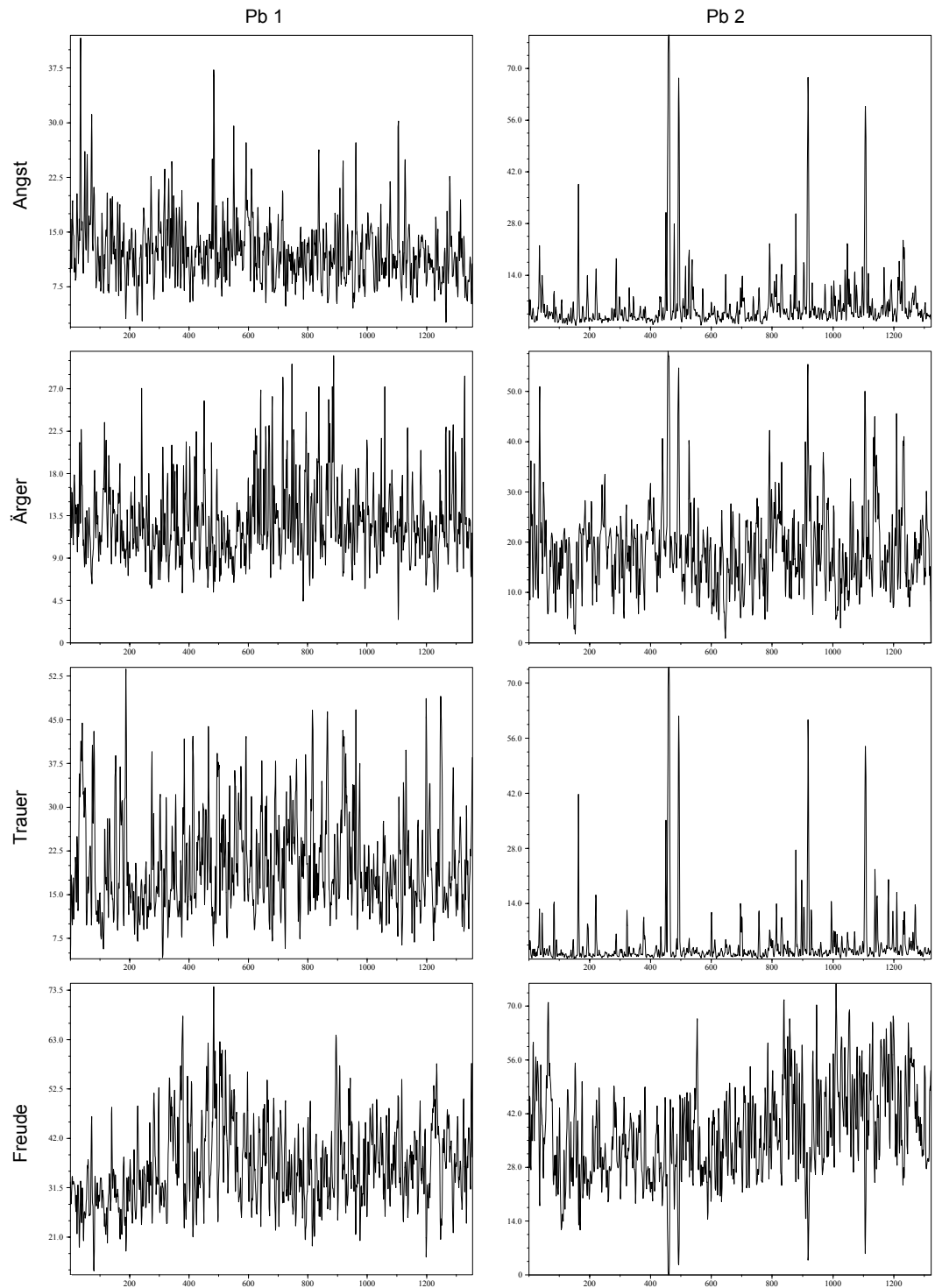


Abbildung 71: Chaotische Zeitreihen vier emotionaler Grunddimensionen von zwei Probandinnen

Die Zeitreihen zeigen die Daten zweier Probandinnen für die emotionalen Grunddimensionen Ärger, Angst, Trauer und Freude. Die Daten wurden in Selbstratings gewonnen. Der Beobachtungszeitraum reichte von März bis August 1993. Pro Tag wurden im Schnitt fünf bis sechs Einschätzungen auf Analogskalen vorgenommen (Schiepek et al. 2003).

Die Folgerungen, die aus dem Nachweis von Chaos oder doch zumindest einer komplexen dynamischen Ordnung für das die Dynamik generierende System gezogen werden können, sind relativ vielgestaltig. Es sollen daher einige Aspekte hervorgehoben werden:

1. **Inadäquatheit lineal kausaler Erklärungen.** Lineal kausale Systeme sind nicht in der Lage, komplexe dynamische Prozesse zu generieren. In diesem Sinne können Erklärungsansätze, die versuchen, sich einer komplexen, chaotischen Dynamik über lineale Modelle zu nähern, als gänzlich inadäquat zurückgewiesen werden. Auf homöostatischen Regelkreismodellen beruhende Erklärungsansätze für das menschliche hormonelle System oder die Herzfrequenz, oder Ansätze, die die psychotherapeutische Beziehungsgestaltung nach dem Paradigma der klassischen Konditionierung zu erklären versuchen, können vor dem Hintergrund neuerer Befunde klar zurückgewiesen werden (z.B. Mackey & an der Heiden 1982, Goldberger 1987, Mackey & Milton 1987, West 1990, an der Heiden 1992a, 1992c, Bettermann & van Leeuwen 1992, an der Heiden 1993, Schiepek 1993b, Scheier & Tschacher 1994, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Tschacher & Scheier 1995, Kowalik et al. 1997, Schiepek et al. 1997) und wurden vereinzelt bereits durch adäquatere Modelle ersetzt (Mackey & an der Heiden 1982, Mackey & Milton 1987, an der Heiden 1992a, 1993).
2. **Dissipation und Kontrollparameter.** Eine komplexe chaotische Prozessdynamik kann nur in dissipativen Systemen auftreten, die in einem beständigen Energieaustausch mit ihrer Umwelt stehen (vgl. S. 125ff.). Dabei wird diesen Systemen von außen beständig Energie niedriger Entropie zugeführt und Energie hoher Entropie nach außen hin abgegeben. Im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme muss es sich bei solchen Systemen zwangsläufig um offene Systeme handeln. In diesem Zusammenhang stellt sich dann die Frage, welche Kontrollparameter den Energiedurchfluss im System kontrollieren und wie sich die Systemdynamik in Abhängigkeit von diesen Kontrollparametern ändern kann. In der Regel zeigen solche Systeme immer nur einen begrenzten Ausschnitt der Dynamik zu der sie potenziell fähig sind. Damit ergeben sich vielfältige Ansatzpunkte für weitere Forschungsbemühungen.
3. **Nichtlinearität.** Nur nichtlineale Systeme sind in der Lage chaotisches Verhalten zu generieren. Es ist also davon auszugehen, dass die der Dynamik zu Grunde liegenden Systeme über verschiedene Feedbackschleifen verfügen, die beständig den Output des Systems als erneuten Input nutzen.
4. **Gemischtes Feedback.** Ein einseitiges negatives oder positives Feedback führt zu jeweils klar determinierten und trivial ableitbaren Verhaltensweisen, die sich entweder in der Explosion eines Teufelskreises oder in der Homöostase von Regelkreisen äußern. Komplexere dynamische Prozessgestalten können hingegen nur für Systeme mit gemischten Feedbackprozessen, also für Systeme, die sowohl positive als auch negative Feedbackschleifen in sich vereinen, beobachtet werden.
5. **Nichtlinearität.** Eine komplexe, chaotische Dynamik ist zwangsweise an die Existenz nichtlinearer Beziehungen zwischen den Variablen gebunden. Eine Modellierung, die allein auf linearen Beziehungen beruht, kann daher nicht ausreichen, um die Dynamik des Systems zu erklären.

6. **Informationsverarbeitung.** Chaotische Systeme sind hochgradig sensibel für kleinste Verstörungen. In diesem Sinne ist eine chaotische Prozessdynamik immer auch Ausdruck der systeminternen Informationsverarbeitung äußerer Verstörungen (vgl. Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, S. 103). Nur chaotische Systeme, im Gegensatz zu trivialen lineal kausalen Systemen, sind in der Lage auf äußere Einflüsse flexibel zu reagieren. So wird ein stabiler Grenzzyklus nur kurzzeitig verstört ohne langfristig sein Verhalten zu ändern. Chaotisches Verhalten signalisiert hingegen Lernbereitschaft. Die Arbeiten über den Geruchssinn von Kaninchen zeigen insbesondere dann einen Anstieg in der Chaotizität, wenn unbekannte Gerüche präsentiert werden (Freeman & DiPrisco 1986, Skarda & Freeman 1987). Das Ausmaß an Chaos zeigt also die Unbekanntheit und Lernwilligkeit des Systems an.
7. **Informationsvermittlung und -Generierung.** Eine chaotische Prozessdynamik ist zwar zum einen hochgradig komplex, zum anderen ist sie jedoch auch hoch geordnet. Diese selbstorganisierte Ordnung im Chaos enthält den kodierten Informationsgehalt der sich aus der Verarbeitung äußerer Verstörungen im Zusammenspiel mit inneren Prozessen ergibt. In dem Maße wie eine chaotische Prozessgestalt ein spezifisches Informationsmuster repräsentiert, ist Chaos keinesfalls bedeutungslos, sondern Träger komplex kodierter Informationen. In diesem Sinne ist die Informationsübertragung zwischen verschiedenen Systemen weniger als Austausch einzelner singulärer Informationen, sondern vielmehr als Austausch komplexer Informationsmuster zu verstehen. Dieser Zusammenhang wird zum Beispiel deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass auch der Inhalt des hier niedergeschriebenen Satzes nicht etwa über die Mitteilung der relativen Häufigkeiten einzelner Buchstaben vermittelt werden kann (vgl. dazu ausführlicher S. 399ff.), sondern über die komplexe spezifische Anordnung von Buchstaben. Die Prozessgestalt einer chaotischen Dynamik kann ähnlich wie dieser Satz als komplexer Informationsgehalt interpretiert werden. Studien über neuronale Netze haben gezeigt, dass solche Netzwerke in der Lage sind, die in chaotischen Signalen verborgenen Unterschiede zu identifizieren und verschiedene chaotische Prozesse zu unterscheiden (vgl. Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, S. 103). Es ist damit durchaus wahrscheinlich, dass eine Informationsvermittlung über den Weg chaotischer Signale zwischen Systemen möglich ist. Dies zeigen auch Studien zur Steuerung chaotischer Systeme, die sich in angestrebten Verhaltensmustern stabilisieren lassen, indem ihnen bestimmte Prozessgestalten erneut als verstörender Input eingespielt werden (vgl. z.B. Kratky 2003).
8. **Informationsverarbeitendes Gegenstück.** Wenn es zutrifft, dass die Umgebung des Menschen ein komplexes, dynamisches, chaotisches System ist (z.B. Weidlich & Haag 1983, Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003) und sogar die Beziehungsgestaltung in der Therapie eine chaotische Prozessgestalt aufweist (Schiepek 1993b, Scheier & Tschacher 1994, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Tschacher & Scheier 1995, Kowalik et al. 1997, Schiepek et al. 1997), ebenso wie z.B. Interaktionen in Kleingruppen (z.B. Mittelmann & Strunk 1994, Schiepek et al. 1995a, Manteufel & Schiepek 1998), so muss das menschliche Wahrnehmungssystem selbst in der Lage sein diese Komplexität zu verarbeiten (vgl. Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, S. 104). Das Gegenstück der durch eine chaotische Prozessgestalt vermittelten Informationen muss also selbst in der Lage sein, inputsensibel die übermittelten Informationen zu verarbeiten. Da dazu am ehesten chaotische Systeme in der Lage sind, kann davon ausgegangen werden, dass auch die menschliche Informations-

verarbeitung selbst nach chaotischen Prinzipien operiert (vgl. in diesem Zusammenhang Modelle zur menschlichen Wahrnehmung, z.B. Stadler & Kruse 1990).

9. **Planbarkeit und Vorhersagbarkeit.** Chaotische Prozesse können im Detail nicht vorhergesagt werden. Das heißt, dass in Hinblick auf die Planbarkeit des Systemverhaltens und in Hinblick auf die Wirkung von Interventionen große Einschränkungen hingenommen werden müssen. Diese Feststellung fordert ein flexibles, offenes Umgehen mit sich beständig verändernden Gegebenheiten. Große Planungssysteme sollten aufgegeben werden zu Gunsten von kleinschrittigen Interventionen deren Auswirkungen immer wieder überprüft und an sich verändernde Prozesse angepasst werden müssen. Hier bewahrheitet sich einmal mehr die Weisheit vom Weg, der erst beim Gehen entsteht. Wie weit Prognosen reichen können, bevor sie durch das Erreichen der Signalstärke selbst kleiner Verstörungen unnütz werden, lässt sich mittels geeigneter Analysen (durch die Bestimmung des größten Lyapunov-Exponenten; vgl. S. 376ff.) jedoch relativ genau angeben. Chaotische Systeme verhalten sich eben nicht zufällig, sodass die Zukunft völlig unbestimmt wäre, sondern weichen erst im Verlauf der Zeit immer weiter von einer Referenztrajektorie ab.
10. **Bewegung innerhalb des Attraktors.** Auch wenn die Bewegung eines chaotischen Systems nicht über eine längere Zeit hinweg detailliert angegeben werden kann, hält sich die Dynamik doch an die Gestalt des dahinter liegenden Attraktors. Es lassen sich also auch für chaotische Systeme Voraussagen über die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Systems im Phasenraum angeben. In diesem Sinne können qualitative Verlaufsgestalten relativ klar beobachtet und vorhergesagt werden.
11. **Phasenübergänge.** Komplexe Systeme verfügen in der Regel gleichzeitig über einen ganzen Zoo komplexer Verhaltensalternativen. Die Beobachtung von Phasenübergängen und die Identifizierung der im Umfeld von Bifurkationen auftretenden Veränderungen der Kontrollparameter (vgl. z.B. Abbildung 54, S. 170) ist eines der vordringlichsten Ziele der empirischen Forschung über komplexe Systeme. Sowohl Interventionen als auch Prognosen über komplexe Verlaufsgestalten werden erst dann möglich, wenn die relevanten Kontrollparameter identifiziert und die kritischen Schwellenwerte in den Kontrollparametern, die zu Phasenübergängen führen, bekannt sind. So ist es z.B. im psychotherapeutischen Geschehen ein erklärtes Ziel, Phasenübergänge in den Klienten und Klientinnen anzuregen, die zu nützlichen positiven Veränderungen führen. Hier stellt sich dann die Frage, welche Kontrollparameter in der therapeutischen Situation Phasenübergänge anregen können und woran erkennbar wird, dass Klientinnen bzw. Klienten sich auf einen Phasenübergang zu bewegen oder sich aktuell in einem Bifurkationspunkt befinden.

Die dargestellten Folgerungen, die sich im Umfeld der auf Zeitreihenanalysen beruhenden Identifikation chaotischer Dynamiken ergeben, stellen nur einen kleinen Ausschnitt dessen dar, was in Hinblick auf ein konkretes System vermutet werden kann. Letztlich kommen solche Folgerungen dann doch wieder nicht ohne konkrete theoriegeleitete Überlegungen aus. In diesem Sinne sollten sich beide Aspekte, also sowohl Top-down-Analysen als auch Bottom-up-Zugänge, gegenseitig ergänzen. Das folgende Kapitel versucht eine Synthese beider Zugänge, indem ein umfassendes systemwissenschaftliches Forschungsmodell in seinen Grundzügen skizziert wird.

7.3 Ein systemwissenschaftliches Forschungsmodell

Systemtheoretische Beschreibungen nichtlinearer dynamischer Systeme im Bereich der sozialwissenschaftlichen Forschung können grundsätzlich über zwei entgegengesetzt verlaufende Wege vorgenommen werden. Schiepek und Strunk (1994) tragen dieser Tatsache Rechnung, indem das von ihnen vorgeschlagene *systemwissenschaftliche Forschungsmodell* beide Wege, „*Top-down-Analysen*“ und „*Bottom-up-Analysen*“, als einander ergänzend aufeinander bezieht. Das Ziel einer systemwissenschaftlichen Forschungsmethodologie liegt damit in einer Parallelführung von Modellierung auf der einen und empirischer Erhebung komplexer Dynamiken auf der anderen Seite. Der gemeinsame Fokus und Zielpunkt beider Analysemethoden liegt in der Identifikation dynamischer Strukturen und der Beschreibung der für ihr Zustandekommen relevanten Mechanismen und Randbedingungen. Die Abbildung 72 (S. 274) berücksichtigt diesen Aspekt, indem sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Analysen so dargestellt werden, dass beide auf ein gemeinsames Ziel ausgerichtet sind, nämlich auf die Identifikation und den Vergleich dynamischer Strukturen.

Top-down-Analysen ermöglichen die Simulation komplexer Systemzusammenhänge

Dabei gehen Top-down-Analysen von theoretisch zu vermutenden Strukturen und Zusammenhängen in Systemen aus. Empirische Zugänge liefern daher graphische und oder mathematische Beschreibungen bzw. Modelle von Systemelementen und den verbindenden Relationen zwischen den Elementen. Ist es möglich, die Systemstrukturen in Differentialgleichungen (bzw. in Differenzgleichungen) zu formalisieren, so können sich Analysen über die mathematischen Eigenschaften dieser Systemmodelle anschließen. Das prominenteste und elaborierteste Methodeninventar zu einer solchen Top-down-Analyse liefert die oben bereits ausführlich dargestellte *Synergetik* (siehe S. 131ff.).

Der Ausgangspunkt einer systemwissenschaftlichen Modellbildung ist im Wesentlichen in den im vorangegangenen Kapitel angeführten Forderungen für eine systemwissenschaftliche Theoriebildung zu sehen, sodass zunächst zu überprüfen ist, ob und wie weit eine systemwissenschaftliche Modellierung in Bezug auf einen interessierenden Phänomenbereich erforderlich ist. Der in Abbildung 58 dargestellte Entscheidungsbaum kann hier eine sinnvolle Hilfestellung bieten. Insgesamt sind im Umfeld eines Phänomenbereiches vielfältige Wechselwirkungen auch mit anderen Phänomenbereichen zu berücksichtigen, sodass eine systemwissenschaftliche Modellbildung nicht vorschnell zurückgewiesen werden sollte. Insbesondere vor dem Hintergrund eines Menschenbildes, das Menschen als biopsychosoziale Systeme begreift (vgl. S. 211ff.), kann davon ausgegangen werden, dass es wohl kaum menschliche Phänomenbereiche geben kann, die allein vor dem Hintergrund trivialer linearer Modelle beschreibbar sind.

Das Ziel einer systemwissenschaftlichen Modellbildung ist zunächst die Formulierung eines umfassenden Systemmodells – verstanden als Strukturmodell – über die relevanten Variablen und Beziehungen zwischen den Variablen. Sowohl in Hinblick auf die konkrete Benennung und Kennzeichnung der Variablen als auch in Hinblick auf die Präzisierung der die Variablen verbindenden Relationen kann auf die ab S. 200f dargestellten Leitlinien zurückgegriffen werden. In diesem Zusammenhang geht es darum, die Variablen eines Systems als veränderliche Größen zu konzeptualisieren, die Beziehungen zwischen den Elementen nach dem

Modell der Kovariation zu beschreiben und die jeweiligen Beeinflussungsstärken anzugeben. Zudem sind autokatalytische Prozesse explizit mit zu berücksichtigen.

Vielfach ergibt sich dann durch die fortschreitende Auseinandersetzung mit dem Systemmodell die Problematik, dass allgemeine Modelle nur eine sehr unzureichende Beschreibung eines konkreten Phänomenbereiches liefern können. Obwohl es in weiten Bereichen der Wissenschaft üblich ist, möglichst allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten zu formulieren, gilt für einen systemwissenschaftlichen Zugang die Forderung nach möglichst idiographischen, auf konkrete Einzelfälle bezogenen theoretischen Modellen. Dies hat seinen Grund unter anderem im strukturellen theoretischen Grundkonzept der Systemwissenschaften, in denen allgemeine Gesetzesaussagen in der Rahmentheorie, also im Bereich der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme, verortet sind und die Modellbildung im Bezug auf einen bestimmten Phänomenbereich bereits konkrete Präzisierungen aufweisen sollte (vgl. Abbildung 66, S. 246).

Ziel einer systemwissenschaftlichen Modellbildung ist die Beschreibung einer Dynamik

Eine systemwissenschaftliche Modellbildung wäre jedoch wenig hilfreich, bliebe sie bereits bei der Beschreibung eines Strukturmodells stehen. Das erklärte Ziel einer jeden systemwissenschaftlichen Modellbildung hat in jedem Fall die Beschreibung der aus dem Systemmodell folgenden Dynamik zu sein. In diesem Sinne kann auf die konkrete mathematische Formalisierung der Modelle nicht verzichtet werden. Obwohl solche mathematischen Formalisierungen in Form von Computersimulationen bereits ein eigenständiges Produkt darstellen und z.B. für die Ausbildung, Didaktik und Pädagogik sinnvoll genutzt werden können (vgl. S. 255ff.), stellt sich im Rahmen einer wissenschaftlichen Nutzung eines Systemmodells die Frage danach, inwieweit es die empirisch beobachtbaren Phänomene tatsächlich zu modellieren vermag. Hier gelangt dann aber eine rein Top-down ausgerichtete Analyse schnell an ihre Grenzen. Häufig können die in Systemmodellen beschriebenen Mechanismen noch vor dem Hintergrund ihrer internen Konsistenz beurteilt werden. Geht es hingegen um die Dynamik, so kommt man allein über eine Simulation nicht viel weiter als das Verhalten des Systems nach Gesichtspunkten der Plausibilität zu beurteilen – ein wenig präzises und vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Forschungskriterien wenig aussagekräftiges Unterfangen. Zudem lassen sich komplexe dynamische Prozesse nur schwer verbal beschreiben, geschweige denn in Hinblick auf ihre Plausibilität beurteilen. Eine generierte Dynamik sollte also, unabhängig davon ob sie empirisch erhoben oder auf mathematischem Wege künstlich erzeugt wurde, mit Methoden der nichtlinearen Zeitreihenanalyse beschrieben werden. Allein per Augenschein lässt sich ein chaotischer Prozess nicht identifizieren. Bereits die Beurteilung, ob ein bestimmter Prozess komplexer ist als ein anderer, ist durch Augenmaß nicht mehr möglich. Ebenso ist der Versuch eine komplexe Periodik durch eine reine Beobachtung der Dynamik zu erkennen relativ aussichtslos.

Methoden, die eine treffsichere Kennzeichnung komplexer Prozesse sowie die Identifikation und Quantifizierung von Chaos zulassen, sind erst in den letzten 20 Jahren entwickelt worden. Dabei spielt es dann grundsätzlich keine Rolle, ob die zu analysierenden Daten künstlich im Computer generiert oder empirisch erhoben wurden. In diesem Sinne ist dann auch ein Vergleich beider Datenebenen möglich. Dass ein Vergleich einer empirischen und einer künstlichen Dynamik an spezielle mathematische Methoden gebunden ist, wird allein schon dadurch deutlich, dass eine komplexe chaotische Dynamik auf Grund des Schmetterlingseffektes

(vgl. zur Definition von Chaos S. 151ff.) nicht einmal mit sich selbst übereinstimmt. Einfache Verfahren wie z.B. die Berechnung von Korrelationen zwischen Simulationsergebnissen und empirischen Prozessen sind damit zum Scheitern verurteilt. Ein systemwissenschaftliches Forschungsprogramm kann daher nicht allein auf die Modellbildung und theoretische Formulierung von Gleichungssystemen beschränkt bleiben. Es bedarf der Ergänzung um einen parallel geführten Erkenntniszugang, der von Zeitreihendaten ausgehend Bottom-up die Modellbildung korrigierend innovativ beeinflusst oder erst auf die Notwendigkeit zu einer systemwissenschaftlichen Modellbildung verweist.

Bottom-up-Analysen sind Black-Box-Verfahren

Damit gehen Bottom-up-Analysen von den Prozessqualitäten aus, die dissipative nichtlineare dynamische Systeme von konservativen, linearen und linealen Systemen unterscheiden. Insbesondere komplexe Prozesse wie deterministisches Chaos können nur von bestimmten dynamischen Systemen hervorgebracht werden. Bottom-up-Analysen versuchen daher über zeitreihenanalytische Verfahren auf bestimmte Eigenschaften der beobachteten Systeme zu schließen. Im Gegensatz zu Top-down-Analysen sind für Bottom-up-Analysen keine theoretischen Annahmen über die Systemzusammenhänge und die beteiligten Variablen nötig. Bottom-up-Analysen sind daher Black-Box-Verfahren, die Aussagen über Systeme treffen können, ohne dass deren Struktur bekannt wäre. Hier finden sich dann auch die Grenzen dieses Vorgehens, die ihrerseits nur durch die Parallelführung von Top-down-Modellierungen überwunden werden können.

Die Grenzen in der verhaltens- bzw. sozialwissenschaftlichen Nutzung beider Ansätze zwingen zu einer gegenseitigen Ergänzung

Auf Grund der speziellen Eigenschaften nichtlinearer dynamischer Systeme können Top-down-Analysen nicht mehr als mögliche Szenarien liefern. Die Vorhersagen über die Dynamik, wie sie aus solchen theoriefokussierten Ansätzen begründet werden, können nur exemplarischen Charakter besitzen. Wenn die prognostizierte Systemdynamik zudem Eigenschaften einer chaotischen Dynamik aufweist, werden Vorhersagen über längere Zeiträume prinzipiell unmöglich. Top-down-Analysen lassen sich damit empirisch nur schwer (wenn überhaupt) verifizieren und ebenso schwer falsifizieren. Sie bleiben im Wesentlichen auf der Theorieebene und sind nach Kriterien ihrer logischen Widerspruchsfreiheit, ihrer sauberen Ableitung aus vorhandenem Theoriewissen und ähnlichen Kriterien zu bewerten. Auf der anderen Seite erschöpfen sich Bottom-up-Analysen recht schnell in Aussagen, die trotz eines großen empirischen Aufwands nicht mehr über ein System verraten, als dass es eben „chaotisch“ ist. Auf Grund der hohen Anforderungen an die Datenqualität und im besonderen Maße auf Grund der Forderung nach idealer Weise unendlich langen – und dabei stationären – Zeitreihen gibt es prinzipielle Grenzen bei der schlüssigen Identifizierung von Attraktoren. In der konkreten Analyse empirisch gewonnener Zeitreihen herrschen jedoch – entgegen den genannten Forderungen – Nichtstationarität (das System ändert als Reaktion auf äußere und innere Bedingungen⁹² sein Verhalten), begrenzte Beobachtungszeiträume und ungenaue Messungen (klassische Messfehler) vor. Entscheidungen über die Eigenschaften der beobachteten Systeme auf Grundlage solcher prinzipiell

⁹² Nichtstationäre Prozessentwicklungen sind hier als experimentell nicht kontrollierte Phasenübergänge zu verstehen. Die fehlende Kenntnis über relevante Kontrollparameter des Systems im Rahmen von Bottom-up-Analysen lässt eine experimentelle Kontrolle nur unzureichend zu (Gefahr einer unvollständigen Kontrolle relevanter Kontrollparameter). Für psychische Systeme ist im Gegensatz zu z.B. physikalischen Systemen zudem davon auszugehen, dass das System einen Zugang zu einem Teil seiner eigenen Kontrollparameter (z.B. Emotionen) besitzt. Daher sind hier auch Stationaritätsverletzungen auf Grund intrasystemischer Einflüsse zu erwarten.

beschränkten empirischen Daten sind in der Regel nicht ohne Rückgriffe auf theoretische Annahmen über die untersuchten Systeme möglich.

Empirische Forschung über nichtlineare dynamische Systeme ist daher gebunden an eine Verbindung zwischen beiden Analysewegen, wie sie in der Abbildung 72 (S. 274) schematisch angedeutet wird (vgl. auch Schiepek & Strunk 1994, S. 95). In diesem Sinne ist die in dieser Arbeit vorgeschlagene Trennung zwischen Top-down- und Bottom-up-Analysen als eine künstliche Unterscheidung zu verstehen, die zunächst eine praktische Einordnung der Analyse- und Beschreibungsmethoden über nichtlineare dynamische Systeme erlaubt. Dennoch handelt es sich bei den beiden Zugängen um einander ergänzende Vorgehensweisen. Im Idealfall gelingt es dann die empirisch erfassten dynamischen bzw. strukturellen Muster durch ein theoretisches Modell und dessen Simulation zu „erklären“.

Die in Abbildung 72 (S. 274) skizzierte systemwissenschaftliche Forschungsstrategie beinhaltet durchaus eine Reihe von Problemen. Zunächst ist die Auswahl geeigneter Variablen der Systemdynamik an die Frage geknüpft, inwieweit im interessierenden Forschungsbereich, also z.B. in der Psychologie, hochfrequente Messungen gelingen und mit welchen speziellen Messproblemen bzw. Messfehlern hierbei gerechnet werden sollte. So ist z.B. bei der wiederholten Erhebung subjektiver Daten mit einer kontinuierlichen Verschiebung des inneren Bezugssystems zu rechnen. Zudem sind bei multivariaten Erhebungen Daten unterschiedlicher Qualität und unterschiedlichen Auflösungsgrades miteinander in Beziehung zu setzen. Gefragt wäre eine eigene Messtheorie für bio-psycho-soziale dynamische Systeme, für die es derzeit noch keine Ansätze gibt (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S.96).

Des weiteren stellt sich das Grundsatzproblem der *Validierbarkeit von Simulationen* auf das oben schon ausführlich eingegangen wurde (vgl. S. 247ff.). Gerade für chaotische Prozesse lässt sich die Reproduktionsgenauigkeit einer empirischen durch eine simulierte Zeitreihe nicht durch Ähnlichkeitsvergleiche oder Korrelationen bestimmen. Ähnlichkeitsvergleiche sind allenfalls auf der Ebene des Attraktors möglich, z.B. über Kennwerte der fraktalen Dimensionalität, der Entropie oder über das Spektrum der Lyapunov-Exponenten. In diesem Sinne wäre auch ein statistischer Ähnlichkeitstest für Attraktoren, mit dem künstlich erzeugte und empirisch gewonnene Attraktoren verglichen werden können, wünschenswert. Eine Möglichkeit dafür bietet sich z.B. über die Bestimmung von Wahrscheinlichkeitsdichten der Trajektorienverläufe im Phasenraum an. Derzeit sind auch für diese Problematik kaum Ansätze vorhanden.

Aber auch dann wenn ein Ähnlichkeitsvergleich zwischen empirisch und künstlich generierten Daten positiv ausfallen sollte, bleibt der Sachverhalt bestehen, dass ein und dieselbe Dynamik von verschiedensten Strukturmodellen erzeugbar ist, ebenso wie umgekehrt ein bestimmtes Modell je nach Parameterwahl und Ausgangsbedingungen sehr viele verschiedene Dynamiken generieren kann. Verhaltensmodellhaftigkeit ist nicht gleich Strukturmodellhaftigkeit – ein Tatbestand, der bereits in der traditionellen Methodologie sein Pendant in der Mehr-Mehrdeutigkeit von Theorien und Phänomenen hat.

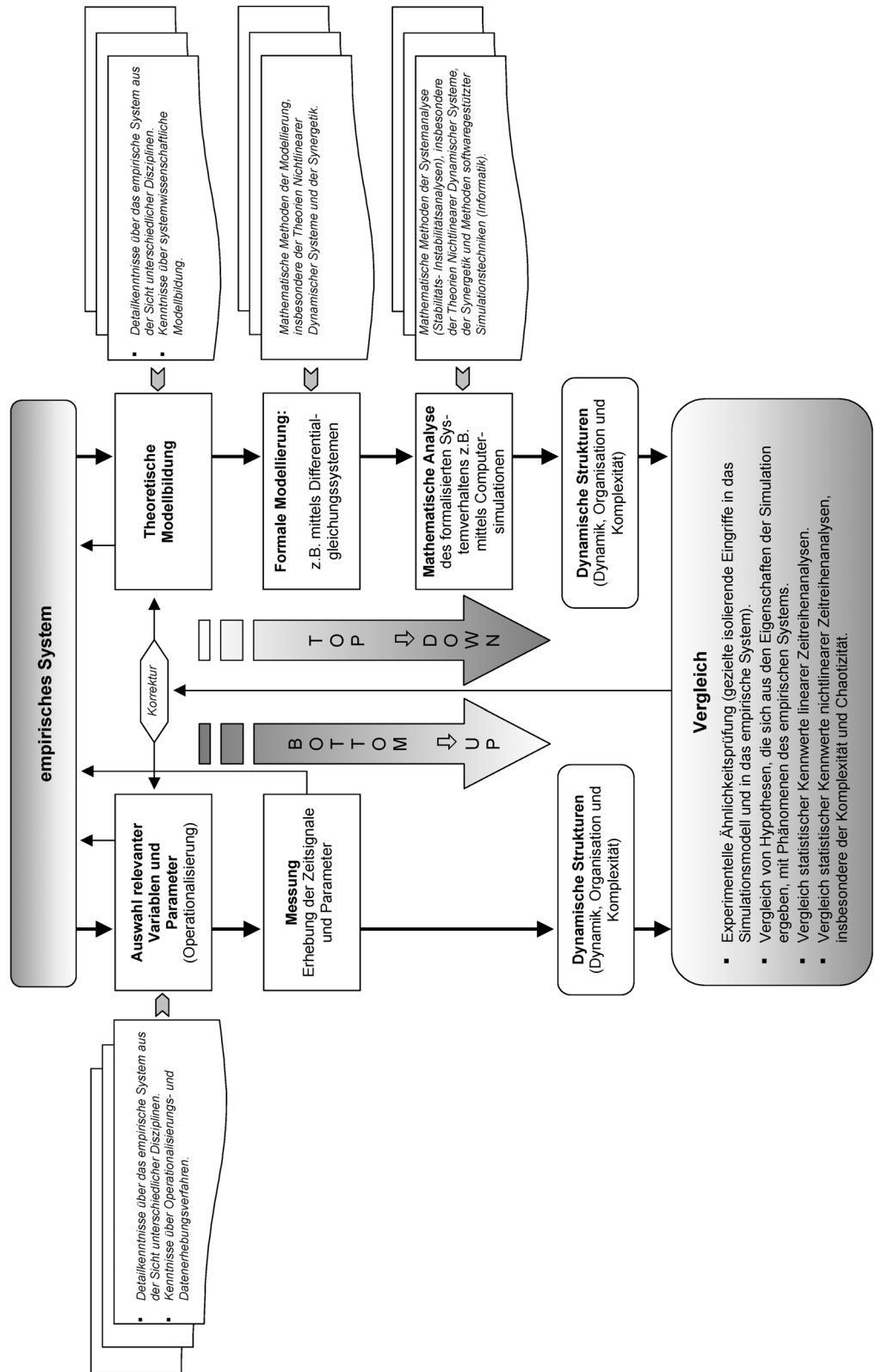


Abbildung 72: Grundstruktur einer systemwissenschaftlichen Methodologie

Die Grundstruktur einer systemwissenschaftlichen Methodologie verfolgt als gemeinsames Ziel zweier unabhängiger, aber parallel aufeinander bezogener Forschungszugänge, die Dynamik empirischer Zeitreihen und künstlich im Rahmen von Computersimulationen gewonnener Zeitreihendaten aufeinander zu beziehen und miteinander zu vergleichen (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 95f.).

Simulationen sind daher nicht zuletzt nach der Plausibilität des Systemverhaltens vor dem Hintergrund detaillierter phänomenologischer Sachkenntnis zu beurteilen. Weitere Kriterien beziehen sich auf die wissenschaftliche Qualität eines Modells, d.h. auf die Frage, ob die in einem Modell enthaltenen Hypothesen dem jeweiligen Stand der Forschung, d.h. der empirischen Befundlage und der Theorieentwicklung entsprechen (für eine Diskussion von Beurteilungskriterien für Systemmodelle vgl. Schiepek 1986, 1991).

Ein wesentliches Hilfsmittel bei der Qualitätskontrolle von Simulationen ist die Durchführung von *Modelltests*. Diese beruhen auf hypothesengeleiteten Interventionen in Simulationsläufe, um die dadurch provozierte Veränderung des Systemverhaltens mit theoretisch begründeten oder mindestens mit Plausibilitätsannahmen zu vergleichen (für ein ausführliches Beispiel vgl. Schiepek 1991, S. 292ff.). Simulationen auf der Grundlage von Gleichungssystemen gestatten Interventionen via (a) Variablenveränderung, (b) Parameterveränderung, (c) Variation von Zufallsfluktuationen, die äußere Verstörungen simulieren oder (d) Strukturveränderung des Gleichungssystems (Einbezug oder Elimination einzelner Gleichungen). Im günstigsten Fall kann das Quasi-Experiment der Modelltestung auch in der Realität stattfinden, sodass der Vergleich eine empirische Grundlage erhält. Experimentalmethodik und systemwissenschaftliche Modellierung schließen einander also keineswegs aus. Im Gegenteil: Dem Experiment eröffnet sich zusätzlich die artifizielle Realität der Simulation (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 97).

8. Methoden

Bezugnehmend auf das oben bereits vorgestellte systemwissenschaftliche Forschungsmodell (vgl. Abbildung 72, S. 274) sind in der Forschungsmethodik über dynamische Systeme grundsätzlich zwei verschiedene Herangehensweisen zu unterscheiden. Sowohl die theoretisch begründete Modellierung eines Systems nach den Methoden der systemwissenschaftlichen Modellbildung als auch die empirisch begründete Analyse von Zeitreihen mittels nichtlinearer Verfahren greifen jeweils auf einen breiten Kanon an mathematischen, statistischen und Datenerhebungs-Methoden zurück. Die methodologischen Ansätze beider Forschungsrichtungen sollen in den folgenden Kapiteln kurz dargestellt werden. Dabei liegt ein Hauptgewicht auf den Methoden der Zeitreihenanalyse, sodass im Rahmen der systemwissenschaftlichen Modellbildung nur einige grundsätzlich wichtig erscheinende Aspekte näher betrachtet werden.

Grundlegende Ausrichtung einer systemwissenschaftlichen Forschung

Für beide Forschungsrichtungen, also sowohl für die Top-down- als auch für die Bottom-up-Analyse gelten jedoch übereinstimmend bestimmte perspektivische Ausrichtungen, die als Grundvoraussetzungen für eine systemwissenschaftliche Forschung angesehen werden können. Dazu gehört zunächst eine grundlegende Definition des Systembegriffs. Mit dieser Definition verbunden ist eine dynamische, auf Prozesse ausgerichtete Untersuchungsperspektive und die Einordnung bzw. qualitative Klassifikation der beobachtbaren Prozessgestalten:

1. **Systembegriff.** Einer systemwissenschaftlichen Forschungsmethodologie liegt im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme ein Systembegriff zu Grunde, der die Elemente eines Systems als veränderliche Größen, also als Variablen versteht. Ein Systemelement kann damit keine qualitativen wohl aber quantitative Veränderungen durchlaufen. Die Beziehungen zwischen den Elementen sind durch gemischtes Feedback gekennzeichnet. Simple Modelle mit einseitigem Feedback wie Teufels- oder Regelkreise müssen nicht erst im Rahmen einer umfassenden systemwissenschaftlichen Forschungsmethodologie analysiert werden; – ihr Verhalten ist weitgehend trivial beschreibbar. Komplexe nichtlineale Systeme weisen durch mathematische Gleichungssysteme beschreibbare Beziehungen zwischen den Elementen auf. Ein nichtlineares dynamisches System enthält dabei mindestens eine nichtlineare Beziehung. Betrachtet werden offene, dissipative Systeme die mit ihrer Umwelt in einem stetigen Austausch von Energie und Entropie stehen. Die Energiezufuhr zum System wird über Kontrollparameter geregelt, die als wichtige Größen des Systems gesondert betrachtet werden. Sie stellen im Rahmen der systemwissenschaftlichen Forschung die unabhängigen Variablen eines Systems dar. Dabei kann es jedoch möglich sein, dass einige besondere Systeme selbst auch einen Zugriff auf die Kontrollparameter besitzen. Insbesondere dieser Aspekt lässt eine systemwissenschaftliche Systembeschreibung im Rahmen der Psychologie über das ursprünglich physikalisch mathematische Grundmodell hinausgehen. So ist es sehr wahrscheinlich, dass für psychische Prozesse Emotionen und Motivationen als Kontrollparameter betrachtet werden können. Diese sind jedoch nicht als unabhängige Größen zu betrachten. Das psychische System selbst besitzt hier einen Zugriff auf seine Kontrollparameter.

Im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Methodologie liegt das Hauptaugenmerk jedoch weniger auf der Struktur eines Systems als vielmehr auf der Dynamik die durch die Systemstruktur – im Zusammenspiel mit den Randbedingungen – hervorgerufen wird. Es interessiert also mehr was ein System tut und wie es sich verhält, als wie es strukturell aufgebaut ist.

2. **Dynamische Perspektive.** Das vorrangige Ziel einer systemwissenschaftlichen Methodologie ist die Beschreibung, Erfassung und Erklärung von Prozessen. In diesem Sinne interessiert nicht ein Zustand des Systems zu einer bestimmten Zeit, sondern der gesamte im Verlauf der Zeit beobachtbare Prozess. In diesem Sinne ist die Erfassung einer psychischen Störung vor und nach einer Therapie noch keine Prozessforschung. Erst wenn die Beschreibung der psychischen Störung selbst über Prozessmerkmale erfolgt, läge ein systemwissenschaftlicher Zugang vor. In diesem Sinne ist z.B. der Zustand der Angst bei einem Klienten eben kein Prozess. Er kann daher auch nicht als Prozessgestalt im Sinne eines Attraktors aufgefasst werden. Es handelt sich vielmehr um eine bestimmte Ausprägung der in diesem System relevanten Variable Angst. So ist dann z.B. die Beschreibung einer Persönlichkeitsstruktur systemwissenschaftlich wenig interessant, wohl aber die Beschreibung gewisser Verhaltensmuster die sich überdauernd als Ausdruck einer bestimmten Persönlichkeitsstruktur eines Menschen beobachten lässt. In ähnlicher Weise ist eine entwicklungspsychologische Perspektive maßgeschneidert für einen systemwissenschaftlichen Zugang. In diesem Zusammenhang ist besonders hervorzuheben, dass die in der Entwicklungspsychologie zu beobachtenden Entwicklungssprünge eventuell als diskontinuierliche Phasenübergänge interpretiert werden können. Auch im Rahmen der Klinischen Psychologie kann eine dynamische Perspektive, gerade bei der Beschreibung von Störungsbildern gewinnbringend genutzt werden. Hier muss dann allerdings auf dynamische Krankheits- und Gesundheitsmodelle zurückgegriffen werden wie sie im Rahmen eines medizinischen Verständnisses bereits formuliert wurden (Mackey 1978, Mackey & an der Heiden 1982, Mackey & Milton 1987, an der Heiden 1992a, 1992c, 1993; vgl. auch S. 461ff.).
3. **Identifikation von Prozessgestalten.** Die systemwissenschaftliche Analyse komplexer dynamischer Vorgänge orientiert sich weniger am detaillierten Prozess selbst, als an der qualitativ beobachtbaren Prozessgestalt, die als selbstorganisierte Ordnungsstruktur des Systems interpretiert wird. In diesem Sinne geht es also nicht darum, ob ausgehend von einem bestimmten Zustand ein Anstieg oder ein Abfall in einer bestimmten Variable folgt, sondern ob im Verlauf einer längeren Zeitspanne ein einheitliches Prozessmuster im gesamten System beobachtet werden kann. Ein solches Muster kann auch für scheinbar völlig irreguläre Prozesse wie z.B. auch für das deterministische Chaos identifiziert werden. Wenn davon die Rede ist, dass es um Prozessmuster des gesamten Systems geht, so ist damit gemeint, dass weniger einzelne Variablen, als vielmehr das Spiel und Zusammenspiel sämtlicher Systemvariablen z.B. in einer Phasenraumdarstellung Beachtung findet.
Da ein und dasselbe System über einen ganzen *Zoo* qualitativ unterschiedlicher Prozessgestalten verfügen kann, interessieren im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Beschreibung ganz besonders Phasenübergänge und Bifurkationen. Das Ziel dieses Zuganges ist es, die Randbedingungen und Kontrollparameter zu identifizieren, die zu einer schlagartigen Veränderung der Prozessge-

stalt führen. Insbesondere in Hinblick auf die Erklärung von Verhaltensveränderungen, wie sie im Rahmen psychotherapeutischer Prozesse angestrebt werden sind die Begleitumstände und Kontrollparameter, unter denen solche Phasenübergänge möglich werden das wichtigste Forschungsziel der systemwissenschaftlichen Beschreibung, an die sich eine ganze Reihe von Folgefragen anschließen können: etwa nach den Randbedingungen, die erwünschte Veränderungen dauerhaft aufrecht erhalten oder nach den Werten in den Kontrollparametern, die Veränderungen verhindern.

Ausgehend von den hier vorgestellten grundsätzlichen Zielen und Rahmenbedingungen unter denen eine systemwissenschaftliche Perspektive möglich wird, soll im Folgenden auf einige methodische Aspekte eingegangen werden. Zunächst werden dabei methodische Zugänge im Zusammenhang mit einer systemwissenschaftlichen Modellbildung diskutiert. Erst in späteren Kapiteln (vgl. S. 331ff.) werden dann zeitreihenanalytische Verfahren detailliert dargestellt.

8.1 Hinweise für eine mathematische Modellbildung

In Kapitel 6.5.1 (S. 163) wurde ein dynamisches System als Differential- bzw. iteratives Gleichungssystem definiert. Im Vordergrund der Betrachtung stehen also Variablen die auf die zeitlichen Veränderungen anderer Variablen (oder im Fall der Autokatalyse auf die eigene Veränderung) Einfluss nehmen. Das tatsächliche Verhalten des Systems ergibt sich dann erst durch Integration, d.h. durch das Lösen der Gleichungen oder durch eine Simulation. Die Möglichkeiten zu einer mathematischen Formalisierung zu gelangen sind durchaus vielgestaltig. Sie können sich unter anderem an Beispielen aus der Populationsdynamik orientieren (vgl. S. 102ff.). Aber auch theoretische Überlegungen und einfache Faustregeln können hier weiterhelfen.

Da das Ziel der Modellierung, die Formulierung zeitabhängiger Differential- bzw. iterativer Gleichungssysteme ist, bieten sich zumindest auf den ersten Blick zwei unterschiedliche Wege an.

1. **Bedingungen schaffen für die Möglichkeit von Selbstorganisation.** Zum einen ist es möglich, die zeitlichen Veränderungen der Variablen zu betrachten, indem danach gefragt wird, ob und wie unterschiedliche Variablenausprägungen einer zunächst als unabhängig angesehenen Variable zu Veränderungen in einer abhängigen Variable führen. Es gilt also zu prüfen, ob geringfügige Unterschiede in der unabhängigen Variable auch zu geringen Veränderungen in der abhängigen und große Unterschiede in der unabhängigen auch zu großen Veränderungen in der abhängigen Variable führen, ob also die Unterschiede in der einen Variable zu proportionalen Veränderungen in der anderen anregen. Aus dieser Perspektive wird nichts über die jeweils in Betracht kommenden tatsächlichen Variablenwerte der abhängigen Variable gesagt. Im Vordergrund steht jeweils nur, wie sich von einem zum nächsten Zeitpunkt die eine Variable *verändert* und wie sich dies auf die *Veränderung* der anderen Variable auswirkt. Obwohl diese Perspektive etwas ungewöhnlich erscheint, ermöglicht sie

es erst, zeitliche Selbstorganisationsprozesse sichtbar zu machen. Die in den Gleichungssystemen angelegte Dynamik der Interdependenzen führt erst zu der Möglichkeit Prozesse beschreiben zu können, deren konkrete Verlaufsgestalt sich aus dem Gesamtsystem erst ergibt und nicht bereits vor der Modellierung im System bewusst „versteckt“ wurde.

2. **Direkte Modellierung der Dynamik.** Intuitiv vertrauter ist in der Regel die gegenteilige Perspektive, mit deren Hilfe versucht wird, die direkten Auswirkungen der *Ausprägung* der einen Variable auf die *Ausprägung* der anderen Variable zu betrachten. Die Fragen die es hier zu prüfen gilt, lassen sich analog zu den oben angesprochenen Fragen formulieren. Der Unterschied zwischen den Betrachtungsweisen liegt jedoch darin begründet, dass einmal zeitliche Veränderungen und das andere Mal die Wirkung einer konkreten Variablenausprägung auf eine andere untersucht werden. Obwohl es zunächst einfacher scheint, den letzteren Weg zu wählen, führt er doch zu einigen Problemen. Die Modelle enthalten zunächst keine Zeitlichkeit. Der Wert der einen Variablen ist direkt mit einem anderen Wert verknüpft, ohne dass die Zeit eine explizite Rolle spielt. Zeitliche Veränderungen müssen also gezielt in das Modell eingebaut werden, ohne dass sie sich selbstorganisiert aus dem Modell ergeben könnten. Ein solches Modell enthielte mithin schon a priori die Beschreibung dessen, was durch das Modell ja eigentlich erst gezeigt werden sollte. Die vermeintliche Abkürzung, für ein System direkt die Bewegungsgleichungen zu formulieren, führt spätestens bei deterministisch chaotischen Prozessen in eine Sackgasse. Hier gilt nämlich, dass zwar sehr wohl die zeitlich abgeleiteten Differentialgleichungen, nicht aber die Bewegungsgleichungen angegeben werden können.

8.1.1 Dynamische Differentialgleichungen

Obwohl bei einer näheren Betrachtung und im Einzelfall eine große Anzahl von linearen und nichtlinearen Beziehungen in komplexen Systemen vorkommen können, kann es als erste Näherung genügen einige wenige Funktionen auf ihre Tauglichkeit zur Beschreibung von Veränderungen zwischen zwei Variablen hin zu untersuchen:

1. **Lineare Weitergabe von Veränderungen.** Der einfachste Fall, der beschreibt, wie sich die Unterschiede in einer Variable in der Veränderung einer anderen Variable widerspiegeln, ist der der linearen Beziehung. In einem solchen Fall verändert sich die abhängige Variable proportional zur Ausprägung der unabhängigen Variable. Viele Funktionen lassen sich für einen begrenzten Wertebereich durch solche linearen Beziehungen darstellen. Oben wurde für das Räuber-Beute-System bereits ein solcher Zusammenhang beschrieben (vgl. Gleichung 1.1/2, S. 104). Dort wurde davon ausgegangen, dass die Veränderung der Zahl der Jäger proportional zur Zahl der Beutetiere ist. Man beachte, dass eine konkrete Variablenausprägung, hier die Zahl der Beutetiere, zu einer zeitlichen *Veränderung* in einer anderen Variable, hier der Zuwachs der Zahl der Jäger, anregt. Aus der Zahl der Beutetiere kann also nicht die Zahl der Jäger direkt bestimmt werden, wohl aber um wie viel diese zu- oder abnehmen wird.

Die allgemeine Form einer solchen Gleichung kann wie folgt angegeben werden, wobei additive Konstanten nicht berücksichtigt werden:

$$\frac{dy}{dt} = ax.$$

In der Physik ist es üblich, Ableitungen nach der Zeit durch einen Punkt über der abhängigen Variable zu kennzeichnen. Diese Schreibweise ist weniger aufwändig und soll im Folgenden durchgängig genutzt werden. Für die genannte Gleichung ergibt sich:

$$\dot{y} = ax.$$

Gleichung 21:
Lineare Differentialgleichung

Die Gleichung kann gelesen werden, als zeitliche Veränderung der Variablen y , die sich proportional aus dem Wert der Variablen x ergibt. Der Proportionalitätsfaktor sei a . Ist a eine positive Zahl, so beschreibt die Gleichung einen positiven Zusammenhang. Eine negative Kovariation zwischen x und der zeitlichen Veränderung von y ergibt sich hingegen für negative Werte von a .

Welche Werte sich für y tatsächlich im Verlauf der Zeit ergeben hängt zum einen von dem Wert ab, den y zu einem gegebenen Zeitpunkt bereits besitzt. So kommt zu einem Startwert y_0 gemäß der Gleichung a mal x hinzu. Ob sich die Werte für y in dieser Weise relativ leicht bestimmen lassen, hängt zum anderen aber auch davon ab, ob sich auch x mit der Zeit verändert. Es muss dann zumindest eine zweite Gleichung geben, die die zeitliche Veränderung von x beschreibt. Ist x zeitlich konstant, so kann die Gleichung leicht integriert werden. Die Variable y wächst dann proportional zur Zeit t :

$$y = axt + y_0, \text{ für } a \text{ und } x \text{ als Konstanten.}$$

Aber bereits für den Fall der Autokatalyse zeigt die lineare Gleichung ein unerwartetes Verhalten. Wie bei der Zins- und Zinseszins-Rechnung, ergibt sich die Veränderung von y dann proportional aus seinem eigenen Wert:

$$\dot{y} = ay.$$

Gleichung 22:
Lineare Autokatalyse

In diesem Fall steigt y zunächst langsam, aber dann zunehmend explosionsartig an. Die Bewegungsgleichung wurde bereits in Gleichung 11 (S. 141) vorgestellt und lautet hier:

$$y = y_0 e^{\lambda t}.$$

Die Konstante λ berechnet sich aus:

$$\lambda = \ln(a).$$

Ist $\lambda > 1$ steigt y exponentiell an, bei $\lambda = 1$ verändert sich y nicht und bei $\lambda < 1$ nimmt der Wert von y zunächst dramatisch und dann immer langsamer ab.

2. **Zunächst stark, dann immer schwächer werdend.** Nicht immer schlägt sich der Wert einer Variable in einer exakt proportionalen Veränderung einer anderen Variable nieder. Bereits die von Wilhelm Weber⁹³ und Gustav Theodor Fechner⁹⁴ beschriebenen Gesetze der Psychophysik zeigen, dass ein unterschiedlich starker physikalischer Reiz nicht proportional zur Reizstärke wahrgenommen wird (vgl. z.B. Benetka 2002, S. 45ff.). Während die Wahrnehmung eines Reizes zunächst proportional zur Reizstärke zuzunehmen scheint, kommt es sehr bald zu einer Sättigung, sodass immer stärkere Reize nötig werden um in der Wahrnehmung noch eine Veränderung hervorrufen zu können. Eine solche zunächst schnell steigende, sich dann aber asymptotisch einem festen Wert annähernde Beziehung kann gut durch die folgende Gleichung beschrieben werden (auch hier werden nicht alle im Rahmen der Gleichung möglichen Konstanten berücksichtigt). Auch logarithmische Funktionen wären hier denkbare Grundlagen für eine Formalisierung.

Gleichung 23:
Asymptotische Differentialgleichung

$$\dot{y} = \frac{a}{x^2} + b.$$

Werden für den Parameter a Werte kleiner Null gewählt, zeigt die zeitliche Veränderung von y das beschriebene Verhalten. Mit steigendem x steigt auch die zeitliche Veränderung von y zunächst nahezu proportional an. Wird x jedoch noch größer, verliert sich der Einfluss auf die zeitliche Veränderung von y zunehmend, bis für große x kaum mehr eine Veränderung in y festgestellt werden kann. Mit Hilfe des Parameters b können die Werte für \dot{y} parallel zur x -Achse verschoben werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Gleichung für $x = 0$ nicht definiert ist.

Die folgende Abbildung 73a zeigt wie sich \dot{y} in Abhängigkeit von x und für verschiedene Parameterwerte verhält. Für a sind auch Parameterwerte größer Null denkbar. In diesem Fall zeigt sich im Wesentlichen das gleiche Verhalten, nur dass sich diesmal kein positiver, sondern ein negativer Zusammenhang ergibt. Bei steigendem x verändert sich y zunächst stark negativ, bis auch hier für große x eine asymptotische Sättigung eintritt (vgl. Abbildung 73b).

Auch das Verhalten der hier beschriebenen nichtlinearen Gleichung hängt stark davon ab, ob sich x ebenfalls im Verlauf der Zeit verändert oder nicht. Ist dies nicht der Fall, ergibt sich für y im Wesentlichen das gleiche proportional von der Zeit abhängige Verhalten, wie es bereits für lineare Beziehungen beschrieben wurde:

Gleichung 24:
Lösung des asymptotischen Differentialgleichung

$$y = \left(\frac{a}{x^2} + b \right) t + y_0, \text{ für } a, b \text{ und } x \text{ als Konstanten.}$$

Interessanter fällt das Verhalten jedoch aus, wenn sich auch x zeitlich verändert. Dazu siehe unten auf Seite 285f.

⁹³ 1804 bis 1891

⁹⁴ 1801 bis 1887

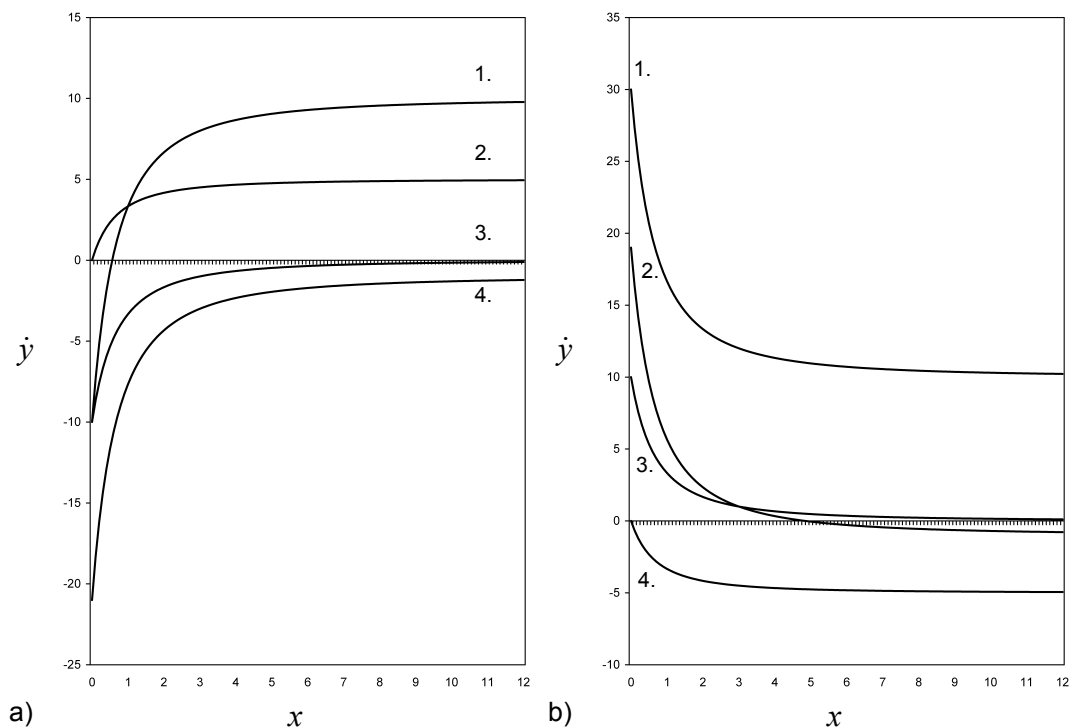


Abbildung 73: Asymptotische Funktionen

$$\dot{y} = \frac{a}{(x+1)^2} + b.$$

- a) 1.: $a = -20; b = 10$
 2.: $a = -5; b = 5$
 3.: $a = -10; b = 0$
 4.: $a = -20; b = -1$

- b) 1.: $a = 20; b = 10$
 2.: $a = 20; b = -1$
 3.: $a = 10; b = 0$
 4.: $a = 5; b = -5$

3. **Optimaler Arbeitsbereich.** Ebenfalls im Rahmen der Wahrnehmung beobachtbar, aber in analoger Weise auch für die zwischenmenschliche Kommunikation beschrieben, lassen sich eine große Anzahl von Phänomenen finden, die nur bei mittlerer Ausprägung der unabhängigen Variable zu Veränderungen in der abhängigen Variable anregen.

Wenn z.B. im Rahmen der zwischenmenschlichen Kommunikation von der Anschlussfähigkeit der Kommunikation die Rede ist, zeigt sich, dass der Inhalt einer Aussage zum vorher Gesagten, zum „roten Faden“ des Gespräches nach Möglichkeit passen sollte. Entspricht die Kommunikation jedoch exakt dem vorher Gesagten, ist sie wenig interessant und wird zu keiner Veränderung anregen. Sie sollte daher hinreichend andersartig und neu sein. Schießt ein Kommunikationspartner mit seinen Aussagen jedoch über das Ziel hinaus, ist seine Aussage zu andersartig, so verliert er den Anschluss an das Gespräch und es kommt ebenfalls nicht zur Anregung einer Veränderung. Nur im optimalen mittleren Bereich hat die Variable „Andersartigkeit“ einen Einfluss auf Veränderungsprozesse. Eine solche Beziehung kann gut durch eine umgekehrte Parabel dargestellt werden:

$$\dot{y} = a * (x * b + c)^2 + d.$$

Trotz der hier vorgestellten großen Anzahl an Parametern, ist das Verhalten der Gleichung relativ einfach beschreibbar. Die folgende Abbildungen 74a und b

Gleichung 25:
Parabolische Differentialgleichung

zeigen den Zusammenhang zwischen x und der zeitlichen Veränderung von y für verschiedene Parameterwerte. Der Parameter b bestimmt die Breite der Parabel. Ist er größer Eins, so wird die Parabel schmaler, bei Werten kleiner Eins breiter. Mit dem Parameter c lässt sich die Parabel in x -Richtung verschieben. Positive Werte führen zu einer entsprechenden Verschiebung in den negativen und negative Werte zu einer entsprechenden Verschiebung in den positiven Bereich der x -Achse. Mit dem Parameter d lässt sich die Parabel parallel zur x -Achse verschieben.

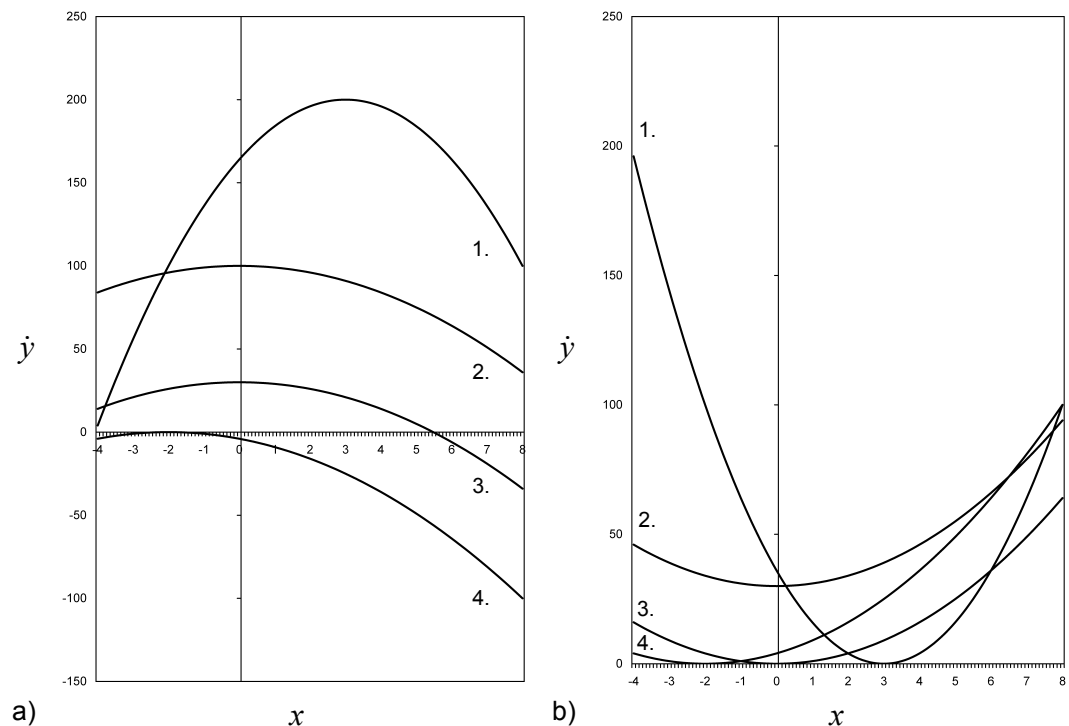


Abbildung 74: Parabelfunktionen

$$\dot{y} = a * (x * b + c)^2 + d.$$

- | | |
|--|--|
| a) 1.: $a = -1$; $b = 2$; $c = -6$; $d = 200$ | b) 1.: $a = 1$; $b = 2$; $c = 0$; $d = 0$ |
| 2.: $a = -1$; $b = 1$; $c = 0$; $d = 100$ | 2.: $a = 1$; $b = 1$; $c = 0$; $d = 30$ |
| 3.: $a = -1$; $b = 1$; $c = 0$; $d = 30$ | 3.: $a = 1$; $b = 1$; $c = 0$; $d = 0$ |
| 4.: $a = -1$; $b = 1$; $c = 0$; $d = 0$ | 4.: $a = 1$; $b = 1$; $c = 2$; $d = 0$ |

Ebenso wie für die bereits beschriebenen Gleichungen bestimmt auch hier der Parameter a , ob es sich um einen positiven oder um einen negativen Zusammenhang handelt. Im konkreten Fall der Parabel führt ein negatives a zur bereits beschriebenen Optimumfunktion, bei der es bevorzugt für mittlere Ausprägungen von x zu einer stark positiven Veränderung in y kommt. Für positive a zeigt sich im mittleren Bereich eine starke negative Veränderung in y .

Auch das Verhalten der hier beschriebenen Parabel-Gleichung hängt stark davon ab, ob sich x ebenfalls im Verlauf der Zeit verändert. Ist dies nicht der Fall, ergibt sich für y erneut ein proportional von der Zeit abhängiges Verhalten. Interessanter fällt die Dynamik jedoch aus, wenn sich auch x zeitlich verändert. Dazu siehe unten auf Seite 285f.

4. **Zunächst schwach, dann immer stärker – dramatische Überproportionalität.** Sowohl im Zusammenhang mit linearem als auch mit asymptotischem Verhalten wurden bereits zwei Möglichkeiten monoton steigender bzw. fallender Funktionen besprochen. Neben den bereits dargestellten Mechanismen, sind auch Funktionen denkbar, die bei geringen Werten in der unabhängigen Variable kaum zu Veränderungen in der abhängigen Variable führen, bei allmählich größer werdenden Werten in der unabhängigen Variable zunehmend explosionsartige Veränderungen in der abhängigen auslösen. Solches Verhalten ist z.B. für bestimmte Phobien denkbar. Während z.B. eine winzige Spinne auch bei einem Spinnenphobiker nur eine geringe Reaktion auslöst, nimmt die Angst jedoch mit der Größe der Spinne immer schneller zu und kann sich schließlich bis zur Panik steigern.

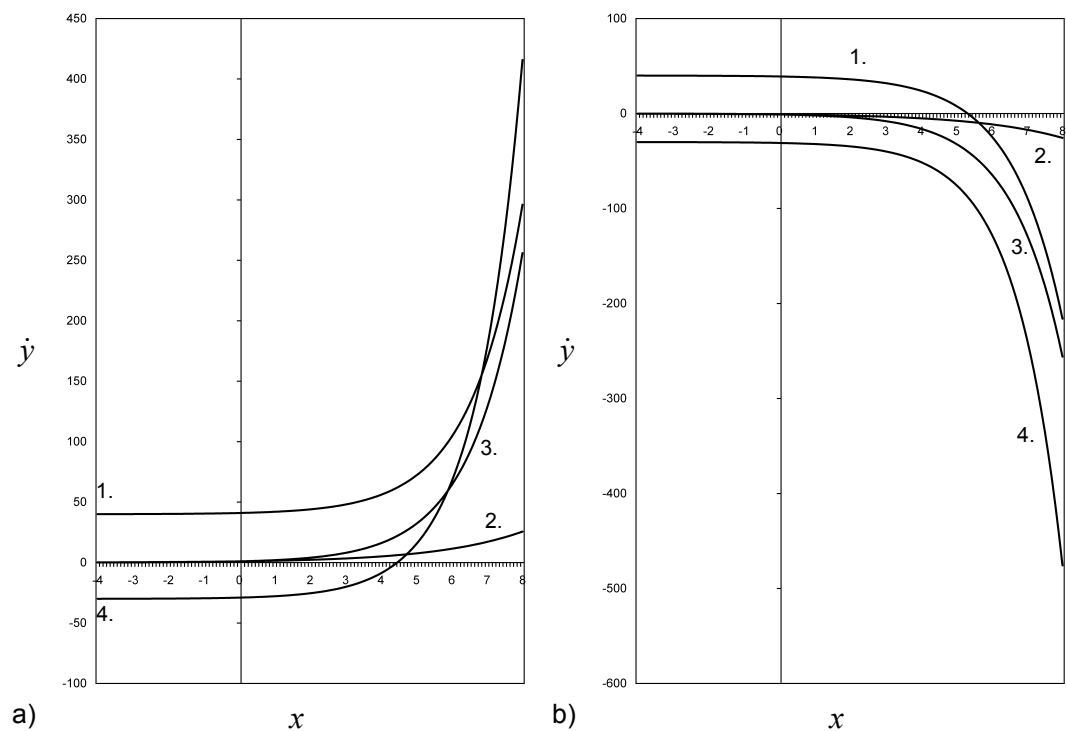


Abbildung 75: Potenzfunktionen

- $\dot{y} = ab^x + c.$
- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| a) 1.: $a = 1,0; b = 2,0; c = 40$ | b) 1.: $a = -1,0; b = 2,0; c = 40$ |
| 2.: $a = 1,0; b = 1,5; c = 0$ | 2.: $a = -1,0; b = 1,5; c = 0$ |
| 3.: $a = 1,0; b = 2,0; c = 0$ | 3.: $a = -1,0; b = 2,0; c = 0$ |
| 4.: $a = 1,0; b = 2,0; c = -30$ | 4.: $a = -1,0; b = 2,0; c = -30$ |

Auch die folgende Gleichung kann durch die Variation des Parameters a einmal als positiver und mal als negativer Zusammenhang beschrieben werden (auf weitere Parameter wurde weitgehend verzichtet).

Gleichung 26:
Potenzfunktion (Differentialgleichung)

$$\dot{y} = ab^x + c.$$

Ist a größer Null und b größer Eins, ergibt sich die beschriebene exponentielle Steigerung der Veränderung von y . Für a kleiner Null und b größer Eins, ergibt sich ein gegenteiliges Verhalten: Es kommt bei zunehmenden x zu einer sich beständig beschleunigenden Verringerung der y . Mittels des Parameters c lässt sich der Wertebereich parallel zur x -Achse verschieben. Die Abbildung 75a und b zeigt den Zusammenhang zwischen x und der zeitlichen Veränderung von y für verschiedene Parameterwerte.

Werden für b Werte kleiner Eins gewählt, so ergibt sich ein asymptotisches Verhalten, welches beschleunigt dazu beiträgt, dass sich y c annähert. Die Gleichung stellt dann eine Alternative zur oben bereits unter 2. besprochenen Funktion dar. Auch das Verhalten der hier beschriebenen Potenz-Funktion hängt stark davon ab, ob sich x im Verlauf der Zeit verändert. Ist dies nicht der Fall, ergibt sich auch hier ein proportional von der Zeit abhängiges Verhalten. Interessanter fällt die Dynamik jedoch aus, wenn sich auch x zeitlich verändert. Dazu siehe unten auf Seite 285f.

Obwohl die hier beschrieben vier Fälle nicht alle Möglichkeiten für die Modellierung der Beziehung zwischen einer unabhängigen und einer abhängigen Variable abdecken, dürften sie doch in einer Vielzahl der Fälle zumindest für ein grobes Modell genügen. In der Regel gibt es jedoch mehrere Möglichkeiten ein und das selbe Verhalten durch verschiedene Gleichungen zu modellieren. Dass dies zu weitreichenden Problemen bei der Interpretation der Modelle führen kann, wurde bereits besprochen (vgl. S. 247ff.). Aber auch Modelle, die zumindest ein plausibles Verhalten zeigen, stellen bereits lohnende Ansatzpunkte für weitere Bemühungen dar. Auf die Nützlichkeit von Simulationsmodellen für die Theoriebildung aber auch die praktische Einübung des Umgangs mit komplexen Systemen wurde ab Seite 255ff. bereits ausführlich eingegangen.

8.1.2 Wie sich die abhängige Variable verändert, wenn sich die unabhängige über die Zeit verändert

Ähnlich wie bei der oben bereits beschriebenen Einteilung von Interaktionen (vgl. S. 200f.) zwischen zwei Variablen in positive und negative Kovariation, gilt es analoge Prinzipien auch für die Modellierung komplexerer mathematischer Funktionen zu bedenken. Wird z.B. im linearen Fall von einer Kovariation gesprochen, so bedeutet dies, dass die Veränderung in der abhängigen Variable von der Veränderung in der unabhängigen Variable bestimmt wird. Veränderungen in der einen Variable führen zu Veränderungen in der anderen. In diesem Sinne soll zunächst der lineare Fall genauer untersucht werden. Wenn die zeitliche Veränderung von y (also \dot{y}) linear von x abhängt, ergibt sich folgender bereits bekannter Zusammenhang, bei dem a die Proportionalitätskonstante bezeichnet:

$$\dot{y} = ax.$$

Auf Grundlage der Gleichung lassen sich bereits zwei oben schon angesprochene Beobachtungen anstellen:

1. Ohne eine weitere Gleichung, die beschreibt, wie sich x mit der Zeit verändert (also eine Gleichung für \dot{x}), kann diese Gleichung nicht gelöst werden.
2. Der Wert der Variablen y wird nicht berechnet. Statt dessen ergibt sich die zeitliche Veränderung von y .

Für \dot{x} soll nun der folgende Zusammenhang angenommen werden, der die zeitliche Veränderung von x konstant hält:

$$\dot{x} = b.$$

Die Gleichung für \dot{x} besagt keinesfalls, dass x konstant bleibt. Dies ist nicht der Fall. x verändert sich beständig um jeweils einen konstanten Wert. In diesem Sinne ändert sich dann auch y permanent. Um zu einer Beschreibung dafür zu gelangen, welche Werte y nun tatsächlich annimmt, müssen beide Gleichungen integriert werden.

Es ergibt sich für x :

$$x = bt + x_0 \text{ und damit für } \dot{y}:$$

$$\dot{y} = a(bt + x_0) = abt + ax_0.$$

Wird nun auch diese Gleichung integriert, so ergibt sich die Bewegungsgleichung für y :

$$y = \frac{1}{2}abt^2 + ax_0t + y_0.$$

Während also x linear mit bt wächst, wächst y mit dem Quadrat von t . Sind die Startwerte für beide Variablen (x_0 und y_0) Null, fallen die hinteren (rechten) Terme weg, sodass sich schreiben lässt:

$$y = \frac{1}{2}abt^2, \text{ für } x_0 = 0 \text{ und } y_0 = 0.$$

Für $b = 0$, $b = 2$ und $b = -2$ zeigt die folgende Abbildung 76 die Abhängigkeit der y - von den x -Werten ($a = 1$). Für $b = 0$ bleiben sowohl x als auch y Null. Es kommt zu keiner zeitlichen Veränderung. Für das positive b zeigt sich ein quadratischer Anstieg und für das negative b eine quadratische Verringerung der y -Werte. Wird nun x_0 auf einen konstanten Startwert gesetzt, so wirken sowohl der quadratische als auch der lineare Term der Gleichung:

$$y = \frac{1}{2}abt^2 + ax_0t, \text{ für } x_0 \neq 0 \text{ und } y_0 = 0.$$

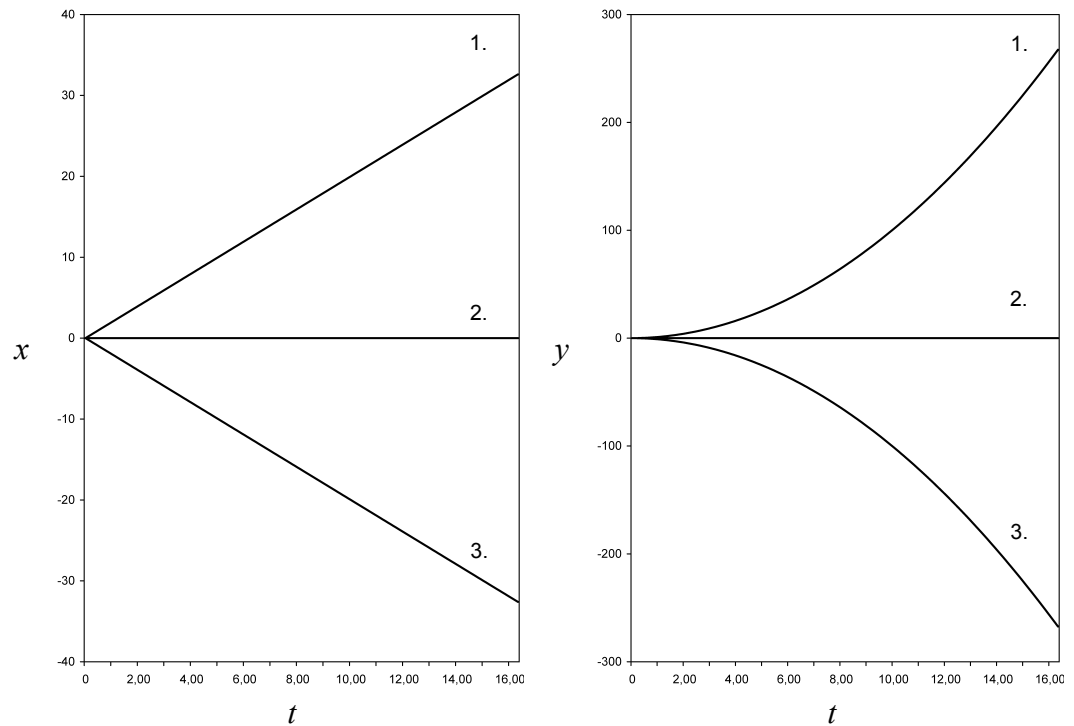


Abbildung 76: Bewegungsgleichungen für ein einfaches lineares Gleichungssystem I

$$\dot{x} = b; \quad \dot{y} = ax; \quad a = 1; \quad x_0 = 0; \quad y_0 = 0.$$

$$1.: b = 2$$

$$2.: b = 0$$

$$3.: b = -2$$

Auch für $b = 0$ zeigt sich in diesem Fall zumindest ein linearer Zuwachs von y , der allein von a abhängt. Für $x_0 = 10$ und $b = 0$, $b = 2$ bzw. $b = -2$ zeigt die folgende Abbildung 77 die Entwicklung der y -Werte (für $a = 1$). Man beachte hier die unterschiedlichen Verläufe für y im Vergleich zur vorstehenden Abbildung 76. Auch der Startwert von y ließe sich nun noch variieren, was aber nur eine Verschiebung der Ergebnisse auf der y -Achse bewirken würde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bereits lineare Zusammenhänge zu nichtlinearen zeitlichen Entwicklungen führen, die in Abhängigkeit von den jeweiligen Parametern und den Startwerten durchaus unterschiedlich, wenn auch von der Prozessgestalt her ähnlich ausfallen.

Die zeitliche Veränderung von y , bei einer konstanten Veränderung von x , kann jedoch auch *nichtlinearer* Natur sein. Der Einfachheit halber sei im Folgenden der Proportionalitätsfaktor a immer Eins, sodass er aus der Gleichung herausgelassen werden kann. Zudem werden wenig bedeutsame Parameter vernachlässigt. Die zeitliche Veränderung von y sei nun durch folgende quadratische Gleichung von x abhängig. Die Ableitung von x nach der Zeit sei weiterhin konstant.

$$\dot{y} = x^2.$$

$$\dot{x} = b.$$

Es folgt für \dot{y} aus dem Intergral von \dot{x} :

$$\dot{y} = (bt + x_0)^2 = b^2 t^2 + 2bx_0 t + x_0^2.$$

Durch Integration ergibt sich:

$$y = \frac{1}{3}b^2 t^3 + bx_0 t^2 + x_0^2 t + y_0.$$

In Abhängigkeit von den Parametern und den Startwerten kann y nun bereits die ganze Palette kubischen, quadratischen und linearen Verhaltens zeigen, wobei es zudem zu komplexen Überlagerungen dieses Verhaltens kommen kann. Die folgende Tabelle 6 stellt für weitere Beziehungen zwischen x und \dot{y} die jeweilige Bewegungsgleichung für y dar. Immer unter der Voraussetzung, dass sich \dot{x} nur konstant mit dem Parameter b verhält.

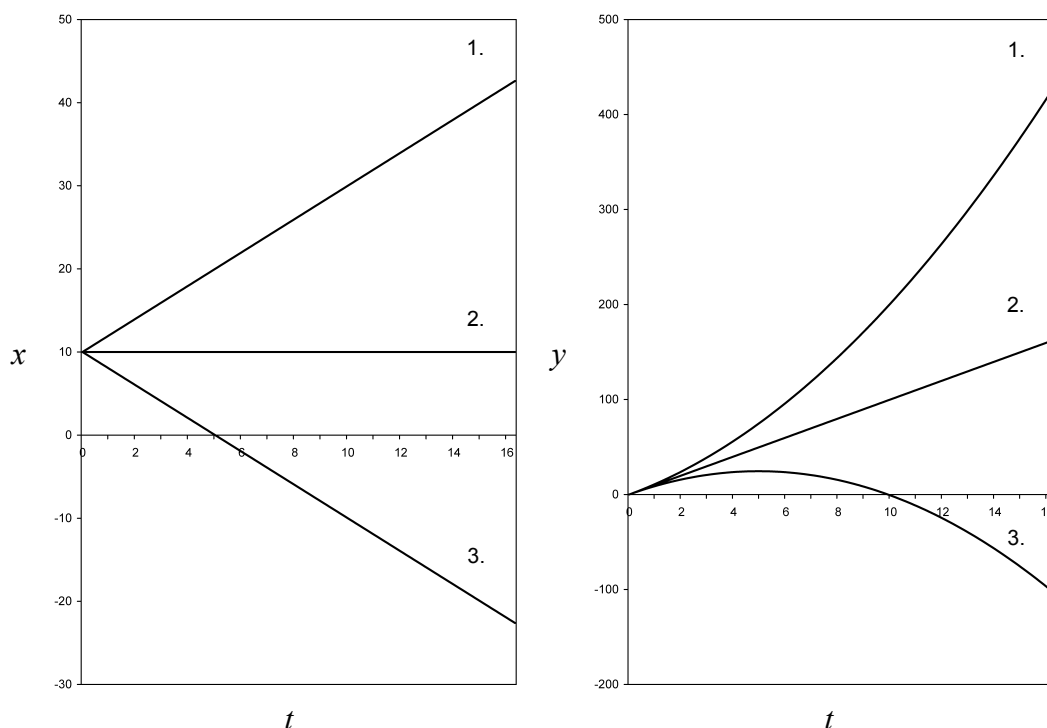


Abbildung 77: Bewegungsgleichungen für ein einfaches lineares Gleichungssystem II

$$\dot{x} = b; \quad \dot{y} = ax; \quad a = 1; \quad x_0 = 10; \quad y_0 = 0.$$

$$1.: \quad b = 2$$

$$2.: \quad b = 0$$

$$3.: \quad b = -2$$

Dass auch für \dot{x} komplexere zeitliche Veränderungen möglich sind, braucht nicht eigens betont zu werden. Noch einmal komplexer wird die Beschreibung der Dynamik, wenn nicht nur \dot{y} von x , sondern auch \dot{x} von y abhängt. Kommt noch eine weitere Variable hinzu, so ergeben sich schnell Modelle, wie z.B. das Lorenz-System.

tem (vgl. auch S. 97ff.), für die bei bestimmten Parameterwerten keine analytische, durch Integration bestimmbare Lösung mehr gefunden werden kann. Die Gleichungen für das Lorenz-System sind im Folgenden noch einmal angeführt:

Gleichung 27:
Lorenz-System

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -\sigma x + \sigma y \\ \dot{y} &= -xz + rx - y \\ \dot{z} &= xy - bz . \end{aligned}$$

Da solche Gleichungssysteme im Fall von Chaos nicht mehr analytisch gelöst werden können, ist eine Simulation unerlässlich. Auf die Möglichkeit, die Gleichungssysteme mittels des *Differentialquotienten* in iterative Gleichungssysteme zu überführen, wurde bereits auf Seite 140 eingegangen. Im folgenden Kapitel sollen die Grenzen dieses Verfahrens diskutiert und mögliche Alternativen kurz dargestellt werden.

\dot{x}	\dot{y}	x	y
$\dot{x} = b$	$\dot{y} = ax$	$x = bt + x_0$	$y = \frac{1}{2}abt^2 + ax_0t + y_0$
	$\dot{y} = x^2$		$y = \frac{1}{3}b^2t^3 + bx_0t^2 + x_0^2t + y_0$
	$\dot{y} = \frac{1}{x}$		$y = \ln(bt + x_0) + y_0$
	$\dot{y} = \frac{1}{x^2}$		$y = -\frac{1}{bt + x_0} + y_0$
	$\dot{y} = \sqrt{x}$		$y = \frac{2}{3b}\sqrt{(bt + x_0)^3} + y_0$
	$\dot{y} = \frac{1}{\sqrt{x}}$		$y = \frac{2}{b}\sqrt{bt + x_0} + y_0$

Tabelle 6: Lösungen für einfache dynamische Gleichungssysteme

Die Tabelle enthält die Bewegungsgleichungen für verschiedene dynamische Gleichungssysteme. Die zeitliche Veränderung der Variable x ist für alle Gleichungssysteme durch die gleiche Funktion gegeben. Variiert wird hingegen wie x auf die zeitliche Veränderung von y Einfluss nimmt.

8.1.3 Differenzgleichungen und das Runge-Kutta-Verfahren

Liegen die Gleichungen eines nichtlinearen dynamischen Systems in Form von Differentialgleichungssystemen erst einmal vor, so stellt sich die Frage, wie diese mathematische Theorie eigentlich zum Leben erweckt werden kann. Oben wurde bereits die grundsätzliche Möglichkeit angesprochen, Differentialgleichungen in Differenzgleichungen zu überführen (vgl. S. 140f.). Ein solches Verfahren wurde z.B. auch von der Arbeitsgruppe um Günter Schiepek zur Simulation schizophrener Krankheitsverläufe genutzt (Schiepek & Schoppek 1991, Schiepek & Schoppek 1992, Schiepek, Schoppek & Tretter 1992).

Große Zeitintervalle sind ungenau, kleine führen zu Rundungsfehlern

Die Möglichkeiten zur Approximation der Dynamik durch Differenzengleichungen ist jedoch beschränkt. So hängt die Genauigkeit der Approximation sehr stark vom gewählten Zeitintervall ab. Erst wenn dieses ausreichend klein gewählt wird, ist die Genauigkeit befriedigend. Allerdings ergeben sich für kleine Zeitintervalle neue Ungenauigkeiten, nämlich über Rundungsfehler bei der Berechnung. In diesem Sinne empfiehlt sich eine mittlere zeitliche Auflösung, die klein genug ist um auch feine zeitliche Veränderungen aufzulösen und gleichzeitig groß genug ist um eskalierende Rundungsfehlerkaskaden zu vermeiden. Besonders in chaotischen Systemen wirken sich solche Rundungsfehler dramatisch aus.

Im Folgenden soll das Verfahren der Überführung von Differentialgleichungen in Differenzengleichungen noch einmal zusammenfassend dargestellt werden, bevor als Alternative für dieses Vorgehen das Näherungsverfahren nach Runge-Kutta dargestellt wird:

Da die Ableitung einer Funktion $f(x_t)$ nach t nichts anderes ist als die Grenzwertbildung des Differenzenquotienten bei dt gegen Null, kann, wenn dt nicht ganz gegen Null geht, die Gleichung nach x_{t+dt} umgestellt werden, sodass aus der zu integrierenden Funktion und einem beliebigen Zeitpunkt jeder Zustand der Variable zum nächsten Zeitpunkt, der genau um dt weiter liegt, berechnet werden kann. Dazu muss zunächst die zu lösende Differentialgleichung bekannt sein. Wenn als Ausgangsgleichung die folgende Gleichung betrachtet wird:

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{dx}{dt} = x^2 t,$$

ergibt sich dx direkt durch:

$$\lim_{dt \rightarrow 0} dx = x^2 t dt.$$

Wird nun für dt nicht der Grenzwert für dt gegen Null gewählt, sondern eine größere Zahl, wie z.B. 0,1 so erhält man eine Näherung für die Veränderung von x im gegebenen zeitlichen Intervall. In diesem Fall werden an Stelle der Bezeichnungen dt und dx die Bezeichnungen Δt und Δx benutzt, so dass sich ergibt:

$$\Delta x = x^2 t \Delta t.$$

Soll nun x und nicht nur Δx bestimmt werden, genügt es zum vorhergehenden Wert für x den Wert für Δx zu addieren:

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \Delta x.$$

Ein solches einfaches Näherungsverfahren funktioniert natürlich auch für kompliziertere Gleichungssysteme. So lautet das Differenzengleichungssystem für das Lorenz-System wie folgt: Die Differentialgleichungen

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -\sigma x + \sigma y \\ \dot{y} &= -xz + rx - y \\ \dot{z} &= xy - bz,\end{aligned}$$

werden durch das genannte Verfahren zu

$$\begin{aligned}x_{t+\Delta t} &= x_t + (-\sigma x_t + \sigma y_t)\Delta t \\y_{t+\Delta t} &= y_t + (-x_t z_t + r x_t - y_t)\Delta t \\z_{t+\Delta t} &= z_t + (x_t y_t - b z_t)\Delta t,\end{aligned}$$

Der Approximationsfehler wächst bei Differenzgleichungen mit dem Quadrat des Zeitintervalls

sodass eine relativ einfache Berechnung der Dynamik möglich wird. Allerdings ist das Verfahren nur dann eine gute Näherung, wenn sich innerhalb des gewählten Intervalls keine dramatischen Veränderungen in der Dynamik ergeben. Dies kann zumindest teilweise sicher gestellt werden, indem Δt möglichst klein gewählt wird. Wie schon erwähnt, steigt dann aber die Gefahr für Rundungsfehler. Im Allgemeinen besitzt das Verfahren einen Verfahrensfehler, der sich durch nicht berücksichtigte Veränderungen innerhalb des Intervalls ergibt und mit dem Quadrat von Δt wächst.

Das Mid-Point-Verfahren

Weitaus genauer ist das *Runge-Kutta-Verfahren*. Die einfachste Möglichkeit zur Anwendung des Runge-Kutta-Verfahrens besteht in der Mittelung von zwei möglichen vorhergesagten Steigungen. Auf Grund der vorgenommenen Mittelung heißt das Verfahren auch *Mid-Point-Verfahren*. Zunächst wird, wie bereits bekannt, die Steigung für Δt bestimmt, sodass sich für die oben genannte quadratische Gleichung eine als Hilfssteigung bezeichnete Größe Δx_1 ergibt. Für

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{dx}{dt} = x^2 t,$$

lässt sich die 1. Hilfssteigung wie folgt angeben (diese Berechnung ist mit der Berechnung über den Differenzenquotienten identisch):

$$\Delta x_1 = x_t^2 t \Delta t.$$

Nun wird diese Hilfssteigung benutzt um eine zweite Hilfssteigung Δx_2 zu bestimmen. Da sich aber nicht nur x verändert, sondern auch t , muss zu beiden die jeweils passende Veränderung addiert werden:

$$\Delta x_2 = ((x_t + \Delta x_1)^2 t + \Delta t) \Delta t.$$

Diese beiden Steigungen werden gemittelt und zur Bestimmung des Folgepunktes benutzt, sodass sich ergibt:

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \frac{1}{2}(\Delta x_1 + \Delta x_2).$$

Auch für das Lorenz-System lässt sich dieses Verfahren leicht anwenden (vgl. Haken & Wunderlin 1991, S. 455):

$$\begin{aligned}\Delta x_1 &= (-\sigma x_t + \sigma y_t)\Delta t \\ \Delta y_1 &= (-x_t z_t + r x_t - y_t)\Delta t \\ \Delta z_1 &= (x_t y_t - b z_t)\Delta t\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta x_2 &= (-\sigma(x_t + \Delta x_1) + \sigma(y_t + \Delta y_1))\Delta t \\ \Delta y_2 &= -(x_t + \Delta x_1)(z_t + \Delta z_1) + r(x_t + \Delta x_1) - (y_t + \Delta y_1)\Delta t \\ \Delta z_2 &= ((x_t + \Delta x_1)(y_t + \Delta y_1) - b(z_t + \Delta z_1))\Delta t.\end{aligned}$$

Aus den Mittelwerten der Hilfssteigungen ergibt sich dann jeweils der neue Punkt:

$$\begin{aligned}x_{t+\Delta t} &= x_t + \frac{1}{2}(\Delta x_1 + \Delta x_2) \\ y_{t+\Delta t} &= y_t + \frac{1}{2}(\Delta y_1 + \Delta y_2) \\ z_{t+\Delta t} &= z_t + \frac{1}{2}(\Delta z_1 + \Delta z_2).\end{aligned}$$

Obwohl bedeutend genauer als eine Approximation über Differenzgleichungen, ergibt sich auch für das Mid-Point-Verfahren noch ein beträchtlicher Verfahrensfehler. Der Verfahrensfehler kann angegeben werden mit Δt^3 . Nun gibt es aber keinen Grund bereits bei zwei Hilfssteigungen aufzuhören.

Das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung

Das allgemein übliche *Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung* stützt sich nicht nur auf zwei Schätzungen für Δx im Intervall von Δt , sondern verwendet Halbschritte, bei denen insgesamt vier Steigungen Δx_1 , Δx_2 , Δx_3 und Δx_4 ermittelt werden. Ein gewichtetes arithmetisches Mittel aus diesen Hilfssteigungen ergibt dann eine noch einmal bessere Schätzung für Δx :

$$\Delta x = \frac{1}{6}(\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + 2\Delta x_3 + \Delta x_4).$$

Insbesondere durch die doppelte Gewichtung der beiden mittleren Steigungen wird ein spürbarer zusätzlicher Genauigkeitsgewinn erzielt. Zunächst wird Δx_1 nach dem bekannten Verfahren ermittelt. Für die Bestimmung der zweiten Hilfssteigung wird nun aber nicht Δx_1 als ganzes zum Startwert x_t hinzugezählt, sondern nur die Hälfte. Als Beispiel wird die oben schon mehrfach angeführte folgende Gleichung gewählt:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dx}{dt} = x^2 t.$$

Die 1. Hilfssteigung lässt sich wie folgt angeben. Auch hier ist die Berechnung der ersten Steigung identisch mit der Berechnung über den Differenzenquotienten:

$$\Delta x_1 = x_t^2 t \Delta t.$$

Nun wird die Hälfte dieser Hilfssteigung benutzt, um eine zweite Hilfssteigung Δx_2 zu bestimmen:

$$\Delta x_2 = \left(\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_1 \right)^2 t + \frac{1}{2} \Delta t \right) \Delta t.$$

Auch die Hälfte der 2. Hilfssteigung wird nun benutzt, um eine weitere Hilfssteigung zu ermitteln:

$$\Delta x_3 = \left(\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_2 \right)^2 t + \frac{1}{2} \Delta t \right) \Delta t .$$

Erst die 3. Hilfssteigung dient nun dazu einen gesamten Schritt zu gehen:

$$\Delta x_4 = \left((x_t + \Delta x_3)^2 t + \Delta t \right) \Delta t .$$

Nun genügt es die ermittelten vier Hilfssteigungen gewichtet zu mitteln und zum Ausgangswert zu addieren, um den Folgewert zu erhalten:

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \frac{1}{6} (\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + 2\Delta x_3 + \Delta x_4) .$$

Für den allgemeinen Fall können die vorgestellten Verfahren wie folgt formalisiert werden. Ist eine Differentialfunktion der folgenden Form gegeben

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{dx}{dt} = f(x_t, t_t) ,$$

so berechnet sich ein Folgewert nach dem Differenzenquotienten über den folgenden Zusammenhang:

Gleichung 28:
Approximation durch
Differenzenquotient

$$\Delta x = f(x_t, t_t) \Delta t$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \Delta x .$$

Für das Mid-Point-Verfahren gelten die folgenden Gleichungen:

Gleichung 29:
Approximation durch
das Mid-Point-
Verfahren

$$\Delta x_1 = f(x_t, t_t) \Delta t$$

$$\Delta x_2 = f\left(x_t + \Delta x_1, t_t + \Delta t\right) \Delta t$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \frac{1}{2} (\Delta x_1 + \Delta x_2) .$$

Schließlich können für das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung die folgenden Gleichungen angegeben werden:

Gleichung 30:
Approximation durch
das Runge-Kutta-
Verfahren 4. Ordnung

$$\Delta x_1 = f(x_t, t_t) \Delta t$$

$$\Delta x_2 = f\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_1, t_t + \frac{1}{2} \Delta t\right) \Delta t$$

$$\Delta x_3 = f\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_2, t_t + \frac{1}{2} \Delta t\right) \Delta t$$

$$\Delta x_4 = f(x_t + \Delta x_3, t_t + \Delta t) \Delta t$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \frac{1}{6} (\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + 2\Delta x_3 + \Delta x_4) .$$

Wird nun das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung auf das Lorenz-System angewendet ergibt sich:

$$\Delta x_1 = (-\sigma x_t + \sigma y_t) \Delta t$$

$$\Delta y_1 = (-x_t z_t + r x_t - y_t) \Delta t$$

$$\Delta z_1 = (x_t y_t - b z_t) \Delta t$$

$$\Delta x_2 = \left(-\sigma \left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_1\right) + \sigma \left(y_t + \frac{1}{2} \Delta y_1\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta y_2 = \left(-\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_1\right) \left(z_t + \frac{1}{2} \Delta z_1\right) + r \left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_1\right) - \left(y_t + \frac{1}{2} \Delta y_1\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta z_2 = \left(\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_1\right) \left(y_t + \frac{1}{2} \Delta y_1\right) - b \left(z_t + \frac{1}{2} \Delta z_1\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta x_3 = \left(-\sigma \left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_2\right) + \sigma \left(y_t + \frac{1}{2} \Delta y_2\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta y_3 = \left(-\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_2\right) \left(z_t + \frac{1}{2} \Delta z_2\right) + r \left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_2\right) - \left(y_t + \frac{1}{2} \Delta y_2\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta z_3 = \left(\left(x_t + \frac{1}{2} \Delta x_2\right) \left(y_t + \frac{1}{2} \Delta y_2\right) - b \left(z_t + \frac{1}{2} \Delta z_2\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta x_4 = \left(-\sigma \left(x_t + \Delta x_3\right) + \sigma \left(y_t + \Delta y_3\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta y_4 = \left(-\left(x_t + \Delta x_3\right) \left(z_t + \Delta z_3\right) + r \left(x_t + \Delta x_3\right) - \left(y_t + \Delta y_3\right)\right) \Delta t$$

$$\Delta z_4 = \left(\left(x_t + \Delta x_3\right) \left(y_t + \Delta y_3\right) - b \left(z_t + \Delta z_3\right)\right) \Delta t$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \frac{1}{6} \left(\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + 2\Delta x_3 + \Delta x_4\right)$$

$$y_{t+\Delta t} = y_t + \frac{1}{6} \left(\Delta y_1 + 2\Delta y_2 + 2\Delta y_3 + \Delta y_4\right)$$

$$z_{t+\Delta t} = z_t + \frac{1}{6} \left(\Delta z_1 + 2\Delta z_2 + 2\Delta z_3 + \Delta z_4\right).$$

Zum Vergleich der drei Verfahren wurden für das Lorenz-System alle drei Approximationsmethoden angewendet. Die folgende Abbildung 78 zeigt, dass sich gravierende Unterschiede zwischen der Berechnung über Differenzgleichungen und den beiden anderen Verfahren ergeben. Die Unterschiede zwischen den beiden Runge-Kutta-Methoden sind jedoch verschwindend gering. Der Verfahrensfehler für das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung kann mit Δt^5 angegeben werden und liegt damit bedeutend unter dem der anderen vorgestellten Verfahren. Aber auch hier gilt, dass eine genügend hohe Genauigkeit nur für kleine Δt erreicht werden kann.

Kontrolle des Verfahrensfehlers

Genauso wie für die anderen Verfahren auch, lässt sich auch für das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung zeigen, dass gerade bei dramatischen Veränderungen im Verlauf der Daten, der Verfahrensfehler zunimmt, während er bei geringen Veränderungen abnimmt. Starke Veränderungen führen also schnell dazu, dass auch innerhalb des Intervalls relevante Veränderungen auftreten, die dann aber keine Beachtung finden. Um solche unterschiedlichen Verfahrensfehler zu vermeiden, sind Methoden vorgeschlagen worden, die es erlauben Δt an die Dynamik so anzupassen, dass sich keine großen Schwankungen im Verfahrensfehler mehr ergeben können.

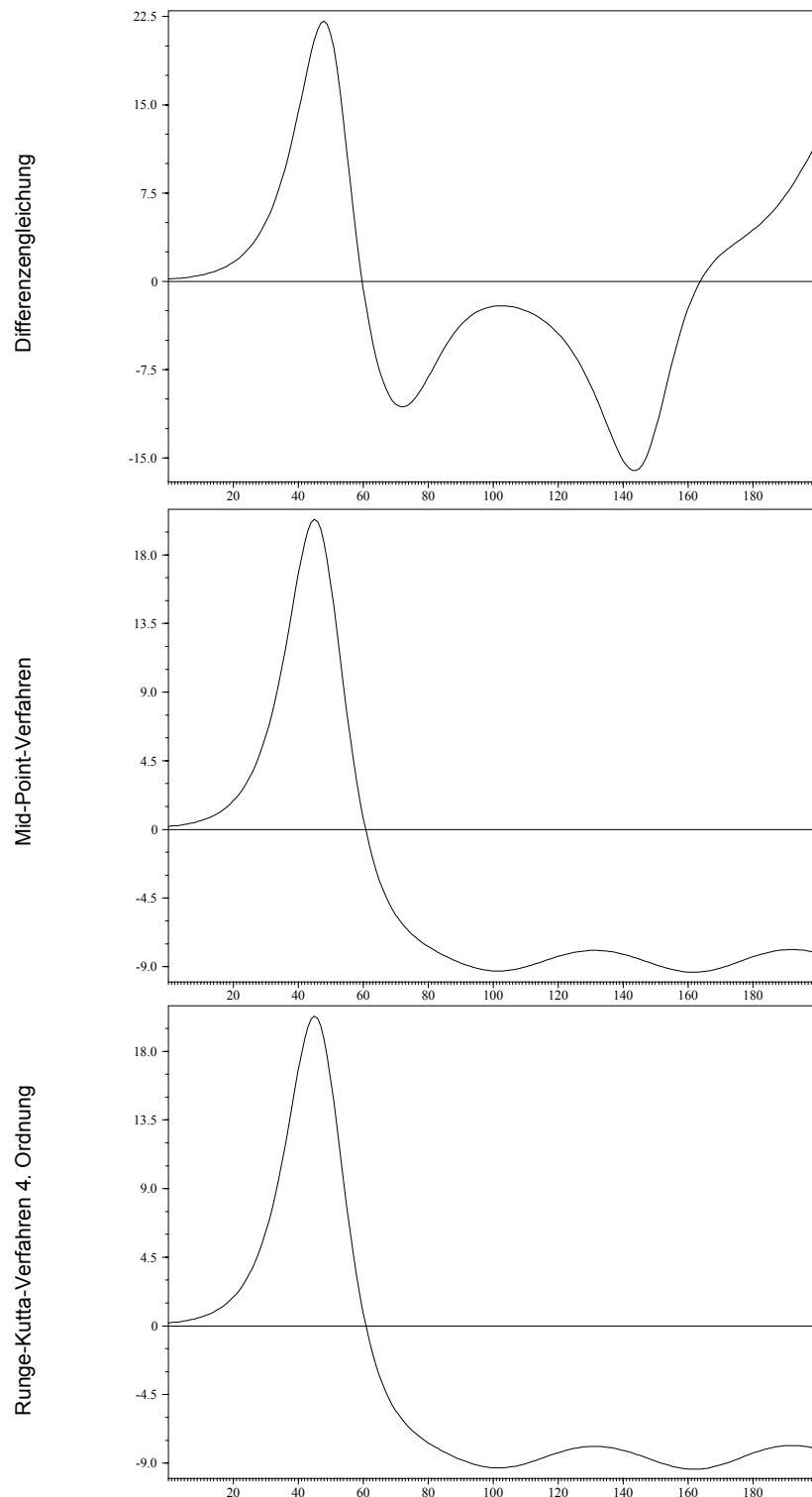


Abbildung 78: Approximationen der Zeitreihen für das Lorenz-System mit verschiedenen Verfahren

In der Abbildung sind die ersten 200 Datenpunkte für die x-Variable des Lorenzsystems für verschiedene Approximationsverfahren wiedergegeben. Gestartet wurden die Berechnungen jeweils mit einem Wert von Null für alle drei Variablen. Das Berechnungsintervall zwischen zwei Datenpunkten beträgt 0,01. Große Unterschiede zeigen sich zwischen der Berechnung über Differenzgleichungen und den anderen beiden Verfahren. Die Unterschiede zwischen dem Mid-Point- und Runge-Kutta-Verfahren sind verschwindend gering und schaukeln sich auch nicht auf. Sie liegen bei einer Größenordnung von 0,03 (mittlere Differenz zwischen den Werten der beiden Verfahren).

Die Kontrolle des Verfahrensfehlers kann über die Berechnung einer geeigneten Kenngröße erreicht werden. Diese Kenngröße K kann z.B. leicht aus den Hilfssteigungen ermittelt werden:

$$K = 0,5 \frac{\Delta x_3 - \Delta x_2}{\Delta x_2 - \Delta x_1}.$$

- Ist $K > 0,100$ dann sollte Δt halbiert und die Berechnung für diesen Schritt wiederholt werden.
- Ist $K < 0,025$ dann kann die Berechnung akzeptiert werden. Δt kann für den nächsten Schritt jedoch verdoppelt werden.
- Liegt K zwischen den genannten Grenzen, so ist keine Änderung für Δt erforderlich.

8.1.4 Simulation mittels Differentialgleichungssystemen

Die wohl eleganteste und mathematisch sauberste Methode der Simulation nichtlinearer dynamischer Gleichungssysteme besteht darin, die Gleichungen direkt in einer Simulation umzusetzen. Dabei können, da es sich bei den Gleichungen ja noch nicht um die Bewegungsgleichungen des Systems handelt, Methoden der numerischen Integration angewendet werden, wie sie im vorhergehenden Kapitel beschreiben wurden. Die Möglichkeiten reichen hier von einer einfachen Integration über Differenzgleichungen bis hin zu Runge-Kutta-Verfahren höherer Ordnung, die zudem mit Schrittweitenanpassung zur gleichmäßigen Minimierung des Verfahrensfehlers arbeiten. Auch im klinisch psychologischen und medizinischen Bereich liegen Simulationsmodelle vor, die auf Differentialgleichungssystemen beruhen. Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über einige frühe Arbeiten.

- Periodische Krankheiten (der Begriff geht auf Reimann 1963 zurück) der Blutbildung, wie die chronische periodische myelogene Leukämie (Gatti et al. 1972), oder die zyklische Neutropenie (Guerry et al. 1973) wurden mittels dynamischer Systemmodelle beschrieben (Mackey 1978).
- Dynamische Modelle existieren außerdem zur Beschreibung für die Produktion von Cortisol und ACTH mittels der Modellierung des Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Systems (an der Heiden 1992a, 1992c).
- Systemmodelle erklären die Epilepsie-Entstehung auf der Basis Penicillin-induzierter GABA-Rezeptoren-Blockaden (Mackey & an der Heiden 1982).
- Chronobiologische Prozesse wurden auf Grundlage nichtlinearer dynamischer Modelle beschrieben (z.B. Saunders 1977, Hess & Boiteux 1980, Babloyantz 1990, Are'chiga 1993).
- Simulationsmodelle existieren für die verschiedenen empirisch beobachtbaren Verlaufsformen der Schizophrenie (Schiepek & Schoppek 1991, Schiepek & Schoppek 1992, Schiepek, Schoppek & Tretter 1992) und für die Entwicklung von uni- und bipolaren Depressionen (Schiepek & Schaub

1991, Schaub & Schiepek 1992; vgl. auch Schiepek 1999a, S. 290ff. für ein Modell zur Schizophrenie, S. 302 für ein Depressionsmodell, S. 306 für Hinweise auf ein Modell zu Beschreibung der Alkoholabhängigkeit).

- Ein schizophrener Krankheitsverlauf aus dem „Soteria-Projekt“ der Sozialpsychiatrischen Universitätsklinik Bern wurde zunächst als idiographisches Systemmodell erfasst und dann in Form einer Computersimulation nachgestellt. (Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit von Ciompi, Ambühl, Schiepek und Schoppek. Veröffentlicht in Schiepek & Strunk 1994).
- Beziehungsprobleme von Paaren und das familientherapeutische Konzept der Triangulation lassen sich mittels dynamisch-mathematischer Modelle nach dem Vorbild der Räuber-Beute-Systeme formalisieren (Kriz 1990, Kriz 1992).

Ein Beispiel: Systemmodell einer Spielsucht

Anhand des folgenden Beispiels soll verdeutlicht werden, wie in der Psychologie eine einfache systemwissenschaftliche Modellbildung mittels Differentialgleichungssystemen, die in Differenzgleichungen überführt werden, möglich ist. Gleichzeitig verweist das Beispiel jedoch auf einige grundsätzliche Schwächen und häufig auftretende Probleme, die kurz diskutiert werden sollen.

Die Grundlagen für das Systemmodell wurden im Rahmen eines von Schiepek und Strunk geleiteten Seminars in einer Klinik im Hochsauerlandkreis erhoben. Im Rahmen des Seminars wurden Interviews mit Klienten zur Dynamik ihrer Krankheit durchgeführt, anhand derer in Zusammenarbeit mit den Klienten Systemmodelle aufgestellt wurden. Eines der Modelle, das eines ca. 30-jährigen spielsüchtigen Postangestellten, der zum zweiten Mal wegen seiner Spielsucht in der Klinik war, wurde daraufhin mathematisch formalisiert und an einem Computer simuliert. Das Interview fand am Ende der Therapie statt und war lösungsorientiert, d.h., dass der Klient nach einer kurzen Beschreibung des Problems danach befragt wurde, wie er seinen Weg aus der Spielsucht beschreiben würde. Wichtige Stationen seiner Entwicklung aus der Sucht wurden herausgearbeitet, und wichtige Determinanten dieses Prozesses benannt. Die einzelnen Größen wurden an einer Tafel gesammelt und in Beziehung zu einander gesetzt.

Auf diese Weise konnten letztendlich wesentliche Systemkomponenten des Systems ermittelt und beschrieben werden. Graphisch dienen dann Pfeile zur Abbildung von Relationen zwischen den Systemkomponenten (vgl. Abbildung 79). In einem weiteren Schritt wurde dann die jeweilige Qualität der einzelnen Relationen vom Klienten erfragt. So wird er z.B. danach gefragt, ob ein positives Selbstbewusstsein ihn zuverlässiger oder unzuverlässiger macht. Ziel ist es hier zunächst die Relationen in positive und negative Kovariationen einzuteilen. Weitere nicht ins Modell eingezeichnete Informationen beziehen sich auf die Stärke der Zusammenhänge, wie schnell sich was verändert und wie diese Veränderung beschrieben werden kann etc. Das endgültige Modell wurde weitestgehend mit dem Klienten entwickelt, der sich schnell in die „Spielregeln“ der Modellbildung einfindet. Insgesamt dauerte das Gespräch nicht länger als eine Stunde.

Aufbauend auf diesen Informationen konnte ein mathematisches Gleichungssystem formuliert werden, welches das beschriebene Verhalten relativ gut abbildet. Der Klient wurde in einem weiteren Gespräch mit dem computersimulierten Mo-

dell konfrontiert, in dem er sich durchaus wiederfand. Allerdings war die Rückmeldung der Simulation in der Seminargruppe umstritten. Die Konfrontation eines Klienten mit einem Computermodell seiner wichtigsten Lebensbereiche wurde von vielen als problematisch angesehen.

Das System besteht aus einer Sammlung von Teufelskreisen

Untersucht man die Struktur des Systems, die in Abbildung 79 wiedergegeben ist, so können zwei gegenläufige Szenarien beschrieben werden, die beide in relativ stabile Attraktoren führen. Das eine Szenario führt in die Sucht, das andere aus ihr heraus. Beide Szenarien sind dabei Ausdruck der selben Systemstruktur. Kern und Ausgangspunkt vor allem negativer Entwicklungen sind die „kritischen Gefühle“. Die „kritischen Gefühle“ treten unvermittelt und immer wieder mal auf und sind direkt mit dem Wunsch zu „Spielen“ verbunden. Unter dem Begriff „kritische Gefühle“ fasst der Klient einen nicht näher beschreibbaren Zustand der Haltlosigkeit und depressiv-frustrierten Verstimmung zusammen, der zum einem zum „Spielen“ führt, vom „Spielen“ selbst aber nur noch mehr verstärkt wird.

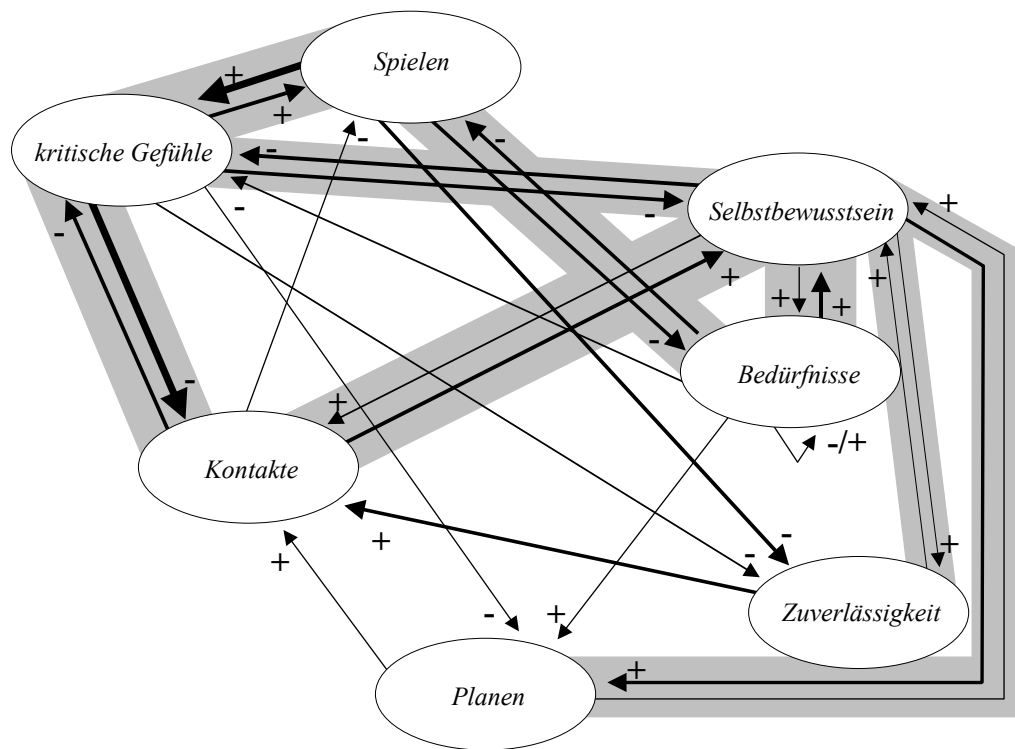


Abbildung 79: Systemmodell eines Spielsüchtigen Klienten

Das in der Abbildung dargestellte Modell wurde durch ein Interview mit einem 30-jährigen Spielsüchtigen über die Dynamik seines Weges aus der Sucht entwickelt. Die Namen der Variablen und ihre inhaltliche Bedeutung ergaben sich aus dem Gespräch. So bezeichnet der Begriff „kritische Gefühle“ einen vom Interviewten nicht näher beschreibbaren Zustand der Haltlosigkeit und depressiv-frustrierten Verstimmung, der zum einem zum „Spielen“ führt, vom „Spielen“ selbst aber nur verstärkt wird. Mit „Kontakte“ sind zwischenmenschliche Kontakte gemeint, die ihm helfen „kritischen Gefühle“ zu vermeiden, die aber beim Vorliegen von „kritischen Gefühlen“ von ihm vernachlässigt werden. Die „Zuverlässigkeit“ bezieht sich vor allem auf seine berufliche Zuverlässigkeit, die sowohl durch die „kritischen Gefühle“ als auch das „Spielen“ abnimmt. In der Therapie hatte er gelernt selbstbewusster zu sein und mehr auf eigene „Bedürfnisse“ zu achten, was vor allem zur Vermeidung der Ersatzbefriedigung „Spielen“ führt. Die grau hervorgehobenen Pfade zeigen gleichgerichtete gegenseitige Rückkopplungsschleifen auf.

Die Teufelskreiskoppelung zwischen „kritischen Gefühlen“ und „Spielen“ hat einen entsprechend kontrollierenden Einfluss auf das Gesamtsystem. Die Stärke der Koppelung zwischen beiden kann als wichtiger Kontrollparameter verstanden werden. In der Therapie erlernte der Klient Techniken des Gedankenstopps, um die Koppelung zwischen den „kritischen Gefühlen“ und dem „Spielen“ zu schwächen. Kommt es dennoch zum „Spielen“, so steigen die „kritischen Gefühle“ und das „Spielen“ durch die gegenseitige positive Verstärkung enorm an.

Ein weiterer Teufelskreis führt dazu, dass bei einem Anstieg der „kritischen Gefühle“ die „Sozialkontakte“ abnehmen, was zu einer weiteren Steigerung der „kritischen Gefühle“ führt. Im weiteren Verlauf zeigt sich, dass das Pluszeichen als gleichgerichtete Kovariation zu interpretieren ist. In diesem Sinne führt dann ein Verlust an „Kontakten“ auch zu einem Verlust an „Selbstbewusstsein“. Im Sinne eines weiteren Teufelskreises führt der Verlust an „Selbstbewusstsein“ aber auch umgekehrt zum Verlust an „Kontakten“. Ein Sinken seiner beruflichen „Zuverlässigkeit“, welches sich durch die steigende Spielaktivität und die steigenden „kritischen Gefühle“ ergibt, führt zur einer zusätzlichen Minderung des „Selbstbewusstseins“.

Nun ergibt sich aus einer Minderung des „Selbstbewusstseins“ zudem eine Verringerung in der Fähigkeit anderen „Bedürfnissen“ neben dem „Spielen“ einen Raum zu geben. Dies schwächt das „Selbstbewusstsein“ noch mehr und führt erneut zu einer Steigerung der Spieltätigkeit, was dann zur weiteren Unterdrückung anderer „Bedürfnisse“ beiträgt. Damit schließt sich der Kreis in die Spielsucht.

Bereits der Spielstopp, der mit einem Klinikaufenthalt verbunden ist stellt eine wichtige Intervention dar

Der Klient suchte, nachdem er nach einer ersten Behandlung rückfällig geworden war, freiwillig wieder die Klinik auf. Damit ging ein sofortiger Spielstopp einher. Obwohl die Variable „Spielen“ damit keine Wirkung mehr im System entfaltet, muss allerdings festgestellt werden, dass die Variable damit nicht wirklich aus dem Leben des Klienten verschwunden ist. Durch den Aufenthalt in der Klinik wird er vielmehr daran gehindert zu spielen. Im mathematisch formalisierten Simulationsmodell zeigt sich recht deutlich, dass es genügt, einen erzwungenen Spielstopp durchzusetzen, damit sich das System von selbst normalisiert.

Für eine therapeutische Hilfe können aus dem Modell Hypothesen abgeleitet werden, welche Interventionen an welcher Variablen am sinnvollsten erscheint. Besonders die Intervention am „Selbstbewusstsein“ scheint hier, vor dem Hintergrund des Strukturmodells des Systems von Bedeutung. Relativ viele Koppelungen gehen von dieser Variable aus, die alle in Richtung einer Verbesserung des Zustandes wirken. Direkte Rückkopplungen über die Bedürfnisse und Kontakte wirken dabei selbstheilend. Weitere Rückkopplungen führen in der Folge zurück in einen relativ stabilen, als angenehm erlebten suchtfreien Attraktor. Damit sind allerdings erst die Grundlagen gelegt, vor deren Hintergrund der Klient lernen kann die Koppelungen zwischen den Systemelementen so zu gestalten, dass er nicht erneut in die Sucht gerät. So muss vor allem die Koppelung zwischen kritischen Gefühlen und Spielsucht geschwächt werden.

Die mathematische Formalisierung

Die mathematische Formalisierung selbst ist nicht sonderlich kompliziert (siehe unten). Einzige Ausnahmen bilden zwei Begrenzungsterme bei der Modellierung der „Bedürfnisse“. Der erste der beiden Terme zeigt, wie sich die „Bedürfnisse“ in Abhängigkeit von den „Kontakten“ verändern.

Der Term

$$4K_7k\left(\frac{k}{m_1}\cdot\left(1-\frac{k}{m_1}\right)-K_5\right),$$

führt dazu, dass ein geringes Ausmaß an „Kontakten“ auch nur im geringen Maße negativ auf das Spüren der „Bedürfnisse“ wirkt. Erst wenn die „Kontakte“ ein bestimmtes Maß erreichen, steigen mit ihnen auch die „Bedürfnisse“ an. Sind die „Kontakte“ jedoch zu hoch ausgeprägt, so führen sie dazu, dass die eigenen „Bedürfnisse“ immer mehr in den Hintergrund geraten (vgl. Abbildung 80, S. 301). In ähnlicher Weise wird auch der Einfluss der „Bedürfnisse“ auf weitere „Bedürfnisse“ modelliert. Nur wenn die „Bedürfnisse“ gering ausgeprägt sind, wirken sie stark verstärkend auf sich selbst zurück. Steigt das Niveau der „Bedürfnisse“ jedoch stark an, so geht die Selbstverstärkung immer mehr zurück (vgl. Abbildung 81, S. 302). Erreicht wird dieses Verhalten durch den folgenden Gleichungsterm:

$$\frac{K_2}{\left(\frac{b}{m_2}\right)^{K_6K_2}}.$$

Damit das Verhalten auch tatsächlich in der beschriebenen Form auftritt, müssen die beiden Parameter m_1 und m_2 immer wieder angepasst werden. Wenn die Werte für „Kontakte“ größer als m_1 werden bzw. die Werte für die „Bedürfnisse“ m_2 übersteigen, werden die Parameter auf den aktuellen Höchstwert der jeweiligen Variablen angepasst.

Gleichung 31:
Simulationsmodell
einer Spielsucht

Spielen: $\Delta s = (-K_1k - K_3b + K_8gs)\Delta t$

Zuverlässigkeit: $\Delta z = (-K_8g - K_8s + K_2e)\Delta t$

Kontakte: $\Delta k = (0,1(K_4z + K_3p - K_4g^2 + K_2e))\Delta t$

Selbstbewusstsein: $\Delta e = (0,5(K_2z + K_2b + K_2p - K_7g + K_3k))\Delta t$

Planen: $\Delta p = (K_2e + K_3b - K_7g)\Delta t$

Kritische Gefühle: $\Delta g = (-K_3bk - K_3e + 0,5K_7s^2)\Delta t + f$

Bedürfnisse: $\Delta b = \left(K_2e - K_8s + 4K_7k\left(\frac{k}{m_1}\cdot\left(1-\frac{k}{m_1}\right)-K_5\right) + \frac{K_2}{\left(\frac{b}{m_2}\right)^{K_6K_2}} \right) \Delta t$

Die Konstanten:

K_1 : Bestimmt den Einfluss der Kontakte auf das Spielen.

K_2 : Hoher Einfluss von Selbstbewusstsein, Zuverlässigkeit, Bedürfnisse und Planen im System.

K_3 : Geringer Einfluss Bedürfnisse, Planen, Kontakte und Selbstbewusstsein.

K_4 : Bestimmt den Einfluss von Zuverlässigkeit und kritischen Gefühlen auf die Kontakte.

K_5 : Begrenzungsparameter für den Einfluss der Kontakte auf die Bedürfnisse.

K_6 : Potenz, mit denen die Bedürfnisse sich selbst verringern. Wirkt als Produkt mit K_2 .

K_7 : Geringer Einfluss kritischer Gefühle und Spielen (geht aber auch in die Bedürfnisse mit ein).

K_8 : Hoher Einfluss kritischer Gefühle und Spielen.

m_1 : Bestimmt den Einfluss der Kontakte auf die Bedürfnisse. Überschreitet die Variable Kontakte den Wert von m_1 , so wird m_1 entsprechend erhöht.

m_2 : Bestimmt den Einfluss der Bedürfnisse auf sich selbst. Überschreitet die Variable Bedürfnisse den Wert von m_2 , so wird m_2 entsprechend erhöht.

Äußere Einflüsse:

f : Zufällige äußere Einflüsse, die kritische Gefühle auslösen bzw. verstärken können.

Wie bei vielen Simulationsmodellen üblich (vgl. Schiepek & Schaub 1991, Schiepek & Schoppek 1991, Schaub & Schiepek 1992, Schiepek & Schoppek 1992, Schiepek, Schoppek & Tretter 1992) werden äußere verstörende Einflüsse durch Zufallsfluktuationen, die an bestimmten Variablen ansetzen modelliert. Bei dem vorliegenden Modell können zufällige Fluktuationen auf das Ausmaß der kritischen Fluktuationen Einfluss nehmen.

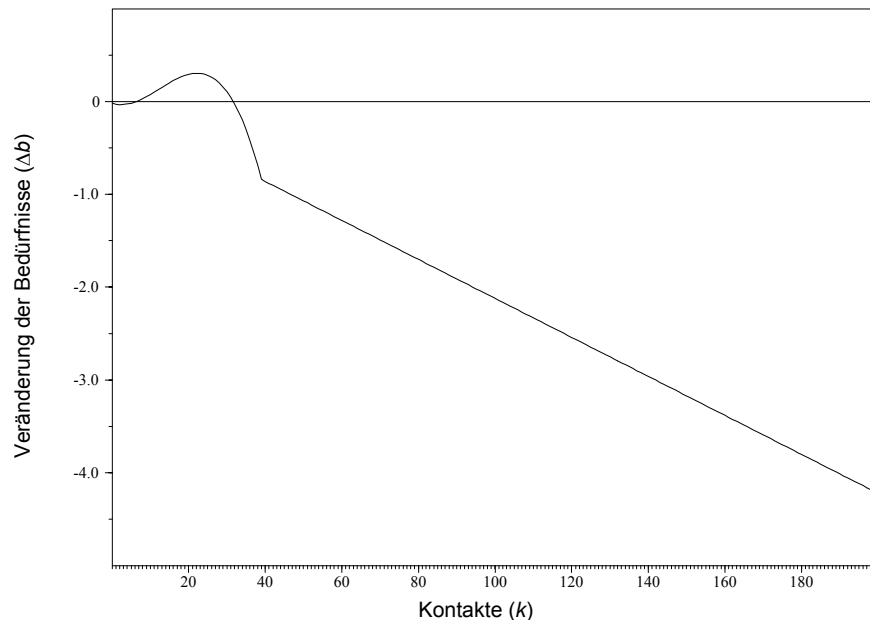


Abbildung 80: Beziehung zwischen Kontakten und Bedürfnissen im Modell der Spielsucht

Die mathematische Modellierung der Beziehung zwischen „Kontakten“ und „Bedürfnissen“ führt dazu, dass ein geringes Ausmaß an „Kontakten“ auch leicht negativ auf das Spüren der „Bedürfnisse“ wirkt. Erst wenn die Sozialkontakte ein bestimmtes Maß erreichen, steigen mit ihnen auch die „Bedürfnisse“ an. Sind die „Kontakte“ jedoch zu hoch ausgeprägt, so führen sie dazu, dass die eigenen „Bedürfnisse“ immer mehr in den Hintergrund geraten.

Das einfache Systemmodell verzichtet auf Rückregulationsschleifen

Die Grenzen des Modells zeigen sich relativ schnell, wenn man sich vor Augen führt, dass es im Wesentlichen aus einer Kombination von Teufelskreisen besteht. Relativ unabhängig von konkreten Startwerten und -Parametern, explodieren die Zahlenwerte rasch bis ins Unendliche. Das liegt daran, dass bei der Modellierung auf Rückregulationsschleifen und Begrenzungen weitgehend verzichtet wurde. Für reale Modelle ist jedoch damit zu rechnen, dass die Variablen natürliche Grenzen aufweisen. So kann auch das Spielen nicht bis in die Unendlichkeit gesteigert werden. Ein Tag ist immerhin auf 24 Stunden begrenzt.

Im vorliegenden Modell wurde der Einfachheit halber auf entsprechende mathematische Begrenzungsterme verzichtet. Statt dessen wurden die Werte künstlich, durch eine Abfrage im Computerprogramm auf 1 als unterer und 200 als oberer Wert begrenzt (für die Variable „Planung“ wurde die obere Grenze mit 100 festgesetzt). Durch diese künstlichen Begrenzungen handelt es sich nicht wirklich um Fixpunktattraktoren, wenn das System in einem relativ gesunden Zustand startend und ohne verstörende Fluktuationen schnell den Zustand maximaler Gesundheit aufsucht (vgl. Abbildung 82).

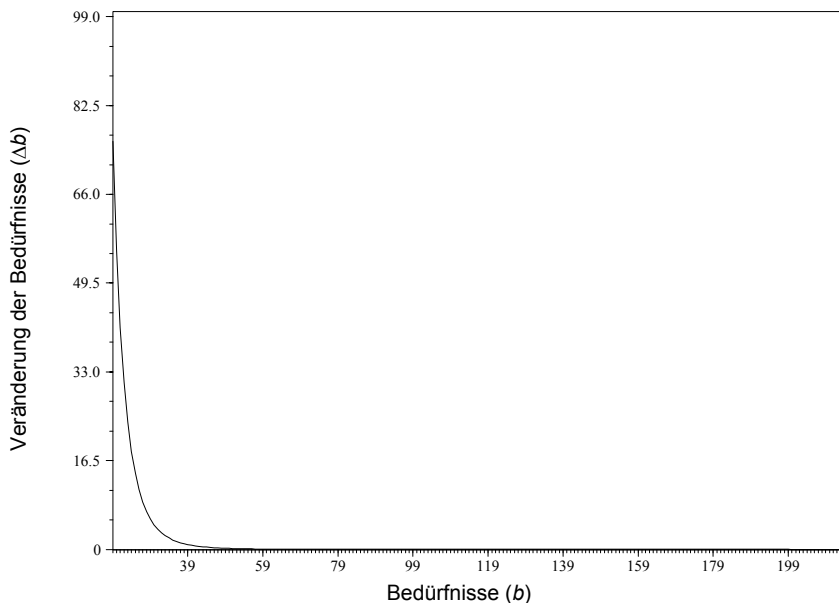


Abbildung 81: Autokatalytischer Term für die Bedürfnisse im Modell der Spielsucht

Nur wenn die „Bedürfnisse“ gering ausgeprägt sind, wirken sie stark verstärkend auf sich selbst zurück. Dabei ist die Selbstverstärkung für gering ausgeprägte „Bedürfnisse“ sehr groß. Daher wurden die ersten 20 Datenpunkte in der Abbildung nicht wiedergegeben. Steigt das Niveau der „Bedürfnisse“ jedoch stark an, so geht die Selbstverstärkung immer mehr zurück. Sie erreicht dabei keinesfalls Null, sondern nähert sich an K_2 an.

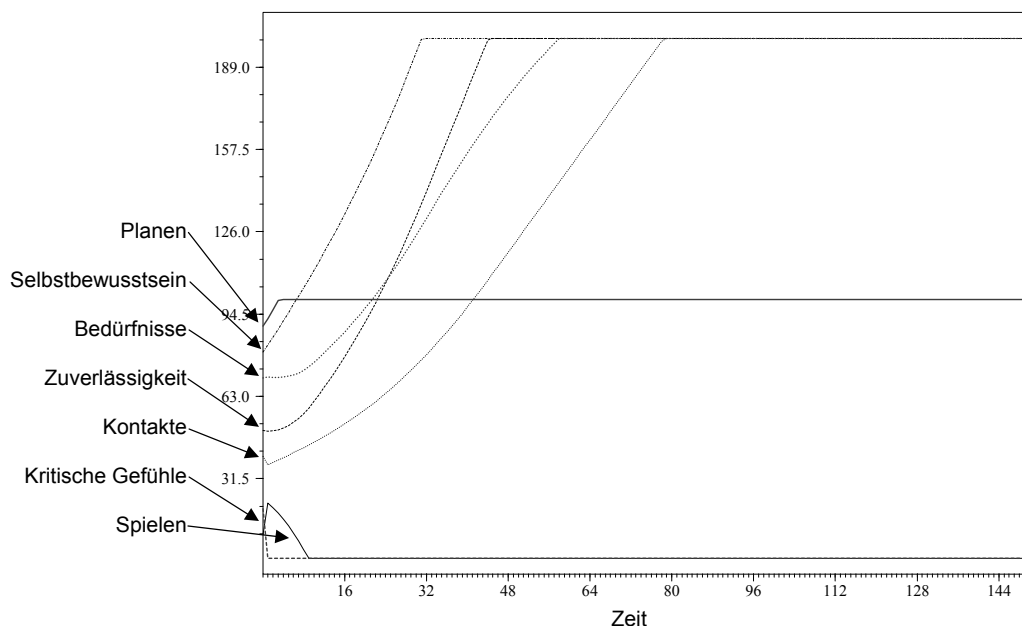


Abbildung 82: „Gesunder“ Simulationslauf der Spielsucht

Mit positiven Startwerten und ohne äußere Fluktuationen entwickelt sich das System schnell zu einem maximal „gesunden“ Zustand. Die Konstanten: $K_1 = 0,06$; $K_2 = 0,025$; $K_3 = 0,02$; $K_4 = 0,1$; $K_5 = 0,15$; $K_6 = 80$; $K_7 = 0,035$; $K_8 = 0,08$; $m_1 = 40$; $m_2 = 70$; $\Delta t = 1$; $f = 0$.

Bereits geringe Fluktuationen führen in die Spielsucht

Bereits kleine äußere Fluktuationen stürzen das System jedoch schnell in die Spielsucht. Die gekoppelten Teufelskreise schaukeln sich gegenseitig dramatisch auf (vgl. die folgende Abbildung 83). In diesem Zustand entfaltet die Variable „Bedürfnisse“ ein erratisches Verhalten, welches zunächst auf die Wirkung der Fluktuationen zurückzugehen scheint. Aber auch, wenn sich das System in der Spielsucht befindet und die Fluktuationen „abgeschaltet“ werden zeigen die „Bedürfnisse“ ein hoch komplexes erratisches dynamisches Muster (vgl. Abbildung 84, S. 304 und Abbildung 85, S. 305).

Die Variable „Bedürfnisse“ verhält sich chaotisch

Dass es sich bei der beobachtbaren Dynamik tatsächlich um deterministisches Chaos handelt, kann mit Methoden der nichtlinearen Zeitreihenanalyse klar gezeigt werden. So weist die Darstellung der Zeitreihe im Phasenraum eine finite fraktale Dimensionalität von $D_2 = 0,931 (\pm 0,059)$ auf, die bei Erhöhung der Einbettungsdimension nicht weiter steigt (vgl. zur Methode ausführlicher ab S. 366ff.). Zudem kann ein positiver Lyapunov-Exponent relativ eindeutig mit $\lambda = 0,513$ bestimmt werden (vgl. zur Methode ausführlicher ab S. 386ff.), ein eindeutiges Zeichen für Chaos, da positive Lyapunov-Exponenten auf das Vorliegen eines Schmetterlingseffektes verweisen.

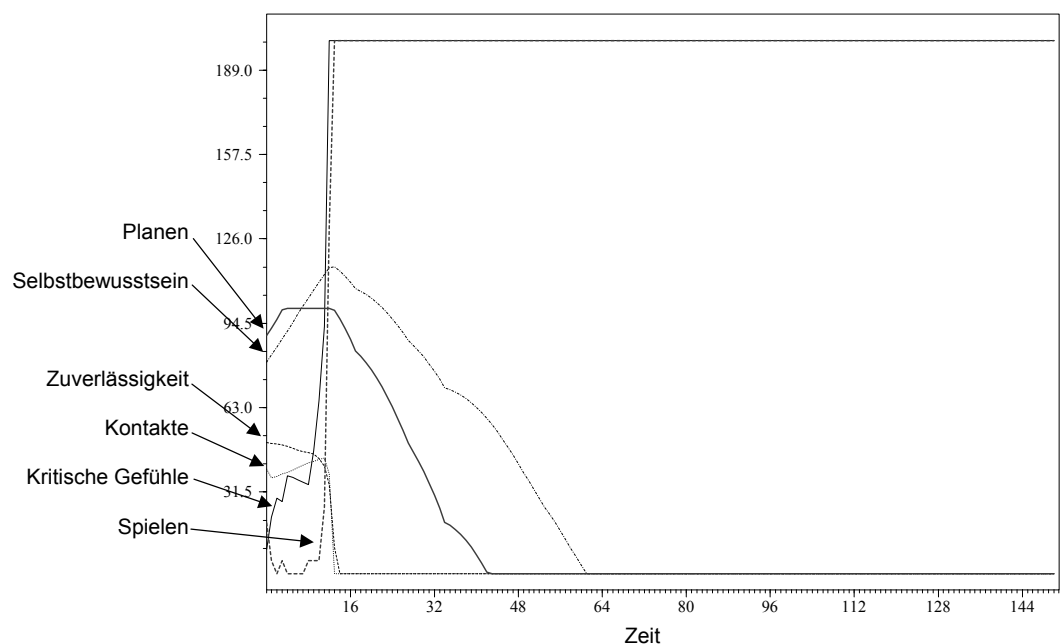


Abbildung 83: Fluktuationen führen in die Spielsucht

Geringe zufällige Fluktuationen, die auf die Variable „kritische Gefühle“ Einfluss nehmen, kippen das System in die Spielsucht. Die Variable „Bedürfnisse“ wird in der Abbildung nicht wiedergegeben. Die Konstanten: $K_1 = 0,06$; $K_2 = 0,025$; $K_3 = 0,02$; $K_4 = 0,1$; $K_5 = 0,15$; $K_6 = 80$; $K_7 = 0,035$; $K_8 = 0,08$; $m_1 = 40$; $m_2 = 70$; $\Delta t = 1$; $f = 5$.

Ob dem chaotischen Verhalten in der Variable „Bedürfnisse“ eine empirische Bedeutung zukommt, kann hier nicht geklärt werden. Interessant ist jedoch der Umstand, dass im gleichen Zeitraum keine der anderen Variablen des Systems mehr eine Dynamik zeigen. Bereits nach kurzer Zeit war das System in die Spielsucht gekippt und hatte damit die maximal möglichen Werte angenommen.

Wenn die oben getroffene Behauptung zutrifft, dass Chaos Lernbereitschaft und Offenheit signalisiert (vgl. S. 268), dann kann in der chaotischen Fluktuation der „Bedürfnisse“ ein Ansatzpunkt für die Therapie gesehen werden. Zumindest zeugt die Dynamik davon, dass sich das System noch lange nicht todgelaufen hat. Da ist noch Leben und zwar in einer so wichtigen Variable, wie dem Kennen eigener Bedürfnisse. Dass diese immer wieder zum Vorschein kommen ist vielleicht der Grund dafür, dass der Klient nach seinem Rückfall die Klinik aufsuchen konnte, in der ihm schon einmal geholfen wurde.

Der Spielstopp hilft auch in der Simulation. Er genügt jedoch nicht als dauerhafte Hilfe

Auch im Simulationsmodell kann durch einen Spielstopp (Aufnahme in der Klinik) der Teufelskreis durchbrochen werden. Ohne weitere Interventionen pendelt sich das System, wenn auch relativ langsam, wieder auf einen gesunden Zustand ein (vgl. Abbildung 86, S. 306). Auch die Bedürfnisse verlieren ihre chaotische Gestalt. Diese allmähliche Normalisierung gelingt jedoch nur dann, wenn keine negativen äußeren Verstärkungen auf das System einwirken. Bleiben die Fluktuationen aktiv, so kommt es insgesamt zu keiner Besserung.

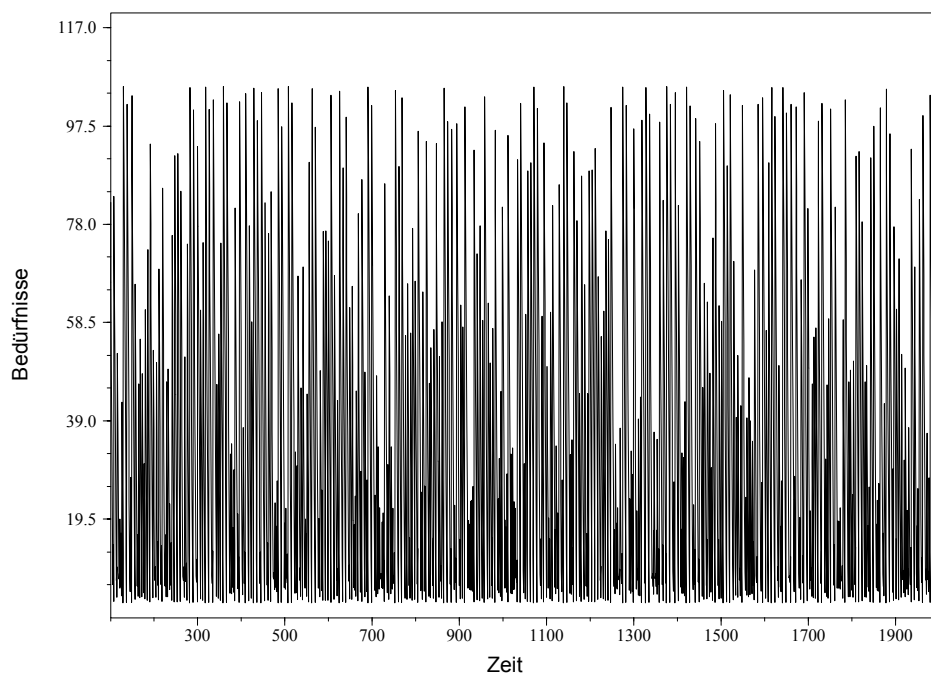


Abbildung 84: Chaotische Dynamik der Bedürfnisse während der Phase einer Spielsucht

Befindet sich das System in der Spielsucht, fangen die Bedürfnisse an chaotisch zu schwanken. Dieser Effekt geht nicht auf Fluktuationen zurück. Diese wurden für den vorliegenden Simulationslauf abgeschaltet. Die Konstanten: $K_1 = 0,06$; $K_2 = 0,025$; $K_3 = 0,02$; $K_4 = 0,1$; $K_5 = 0,15$; $K_6 = 80$; $K_7 = 0,035$; $K_8 = 0,08$; $m_1 = 40$; $m_2 = 70$; $\Delta t = 1$; $f = 0$.

Nun kann eine therapeutische Behandlung sicher nicht allein auf einem erzwungenen Spielstopp beruhen. Auch wenn das System sich mit der Zeit normalisiert, zeigt sich ja, dass bereits kleine Fluktuationen zurück in die Spielsucht führen. Dieser negativ eskalierende Zyklus läuft dabei viel schneller ab, als der Prozess der Genesung.

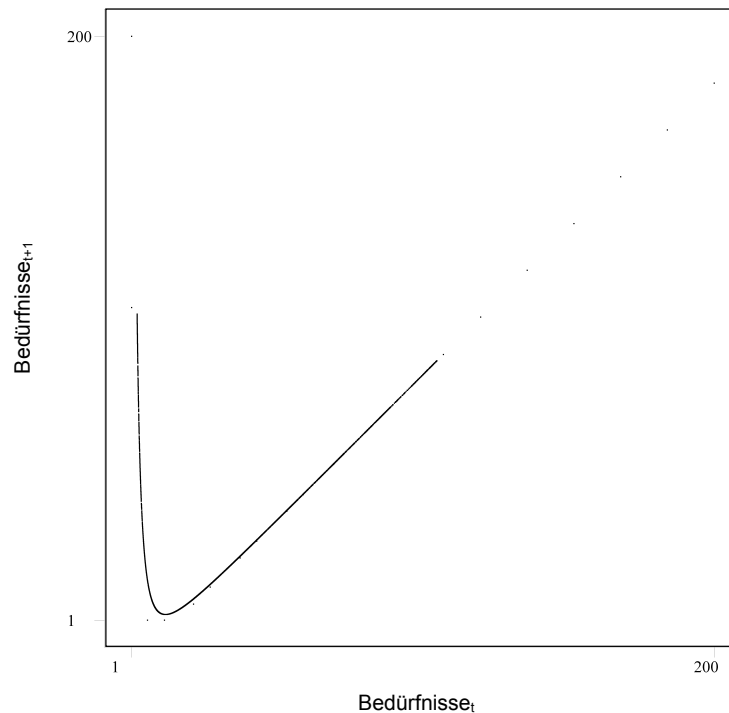


Abbildung 85: Chaotischer Attraktor der Bedürfnisse während der Spielsucht

Die Abbildung zeigt einen wohlgeordneten Attraktor für die erratische Verlaufsgestalt der Bedürfnisse aus Abbildung 84. Bei den vereinzelt Punkten neben dem Attraktor handelt es sich um Werte, die während der Einschwingphase transient auftreten. Die Konstanten: $K_1 = 0,06$; $K_2 = 0,025$; $K_3 = 0,02$; $K_4 = 0,1$; $K_5 = 0,15$; $K_6 = 80$; $K_7 = 0,035$; $K_8 = 0,08$; $m_1 = 40$; $m_2 = 70$; $\Delta t = 1$; $f = 0$.

Dauerhafte Veränderungen können nur über Änderungen der Kontrollparameter hervorgerufen werden

Vor dem Hintergrund der Synergetik kann davon ausgegangen werden, dass dauerhafte Veränderungen im Systemverhalten nur durch Veränderungen in den Kontrollparametern erreicht werden können.

Ein wichtiger Kontrollparameter ist im vorliegenden System der Parameter K_8 . Dieser Kontrollparameter bestimmt im Wesentlichen den Einfluss des „Spielens“ und der „kritischen Gefühle“ im System. Gelingt es durch therapeutische Maßnahmen, wie z.B. durch die Vermittlung von Methoden wie dem Gedankenstopp, auf diesen Parameter Einfluss zu nehmen, so kann eventuell eine dauerhafte Resistenz gegen das Spielen erreicht werden.

Erste Verbesserungen, die sich darin zeigen, dass auch bei äußeren negativen Verstärkungen keine Spielsuchtschpirale in Gang gesetzt wird, ergeben sich, wenn der Kontrollparameter K_8 von 0,08 auf 0,054 gesenkt werden kann (vgl. Abbildung 87).

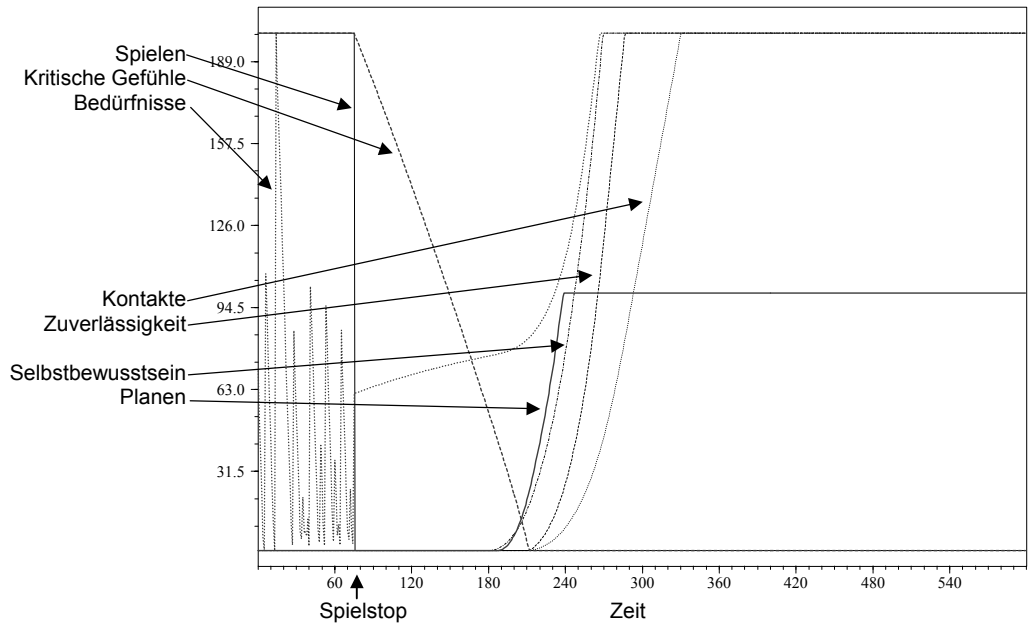


Abbildung 86: Spielstopp und der lange Weg zurück zur Normalität

Zum Zeitpunkt 75 begibt sich der Klient in die Klinik, was zum sofortigen Spielstopp führt. Das System braucht danach über 200 Zeittakte, um zurück zur Normalität zu finden. Die Konstanten: $K_1 = 0,06$; $K_2 = 0,025$; $K_3 = 0,02$; $K_4 = 0,1$; $K_5 = 0,15$; $K_6 = 80$; $K_7 = 0,035$; $K_8 = 0,08$; $m_1 = 40$; $m_2 = 70$; $\Delta t = 1$; $f = 0$.

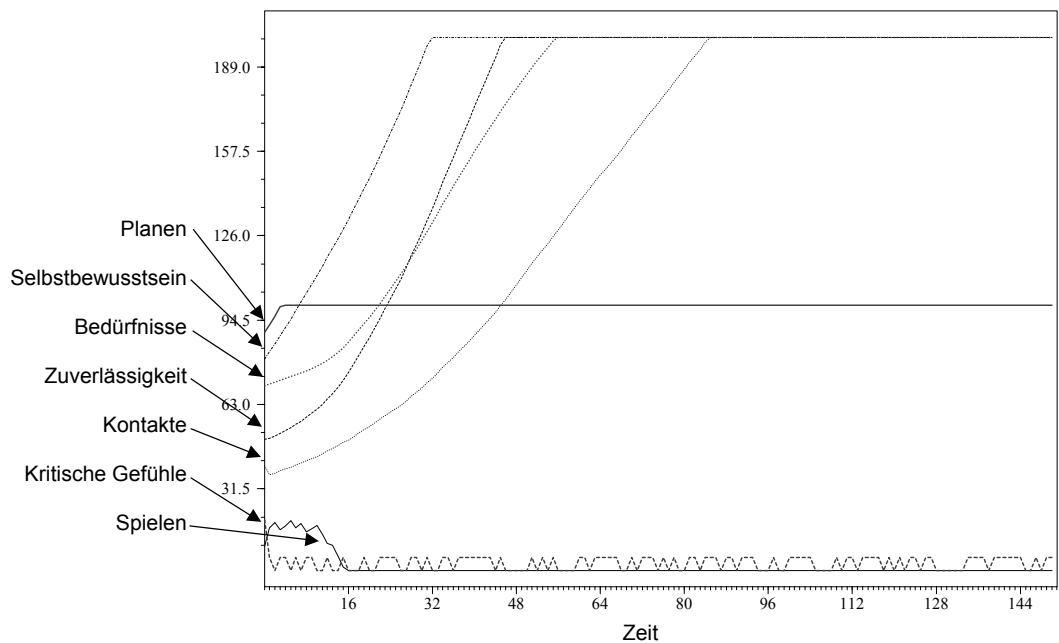


Abbildung 87: Dauerhafte Verbesserungen durch Veränderung der Kontrollparameter

Die Abbildung zeigt die Entwicklung nach Veränderung (Senkung) des Kontrollparameters K_8 , der die Auswirkungen von Spielen und kritischen Gefühlen im System modelliert. Im Gegensatz zur Dynamik in Abbildung 83 entwickelt sich das System trotz negativer äußerer Fluktuationen positiv. Die Konstanten: $K_1 = 0,06$; $K_2 = 0,025$; $K_3 = 0,02$; $K_4 = 0,1$; $K_5 = 0,15$; $K_6 = 80$; $K_7 = 0,035$; $K_8 = 0,054$; $m_1 = 40$; $m_2 = 70$; $\Delta t = 1$; $f = 5$.

Insgesamt hat das vorgestellte Systemmodell einige Grenzen aber auch Möglichkeiten von Simulationsmodellen aufgezeigt, die hier kurz zusammenfassend besprochen werden sollen:

- **Eine systemwissenschaftliche Modellbildung ist auch in der Psychologie möglich.** Das vorgestellte Beispiel und die aus der Literatur bekannten systemwissenschaftlichen Modelle zur Simulation psychischer Prozesse (z.B. Kriz 1990, Schiepek & Schaub 1991, Schiepek & Schoppek 1991, Schaub & Schiepek 1992, Schiepek & Schoppek 1992, Schiepek, Schoppek & Tretter 1992, Schiepek 1999a), gehen davon aus, dass die komplexe Verfasstheit psychischer Phänomene selten mit einfachen linealen Modellen adäquat beschrieben werden kann. Die bio-psycho-soziale Systemstruktur des Menschen zwingt geradezu dazu, von komplexen Wirkmechanismen, Wechselwirkungsbeziehungen und gemischten Feedbackprozessen auszugehen. In diesem Sinne können einfache lineale Modelle in den meisten Fällen als inadäquate Vereinfachungen, die ihrem Gegenstand nicht gerecht werden können, zurückgewiesen werden. Eine solche Erkenntnis, die sich an den oben dargestellten Leitlinien (vgl. Abbildung 58, S. 194) orientiert, ist jedoch zunächst nur der Ausgangspunkt für eine systemwissenschaftliche Modellbildung in der Psychologie. Wie die vorliegenden Modelle und das dargestellte Beispiel zeigen, ist das „Beschreiten des steinigen Weges“, von der Erkenntnis nur mehr auf der Grundlage nichtlinearer dynamischer Modelle zu adäquaten Beschreibungen zu kommen, bis hin zur Computersimulation auch im Rahmen einer psychologischen Fragestellung möglich. Relativ unabhängig davon, ob für bestimmte Beziehungen zwischen zwei Variablen die exakten mathematischen Funktionen bekannt sind, zeigen selbst einfache Modelle bereits erstaunlich plausible Verhaltensweisen. Eine genauere Abklärung der Gültigkeit verschiedener alternativer Systemmodelle kann dann aber nur mehr im Rahmen eines umfassenden Forschungsmodells vorgenommen werden, das sowohl Top-down-Verfahren als auch Bottom-up-Analysen miteinander verbindet. Dabei scheinen die vorliegenden Modelle einen starken Innovationssog zu entwickeln, der eine ganze Reihe von Folgestudien anregen könnte. Im Rahmen des vorgestellten Beispiels stellt sich z.B. die Frage, ob die chaotische Dynamik in der Wahrnehmung der eigenen Bedürfnisse, die in Phasen der Spielsucht auftritt, tatsächlich auch von Klienten erlebt wird. Obwohl sich aber aus den vorliegenden Simulationsmodellen vielfältige Anregungen für gezielte empirische Forschungsprogramme ableiten lassen, finden solche empirischen Überprüfungen der Modelle in der Praxis nicht statt. In der Regel begnügen sich die Arbeiten mit Hinweisen auf ähnliche Verlaufsgestalten, die unabhängig von den Modellen bereits empirisch erfasst wurden (z.B. Schiepek, Schoppek & Tretter 1992). Da aber eine Verlaufsgestalt von verschiedenen mathematischen Modellen nachgezeichnet werden kann, ist die Ableitung gezielter empirischer Forschungsstrategien, auf der Grundlage der entwickelten Systemmodelle eindrucklich zu fordern. In diesem Sinne ist erst ein erster Schritt getan, wenn gezeigt werden kann, dass eine systemwissenschaftliche Modellbildung in der Psychologie möglich ist.
- **Dauerhafte Veränderungen des Systemverhaltens können nur durch Kontrollparameterveränderungen erreicht werden.** Eine der für die Psychologie und die Psychotherapie bedeutendsten Folgerungen aus der Sy-

nergetik geht davon aus, dass Fremdeingriffe in ein System nur selten eine dauerhafte Veränderung bewirken. In der Regel werden äußere Verstörungen durch die Selbstorganisationskräfte des Systems zurück in den Attraktor geführt. Ein fremdsteuernder Eingriff verliert dann schnell seine Wirkung, sobald er ausbleibt. Auch das vorliegende Modell zeigte dieses Verhalten. Zwar ließ es sich durch einen fremdsteuernden Eingriff zunächst in einen trügerischen Zustand der Gesundheit versetzen. Bei diesem handelte es sich jedoch um kein allzu stabiles Gleichgewicht. Im Gegensatz zur Spielsucht, die sich in einer Potenziallandschaftsdarstellung als tiefes Tal visualisieren ließe, kann der Zustand der Gesundheit allenfalls als kleine Mulde dargestellt werden, die bei den kleinsten Verstörungen wieder verlassen wird, sodass das System erneut in die Sucht stürzt. Dauerhafte Veränderungen des Systemverhaltens sind in der Regel nur durch eine Veränderung der Potenziallandschaft möglich (vgl. Abbildung 54, S. 170). Solche Veränderungen können aber nicht durch die Fremdsteuerung einzelner Variablen erreicht werden, sondern gehen immer auf Veränderungen in den Kontrollparametern zurück. Solche Veränderungen der Potenziallandschaft sind in ihren Auswirkungen auf die Dynamik des Systems jedoch nur selten vorhersagbar. In diesem Sinne hätte das vorgestellte System der Spielsucht, auch in ein alternierendes Verhalten kippen können, bei denen sich ausgiebige Spielexzesse mit Phasen ausgeglichener Ruhe abwechseln. Kontrollparameterveränderungen sind immer beides, sowohl spezifisch als auch unspezifisch für die auftretende Dynamik (vgl. Schiepek & Strunk 1994). Sie bestimmen spezifisch über qualitative Veränderungen in der Dynamik. Die Prozessgestalt der neuen und der vorherigen Dynamik wird jedoch durch die Selbstorganisationskräfte des Systems bestimmt. Kontrollparameterveränderungen sind damit unspezifisch für die konkrete Prozessdynamik. In diesem Sinne lassen sich die Auswirkungen therapeutischer Interventionen nur wenig planen (vgl. Grawe 1988). Sie können weniger als Erarbeitung eines bestimmten von außen vorgegebenen Zielzustandes, als vielmehr als das Bereitstellen von Bedingungen für eine neue Form der Selbstorganisation des Klientensystems verstanden werden (vgl. Schiepek 1999a, S. 30). Psychotherapie erscheint aus dieser Perspektive als das Bemühen um Bedingungen für Selbstorganisationsprozesse, die vom Klienten als nützlich und ohne Beschwerden erlebt werden. Um aber das Auftreten neuer Verhaltensmuster nicht dem Zufall zu überlassen, der in Phasen kritischer Instabilitäten tatsächlich zur „Schicksalsfee“ werden kann, sollte bereits zu Beginn einer Therapie damit begonnen werden, Visionen und Ziele in Hinblick auf einen anzustrebenden Zustand zu erarbeiten. Je plastischer und attraktiver die entsprechenden Zielvorstellungen erlebt werden, um so mehr Sogwirkung entfalten sie auf Prozesse der Neuorganisation (vgl. Schiepek 1999a, S. 161). Wie das vorliegende Beispiel zeigt, kann eine solche positiv erlebbare Form der Selbstorganisation erreicht werden, ohne dass dazu die Struktur des Systems verändert werden müsste. Auch ein sich dysfunktional verhaltendes System, enthält als potenzielle Lösung seiner Probleme bereits ein funktionales Verhaltensmuster (vgl. an der Heiden 1993). Dabei kann eine Gesundung als Herausbildung eines solchen funktionalen Verhaltensmusters verstanden werden, was jedoch bedeutet, dass jedes funktionale und als angenehm erlebbare Verhalten ein möglicher positiver Ausgang einer Therapie sein kann. Es ist

also nicht erforderlich, dass das System genau das Verhalten ausbildet, dass es vor der Krankheit gezeigt hat (vgl. an der Heiden 1993).

- **Fluktuationen und äußere Verstörungen.** Komplexe Systeme agieren nicht im luftleeren Raum. Sie sind vielmehr eingebunden in komplexe aber unspezifische Wechselwirkungen mit ihrer Umwelt. Dabei erscheinen sie insgesamt als offene Systeme, in dem Sinne, als sie mit ihrer Umwelt in einem steten Austausch von Energie und Entropie stehen. Zudem sind die Systeme offen für äußere Verstörungen. Auf der anderen Seite können nichtlineare dynamische Systeme jedoch als operational geschlossene strukturdeterminierte Einheiten verstanden werden. In diesem Sinne determinieren äußere Verstörungen nicht das Systemverhalten. Sie werden hingegen in die Prozesse des Systems integriert, vielfach gebrochen und transformiert. Was das System mit einer Verstörung anfängt, wie es und ob es überhaupt darauf reagiert, wird durch die innersystemischen Prozesse und nicht durch äußere Faktoren bestimmt. Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen ist es im Rahmen der Modellierung komplexer Systeme durchaus üblich äußere Faktoren über Zufallsereignisse zu simulieren, die an bestimmten, äußeren Einflüssen zugänglichen Variablen ansetzen. Mathematisch ist ein solches Vorgehen jedoch mit bestimmten Problemen bei der Analyse der Systemdynamik verbunden. Die zufälligen Fluktuationen können nur schwer – wenn überhaupt – in das mathematische Modell integriert und weiterbehandelt werden. Dies führt dann aber dazu, dass von mathematischer Seite her wenig Voraussagen darüber getroffen werden können, wie sich das System in Abhängigkeit von der Stärke der Fluktuationen oder deren Auftretenswahrscheinlichkeit verhalten wird. Hier gibt es dann also eine nahezu unbegrenzte Vielfalt an Möglichkeiten für die Modellierung zufälliger äußerer Verstörungen. Nicht selten wird eine solche Verstörung nur in Hinblick auf ihren Auftretenszeitpunkt durch Zufallsprozesse variiert, wohingegen die Stärke der Verstörung auf einen einheitlichen Wert festgelegt bleibt. Es ist aber durchaus möglich, dass sich das System qualitativ anders verhält, wenn auch die Stärke der Verstörungen zufällig schwankt. Obwohl also dynamische Modelle insbesondere in der Psychologie nur dann sinnvoll erscheinen, wenn auch zufällige äußere Einflüsse berücksichtigt werden, ergeben sich doch eine ganze Reihe von Problemen, für die derzeit noch keine Lösungen bereitstehen.
- **Bedeutung von Kontrollparametern.** Jede mathematische Formalisierung einer Beziehung zwischen zwei Variablen in Form einer mathematischen Gleichung erfordert die Definition und Festlegung von Konstanten. Dies gilt bereits für einfache lineare Funktionen, für die Proportionalitätskonstanten bestimmt werden müssen. Anders als bei physikalischen und chemischen Systemen ist es in der Psychologie nicht möglich unveränderliche Naturkonstanten von veränderbaren Kontrollparametern zu unterscheiden. Daher kann jede Konstante systemwissenschaftlicher psychologischer Modelle zumindest prinzipiell variiert werden. Dies führt dann jedoch dazu, dass ein komplexes Modell mit vielen Konstanten nahezu unendlich viele Parametereinstellungen ermöglicht. Obwohl vielfach auf Grund theoretischer Vorüberlegungen entschieden werden kann welche Parameter äußeren Interventionen zugänglich sein könnten und welche nicht, ist damit noch nicht bestimmt, welchen Wert die Parameter besitzen

sollen, die höchstwahrscheinlich keiner Veränderung zugänglich sind. Also auch dann, wenn so etwas wie Konstanten in den Gleichungen identifiziert werden können, ist deren Zahlenwert unbekannt. Damit sind aber einem wilden Ausprobieren, zufälligen Glückstreffern und allgemein der Willkür Tür und Tor geöffnet. Es steht zu befürchten, dass auch fortschreitende Entwicklungen in der Modellbildung für dieses Problem keine Lösung erbringen werden. Zwar können, wie im hier dargestellten Beispiel der Spielsucht, Angaben der Klienten über die Stärke der Beziehungen herangezogen werden, um zumindest die Verhältnisse zwischen verschiedenen Parametern abzubilden. Viel ist damit jedoch nicht gewonnen, da das gleiche System, bei konstanten Zahlenverhältnissen der Parameter aber unterschiedlichem Niveau auch verschiedene Verhaltensweisen zeigen kann. Insgesamt erlauben Modelle mit mehr Parametern auch mehr Möglichkeiten das System an gewünschte Prozessgestalten anzupassen. Weitere Probleme ergeben sich bei der Interpretation von Verlaufsgestalten, die aus Parametereinstellungen folgen, die in der Praxis nicht erreicht werden können. Auf die Gefahr der Übergeneralisierung mathematischer Modelle wurde oben bereits ausführlich hingewiesen (vgl. S. 250ff.). Eine der wichtigsten Aufgaben bei der Nutzung von Konstanten ist deren inhaltlich treffende Beschreibung. Nur Modelle, deren Parametern eine inhaltliche Bedeutung zukommt, können in ihrem Verhalten sinnvoll beschrieben werden. Das vorgestellte Systemmodell erfüllt diese Forderung nicht. Kaum ein Parameter kann inhaltlich mit psychischen Konstrukten in Verbindung gebracht werden.

- **Bedeutung der Zeit.** Nur selten lassen sich für Simulationsmodelle Aussagen darüber begründen, welcher reale Zeitraum durch ein gewähltes Zeitintervall der Simulation eigentlich beschrieben wird. Eine Ausnahme bildet z.B. das Verhulst-System. Hier ist es inhaltlich durchaus plausibel, dass zwischen zwei Zeittakten genau ein Jahr realer Zeit vergeht, da der Entwicklungszyklus eines Falters genau ein Jahr dauert und damit neue Falter zu relativ klar definierten Zeitpunkten einmal pro Jahr entstehen (vgl. ausführlicher S. 107ff.). Völlig offen bleibt die Bedeutung der Zeit jedoch im vorliegenden Modell. Entspricht ein Δt einem Tag, einer Woche, einem Monat oder 2,34 Stunden? Diese Frage kann nicht wirklich beantwortet werden. Zwar bleibt die Möglichkeit den simulierten Prozess mit realen Prozessen zu vergleichen, etwa indem danach gefragt wird, wie lange es dauert, bis aus einem einmaligen Spielen eine ausgewachsene Spielsucht wird. Die reale Dauer und die simulierte Dauer können dann zueinander in Beziehung gesetzt werden. Zwingend können solche „Eichungen“ der zeitlichen Entwicklung eines Simulationsmodells jedoch nicht sein. Auch wenn die Übereinstimmung für einen bestimmten leicht zu identifizierenden Prozess gut festgestellt werden kann, bedeutet das noch nicht, dass sich für andere Kontrollparametereinstellungen nicht auch Verschiebungen in der simulierten „Geschwindigkeit“ von Veränderungsprozessen ergeben. Dass in diesem Zusammenhang auch innerhalb einer Simulation Unstimmigkeiten auftreten können, wird ebenfalls am vorgestellten Beispiel deutlich. In einer früheren Version der Simulation, veränderte sich die Variable „Kontakte“ viel zu schnell und die Variable „Selbstbewusstsein“ um einiges zu schnell, im Vergleich zu den anderen Variablen. Ihre zeitlichen Entwicklungen wurden daher gedämpft, indem die „Kontakte“

pro Zeittakt nur mehr ein Zehntel der ursprünglich ermittelten Veränderung durchlaufen und das „Selbstbewusstsein“ in seiner Entwicklungsgeschwindigkeit halbiert wurde (vgl. Gleichung 31, S. 300). Die genannten Probleme zeigen sich in ähnlicher Weise auch bei den aus der Literatur bekannten Simulationsmodellen. Schiepek, Schaub und Tretter (1992) gehen in der von ihnen vorgestellten Simulation schizophrener Entwicklungen davon aus, dass ein Zeittakt der Simulation in etwa einer Woche entspricht. Auch hier kann aber nur ein Vergleich mit Erfahrungswerten, wie lange in der Regel eine akute Phase dauert oder Ähnliches als Vergleichsmaßstab herangezogen werden. Weitere Probleme ergeben sich zudem bei der Festlegung von Δt selbst. Liegt dem System in der Realität ein sich kontinuierlich verändernder Prozess zu Grunde, so ist eigentlich wenig einsichtig, warum Δt mit Eins festgelegt wird. Dies macht im Verhulst-System durchaus einen Sinn, da neue Falter eine einjährige Entwicklungsphase durchmachen und vorher als Falter gar nicht existieren. Veränderungen in psychischen Variablen sind jedoch als kontinuierliche, stetige Prozesse aufzufassen, sodass es angebracht erscheint Δt möglichst klein zu wählen. Während aber für Simulationen, bei denen Δt viel kleiner als Eins ist, nur selten Unterschiede in der Prozessdynamik zu beobachten sind, sobald Δt um eine Zehnerpotenz verändert wird, zeigen sich zwischen Werten von Eins und kleiner Eins zum Teil doch gravierende qualitative Unterschiede in der Prozessdynamik. Wird im vorgestellten Beispiel der Spielsucht, für Δt der Wert 0,1 gewählt (an Stelle von Eins), ergibt sich keine chaotische Dynamik mehr. Es zeigt sich also, dass die Variable Zeit in Simulationsmodellen in verschiedener Hinsicht zu Problemen führen kann. Hier sollte mit unterschiedlichen Werten für Δt experimentiert werden, um die Abhängigkeit einer Verlaufsgestalt vom gewählten Zeitintervall auszuschließen. In Bezug auf die Beziehung zwischen simulierter und realer Zeit wird man wohl auch in Zukunft nicht um Plausibilitätsbetrachtungen herumkommen. Aber schon diese Unbestimmbarkeit der Dauer zeitlicher Prozesse verweist auf die Schwierigkeiten, die sich ergeben, wenn simulierte und reale Zeitreihen miteinander verglichen werden sollen. Unterschiedliche zeitliche Maßstäbe können hier zu großen methodischen Problemen führen.

- **Begrenzungsterme.** In der Natur existieren keine Teufelskreise. Kein Prozess kann in alle Ewigkeit wachsen (oder auch kleiner werden). Selbst die Sprengkraft einer Atombombe ist begrenzt, obwohl die Kettenreaktion selbst gerne mit einem Teufelskreismodell beschrieben wird. In diesem Sinne sollten Simulationsmodelle immer auch Begrenzungsterme enthalten, die dafür sorgen, dass die Variablen nicht ins Unermessliche wachsen. In der vorliegenden Simulation wurde auf solche Terme verzichtet und stattdessen der Zahlenbereich der Variablen künstlich begrenzt. Diese einfache Form der Realisierung von Wachstumsgrenzen in Simulationsmodellen erschweren jedoch die mathematische Analyse des Systems, da die Gleichungen nur in einem bestimmten Zahlenbereich Gültigkeit besitzen und jenseits dieser Grenzen ganz einfach künstlich zurück auf die Grenze verschoben werden. Dieser Vorgang des „Zurückschiebens“ lässt sich mathematisch jedoch nicht mehr beschreiben. Zudem führen solche Methoden des „Abschneidens“ von Lösungen dazu, dass bestimmte Verhaltensweisen in der Nähe von Grenzsituationen gar nicht erst auftreten. In dem

Maße wie sich eine Variable immer vorsichtiger einem Grenzwert annähert, kann sich dadurch die Gesamtdynamik des Systems erheblich verändern. Damit dieses Verhalten jedoch sichtbar wird, muss es über entsprechende mathematische Gleichungen auch explizit mit in das Modell aufgenommen werden. Beispiele für solche natürlichen Grenzen im Wachstum von Variablen finden sich z.B. in Rahmen klassischer Gesetze der Psychophysik (vgl. z.B. Benetka 2002, S. 45ff.), wo deutlich wird, dass bei einem hohen Niveau der Reizstärke eine Erhöhung um genau einen Standardreiz kaum mehr zu einer Erhöhung der Empfindung führt. Je lauter, ein Ton ist, desto mehr Schalldruck ist erforderlich, damit eine weitere subjektiv wahrnehmbare Steigerung der Lautstärke möglich wird. Ähnliches gilt auch für andere Sinnesmodalitäten, Schmerzgrenzen, Angst etc.

- **Chaos.** Wie das vorgestellte Beispielsystem der Spielsucht verdeutlicht, können in solchen Modellen chaotische Prozesse auftreten. Ob es sich bei einem erratischen Verhalten jedoch tatsächlich um Chaos handelt muss in der Folge erst über mathematische Methoden der nichtlinearen Zeitreihenanalyse geklärt werden. Da erratische Verhaltensweisen auch auf andere Prozesse zurückgehen können, müssen diese zunächst ausgeschlossen werden. Zunächst ist im Zusammenhang mit Simulationsmodellen zu klären, dass das beobachtbare erratische Verhalten nicht auf die zur Modellierung äußerer Verstörungen genutzten zufälligen Fluktuationen zurück geht. Das erratische Verhalten muss sich daher auch ohne Fluktuationen reproduzieren lassen. Zudem könnte es sich bei dem Verhalten auch um ein transientes Verhalten auf dem Weg in einen regulären Attraktor handeln. Hier genügt es dann nicht, nur wenige Zeitpunkte zu simulieren. Das Verhalten sollte über einen hinreichend langen Zeitraum ähnlich erratisch erscheinen. Nur wenn dies der Fall ist und der Einfluss von zufälligen Fluktuationen ausgeschlossen werden kann, empfiehlt sich eine Zeitreihenanalyse, die zum einen Aufschluss über die Geometrie des Attraktors, also seine fraktale Struktur und das Vorliegen einer exponentiellen Divergenz nahe benachbarter Trajektorien (vgl. die Definition von Chaos auf S. 151ff.) geben kann. Erst wenn diese Methoden den Nachweis erbringen, dass tatsächlich chaotische Prozesse vorliegen, können andere Verhaltensweisen, wie z.B. komplexe Torus-Attraktoren ausgeschlossen werden. Ob der chaotische Prozess jedoch nur eine Eigenschaft der Simulation ist oder ob ihm auch ein empirischer Gehalt zukommt, kann allein vor der Grundlage der Simulation dann nicht mehr geklärt werden. Im vorgestellten Beispiel zeigt sich zudem das Problem, dass Chaos nur in einer innerpsychischen Variable auftritt und sich in keiner anderen, auch von außen beobachtbaren Variable zeigt. Weitere Probleme ergeben sich durch den Umstand, dass das Chaos sich nur im wenig wünschenswerten Fall der Spielsucht selbst äußert, eine experimentelle Herstellung dieser Situation also aus ethischen Gründen abgelehnt werden muss. Unabhängig von diesen Einschränkungen, kann davon ausgegangen werden, dass viele empirische, wie auch simulierte Systeme chaotische Prozesse hervorbringen können. Hier gerät eine reine Simulationsmethodik jedoch schnell an ihre Grenzen. Neben die Top-down-Analyse muss dann die Bottom-up-Analyse treten.

8.1.5 Simulation mittels Production Systems

Eine mathematisch wenig elegante, aber computertechnisch relativ einfache Möglichkeit zur Simulation komplexer Systeme stellt die Nutzung von *Production Systems* dar. Diese heute nur noch wenig gebräuchliche Methode wurde oben im Zusammenhang mit dem kybernetischen Plankonzept von Miller, Galanter und Pribram bereits ausführlicher dargestellt (vgl. S. 74ff.).

IF-Then-Else-Strukturen bieten eine einfache Möglichkeit zur Simulation komplexer Vorgänge

Production Systems bestehen aus einem Set vom Programmbefehlen, den sog. *Productions*, die alle nach dem gleichen Muster aufgebaut sind. Jede *Production* besitzt eine einfache Wenn-dann-Struktur (*Wenn* Bedingung erfüllt ist, *dann* führe folgende Aktion aus...), und somit eine Bedingungskomponente und eine Aktionskomponente. In modernen Programmiersprachen werden solche *Productions* mittels *If-Befehlen* realisiert, die sich in allen modernen Computersprachen finden lassen. Einige Vereinfachungen gegenüber frühen *Productions* der 60er Jahre ergeben sich durch die *If-Then-Else-Strukturen*, die neben einer Anweisung für das Vorliegen einer Bedingung auch Anweisungen für das fehlende Vorliegen der Bedingung bereithalten. Die Programmierung einer Simulation mittels solcher Wenn-dann-Konstruktionen ist relativ leicht und kann schnell durch das Hinzufügen zusätzlicher Befehle erweitert werden. So ist es möglich eine Simulation Schritt für Schritt komplexer zu gestalten, ohne dafür gleich das ganze Programm umschreiben zu müssen.

Eliza, einer der Meilensteine der KI-Forschung

Erstmals wurden *Production Systems* in den 40er Jahren als Modelle für die Beschreibung von Algorithmen vorgestellt (vgl. Schaub & Schiepek 1992, S. 125). Die Anwendung von *Production Systems* in der Psychologie ist eng mit den Arbeiten von Newell (z.B. 1973) verbunden (vgl. auch). Auf die Anwendung dieser Programmiersprache für die Simulation kognitiver Entwicklungen in der Tradition von Piaget wurde oben bereits hingewiesen (vgl. Klahr 1973, Klahr & Wallace 1973, Newell 1973, Klahr & Siegler 1978, Klahr 1981, Keller 1988). Besonders eindrucksvoll und überaus erfolgreich war die Anwendung solcher Programmstrukturen durch Josef Weizenbaum, der 1966 das Computerprogramm „*Eliza*“ vorstellte. Eliza simuliert eine Psychotherapeutin, mit der man sich am Computer über seine Probleme unterhalten kann. Eliza war eine Sensation, auch, wenn die Unterhaltung mit ihr schnell einseitig werden kann und sich häufig totläuft (vgl. Weizenbaum 1966). Eine Reihe von verbesserten Versionen können heute im Internet gefunden werden, wo es eine große Anhängerschaft für solche Chatbox-Programme gibt. In neuerer Zeit haben sich als Framework für *Production Systems* die Systeme Soar (Laird, Newell & Rosenbloom 1987, Newell 1990, 1992, Rosenbloom, Laird & Newell 1993) und ACT (Anderson 1983, 1993, Anderson & Lebière 1998) durchgesetzt (vgl. Dörner et al. 2001).

Der Aufbau von Eliza entspricht in wesentlichen Teilen dem Aufbau eines jeden mittels *Production Systems* erstellten Programms. Neben den If-Befehlen enthalten solche Computerprogramme relativ viele Daten, die sich grob in zwei Teile untergliedern lassen. Zum einen liegen Daten für den Bedingungsteil einer *Production* vor. Diese Daten werden dann im Ablauf des Programms mit den vom Benutzer eingegebenen Daten verglichen. Eliza nutzt hier eine Liste von Schlüsselwörtern wie „can I“, „you are“ etc. und Konjugationen.

Die zweite Art an Daten bezieht sich auf den Ausführungsteil der *Production*. In ihnen sind die Anweisungen abgelegt, die es beim Vorliegen der im Bedingungs- teil vorgesehenen Datenkonfiguration auszuführen gilt. Eliza enthält an dieser Stelle eine große Anzahl von Standardantworten, denen Elemente aus der Eingabe des Benutzers hinzugefügt werden. Einen Ausschnitt aus der Datendeklaration des Eliza-Programms ist in Tabelle 7 aufgeführt.

```
char *keyword[]= {"Z", "CAN YOU", "CAN I", "YOU ARE", "YOU'RE", "I DONT",
  "I FEEL", "WHY DONT YOU", "WHY CANT I", "ARE YOU", "I
  CANT", "I AM", "IM ", "YOU ", "I WANT", "WHAT", "HOW",
  "WHO", "WHERE", "WHEN", "WHY", "NAME", "CAUSE", "SORRY",
  "DREAM", "HELLO", "HI ", "MAYBE", "NO ", "YOUR",
  "ALWAYS", "THINK", "ALIKE", "YES", "FRIEND", "COMPUTER",
  "NOKEYFOUND"};
char *conjugations[]= {"Z", " ARE ", " AM ", " WERE ", " WAS ", " YOU ",
  " I ", " YOUR ", " MY ", " IVE ", " YOUVE ",
  " IM ", " YOU'RE ", " ME ", " IYOU "};
char *replies[]= {"Z", "DON'T YOU BELIEVE THAT I CAN*",
  "PERHAPS YOU WOULD LIKE TO BE ABLE TO*",
  "YOU WANT ME TO BE ABLE TO*",
  "PERHAPS YOU DON'T WANT TO*",
  "DO YOU WANT TO BE ABLE TO*",
  "WHAT MAKES YOU THINK I AM*",
  "DOES IT PLEASE YOU TO BELIEVE I AM*",
  "PERHAPS YOU WOULD LIKE TO BE*",
  "DO YOU SOMETIMES WISH YOU WERE*",
  "DON'T YOU REALLY*",
  "WHY DON'T YOU*",
  "DO YOU WISH TO BE ABLE TO*",
  "DOES THAT TROUBLE YOU?",
  "TELL ME MORE ABOUT SUCH FEELINGS.",
  "DO YOU OFTEN FEEL*",
  "DO YOU ENJOY FEELING*",
  "DO YOU REALLY BELIEVE I DON'T*",
  ...
```

Tabelle 7:

Datenstrukturen im Computerprogramm Eliza

Eliza enthält vorgefertigte Antwortschablonen (replies), die je nach Vorliegen bestimmter Schlüssel- worte und Konjugationen benutzt werden. In der Regel enthalten die Antworten Lücken, die Eliza mit Inhalten füllt, die sie aus den Eingaben des Benutzers herausliest.

Eliza wird über einfache *Productions* gesteuert

Das Programm selbst durchläuft zunächst drei einfache *Productions* (vgl. Tabelle 11). Zunächst wird überprüft, ob die Eingabe überhaupt länger als ein Buchstabe ist. Ist das nicht der Fall, antwortet Eliza direkt mit „SPEAK UP. I CAN'T HEAR YOU““. Die nächste If-Anweisung schließt das Programm, wenn in der Eingabe des Benutzers irgendwo das Wort „Shut“ gefunden wird. Wiederholt der Benutzer eine Eingabe, so weist Eliza darauf hin, dass sie dies bereits beim ersten Mal ge- hört hat. Komplizierter sind die folgenden Abfragen, die in Form einer Schleife zunächst nach Schlüsselworten in der Eingabe des Benutzers suchen. Dazu wird jedes Wort der Eingabe mit allen Schlüsselwörtern verglichen. Daran schließt sich dann eine weitere Schleife an, die nach sämtlichen Konjugationen sucht. Eine Zu- ordnungstabelle ordnet dem gefundenen Schlüsselwort und der Konjugation eine Standardantwort zu. Die Identifikation von Schlüsselworten und Konjugation so- wie die Präsentation einer zu diesen Eingaben passenden Antwort sieht dann im Verlauf der „Kommunikation“ wie folgt aus:

ELIZA: HI! I'M ELIZA. WHAT'S YOUR PROBLEM?
 YOU: I AM TALKING TO A COMPUTER PROGRAM
 ELIZA: DID YOU COME TO ME BECAUSE YOU ARE TALKING TO A
 COMPUTER PROGRAM
 YOU: YES
 ELIZA: ARE YOU SURE?
 YOU: YES I KNOW IT
 ELIZA: ARE YOU SURE?
 YOU: I KNOW YOU ARE
 ELIZA: WHAT MAKES YOU THINK I AM
 YOU: I DO NOT ONLY THINK SO, I KNOW IT FOR SURE
 ELIZA: DO YOU REALLY THINK SO?
 YOU: YES
 ELIZA: ARE YOU SURE?
 YOU: YES
 ELIZA: I HEARD YOU THE FIRST TIME.
 YOU: O.K. LETS START AGAIN
 ELIZA: SAY, DO YOU HAVE ANY PSYCHOLOGICAL PROBLEMS?
 YOU: NO
 ELIZA: ARE YOU SAYING NO JUST TO BE NEGATIVE?
 YOU: NO
 ELIZA: I HEARD YOU THE FIRST TIME.
 ...

A	<pre>if (input[1] == '\0' strlen(input)<2) {out("SPEAK UP. I CAN'T HEAR YOU."); return;}</pre>
B	<pre>if (strstr(input, "SHUT")) exit(0);</pre>
C	<pre>if (!strcmp(prevInput, input)) {out("I HEARD YOU THE FIRST TIME.");return; }</pre>
D	<pre>for (int k=1; k<=nl; k++) { char *ptr; if ((ptr=strstr(input, keyword[k]))!=0) {keywordNum = k; keywordLocation = ptr - input; break;} }</pre>

Tabelle 8: Ausschnitte aus dem *Production System* von Eliza

A, B und C sind relativ einfache If-Befehle. A überprüft, ob die Eingabe länger als ein Buchstabe ist. Ist das nicht der Fall, antwortet Eliza direkt mit „SPEAK UP. I CAN'T HEAR YOU“. B schließt das Programm, wenn in der Eingabe des Benutzers irgendwo das Wort „Shut“ gefunden wird und wiederholt der Benutzer eine Eingabe, so weist Eliza darauf hin, dass sie dies bereits beim ersten Mal gehört hat (C). Komplizierter sind die folgenden Abfragen (D), die in Form einer Schleife zunächst nach Schlüsselworten in der Eingabe des Benutzers suchen. Daran schließt sich dann eine weitere Schleife an, die nach sämtlichen Konjugationen sucht. Eine Zuordnungstabelle ordnet dem gefundenen Schlüsselwort und der Konjugation eine Standardantwort zu.

Obwohl Elizas Antworten etwas eintönig sind und sie nur selten selbst die Initiative ergreift, ist der Eindruck, den dieses kurze Computerprogramm hervorzurufen vermag doch erstaunlich. Schaut man sich das Verhalten von Eliza genauer an, so sind es besonders die Antworten, die auf die eigene Eingabe Bezug nehmen, die

Eliza so überzeugend wirken lassen. Dabei ist der Trick relativ einfach. Eliza lässt das „I am“ aus der Eingabe heraus und hängt den folgenden Text einfach an das „Did you come to me because you are“ dran. Aber auch andere Muster sind durchaus spannend. Wird Eliza direkt angesprochen kann sie auch mal antworten: „don't talk about me.“ Elizas großer Erfolg kann als die Geburtsstunde der Forschung zur künstlichen Intelligenz gelten.

Auch für die Simulation komplexer dynamischer Systeme können *Production Systems* erfolgreich Verwendung finden. Schaub und Schiepek (1992) stellen z.B. ein, auf einem Set von 46 *Productions* aufbauendes Simulationsmodell eines depressiven Klienten vor (vgl. auch Schiepek & Schaub 1991). Wenn man bedenkt, dass auch dieses Modell über insgesamt sieben Variablen und damit ebenso viele verfügt, wie das im letzten Kapitel dargestellte Modell einer Spielsucht, wird an der hohen Zahl der zur Simulation nötigen *Productions* deutlich, wo der Unterschied zwischen den beiden Modellierungstechniken liegt und welche Auswirkungen er auf eine mathematische Analyse besitzt.

***Production Systems* können schnell unübersichtlich werden**

Während für eine Simulation über Differentialgleichungssysteme ebenso viele Gleichungen wie Variablen benötigt werden, können *Production Systems* schnell über eine viel größere Anzahl an Anweisungen verfügen. Durch den einfachen strukturellen Aufbau des Simulationsnetzwerkes ist es leicht möglich für unterschiedliche Wertebereiche ein und derselben Variable ganz unterschiedliche Anweisungen vorzusehen. So kann einer starken Veränderung im unteren Wertebereich leicht eine fehlende Veränderung im mittleren, eine moderate negative im hohen, sowie eine extrem positive im sehr hohen Wertebereich folgen. Für jeden dieser Abschnitte genügt es eine eigene *Production* zu programmieren. Die Möglichkeiten für komplexe Beziehungen und Interaktionen zwischen Variablen sind damit nahezu unbegrenzt.

Vorsicht bei Definitionslücken

Mathematisch bedeutet ein solches Vorgehen dann jedoch, dass die Beziehungen zwischen den Variablen nicht mehr als stetige Funktionen dargestellt werden können. Eine weitergehende mathematische Analyse des Systemverhaltens ist daher nicht mehr möglich. Da mathematische Analysen aber auch für nichtlineare Differentialgleichungssysteme nur noch unter größten Schwierigkeiten, wenn überhaupt durchgeführt werden können, fällt dieses Manko in der Praxis kaum ins Gewicht. Dennoch sind *Production Systems* unübersichtlicher, fehleranfälliger und mathematisch weniger elegant. Fehler können vor allem dadurch auftreten, dass für eine bestimmte Konstellation gleichzeitig mehrere *Productions* aktiv werden (*Conflict Set*), oder im noch ungünstigeren Fall keines. Letzteres führt dann zu einem totalen Stillstand der Simulation.

***Production Systems* sehen keine Kontrollparameter vor**

Besondere Probleme ergeben sich im Zusammenhang mit der Anwendung der Synergetik, wie sie im Beispiel der Spielsucht relativ erfolgreich demonstriert werden konnte. Da für verschiedene Wertebereiche unterschiedliche Beziehungen modelliert werden können, scheinen jeweils auch unterschiedliche Kontrollparameter zu gelten. In diesem Sinne ist es im Rahmen von *Production Systems* schwer möglich überhaupt Kontrollparameter zu identifizieren, sodass auch entsprechende Interventionen nur sehr schwer simuliert werden können. Daraus folgt, dass *Production Systems* schnell und relativ einfach aufgebaut werden können und spezielle Verhaltensweisen leicht durch das Hinzufügen weiterer If-Anweisungen

ergänzt werden können. Aber eine Intervention, wie sie im Rahmen der Synergetik beschrieben wird, kann nur noch selten durchgeführt werden. An die Stelle weniger Kontrollparameter treten in *Production Systems* unzählige Anweisungen, die für die Änderung eines einzigen Kontrollparameters komplett überarbeitet werden müssten. In großen *Production Systems* kann dabei schnell die Übersicht verloren gehen. So kann es Productions geben, die nie in Aktion treten, da die entsprechenden Variablenwerte niemals auftreten. Andere hingegen können fast immer aktiv sein. Welche Konstellationen letztlich für welche Dynamik verantwortlich sind, kann später nur mehr schwer festgestellt werden.

Dennoch stellen *Production Systems* eine gute Alternative für die Simulation komplexer Systeme dar. Dies gilt insbesondere für Modelle, die ohnehin kaum durch mathematische Gleichungen beschrieben werden können, für die aber sprachliche Wenn-dann-Aussagen adäquat erscheinen. Dies gilt insbesondere für Hypothesen und Hypothesennetzwerke. Auch Schiepek und Schaub verstehen die Anwendung von *Production Systems* vor allem als Simulation eines Hypothesennetzwerkes (vgl. Schiepek & Schaub 1991).

8.1.6 Vielteilchen-Systeme – Autonome Agenten

Für Vielteilchen-Systeme sind spezielle Simulationstechniken entwickelt worden

Bei den bisher vorgestellten Methoden handelt es sich um Verfahren mit deren Hilfe Systeme mit einer beschränkten Anzahl an Freiheitsgraden relativ gut simuliert werden können. Wie lässt sich aber das Verhalten einer Menschenmenge beschreiben? Wie erklären sich Meinungsbildungsprozesse. Bereits wenn nur 100 Personen betrachtet werden, die in Hinblick auf eine bestimmte Fragestellung 3 mögliche Antworten geben können, ergibt sich ein Phasenraum mit 300 Dimensionen und damit prinzipiell ebenso vielen Gleichungen, wenn man dieses System simulieren wollte. Eine Möglichkeit solche Vielteilchen-Systeme in ihrem Verhalten zu simulieren besteht in der Nutzung autonomer Agenten (bzw. zellulärer Automaten).

Die Simulation gleicht dabei einem Schachspiel, welches der Computer ohne menschliche Hilfe alleine spielt. Wie bei einem realen Schachspiel findet auch die Simulation auf einem Spielfeld mit quadratischen Spielfeldern statt. Je nach Inhalt der Simulation spielen auf diesem Spielfeld verschiedenen autonome Agenten mit- oder gegeneinander. Sie verfügen dazu über bestimmte Verhaltenweisen und verfolgen verschiedene Ziele. Dadurch, dass auf dem Spielfeld eine große Anzahl solcher Spieler gleichzeitig agieren, kommt es zu vielfältigen Interaktionen, deren Auswirkungen untersucht werden sollen.

Einige dieser Simulationen fragen z.B. danach, wie aggressives Verhalten auf den Wohlstand einer Gesellschaft wirkt, ob Kooperation mehr Wohlstand schafft oder Ähnliches (z.B. Conte & Castelfranchi 1995, Castelfranchi, Conte & Paolucci 1998, Saam & Harrer 1999). Dazu werden auf dem Spielfeld zunächst an zufälligen Orten Belohnungen verteilt. Je nach Inhalt der Simulation können diese Belohnungen als Nahrung oder andere bedeutsame Güter (z.B. Arbeitsplätze) interpretiert werden. Die Rahmenbedingungen der Simulation werden also durch die Größe des Spielfeldes, der Anzahl bzw. Häufigkeit der Belohnungen und dem Wert,

den eine Belohnung für einen Spieler besitzt, bestimmt. Hier gibt es verschiedene Variationsmöglichkeiten. So kann es unterschiedlich wertvolle Belohnungen geben, wobei die Auftrenshäufigkeit für besonders wertvolle geringer ist usw. Ebenfalls zu den Rahmenbedingungen einer solchen Simulation gehört die Zahl der auf dem Spielfeld agierenden Spieler. Diese Spieler, die ebenfalls im Computer generiert werden, verfügen über zwei grundlegende Sets von Verhaltensweisen.

Verhaltensset für grundlegende Verhaltensweisen

Das eine Verhaltensset ist allgemein gehalten und beschreibt wie sich die Spieler, die Agenten, auf dem Feld bewegen können, welche Wahrnehmungsmodalitäten ihnen zur Verfügung stehen, wenn sie versuchen, die Belohnungen zu finden etc. In diesem Set ist dann z.B. festgelegt, dass pro Spielrunde immer nur ein Feld weiter gegangen werden kann, dass Belohnungen im Territorium des Spielers, einem Bereich, der genau ein Spielfeld weit von der aktuellen Position des Spielers entfernt ist, „gesehen“ werden können und im nächsten Spielzug angesteuert werden. Viele Simulationen statten die Spieler zudem mit der Fähigkeit des „Riechens“ aus, die über mehrere Felder hinweg wenigstens die grobe Richtung orten können, in der eine Belohnung winkt. In der Regel bewegen sich die Agenten zufällig, wenn sie eine Belohnung weder sehen noch riechen können. Jedes Verhalten, das die Spieler zeigen kostet sie jedoch ein festgelegtes Maß an Energie. Diese Energie kann nur durch das Finden und Konsumieren einer Belohnung wieder ergänzt werden etc.

Verhaltensset für den Umgang mit Konflikten

Das zweite Verhaltensset der autonomen Agenten bestimmt nach welchen sozialen Regeln sie Streitigkeiten um Belohnungen beilegen bzw. eskalieren lassen. Ein Konflikt kann auftreten, wenn sich zwei Spieler gleichzeitig um dieselbe Belohnung bemühen. Ein solcher Konflikt kann nicht nur durch ein gleichzeitiges Eintreffen beider Spieler bei der Belohnung ausgelöst werden. In den Randbedingungen des Spieles kann nämlich festgelegt werden, wie lange ein Spieler benötigt, um eine Belohnung vollständig zu konsumieren, so dass er auch während dieser Zeit noch von der Belohnung vertrieben werden kann.

Insbesondere die sozialen Regeln, nach denen die Spieler mit Konflikten umgehen, stehen im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit vieler Simulationsmodelle die mit autonomen Agenten arbeiten. Eine mögliche, wenn auch relativ primitive Regel wären z.B. ein sofortiger Angriff, unabhängig davon, wer gerade bei der Konsumtion einer Belohnung gestört wird. Da in diesen Spielen immer derjenige Agent mit der meisten Energie gewinnt und Gewinnen mit Energiezuwachs, sowie Verlieren mit einem weiteren Energieverlust einhergeht, kann ein solches Verhalten schon einmal in eine Abwärtsspirale führen.

Gibt es soziale Regeln die einer Gesellschaft zu mehr Wohlstand verhelfen?

Obwohl die soziale Regel, eines „jeder gegen jeden“ – also eines unbedingten sofortigen Angriffs eine eher wenig komplexe Verhaltensweise darstellt, kann nur schwer vorausgesagt werden, wie sich eine Gesellschaft entwickelt, die nach dieser Regel handelt. Wird zu Beginn des Spieles jeder Spieler mit der gleichen Energie ausgestattet und werden die Spieler zufällig auf dem Spielfeld verteilt, so stellt sich die Frage, ob sich dieses Gleichgewicht der Kräfte lange aufrechterhalten lässt. Wahrscheinlich wird es nach einer großen Zahl von Spielschritten wenige Spieler mit viel Energie geben und viele Spieler mit wenig Energie. Trotz gleicher Startbedingungen wird sich höchst wahrscheinlich eine Ungleichverteilung

der Güter einstellen. Hier stellt sich dann die Frage, ob andere soziale Regeln mehr Wohlstand für alle schaffen könnten und damit eine gleichmäßigere Verteilung der Güter ermöglichen würden. Weitere Fragen ergeben sich, wenn Gruppen mit verschiedenen sozialen Regeln gleichzeitig auf dem Spielfeld agieren. Zahlt sich der Verzicht auf einen Streit auch dann noch aus, wenn der Gegenspieler nicht zögert?

Ein Beispiel: Karriere im Feld der Chronischen Flexibilität

Im Folgenden soll die Funktionsweise und Logik dieser Simulationsmethode anhand einer konkreten Forschungsarbeit (Strunk & Hermann 2000, Strunk, Hermann & Schiffinger 2002) etwas ausführlicher dargestellt werden. Ausgangspunkt der Simulation war die immer häufiger in der Literatur vertretene Meinung über die zunehmenden Unsicherheiten in den beruflichen Karrieren von Menschen, die heute in das Berufsleben einsteigen (z.B. Arthur & Rousseau 1996, Hall 1996, Peiperl & Baruch 1997, Arthur, Inkson & Pringle 1999, Mayrhofer et al. 2000). Karrieren werden mehr und mehr komplex. Diese Feststellung durchzieht viele Arbeiten im Bereich der Karriereforschung seit dem Beginn der 90er Jahre. Karrieren, so der Tenor vieler Studien, werden in Zukunft eher erratische und wenig vorhersehbare Wege durch das Berufsleben sein, als das früher der Fall war (für einen Überblick siehe Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003). Bereits seit Jahren fordert z.B. die Europäische Union unter verschiedenen Schlagworten wie „Employability“ und „Lebenslanges Lernen“ eine möglichst hohe Flexibilität von denjenigen, die heute und in Zukunft ins Berufsleben einsteigen (z.B. Reetz & Reitmann 1990, IBW 1997, Office for Official Publications of the European Communities 1999a, 1999b). Jeder hat in Zukunft damit zu rechnen, im Verlauf seiner Karriere zumindest einmal arbeitslos zu werden. Nur wenige werden ihr ganzes berufliches Leben hindurch im selben Fachgebiet arbeiten.

„Chronische Flexibilität“, ein Karrieremuster der Zukunft

Während einige Autoren die grenzenlose Freiheit neuer Karrieren bejubeln (z.B. Arthur & Rousseau 1996, Arthur, Inkson & Pringle 1999) und in diesem Zusammenhang von der „*boundaryless career*“ sprechen, äußern sich andere Autoren vorsichtiger (z.B. Mayrhofer et al. 2000). Sollten Karrieren völlig frei und unbegrenzt verlaufen, so würden sie kein Muster mehr aufweisen, wären also vom Zufall bestimmt. Dass Karrieren in ihrer Dynamik tatsächlich komplexer geworden sind, aber keinesfalls als zufällige Prozesse erscheinen, konnte inzwischen gezeigt werden (Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003; vgl. auch Abbildung 70, S. 265). In dem Maße indem neue Karrieren weitaus komplexer verlaufen, verweisen sie auch auf veränderte Rahmenbedingungen des beruflichen Lebens und lassen damit andere Erfolgsfaktoren vermuten, als sie für klassische organisationale Karrieren bereits mehrfach beschrieben wurden (z.B. bei Hughes 1951, Becker & Strauss 1956, Super 1957, Glaser 1968, Dyer 1976, Hall 1976, Schein 1978, Gunz 1989). Am ehesten scheint der Begriff der „*Chronischen Flexibilität*“ die Rahmenbedingungen neuer Karrieren zu beschreiben (vgl. Mayrhofer et al. 2000). Im Gegensatz zu einer organisationalen Karriere, bei der sich ein Individuum über einen langen Zeitraum an eine Organisation bindet und die Organisation ihrerseits Bemühen um eine dauerhafte Bindung ihrer Mitarbeiter zeigt, zeichnet sich die „chronisch flexible“ Karriere durch eine geringe Bindung zwischen den Akteuren aus. Es entstehen selten längerfristige Abhängigkeitsverhältnisse. Damit definiert sich das Karrierefeld der Chronischen Flexibilität zum einen durch die fehlende oder nur geringe Bindung zwischen den Akteuren, z.B. einem Auftraggeber und einem Dienstleister, und zum anderen durch eine geringe zeitliche Erstreckung der

Interaktion. In diesem Sinne wechseln die Interaktionspartner schnell und gehen kaum eine Bindung zueinander ein. Ein gutes Beispiel für solche Konstellationen sind z.B. die neuen Selbständigen, die für verschiedene häufig wechselnde Auftraggeber, zum Teil höchst unterschiedliche Aufgaben ausführen. Weder Inhalte noch Akteure sind zeitlich stabil.

Diese Merkmale der Chronischen Flexibilität bringen sie in die Nähe der oben bereits beschriebenen Simulationsumgebung. Hier wie dort, wirken die Belohnungen nur über eine relativ kurze Zeit, dann ist das Dienstverhältnis beendet, der Auftrag erfüllt, und die Suche nach einer neuen Aufgabe beginnt. Zudem kämpfen nicht selten mehrere Anbieter um den Zuschlag. Der Rahmen der Simulation entspricht in wesentlichen Aspekten dem Feld der Chronischen Flexibilität. Anders als in der organisationalen klassischen Karriere ist jeder Job nur von kurzer Dauer und erscheint jede neue Suche nach einem Auftrag als neues Spiel mit neuem Glück oder Pech. Ganz anders, bestimmen in der Welt der Organisationen die einmal eingeschlagenen Karrierepfade weitgehend über den weiteren beruflichen Werdegang. Erfolgreiche Karrieren sollten daher in der Welt der Chronischen Flexibilität ganz anderen Gesetzen gehorchen als in der organisationalen Welt.

Das unterschiedliche Verhalten von Frauen und Männern in der Arbeitswelt

Im Wesentlichen basiert die Simulation zur Chronischen Flexibilität auf den oben bereits vorgestellten Grundgedanken und Prinzipien, die im Kern auf Simulationsstudien von Conte und Castelfranchi zurück gehen (Conte & Castelfranchi 1995, Castelfranchi, Conte & Paolucci 1998, Saam & Harrer 1999). Im Unterschied zu den genannten Arbeiten, spielen jeweils zwei Gruppen von Agenten mit unterschiedlichen sozialen Regeln gegeneinander. Die Regeln für die beiden Gruppen basieren dabei im Wesentlichen auf Arbeiten über das unterschiedliche karriere-wirksame Verhalten von Männern und Frauen im höherqualifizierten Arbeitsmarkt. Natürlich mussten die Verhaltensweisen jeweils stark vereinfacht in die Simulation übernommen werden, sodass es weniger darum gehen kann das Verhalten von Frauen und Männern zu vergleichen, als vielmehr verschiedene Verhaltensstrategien auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen. Ob die eine oder die andere Strategie häufiger von Männern oder von Frauen angewendet wird, soll in der anschließenden Interpretation der Ergebnisse keine wesentliche Rolle spielen.

Als Spielfeld dient ein Raster mit zehn mal zehn Feldern. Das wichtigste Ziel der auf dem Spielfeld agierenden Agenten ist es, so viele Jobs bzw. Aufträge wie möglich zu erhalten. Das ist jedoch gar nicht so leicht, da jeweils nur 25 Jobs für 50 Agenten zur Verfügung stehen. Dennoch besteht für jeden Agenten eine Chance auf einen Job, da ein Auftrag, nachdem er ausgeführt wurde, an einer zufällig ausgewählten Stelle erneut auf dem Spielfeld erscheint. Das Ausführen eines Jobs erhöht die Energie des Spielers und erhöht damit die Möglichkeit im Konkurrenzkampf zu gewinnen und hilft zudem längere Zeiträume ohne Job zu überstehen. Erfolgreiche Agenten können am Ende der Simulation über ihr Energieniveau von erfolglosen Agenten unterschieden werden.

Da eine Simulation auf der zufälligen Auswahl der Positionen der Agenten und Jobs beruht, werden insgesamt 100 Simulationen mit verschiedenen Ausgangspositionen durchgeführt. Jede einzelne der Simulationen umfasst dabei 2.000 Spielrunden.

Zu Beginn einer jeden Spielrunde wählt jeder Agent sein Verhalten aus sechs möglichen Verhaltensweisen aus:

1. **Sehen-Hingehen.** „Sieht“ ein Spieler einen Job, was in seiner direkten Umgebung, seinem sog. Territorium, bestehend aus jeweils einem Spielfeld in jeder Richtung, ausgehend von seiner aktuellen Position, möglich ist, so bewegt er sich auf das Feld zu.
2. **Job ausführen.** In der nächsten Spielrunde könnte der Agent dann den Job ausführen, was zwei Spielrunden dauert.
3. **Hörensagen-In-Richtung-Gehen.** Ein Agent kann einen Job förmlich „riechen“, irgendwoher kann er Wind von einem Job bekommen. Dies ist möglich im Bereich seiner sog. Nachbarschaft, die zwei Felder, ausgehend von seiner aktuellen Position umfasst. Hört der Agent also von einem Job in seiner Nachbarschaft, wird er sich dorthin begeben. Dazu sind jedoch zwei Spielrunden nötig, da sich der Job ja zwei Felder entfernt befindet.
4. **Aggression.** Wenn ein Agent durch Hörensagen von einem Job erfahren hat, benötigt er zwei Schritte um dorthin zu gelangen. Inzwischen kann ein anderer Agent ebenfalls den Job erreicht haben oder bereits vor ihm dort ankommen sein. In Abhängigkeit von der sozialen Verhaltensnorm des Agenten kann dieser nun mit Aggression reagieren. Der Kampf um einen Job wird immer von dem Agenten gewonnen, der über die höchste Energie verfügt. Ist die Energie beider Agenten gleich hoch, so gewinnt der Verteidiger.
5. **Zufällige Bewegung.** Nicht immer kann ein Job gesehen werden oder findet sich einer in der Nachbarschaft eines Agenten. Wenn auch nicht gerade ein Job ausgeführt oder um einen gekämpft wird, bleibt dem Agenten nichts anderes übrig, als sich zufällig über das Spielfeld zu bewegen.
6. **Pause.** Aber jedes Verhalten kann in eine Sackgasse führen. Manchmal ist gar keine Bewegung möglich, z.B. wenn die Verhaltensnorm einen Angriff verbietet, aber rund um die aktuelle Position Jobs ausgeführt werden. In solchen und ähnlichen Fällen können die Agenten nur warten, bis sich neue Bewegungsmöglichkeiten bieten.

Wie aus Abbildung 88, die den Ablauf der Verhaltensweisen als Flussdiagramm darstellt, ersichtlich wird, ist Aggression immer nur dann möglich, wenn ein Agent nach der Ankunft bei einem Job, von dem er durch Hörensagen erfahren hat (Verhalten 3) einen anderen Agenten vorfindet, der den Job bereits ausführt. Ob der ankommende Spieler in diesem Fall Aggression zeigen wird oder nicht, hängt dann jedoch von den sozialen Normen des Agenten ab. Gewinne verbuchen Agenten nur dann, wenn sie Jobs vollständig ausführen. Entgeht ihnen ein Job, weil sie einen entsprechenden Kampf verloren haben, entgeht ihnen auch der Zugewinn an „Energie“. Hinzu kommt ein stetiger „Energieverlust“ durch die Ausführung der genannten Aktionen selbst. So „kostet“ jede Bewegung um ein Spielfeld einen Energiepunkt, ebenso wie das Verharren in der Pause. Ein Angriff, ebenso wie die Verteidigung eines Jobs kostet jeweils vier Punkte. Auf einen speziellen Bonus für den Gewinner oder einen besonderen Energieverlust für den Verlieren wurde in der vorliegenden Simulation verzichtet.

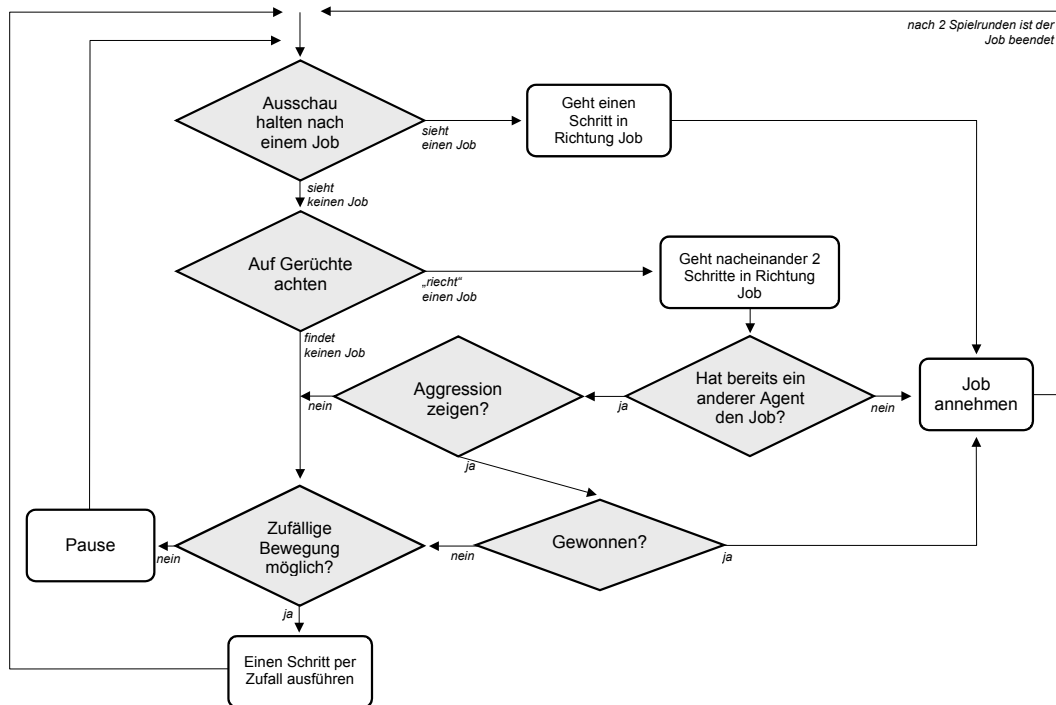


Abbildung 88: Flussdiagramm der Verhaltensoptionen eines autonomen Agenten

Insgesamt stehen einem autonomen Agenten sechs verschiedenen Verhaltensmöglichkeiten zur Verfügung. Welches Verhalten jeweils gezeigt wird, hängt von der aktuellen Situation und in Bezug auf aggressives Verhalten von der Verhaltensnorm des Agenten ab.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden vier Normen miteinander verglichen. Die ersten beiden umfassen das oben bereits genannte wenig geschickte Verhalten der „blinden Aggression“ und der „strategischen Aggression“. Beide Verhaltensnormen werden bereits in der Literatur ausführlich beschrieben und können daher sowohl als Referenzverhalten bzw. *Baseline* und als Möglichkeit, die Funktionsweise der Simulation zu prüfen, dienen (Conte & Castelfranchi 1995, Castelfranchi, Conte & Paolucci 1998). Nach der Verhaltensnorm der „strategischen Aggression“ wird aggressives Verhalten nur dann gezeigt, wenn auch ein Sieg möglich ist. Daher erfolgt ein Angriff nur dann, wenn der Angreifer über einen besseren Energiezustand verfügt. In allen anderen Fällen unterbleibt die Aggression, die ohnehin nur schlecht ausgehen könnte.

„Männerbünde“ verbieten männlichen Agenten Angriffe auf andere Männer

Weitere zwei Verhaltensnormen werden in der Literatur häufig als typisch männliche Verhaltensweisen im Berufsleben beschrieben und in einem Zusammenhang mit dem Karriereerfolg von Männern gebracht. Die dritte Verhaltensnorm beruht dabei auf der Beobachtung, dass Männer sich häufiger als Frauen zu Seilschaften, so genannten „Männerbünden“ zusammenschließen (Rastetter 1998). Natürlich können mit den begrenzten Möglichkeit eines Simulationsmodells nicht alle Aspekte solcher Männerbünde simuliert und nachgestellt werden. Die dritte Verhaltensnorm fällt daher relativ simpel aus: Sie verbietet für „männliche“ Agenten Angriffe auf andere Männer. Da diese Verhaltensnorm nur Aussagen über die Agenten trifft, die auf keinen Fall angegriffen werden können, stellt sich die Frage, wie und unter welchen Bedingungen denn gegen die anderen Agenten, gegen

die Aggression erlaubt ist, vorgegangen werden soll. Hier zeigt sich, dass es möglich ist die dritte Norm jeweils mit der ersten (blinde Aggression) und der zweiten (strategische Aggression) zu kombinieren. Insgesamt kommt die dritte Norm also zwei Mal zum Einsatz.

Man sollte sich nicht unter Wert verkaufen

Auch die vierte Verhaltensnorm wird häufig als typisch männliches Verhalten beschrieben. Sie geht davon aus, dass Männer selten berufliche Angebote annehmen, für die sie sich überqualifiziert fühlen. Insbesondere die *Tournament Theorie* (Rosenbaum 1979, 1984) zeigt, dass ein solches Verhalten wichtig für den Karriereerfolg in großen Unternehmen ist. Wer hier einen Job annimmt, für den er eigentlich überqualifiziert ist, kommt nie wirklich ganz nach oben. Um ein solches Verhalten zu simulieren werden zwei Erweiterungen des Simulationsmodells nötig. Zum einen muss es verschiedene lukrative Jobangebote geben. Zum anderen muss es den männlichen Agenten möglich sein, sich selbst in Vergleich zur Qualifikation der anderen Agenten einzuschätzen.

In der Originalarbeit von Conte und Castelfranchi gibt es insgesamt 25 Belohnungen, die jeweils auf den festen Betrag von 20 Punkten begrenzt sind, sodass ein Agent, der eine Belohnung vollständig konsumiert, sein Energieniveau um 20 Punkte anheben kann. Dieser Ansatz der gleichwertigen Belohnungen scheint für eine Simulation im Bereich des Berufslebens wenig adäquat. In der Simulation von Strunk und Hermann (2000) sowie von Strunk, Hermann und Schiffinger (2002) werden daher drei verschiedene Belohnungen, hier als Jobangebote verstanden, genutzt. Zwölf geringbezahlte Angebote erbringen jeweils nur zehn Punkte, wohingegen acht Angebote im mittleren Bereich angesiedelt sind. Für diese Jobangebote gibt es dann schon jeweils 30 Punkte. Hochbezahlte Angebote sind selten. Nur fünf Belohnungen bieten jeweils 72 Punkte.

Damit die Männer, die der vierten Verhaltensnorm folgen einschätzen können, ob ein Job unter ihrem Niveau ist, werden die Energieniveaus aller Männer immer wieder in eine Rangordnung gebracht und in drei gleichgroße Gruppen unterteilt. Aggressives Verhalten kommt für diese Agenten nur für Jobs in Frage, die mindestens ihrer Position in der Rangordnung entsprechen. Da auch diese Verhaltensnorm nur Aussagen darüber trifft unter welchen Bedingungen auf keinen Fall angegriffen wird, stellt sich die Frage, wie und unter welchen Bedingungen für diese Agenten Aggression erlaubt ist. Hier zeigt sich, dass es ebenso wie für die dritte Norm („Männerbünde“) möglich ist, auch die vierte Norm jeweils mit der ersten (blinde Aggression) und der zweiten (strategische Aggression) zu kombinieren.

Über 15 Experimente werden die Verhaltensnormen miteinander verglichen

Um nun zu überprüfen, welche Verhaltensnorm sich im direkten Vergleich mit einer anderen als erfolgreicher herausstellt, werden jeweils 25 Agenten mit der einen und 25 andere mit einer anderen Norm auf einem Spielfeld zusammengebracht. Die eine Gruppe von Agenten wird dabei als Gruppe A und die andere als Gruppe B bezeichnet. Für eine vollständige Kombination jeder Norm mit einer anderen sind insgesamt 15 Experimente nötig, die in Tabelle 9 so angeordnet sind, dass aus theoretischen Gründen jeweils davon ausgegangen werden kann, dass die Gruppe B besser abschneidet. Ausnahmen bilden die Experimente 11 bis 15, für die vorab keine Hypothesen formuliert werden können.

Um die Nützlichkeit einer Norm zu quantifizieren, wird jedes Experiment 100 Mal mit unterschiedlichen Startpositionen durchgeführt. Jede dieser Spieldurchführungen umfasst dabei jeweils 2.000 Spielrunden. Die mittlere Stärke der Agenten der beiden Gruppen der letzten Spielrunde wird jeweils festgehalten, ebenso die Streuung der Energieverteilung innerhalb einer Gruppe. Die stärkere Gruppe ist natürlich diejenige, die zum Ende der Simulation im Durchschnitt über die meiste Energie verfügt. Aber auch Unterschiede in der Streuung sind bedeutsam. Ist die Streuung groß, so gibt es starke Unterschiede zwischen den Mitgliedern der Gruppe. Eine gute Verhaltensnorm fördert aber den Wohlstand aller Gruppenmitglieder, was mit einer geringen Streuung verbunden wäre.

	Norm Gruppe A	Norm Gruppe B	Hypothese	Ergebnis
Experiment 1	1	2	B ist besser	*
Experiment 2	1	3.1	B ist besser	*
Experiment 3	1	3.2	B ist besser	*
Experiment 4	2	3.1	B ist besser	*
Experiment 5	2	3.2	B ist besser	*
Experiment 6	3.1	3.2	B ist besser	*
Experiment 7	1	4.1	B ist besser	*
Experiment 8	1	4.2	B ist besser	*
Experiment 9	2	4.1	B ist besser	
Experiment 10	2	4.2	B ist besser	
Experiment 11	3.1	4.1	?	
Experiment 12	3.1	4.2	?	
Experiment 13	3.2	4.1	?	
Experiment 14	3.2	4.2	?	
Experiment 15	4.1	4.2	?	

* Bestätigung des erwarteten Mittelwertunterschiedes ist signifikant mit $p < 0,01$ (1-seitige Testung)

Norm 1: Blinde Aggression

Norm 2: Strategische Aggression (nur Schwächere angreifen)

Norm 3: Keine Aggression gegen Mitglieder der eigenen Gruppe (wird kombiniert mit Norm 1 und 2)

Norm 4: Keine Aggression für Jobs unter Niveau (wird kombiniert mit Norm 1 und 2)

Tabelle 9:

Experimentaldesign im Simulationsmodell der chronisch flexiblen Karriere

Jeweils 25 Agenten der Gruppe A und der Gruppe B spielen gegeneinander. Die Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Kombinationen der Verhaltensnormen der beiden Gruppen und zeigt in der letzten Spalte die Ergebnisse der Simulation.

Dass der Vergleich zwischen der ersten und der zweiten Norm klar auf die Überlegenheit der strategischen Aggression verweist, konnte bereits von verschiedenen Autoren gezeigt werden (Conte & Castelfranchi 1995, Castelfranchi, Conte & Palucci 1998, Saam & Harrer 1999). In diesem Sinne bekräftigen die im Rahmen der vorliegenden Simulation erbrachte Ergebnisse, die in die gleiche Richtung weisen, nicht nur die bereits vorliegenden Befunde, sondern belegen zudem die Gültigkeit des neu programmierten Simulationsmodells.

Die Norm zum Schutz der eigenen soziale Gruppen ist die erfolgreichste Norm

Auch für die dritte Norm wurde eine klare Überlegenheit vermutet, die sich auch durch die Simulationen bestätigen ließ. Die Unterschiede zu den ersten beiden Normen fallen zudem überaus deutlich und weit größer aus, als ursprünglich erwartet wurde. Dass dieser positive Effekt tatsächlich auf der Einbindung der Agenten in eine soziale Gruppe beruht, zeigt sich daran, dass unabhängig davon ob mit dieser Norm blinde oder strategische Aggression kombiniert wird, sich

immer eine starke Überlegenheit der Kombination gegenüber der jeweiligen Norm ohne soziale Schutzmechanismen ergibt. Es zahlt sich also stark positiv aus, zu Gunsten einer Gruppe von Spielern grundsätzlich auf Aggression zu verzichten. Obwohl den Agenten dadurch natürlich auch ab und an mal Jobs entgehen, die sie durch einen kleinen Streit leicht hätten erringen können, profitieren sie davon, dass auch die anderen Mitglieder der Gruppe auf das Recht des Stärkeren verzichten. Der Schutz der eigenen Gruppe ist insgesamt die erfolgreichste der vorgestellten Normen.

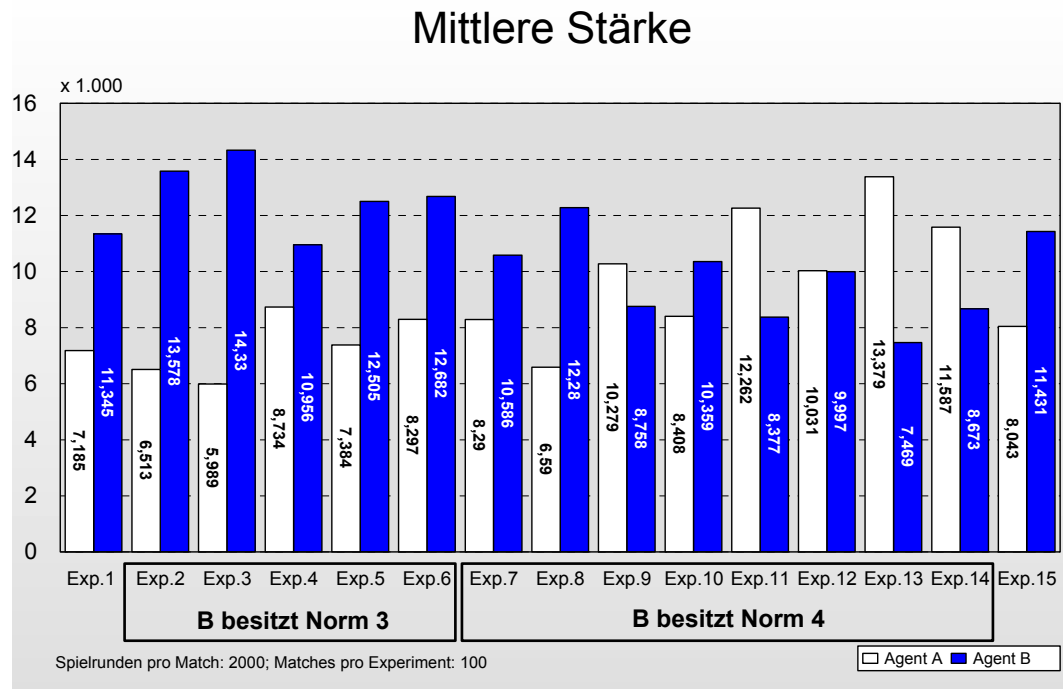


Abbildung 89: Ergebnisse der Experimente der Simulation chronisch flexibler Karrieren (Mittlere Stärke)

Die Abbildung zeigt relativ deutlich die Überlegenheit der dritten Norm. Auch die vierte Norm scheint zunächst zu einer größeren mittleren Stärke zu führen als die einfachen Normen der blinden und strategischen Aggression. Gegen die dritte Norm, die die Bedeutung der sozialen Gruppe betont, hat aber auch die vierte Norm nur eine geringe Chance.

Nicht ganz so deutlich erweist sich die Überlegenheit der dritten Norm gegenüber der vierten. Überhaupt zeigen sich die Auswirkungen der vierten Norm erst auf den zweiten Blick. Im Rahmen der Experimente sieben bis zehn wurden die beiden Kombinationen der vierten Norm mit der blinden und der strategischen Aggression gegenüber eben diesen beiden Normen erprobt. Aber nur in drei der vier Experimente zeigt sich die im Rahmen der *Tournament Theorie* (Rosenbaum 1979, 1984) für so wichtige erachtete Verhaltensregel gegenüber den einfachen Verhaltensnormen als überlegen. Da die blinde Aggression auch ohne die Bestätigung durch eine Simulation als die ungünstigste Verhaltensweise gelten kann, wundert es wenig, wenn sich die vierte Norm hier überlegen zeigt (vgl. Experiment 7 und 8 in Abbildung 89). Aber gegen die strategische Aggression unterliegt sie relativ eindeutig, wenn sie selbst mit blinder Aggression kombiniert wird (Experiment 9 in Abbildung 89) und liegt nur knapp vorne, wenn sie ebenfalls die strategische Aggression einsetzt (Experiment 10 in Abbildung 89).

Ebenfalls unterlegen ist das Abwägen der Aggression nach Gesichtspunkten des eigenen Niveaus und dem Wert eines Jobs gegenüber der Gruppennorm (Norm 3: „Männerbünde“). Selbst dann, wenn die Norm zum Schutz der eigenen Gruppe gegenüber allen anderen Mitspielern mit blinder Aggression kombiniert wird, kommt die vierte Norm nicht an sie heran. Es überrascht dabei wenig, dass dies nicht gelingt, wenn die vierte Norm ebenfalls mit blinder Aggression kombiniert wird (Experiment 11 in Abbildung 89). Aber auch in Kombination mit strategischer Aggression kann sie die Gruppennorm, die ihrerseits mit der schlechteren Option der blinden Aggression kombiniert wurde nicht erreichen (Experiment 12 in Abbildung 89). Der Kombination der Gruppennorm (Norm 3) mit der strategischen Aggression zeigt sich die vierte Norm eindeutig unterlegen.

Kämpfen Agenten nicht für Jobs die sie für unter ihrem Niveau halten führt das schnell dazu, dass ihre Energie absinkt. Wenn sie dann das Niveau erreicht haben, bei dem sie sich auch für die schlecht bezahlten Jobs schlagen würden, ist es schon zu spät, um sich wieder nach oben zu arbeiten. Aber auch dort, wo sich das Verhalten im Mittelwert durchaus bezahlt macht, nämlich im Vergleich zu den beiden eher primitiven Verhaltensnormen, zeigt sich, dass die vierte Norm zu extrem großen Standardabweichungen führt. Im Zusammenhang mit der vierten Norm ergibt sich eine größere soziale Ungerechtigkeit, als sie in der Gruppe herrscht, in der nichts als blinde Aggression zählt (vgl. Abbildung 90).

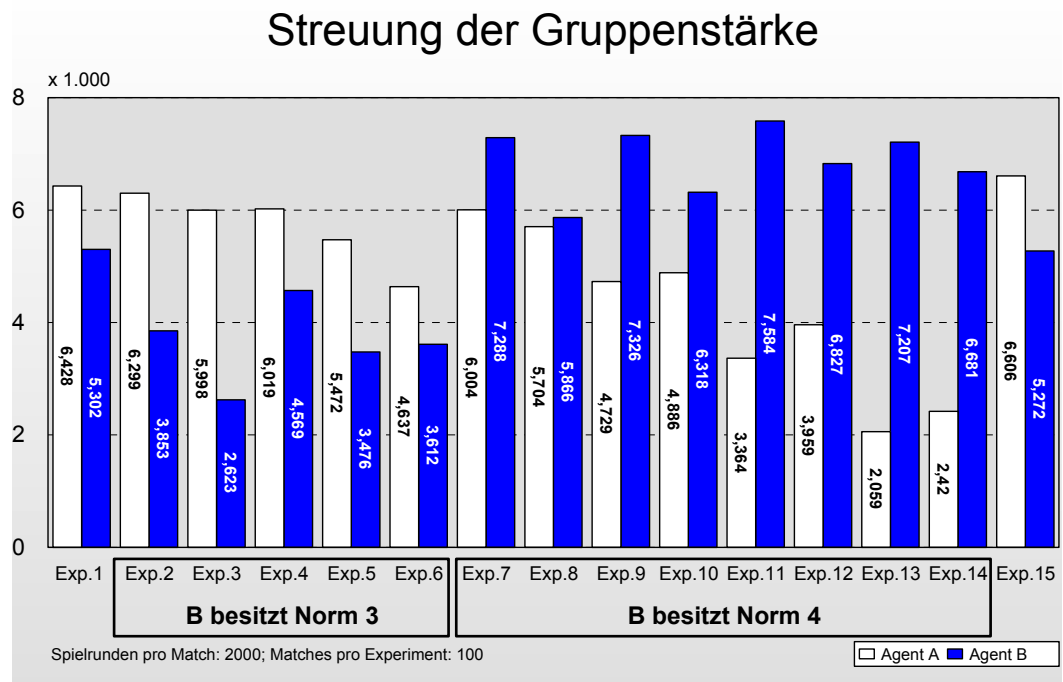


Abbildung 90: Ergebnisse der Experimente der Simulation chronisch flexibler Karrieren (Streuung der Gruppenstärke)

Auch in Bezug auf die Streuung schneidet die Norm 3 besonders gut ab. Dieses Ergebnis zeigt, dass diese Norm für eine gerechtere Verteilung innerhalb der Gruppe führt als die anderen Normen. In Bezug auf die Gerechtigkeit der Verteilung schneidet die Norm 4 sogar schlechter ab als blinde Aggression.

Die Ergebnisse der Experimente lassen sich gut zusammenfassen, indem der jeweilige Mittelwert durch die Standardabweichung dividiert wird. Da ein hoher Mittelwert und eine geringe Standardabweichung positiv zu bewertende Ergebnisse darstellen, kann durch eine Division der beiden Größen ein gemeinsamer Kennwert definiert werden (vgl. Abbildung 91). Auch hier zeigt sich, wie wenig die Norm 4 geeignet ist, die Karriere in einem chronisch flexiblen Arbeitsfeld zu fördern.

Auf einem wenig reglementierten, sich schnell ändernden Arbeitsmarkt gelten grundlegend andere Gesetzmäßigkeiten als in großen Organisationen

Sollten die hier vorgestellten Simulationen tatsächlich geeignet sein, Aufschlüsse über die Nützlichkeit verschiedener Verhaltensnormen in Bezug auf den Karriereerfolg im Bereich der Chronischen Flexibilität zu liefern, so sind die Ergebnisse zur vierten Norm höchst erstaunlich. Sie verweisen darauf, dass in einem flexiblen und wenig reglementierten Arbeitsmarkt, wo die relevanten Akteure schnell wechseln, ganz andere Regeln gelten als in großen Organisationen. Während es in einer Organisation möglichst vermieden werden sollte Aufgaben unter dem eigenen Niveau zu übernehmen, herrscht im Bereich der Chronischen Flexibilität keine Wahlfreiheit. Hier muss man nehmen was man kriegen kann. Langes Zögern kann sich hier niemand leisten. Wer weiß, wann man den nächsten Job findet und ob dieser einen höheren Lohn bietet. Die geringe Planbarkeit der Zukunft erfordert es zuzugreifen, solange und wo es nur geht. Dabei sollte es durchaus auch nötig sein Aggression einzusetzen. Dies sollte jedoch strategisch geschehen und Netzwerke und Seilschaften verschonen.

Ob sich diese Tendenzen tatsächlich in Zukunft auch empirisch nachweisen lassen, kann heute noch nicht abgeschätzt werden. Seit 2000 bemüht sich das *Vienna Carrer Panel Project* (ViCaPP) um den Aufbau eines größeren Längsschnittpanels. Die Begleitung von Hochschulabsolventen und -Absolventinnen im Verlauf ihrer Karriere soll dann in den nächsten Jahren zeigen, was für Veränderungen die Zukunft in Bezug auf die Mechanismen von Karrieren bereithält (z.B. Mayrhofer et al. 2000, Mayrhofer et al. 2002, Strunk, Hermann & Schiffinger 2002, Strunk et al. 2002a, Strunk et al. 2002b, Strunk, Schiffinger & Mayrhofer 2003). Die vorliegenden Simulationen zeigen aber bereits, dass es durchaus möglich ist, dass jenseits der organisationalen Karriere ganz andere Gesetze gelten, als derzeit für bedeutsam erachtet werden.

Simulationsmodelle für Vielteilchen-Systeme erfordern in Bezug auf die computertechnische Umsetzung einen größeren Entwicklungsaufwand

In Bezug auf die Modellierungstechnik selbst kann zusammenfassend festgestellt werden, dass Simulationen von Vielteilchen-Systemen mittels autonomer Agenten weniger nach einem vorgefertigten Schema durchgeführt werden können, als das für Simulationen mittels Gleichungssystemen möglich ist. Jedes Detail der Spielsituation und der Verhaltensweisen der Agenten muss einzeln programmiert werden. Standardlösungen, wie sie bei der Umsetzung von Gleichungssystemen z.B. durch die Anwendung bestimmter Lösungsalgorithmen leicht wiederverwertbar eingesetzt werden können, gibt es in diesem Feld nur im begrenzten Maße. Jedes Simulationsmodell erfordert einen großen Entwicklungsaufwand (für einen Überblick über weitere Einsatzgebiete zellulärer Automaten siehe Hütt 2001, S. 103ff.).

Zudem werden die hier vorgestellten Simulationsmodelle mittels autonomer Agenten selten zur Generierung raum-zeitlicher Muster genutzt. Anders als bei der Simulation komplexer Gleichungssysteme interessiert hier mehr das Endergebnis einer vielschichtigen, komplexen und viele Individuen umfassenden sozialen Interaktion, als der Prozess, der zu diesem Endergebnis führt. Das muss jedoch

nicht immer so sein. So sind verschiedene Modelle zellulärer Automaten beschrieben worden, z.B. für Färbungsmuster auf Tierfellen und Ähnliches (vgl. z.B. Deutsch 1994). Die Möglichkeiten zur Simulation komplexer Prozesse mittels zellulärer Automaten und autonomer Agenten sind also durchaus vielfältiger, als sie hier dargestellt werden können (vgl. ausführlicher dazu Hütt 2001, die Regeln eines zellulären Automaten zur Beschreibung von Wabenmustern in einem Bienenstock finden sich bei Camazine 1994, Bewegungsmuster von Zellen werden mittels zellulärer Automaten simuliert bei Grahn et al. 1994).

Mittlere Stärke in Einheiten der Streuung

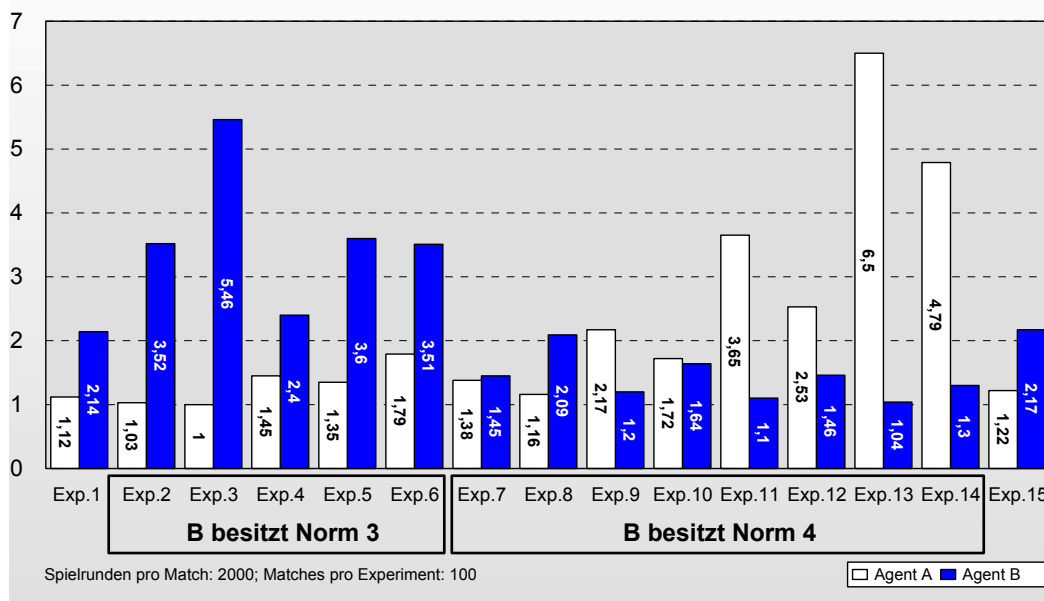


Abbildung 91: Ergebnisse der Experimente der Simulation chronisch flexibler Karrieren (Mittlere Stärke in Einheiten der Streuung)

Die Überlegenheit der Norm 3 und die große Unterlegenheit der Norm 4 zeigt sich in dieser Darstellung, bei der die mittlere Stärke jeweils durch die entsprechende Streuung dividiert wurde, sehr deutlich.

8.1.7 Zusammenfassung – Simulationsverfahren

Jede Simulation ist nur so gut, wie das theoretische Modell, das ihr zur Grunde liegt

In den vorangegangenen Abschnitten wurden verschiedene Verfahren zur Simulation komplexer dynamischer Systeme zum Teil anhand von Beispielen dargestellt. Die eleganteste Methode stellt dabei sicherlich die direkte Simulation von Gleichungssystemen dar. Aber auch dieses Verfahren, welches direkt auf den mathematischen Grundlagen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme aufbaut, kann nicht viel mehr leisten, als die theoretischen Vorüberlegungen in Zeitreihen zu übersetzen, die in das Modell selbst eingeflossen sind. In diesem Sinne sind die Modelle, unabhängig davon, mit welchen Verfahren sie letztlich zum Leben erweckt werden, nur ein Spiegel der Vorstellungen über die Wirkmechanismen die

ihnen zugeschrieben werden, für die es jedoch nur selten empirische Belege gibt. Simulationsmodelle sind damit immer nur so gut wie das theoretische Modell, das ihnen zu Grunde liegt. Damit zählt letztlich mehr, mit wie viel Sorgfalt das Modell begründet, entwickelt und in seiner logischen Stringenz geprüft wird, als der Umstand, ob es nun mit dem eher ungenauen Mid-Point-Verfahren oder mit einem Runge-Kutta Verfahren 4. Ordnung im Computer umgesetzt wird.

Die dargestellten Simulationsverfahren bieten jedes für sich eine Reihe von Vor- und Nachteilen, die es vor der Erstellung einer Simulation gegeneinander abzuwägen gilt. So sind für die Formulierung von Differentialgleichungssystemen umfassende mathematische Kenntnisse nötig. Auch wenn hier Anleihen bei Modellen zur Populationsdynamik genommen werden können, stellt die Formulierung eines zumindest realistischen Differentialgleichungssystems zur Beschreibung komplexer psychischer Phänomene doch einen großen mathematischen Aufwand dar.

Weniger voraussetzungsreich und auch in der computertechnischen Umsetzung weniger anspruchsvoll ist es, *Production Systems* zur Simulation zu nutzen. Brauchbare Ergebnisse können hier schon mit wenigen If-Anweisungen erzielt werden. Wird die Simulation jedoch komplexer, so kann in *Production Systems* schnell die Übersicht verloren gehen. Während es immer genau so viele Differentialgleichungen wie Systemvariablen gibt, lassen sich mit *Production Systems* beliebig viele Anweisungen für nur eine Variable formulieren. Erreicht das Modell dann einen Umfang von über 40 *Productions*, wie z.B. das Modell von Schaub und Schiepek (vgl. Schiepek & Schaub 1991, Schaub & Schiepek 1992), so können Definitionslücken, für die keine Anweisungen vorhanden sind oder *Conflict Sets*, bei denen gleich mehrere einander widersprechende If-Anweisungen gleichzeitig aktiv werden, nur mehr schwer gefunden werden.

Bei der Simulation von Systemen mit einer großen Anzahl an Elementen kann auf zelluläre Automaten, wie die dargestellten autonomen Agenten zurückgegriffen werden. Die Umsetzung einer solchen Simulation im Computer erfordert dann aber bereits einen erheblichen Programmieraufwand, der sich wenig an den theoretischen und praktischen Methoden der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme orientieren kann. In diesem Sinne sind diese Modelle dann auch nur selten dazu in der Lage die Ausbildung von raum-zeitlichen Mustern zu beschreiben. Vielmehr nehmen diese Ansätze die alte Frage danach ernst, was passieren würde wenn viele Menschen nach dieser oder jener Verhaltensnorm handelten.

Neuronale Netze

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Methoden bilden insgesamt nur einen kleinen Teil der Möglichkeiten an Top-down-Zugängen zu komplexen dynamischen Systemen ab. Eine weitere wichtige Simulationsmethode ist z.B. die Nutzung neuronaler Netze. Allerdings dienen auch diese Techniken nicht dazu die Ausbildung raum-zeitlicher Muster zu beschreiben. Bei neuronalen Netzen handelt es sich ebenfalls um ein Simulationsverfahren für ein System, das aus einer großen Zahl von Elementen, in diesem Fall sind es Neuronen, besteht. Die Simulationen implementieren dabei weniger konkrete, auf einen bestimmten Einzelfall bezogene Verhaltensweisen zwischen bestimmten Neuronen, sondern sind unabhängig von einem bestimmten Einsatzgebiet relativ gleich aufgebaut.

Neuronale Netze dienen in der Regel zur Mustererkennung und Modellierung komplexer Wahrnehmungsprozesse. Dabei wird ein vorgegebenes Netzwerk aus com-

putersimulierten Einheiten im Rahmen einer Trainingsphase mit bestimmten Reizmustern konfrontiert. Immer dann, wenn für ein bestimmtes Muster gleichzeitig mehrere Einheiten aktiviert werden, wird nach Maßgabe einer mathematischen Regel die Verknüpfung zwischen diesen Neuronen verstärkt. Diese häufig nach der Hebbschen Regel (Hebb 1949) trainierten neuronalen Netzwerke sind später dazu in der Lage auch bei Vorlage unvollständiger Reizkonfigurationen das gesamte Aktivierungsmuster zu rekonstruieren (für eine relativ umfassende Darstellung siehe Mainzer 1995, S. 247ff.).

Der Aufbau und die Grundstruktur neuronaler Netze ist dabei relativ einfach und über das ganze Netz hinweg weitgehend homogen. Zwar werden häufig verschiedene Schichten neuronaler Netzwerke unterschieden, aber auch diese Schichten sind aufgebaut aus einer Sammlung einzelner Elemente, deren Beziehungen untereinander im Verlauf einer Trainingsphase nach einer einfachen Regel verstärkt oder abgeschwächt werden. In diesem Sinne erzeugen neuronale Netze erst im Laufe der Trainingsphase das eigentliche funktionsfähige neuronale System, auf der Grundlage der Hebbschen Regel (die Verbindungen zwischen gleichzeitig aktivierten Neuronen werden verstärkt), aus sich selbst heraus. Simuliert wird also nicht ein vorher theoretisch formuliertes System, sondern vielmehr die Herausbildung eines Systems auf der Grundlage weniger Regeln und der Präsentation von Reizen.

Neuronale Netze können jedoch – vereinfachend gesprochen – nicht viel mehr, als komplexe Muster erkennen. Das können sie jedoch ganz hervorragend. In diesem Sinne werden gut trainierte neuronale Netze nicht selten zur Analyse komplexer Zeitreihendaten genutzt. Aus diesem Beispiel wird deutlich, dass trefflich darüber gestritten werden kann, ob neuronale Netze als Simulationsverfahren oder als Analyseverfahren aufgefasst werden können. Wahrscheinlich gilt beides ein wenig aber auch keins von beiden. Als Simulationsverfahren simulieren neuronale Netze, so unterschiedlich sie auch im Detail sein mögen, im Wesentlichen immer das Gleiche, nämlich die Herausbildung eines Systems, das in der Folge komplexe Muster erkennen kann. Sie sind daher als spezielle Simulationsverfahren relativ „langweilig“, können in ihrer technischen Nutzung jedoch kleine Wunder vollbringen. Damit sind sie unter anderem sehr gut dazu geeignet Zeitreihendaten zu filtern, zu interpolieren oder zu extrapolieren.

8.2 Methoden der Zeitreihenanalyse

Die Frage danach, was man nach der Erhebung einer Zeitreihe, unabhängig davon, ob diese im Rahmen einer Computersimulation künstlich erzeugt oder direkt im Feld, empirisch erhoben wurde, eigentlich mit ihr machen soll, ist ein noch immer nicht systematisch beantwortetes Problem. Liegen klare Hypothesen über die Dynamik vor, so kann mehr oder minder direkt, eventuell nach der Filterung von störenden Artefakten, versucht werden die in der Hypothese formulierten Behauptungen zu prüfen. Mögliche Hypothesen können das Vorliegen oder Fehlen von Chaos, das Vorherrschen einer geordneten Prozessstruktur gegenüber einer zufälligen, oder Aussagen über unterschiedliche Zeitreihen betreffen, etwa derart, dass davon ausgegangen wird, dass die eine Zeitreihe komplexer ist als eine andere.

Methodenvielfalt hilft die Schwächen einzelner Verfahren auszugleichen

Aber auch wenn solche Vermutungen oder Hypothesen den Gang einer Auswertung leiten können, bieten sich für die Analyse komplex anmutender Zeitreihen relativ viele verschiedene Analyseverfahren an, die je nach Datenqualität, Anzahl an Messzeitpunkten, Skalenqualität, Komplexität des Systems und ähnlichen Faktoren zu mehr oder minder verlässlichen Urteilen führen. In der Regel ergänzen sich dabei verschiedene Verfahren, sodass es wichtig erscheint eine Aussage nie alleine auf die Durchführung nur einer Methode zu stützen. Dies gilt insbesondere auch für Datensätze, für die nicht zweifelsfrei davon ausgegangen werden kann, dass die von den Verfahren geforderten Kriterien ausnahmslos eingehalten werden können.

Erste Eindrücke von der Dynamik ergeben sich durch graphische Darstellungen

Im Allgemeinen hat eine Analyse komplex anmutender Zeitreihen sich zunächst weniger an der Erprobung möglichst ebenso komplexer mathematischer Methoden zu orientieren, sondern sollte in einem ersten Schritt auf so einfachen Verfahren, wie einer graphischen Darstellung in Form von Zeitreihen- oder Phasenraumdiagrammen beruhen, um einen ersten Eindruck von den Datensätzen zu gewinnen. Dabei ist die Darstellung einzelner Zeitreihen als Phasenraumrekonstruktion genau genommen bereits eine relativ anspruchsvolle Methodik. Hier gilt es nämlich passende Werte für die Zeitverzögerungskordinaten zu bestimmen. Im einfachsten Falle können hierzu lineare Methoden, wie die Autokorrelationsfunktion genutzt werden.

Nach einer graphischen Darstellung der Daten, die erste Einblicke in die Dynamik erlaubt, können in der Regel zunächst einfache lineare Verfahren auf ihre Tauglichkeit geprüft werden. Hier bietet sich z.B. die Spektralanalyse und die mit ihr verwandte Autokorrelationsfunktion an. Bricht die Autokorrelationsfunktion schnell zusammen, was sich im Powerspektrum als breites Frequenzband äußert, so ist bereits an chaotische oder stochastische Prozesse zu denken.

Vorsicht bei der – und Notwendigkeit zur – Rauschfilterung

Nicht selten sind die Daten jedoch mit gewissen Ungenauigkeiten und Rauschen behaftet. Zudem können sich bei der Registrierung langer Zeitreihen auch mal Artefakte wie Ausreißer einschleichen. Letztere können bereits durch die graphischen Darstellungen identifiziert werden. Aber auch für die Filterung und Glättung von Zufallsfehlern und Rauschen sind geeignete Verfahren vorgeschlagen worden. Insgesamt sind solche Methoden der Datenfilterung jedoch mit äußerster Vorsicht einzusetzen. Bei chaotischen Prozessen z.B. kann im vorhinein nicht ge-

klärt werden, welcher Teil des beobachtbaren Datensatzes zum Signal und welcher zum Rauschanteil gehört. Eine Datenfilterung kann hier dazu führen, dass die eigentlich interessanten Informationen gänzlich verloren gehen.

Je nach Fragestellung kann versucht werden, den Prozess vor, während oder nach bestimmten Ereignissen in Klassen von Verhaltensweisen einzuteilen. So können vielleicht einfache Gesetzmäßigkeiten in den Daten zunächst relativ unsystematisch gefunden werden. Aber auch eine Clusterung verschiedener Verlaufsgruppen kann Erkenntnisse über den Prozess liefern. Allein die Untersuchung nur einer Zeitreihe eines so komplexen Geschehens wie z.B. einer Therapiesitzung kann bei hoher Auflösung einen unerschöpflichen Fundus an möglichen Verhaltensweisen bieten, sodass eine derart unsystematische Suche nach Struktur und Ordnung sehr zeitraubend sein kann. Recht einfache strukturelle Merkmale lassen sich jedoch mittels computergestützter Auswertungstechniken relativ leicht ermitteln (*Perioden, Trends, etc.*). Allerdings handelt es sich dabei meist um „*over-all*“-*Datenanalysen*, die die ganze Zeitreihe nach „einer“ Ordnung abtasten. Auch hier können Einteilungen in verschiedene Zeitreihenabschnitte hilfreich sein.

Selbst einfache deskriptive Auswertungen werden bei multiplen Zeitreihen schnell unübersichtlich

Die Möglichkeiten inhaltliche Aussagen über ein Systemverhalten zu machen, von dem mehr als nur eine Zeitreihe erhoben wurde, sind hingegen schnell unüberschaubar. So lässt sich jede Zeitreihe mit jeder korrelieren. Unter Umständen liegen Korrelationen aber nur in bestimmten Abschnitten vor, sodass wieder Abschnitte gebildet und einzeln korreliert werden müssen. Wenn zudem davon ausgegangen werden kann, dass verschiedene Systemkomponenten verschieden schnell auf Ereignisse reagieren, also anzunehmen ist, dass zeitverzögerte Interaktionsmuster vorliegen, gilt es zeitverschobene Korrelationen zwischen den Zeitreihen zu ermitteln. Kann dann noch davon ausgegangen werden, dass nichtlinearer Kopplungen zwischen den Variablen vorliegen, erschwert das die Auswertung noch einmal, indem lineare Korrelationen nur noch als Näherung betrachtet werden können, deren Güte im Dunklen bleiben muss.

Zufall oder Chaos?

Handelt es sich bei den zu analysierenden Zeitreihen um Daten, in denen auf herkömmlichem Wege keine einfachen Ordnungsstrukturen entdeckt werden können, so stellt sich die Frage, ob stochastische Prozesse (Zufalls-Rauschen) vorliegen oder ob es sich um chaotische, also erratisch geordnete Prozesse handelt. Auch für diese Unterscheidung sind Methoden vorgeschlagen worden, die jedoch erhebliche Anforderungen an die Datenqualität stellen. Ist der Nachweis von deterministischem Chaos jedoch erst einmal gelungen, so stellt sich erst recht die Frage nach der darin verborgenen Ordnung. Unter Umständen kann hier auf Methoden der Simulation der Zeitreihendaten durch theoretische Modelle zurückgegriffen werden, die eher Ordnungsstrukturen erkennen lassen als mit Messfehlern behaftete Zeitreihendaten. So würde sich der Kreis schließen, von empirischen Daten hin zu theoretischen Modellen. In vielen Bereichen ist man jedoch weit davon entfernt, theoretische Modelle und empirische Zeitreihendaten schlüssig in einem Forschungsmodell zu vereinen.

In den folgenden Kapiteln soll ein Überblick über verschiedene mehr oder minder gängige Methoden der linearen, aber vor allem der nichtlinearen Zeitreihenanalyse gegeben werden, wie sie im Rahmen der Analyse komplexer dynamischer Systeme Anwendung finden können.

8.2.1 Datenfilterung

Hochfrequente Fluktuationen, Rauschen oder zufällige Artefakte in den Daten können sich negativ auf die Anwendung von Methoden zur Kennzeichnung der Dynamik auswirken. Daher stellt sich in verschiedenen Stadien der Analyse komplexer Zeitreihen immer wieder die Frage nach einer effektiven Datenfilterung.

Als Filter sind frequenzspezifische Methoden, die nur bestimmte Frequenzen herausfiltern oder Breitbandfilter bekannt, die eine Glättung des gesamten Frequenzspektrums bewirken. In die Gruppe solcher Filter fallen z.B. die im Rahmen der Spektralanalyse (siehe unten S. 348ff.) angeführten Kernel-Filter (vgl. Gleichung 43 bis Gleichung 46). Solche Kernel-Filter dienen dazu bestimmte Frequenzbänder voneinander zu trennen (für einen Überblick über verschiedene Filtermethoden und ihre Implementierung sei an dieser Stelle auf Smith 1999 verwiesen).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll aus der Fülle der zur Verfügung stehenden Filter-Methoden das *gleitende arithmetische Mittel* als Breitbandfilter vorgestellt werden. In einem folgenden Kapitel wird dann noch auf Methoden des *Shadowing* eingegangen.

8.2.1.1 Gleitender arithmetischer Mittelwert

Eine Zeitreihe der Länge n die gegeben ist mit x_t wird bei Anwendung des Verfahrens des gleitenden Mittelwertes dadurch geglättet, dass jeder ihrer Werte x_t durch einen Mittelwert ersetzt wird, der sich aus dem Wert selber und einer mit a festgelegten Anzahl folgender Werte bildet. So wird ausgehend von jedem Punkt der Zeitreihe ein Fenster der Breite a gebildet, für diese Fenster der Mittelwert aller Punkte ermittelt und der Ausgangspunkt durch diesen Wert ersetzt:

Gleichung 32:
Gleitender Mittelwert

$$x_t^* = \frac{1}{a} \sum_{i=t}^{i=t+a-1} x_i .$$

Der Term x_t^* bezeichnet den neuen Zeitreihenwert. Beim beschriebenen Verfahren wird die Zeitreihe jedoch am Ende jeweils um $a-1$ Datenpunkte kürzer, weil für den Punkt, der gegeben ist durch $n-a-1$ zum letzten Mal genügend Nachfolgepunkte vorhanden sind, um die Berechnung vorzunehmen. Soll eine geglättete Zeitreihe einer ungeglätteten Zeitreihe gegenüber gestellt werden, empfiehlt es sich den durch die Glättung bedingten Verlust an Daten je zur Hälfte dem Beginn der Zeitreihe und dem Ende der Zeitreihe zuzuordnen. So interpretiert, ist jedes x_t^* der neuen Zeitreihe als Mittelpunkt des Glättungsfensters zu interpretieren, so dass sich t um $+a/2$ verschiebt. In Folge der durch den Algorithmus bewirkten Glättung verringert sich die Streuung der Daten. Die Kurve im (x,t) -Diagramm, wird mit zunehmendem a flacher und nähert sich von oben und unten ihrem Mittelwert, der durch das Verfahren nicht beeinflusst wird. Diese „Vorwärtsglättung“, die Nachfolger von x_t heranzieht, kann auch durch eine „Rückwärtsglättung“ ersetzt werden. Je größer das Fenster a gewählt wird, desto stärker fällt auch die Glättung aus. Wird a sehr groß gewählt gehen unter Umständen viele Details der Dynamik verloren.

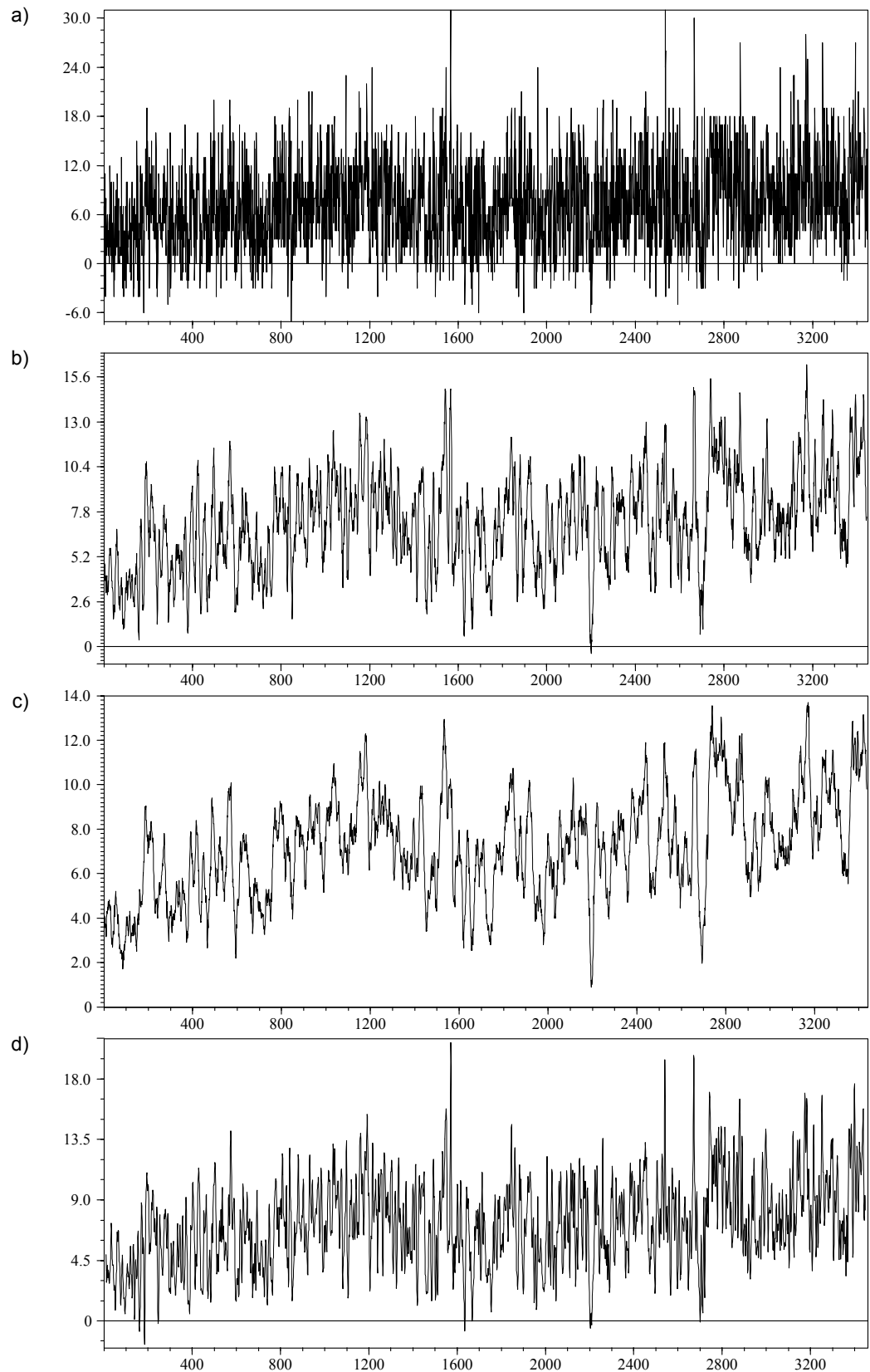


Abbildung 92: Wirkungsweise eines gleitenden Mittelwertes

Die in a) dargestellte Zeitreihe wird in b) mit einem Fenster der Breite 10 und in c) mit einem Fenster der Breite 20 geglättet. Die Abbildung d) ergibt sich durch eine zehnfache Glättung der Zeitreihe in a) mit einem gleitenden Mittelwert der Breite 2. Es zeigt sich, dass in d) weit mehr Details erhalten bleiben als in c).

Ein geschachtelter gleitender Mittelwert verringert die Streuung der Daten nur geringfügig

Eine Alternative zur einmaligen Anwendung einer starken Glättung mit großem a stellt die wiederholte Glättung einer Zeitreihe mit einem kleinen Fenster dar. Wird eine Zeitreihe zehn mal mit einem Fenster der Breite $a = 2$ geglättet, so ergibt sich ein weit detailreicheres Bild als die einmalige Glättung derselben Zeitreihe mit einem Fenster der Breite $a = 20$. Die mehrmalige Anwendung eines gleitenden Mittelwertes auf eine Zeitreihe wird als *geschachtelter gleitender Mittelwert* bezeichnet. Die Abbildung 92 zeigt die Auswirkungen eines einfachen gleitenden Mittelwertes und eines geschachtelten gleitenden Mittelwertes im Vergleich.

8.2.1.2 Vorhersagealgorithmen: Non-linear Forecasting

Ein noch recht junger Trend der Chaosforschung beschäftigt sich mit den Grenzen und der Reichweite von Vorhersagen in nichtlinearen dynamischen Systemen. Auch wenn das Verhalten chaotischer Systeme nicht über lange Zeiträume hinweg vorhergesagt werden kann, ist es möglich die Trajektorienverlauf auch chaotischer Systeme für kurze Zeiträume linear zu approximieren. So lassen sich z.B. Durchschnittsverhaltensweisen von Trajektorienströmen oder Trajektorienbündeln für begrenzte Zeitabschnitte ermitteln. Auch nichtlineare Methoden der Anpassung von Gleichungen, z.B. durch Taylorreihen oder Polynome hoher Ordnungen sind möglich.

Stollwerk und Drepper (1991) stellten vor, wie sie durch geeignete Approximationen aus nur 50 verrauschten zufällig gezogenen Messpunkten aus einer Zeitreihe des Hénon-Systems den gesamten Attraktor rekonstruieren konnten ohne weitere Informationen außer den 50 Punkten zu nutzen. Sowohl ein subjektiver visueller Vergleich der Attraktoren als auch die Bestimmung von statistischen Kennwerten zeigt, wie gut dieses Verfahren dazu dienen kann verrauschte und zu kurze Datensätze künstlich zu ergänzen und zu filtern. Der Lyapunov-Exponent konnte für die approximierte Zeitreihe mit $\lambda = 0,42 (\pm 0,01)$ bestimmt werden. Der Literaturwert liegt bei $\lambda = 0,418$ (vgl. Stollwerk & Drepper 1991).

Das Shadowing ist eine Möglichkeit auch chaotische Zeitreihen zu filtern oder fehlende Messwerte zu approximieren

Der Grundgedanke des Verfahrens wird als *Shadowing* bezeichnet. Unter der Annahme, dass auch eine komplexe chaotische Dynamik durch relativ einfache Gleichungssysteme generiert wird, werden Anpassungsverfahren für einfachen *Basisfunktionen* an empirische Daten benutzt, die nichtlineare mathematische Modelle an gegebene empirische Daten bestmöglich anpassen. Später kann dann aus diesen Modellen eine neue, nicht verrauschte und beliebig lange Zeitreihe gewonnen werden, die als „Schatten“ der Originalzeitreihe bezeichnet wird. Ein Set von verrauschten wenigen Messwerten wird dabei immer wieder mit den artifiziellen Daten verglichen. Es werden nach der Methode der kleinsten Quadrate oder der Maximum-Likelihoodschätzung die Parameter der Anpassungsfunktionen so gewählt, dass eine Minimierung der Distanzen zwischen beobachteten und erzeugten Messpunkten erreicht wird.

Globale und lokale Methoden des Non-linear Forecasting vertreten eine unterschiedliche Perspektive

Grundsätzlich können dabei zwei Methoden des *Non-linear Forecasting* unterschieden werden, nämlich lokale und globale Vorhersagealgorithmen (vgl. z.B. Crutchfield & McNamara 1987, Farmer & Sidorowich 1987, Lapedes & Farber 1987, Abarbanel, Brown & Kadtke 1989, Casdagli 1989, Abarbanel, Brown & Kadtke 1990, Giona, Lentini & Cimagalli 1991, Linsay 1991, Pawelzik & Schus-

ter 1991, Casdagli 1992, Jiménez, Moreno & Ruggeri 1992). Globale Methoden passen sämtliche vorhandene Daten an *eine* Approximationsvorschrift an. Hier werden verschiedene Methoden angewendet wie z.B. Polynome, rationale Funktionen, verschiedene Formen von Neuronalen Netzwerken und radial Basis Funktionen (vgl. Gleichung 35, S. 338).

Lokale Verfahren beschränken sich im Gegensatz dazu darauf eine Approximation für ein bestimmtes Zeitfenster zu ermitteln und nach und nach an verschiedene Abschnitte der Zeitreihe immer wieder neu anzupassen. Während chaotische Dynamiken über größere Zeiträume nur schwer, wenn überhaupt, vorhergesagt werden können, zeigt sich für kleine Zeiträume eine sehr hohe Vorhersagbarkeit, die auf den deterministischen Charakter des zu Grunde liegenden Systems verweist. Daher werden für lokale Approximationen in der Regel nur lineare Anpassungen oder Polynome geringer Ordnung verwendet. Die Nachteile dieses Vorgehens liegen darin, dass sowohl die gesamte Zeitreihe als auch eine Unzahl an Approximationsfenstern mit ihren Parametern verarbeitet und gespeichert werden müssen. Insgesamt sind diese Verfahren daher relativ rechenzeitaufwändig und eher kompliziert in ihrer Implementierung.

8.2.1.2.1 Globale Vorhersagealgorithmen

Eine der bereits angesprochenen Möglichkeiten zur Anpassung einer Zeitreihe an ein Gleichungssystem besteht in der Approximation durch Polynome der allgemeinen Form:

Gleichung 33:
Polynom n -ter Ordnung

$$y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 \dots + a_nx^n + a_0.$$

So lässt sich jede Funktion y als Linearkombination verschieden gewichteter Potenzen einer Variable x schreiben. Dabei wird die Anpassung um so höher sein, je höher die Polynomordnung gewählt wird, wobei die Ordnung eines Polynoms gegeben ist durch die höchste Potenz von x . So enthält ein Polynom der Ordnung 3 alle Potenzen von x von 0 bis 3 als gewichtete Linearkombination. Die Anzahl der Gewichte entspricht den zur Schätzung nötigen Parametern.

In einem zweidimensionalen Phasenraum werden nun Kombinationen von zwei Variablen y und x benötigt. Im dreidimensionalen Fall kommt eine weitere Variable hinzu. Die Zusammenhänge zwischen der Ordnung des Polynoms, der Einbettungsdimension des Phasenraumes und der Anzahl zu schätzender Parameter wird in Tabelle 10 dargestellt. Bei hohen Einbettungsdimensionen und genügender Anpassung ergeben sich eine ganze Reihe von zu schätzenden Parametern. Parallele Gleichungen müssen für die anderen Variablen (in Tabelle 10 sind die Gleichungen nur für y gegeben) aufgestellt werden. Kann für die verschiedenen Gleichungen prinzipiell die gleiche mathematische Form angenommen werden (z.B. alle Gleichungen als Polynom 4. Ordnung), so lässt sich das Gleichungssystem mittels Vektor- und Matrixschreibweise definieren als Matrix (Koeffizientenmatrix) M , die die x -, y -, z -Komponenten mit ihren Potenzen und Kombinationen enthält, einem Lösungsvektor \vec{Y} und einen Parametervektor \vec{P} :

$$\vec{Y} = M\vec{P}.$$

Ordnung des Polynoms, d	Einbettungsdimension, m	Ausdruck	Anzahl der Parameter, p	Allgemein
$d = 1$	$m = 2$	$y = a_1x + a_0$	2	$p = m$
	$m = 3$	$y = a_1x + a_2z + a_0$	3	
	$m = 4$	$y = a_1x + a_2z + a_3w + a_0$	4	
$d = 2$	$m = 2$	$y = a_1x + a_2x^2 + a_0$	3	$p = m^2$
	$m = 3$	$y = a_1x + a_2x^2 + a_3z + a_4z^2 + a_5y^2 + a_6xz + a_7xy + a_8yz + a_0$	9	
				$p = m^d$

Tabelle 10: Anzahl zu schätzender Parameter für ein Polynom der Ordnung d und der Einbettungsdimension m

Allgemein zeigt sich in der Tabelle, dass sich die Anzahl zu schätzender Parameter für ein Polynom der Ordnung d und der Einbettungsdimension m aus m^d ergibt (vgl. Tsonis 1992, S. 218).

Die p Elemente des Parametervektors können durch die Cramersche Regel bestimmt werden durch:

Gleichung 34:
Cramersche Regel

$$P_k = \frac{\det M^{(k)}}{\det M}, \text{ mit } k = 1, 2, 3, \dots, p.$$

Das Element k des Parametervektors ist gegeben als Quotient der Determinanten $M^{(k)}$ und M . M ist die Determinante der Koeffizientenmatrix und $M^{(k)}$ die Determinante der Koeffizientenmatrix, bei der die Spalte k durch den Lösungsvektor ersetzt wurde. So kann der Parametervektor jedoch nur an einen Lösungsvektor angepasst werden. Da jedoch eine endliche Zahl von Lösungsvektoren existiert, ist es nötig, einen Parametervektor zu finden, der alle Punkte möglichst gut abbildet. Dies kann über die Minimierung des Quadrates des Fehlers e der Vorhersage geschehen:

$$\lim_{e \rightarrow 0} e = \left\| M\vec{P} - \vec{Y}_i \right\|^2.$$

Auch hierfür sind verschiedene Methoden vorgeschlagen worden (vgl. Tsonis 1992, S. 217f.).

Mittels der hier vorgeschlagenen Methode kann jedoch nur eine Passung an ein globales Modell vorgenommen werden. In der Realität, verliert sich die Vorhersagegenauigkeit dann jedoch nach einer bestimmten Zeit wieder. Für den nächsten Zeitraum müsste dann ein neues Modell angepasst werden.

Radial basis Funktionen stellen eine Alternative zur Anpassung von Daten an Polynome dar

Eine Alternative zu Polynomenanpassungen bieten die sog. *radial basis Funktionen*, die auch von Stollwerk und Drepper (1991) im oben zitierten Beispiel benutzt wurden. Die Möglichkeit radial basis Funktionen für die Interpolation auch nichtlinearer dynamischer Systeme zu verwenden geht auf Powell (1987) zurück und wurde in der Folge weiterentwickelt und verallgemeinert, sodass eine Schät-

zung der nötigen Parameter nach der Methode der kleinsten Quadrate möglich wurde (Powell 1987, Broomhead & Lowe 1988). Nach einer Idee von Casdagli (1989) können radial basis Funktionen als gute Möglichkeit für nichtlineare Vorhersagen und Modellbildung gelten (vgl. Casdagli 1989, Stollwerk & Drepper 1991). Die von Stollwerk und Drepper (1991) gewählte radial basis Funktion hat folgende allgemeine Form:

Gleichung 35:
Radial-basis-Funktion

$$\Phi(d) = \sqrt{1 + d^2} .$$

Sie beschreibt eine Kreisfunktion der Distanzen d zu einem gegebenen Zentrum. Ist nun eine finite kurze Zeitreihe x_t mit n Messpunkten gegeben, so kann jeder Punkt der Zeitreihe x_t aus Linearkombinationen einer finiten Anzahl von Basisfunktionen beschrieben werden.

Wird versucht einen Wert x_t vorherzusagen, so werden die Differenzen (d) zwischen ihm und seinem Vorgänger gebildet, der seinerseits wieder durch ein bestimmtes d von seinen Vorgängern entfernt ist. All diese d sollen jeweils in Gleichung 35 eingesetzt und aufsummiert, durch verschiedene Gewichtungen, den gesuchten Punkt x_t ergeben. Sobald der letzte Punkt der Messreihe erreicht wurde, also alle Gewichtungen für alle Differenzen bekannt sind, kann die Approximation in eine Interpolation übergehen, nach der auch Zwischenwerte rauschfrei berechnet werden können.

Ohne hier näher auf radial basis Funktionen eingehen zu können, soll festgehalten werden, dass es sich auch hierbei um eine globale Approximation handelt. Im Allgemeinen kann dies nur zu zufriedenstellenden Ergebnissen führen, wenn die erzeugende Dynamik nicht zu komplex ist. Eine Alternative bieten die oben bereits angesprochenen lokalen Vorhersagemethoden, die ausgehend von jedem Messpunkt versuchen, Modelle für eine begrenzte Zahl an Nachfolgern zu finden (vgl. Farmer & Sidorowich 1987, 1988a, Farmer & Sidorowich 1988b).

8.2.1.2.2 Lokale Vorhersagealgorithmen

Wie im vorhergegangenen Abschnitt deutlich wurde, bedeutet der Vorteil globaler Vorhersagealgorithmen auch gleichzeitig einen Nachteil. So ist es zwar relativ elegant, die gesamte Zeitreihe über nur ein Gleichungssystem zu kennzeichnen. Eine solche globale Beschreibung kann aber immer nur als Kompromiss gelten, der unterschiedliche Tendenzen, Muster und Prozesse der Ausgangszeitreihe in nur einem Modell vereinen muss.

Lokale Vorhersagealgorithmen sind anpassungsfähig

Lokale Vorhersagealgorithmen sind in dieser Hinsicht eher in der Lage, sich auch an dramatische Veränderungen in der Dynamik schnell anzupassen. Leider ist es dann jedoch nicht mehr möglich die gesamte Dynamik über ein Gleichungssystem zu kennzeichnen. Statt dessen werden für beliebig viele Zeitfenster jeweils unterschiedliche Parameter für das gewählte mathematische Grundmodell bestimmt. Da aber das Modell nicht mehr für eine lange, komplexe Zeitreihe Geltung besitzen muss, können insgesamt einfachere mathematische Ansätze gewählt werden.

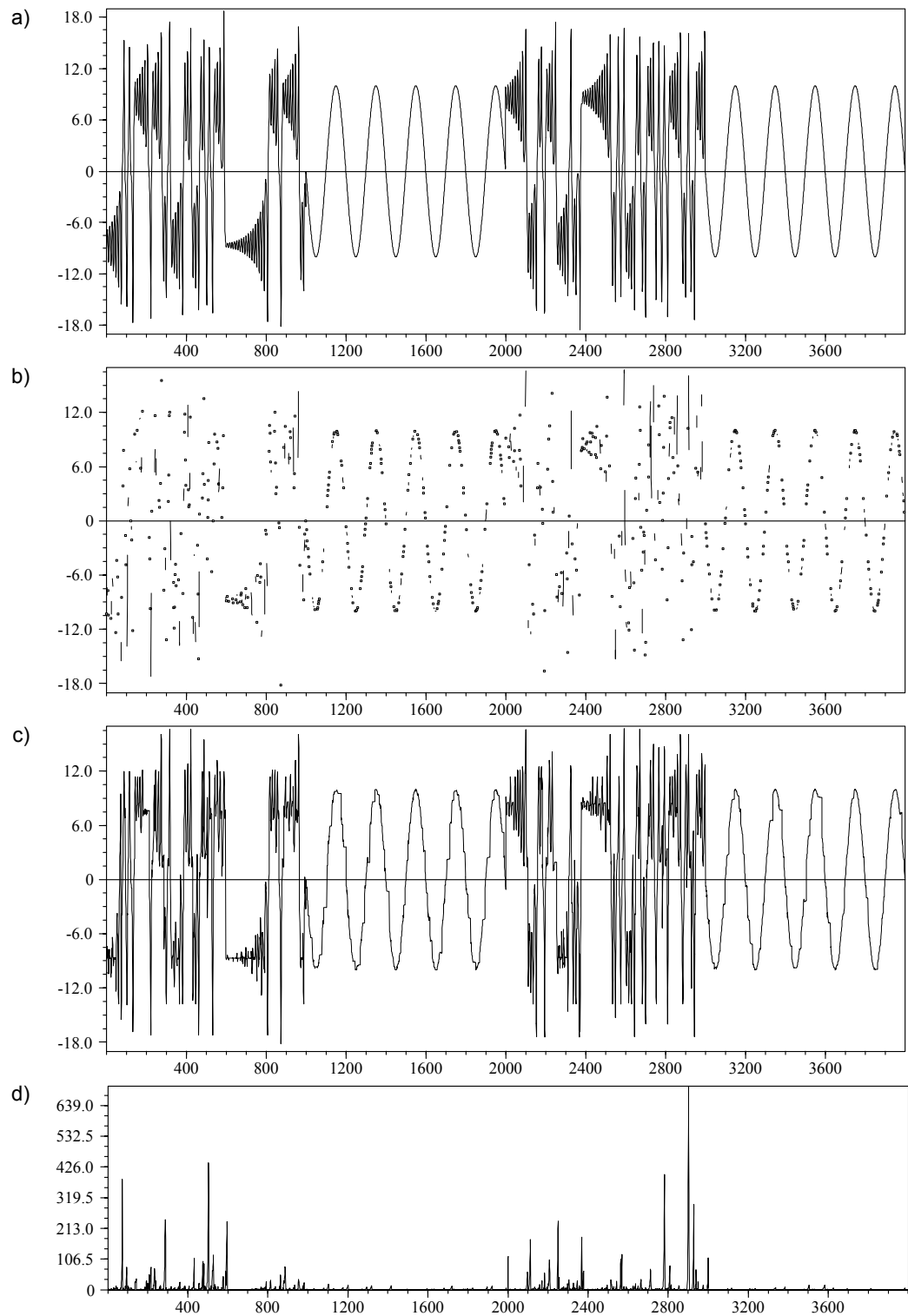


Abbildung 93: Wirkungsweise lokaler Vorhersagealgorithmen

Die in a) dargestellte Ausgangszeitreihe besteht aus einer Abfolge von jeweils 1.000 Messzeitpunkten eines Lorenz-Systems und einer Sinus-Zeitreihe. In b) wurden aus dieser Ausgangszeitreihe insgesamt 78% der Datenpunkte herausgelöscht und als fehlende Werte deklariert. Nach Anwendung des im Text beschriebenen Verfahrens zur Lokalen Approximation der Daten ergibt sich die in c) dargestellte Zeitreihe. Für d) wurde der quadrierte Unterschied zwischen der Originalzeitreihe und der Interpolation ermittelt. Die Abweichungsquadrate werden hier mit Faktor 1.000 multipliziert dargestellt. Die größten Abweichungsquadrate ergeben sich demnach im chaotischen Bereich. Sie erreichen einen maximalen Wert von 0,7.

Relativ gute Ergebnisse lassen sich bereits über ein Polynom der Ordnung Null erzielen. Ein solches einfaches Verfahren wurde z.B. von Schiepek et al. (2003) genutzt, um Datenlücken in komplexen Datensätzen zur Emotionsdynamik aufzufüllen.

Der Grundgedanke des Verfahrens ist dabei relativ einfach. Zunächst werden die Daten in einem Phasenraum eingebettet (dazu siehe ausführlicher ab S. 353ff.), wobei bestimmte Zeitpunkte auf Grund fehlender Daten nicht eingezeichnet werden können. Um diese Datenlücken zu schließen, wird jeweils der Zeitpunkt vor einer Lücke aufgesucht. Diesem Zeitpunkt entspricht ein Punkt im Phasenraum, um den herum eine festgelegte Anzahl nächstgelegener Nachbarn gesucht wird. Es wird also festgestellt, wann das System sich schon einmal in einem ähnlichen Zustand befunden hat. Diese nächsten Nachbarn, werden darauf hin überprüft, ob sie sich auch wirklich nahe am Referenzpunkt befinden, indem z.B. ein Höchstabstand festgelegt wird. Zudem sollte für jeden Nachbarn der nachfolgende Zeitpunkt definiert sein. In diesem Sinne werden Nachbarn ausgeschlossen auf die ebenfalls eine Datenlücke folgt. Der Mittelwert, der auf die Nachbarn folgenden Zeitpunkte im Phasenraum wird nun als Schätzung für die Datenlücke gewählt, die auf den Referenzpunkt folgt (vgl. Schiepek et al. 2003).

Auch für nichtstationäre Datensätze, bei denen sich das System im Laufe der Zeit in verschiedenen dynamischen Mustern befindet, lassen sich mit diesem Verfahren relativ gute Approximationen erstellen (vgl. die vorstehende Abbildung 93).

Eine Datenfilterung ist häufig unumgänglich, sollte jedoch mit Vorsicht eingesetzt werden

Insgesamt gilt für die dargestellten Verfahren der Datenfilterung bzw. Inter- und Extrapolation, dass in vielen Fällen nicht darauf verzichtet werden kann einen oder mehrere der vorgeschlagenen Algorithmen zu verwenden. Nur selten liegen Rohdaten vor, die alle Anforderungen an die Datenqualität, ohne eine weitere Behandlung mit Filtern erfüllen. Auf die Gefahren der Datenfilterung, der Inter- und Extrapolation wurde bereits hingewiesen. In jedem Fall ist damit zu rechnen, dass durch die Modifikation der Rohdaten auch dynamische Eigenschaften verändert werden. Ob die in den gefilterten Daten ermittelte komplexe Ordnung nicht erst durch die Filterung erzeugt wurde, muss daher in jedem Fall durch *Surrogatdatenverfahren* (vgl. dazu ausführlicher Abbildung 99, S. 352 und die dort angeführten Erläuterungen) überprüft werden. Produziert eine Zeitreihe aus Zufallszahlen oder die randomisierte Ausgangszeitreihe nach der Datenaufbereitung durch Filter oder Ähnliches die gleiche Ordnung wie die Originaldaten, so muss dann leider davon ausgegangen werden, dass die Ordnung erst durch die Filterung erzeugt wurde.

8.2.2 Lineare Verfahren

Lineare Verfahren können bereits viel über die Komplexität einer Zeitreihe verraten. So ermöglicht es das Verfahren der Autokorrelation, Aussagen darüber zu treffen, über welchen Zeitraum hinweg Ereignisse des Prozesses mit folgenden Ereignissen korreliert sind. Handelt es sich um rein zufällige Prozesse, so dürften keine Korrelationen, nicht einmal zwischen direkt aufeinander folgenden Datenpunkten zu finden sein. Aber auch viele chaotische Prozesse zeigen keine lineare Korrelation zwischen direkt aufeinander folgenden Datenpunkten.

Eng verwandt mit der Autokorrelation sind Verfahren wie die Cross-Linked-Korrelation, die für zeitversetzte Korrelationen zwischen verschiedenen Variablen eingesetzt wird. Auch die Spektralanalyse baut auf der Autokorrelation auf. Diese erlaubt eine Einschätzung darüber, ob es möglich ist, eine gegebene Zeitreihe über ein lineares Modell zu beschreiben. Damit ist das Verfahren in vielerlei Hinsicht äquivalent zu ARIMA-Modellen (vgl. Hütt 2001)

8.2.2.1 Autokorrelation

Die Autokorrelationsfunktion einer Zeitreihe liefert wichtige Informationen über ihre Selbstdeterminiertheit. Sie beantwortet nämlich die Frage danach, wie der Zustand eines Systems zum Zeitpunkt t in einer Variable x , den Zustand des Systems in derselben Variable zum Zeitpunkt $t+\tau$ bestimmt.

Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Korrelation jeweils aller Wertepaare von x , die durch ein Time-Lag τ von einander entfernt sind, in Abhängigkeit von τ jeweils anders ausfällt. So beträgt die Autokorrelation bei einem $\tau = 0$ immer Eins, da in diesem trivialen Fall die Zeitreihe ohne Zeitverschiebung mit sich selbst korreliert wird.

Aus der Gestalt von Autokorrelationsfunktionen lässt sich bereits einiges über die Dynamik eines Systems schließen

Für viele empirische Systeme zeigt sich, dass die Korrelation mit wachsendem τ abnimmt, bis sie sich Null nähert. So ist z.B. für die Stimmung, die eine Person zu einem bestimmten Zeitpunkt hat anzunehmen, dass diese sich über einen begrenzten Zeitraum noch recht stark auf die Stimmung auswirkt, die diese Person zum jeweils späteren Zeitpunkten hat. Allerdings treten nach und nach mehr Umwelteinflüsse in den Vordergrund, sodass sich Stimmungsschwankungen immer weniger vorhersagen lassen, je größer der Vorhersagezeitraum wird. Ein völlig anderes Bild zeigt sich, wenn die gemessenen Prozesse periodisch sind. Dann nämlich wiederholt sich ja derselbe Vorgang immer wieder, sodass die Vorhersage wieder maximal wird, wenn τ der Periodenlänge entspricht.

Für ein System, welches solcherart periodisch schwingt, ergibt sich in der Autokorrelationsfunktion eine ebenfalls periodische Funktion. Nach einem $\tau = 0$ mit einer Korrelation von Eins folgt dann eine Abnahme der Korrelation, mit einem Nulldurchgang bei einem τ , welches einem Viertel der Periodenlänge T der Schwingung der Zeitreihe entspricht. Die Korrelation wird bei weiter größer werdendem τ negativ und erreicht ihr Minimum bei $\tau = T/2$. Bei $\tau = 3/4T$ zeigt sich

eine weitere Nullstelle. Die Korrelation erreicht bei $\tau = T$ erneut ein positives Maximum, worauf sich der Vorgang wiederholt. Eine einfache Sinusschwingung in den Ausgangsdaten bildet sich in der Autokorrelationsfunktion entsprechend als Cosinusschwingung ab (vgl. die folgende Abbildung 94).

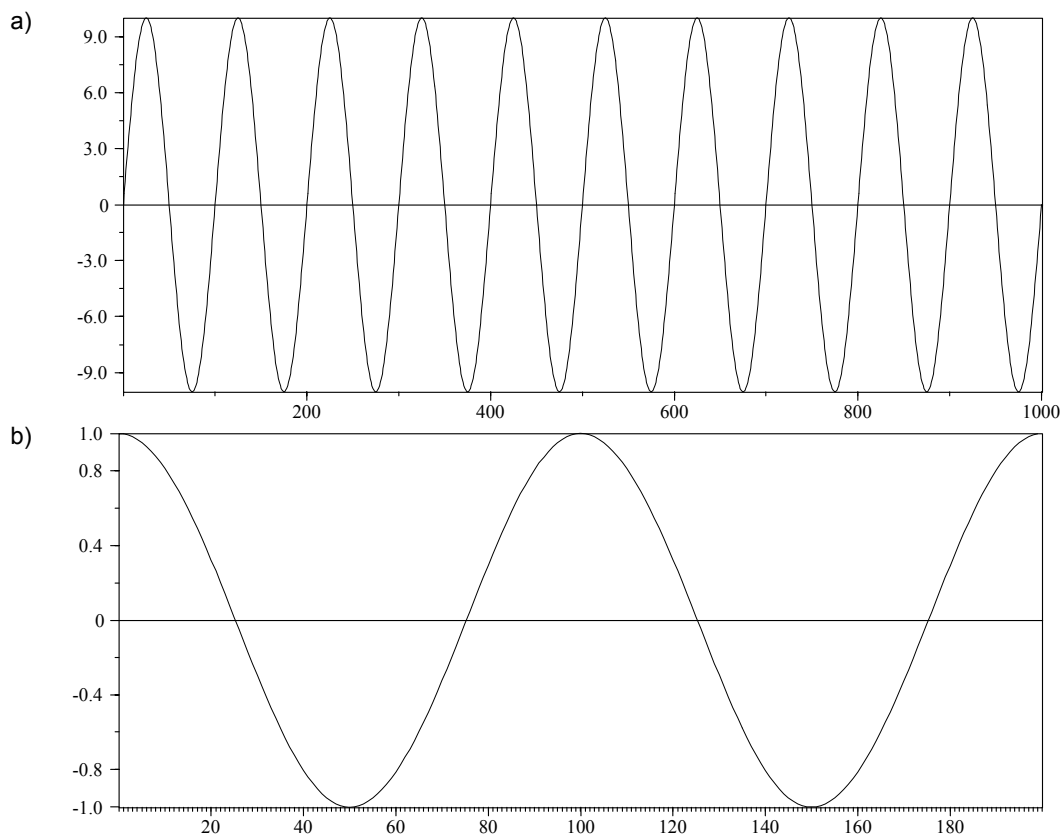


Abbildung 94: Autokorrelationsfunktion einer Sinuszeitreihe

Für die in a) dargestellte Sinuszeitreihe wird in b) die Autokorrelationsfunktion bis zu einem τ von 200 berechnet. Es ergibt sich eine Cosinusschwingung. Nach einem $\tau = 0$ und einer Korrelation von Eins folgt zunächst eine Abnahme der Korrelation, mit einem Nulldurchgang bei einem τ , welches einem Viertel der Periodenlänge T der Zeitreihe entspricht. Die Korrelation wird bei zunehmendem τ negativ und erreicht ihr Minimum bei $\tau = T/2$. Bei $\tau = 3/4T$ zeigt sich eine weitere Nullstelle. Die Korrelation erreicht bei $\tau = T = 100$ erneut ein positives Maximum, worauf sich der Vorgang wiederholt. Die aus der Autokorrelation bestimmte Periodenlänge von 100 Messzeitpunkten stimmt mit den Beobachtungen zur in a) dargestellten Zeitreihe überein.

Additiv überlagerte Schwingungen in der Ausgangszeitreihe spiegeln sich in additiv überlagerten Schwingungen der Autokorrelation wider. Enthält die Zeitreihe nur annähernd periodische Verläufe, so nähert sich die Autokorrelation trotz Schwingung zunehmend dem Nullpunkt.

Reine Zufallsprozesse führen in der Autokorrelation schon bei einem $\tau = 1$ zu einer Nullkorrelation. D.h., dass der Systemzustand, der auf einen vorherigen Zustand folgt, nicht mehr vorhergesagt werden kann.

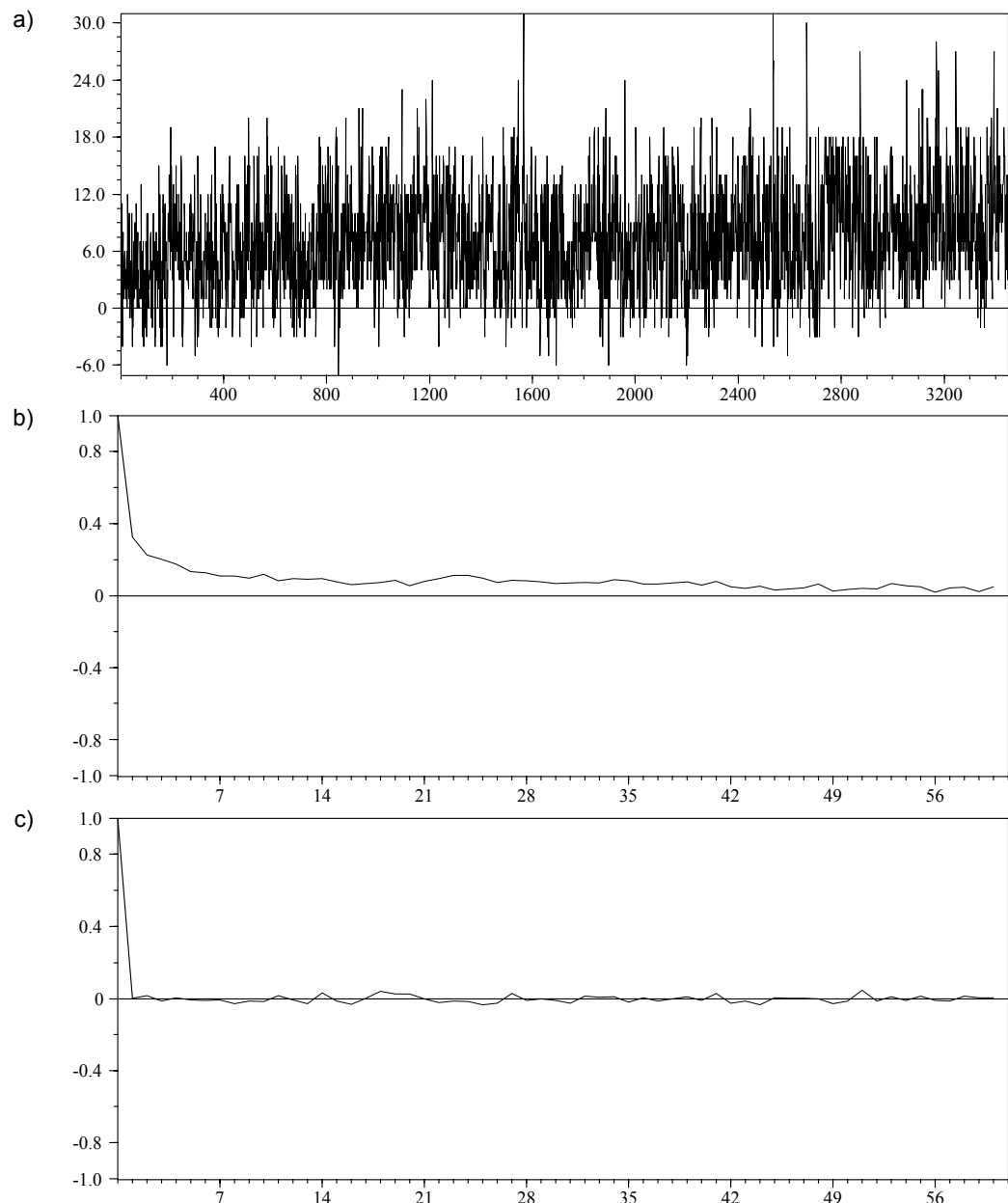


Abbildung 95: Autokorrelationsfunktionen

Für die in a) dargestellte Zeitreihe wird in b) die Autokorrelationsfunktion bis zu einem τ von 60 berechnet. Obwohl die Korrelation relativ schnell abfällt, erreicht sie keinen Nulldurchgang. Für die Abbildung in c) wurde die Ausgangszeitreihe aus a) vor der Berechnung der Autokorrelationsfunktion randomisiert. Es zeigt sich im Vergleich der Ergebnisse aus b), dass die randomisierte Zeitreihe eine geringere dynamische Ordnung aufweist.

Zufallszeitreihen und chaotische Datensätze besitzen eine schnell auf Null gehende Autokorrelation

Allerdings sind auch chaotische Zeitreihen nur sehr begrenzt prognostizierbar. Die Verhulst-Dynamik ist im chaotischen Bereich, genau wie es bei stochastischen Prozessen der Fall ist, bereits bei einem $\tau = 1$ nicht mehr korreliert, sodass auch hier die Autokorrelationsfunktion Null ergibt. Nicht immer geht die Autokorrelationsfunktion bei Vorliegen von Chaos so schnell auf Null. Über kurze Zeiträume kann sie sich durchaus noch in einem mittleren Bereich bewegen. Wichtige Aufschlüsse über die Dynamik einer Zeitreihe können gewonnen werden, indem ihre Autokorrelationsfunktion mit der Autokorrelationsfunktion verglichen wird, die

sich ergibt, wenn die Zeitreihe vor der Korrelationsberechnung wahllos durcheinander gewürfelt wird. Durch die Randomisierung geht die innere dynamische Ordnung verloren, sodass sich beide Autokorrelationsfunktionen signifikant unterscheiden sollten, wenn angenommen werden kann, dass die Ausgangszeitreihe eine dynamische Ordnung besitzt (vgl. die vorstehende Abbildung 95).

Die Gleichung der Autokovarianzfunktion hat folgende Form:

Gleichung 36:
Autokovarianz

$$Cov_{\tau} = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{i=n-\tau} \left(x_i - \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n-\tau} x_j \right] \right) \left(x_{i+\tau} - \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n-\tau} x_j \right] \right).$$

Daraus ergibt sich für die Autokorrelation:

Gleichung 37:
Autokorrelation

$$r_{\tau} = \frac{Cov_{\tau}}{\sqrt{\frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{i=n-\tau} \left(x_i - \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n-\tau} x_j \right] \right)^2} \sqrt{\frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{i=n-\tau} \left(x_{i+\tau} - \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n-\tau} x_j \right] \right)^2}}.$$

Die in eckigen Klammern angegebenen Terme entsprechen dem Mittelwert der Zeitreihe, der aber für jedes τ neu berechnet werden muss. Daraus ergibt sich ein erheblicher Rechenaufwand. So ist vorgeschlagen worden die Veränderung der Mittelwerte zu vernachlässigen, wenn τ klein ist im Vergleich zur Zeitreihenlänge. Dieses Vorgehen entspricht der Annahme, dass der Verlust nur weniger Messzeitpunkte nicht ins Gewicht fällt. Dass tatsächlich nur geringe Veränderungen gegenüber der ausführlichen Berechnungsmethode zu erwarten sind, liegt daran, dass Mittelwerte aus großen Stichproben – und große Stichproben sind bereits ab rund 30 Messzeitpunkten gegeben – um einen gemeinsamen Mittelwert normalverteilt sind.

Ebenso kann angenommen werden, dass sich die erste Wurzel im Nenner der Korrelation nicht wesentlich verändert. Bei der zweiten Wurzel wird die Zeitreihe jedoch um 2τ kürzer. Bei kleinem τ gegenüber der Zeitreihenlänge sollte aber auch dies nicht ins Gewicht fallen, sodass es in vielen Fällen genügt, nur einmal den Mittelwert und die Varianz über die ganze Zeitreihe zu berechnen. Mit Hilfe des Mittelwertes wird dann die Kovarianz bestimmt und diese durch die Varianz dividiert. Der Rechenaufwand verringert sich auf diese Weise erheblich.

Die Autokorrelationsfunktion bildet die Grundlage für die Spektralanalyse (vgl. S. 348f.) und liefert in vielen Fällen wichtige Kennwerte für die Phasenraumbettung von Zeitreihen (vgl. S. 352ff.). Allgemein kann ihr Verlauf Aufschlüsse über die innere dynamische Ordnung von einzelnen Zeitreihen geben. So weist z.B. eine rasche Abnahme der Korrelation mit wachsendem τ auf eine hohe Komplexität der Dynamik hin. In der vorstehenden Abbildung 95 ist eine solche rasch abnehmende Autokorrelationsfunktion wiedergegeben. Es zeigt sich dort jedoch, dass die Autokorrelation noch schneller zusammenbricht, wenn die Ausgangszeitreihe vorher randomisiert wird.

8.2.2.2 Cross-Linked-Korrelation

Die Korrelation zwischen unterschiedlichen als Zeitsignal erfassten Variablen kann ähnlich wie bei einer Autokorrelation für verschiedene Zeitverschiebungen τ zwischen den Zeitreihen berechnet werden. Eine solche zeitversetzte Korrelation zweier unterschiedlicher Zeitsignale wird als *Cross-Linked-Korrelation* bezeichnet. Die Gleichung der Cross-Linked-Kovarianzfunktion hat die folgende Form:

Gleichung 38:
Cross-Linked-Kovarianz

$$C.L.Cov_{\tau} = \frac{1}{n - \tau} \sum_{i=1}^{i=n-\tau} \left(x_i - \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n-\tau} x_j \right] \right) \left(y_{i+\tau} - \left[\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n-\tau} y_k \right] \right).$$

Daraus ergibt sich für die Cross-Linked-Korrelation:

Gleichung 39:
Cross-Linked-Korrelation

$$C.L.r_{\tau} = \frac{C.L.Cov_{\tau}}{\sqrt{\frac{1}{n - \tau} \sum_{i=1}^{i=n-\tau} \left(x_i - \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n-\tau} x_j \right] \right)^2} \sqrt{\frac{1}{n - \tau} \sum_{k=1}^{k=n-\tau} \left(y_{k+\tau} - \left[\frac{1}{n} \sum_{l=1}^{l=n-\tau} y_l \right] \right)^2}}.$$

Auch hier können, wie bereits bei der Autokorrelation beschrieben, Abkürzungen in der Berechnung vorgenommen werden. Dazu werden Mittelwert und Streuung von x und y bei voller Zeitreihenlänge berechnet. In Gleichung 38 wird die erste eckige Klammer durch den Mittelwert von x ersetzt, die zweite durch den Mittelwert von y . Die Cross-Linked-Covarianz wird durch das Produkt beider Streuungen geteilt.

Natürlich ist die Korrelation bei einem $\tau = 0$ hier anders als bei der Autokorrelation nicht Eins, sondern entspricht der nicht verschobenen Korrelation der beiden Zeitreihen. Folgen beide Zeitreihen einer Schwingung mit gleicher Periodenlänge, so schwingt auch die Cross-Linked-Korrelation. Bei chaotischen Zeitreihen ist es zumeist der Fall, dass sich die Cross-Linked-Korrelation nicht oder kaum ändert und auf einem relativ geringen Niveau nahe bei Null bleibt.

Die Interpretation der Cross-Linked-Korrelationen für mehr als zwei Zeitreihen bedeutet einen erheblichen Aufwand. Zum einen können hier zusätzlich für jede Zeitverschiebung auch partielle Korrelationen errechnet werden. Zum anderen ergibt sich an Stelle einer Korrelationsmatrix eine weitaus komplexere Matrix aus Korrelationsfunktionen. Hier kann es nützlich sein sich entweder nur auf eine festgelegte Zeitverschiebung zu konzentrieren oder jeweils bestimmte Grenzwerte für die Korrelation vorzugeben, für die das jeweils passende Time-Lag bestimmt wird.

Korrelationen können nicht kausal interpretiert werden. Auch dann nicht, wenn sie zeitversetzt berechnet werden

Wie bei allen Korrelationen bilden auch Cross-Linked-Korrelationen keine Kausalzusammenhänge ab. Dennoch liegt die Versuchung nahe davon auszugehen, dass durch die Zeitverschiebung eine zeitliche Aufeinanderfolge der zu korrelierenden Ereignisse auf jeden Fall vorliegt, also zumindest ausgeschlossen werden kann, dass der zeitlich spätere Messzeitpunkt den vorhergehenden kausal beeinflusst. Dieses Ausschlusskriterium muss jedoch keine zeitlich vorwärts gerichtete Kausalität implizieren. Dies gilt auch für die so genannten *State-Space-Analysen*, die auf partiellen Auto- und Cross-Linked-Korrelationen beruhen. Es handelt sich

dabei um multiple Regressions-Modelle, in denen ein Zustandsvektor des Systems als Prädiktor für einen folgenden Zustandsvektor dient. Bei diesem Verfahren wird das genannte Problem des Vergleiches von komplexen Wirkgefügen mittels Korrelationsfunktionen umgangen, indem keine Funktionen sondern nur Korrelationswerte für ein fixes Time-Lag von Eins bestimmt werden. Die Wahl des Time-Lag ist jedoch eine Setzung, deren Angemessenheit im Einzelfall sowohl theoretisch, als auch an den tatsächlichen Korrelationsverläufen überprüft werden sollte. So können sich die gefundenen Wirkzusammenhänge für ein Time-Lag von Zwei durchaus auch umkehren. Die Ermittlung von State-Space-Modellen beruht auf linearen multiplen Regressionsgleichungen und ist damit äquivalent zu multiplen ARIMA-Modellen.

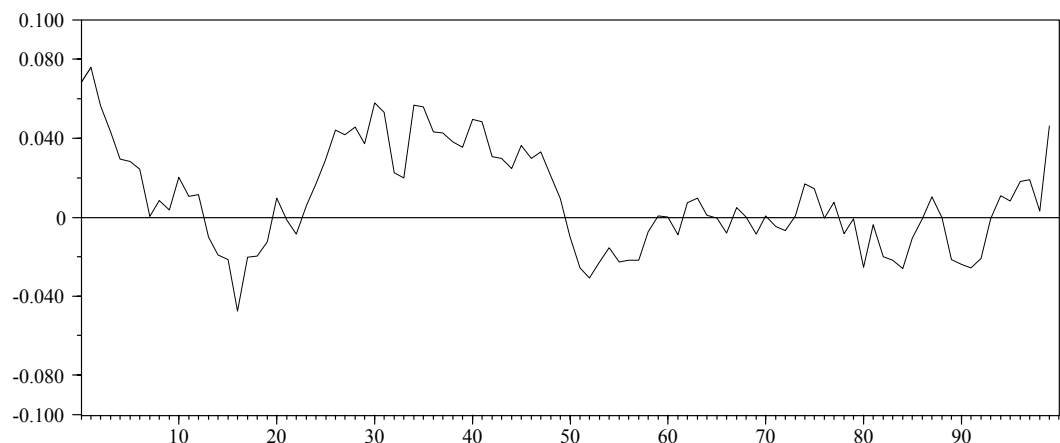


Abbildung 96: Cross-Linked-Korrelation

Die Abbildung zeigt die Cross-Linked-Korrelations-Funktion zwischen zwei im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Zeitreihen. Korreliert wurde die Zeitreihe des Therapeuten „Konfrontation/Verunsicherung“ mit der Zeitreihe der Klientin „Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)“ der ersten Therapie. Es zeigt sich, dass die beiden Zeitreihen bereits bei einem $\tau = 1$ maximal miteinander korrelieren. Erst bei einer Verzögerung von 16 Zeittakten reagiert die Klientin mit Vermeidung auf die Konfrontation des Therapeuten (negative Korrelation). Insgesamt sind die Korrelationen in diesem Beispiel jedoch sehr gering. Sie erreichen maximal Werte, die immer noch unter 0,1 bleiben.

Zusammenfassend lassen sich Cross-Linked-Korrelationen immer dort zur Anwendung bringen, wo davon ausgegangen werden kann, dass Ereignisse nicht direkt, sondern erst nach Verlauf einer gewissen Verzögerungszeit miteinander korreliert sind (vgl. als Beispiel die Abbildung 96).

8.2.2.3 Abschnittsweise Korrelation: gleitende Korrelationsfenster

Aber auch dann, wenn Prozesse zeitgleich ablaufen, können sich die Beziehungen zwischen zwei oder mehreren Variablen im Verlauf der Zeit verändern. Um solche Veränderungsprozesse zu erfassen, wird die Korrelation zwischen den Zeitreihen, ähnlich wie bei gleitenden arithmetischen Mittelwerten, in einem begrenzten Zeitfenster berechnet, welches nach und nach über die Zeitreihen geschoben wird.

Ebenso wie bei gleitenden Mittelwerten ergeben sich auch hier Verläufe, die sich mit zunehmender Fensterbreite verflachen, bis sie die Gesamtkorrelation beider Zeitreihen erreichen. Dabei wird auf eine Zeitverschiebung in der Regel verzichtet. Die Streuung der abschnittswisen Korrelation zeigt an, wie stark sich die Zusammenhänge zwischen den beiden Variablen in der Zeit verändern. Auf diese Weise lassen sich Zeitabschnitte bestimmen, in denen bestimmte Systemkomponenten z.B. besonders hoch miteinander gekoppelt sind oder doch zumindest miteinander kovariieren.

Unter Umständen lassen sich solche Abschnitte mit Ereignissen im System in Einklang bringen. Mittelmann und Strunk (1994) konnten auf diese Weise Phasen hoher Gruppenkohärenz zwischen Personen einer Experimentalgruppe feststellen. Es zeigten sich Abschnitte, in denen übereinstimmend sehr viele der zehn Paarvergleiche zwischen den fünf Personen hohe Abschnittskorrelationen für unabhängig vorgenommene Situationsratings (Signifikanzkriterium) aufwiesen (vgl. Mittelmann & Strunk 1994, Schiepek et al. 1995b).

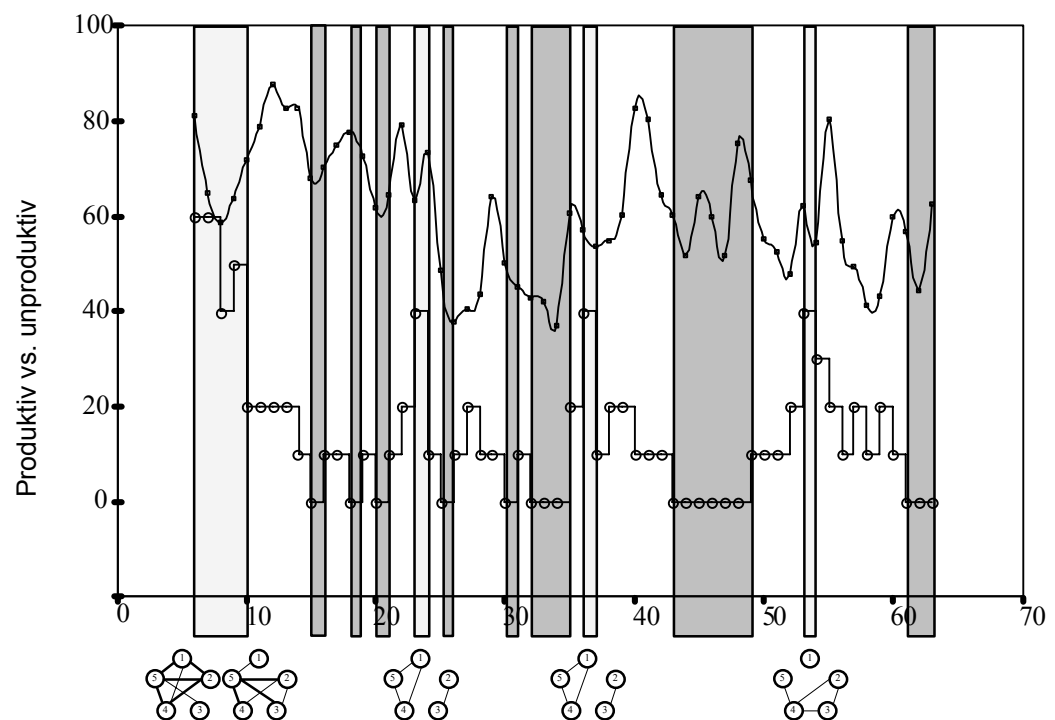


Abbildung 97: Levels of Groupness

Abschnittswise Korrelationen bilden die Grundlage für die Abbildung. Fünf Teilnehmer einer Gruppenstudie schätzen zu einem späteren Zeitpunkt den zeitlichen Verlauf bestimmter Konstrukte anhand von Videoaufzeichnungen ein (68 Einschätzungen, eine Einschätzung umfasst einen Zeitraum von 2 Minuten). Die Abbildung bezieht sich auf die Gruppenleistung (Produktiv vs. Unproduktiv) die als gemittelter Verlauf im oberen Teil der Abbildung sichtbar ist. Mit einem verschiebbaren Zeitfenster von 11 Zeittakten wurden die Ähnlichkeiten der Einschätzungen zwischen den Personen durch Korrelationen im Prozess erfassen. Auf diese Weise lassen sich zwischen fünf Personen 10 Korrelationspärchen (Dyaden) berechnen. Die Signifikanzgrenze für die Korrelationen wurde mit $\alpha = 0,05$ festgelegt. Je mehr signifikante Dyaden in einem Zeitfenster vorliegen, desto höher ist die *Groupness*. Diese kann daher in einem Wertebereich von 0 bis 10 schwanken. Die Summe der signifikanten Korrelationen (multipliziert mit 10) ist in der Abbildung im unteren Teil sichtbar (Kringel). Zeitintervalle mit mehr als vier signifikanten Korrelationen sind hellgrau hervorgehoben, solche ohne signifikante Korrelationen dunkelgrau. Die Soziographische Darstellung zeigt jeweils an, zwischen welchen Personen (1 bis 5) signifikante Korrelationen festgestellt werden (vgl. Mittelmann & Strunk 1994, Schiepek et al. 1995b).

8.2.2.4 Spektralanalyse und Surrogatdatentestung

Die Spektralanalyse stellt ein in der Psychologie nur selten genutztes Mittel der Zeitreihenanalyse dar. Dabei werden empirische Zeitreihen auf darin „versteckte“ Periodizitäten untersucht. Dieses Verfahren beruht auf der Möglichkeit, jeden zeitlich periodischen Verlauf als eine Summe von Sinusschwingungen darzustellen. So lassen sich formal mathematisch auch Sägezahn- oder Rechteckschwingungen sowie andere komplexe Prozesse durch Addition von geeigneten Sinusschwingungen reproduzieren.

Der folgende Algorithmus beruht im Kern auf Berechnungsergebnissen der Autokovarianzfunktion (vgl. oben, S. 341f.), und ermittelt für eine gegebene empirische Zeitreihe x_t mit der Zeitreihenlänge n die Spektraldichtefunktion. Diese liefert die Erwartungswerte der in der Zeitreihe verborgenen Frequenzen. Für eine diskrete Zeitreihe finden sich natürlich auch nur diskrete Frequenzen, mit einer maximalen Periodenlänge, die durch die Hälfte der Zeitreihenlänge gegeben ist. Die möglichen Periodenlängen T ergeben sich nach der einfachen Beziehung:

Gleichung 40:
Periodenlänge und
Zeitreihenlänge

$$T = \frac{2n}{j}, \text{ mit } j = 1, 2, 3, \dots n.$$

Der Kehrwert der Periodenlänge ist die Frequenz:

$$\text{Frequenz} = \frac{j}{2n}.$$

Wird diese auf einen Kreisbogen mit 2π bezogen, ergeben sich die dazugehörigen Frequenzen λ mit:

Gleichung 41:
Frequenz und Zeitreihenlänge

$$\lambda_j = \frac{2\pi j}{2n} = \frac{\pi j}{n}.$$

Berechnet wird die Spektraldichte mit Hilfe der Autokovarianzfunktion, die die Kovarianz der Zeitreihenwerte zum Zeitpunkt t mit den Werten zum Zeitpunkt $t+\tau$ beschreibt. Unter Rückgriff auf die oben gegebene Autokovarianzfunktion (Gleichung 36, S. 344) berechnet sich die Spektraldichte $f(\lambda_j)$ für die Frequenz λ_j nach folgender Gleichung:

Gleichung 42:
Spektraldichte

$$f(\lambda_j) = \frac{1}{2\pi} \text{Cov}_0 + \frac{1}{\pi} \sum_{\tau=1}^{n/2} \text{Cov}_\tau A_\tau \cos \tau \lambda_j + \frac{1}{\pi} \sum_{\tau=\frac{n}{2}+1}^n \text{Cov}_\tau B_\tau \cos \tau \lambda_j.$$

Mathematisch können A_τ und B_τ gleich 1 gesetzt werden, was allerdings störend zur Folge hat, dass die Varianz der Spektralfunktion bei wachsendem n nicht geringer wird. Daher werden in der Literatur für A_τ und B_τ Gewichtsfunktionen (auch Fenster-, Kernel- oder Filterfunktionen genannt) angegeben.

So schlägt Tukey-Hamming

Gleichung 43:
Tukey-Hamming-
Kernel

$$A_\tau = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi\tau}{n} \right); B_\tau = 0$$

vor. Parzen gibt folgendes Fenster an:

Gleichung 44:
Parzen-Kernel

$$A_\tau = 1 - 6 \left(\frac{\tau}{n} \right)^2 + 6 \left(\frac{\tau}{n} \right)^3; B_\tau = 2 \left(1 - \frac{\tau}{n} \right)^3.$$

Hann empfiehlt die Gewichtsfunktion

Gleichung 45:
Hann-Kernel

$$A_\tau = B_\tau = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi\tau}{n} \right)$$

und Hamming führt die folgende Funktion an (vgl. Schiepek & Strunk 1994):

Gleichung 46:
Hamming-Kernel

$$A_\tau = B_\tau = 0,54 + 0,46 \cos \frac{\pi\tau}{n}.$$

In der Praxis reicht ein Sechstel der Zeitreihenlänge zur Berechnung aus, sodass sich der Rechenaufwand erheblich verringert. Dabei gilt es zu beachten, dass dann in allen Gleichungen n durch $n/6$ ersetzt werden muss. Werden zur Berechnung die oben beschriebenen Vereinfachungen für die Bestimmung der Autokovarianz verwendet, so kann der Rechenaufwand noch einmal verringert werden.

**Zufallszeitreihen und
chaotische Prozesse
weisen ein breitban-
diges Frequenzspek-
trum auf**

Im Rahmen der Analyse komplexer z.B. auch chaotischer Zeitsignale ist die Anwendung der genannten Kernel-Filter kritisch zu hinterfragen. Sie verringern die Fehlervarianz der ermittelten Spektraldichtefunktion, indem dominante Frequenzen verstärkt und benachbarte Frequenzen mit geringerem Erwartungswert unterdrückt werden. Für inhaltliche Analysen, die an eindeutigen Frequenzspektren interessiert sind, ist dies durchaus wünschenswert. Bei chaotischen Zeitreihen sind hingegen keine klaren Frequenzanteile zu erwarten. Vielmehr zeigt sich dort ein breites Frequenzspektrum komplex überlagerter Frequenzen. Hier verfälschen die Filterfunktionen das Ergebnis und führen zu einem weit übersichtlicheren Bild als es für den chaotischen Prozess tatsächlich vorliegt. Insbesondere in Bezug auf das Verhulst-System (vgl. S. 107ff.) konnte gezeigt werden, dass der Weg ins Chaos über eine unendliche Abfolge von Periodenverdopplungen zu Stande kommt. Dieses Bündel von überlagerten Frequenzen findet sich dementsprechend auch im chaotischen Bereich.

Wird die Berechnung in der Praxis tatsächlich auf ein Sechstel der Zeitreihe beschränkt, so werden für Gleichung 42 (S. 348) alle $j = 1, 2, \dots, n/6$ zur Berechnung von $f(\lambda_j)$ herangezogen. Inhaltlich interessanter als die Angabe der Frequenz λ_j ist für empirische Zeitreihen jedoch die Periodenlänge T , die direkt die Länge einer Periode in Zeittakten bemisst. Die größte feststellbare Periodenlänge bei $j = 1$ und $n/6$ wäre daher $T = n/3$. Die kleinste feststellbare Periodenlänge wäre bei $j = n/6$, mit $T = 2$ gegeben. Unter Berücksichtigung, dass die Periodenlänge in Abhängigkeit von j bestimmt wird und j im Nenner eines Bruches steht, folgt:

$$T = \frac{2n^*}{j}, \text{ mit } j = 1, 2, 3, \dots, n^* \text{ und } n^* = \frac{n}{6}.$$

Die Periodenlängen sind also gegeben durch eine schnell abnehmende Reihe, die sich asymptotisch schon bald an einen Wert von $T = 2$ annähert. Kurze Periodenlängen werden dadurch überrepräsentiert, während große Periodenlängen nur lückenhaft und durch $T = n/3$ begrenzt erfasst werden. Sollen auch größere Periodenlängen zuverlässig erfasst werden, muss unter Umständen die ganze Zeitreihe zur Berechnung herangezogen werden. Aber auch dann bleiben sehr große Periodenlängen unterrepräsentiert.

Breitbandige Frequenzspektren gehen einher mit schnell abflachenden Autokorrelationsfunktionen und sind Hinweise entweder auf einen Zufalls- oder chaotischen Prozess (vgl. Abbildung 98).

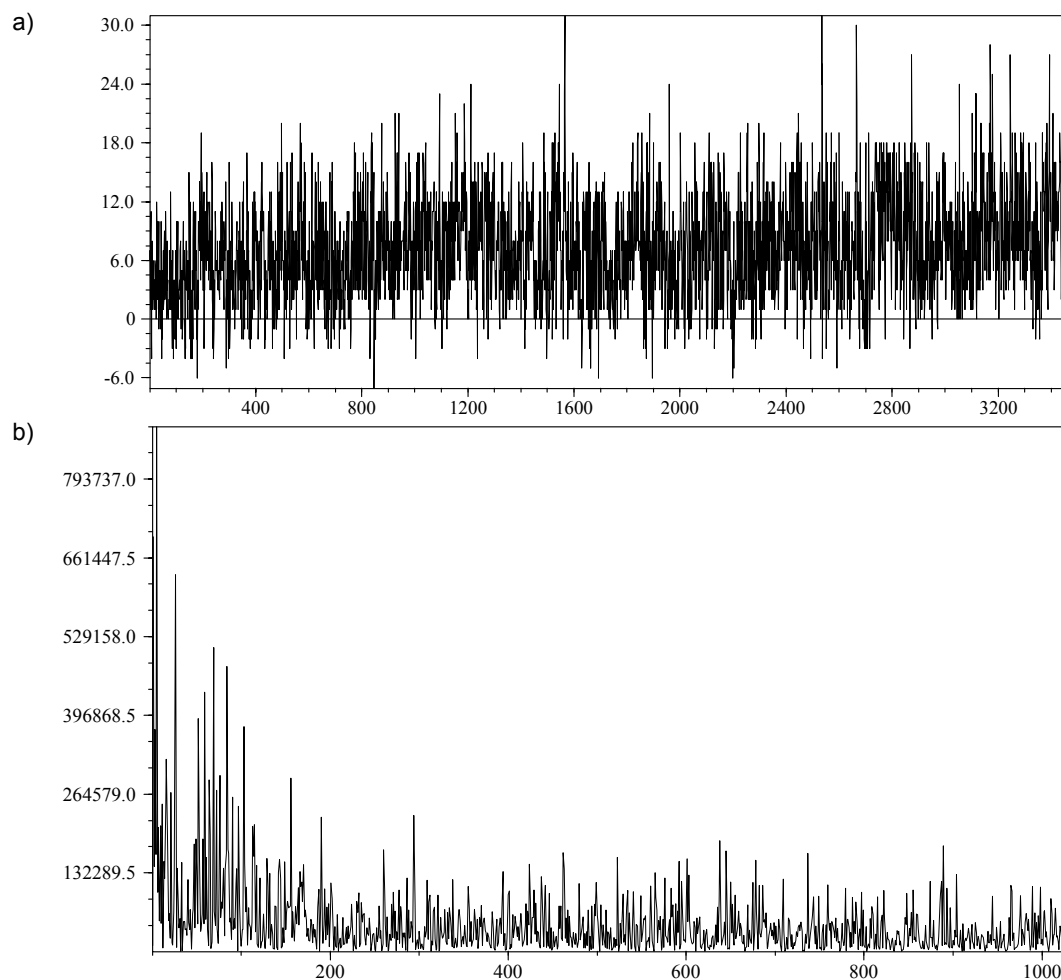


Abbildung 98: Spektralanalyse

Für die in a) abgebildete Zeitreihe wird in b) die nicht normierte Spektraldichte-Funktion dargestellt. Es zeigt sich ein relativ breitbandiges Frequenzspektrum. Die x-Achse kennzeichnet indirekt die Periodenlängen und reicht von $T/2 = 1024$ (links) bis $T/2 = 1$ (rechts). Konkret handelt es sich bei den Werten der Abszisse um j aus Gleichung 40, S. 348).

Die Spektralanalyse beruht in ihren mathematischen Grundlagen auf der so genannten Fourier-Transformation (FT). Für Zeitreihen, die in ihrer Länge als Potenzen von Zwei gekennzeichnet werden können, lässt sich die FT besonders schnell nach einem als Fast Fourier-Transformation (FFT) bezeichneten Algorithmus ermitteln. Gängige Analyseprogramme nutzen in der Regel diesen Algorithmus anstelle der oben angeführten Berechnung über die Autokovarianzfunktion, wobei die Zeitreihen entsprechend verkürzt in die Berechnungen eingehen, so dass sie in ihrer Länge der nächst kleineren Potenz von Zwei entsprechen.

Die Fourier-Analyse ist ein lineares Verfahren der Zeitreihenanalyse

Im Gegensatz zu dem hier ausführlich beschriebenen Verfahren zur Spektralanalyse, über die Autokovarianzfunktion einer Zeitreihe, arbeitet eine FFT weitaus schneller. Insgesamt sind die mathematischen Grundlagen der Fourier-Transformation und die Ableitung des FFT-Algorithmus relativ komplex und sollen hier nicht weiter vertieft werden (einen ausführliche und mathematisch anspruchsvolle Darstellung findet sich z.B. bei Butz 1998; vgl. auch Hütt 2001, S. 152ff.). Wichtig sind im Zusammenhang mit der Analyse komplexer Zeitreihen jedoch zwei mathematische Eigenschaften. Hier ist zunächst auf die vollständig lineare Beziehung zwischen den Wertepaaren aus Zeitsignal x_t und der Spektraldichtefunktion $f(\lambda_j)$ zu verweisen. Die Fourier-Transformation ist ein lineares Verfahren der Zeitreihenanalyse. Ein weiterer wichtiger, bisher unterschlagener Aspekt betrifft den Umstand, dass die Fourier-Transformation in der Lage ist, neben der Amplituden- bzw. Spektraldichtefunktion auch Informationen über die Phasenwinkel der einzelnen Frequenzen zu liefern. Mathematisch ergeben sich beide Informationen über eine spezielle Zerlegung des Imaginärteils der komplexen Fourier-Transformation (vgl. Hütt 2001, S. 157).

Eine vollständige FT liefert zwei Funktionen, aus denen sich die Zeitreihe rekonstruieren lässt

Zur konkreten Reproduktion einer Zeitreihe aus einer Fourier-Transformation reicht nämlich die Spektraldichtefunktion allein nicht aus. Diese beschreibt zwar die Amplituden verschiedener Periodenlängen, nicht aber die Phasenwinkel, in denen die einzelnen Frequenzen zueinander stehen. Denn auch dann wenn gewiss ist, dass eine Zeitreihe nur zwei Frequenzen enthält, ist damit noch nicht gesagt, ob beide Schwingungen gleichzeitig starten oder zueinander verschoben sind. Die Phasenwinkel können im Rahmen der Fourier-Transformation ebenso wie die Spektraldichtefunktion ermittelt werden. Beide Funktionen werden im Rahmen einer inversen Fourier-Transformation (bzw. *Fourier-Synthese*) genutzt um eine Zeitreihe aus den Informationen der FT bzw. FFT zu rekonstruieren.

Aufwändige Surrogatdaten-Verfahren beruhen auf einer FT

Die genannten Zusammenhänge werden im Rahmen nichtlinearer Zeitreihenanalysen genutzt um so genannte Surrogat-Zeitreihen zu erzeugen. Unter Surrogat-Zeitreihen versteht man künstlich erzeugte Zeitreihen, die mit einer zu untersuchenden Zeitreihe in Bezug auf bestimmte Eigenschaften übereinstimmen, in Bezug auf andere aber Unterschiede aufweisen. In diesem Sinne kann ein einfaches Surrogat erzeugt werden, indem eine Zeitreihe durcheinander gewürfelt wird. Sie verliert dadurch jede dynamische Struktur, behält aber ihre Werteverteilung inklusive Mittelwert, Median und Streuung bei. Mit der Hilfe von Komplexitätskennwerten, wie z.B. dem noch zu beschreibenden D2 (vgl. S. 366ff.), müsste das Surrogat klar von der Originalzeitreihe unterschieden werden können. Gelingt dies nicht, so kann davon ausgegangen werden, dass die Originalzeitreihe selbst nur eine zufällige Anordnung der Werte darstellt. Ein Surrogat entspricht damit einer spezifischen Nullhypothese (ein passender, isoliert erzeugter, künstlicher Unter-

schied) die im Vergleich zwischen Originalzeitreihe und den Surrogaten (in der Regel werden gleich mehrere Surrogatdatensätze nach dem gleichen Verfahren erzeugt) zu einen statistisch absicherbaren Unterschied führen sollten.

FT-Surrogate testen auf Nichtlinearität

Dass eine empirisch mit viel Mühe für ein komplexes System erhobene Zeitreihe vollständig zufällig ausfällt, ist nur selten der Fall. In diesem Sinne kommt die Erzeugung von Random-Surrogaten (durcheinander würfeln) einer Holzhammermethode gleich. Subtiler und informationsreicher ist hingegen die Erzeugung von Surrogatdaten aus den Ergebnissen einer Fourier-Transformation (vgl. z.B. Theiler et al. 1992, Prichard & Theiler 1994, Schreiber & Schmitz 1996, Small & Judd 1998, Schreiber 1999, Schreiber & Schmitz 2000). Dabei wird eine Zeitreihe zunächst Fourier-analysiert und die dabei erhaltene Funktion der Phasenwinkel randomisiert. Wird aus Spektraldichtefunktion und der randomisierten Phasenwinkel-funktion über eine Fourier-Synthese ein Surrogat erzeugt, so stimmt es mit dem Original in Bezug auf das Frequenzspektrum überein, beruht aber auf einem linear-stochastischen Prozess. Lineare Korrelationen bleiben in den Daten also erhalten, wohingegen nichtlineare zerstört werden. Ein Surrogatdaten-Test, der solche Surrogate (auch hier wird ein ganzes Bündel pro Zeitreihe erzeugt) nutzt, prüft also auf Nichtlinearität, eine Voraussetzung für eine chaotische Dynamik. In der konkreten Anwendung sind solche FFT-Surrogate nicht leicht zu erzeugen. So treten mitunter störende Artefakte bei den Berechnungen auf (vgl. Schreiber & Schmitz 2000).

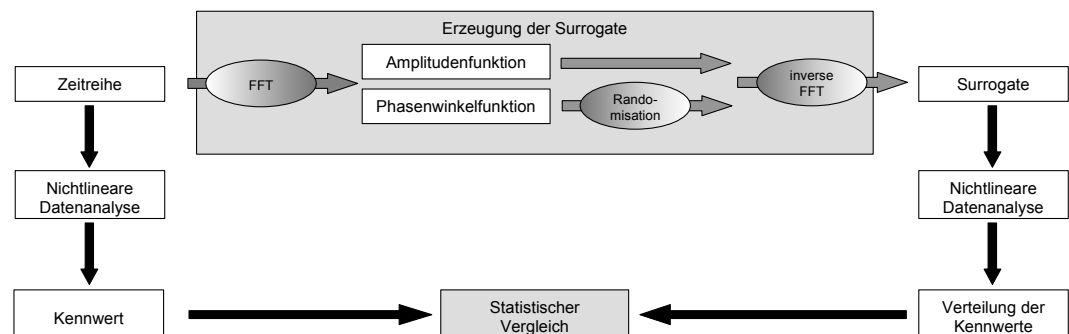


Abbildung 99: Schematische Darstellung einer Surrogatdatenanalyse

Eine Surrogatdatenanalyse beruht auf dem statistischen Vergleich bestimmter Kennwerte, die sich aus der nichtlinearen Zeitreihenanalyse ergeben (z.B. die fraktale Dimensionalität der Daten im Phasenraum). Verglichen werden dabei die Kennwerte-Verteilung vieler Surrogate, die aus der Originalzeitreihe erzeugt wurden mit dem Kennwert der Originalzeitreihe. Bei FFT-Surrogaten bleiben lineare Korrelationen erhalten, wohingegen nichtlineare durch Randomisation der Phasenwinkel zerstört werden. Dieser Surrogatdatentest prüft also auf Nichtlinearität. Die Erzeugung der Surrogate kann neben der Nutzung der FFT und je nach angestrebter Nullhypothese jedoch auch auf anderen Wege vorgenommen werden (vgl. Hütt 2001, S. 189).

Liegen für ein System mehrere Zeitreihen vor, so kann die FT über eine Zeitreihe auf die Cross-Linked-Korrelationen (vgl. S. 345) für die Kopplung zwischen mehreren Zeitreihen erweitert werden. Ein solches *Cross-Linked-Spektrum* gilt es dann zu erhalten, wenn ein Surrogatdaten-Test für mehrere, multidimensional erhobene Zeitreihen durchgeführt werden soll (vgl. Prichard & Theiler 1994).

8.2.3 Phasenraumeinbettung

Die Bedeutung von Phasenraumabbildungen für die Identifikation dynamischer Strukturen ist in den vorhergehenden Kapiteln mehrfach betont worden (vgl. z.B. Abbildung 33, S. 98). Dabei wird der Phasenraum verstanden als aus orthogonalen, von einander unabhängigen Faktoren aufgespanntes Koordinatensystem. Diese Faktoren werden auch als Freiheitsgrade des Systems bezeichnet. Für die Kennzeichnung der Bewegung eines idealisierten Körpers genügen seine Geschwindigkeit und sein Ort als unabhängige Phasenraumdimensionen. Wenn jedoch in Betracht gezogen wird, dass der Körper sich in allen drei Raumdimensionen bewegen kann, so ergeben sich drei Wertepaare, aus jeweils Geschwindigkeit und Ort in jeder Raumdimension zur Beschreibung der Bewegung. Die Darstellung der Bewegung eines einfachen Körpers benötigt daher einen Phasenraum von sechs Dimensionen (vgl. Arnol'd 1992).

Bei empirischen Systemen sind unter Umständen nicht alle Variablen so messbar, dass sie zu einer vollständigen Phasenraumabbildung zusammengefügt werden können. Möglicherweise sind nicht einmal alle Systemkomponenten des Systems bekannt. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich vor dem Hintergrund der Synergetik (vgl. S. 131ff.), deren grundlegendes Paradigma von Vielteilchen-Systemen ausgeht. Bewegen sich allein zehn Körper in einem dreidimensionalen Raum, so ergeben sich 60 mögliche Freiheitsgrade (n Körper benötigen $6n$ an Freiheitsgraden zur vollständigen Beschreibung ihrer Bewegungen). Bestehen zwischen den Körpern jedoch Koppelungen, wie sie für Systeme ja angenommen werden, so können sie durch Selbstorganisation unter Umständen Bewegungsmuster ausbilden, wie sie beim Laser oder für die Bénard-Instabilität beschrieben wurden. Die Selbstorganisationsprozesse gehen einher mit einer dramatischen Reduktion der Freiheitsgrade, sodass sich die Anzahl der Phasenraumdimensionen schlagartig mit dem Einsetzen der Selbstorganisation verringert. Das Durchsetzen langsamer Moden (Versklavung) in selbstorganisierten Systemen macht es – auch bei Kenntnis aller möglichen Freiheitsgrade – schwierig, Angaben darüber zu machen, wieviele Dimensionen ein Phasenraum in der empirischen Realität tatsächlich einnimmt. Diese Frage kann mittels der im nächsten Abschnitt zu beschreibenden Methoden beantwortet werden. Offen bleibt jedoch weiterhin die Frage danach, wie einzelne empirische Zeitreihen in einem Phasenraum dargestellt werden können.

Eine Zeitreihe enthält die Informationen der gesamten Systemdynamik

Prinzipiell zeigt sich nämlich, dass einzelne Zeitreihen so in quasi-Phasenräume *eingebettet* werden können, dass sie in der Lage sind, eine topologisch äquivalente Projektion des tatsächlichen Phasenraumes zu erzeugen. Inhaltlich kann dies aus der Tatsache verstanden werden, dass in einem gekoppelten System die Dynamik jeder Variable ein Ausdruck des gesamten Systemverhaltens darstellt.

Festzustellen wäre hier jedoch, dass tatsächlich eine nahe Koppelung der gemessenen Variable mit wichtigen Systemvariablen vorliegen muss. Dies ist aber bei weitem nicht so trivial wie es klingen mag, wie zum Beispiel der menschliche Schlaf-Wach-Rhythmus verdeutlichen mag: Auch wenn das Sonnenlicht als wichtige Triggervariable mit zum System zählt, ist sie in keine Rückkopplungsschleifen mit einbezogen. Sie gilt als einseitiger Impulsgeber. Die Ableitung ihrer zeitlichen Einstrahlungsänderung, würde daher nur Informationen über das Rotationsverhalten der Erde liefern, aber wenig über die Dynamik des Schlaf-Wach-Rhyth-

mus. Deswegen ist es wichtig durch theoretische Vorüberlegungen, die für psychische Systeme jedoch bei weitem nicht so einfach sind, zu klären, welche Variablen als genügend ins Geschehen eingebunden gelten können, um das definierte Systemverhalten (und nicht ein beliebiges anderes) auch tatsächlich abzubilden.

Phasenraumeinbettung auf Grund von Faktorenanalysen

In Hinblick auf die Methoden zur Generierung von Phasenraumeinbettungen gilt es zunächst zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten zu unterscheiden. Die weniger verbreitete gewinnt die Einbettungsdimensionen und Koordinaten aus der Autokorrelationsmatrix einer Zeitreihe. Dazu wird zunächst sukzessive der erste Wert der Zeitreihe herausgestrichen und so eine Vielzahl von Zeitreihen erzeugt, die alle gegenüber ihren Vorgängern um einen Zeitpunkt später beginnen. Wird nun jede dieser Zeitreihen mit jeder anderen korreliert, so ergibt sich eine Korrelationsmatrix, die eine Faktorenanalyse ermöglicht. Die Faktorenanalyse bestimmt daraus die Zahl der zur Einbettung benötigten orthogonalen Dimensionen und gibt über die Faktorenladungen die Koordinaten der Einbettung an (vgl. Skinner 1992, Tsonis 1992, Elbert et al. 1994). Das so generierte Koordinatensystem heißt *Karhunen-Loeve-Koordinatensystem* (Broomhead & King 1986). Diese Form der Berechnung ist jedoch recht aufwändig. Zwar können mit recht gebräuchlichen Statistiksoftwarepaketen wie z.B. SPSS oder SAS Faktorenanalysen auch für große Datenmengen (lange Zeitreihen) berechnet werden, was aber keine nennenswerte Verbesserung der Phasenraumrekonstruktion bietet gegenüber den weit weniger aufwändigen Verfahren mittels Zeitverzögerungskordinaten. Als weitere Einschränkung sei noch erwähnt, dass zur Berechnung lineare Korrelationen zwischen den zeitverschobenen Zeitreihen herangezogen werden, die den mitunter nichtlinearen Kopplungen in den Zeitreihen nicht gerecht werden können.

Phasenraumeinbettungen durch Zeitverzögerungskordinaten

Beim Verfahren der Phasenraumrekonstruktion durch *Zeitverzögerungskordinaten* wird die Zeitreihe Punkt für Punkt, nach einem Theorem von Packard und Takens (Packard et al. 1980, Takens 1981), gegen sich selbst aufgetragen. Die Koordinaten im Phasenraum werden gebildet, indem jeder Punkt der Zeitreihe zunächst die Ausprägung der ersten Dimension bildet, zu dem als Wert für die zweite Dimension jeweils ein Wert der Zeitreihe gewählt wird, der in einem Abstand von τ auf den Ausgangspunkt folgt. Der Wert für die nächste Dimension wird durch einen Wert der Zeitreihe gebildet, der wiederum nach τ Zeitpunkten auf den vorherigen folgt. So wird weiter verfahren, bis – ausgehend von allen Messzeitpunkten – jeweils allen Dimensionen ein Wert zugeordnet ist (vgl. die folgende Abbildung 100).

Die Koordinaten eines jeden Punktes X_t im Phasenraum mit m Dimensionen sind also gegeben durch die Messwerte x_t der Zeitreihe der Länge n und dem folgenden Zusammenhang:

Gleichung 47: Zeitverzögerungskordinaten

$$X_t(x_t, x_{t+\tau}, x_{t+2\tau}, \dots, x_{t+m\tau}), \text{ mit } t = 1, 2, 3, \dots, n - m\tau.$$

Für eine „realgetreue“ Einbettung des Systems über dieses Verfahren gilt es zunächst eine passende Zeitverzögerung τ zu bestimmen und festzulegen wie viele Dimensionen insgesamt für die Darstellung des Systems herangezogen werden sollen.

Der Phasenraum enthält weniger Punkte als die Zeitreihe

Die Zuordnung der Koordinaten mit Hilfe der Zeitverzögerungsmethode führt zu einer Verkürzung der Zeitreihe die sich daraus ergibt, dass zu jedem ersten Koor-

dinatenwert jeweils nachfolgende Werte hinzugewählt werden, die um so weiter entfernt sind, je größer das τ ist und je mehr Dimensionen⁹⁵ m der Phasenraum erhalten soll. Der letzte auszuwählende Koordinatenwert ist damit um τm vom Ausgangszeitpunkt entfernt. Ab $n - \tau m$ lassen sich keine Punkte mehr bestimmen, sodass sich die Zeitreihe um diesen Wert verkürzt. Um diesen Verlust möglichst gering zu halten, wird für die Bestimmung des τ z.B. jeweils der erste Nulldurchgang oder das erste Minimum der Autokorrelationsfunktion gewählt (vgl. ausführlicher S. 356ff.), obwohl spätere Nulldurchgänge oder Minima ebenfalls möglich wären.

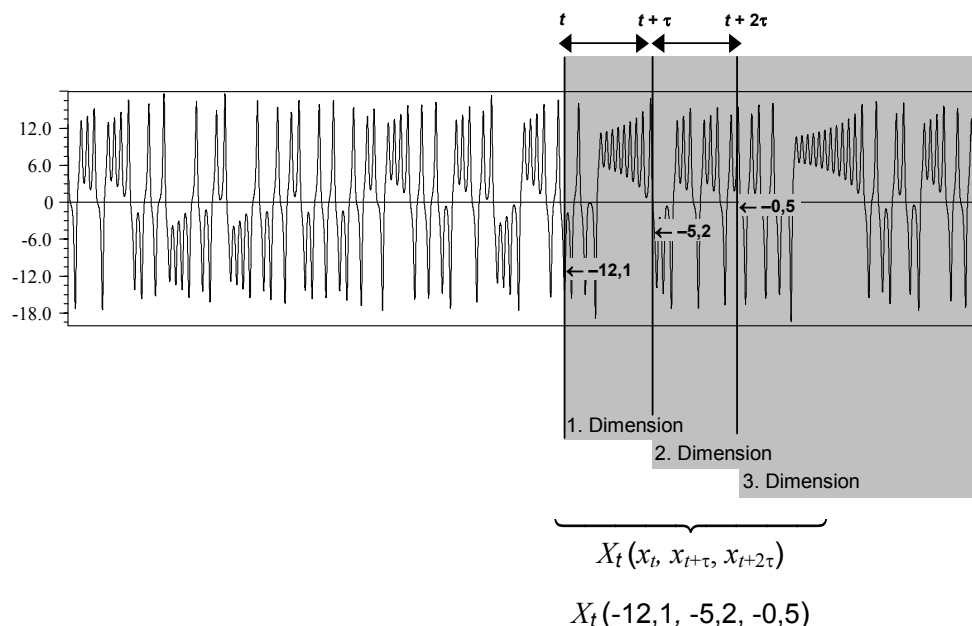


Abbildung 100: Schematische Darstellung der Generierung von Zeitverzögerungskordinaten

Mehrdimensionale Phasenraumdarstellungen lassen sich auf der Grundlage nur eine Zeitreihe (hier ist es eine Zeitreihe des Lorenz-Systems) erzeugen. Für eine 3-dimensionale Einbettung wird nun ein Messwert x bei t , einer bei $t + \tau$ und einer bei $t + 2\tau$ abgelesen und in dieser Reihenfolge den drei Dimensionen zugeordnet. Dieses Vorgehen wird nacheinander für jeden Messzeitpunkt, also für alle t wiederholt. Das Verfahren ist dabei keinesfalls auf nur drei Dimensionen begrenzt. Die Komponente für eine vierte Dimension ist nach dem gleichen Prinzip gegeben durch $t + 3\tau$ etc. Für eine „realgetreue“ Einbettung des Systems über dieses Verfahren gilt es zunächst eine passende Zeitverzögerung τ zu bestimmen und festzulegen wie viele Dimensionen insgesamt herangezogen werden sollen.

⁹⁵ Natürlich sind graphisch nur zwei Dimensionen darstellbar. Auch wenn durch geeignete Projektionen auch dreidimensionale Phasenräume graphisch dargestellt werden können, sind noch höhere Phasenräume visuell nicht mehr vorstellbar, auch wenn es unmittelbar einleuchtend ist, dass schon die Beschreibung der Bewegung nur eines Massenpunktes jeweils Geschwindigkeit und Ort in jeder der drei Raumkoordinaten benötigt und damit einen Phasenraum von sechs Dimensionen fordert. Aus diesen Gründen muss auf eine Visualisierung von hochdimensionalen Phasenräumen verzichtet werden, auch wenn sie tatsächlich inhaltlich vorstellbar erscheinen. Mathematisch sind so hohe Phasenraumeinbettungen jedoch durchaus noch handhabbar. Die Bedeutung auch hoher Phasenraumeinbettungen zeigt sich z.B. im Verfahren der Synergetik (siehe oben S. 131ff) und in den noch zu beschreibenden Analyseverfahren. Abgesehen davon sind psychologischen Fragestellungen diese Beschränkungen nicht fremd. So weisen die Faktorenstrukturen psychologischer Tests zumeist auch mehr als drei Dimensionen auf.

8.2.3.1 Bestimmung des Time-Lag über die Autokorrelationsfunktion

Es sind verschiedene Verfahren vorgeschlagen worden ein geeignetes τ zu ermitteln. Da die Achsen in einem orthogonalen Koordinatensystem jeweils unabhängige Dimensionen repräsentieren, besteht z.B. eine Möglichkeit darin über die Autokorrelationsfunktion der Zeitreihe das τ zu bestimmen, bei dem die Autokorrelation Null wird. Die Logik des Verfahrens wird bei Schiepek und Strunk (1994, S. 58ff.) ausführlich beschrieben: Als Beispielzeitreihe dient eine einfache Sinusschwingung (vgl. die folgende Abbildung 101). Wird nun angenommen, dass diese Zeitreihe bei der Datenerhebung eines nicht näher bekannten Systems gewonnen wurde, so lässt sich bereits ohne genauere Analyse über das generierende System schon einiges aussagen:

In einem System, in dem es zu periodischen Schwingungen kommt, müssen zumindest zwei Kräfte wirken. Das fragliche System besteht also aus mindestens zwei Systemkomponenten, von denen eine beobachtet und registriert wurde. Für die Rekonstruktion des Phasenraumes ist die Kenntnis der zweiten Systemkomponente jedoch unerlässlich.

Nun ist aber anzunehmen, dass dort, wo die beobachtete Zeitreihe ein Maximum hat, die zweite, unbekannte Zeitreihe einen Nulldurchgang haben muss. Andersherum ist zu vermuten, dass dort, wo die gemessene Zeitreihe einen Nulldurchgang hat, die zweite Zeitreihe ihr Maximum erreicht. Die eine Variable kommt also maximal zur Wirkung, wo die andere nicht störend, antagonistisch wirkt. Dieses Verhalten realisieren Sinus und Cosinus, wobei die Cosinuswelle eine um eine viertel Periodenlänge verschobene Sinuswelle ist. Im Phasenraum würde sich dieses Zusammenspiel in Form eines Kreises manifestieren.

Soweit die Vorüberlegungen, die noch einmal verdeutlicht haben sollten, wie durch die Messung einer Zeitreihe das ganze Systemgeschehen abgebildet werden kann. Im Folgenden wird sich zeigen, dass die Bestimmung eines Time-Lag mittels der Autokorrelation die Vorüberlegungen bestätigt.

Die Autokorrelationsfunktion einer Sinusschwingung hat die Form einer Cosinusschwingung (vgl. Abbildung 101), ein Zusammenhang, der schon bei der Besprechung des Autokorrelationsverfahrens erwähnt wurde (vgl. S. 341f.). Die Autokorrelationsfunktion weist für das gegebene Beispiel einen ersten Nulldurchgang bei einem Time-Lag von $\tau = 25$ auf, was genau einer viertel Periode der gemessenen Sinusschwingung entspricht. Deren Periodenlänge beträgt 100.

Für die Phasenraumrekonstruktion werden nun Wertepaare (x_t, y_t) derart generiert, dass x_t genau der gemessenen Zeitreihe und $y_t = x_{t+\tau}$ entspricht. Da y_t um eine Viertel-Periode zu x_t phasenverschoben ist, handelt es sich bei y_t um eine Cosinusschwingung, so dass sich im Phasenraumdiagramm ein perfekter Kreis zeigt. Das Verfahren ist also tatsächlich in der Lage, den Phasenraum gemäß den angestellten Vorüberlegungen aus nur einer Zeitreihe zu rekonstruieren.

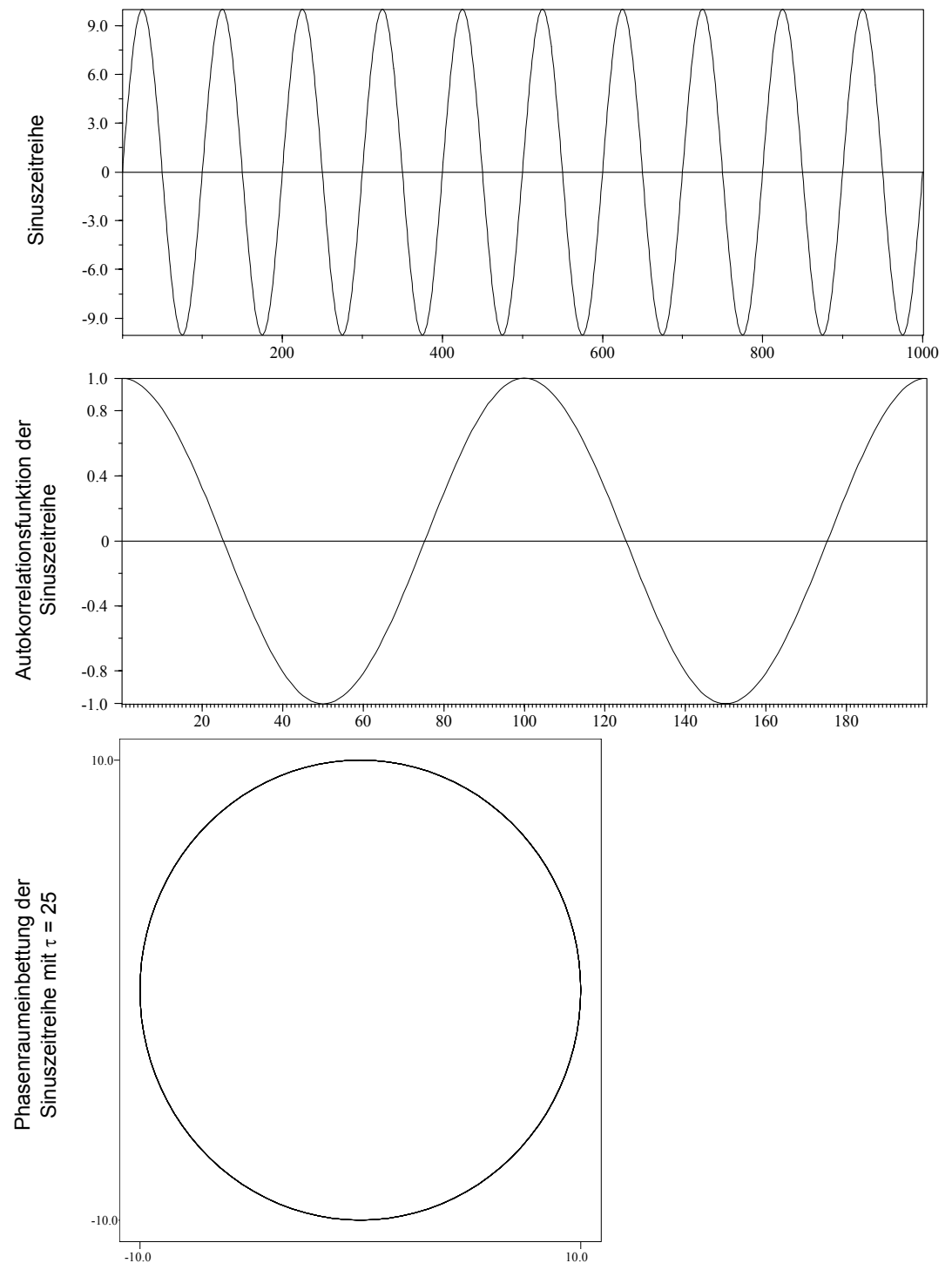


Abbildung 101: Ausschnitt aus einer Beispielzeitreihe zur Demonstration der Time-Lag-Bestimmung

Die Abbildung zeigt oben einen Ausschnitt aus einer Sinuszeitreihe. Die Zeitreihe dient als Beispiel für die Erstellung einer Phasenraumrekonstruktion (Gesamtlänge der Zeitreihe, $N = 1.000$ Messpunkte). Mitte: Die Autokorrelationsfunktion der Beispielzeitreihe hat bei $\tau = 25$ einen ersten Nulldurchgang. Für eine Phasenraumeinbettung (unten) kann dieser Wert als Time-Lag für die Generierung von Zeitverzögerungskordinaten dienen.

Wenn kein Nulldurchgang vorliegt kann z.B. auf das erste Minimum zurückgegriffen werden

Aber auch dieser Algorithmus zur Phasenraumrekonstruktion beruht bei der Bestimmung des Time-Lag auf der Überprüfung allein linearer Zusammenhangesannahmen. So ergeben sich Verzerrungen der Phasenraumabbildung, wenn für ein System auch nichtlineare Koppelungen zwischen den Systemelementen angenommen werden müssen. Auch lässt sich nicht immer ein Nulldurchgang der Autokorrelationsfunktion finden. Ist dies der Fall wird normalerweise auf das erste Minimum der Autokorrelationsfunktion zurückgegriffen.

Es sind aber auch Heuristiken vorgeschlagen worden, jenes τ zu wählen, bei dem die Autokorrelationsfunktion erstmalig unter bestimmten Grenzwerten liegt (z.B. $1/e$; 0,5 oder etwas strenger 0,1; vgl. Tsonis & Elsner 1988, Schuster 1989b, Tsonis 1992). Eine weitere Möglichkeit besteht bei periodischen Autokorrelationsfunktionen. Dort kann τ durch T/m ermittelt werden, wobei T die Periodenlänge der dominanten Periodizität im Frequenzspektrum der Autokorrelationsfunktion und m die Dimensionalität des Phasenraumes angibt (Wolf et al. 1985).

8.2.3.2 Bestimmung des Time-Lag über die Mutual-Information-Funktion

Buzug und Pfister (1992) verweisen in ihrer Kritik am Verfahren der Autokorrelation zur Bestimmung eines geeigneten Time-Lag auf zwei Problembereiche. Zum einen beruht das Verfahren auf einer Prüfung der linearen Abhängigkeit bzw. Unabhängigkeit der Daten im zeitlichen Verlauf, vernachlässigt also nichtlineare Autokorrelationen. Zum anderen erfolgt diese Prüfung der Unabhängigkeit nur für Wertepaare und müsste damit eigentlich auf eine zweidimensionale Einbettungen beschränkt bleiben (vgl. Buzug & Pfister 1992).

Es sind Verfahren vorgeschlagen worden, die Probleme der linearen Abhängigkeit zu umgehen. Ein relativ robustes Verfahren wählt das τ nach dem ersten Minimum der Mutual-Information-Funktion (Fraser & Swinney 1986). Hier wird ausgehend von der Shannonschen Informationsdefinition berechnet, wie abhängig zwei durch ein Time-Lag τ getrennt voneinander liegende Messpunkte für die gegebene Zeitreihe sind. Dazu wird der Wertebereich der Zeitreihe in diskrete disjunkte Abschnitte eingeteilt. Jeder dieser Abschnitte der Breite ε bezeichnet also einen Teil des Wertebereiches und wird mit s_i bezeichnet. Wenn nun die Häufigkeitsverteilung der Messwerte nach einer Einteilung in die durch s_i definierten Abschnitte gebildet wird, können die relativen Anteile der jeweiligen Abschnitte als Wahrscheinlichkeiten für die Einnahme dieser Abschnitte interpretieren werden. Für diskrete Messwerte kann als Breite ε genau Eins gewählt werden, so dass jeder Wert der Zeitreihe eine Klasse s_i definiert.

Wird nun jeweils das Produkt der Wahrscheinlichkeiten mit ihrem Logarithmus gebildet und werden diese Produkte für alle s_i aufsummiert, so ergibt sich der *Informationsgehalt* der Zeitreihe gemessen in Bit. Da der Logarithmus von Wahrscheinlichkeiten, die ja kleiner Eins sind, negativ ist, ist der Wert mit -1 zu multiplizieren. Dieses Vorgehen entspricht der Shannonschen Informationsdefinition (Shannon 1948) und ist formal gegeben durch die folgende Gleichung:

Gleichung 48:
Shannonsche Informationsdefinition

$$I_s = - \sum_{i=1}^N P(s_i) \log P(s_i).$$

I_s bezeichnet den Informationsgehalt der Zeitreihe in Abhängigkeit von s
 s bezeichnet disjunkte Wertebereiche, also Kategorien dessen Auftretenswahrscheinlichkeit ermittelt wird
 i : Laufnummer für s
 N : Anzahl der disjunkten Wertebereiche
 P : Auftretenswahrscheinlichkeit

Der Kern des Verfahrens lässt sich erweitern, indem nun die Wahrscheinlichkeiten für aufeinanderfolgende Wertepaare bestimmt werden. Dazu werden alle Wertepaare gebildet, die in der Zeitreihe um τ voneinander entfernt sind. Dabei werden beide Werte wieder in die gebildeten Abschnitte eingeteilt. So sei nun s_i der Abschnitt für x_t und p_j der für $x_{t+\tau}$. Es lässt sich durch Auszählen die Wahrscheinlichkeit für $P(s_i \cap p_j)$ bestimmen, die nach dem Bayes-Theorem in die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(p_j | s_i)$ transformiert werden kann, die angibt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass auf ein gegebenes s_i das angenommene p_j folgt. Sie ist danach gegeben durch:

$$P(p_j | s_i) = \frac{P(s_i \cap p_j)}{P(s_i)}.$$

$P(p_j | s_i)$ ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von p_j unter der Bedingung, dass s_i vorliegt
 $P(s_i \cap p_j)$ ist die Wahrscheinlichkeit für das gemeinsame Auftreten von p_j und s_i
 $P(s_i)$ ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von s_i

Wird nun wiederum die Shannonsche Informationsdefinition auf diesen Ausdruck angewendet, so ergibt sich ein Zahlenwert, der als bedingter Informationsgehalt, für die Abfolgen von s_i - p_j -Paaren bei gegebenem τ und gegebenen s_i bezeichnet werden kann. Er beruht also auf der Anzahl der verschiedenen Möglichkeiten eines Systems auf einen gegebenen Messwert einen festen Zeitraum später verschiedene andere Messwerte folgen zu lassen. Es handelt sich bei dem so definierten Kennwert um die Antwort auf die Frage danach, wie viel Information, gemessen in Bit, über das Vorliegen eines Folgepunktes bereits bekannt ist, wenn als Vorgänger s_i gegeben ist. Parallel zu Gleichung 48 ergibt sich hier der folgende Ausdruck:

Gleichung 49:
Information aufeinander folgender Wertepaare

$$I(p, s_i) = - \sum_{j=1}^J \left[\frac{P(s_i \cap p_j)}{P(s_i)} \right] \log \left[\frac{P(s_i \cap p_j)}{P(s_i)} \right].$$

Eine vollständige Kennzeichnung des Informationsgehaltes aufeinander folgender Wertepaare ist mit diesem Ausdruck alleine jedoch noch nicht gegeben, da als wichtige Größe die Häufigkeitsverteilung der p_j ebenso zu berücksichtigen ist, wie auch die relative Häufigkeit der s_i . Es muss also der Informationsgehalt der p über

$$I_p = - \sum_{j=1}^J P(p_j) \log P(p_j)$$

und der für ein gegebenes s_i berücksichtigt werden,

$$I_s = -P(s_i) \log P(s_i),$$

sodass die Mutual-Information-Funktion $I^*(p, s_i)$ definiert ist als Summe dieser drei Entropien (vgl. Tsonis 1992):

Gleichung 50:
Mutual-Information

$$I^*(p, s_i) = -P(s_i) \log P(s_i) - \sum_{j=1}^J P(p_j) \log P(p_j) - \sum_{j=1}^J \left[\frac{P(s_i \cap p_j)}{P(s_i)} \right] \log \left[\frac{P(s_i \cap p_j)}{P(s_i)} \right].$$

Um eine Abhängigkeit der Berechnungen von s_i zu vermeiden, wird jeweils über alle s_i gemittelt (vgl. Fraser & Swinney 1986). Auf diese Weise lässt sich die Mutual-Information allein in Abhängigkeit von τ bestimmen. Als Schätzung für das als optimales Time-Lag gesuchte τ gilt das erste Minimum der Mutual-Information-Funktion.

Das Verfahren ist weit genauer als die Time-Lag Bestimmung durch Autokorrelationsfunktion und macht zudem keinen Unterschied zwischen linearen und nicht-linearen Abhängigkeiten. Aber auch bei diesem Verfahren werden zunächst nur Kopplungen zwischen zwei Werten nämlich s_i und p_j zur Berechnung herangezogen. Ob die Ergebnisse bei höheren Einbettungen, z.B. drei Dimensionen noch Gültigkeit besitzen, bleibt auch bei diesem Algorithmus offen. Fraser und Swinney (1986) verweisen auf gute Ergebnisse bei Anwendung des Algorithmus auch für höheren Einbettungsdimensionen und empfehlen im Zweifel, den Ansatz auf höher-dimensionale Räume zu erweitern.

Dies wird möglich, indem die vorgenommene Einteilung des Wertebereiches auf den gesamten Phasenraum ausgedehnt wird. So kann z.B. auch ein dreidimensionaler Raum entsprechend in kleinere Räume unterteilt werden, auf deren Grundlage sich nun die s_i definieren lassen. Ein solches Vorgehen, wie es analog dazu auch für noch höhere Einbettungsdimensionen möglich ist, erhöht den Rechenaufwand erheblich. Buzug und Pfister (1992) halten die Ermittlung der Mutual-Information-Funktion für Phasenraumeinbettungen größer vier für unpraktikabel. Vor allem die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten setzt für die Implementierung der Gleichungen umfangreiche Sortieralgorithmen voraus, die den Rechenaufwand sehr vergrößern (vgl. Fraser & Swinney 1986). Dennoch ist der Mutual-Information gegenüber der Bestimmung des Time-Lag über die Autokorrelationsfunktion in jedem Fall der Vorzug zu geben, auch dann, wenn sie auf dem zweidimensionalen Fall beruht.

8.2.3.3 Bestimmung des Time-Lag über das generalisierte Korrelationsintegral

Liebert und Schuster (1989) haben ein weiteres Verfahren zur Ermittlung einer passenden Zeitverzögerung entwickelt. Sie schlagen vor, für verschiedene τ und beliebig gewählte Einbettungsdimensionen das Korrelationsintegral von Grassberger und Procaccia zu berechnen (dazu siehe nächster Abschnitt, S. 366ff.; vgl. Grassberger & Procaccia 1983a, 1983b, Liebert & Schuster 1989).

Das Korrelationsintegral ist gegeben durch:

Gleichung 51:
Korrelationsintegral

$$C(l) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1, i \neq j}^n \Theta(l - |\bar{X}_i - \bar{X}_j|) \right].$$

Mit Θ wird eine Heaviside-Funktion bezeichnet, die den Wert Eins annimmt, für die Bedingung, dass der Betrag des Abstandes zwischen den beiden Vektoren \vec{X}_i und \vec{X}_j , die sich auf Punkte im Phasenraum beziehen, kleiner ist als l , während sie den Wert Null annimmt, wenn dies nicht der Fall ist. Für eine gegebene Einbettung einer Zeitreihe mit Zeitverzögerungskoodinaten und einem gegebenen τ im m -dimensionalen Raum, zählt das Korrelationsintegral also wieviele Abstände zwischen allen möglichen Punktepaaren kleiner sind als l und relativiert diese Zahl mit n^2 auf die Anzahl möglicher Abstände überhaupt. In der Regel wird dieser Wert für alle möglichen l und für unterschiedliche Einbettungsdimensionen m berechnet. Werden beide Größen l und m auf einem sinnvollen Level konstant gehalten (l ist so zu wählen, dass es zwischen dem minimalen und maximalen Abstand des Attraktors liegt und m sollte größer als die vermutete Dimensionalität des Attraktors sein), ergibt sich ein Maß für den durchschnittlichen Informationsgehalt des rekonstruierten Attraktors, welches als generalisierte Korrelationsfunktion bezeichnet wird. Diese generalisierte Korrelationsfunktion zeigt eine Abhängigkeit von τ . Das erste Minimum des Logarithmus dieser Funktion gilt als sehr gute Schätzung für ein passendes Time-Lag.

8.2.3.4 Bestimmung des Time-Lag über geometrische Eigenschaften

Buzug und Pfister (1992) schlagen zwei geometrische Verfahren zur Time-Lag-Bestimmung vor. Dabei gehen sie zunächst davon aus, dass ein geeignetes τ größer Null und kleiner als die Hälfte der dominierenden Periodenlänge der Zeitreihe sein sollte:

$$0 < \tau \leq \frac{1}{2} T_c.$$

T_c bezeichnet die charakteristische Periodenlänge des Systems.

Für τ , die sehr klein sind im Vergleich zur dominierenden Periodenlänge, ergibt sich eine Phasenraumeinbettung die gekennzeichnet ist durch einen sehr schmalen Attraktor, der entlang einer Diagonalen durch die vom Phasenraum aufgespannten Dimensionen verläuft. Ein τ , das solches produziert, ist in jedem Fall zu klein. Wird τ jedoch zu groß gewählt, kommt es zu einem Auseinanderfallen der Attraktorstruktur (vgl. die folgende Abbildung 102c).

Buzug und Pfister (1992) beschreiben aufbauend auf diesen Vorüberlegungen ein einfaches geometrisches Maß um Informationen über die optimale Ausnutzung des Phasenraumes durch den eingebetteten Attraktor zu ermitteln. Dies gelingt über die Berechnung des Volumens des Attraktors im Phasenraum. Dazu werden $(m+1)$ -Tupel (mit m wird auch hier die Dimensionalität der Einbettung bezeichnet) von beliebigen Punkten auf dem Attraktor gewählt, d.h., dass die Anzahl gewählter Punkte um Eins größer ist als die Dimensionalität des Phasenraumes. Mit Hilfe dieser Punkte lässt sich dann z.B. in einem zweidimensionalen Phasenraum ein Parallelogramm aufspannen. Im m -dimensionalen Raum werden auf die gleiche Weise sog. Parallelepipeden erzeugt. Dazu wird zunächst einer der $m+1$ Punkte als Referenzpunkt gewählt. Die Vektoren die vom Referenzpunkt zu den anderen m Punkten führen, spannen das Parallelepiped auf. Diese Vektoren lassen sich einfach ermitteln, indem für jede Raumrichtung einfach die Differenz zwischen

den Werten des Referenzpunktes und des jeweiligen Zielpunktes gebildet wird. Diese Differenzen bilden den Vektor vom Referenzpunkt zum Zielpunkt. So werden alle m Vektoren berechnet. Wird nun jeder Vektor als Zeile einer Determinante geschrieben, so gibt der Wert der Determinanten sofort das Volumen an.

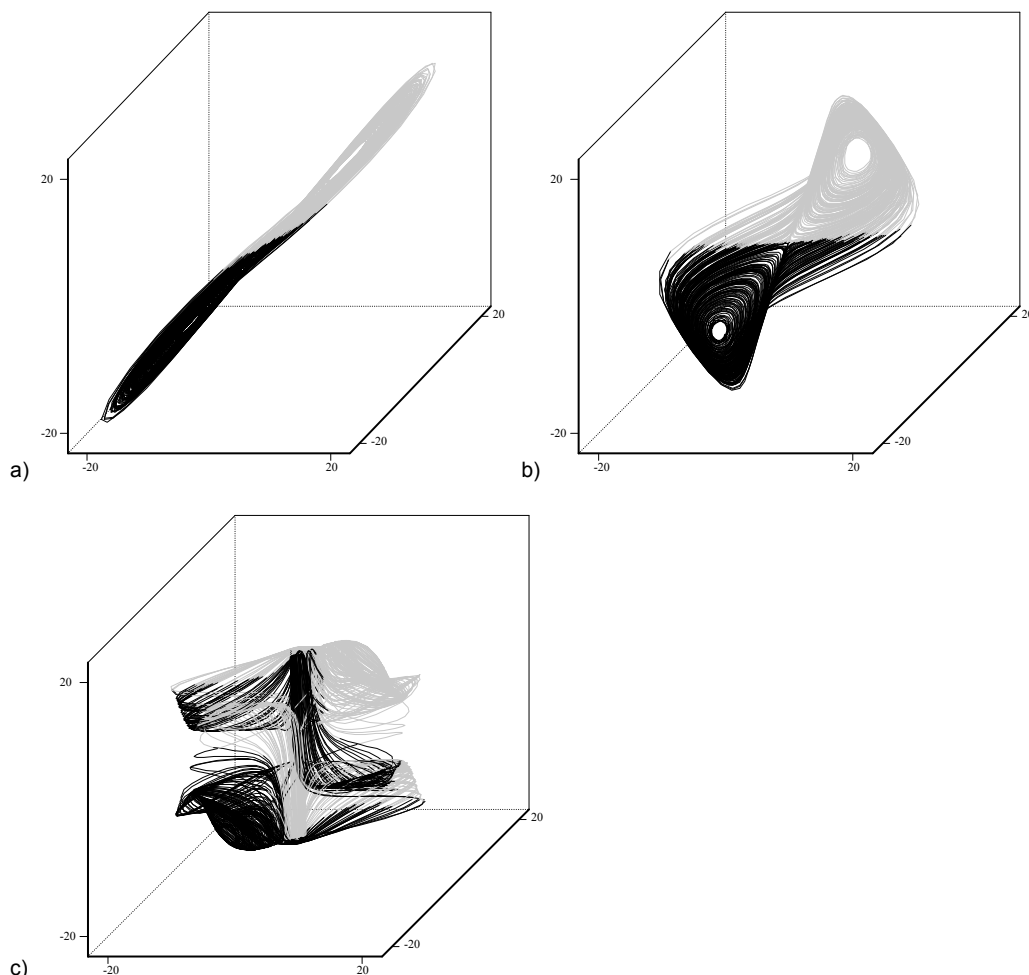


Abbildung 102: Phasenraumeinbettung des Lorenz-Attraktors für verschiedene Time-Lag

Das Time-Lag in a) ist mit einem Wert von Eins eindeutig zu klein gewählt. Der Attraktor kann sich nicht entfalten und gruppiert sich im Wesentlichen entlang der Raundiagonalen. Das Time-Lag in b) ist optimal gewählt. Es hat einen Wert von Sechs, der durch die Mutual-Information bestimmt wurde. Allerdings zeigen sich hier bereits Tendenzen, die darauf hinweisen, dass der Attraktor bei einem höheren Time-Lag „kollabiert“. Links-Unten und Rechts-Oben beginnen die Strukturen sich zu falten. Das Time-Lag in c) ist mit einem Wert von 18 eindeutig zu hoch gewählt. Der Attraktor „kollabiert“.

Diese Berechnung des Volumens wird für unterschiedliche Referenzpunkte und Vektoren wiederholt, daraus der Mittelwert gebildet und dieser auf den Wertebereich der Zeitreihe normiert. Der Wertebereich ist gegeben durch die m -te Potenz der Differenz zwischen dem höchsten (max) und niedrigsten (min) Wert der Zeitreihe x :

Gleichung 52:
Gemittelt und normiertes Volumen von Parallelepipeden

$$F_m(\tau) = \frac{\bar{V}}{(\max(x) - \min(x))^m}$$

Der Mittelwert der Volumina \bar{V} – auf diese Weise normiert – ändert sich in Abhängigkeit von τ für ein gegebenes m . Den Logarithmus von $F_m(\tau)$ bezeichnen Buzug und Pfister (1992) als *Fill-Factor*.

Gleichung 53:
Fill-Factor

$$f_m(\tau) = \log_{10}[F_m(\tau)].$$

Das Maximum des *Fill-Factor* im Intervall

$$0 < \tau \leq \frac{1}{2} T_c$$

bezeichnet den besten Wert für τ .

Buzug und Pfister (1992) können zudem zeigen, dass die Funktionen von $f_m(\tau)$ für verschiedene Einbettungsdimensionen parallelverschoben verlaufen. Wird der durchschnittliche Abstand für aufeinanderfolgende Einbettungsdimensionen berechnet, so zeigt sich eine Zunahme der Abstände zwischen den Funktionen von $f_m(\tau)$ für verschiedene Einbettungsdimensionen, bis eine Sättigung eintritt. Die Einbettungsdimension ab der dies geschieht, kann als die optimale Einbettungsdimension betrachtet werden.

Das vorgeschlagene Verfahren zeigt eine geringe Störanfälligkeit gegenüber Rauschen oder den Begrenzungen der Auflösung der Zeitreihe auf zehn bis zwölf Bit. Allerdings zeigen sich gravierende Einschränkungen bei Zeitreihen, die keine dominierende Periodik aufweisen. Dies nämlich führt dazu, dass der *Fill-Factor* keine signifikanten Maxima mehr aufweist.

Integral der lokalen Deformation

Als eine Methode, die den lokalen Verlauf des Attraktors als Grundlage zur Bestimmung von τ heranzieht, haben Buzug und Pfister (1992) das „*Integral der lokalen Deformation*“ vorgeschlagen. Dabei gehen sie zunächst davon aus, dass für reale physikalische Systeme, die im passenden Phasenraum eingebettet werden, benachbarte Trajektorien über begrenzte Zeiträume benachbart bleiben, mit der Ausnahme, dass bei chaotischem Verhalten eine Separation der Trajektorien stattfindet, die aber ebenfalls nicht wahllos verläuft, sondern mit einem positiven Lyapunov-Exponenten (siehe dazu unten S. 375f.) beschrieben werden kann. Das bedeutet, dass es zumindest prinzipiell keine Konstellationen geben darf, bei denen sich benachbarte Trajektorien annähern oder gar kreuzen. Dies ist mit Einschränkungen nur der Fall, wenn die Einbettungsdimension zu klein gewählt wird, oder in der Nähe von Sattelpunkten, wie z.B. Nullpunkten in den Messungen, auf die auch aus unterschiedlichen Richtungen stammende Trajektorien immer wieder vereinigt werden. Aber auch bei genügend hohen Einbettungsdimensionen kann es durch die Wahl eines falschen Time-Lag zu dem beschriebenen Verhalten kommen.

Um zu überprüfen, ob solch ein „Kollaps“ des Attraktors bei einem gewählten Time-Lag vorliegt, muss das lokale Verhalten zufällig gewählter Referenzpunkte und ihrer Nachbarn ermittelt werden. Eine exakte Lösung dieses Problems kann gegeben werden durch die Entwicklung eines quantitativen Kennwertes zur Bemessung der Separation einer Referenztrajektorie von der sie umgebenden Wolke aus Referenzpunkten. Ein einfaches Maß dafür kann folgendermaßen bestimmt werden: Zunächst wird dazu ein zufälliger Referenzpunkt gewählt und alle seine

Nachbarn in einem Radius von R ermittelt. Danach wird der Schwerpunkt der Wolke von Nachbarn bestimmt. Das Maß ist nun definiert als Distanz zwischen dem Referenzpunkt und dem Schwerpunkt der Wolke aus Nachbarn im Verlauf eines begrenzten Zeitraumes. Die Koordinaten des Schwerpunktes sind leicht gegeben als Mittelwerte jeder Raumdimension. Ist z.B. ein dreidimensionaler Raum mit den Raumdimensionen x, y, z gegeben, so berechnet sich der Schwerpunkt X_s beliebiger Punkte $X_i(x_i, y_i, z_i)$ aus den Mittelwerten der x -, y - und z -Komponenten dieser Punkte:

$$X_s = (\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i).$$

Auch der Abstand zweier Punkte ist leicht gegeben durch die Wurzel aus der Summe aller quadrierten Differenzen ihrer Koordinatenkomponenten. Im gegebenen Beispiel ist der Abstand des Referenzpunktes X_0 zum Schwerpunkt X_s definiert als:

Gleichung 54:
Abstand eines Referenzpunktes zum Schwerpunkt

$$\delta_{0s} = \sqrt{(x_0 - x_s)^2 + (y_0 - y_s)^2 + (z_0 - z_s)^2}.$$

Für höhere Dimensionen werden die weiteren quadrierten Differenzen der Raumrichtungen unter der Wurzel einfach additiv hinzugefügt.

Darauf hin wird der Abstand zwischen den Punkten auf der Referenztrajektorie und dem Schwerpunkt für jeweils aufeinanderfolgende Zeitpunkte q über einem begrenzten Zeitraum Q berechnet: δ_{0s}^q . Daraus kann dann das Integral der lokalen Deformation diskret errechnet werden:

Gleichung 55:
Integral der lokalen Deformation

$$d_m(\tau) = \sum_{q=1}^Q \frac{\delta_{0s}^{q-1} + \delta_{0s}^q}{2}.$$

Nun sollte aber das Integral nicht nur für einen Referenzpunkt X_0 sondern für eine große Zahl N_{ref} von Referenzpunkten X_j mit $j = 1, 2, 3, 4 \dots N_{ref}$ gemittelt werden. Um eine dimensionslose Größe zu erhalten, empfiehlt sich auch hier eine Normierung über die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert der Zeitreihe. Der Einfachheit halber wird hier die gleiche Bezeichnung für das normierte und das über mehrere Referenzpunkte gemittelte Integral genutzt:

Gleichung 56:
Durchschnittliche lokale Deformation

$$d_m(\tau) = \frac{\sum_{j=1}^{N_{ref}} \left[\sum_{q=1}^Q \frac{\delta_{0s}^{q-1} + \delta_{0s}^q}{2} \right]}{2N_{ref} [\max(x) - \min(x)]}.$$

Für Testzeitreihen wählten Buzug und Pfister (1992):

1. $Q = 4$ (für nicht verrauschte Zeitreihen genügt sogar 1. Die Obergrenze für Q liegt bei $Q < T_c / (4T_a)$, wobei T_a die Samplingtime bezeichnet. T_c bezeichnet die charakteristische Periodenlänge des Systems)
2. $N_{ref} = 2\%$ von N
3. Der Radius für die Nachbarpunkte wurde mit 4% von $[\max(x) - \min(x)]$ festgelegt.

Ein optimales τ ergibt sich nach dieser Methode für Minima von $d_m(\tau)$. Zudem kann eine passende Einbettungsdimension durch konvergente Minima von $d_m(\tau)$ für verschieden hohe Einbettungen identifiziert werden. Auch diese Methode ist in ihren Ergebnissen relativ unabhängig von Messfehler-Rauschen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch geeignete Verfahren Attraktoren eines Systems aus nur einer Zeitreihe rekonstruiert werden können. Dazu wurden zwei prinzipiell verschiedene Vorgehensweisen beschrieben. Zum einen können über Faktorenanalysen die Koordinaten für eine Einbettung bestimmt werden, zum anderen können nach einem Theorem von Packard und Takens (Packard et al. 1980, Takens 1981) Einbettungen mittels Zeitverzögerungskordinaten erzeugt werden. Die Bestimmung eines optimalen Time-Lag für die Zeitverzögerungsmethode ist für die im Folgenden zu beschreibenden Methoden unerlässlich. Daher wurden mehrere Methoden der Time-Lag-Bestimmung vorgestellt. Es zeigt sich jedoch, dass jede Methode ihre eigenen Grenzen und Möglichkeiten aufweist, die im Einzelnen jedoch nur schwer zu überschauen sind. Insgesamt empfehlen sich jedoch durchaus aufwändigere Methoden als die relativ simple Methode der Bestimmung des Time-Lag über die Autokorrelation.

Für viele empirische Datensätze ist, im Gegensatz zu den aus Simulationen gewonnenen Datenreihen, mit Artefakten, Messfehlerrauschen, Sattelpunkten durch begrenzte Messintervalle und nicht selten mit nichtstationären Prozessen zu rechnen. Diese Einflüsse führen in der Regel zu wenig ansehnlichen Phasenraumdarstellungen, die nur selten per Augenschein eine klare geometrische Struktur erkennen lassen. Für solche Daten empfiehlt es sich dann auf geometrische Methoden zur Time-Lag-Bestimmung zu verzichten und entweder die Mutual-Information oder das generalisierte Korrelationsintegral heran zu ziehen. Der Vermutung, dass das per Augenschein festgestellte Fehlen geordneter geometrischer Strukturen im Phasenraum genügen könnte, um einen Prozess als Zufallsrauschen zu klassifizieren, muss an dieser Stelle widersprochen werden. Erst die Berechnung von Kennwerten der nichtlinearen Zeitreihenanalyse, wie z.B. dem der Dimensionalität vermag Hinweise auf die dynamische Ordnung der Prozesse zu geben.

8.2.4 Dimensionalität – Komplexität

Auf die Beziehung zwischen der geometrischen Struktur von seltsamen bzw. chaotischen Attraktoren im Phasenraum und den Dimensionalitätskonzepten von Mandelbrot wurde bereits hingewiesen. Tatsächlich gibt es Methoden, die versuchen die fraktale Dimensionalität von Attraktoren im Phasenraum zu ermitteln. Dabei können sich – genau wie bei fraktalen Dimensionen – größere Werte ergeben, als nach Maßgabe der topologischen Dimension des Attraktors zu erwarten wären. Zudem ergeben sich in der Regel keine ganzen Zahlen (vgl. S. 143ff. und S. 151ff.).

Die Dimensionalität eines Attraktors aufgerundet auf die nächste ganze Zahl entspricht der Anzahl der vom System realisierten Freiheitsgrade

Die Methoden zur Dimensionalitätsbestimmung auf der Grundlage empirischer Zeitreihendaten sind sehr rechenzeitintensiv und empfindlich gegenüber Zeitreihenlänge, Stationarität der Prozesse, Wahl einer idealen Phasenraumeinbettung und Rauschen. Die Informationen, die aus diesen Analysen über die zu Grunde liegenden Prozesse gewonnen werden können, rechtfertigen jedoch durchaus den Aufwand. So ist es möglich, aus nur einer Zeitreihe die Anzahl der Systemkomponenten zu schätzen, die mindestens benötigt werden, um die beobachtete Dynamik zu generieren. Die Dimensionalität eines Attraktors aufgerundet auf die nächste ganze Zahl entspricht der Anzahl der vom System *realisierten* Freiheitsgrade. Allgemein gibt die Dimensionalität eines Attraktors die Komplexität der Prozessdynamik an. In diesem Sinne ist es dann auch möglich die Komplexität verschiedener Prozesse miteinander zu vergleichen.

Zunächst soll der Grundgedanke der Dimensionalitätsbestimmung nach der am meisten verwendeten Methode, die von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b) vorgeschlagen wurde, beschrieben werden. Der Kern des Verfahrens wird durch das sog. Korrelationsintegral gebildet, welches gegeben ist durch:

**Gleichung 57:
Korrelationsintegral**

$$C(l) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1, i \neq j}^n \Theta \left(l - \left| \vec{X}_i - \vec{X}_j \right| \right) \right]. \quad (\text{vgl. Gleichung 51})$$

Das Korrelationsintegral sieht vor, dass alle möglichen Paare von Ortsvektoren auf ihre Distanz zueinander untersucht werden. Es wird also der euklidische Abstand zwischen jedem Punkt des Attraktors zu jedem anderen Punkt des Attraktors bestimmt. In der Gleichung 57 werden die zu untersuchenden Ortsvektoren mit \vec{X}_i bzw. mit \vec{X}_j bezeichnet. Jeder dieser Vektoren wird dabei von m Komponenten (mit m wird auch hier die Dimensionalität der gewählten Einbettung bezeichnet) in der folgenden Form gebildet:

$$\vec{X}_i = (x_{i,k=1}, x_{i,k=2}, \dots, x_{i,k=m}), \text{ bzw. für } j:$$

$$\vec{X}_j = (x_{j,k=1}, x_{j,k=2}, \dots, x_{j,k=m}).$$

Dabei wird hier abweichend von der üblichen Darstellung eines dreidimensionalen Ortsvektors mit der Hilfe von x -, y - und z -Komponenten jede Komponente mit x und die zugehörige Koordinaten-Achse mit dem Index k bezeichnet, da diese Darstellung auch die mathematische Behandlung höherdimensionaler Phasenräume erlaubt (Vorsicht: diese Darstellung beschreibt inhaltlich einen anderen Zusammenhang als Gleichung 47, S. 354 und darf daher nicht mit dieser verwechselt werden).

Da, wie oben bereits beschrieben, der euklidische Abstand d zweier Ortsvektoren und im m -dimensionalen Raum gegen ist durch:

Gleichung 58:
Abstand zwischen
Punkten im Phasen-
raum

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{i,k} - x_{j,k})^2}, \quad (\text{vgl. Gleichung 54})$$

lässt sich das Korrelationsintegral umschreiben zu:

Gleichung 59:
Korrelationsintegral

$$C(l) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1, i \neq j}^n \Theta(l - d_{ij}) \right].$$

Bei Θ handelt es sich um eine Heaviside-Funktion, die den Wert Eins annimmt, für die Bedingung, dass d_{ij} kleiner ist als l , während sie den Wert Null annimmt, wenn dies nicht der Fall ist. Für eine gegebene Einbettung einer Zeitreihe mit Zeitverzögerungskoodinaten und einem gegebenen τ im m -dimensionalen Raum, zählt das Korrelationsintegral also wieviele Abstände zwischen allen möglichen Punktepaaren kleiner sind als die mit l gegebene Größe und relativiert diese Zahl mit n^2 auf die Anzahl möglicher Abstände überhaupt.

Die Gleichung lässt sich relativ einfach als Computerprogramm implementieren, indem alle Abstände zwischen allen Punkten (außer mit sich selbst) ermittelt und mit aufsteigender Größe sortiert werden. Die Position eines $l = d_{ij}$ in der sortierten Liste gibt dann sofort an, wieviele Abstände d_{ij} zwischen den Punkten des Attraktors kleiner sind. Wird diese Anzahl durch n^2 geteilt, so ist $C(l)$ für alle l leicht berechnet.

**Ein geeigneter Skalierungs-
bereich wird
häufig nach Augen-
maß bestimmt**

Nun ist die Korrelationsdimension (D2) jedoch erst gegeben durch die lineare Steigung einer Geraden im Plot von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$. Nicht immer lässt sich eine solche lineare Steigung mit Sicherheit identifizieren. Wenn sie vorliegt, dann zeigt sie sich in der Regel nicht im Verlauf des gesamten Wertebereiches von $\log(l)$, sondern nur in einem mehr oder weniger schmalen Ausschnitt des Funktionsbereiches von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ als gute Approximation (vgl. die folgende Abbildung 103). Die Identifikation dieses so genannten *Skalierungsbereiches* bildet einen durchaus problematischen Analyseschritt im Rahmen der Bestimmung der Korrelationsdimension. Nicht selten wird der Skalierungsbereich nur nach Augenmaß festgelegt. Die Güte der Anpassung einer Gerade an den Plot von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ kann noch relativ einfach über z.B. Korrelationskoeffizienten bestimmt werden, die Identifikation des Skalierungsbereiches selbst ist hingegen durchaus komplex. Wenn der Skalierungsbereich, z.B. durch eine Erweiterung des Verfahrens zum PD2 (vgl. S. 373ff.), für eine einzige Analyse mehrfach bestimmt werden muss, kommt man um die automatisierte Eingrenzung des linearen Bereiches nicht mehr umhin.

Vorschläge in diese Richtung liegen z.B. von Babloyantz und Destexhe (1987) vor. Ausgangspunkt ihres Algorithmus ist die Berechnung des so genannten *Slope*. Der *Slope* der Funktion von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ bildet die Änderung der Steigung über $\log(l)$ ab. Er stellt also die erste Ableitung von $\log(C(l))$ nach $\log(l)$ dar (vgl. die folgende Abbildung 103).

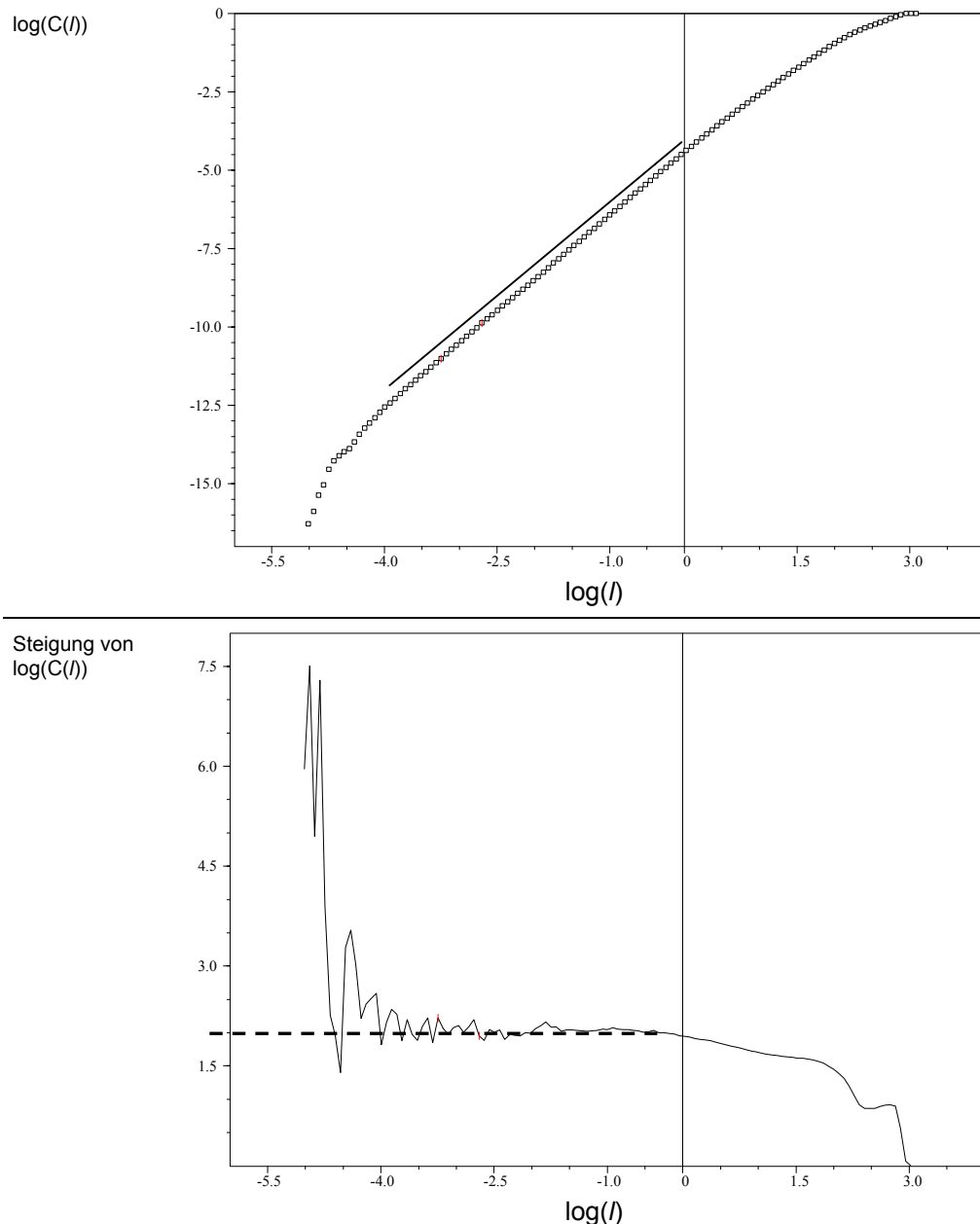


Abbildung 103: Korrelationsintegral in Abhängigkeit von l

Oben: Die doppelt logarithmische Darstellung zeigt, wie bei wachsendem l auch das Korrelationsintegral wächst. Im markierten Bereich ist die Steigung von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ linear. Dieser Bereich wird Skalierungsbereich genannt. Unten: Der Slope des Korrelationsintegrals ergibt sich, indem die Steigung jeweils aufeinander folgender Punkte des Plot aus $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ bestimmt wird. Die gestrichelte Linie geht durch den Skalierungsbereich und entspricht der mittleren Steigung in diesem Bereich. Ihr Wert ist das D2 für die gewählte Einbettungsdimension.

Die in der Abbildung dargestellte Berechnung ergibt sich für den Lorenz-Attraktor (vgl. Gleichung 27, S. 289) mit $r = 29,00$; $\sigma = 10,00$ und $b = 2,66667$. Im Rahmen der Berechnung der Zeitreihe wurden Zeitschritte im Abstand von 0,005 gewählt und nur jeder fünfte Datenpunkt registriert. Erzeugt wurden 9.800 Messzeitpunkte. Die Berechnung des D2 erfolgte für eine dreidimensionale Einbettung. Das Time-Lag wurde mit Hilfe der Mutual-Information ermittelt.

Im Skalierungsbereich verändert sich der *Slope* nicht so dramatisch, wie außerhalb des Skalierungsbereiches und verläuft im Idealfall parallel zur Abszisse. Aufbauend auf diesen Beobachtungen schlagen Babloyantz und Destexhe (1987) eine

Möglichkeit vor, den Mittelpunkt des Skalierungsbereiches zu bestimmen. Obwohl das von ihnen beschriebene Verfahren durchaus plausibel erscheint, führte es bei der Erprobung im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu fehlerhaften Ergebnissen, so dass hier ein eigener Algorithmus entwickelt wurde, der den Skalierungsbereich nach und nach immer mehr einkreist. Insgesamt geht der Algorithmus in fünf Schritten vor:

1. Von links (niedriges $\log(l)$) nach rechts (hohes $\log(l)$) werden sukzessive alle Steigungen des *Slope* ausgeschlossen, bis zum ersten Mal eine Verringerung der Steigung eintritt. Auch von rechts nach links voranschreitend werden sukzessive alle Steigungen ausgeschlossen, bis zum ersten Mal eine Verringerung der Steigung eintritt. Sollte durch diesen Schritt kein zusammenhängender Bereich mehr definiert werden können (die Ausschlüsse überlappen einander), wird der Schritt ausgelassen.
2. Im bisher definierten Bereich wird nun die zweite Ableitung von $\log(C(l))$ nach $\log(l)$ berechnet, also die sich jeweils für aufeinanderfolgende Werte des *Slope* ergebende Veränderung bestimmt. Im Skalierungsbereich sollte sich der *Slope* nur mehr geringfügig ändern, so dass die zweite Ableitung Werte nahe Null einnehmen sollte.
3. Von links nach rechts werden sukzessive alle Veränderungen des *Slope* ausgeschlossen, die größer als Eins sind. Da solche dramatischen Veränderungen nur am linken Ende des *Slope* zu erwarten sind, wird auf ein entsprechendes Vorgehen am rechten Ende verzichtet.
4. Für den so eingegrenzten und von groben Ausreißern befreiten Bereich wird nun der mittlere *Slope* (*AMS*) und die mittlere Abweichung (*AB*) von diesem Mittelwert bestimmt. Registriert wird dabei der Betrag der Abweichung vom Mittelwert. Um den Mittelwert wird mit Hilfe der mittleren Abweichung ein Intervall ($AMS - AB$ bis $AMS + AB$) gebildet.
5. Im bisher definierten Bereich wird nun der größte zusammenhängende (also nicht durch Ausreißer unterbrochene) Abschnitt des *Slope* gesucht, dessen Werte innerhalb des definierten Intervalls liegen. Dieser Bereich, sofern einer existiert, stellt den gesuchten Skalierungsbereich dar. Die Güte der Anpassung einer Gerade an den Plot von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ im Skalierungsbereich wird in der Folge über den Korrelationskoeffizienten bestimmt.

Das Verfahren wurde mit verschiedenen Beispielsystemen ausführlich auf seine Zuverlässigkeit getestet. Insgesamt führt es zu relativ schmalere Skalierungsbereichen, als sie sich per Augenschein ergeben würden. Es hat sich als hilfreich herausgestellt den Skalierungsbereich zunächst für verschiedene Einbettungsdimensionen zu bestimmen und dann die Berechnungen mit einem fixen Skalierungsbereich zu wiederholen. Dieser ergibt sich zwischen der insgesamt geringsten unteren Grenze für $\log(l)$ und der insgesamt größten oberen Grenze für $\log(l)$ der Skalierungsbereiche der verschiedenen Einbettungsdimensionen.

Immer dann, wenn die Bestimmung eines Skalierungsbereiches möglich ist, kann die Steigung der Geraden für $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ als gute Schätzung für die Korrelationsdimension bei einer gegebenen Einbettungsdimension gelten. Probleme bei der Bestimmung des Skalierungsbereiches können sich z.B. durch verrauschte Daten oder ein fehlerhaft gewähltes Time-Lag ergeben. Aber auch dann, wenn eine Korrelationsdimension für eine bestimmte Einbettungsdimension ermittelt

werden kann, setzt ihre Interpretation als D2-Schätzung voraus, dass der Wert auch für die passende Einbettungsdimension bestimmt wurde. Da diese für empirische Daten in der Regel nicht a priori bekannt ist, muss die D2-Berechnung für verschieden hohe Einbettungsdimensionen m mit $m = 1, 2, 3, 4, \dots, M$ wiederholt werden.

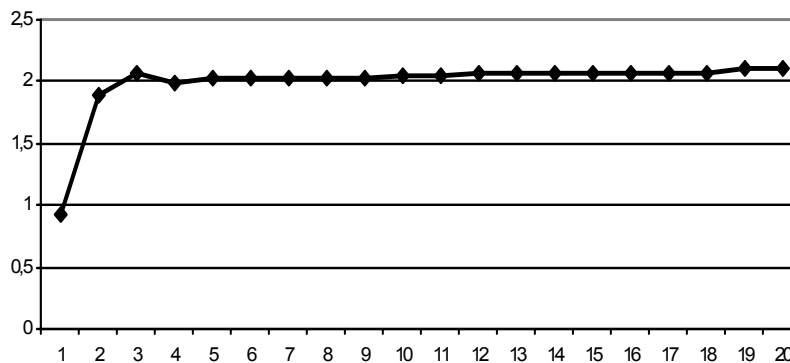


Abbildung 104: D2 bei wachsender Einbettungsdimension

Mit wachsender Einbettungsdimension steigt der Wert für das D2 zunächst an, bis sich eine Sättigung zeigt. Für die bereits in Abbildung 103 genutzten Daten kann in guter Näherung bereits ab drei Dimensionen eine Sättigung beobachtet werden. Es ergibt sich ein $D2 = 2,05$ ($\pm 0,045$). In der Literatur wird für das Lorenz-System eine Dimensionalität von 2,06 angegeben (z.B. Argyris & Andreadis 1998b).

Die Werte des D2 müssen sich bei steigender Einbettung einem festen Wert annähern

Der Plot der für jede Einbettungsdimension berechneten Korrelationsdimension aufgetragen gegenüber der Einbettungsdimension m beschreibt im Idealfall eine logarithmische Form. D.h., dass mit steigendem m zunächst auch das D2 steigt, dann aber eine Sättigung eintritt, die dazu führt, dass sich das D2 nicht mehr erhöht, wenn m erhöht wird (vgl. Abbildung 104). Ohne viel Aufwand kann die Sättigung über eine lineare Regression durch die D2-Werte der höchsten Einbettungsdimensionen bestimmt werden. Zeigt sich hier eine positive Steigung, die einen bestimmten vorher festgelegten Grenzwert überschreitet, so liegt keine Sättigung vor.

Steigt das D2 stetig mit wachsender Einbettungsdimension unvermindert weiter, ist das ein Hinweis auf einen stochastischen Prozess. Eine unendlich lange Zeitreihe vorausgesetzt, würde ein reiner Zufallsprozess jeweils exakt den D2-Wert ergeben, der als Einbettungsdimension gewählt wird, unabhängig von der Höhe der jeweiligen Einbettungsdimension. Es würde jeweils der gesamte Phasenraum „bis ins letzte Eck“ vom Zufallsrauschen gefüllt werden. Praktisch gesättigt auch ein Zufallsprozess bei sehr hohen Einbettungsdimensionen, da die Länge der Zeitreihen begrenzt sind. Der Phasenraum kann dann nicht mehr vollständig gefüllt werden.

Die Anforderungen an die Länge der Zeitreihe sind sehr hoch

Ein kritischer Aspekt bei der Berechnung des D2 nach dem beschriebenen Verfahren stellt daher die Länge der Zeitreihen dar. Viele, sich häufig widersprechende Faustregeln fordern relativ lange – im Idealfall unendlich lange – Zeitreihen. Das höchste D2, das mit einer gegebenen Zeitreihenlänge n ermittelt werden kann, beläuft sich z.B. nach Jedynek, Bach und Timmer (1993) auf:

$$D2_{\max} \leq 2 \log_{10} n.$$

Kann vermutet werden, dass der untersuchte Attraktor mehr Dimensionen aufweist, so muss eine entsprechend längere Zeitreihe ermittelt werden (Jedynak, Bach & Timmer 1993). Nerenberg und Essex (1990) verweisen auf weit strengere Kriterien. Das Minimum an Messpunkten für eine Genauigkeit des D2 in einem 95%-tigen Konfidenzintervall, geben sie nach folgender Regel an:

$$n_{\min} \approx 10^{2+0,4D_{\text{Einbettung}}}$$

Wird eine maximale Einbettung von sechs Dimensionen gewählt, werden über 25.000 Datenpunkte nötig, während nach der von Jedynak, Bach und Timmer (1993) vorgeschlagenen Faustregel ca. 1.000 Datenpunkte ausreichen würden (Nerenberg & Essex 1990). Allgemein führen zu kurze Zeitreihen zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Dimensionalität, während zu lange zu Überschätzungen führen. Eine andere Faustregel wird von Seitz et al. (1992) genannt. Diese bestimmt eine minimal benötigte Zeitreihenlänge n_{\min} über die Auflösung b der Zeitreihe und der angestrebten Einbettungsdimension m , nach folgender Beziehung:

$$n_{\min} \geq b^m.$$

Für die Hénon-Zeitreihe mit einem bekannten $D2 = 1,25$ kommen sie bei einem $b = 10$ (die Auflösung wird hier verstanden als Anzahl von disjunkten Abschnitten des Wertebereiches, die noch in der Lage sind, die Dynamik abzubilden) und einem $m = 2$ mit nur 100 Datenpunkten aus. Für $b = 6$ konnte von ihnen auch bei 10.000 Datenpunkten für die Hénon-Map kein Skalierungsbereich mehr gefunden werden (Seitz et al. 1992). Vor dem Hintergrund, dass in der Psychologie häufig Ratingskalen mit ähnlich begrenzter Auflösung Verwendung finden, sollten diese Ergebnisse als Aufforderung für höher auflösende Verfahren verstanden werden. Eine typische fünfstufige Likert-Skala ist hier sicherlich zu grob.

Nach einer weiteren Faustregel (Farmer 1982) werden für die Ermittlung der Dimensionalität nach der vorgestellten Methode Einbettungsdimensionen von $2 \cdot (D2) + 1$ benötigt. Allerdings kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der Einbettungsdimensionen, die über dem wahren Wert des D2 hinaus gebraucht werden keine so große Verlängerung der Zeitreihe fordern, wie es für die Anzahl der tatsächlichen Dimensionen der Fall ist.

Unter anderem kommt es darauf an, die „richtige“ Zeitreihe zu untersuchen

Insgesamt muss leider festgestellt werden, dass die angegebenen Faustregeln nicht nur jeweils sehr unterschiedliche Anforderungen an die Länge der zu untersuchenden Zeitreihen stellen. Zudem können die mit Hilfe von Modellzeitreihen erprobten Forderungen immer nur für diese Modelldaten Gültigkeit beanspruchen. In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie Rauschanteil, Komplexität der Dynamik, Range und Auflösung der Daten, ergibt sich dann erst im Einzelfall, wie lang die Zeitreihen tatsächlich sein müssen damit ein zufriedenstellendes Ergebnis ermittelt werden kann. Lorenz (1991) gelang es 17 Dimensionen mit nur 4.000 Messpunkten relativ reliabel zu bestimmen, wobei er zeigen konnte, dass nicht alle Variablen des von ihm untersuchten Modell-Systems so genaue Berechnungen zuließen. Im Einklang mit der oben bereits angeführten Argumentation (siehe S. 353) kann angenommen werden, dass bestimmte, stark mit den anderen Variablen gekoppelte Größen wegen ihrer starken Involviertheit ins System weit genauere Ergebnisse liefern als andere, eher am Rande des Systems stehende Variablen (vgl. Tsonis 1992, S. 170; Lorenz 1991).

**Messfehlerrauschen
führt zu Problemen
bei der Berechnung
des D2**

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Verlässlichkeit der Dimensionalitätsschätzungen ergibt sich, auch bei genügend langen Zeitreihen, aus Messfehlern. Messfehlerrauschen kann dazu führen, dass sich entweder keine Skalierungsregion finden lässt und/oder keine Sättigung der Dimensionalität bei steigenden Einbettungsdimensionen festgestellt werden kann. Viele Testreihen mit bekannten Dynamiken konnten diese Probleme zum Teil schon für geringe Rauschanteile nachweisen (z.B. Seitz et al. 1992). Dies ist der Grund warum sich in der Literatur eine große Anzahl mehr oder minder erfolgreicher Methoden finden lässt, die dazu dienen soll die vorgestellten Algorithmen gegenüber Rauschen robust zu halten (vgl. z.B. Kantz & Schürmann 1996, Nolte, Ziehe & Müller 2001). Im Allgemeinen kann Messfehlerrauschen entweder dazu führen, dass das D2 nicht mehr bestimmt werden kann oder Kennwerte ermittelt werden, die signifikant über dem Wert liegen, der sich für die entsprechende rauschfreie Zeitreihe ergeben würde (Argyris & Andreadis 1998a, 1998b).

Tsonis (1992) kritisiert an der gängigen Auswertungspraxis, dass Rauschfilterungsverfahren noch zu wenig benutzt würden. Er führt daher mehrere Möglichkeiten von Rauschfilterungen an, die angeblich zu keiner Manipulation des mit dem Rauschen überlagerten Signals führen. Dazu gehören vor allem Verfahren des so genannten *Shadowing*, mit denen versucht wird, aus verrauschten bzw. zu kurzen Zeitreihen genügend Informationen zu gewinnen, um daraus eine künstliche Zeitreihe zu rekonstruieren, die wie ein Schatten den gegebenen Werten möglichst genau folgt. Dimensionalität und andere chaosrelevante Kennwerte könnten dann für das *Shadow* berechnet werden (siehe dazu ausführlicher S. 335f.). Insgesamt empfiehlt es sich so weit wie möglich sowohl auf Methoden zur Rauschfilterung, als auch auf Methoden des *Shadowing* zu verzichten. Insbesondere von gezielt auf bestimmte Frequenzbereiche ausgelegten Rauschfiltern, wie sie in der Signalverarbeitung gerne eingesetzt werden, ist bei chaotischen Zeitsignalen abzuraten. Bei hoch komplexen chaotischen Strukturen kann eine Trennung zwischen Signal und Rauschen eben kaum mehr über einfache Methoden erreicht werden. Dort wo dennoch nicht auf eine Rauschfilterung verzichtet werden kann, empfiehlt es sich mit Breitbandfiltern, wie z.B. dem gleitenden arithmetischen Mittel (vgl. S. 333f.) zu arbeiten oder gezielt die nichtlinearen Methoden des *Shadowing* anzuwenden.

**Nichtstationäre Zeit-
reihen**

Eine besondere Herausforderung für eine verlässliche Dimensionalitätsschätzung ergibt sich durch nichtstationäre Zeitreihen. Während lineare Trends in der Regel keine Rolle spielen, können schon leichte im Laufe der Zeit eintretende Veränderungen im Frequenzspektrum der Zeitreihe zu Berechnungsfehlern führen. Noch weit größere Probleme bereiten Zeitreihen, die als nicht stationär in Bezug auf ihre Attraktoreigenschaften angesehen werden müssen. Wechselt ein System während seiner Beobachtung sein Verhalten (Phasenübergang), so bildet die Phasenraumeinbettung mehrere ineinander verschlungene Attraktoren des Systems ab (eine Darstellung von Methoden zur Identifikation von Nichtstationarität findet sich bei Gao 2001). Wenn dann überhaupt ein D2 bestimmbar ist, so muss es sich dabei um eine Art Mittelwert über die verschiedenen Attraktoren handeln. Lange Beobachtungszeiten und Beobachtungen von Prozessen, für die a priori Veränderungen erwartet werden können (wie z.B. für psychotherapeutische Prozesse) eignen sich im allgemeinen nicht für eine Dimensionalitätsanalyse, wie sie hier beschrieben wurde.

Das Konzept der Pointwise Dimensionalität (PD2) erlaubt es nichtstationäre Prozesse zu analysieren

Es sind aber Methoden vorgeschlagen worden, die den ursprünglichen Grundgedanken von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b) beibehaltend, leichte Veränderungen im Ablauf der Auswertung vornehmen. So wird häufig nicht erst nach Ermittlung aller Distanzen zwischen allen Punkten des Attraktors der Skalierungsbereich und damit das D2 bestimmt, vielmehr ergibt sich das D2 erst als Mittelwert aus mehreren Einzelberechnungen (sog. Pointwise Dimensionalität, oder PD2). Ausgehend von einzelnen Referenzpunkten werden dabei zunächst die Distanzen zu allen anderen Punkten ermittelt und daraus, einzeln für jeden der Referenzpunkte nach der bekannten Methode ein D2 bestimmt, welches jedoch nur für diesen Referenzpunkt gilt. Ein Mittelwert über viele Referenzpunkte nähert sich stark dem D2 an und kann schon für wenige Datenpunkte (die Anforderungen sind weitaus geringer als beim D2 aber auch hier sind mehrere Hundert bis Tausend Datenpunkte nötig um für niedrigdimensionale Systeme sinnvolle Berechnungsergebnisse zu erhalten) relativ gut bestimmt werden. In der Regel zeigt der Median der Pointwise Dimensionalität (PD2) eine noch einmal bessere Schätzung für die Dimensionalität der gesamten Zeitreihe. Zudem lässt sich zeigen, dass die Methode nicht so empfindlich gegenüber Rauschen und Nichtstationarität ist (vgl. z.B. Babloyantz & Destexhe 1987). Skinner (1992) schlägt vor, Referenzpunkte für die kein Skalierungsbereich ermittelt werden kann oder für die es keinen Sättigungsbereich gibt, aus der Berechnung auszuschließen (vgl. hierzu auch Kantz & Schürmann 1996). Dazu wählt er zunächst jeden Punkt nacheinander zum Referenzpunkt und eliminiert die, die unzureichende Ergebnisse liefern.

Die Dimensionsschätzungen einzelner Referenzpunkte lassen sich bei diesem Verfahren als lokale Dimensionalität interpretieren. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, Veränderungen in der Dimensionalität eines Attraktors im zeitlichen Verlauf zu ermitteln. Dies konnte Skinner realisieren, indem er durch Aneinanderreihung mehrerer bekannter Dynamiken (Sinusschwingungen verschiedener Frequenzen und Amplituden, Lorenz-Dynamik, Hénon-Dynamik) eine künstliche Zeitreihe bildete und diese mit seiner PD2-Methode untersuchte (Kowalik & Elbert 1994, Skinner, Molnar & Tomberg 1994). Das PD2 war in der Lage, die korrekten Dimensionalitätswerte für die verschiedenen Abschnitte zu ermitteln (Skinner 1992). Einschränkend muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass um eine für alle Zeitreihenabschnitte passende Phasenraumeinbettung zu erhalten, die Samplingfrequenz der einzelnen Dynamiken so gewählt wurde, dass für alle das gleiche Time-Lag τ zur Bestimmung der Zeitverzögerungskordinaten resultierte. Dies ist bei empirischen Daten nicht immer möglich. Als Voraussetzung für die Interpretierbarkeit eines PD2 nennt Skinner außerdem den Grenzwert von mindestens 75% an Referenzpunkten, die nicht aus der Berechnung ausgeschlossen werden. Die folgende Abbildung 105 zeigt das PD2 für eine synthetisierte Zeitreihe, die auf der Grundlage der Verhulst-Gleichung mit unterschiedlichen Parameterwerten generiert wurde.

Da für die meisten psychologischen Prozesse mit Lerneffekten oder ähnlichen Veränderungen in der Dynamik gerechnet werden kann, eine Veränderung der Systemdynamik in vielen Fällen sogar angestrebt wird, erscheint die Berechnung eines PD2 weit sinnvoller als die globale Bestimmung einer Dimensionalität mittels des D2-Algorithmus (vgl. zur Interpretation von Dimensionalitätsmaßen auch den empirischen Teil dieser Arbeit, S. 563ff.). Zwingend erforderlich ist bei der Berechnung des PD2 jedoch ein Verfahren zur automatischen Bestimmung des Skalierungsbereiches (vgl. S. 369).

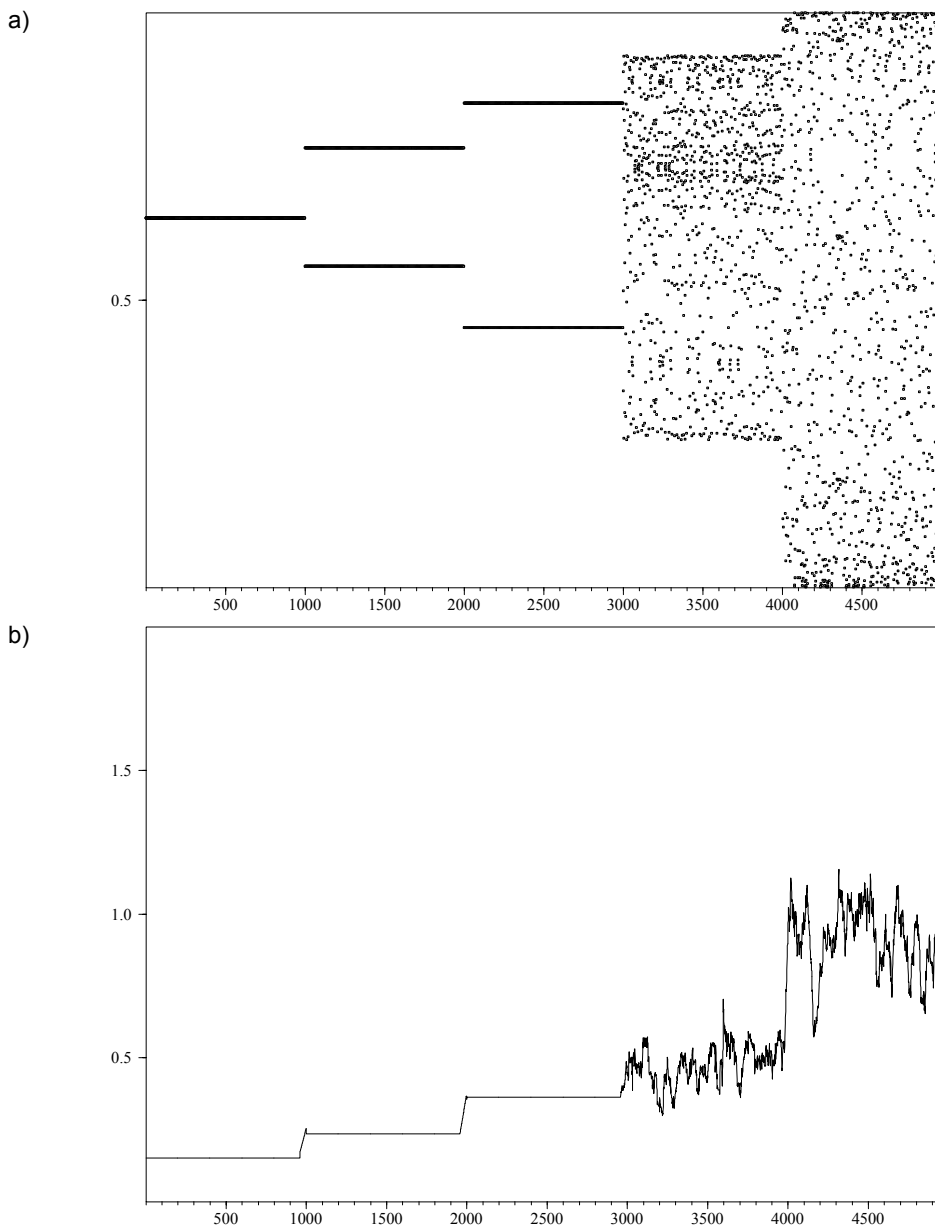


Abbildung 105: Pointwise Dimension für eine Beispielzeitreihe

Die in a) dargestellte Zeitreihe bildet sich aus jeweils 1.000 Messzeitpunkten der Verhulst-Dynamik für fünf verschiedene Parameterwerte, nämlich 2,8; 3,1; 3,4; 3,7; und 4,0. Für die letzten beiden Parameterwerte zeigt die Verhulst-Dynamik chaotisches Verhalten (zur Verhulst-Dynamik siehe S. 107ff.). In b) finden sich die Ergebnisse der Pointwise Dimensionalität der Zeitreihe. Wie sich zeigt, reagiert das Maß relativ sensibel auf die Veränderungen in der Dynamik der Zeitreihe.

Das Korrelationsintegral kann sinnvoller Weise auch für ein Zeitfenster bestimmt werden

Falls sich bei der Berechnung des PD2 herausstellen sollte, dass für viele Zeitpunkte kein Skalierungsbereich identifiziert werden kann, kann das daran liegen, dass für das Korrelationsintegral ja jeweils nur die Abstände zwischen den Referenzpunkt und allen anderen Punkten genutzt werden. Während in das Korrelationsintegral nach Grassberger und Procaccia (1983a, b) insgesamt die Anzahl von n^2 Abständen einfließen, sind es beim PD2 nur n Abstände, für die es einen Skalierungsbereich zu finden gilt. Falls also die Zahl der im PD2 berechneten Distanzen zu gering wird, um die Steigung einer Geraden im Plot von $\log(C(l))$ vs. $\log(l)$ bestimmen zu können, kann das PD2 auch erweitert werden, indem zur Berech-

nung nicht mehr nur ein Messzeitpunkt sondern ein Fenster genutzt wird. Ein solches Verfahren, wie es im Prinzip schon für den gleitenden arithmetischen Mittelwert (vgl. S. 333) und die abschnittsweise Korrelation (vgl. S. 346) beschrieben wurde kann zudem dazu beitragen, die Fehlervarianz der PD2 Berechnungen zu verringern. Ein wichtiger Unterschied im Vergleich zu den anderen Verfahren, die ein Gleitfenster nutzen liegt jedoch darin, dass sich das Fenster hier nur auf eine Begrenzung der Referenzpunkte bezieht. Diese werden jedoch mit allen zu Verfügung stehenden, also auch außerhalb des Fensters liegenden, Datenpunkten in Beziehung gesetzt.

Nicht immer ist das D2/PD2 in der Lage Zufallsprozesse von geordneter Komplexität zu unterscheiden

Eine Stärke des D2 und des PD2-Verfahrens besteht in der Möglichkeit bei fehlender Sättigung der Dimensionalitätskennwerte für wachsende Einbettungsdimensionen davon ausgehen zu können, dass keine nachweisbare dynamische Struktur in den Daten vorliegt. Sollte in einem solchen Fall dennoch eine komplexe Ordnung in den Daten verborgen sein, so übersteigt die Komplexität die Differenzierungsleistung des Verfahrens und ist damit ähnlich komplex wie wahllose Zufallsabfolgen. In diesem Sinne vermag das Verfahren Zufall von Ordnung zu unterscheiden. Umgekehrt kann jedoch durch das Vorliegen einer Sättigung nicht auch automatisch die Nullhypothese einer fehlenden dynamischen Struktur verworfen werden. So ist eine zufällige Werteabfolge nur dann in der Lage den gesamten Phasenraum auszufüllen und bei wachsender Einbettungsdimension das Fehlen einer Sättigung zu bewirken, wenn die Zeitreihe eine genügende Länge aufweist. Bereits für ein 10-stufig gemessenes Merkmal ergeben sich im 10-dimensionalen Einbettungsraum 10.000.000.000 mögliche Koordinaten. Soll eine Zufallszeitreihe hier den gesamten Phasenraum ausfüllen, müsste sie mindestens eben so viele Messwerte aufweisen. Dieses Beispiel mag verdeutlichen, dass mitunter auch für zufällige Datenreihen finite Korrelationsdimensionen ermittelt werden, da die Zeitreihenlänge nicht ausreicht, den Phasenraum so zu füllen, wie es für zufällige Werteabfolgen zu erwarten wäre.

Surrogatdatenverfahren dienen der Absicherung der Ergebnisse einer D2/PD2-Analyse und sollten immer angewendet werden

In jedem Fall ist daher eine Surrogatdatentestung durchzuführen, um die Ergebnisse einer D2/PD2-Analyse abzusichern. Dreh- und Angelpunkt der Surrogatdatentestung ist dabei der Algorithmus für die Erzeugung der Surrogatdaten. Eine Holzhammermethode ist z.B. durch das zufälliges Mischen der empirischen Datenreihe gegeben. Die Abfolge der Messpunkte wird damit völlig unzusammenhängend „durcheinandergeschaufelt“. So ergibt sich eine Zufallszeitreihe mit gleichen statistischen Kennwerten wie z.B. Werteverteilungen, Mittel-, Modal-, Quartilwerten und Streuung. Allein die dynamischen Informationen gehen vollständig verloren. Kann hier im Gegensatz zur Ausgangszeitreihe kein finites D2 ermittelt werden, so gilt dies als ein Hinweis darauf, dass die Ausgangszeitreihe eine geordnete dynamische Struktur aufweist. Gezielter ist im Vergleich zu diesem Vorgehen das Verfahren der FFT-Surrogate. Hier werden gezielt durch Anwendung einer Fourier-Transformation und Rücktransformation nur lineare Korrelationen in den Daten erhalten, nichtlineare jedoch zerstört. Solche FFT-Surrogate testen damit auf Nichtlinearität, die eine Voraussetzung für Chaos darstellt. Ausführlicher wurde ein solches Vorgehen bereits oben beschrieben (vgl. Abbildung 99, S. 352 und die dort gegebenen Erläuterungen).

8.2.5 Chaotizität

Es waren die Arbeiten von Ruelle und Takens (1971), die die Hoffnung nährten Chaos über die Identifikation fraktaler Strukturen im Phasenraum nachweisen zu können. Die von ihnen als seltsame Attraktoren bezeichneten Phasenraumportraits chaotischer Prozesse sind in der Regel tatsächlich von fraktaler Struktur (auf Einschränkungen und Ausnahmen von der Regel wurde oben bereits hingewiesen; vgl. Abbildung 53, S. 158). Methodisch folgte auf eine, mit der Einführung der Korrelationsdimension (Grassberger & Procaccia 1983a, 1983b) einsetzende Euphorie bald schon die Ernüchterung. Nur selten kann allein über ein Korrelationsintegral die fraktale Struktur eines Attraktors zweifelsfrei belegt werden. Selbst der bekanntermaßen chaotische Attraktor des Lorenzsystems liegt mit einer Dimensionalität von 2,06 (z.B. Argyris & Andreadis 1998b) verdächtig nahe an einer nicht fraktalen Dimensionalität von 2,0. Das einseitige Hoffen auf die Ermittlung nicht ganzzahliger Dimensionalitätswerte um damit den Beleg für Chaos zu erbringen, wird durch die Ungenauigkeit des Berechnungsverfahrens unterstützt. Hier können kleine Verschiebungen im Skalierungsbereich bereits genügen, um geringfügig andere Ergebnisse zu erhalten, so dass sich selbst bei eindeutig nicht-chaotischen Datensätzen mitunter keine ganzen Zahlen ergeben. Obwohl das Korrelationsintegral eine unbestritten gute Möglichkeit dafür darstellt die Komplexität einer Dynamik zu quantifizieren, ist es genau genommen nicht in der Lage chaotische von nicht chaotischen Prozessen zu unterscheiden. Dies liegt unter anderem auch darin begründet, dass Chaos eben nicht eindeutig an die Komplexität (so wie sie über ein D_2 definiert ist) gekoppelt ist. So kann ein System aus mehreren gekoppelten Oszillatoren ein hoch komplexes, hoch dimensionales torisches Verhalten zeigen, ohne chaotisch zu sein, wohingegen der viel weniger komplexes Verhalten generierende Lorenz-Attraktor irreguläre chaotische Strukturen hervorbringt. Der zwingende Nachweis von Chaos kann von Methoden zur Dimensionalitätsanalyse nicht erbracht werden. Er ist vielmehr daran gebunden den Schmetterlingseffekt, d.h. die exponentielle Divergenz nahe benachbarter Trajektorien in einem System sichtbar zu machen. Dies leisten bestimmte Analysemethoden, die im Folgenden näher beschrieben werden sollen.

Die Kolmogorov-Sinai-Entropie liefert erste Hinweise auf Chaos

Als eine Möglichkeit zur Quantifizierung des Schmetterlingseffektes soll hier zunächst die *Kolmogorov-Sinai-Entropie* vorgestellt werden, deren Grundannahmen oben schon in anderem Zusammenhang beschrieben wurden (vgl. auch S. 359).

Zur Bestimmung der Kolmogorov-Sinai-Entropie wird der Wertebereich einer Dynamik in diskrete, disjunkte Abschnitte eingeteilt. Jeder dieser Abschnitte der Breite ε , repräsentiert also einen Teil des Wertebereiches und wird mit s_i bezeichnet. Nun lassen sich Wahrscheinlichkeiten dafür bestimmen, welche s_i eine Trajektorie einnimmt, nachdem sie sich vorher in einem als Referenzabschnitt gewählten s_0 befand und welchen Ort sie danach wohl einnehmen wird. Bei nicht chaotischen Systemen, wird die Systemdynamik bei ähnlichen Ausgangsbedingungen immer wieder das gleiche Verhaltensmuster zeigen. D.h., dass auf jedes s_0 immer ein bestimmtes s_i und darauf ein bestimmtes s_{i+1} folgt, sodass die Wahrscheinlichkeit, dieses Verhalten bei gegebenem s_0 beobachten zu können, nahezu Eins ist.

Die Entropie einer solchen Abfolge von Wertebereichen ist nach der Shannon-schen Informationsdefinition (vgl. auch Gleichung 48, S. 359) gegeben durch:

Gleichung 60:
Entropie einer Ab-
folge von Werten

$$I_{s_0} = - \sum_{j=1}^J P_j(s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots) \log P_j(s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots).$$

Nun hängen die Ergebnisse aus der genannten Gleichung von verschiedenen Faktoren ab, nämlich von der Länge der Kette ($s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots$), die wiederum vom gewählten Zeitintervall Δt bestimmt wird. Die Wahrscheinlichkeiten P_j , werden unter anderem auch von der mit ε gegebenen Breite der s_i beeinflusst. Zudem soll das angestrebte Entropiemaß nicht nur für ein s_0 sondern für alle möglichen Referenzpunkte Gültigkeit besitzen. Ein Maß, das diese Bedingungen berücksichtigt, ist die Kolmogorov-Sinai-Entropie, für welche die folgende Gleichung angegeben werden kann:

Gleichung 61:
Kolmogorov-Sinai-
Entropie

$$K = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N \Delta t} \sum_{s_0=1}^N \sum_{j=1}^{J_{s_0}} P_j(s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots) \log P_j(s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots).$$

Wie aus der Gleichung ersichtlich ergibt sich die Kolmogorov-Sinai-Entropie als Grenzwert von insgesamt drei Bedingungen: Zum einen soll der beobachtete Zeitraum klein werden, zum anderen soll die Größe der Abschnitte klein sowie die Länge der Zeitreihe möglichst groß werden. Ausgehend von jedem s_0 kann es verschiedene „Wege durch den Phasenraum“ geben, die sich als unterschiedliche Abfolgen ($s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots$) beschreiben lassen. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten für alle auf ein gegebenes s_0 folgenden Wege muss sich dabei zu Eins addieren lassen.

Ist ein Prozess nun vollständig determiniert, so gibt es von jedem s_0 ausgehend immer nur eine ganz bestimmte Möglichkeit der weiteren Abfolge. Die Wahrscheinlichkeit dieser einen Abfolge ist damit für alle s_0 jeweils:

$$P_{s_0}(s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots) = 1.$$

Da der Logarithmus aus Eins Null ist, folgt aus Gleichung 61 sofort eine Entropie von Null für eine solcherart reguläre und vorhersehbare Dynamik. Für chaotische Prozesse sind hingegen ausgehend von s_0 mehrere ($s_0 \rightarrow s_i \rightarrow s_{i+1} \rightarrow \dots$) wahrscheinlich. Je nach Stärke des Schmetterlingseffektes machen auch kleinste durch ε tolerierte Unterschiede innerhalb der Grenzen von s_0 mehrere Wege durch den Attraktor möglich. Allerdings bleiben die Möglichkeiten begrenzt, da auch chaotische Prozesse deterministischen Gesetzen folgen und daher eine Ordnung in den Attraktorstrukturen vorhanden ist. Geht die Entropie nach der beschriebenen Gleichung bei kleiner werdendem ε nicht gegen unendlich sondern gegen eine endliche Zahl größer Null, so handelt es sich um eine chaotische Dynamik. Wächst sie hingegen bei Verkleinerung von ε immer weiter an, so handelt es sich um einen Zufallsprozess (maximale Entropie). Die folgende Abbildung 106 verdeutlicht die drei Fälle (Regularität, Chaos, Zufall) im Rahmen einer schematischen Darstellung.

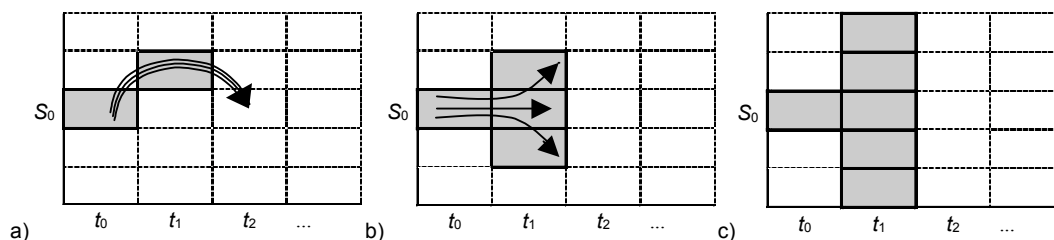


Abbildung 106: Schematische Darstellung der Bedeutung der K-Entropie

Die Abbildung zeigt in a) eine reguläre Dynamik mit vollständiger Vorhersehbarkeit. Der Abstand der Trajektorien zueinander verändert sich nicht. Die am Ausgangspunkt (Zelle S_0) beieinander liegenden Trajektorien bleiben auch im Laufe der weiteren Entwicklung zusammen ($K = 0$). Pro Zeiteinheit kommt immer nur eine Zelle als Aufenthaltsort einer Trajektorie in Frage. (b) Chaotische Dynamik: Die in der Ausgangszelle S_0 beieinander liegenden Trajektorien laufen exponentiell auseinander ($K > 0$). Die Wahrscheinlichkeit des Aufenthalts in den verfügbaren Zellen hängt von K ab. (c) Zufallsprozess: Ausgehend von Zelle S_0 können sich die Trajektorien bereits zum nächsten Zeitabschnitt in allen verfügbaren Zellen des Wertebereiches befinden. Der Aufenthaltsort der Trajektorien ist für alle Zellen gleichwahrscheinlich (Abbildung nach Schuster 1989a, S. 112; vgl. Schiepek & Strunk 1994).

Die Größe von K kann als Maß für die Stärke der Chaotizität interpretiert werden, wobei gilt:

- Geordnetes, reguläres Systemverhalten: $K = 0$.
- Deterministisch chaotisches Systemverhalten: $0 < K < \infty$.
- Stochastisches Systemverhalten: $K \rightarrow \infty$.

Anschaulicher, als der Wert von K ist die so genannte Fehler-Verdoppelungs-Zeit T_2 , die angibt, wie lange es dauert, bis ein beliebiger Messfehler sich durch den „Schmetterlingseffekt“ verdoppelt. Die Fehler-Verdoppelungs-Zeit lässt sich aus K bestimmen durch (vgl. Raidl 1998, S. 47):

Gleichung 62:
Fehler-Verdoppelungs-Zeit

$$T_2 = \frac{\ln 2}{K 2}$$

Nun ist die Bestimmung von K in der oben beschriebenen Weise für hohe Einbettungsdimensionen kaum noch möglich. Wird der Wertebereich einer Dynamik z.B. nur in 15 Abschnitte eingeteilt, so kann ausgehend von einem s_0 in einem zweidimensionalen Fall als nächster Abschnitt einer von 15 mal 15 Möglichkeiten gewählt werden. Wird noch ein weiteres s_i betrachtet, so ergeben sich gar

$$\left((15)^2 \right)^2 = 50.625 \text{ mögliche Abfolgen.}$$

Im dreidimensionalen Fall, bei nur 2 Folgepunkten auf s_0 sind es dann schon

$$\left((15)^3 \right)^2 = 11.390.625 \text{ mögliche Verläufe.}$$

Allgemein ergeben sich für 15 Abschnitte:

$$\left((15)^m \right)^2 = 15^{2m} \text{ mögliche Verläufe bei nur zwei Folgepunkten.}$$

Dies macht bei einer regulären Dynamik kein Problem, da nur jeweils eine mögliche Abfolge auftreten wird. Im Falle eines chaotischen Prozesses wächst die Anzahl der tatsächlich realisierten Abfolgen jedoch schnell an, was zu gigantischen Rechenzeiten auch an schnellen Computern führt, sobald mehr als $m = 4$ Dimensionen beachtet werden müssen. Zufällige Dynamiken realisieren sogar alle möglichen Abfolgen für jede gewählte Einbettungsdimension, während für chaotische Attraktoren ab einer optimalen Einbettungsdimension zumindest eine Sättigung beobachtbar sein sollten.

Die K2-Entropie kann über das Korrelationsintegral bestimmt werden

Eine praktikablere Methode zur Bestimmung der Entropie eines Prozesses bietet daher die Möglichkeit die K-Entropie aus dem Korrelationsintegral nach Grassberger und Procaccia (Grassberger & Procaccia 1983a, 1983b) zu schätzen (vgl. Gleichung 57, S. 366). Diese so genannte K2-Entropie ergibt sich aus der Veränderung des Korrelationsintegrals für aufeinanderfolgende Einbettungsdimensionen. Allerdings muss dieser Wert auf die Größe der Samplingzeit bezogen werden, da diese anschaulich dem ε in diesem empirisch begründeten Vorgehen entspricht:

Gleichung 63:
K2-Entropie

$$K2(l, m) = \frac{1}{T_{sample}} \ln \left(\frac{C_m(l)}{C_{m+1}(l)} \right).$$

Für wachsende Einbettungen und kleiner werdende l nähert sich der $K2(l, m)$ -Wert an ein konstantes K2 an:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \lim_{l \rightarrow 0} K2(l, m) \approx K2.$$

Um $K2(l, m)$ in Abhängigkeit von m zu bestimmen, muss zunächst

$$K2(m) = \lim_{l \rightarrow 0} \ln \left(\frac{C_m(l)}{C_{m+1}(l)} \right),$$

für jedes m ermittelt werden, wobei hier vereinfachend die Samplingzeit auf Eins gesetzt wurde. Da nach Logarithmenregeln gilt:

$$\ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b,$$

kann für die Gleichung auch geschrieben werden:

Gleichung 64:
K2-Entropie

$$K2(m) = \lim_{l \rightarrow 0} \ln C_m(l) - \ln C_{m+1}(l).$$

Wird durch die doppelt logarithmische Darstellung von $C(l)$ vs. l eine Ausgleichsgerade gelegt, so findet sich für den Schnittpunkt dieser Gerade mit der Ordinate:

$$\lim_{l \rightarrow 0} \ln C_m(l).$$

Die Differenz der Ordinatenabschnitte bei m und $m+1$ bildet eine Schätzung für $K_2(m)$ für jedes m . Bei steigendem m verringert sich ab $m = D_2$ der Unterschied zwischen den beiden Ordinatenabschnitten nicht mehr. Dieser Sättigungswert kann als Schätzung für K_2 gelten.

Frank et al. (1993) zeigen aber nun, dass auch bei Einbettungsdimensionen in der Größenordnung von 10 häufig keine Sättigung des K_2 auf einen Wert festgestellt werden kann. Dies folgt sofort daraus, dass die mittlere euklidische Distanz zwischen Punkten im Phasenraum, wie sie im Korrelationsintegral ermittelt wird mit der Quadratwurzel von m wächst. Je höher die Einbettungsdimension, desto höher sind die Distanzen zwischen den Punkten auf dem Attraktor. Frank et al. (1993) führen aus, dass eine Reskalierung aller benutzten l mit

$$\frac{1}{\sqrt{m}}$$

äquivalent ist zu einer Verschiebung der doppelt logarithmischen Darstellung von

$$C(l) \text{ vs. } l \text{ um } \frac{1}{2} \log m \text{ nach links.}$$

An Stelle von $\log l$, wird dann

Gleichung 65:
Reskalierung

$$\log l - \frac{1}{2} \log m$$

zur Berechnung herangezogen. Diese Reskalierung lässt sich also auch dann noch durchführen, wenn die Berechnungen der Korrelationsintegrale bereits abgeschlossen sind. Dies folgt leicht aus folgenden Zusammenhängen:

Erwünscht ist eine Reskalierung der l um

$$\frac{1}{\sqrt{m}},$$

woraus in der logarithmischen Darstellung noch der Logarithmus ermittelt werden muss. Nun ist aber

$$\log\left(\frac{l}{\sqrt{m}}\right) = \log l - \frac{1}{2} \log m,$$

woraus sich die angegebene Verschiebung erklärt (Frank et al. 1993). Vor dem Minuszeichen steht zunächst die normalerweise gewählte Achsenskalierung, nämlich $\log l$, die um

$$\frac{1}{2} \log m$$

nach links (Minuszeichen) verschoben wird. Auch die K_2 -Entropie kann wie das PD_2 für einzelne Referenzpunkte ermittelt werden und stellt so ein lokales Entropie-Maß dar.

Der Lyapunov-Exponent erfasst direkt den Schmetterlingseffekt

Mit der K2-Entropie verwandt sind die so genannten *Lyapunov-Exponenten*. Obwohl benachbarte Trajektorien in chaotischen Attraktoren auf Grund des Schmetterlingseffektes immer auseinanderlaufen, weitet sich der Attraktor nicht unendlich im Phasenraum aus. Vielmehr sind chaotische Attraktoren gekennzeichnet durch relativ klare und räumlich begrenzte Form. Sie sind weit davon entfernt, nach und nach den ganzen Phasenraum auszufüllen, wie es im Gegensatz dazu für Zufallsrauschen der Fall ist. Dieses widersprüchliche Verhalten einer beständigen Divergenz bei fehlender räumlicher Ausweitung kann verstanden werden, wenn der Verlauf von Trajektorien in einem chaotischen Attraktor genauer betrachtet wird: Zunächst entfernen sich ursprünglich nahe beieinander liegende Trajektorien zunehmend voneinander, nach einer Zeit kommt es dann zu einer Faltung des so verbreiterten Trajektorienstromes, sodass weit entfernte Trajektorien zusammengelegt werden (siehe Abbildung 107). Durch die Faltung wird der Trajektorienstrom in seiner Breite beschränkt. Nach der Faltung läuft der Attraktor in sich selbst zurück. In chaotischen Attraktoren findet also eine beständige Ausweitung, eine Faltung und eine darauf wieder folgende Ausweitung statt. Dies Verhalten wird wegen der Ähnlichkeit zu den Knetvorgängen beim Teigkneten *Bäckertransformation* genannt.

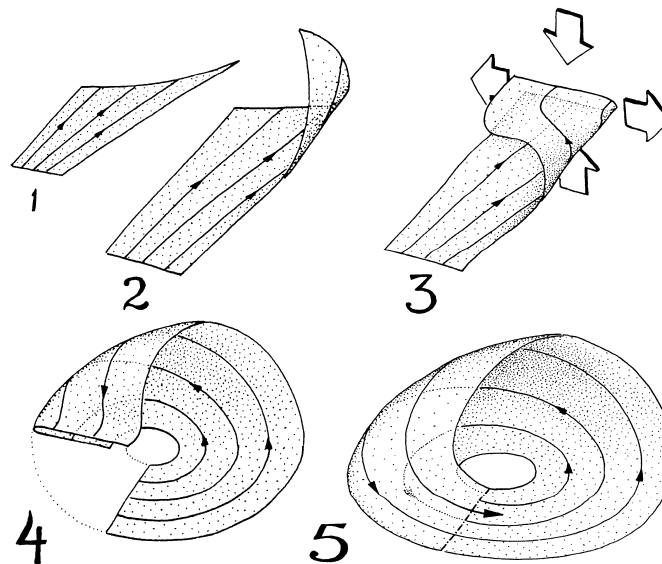


Abbildung 107: Bäckertransformation

Darstellung der so genannten Bäckertransformation, die in einem Knetvorgang divergierende Trajektorien zurückfaltet. (vgl. Schiepek und Strunk, 1994; zum Formalismus der Bäckertransformation vgl. Nicolis & Prigogine 1987, S. 271ff.; Schuster 1989a, S. 107f. vgl. auch S. 152ff.).

Das Spektrum der Lyapunov-Exponenten weist jeder Raumdimension einen eigenen Lyapunov-Exponenten zu

Damit lassen sich in chaotischen Prozessen divergente Trajektorienströme, die nah benachbarte Trajektorien auseinanderreißen und konvergierende Ströme, die weit entfernte Trajektorien zueinander falten identifizieren. Während die K-Entropie ein globales Maß für die Divergenz eines Attraktors angibt, differenzieren Lyapunov-Exponenten zwischen Divergenz und Konvergenz, indem sie das Verhalten von Trajektorien in jeder Phasenraumdimensionsrichtung einzeln quantifizieren. Aus diesem so genannte *Spektrum der Lyapunov-Exponenten* ergibt sich die bekannte Klassifikation von Attraktoren. Ein Fixpunkt-Attraktor beispielsweise setzt eine ausschließlich konvergente Trajektorienentwicklung voraus, da auf ihn alle Trajektorien, von beliebigen Ausgangspunkten im Attraktorbasin kommend,

zulaufen. Alle Lyapunov-Exponenten sind hier negativ. Im dreidimensionalen Phasenraum sind chaotische Attraktoren durch eine Kombination aus einem positiven und einem negativen Lyapunov-Exponenten sowie einem Exponenten gleich Null charakterisiert. In Phasenräumen mit vier und mehr Dimensionen können auch mehrere positive Lyapunov-Exponenten vorkommen.

Die Summe der Lyapunov-Exponenten ist in dissipativen Systemen kleiner Null

Für die Dynamik dissipativer Systeme, wie es lebende, selbstorganisierende Systeme sind, ist die Summe der Lyapunov-Exponenten kleiner Null, d.h. die Kontraktionseigenschaften überwiegen (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 78f.), bis das System allmählich auf einen Fixpunkt zuläuft und damit stirbt. Dieser Vorgang kann jedoch relativ lange durch geeignete Energiezufuhr aufgehalten werden, so dass das System unter Umständen lange Zeit (so lange, wie es mit Energie versorgt wird und seine Systemstruktur nicht zerfällt) weit entfernt vom thermodynamischen Gleichgewicht „überleben“ kann (vgl. hierzu auch S. 86f. und die Ausführungen zur Theorie Dissipativer Systeme auf S. 125ff.).

Eine Möglichkeit das bei positiven Lyapunov-Exponenten zu beobachtende Auseinanderdriften von Trajektorien zu betrachten, bilden die schon von Henri Poincaré vorgeschlagenen und nach ihm benannten *Poincaré-Schnitte* (vgl. auch S. 89ff.).

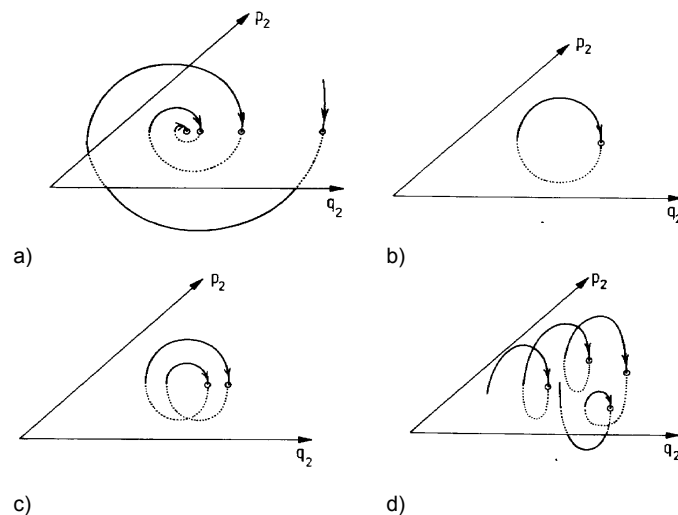


Abbildung 108: Poincaré-Schnitte für qualitativ unterschiedliche Trajektorienverläufe

Qualitativ unterschiedliche Trajektorienverläufe können über ihren Poincaré-Schnitt („return map“) identifiziert werden: a) zyklische Annäherung an einen Fixpunkt, b) Grenzzyklus, c) doppelperiodischer Zyklus, d) chaotische Bewegung (aus: Schuster 1989a, S. 14).

Wird durch einen Attraktor eine parallele Ebene gelegt, so wird diese von den Trajektorien durchstoßen. Werden nun diese Punkte auf der Ebene markiert (wobei nur ein Durchstoßen in einer Richtung beachtet wird), so zeigt sich, dass nah beieinander liegende Trajektorien in chaotischen Systemen nach jedem Umlauf um den Attraktor weiter voneinander entfernt auf die Ebene treffen. Der Abstand der Punkte wächst dabei exponentiell. Die Divergenz dicht beieinander liegender Trajektorienpunkte lässt sich danach durch folgende Exponentialgleichung beschreiben:

$$\varepsilon(t) = e^{\lambda t} \varepsilon(t_0),$$

wobei $\varepsilon(t_0)$ die Differenz der Startpunkte und $\varepsilon(t)$ den Abstand der Punkte zu einem späteren Zeitpunkt t bezeichnet. Der chaotische Fall ist durch ein positives λ gegeben. Es folgt durch einfaches Umformen:

$$\lambda = \frac{1}{t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)}.$$

Aus der Kenntnis der Punktabstände kann λ berechnet werden. Allerdings gilt ja, dass nur nahe beieinander liegende Trajektorien auseinander driften, während weit entfernte zusammenlaufen. Es ist also ein Kontinuum zu vermuten, von sehr nahen Trajektorien, die divergieren, zu sehr weit entfernten Trajektorien, die konvergieren. Um eine genaue Bestimmung eines Auseinanderlaufens vornehmen zu können, muss eine Grenzwertbetrachtung vorgenommen werden mit $t \rightarrow \infty$ und $\varepsilon \rightarrow 0$:

Gleichung 66:
Lyapunov-Exponent

$$\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)}.$$

Zu beachten gilt dabei jedoch, dass im Falle eines positiven Lyapunov-Exponenten eine zunehmende Divergenz der Trajektorien dazu führen kann, dass $\varepsilon(t)$ bereits Werte annimmt, die dann im weiteren Verlauf dazu führen, dass ε sich wieder verringert. Die Divergenz naher Punkte im Phasenraum ist also nur für einen begrenzten Zeitraum beobachtbar. Schematisch wird dies in der folgenden Abbildung 109 dargestellt.

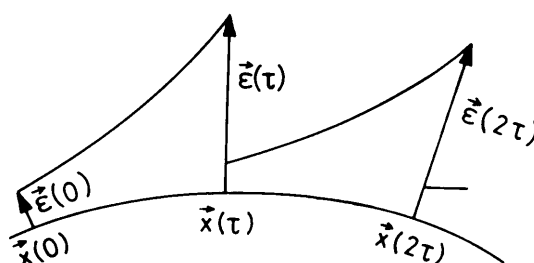


Abbildung 109: Schematische Darstellung der Bedeutung von Lyapunov-Exponenten

Die exponentielle Divergenz von Trajektorienverläufen zeigt sich, wenn wiederholt ein ungestörter mit einem minimal (um $\varepsilon(0)$) ausgelenkten Trajektorienverlauf verglichen wird.

Für mathematisch bekannte Systeme kann der Lyapunov-Exponent recht einfach berechnet werden. In einem solchen Fall ist es nämlich möglich, das System mit zwei um ε verschiedenen Startwerten jeweils zu simulieren und damit zwei genügend lange Zeitreihen zu berechnen, die beide in den Phasenraum eingebettet werden. Nun kann durch einfaches Bilden der Quadratwurzel der quadrierten Koordinatendifferenzen für jede Raumrichtung der Abstand der Trajektorienpunkte ermittelt werden, sodass für jede Raumrichtung ein λ berechnet werden kann. Die Abbildung 110 zeigt die Entwicklung der Lyapunov-Exponenten für die Verhulst-Gleichung, die nach dieser Methode für verschiedene Parametereinstellungen der Verhulst-Gleichung ermittelt wurden. Es zeigte sich bei diesem computergestützten Vorgehen eine starke Abhängigkeit vom Ausgangsunterschied ε .

Nur für sehr kleine Werte ergeben sich Lyapunov-Exponenten, wie sie in der Literatur angegeben werden. Für größere Ausgangsunterschiede fallen die Lyapunov-Exponenten kleiner aus und zeigen über den Parameterbereich hinweg geringere Varianz.

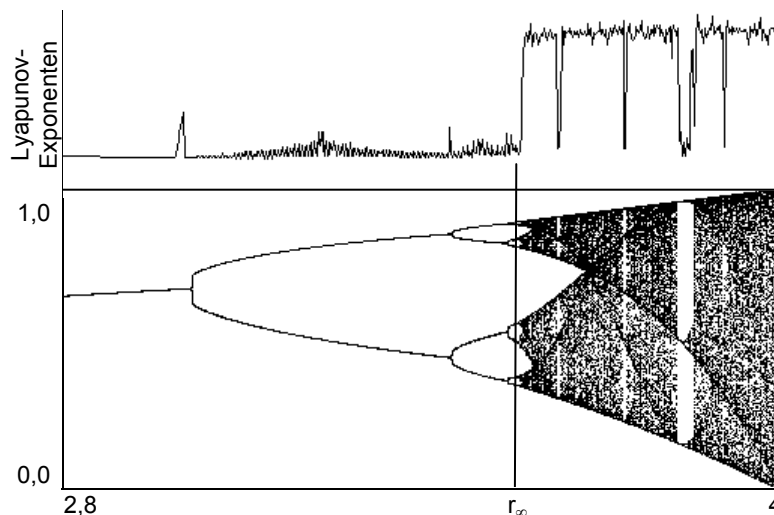


Abbildung 110: Lyapunov-Exponenten der Verhustzeitreihe

Deutlich zeigt sich ein Absinken des Lyapunov-Exponenten in den Fenstern der Ordnung (vgl. auch Abbildung 37, S. 109, Abbildung 38, S. 111, Abbildung 39, S. 112, Abbildung 40, S. 114).

Algorithmen, das Spektrum der Lyapunov-Exponenten aus empirischen Zeitreihen – also ohne Kenntnis des die Zeitreihe(n) generierenden Gleichungssystems – zu berechnen, liegen erst seit Mitte der 80er Jahre vor (Eckmann & Ruelle 1985, Wolf et al. 1985; für eine Diskussion spezifischer Vor- und Nachteile siehe Vastano & Kostelich 1986, Elbert et al. 1994; für ein Berechnungsbeispiel bei eindimensionalen Iterationsfolgen vgl. Seifritz 1987, S. 58ff.).

Die Anforderungen an die Zeitreihenlänge sind sehr groß

Die Anforderungen an die Zeitreihenlänge sind jedoch insbesondere für den am häufigsten genutzten und von Wolf et al. (1985) vorgeschlagenen Algorithmus sehr hoch: Bereits bei niedrigdimensionalen Systemen sind nach Elbert et al. (1994) einige tausend Zeitpunkte notwendig. Mit zunehmender Dimension m des Attraktors steigt die Länge entsprechend 10^m an (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 79).

In neuerer Zeit wurden eine Reihe von Alternativen für den „Wolf-Algorithmus“ (Wolf et al. 1985) entwickelt (z.B. Rosenstein, Collins & De Luca 1993, Kantz 1994, Banbrook, Ushaw & McLaughlin 1996). Insbesondere auf die von Wolf et al. (1985) vorgeschlagene Methode zur Bestimmung von Lyapunov-Exponenten und auf den Algorithmus von Rosenstein et al. (1993) soll hier etwas näher eingegangen werden. Beide Verfahren ermitteln den so genannten größten Lyapunov-Exponenten (LLE – Largest Lyapunov-Exponent), der für den Nachweis einer chaotischen Systemdynamik ausreicht. Ist der größte Lyapunov-Exponent positiv, liegt zwingend eine chaotische Dynamik vor, auch wenn das gesamte Spektrum der Lyapunov-Exponenten für die verschiedenen Raumdimensionen nicht bekannt ist.

8.2.5.1 Die Bestimmung von Lyapunov-Exponenten nach Wolf et al.

Der „Wolf-Algorithmus“ ist einer der ersten und inzwischen sicherlich der bekannteste Algorithmus zur Berechnung des LLE aus einer Zeitreihe, für die das generierende System nicht bekannt ist. Zur Bestimmung des LLE wird zunächst ein Referenzpunkt auf der Zeitreihe gewählt. Die zeitliche Entwicklung dieses und eines maximal um ε_{\min} entfernten Punktes wird danach für eine festgelegte Anzahl von Zeitschritten (*Steps*) verfolgt. Innerhalb der durch *Steps* festgelegten Zeitschritte werden sich die beiden Trajektorien im Fall von Chaos exponentiell voneinander entfernen. Diese exponentielle Divergenz wird als Schätzung für den Lyapunov-Exponenten registriert. Natürlich ist eine solche Schätzung für nur einen Referenzpunkt unreliaabel, sodass nach den durch *Steps* vorgesehenen Zeitschritten ein neuer Nachbar gewählt wird, der maximal um ε_{\min} von der Referenztrajektorie abweicht. Dieses Austauschen der einen Nachbartrajektorie durch eine neue wird nötig, da die beiden Trajektorien nur begrenzt divergieren. Wie bereits erwähnt, nähern sie sich nach Erreichen einer maximalen Divergenz einander wieder an (vgl. die Abbildung 107, S. 381 zur Bäckertransformation und die Ausführungen auf S. 152). In diesem Sinne ist es durchaus möglich, dass bereits bevor alle durch *Steps* festgelegten Zeitschritte durchlaufen wurden, eine mit ε_{\max} angegebene relativ große Divergenz erreicht wird. Tritt dies ein, wird für die Referenztrajektorie bereits an dieser Stelle ein neuer Nachbar gesucht. Insgesamt ist der Algorithmus damit auf die Bestimmung von fünf Parametern angewiesen:

1. Zur Rekonstruktion des Attraktors wird hier, wie auch bei anderen Verfahren, die der Bestimmung von Lyapunov-Exponenten dienen, ein geeignetes τ für die Ermittlung der Zeitverzögerungskordinaten benötigt. Hier kann z.B. die Mutual-Information (siehe S. 360f.) zur Berechnung einer geeigneten Zeitverzögerung herangezogen werden.
2. Für eine reliable Ermittlung des Lyapunov-Exponenten sollte der Attraktor in einem genügend großen Phasenraum eingebettet werden. In diesem Sinne sollte die Berechnung für einem Einbettungsraum erfolgen, der der tatsächlichen Dimensionalität des Attraktors entspricht. Daher ist es erforderlich, dass vor der Berechnung von Lyapunov-Exponenten die Dimensionalität des Attraktors über das D2 bereits bestimmt wurde (siehe S. 366f.).
3. Jedes Mal, wenn der Algorithmus einen Nachbarn zu einem Referenzpunkt sucht, sollte dieser Vergleichspunkt nicht weiter als ε_{\min} vom Referenzpunkt entfernt sein. Wolf et al. (1985) schlagen hier einen Wert vor, der zwischen 0% und 2% des Range der Messwerte der Zeitreihe liegt. Diese grobe Schätzung für ε_{\min} führt zu relativ guten Ergebnissen, wenn der untersuchte Attraktor mit 3 bis 4 Dimensionen eingebettet wird. Für höhere Einbettungen sollte ε_{\min} um den Faktor $(m/3)^{0,5}$ erhöht werden.
4. Erreicht die Distanz zwischen den beiden Trajektorien einen mit ε_{\max} angegebenen Wert, sollte für die Referenztrajektorie eine neue Nachbartrajektorie ermittelt werden. Wolf et al. (1985) schlagen für ε_{\max} einen Wert vor, der zwischen 10% und 15% des Range der Messwerte der Zeitreihe liegt. Auch die hier vorgeschlagene grobe Schätzung für ε_{\max} führt zu relativ guten Ergebnissen, wenn der untersuchte Attraktor mit 3 bis 4 Dimensionen eingebettet wird. Für höhere Einbettungen sollte auch ε_{\max} um den Faktor $(m/3)^{0,5}$ erhöht werden.

5. Die Divergenz zwischen der Referenztrajektorie und einer Nachbartrajektorie wird für einen mit *Steps* bezeichneten Zeitraum verfolgt. Für *Steps* sollte ein Wert gewählt werden, der zwischen dem vierten und dritten Teil der dominanten Periodenlänge des Systems liegt. Diese kann über eine Spektralanalyse bestimmt werden (vgl. 348ff.).

In der Praxis der Anwendung des Algorithmus zeigen sich starke Abhängigkeiten der Ergebnisse von den genannten Parametern. Insbesondere die Wahl von *Steps* hat einen großen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse. Als einzige Möglichkeit, die Reliabilität der Berechnungen einzuschätzen schlagen Wolf et al. (1985) die Variation der Parameter und damit verbunden die Überprüfung der Stabilität der Ergebnisse vor.

Rosenstein et. al. (1993) verweisen auf weitere Probleme des von Wolf et al. vorgeschlagenen Algorithmus und anderer ähnlicher Algorithmen zur Bestimmung von Lyapunov-Exponenten (z.B. für die Bestimmung des LLE: Wright 1984, Farmer & Sidorowich 1987, Sato, Sano & Sawada 1987, Casdagli 1989, Abarbanel, Brown & Kadtke 1990, Ellner et al. 1991, Wales 1991; für die Bestimmung des vollständigen Lyapunov-Spektrums: Eckmann & Ruelle 1985, Sano & Sawada 1985, Eckmann et al. 1986, Briggs 1990, Brown, Bryant & Abarbanel 1991, Stoop & Parisi 1991, Zeng, Eykholt & Pielke 1991; die genannten Arbeiten gehen im Wesentlichen auf folgende frühere Arbeiten zurück: Eckmann & Ruelle 1985, Sano & Sawada 1985, Wolf et al. 1985, Farmer & Sidorowich 1987). Die genannten Algorithmen sind allesamt unreliabel für kurze Zeitreihen, extrem rechenintensiv und relativ schwer zu implementieren. Am Beispiel des Wolf-Algorithmus lässt sich diese Kritik relativ gut belegen. Der Algorithmus folgt einer Referenztrajektorie, für die die Distanz zu einer Nachbartrajektorie bis zu dem durch *Steps* oder durch ε_{\max} definierten Abbruch registriert wird. Dabei werden dann jedoch nicht alle Daten zur Berechnung genutzt, da zum einen nur für einige Punkte auf dem Attraktor Nachbarn gesucht werden und zum andern immer nur eine Nachbartrajektorie gewählt wird. Dies und das Fehlen einer Statistik für die Güte der Berechnung führt zu der geringen Reliabilität des Algorithmus bei kurzen Zeitreihen.

Zudem wird bei der Wahl der Nachbartrajektorie unter Rückgriff auf einen Gram-Schmidt-Algorithmus darauf geachtet, dass diese sich in die gleiche Raumrichtung bewegt wie die Referenztrajektorie. Diese Prüfung kostet Rechnerzeit und ist relativ aufwändig zu implementieren. Dabei ist dieses Kriterium für die Bestimmung des größten Lyapunov-Exponenten gar nicht zwingend erforderlich (Rosenstein, Collins & De Luca 1993).

8.2.5.2 Die Bestimmung von Lyapunov-Exponenten nach Rosenstein et al.

Rosenstein, Collins und de Luca (1993) schlagen einen weit einfacheren Algorithmus vor als die Arbeitsgruppe von Wolf, der zudem auch für kurze Zeitreihen und verrauschte Daten zu reliablen Ergebnissen führt. Prinzipiell baut das von ihnen vorgeschlagene Verfahren auf einer Arbeit von Sato, Sano und Sawada (1987) auf, die jedoch grundlegend erweitert wird.

Die Grundzüge der Berechnungsmethodik sind tatsächlich relativ einfach. Für jeden Punkt der Zeitreihe wird der jeweils nächstgelegene Nachbar gesucht. Die zeitliche Entwicklung für den Referenzpunkt und dem nächsten Nachbar führt im Fall von Chaos zu einer wachsenden Divergenz der Punkte. Die beiden Punkte werden dabei über einen nicht zu klein zu wählenden Zeitraum auf ihrem Weg durch den Attraktor verfolgt.

Damit ergibt sich für jeden Referenzpunkt X_i zunächst eine Distanz $d_i(0)$ zum nächstgelegenen Nachbarn X_j und in zeitlicher Folge die Differenz nach einem Zeitschritt $d_i(1)$, einem zweiten Zeitschritt $d_i(2)$ und so weiter. Da jeder Punkt des Attraktors einmal als Referenzpunkt genutzt wird, ergibt sich für jeden Referenzpunkt X_i mit $i = 1$ bis n eine Reihe von Differenzen $d_i(j)$ mit $j = 1$ bis N , wobei N den Abbruch der Beobachtung der beiden Trajektorien angibt. N sollte groß genug gewählt werden um sicher zu stellen, dass die Trajektorien nach dieser Anzahl an Zeitschritten auch bereits maximale Divergenz erreicht haben. Wurden die Distanzen für alle j und alle Referenzpunkte ermittelt, wird für jedes j der Mittelwert der Distanzen berechnet. In diesem Sinne ergibt sich für $j = 0$ der mittlere Abstand zwischen den Referenzpunkten und den Nachbarpunkten als mittlerer Ausgangsabstand. Für $j = 1$ entspricht der gebildete Mittelwert dem mittleren Abstand über alle Referenzpunkte (und Nachbarn) nach einem Zeitschritt und so weiter.

Im Fall von Chaos sollte $\bar{d}(j)$ mit wachsendem j exponentiell zunehmen. Wird der Logarithmus von $\bar{d}(j)$ über j aufgetragen, so ergibt sich der Lyapunov-Exponent aus der Steigung der ermittelten Gerade. Ähnlich wie für die Bestimmung des D2 zeigt sich diese Steigung, sofern sie überhaupt vorliegt, jedoch nur in einem begrenzten Skalierungsbereich. Insbesondere bei großem j kann die Differenz der beobachteten Punkte nicht mehr zunehmen, wenn inzwischen die maximale Divergenz erreicht wurde (vgl. Abbildung 111). Daher geht für große j die Steigung auf Null. Nur, wenn ein Skalierungsbereich mit linearer Steigung gefunden werden kann liegt auch eine *exponentielle* Divergenz vor, wie sie für eine chaotische Dynamik kennzeichnend ist.

Damit besitzt der vorgeschlagene Algorithmus den Vorteil, die ermittelten Ergebnisse auf ihre Gültigkeit prüfen zu können. Des weiteren nutzt das Verfahren jeden Punkt des Attraktors, sodass insgesamt kürzere Zeitreihen ausreichen um zu reliablen Ergebnissen zu gelangen. Zudem müssen für die Berechnung nicht fünf, wie beim Wolf-Algorithmus, sondern nur mehr vier Parameter geschätzt werden. Die zwei Parameter, die den eigentlichen Algorithmus beeinflussen, können sogar grob geschätzt werden. Es genügt, dass sie nicht zu klein gewählt werden:

1. Zur Rekonstruktion des Attraktors wird hier, wie auch bei anderen Verfahren, die der Bestimmung von Lyapunov-Exponenten dienen, ein geeignetes τ für die Ermittlung der Zeitverzögerungskordinaten benötigt. Hier kann z.B. die Mutual-Information (siehe S. 360f.) zur Berechnung einer geeigneten Zeitverzögerung herangezogen werden.
2. Für eine reliable Ermittlung des Lyapunov-Exponenten sollte der Attraktor in einem genügend großen Phasenraum eingebettet werden. In diesem Sinne sollte die Berechnung für einen Einbettungsraum erfolgen, der der tatsächlichen Dimensionalität des Attraktors entspricht. Daher ist es erforderlich, dass vor der Berechnung von Lyapunov-Exponenten die Dimensionalität des Attraktors über das D2 bereits bestimmt wurde (siehe S. 366f.).

3. Um zu verhindern, dass als nächster Nachbar eines Referenzpunktes sein direkter zeitlicher Vorgänger oder Nachfolger gewählt wird, sollten zwischen dem Referenzpunkt und seinem nächsten Nachbarn mindestens so viele Zeitschritte liegen, wie sie durch die mittlere Periode der Zeitreihe als Minimum gegeben sind. Zur Bestimmung dieses Parameters, der als *Theiler-Window* bezeichnet wird, reicht eine grobe Schätzung, wenn sie nicht zu klein ausfällt.
4. Damit tatsächlich ein Skalierungsbereich gefunden werden kann, sollten die beiden Trajektorien mindestens so lange miteinander verglichen werden, bis der Zeitpunkt maximaler Divergenz erreicht wurde. Hier empfiehlt es sich N nicht zu klein zu wählen.

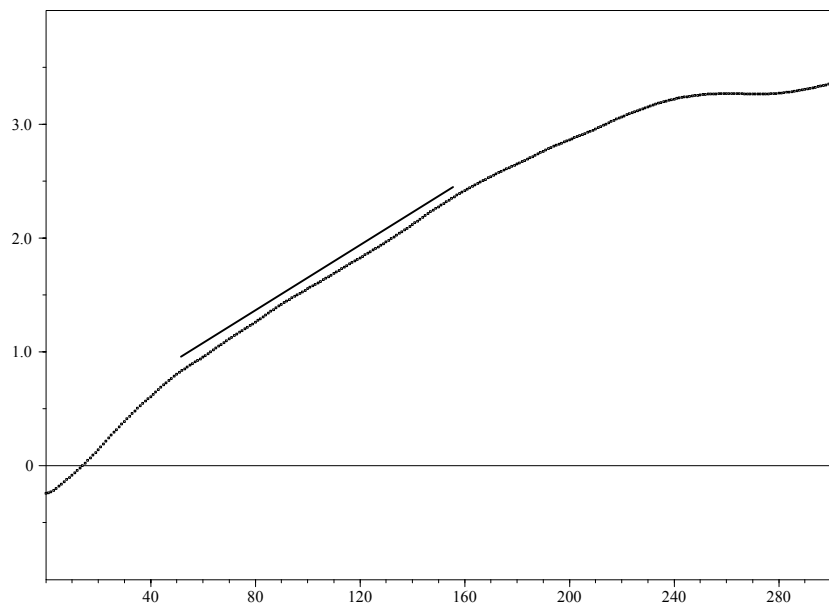


Abbildung 111: Die Bestimmung des größten Lyapunov-Exponenten mittels des Algorithmus von Rosenstein et al. (1993)

Die Abbildung zeigt die logarithmierte zunehmende mittlere Divergenz nahe benachbarter Trajektorien für dreihundert Zeitschritte. Nach ca. 240 Zeitschritten wird die maximale Divergenz erreicht, sodass sich die Kurve verflacht. Die Region mit der besten linearen Steigung, der Skalierungsbereich, wird in der Abbildung durch eine parallelverschobene Gerade gekennzeichnet. Der Lyapunov-Exponent ergibt sich aus der Steigung dieser Geraden. Umgerechnet auf die Zeit, die zwischen zwei Zeittakten vergeht (0,01 Sekunden) ergibt sich ein Lyapunov-Exponent von 1,45 Bit/Sekunde. Der Literaturwert beläuft sich für das hier vorliegende Lorenz-System auf 1,5 Bit/Sekunde (vgl. Wolf et al. 1985).

Die in der Abbildung dargestellte Berechnung ergibt sich für den Lorenz-Attraktor mit $r = 45,92$; $\sigma = 16$ und $b = 4$. Erzeugt wurden 5.000 Messzeitpunkte. Die Berechnung des Lyapunov-Exponenten erfolgte für eine fünfdimensionale Einbettung. Das Time-Lag wurde mit Hilfe der Mutual-Information ermittelt.

Für eine Reihe von mathematisch bekannten Systemen konnten Rosenstein et al. die Robustheit des Algorithmus überzeugend darlegen. Sowohl hinsichtlich der Zeitreihenlänge, geringerer Einbettungsdimension als eigentlich erforderlich, verschiedener τ zur Rekonstruktion des Phasenraumes als auch in Hinblick auf Rauschen ergaben sich die erwarteten Lyapunov-Exponenten im Rahmen einer akzeptablen Fehlertoleranz, die weit unter der vergleichbarer anderer Algorithmen liegt.

Weiterentwickelt wurde das Verfahren durch Kantz (1994), der die Berechnung getrennt für verschieden große Ausgangsdistanzen wiederholt. Ähnlich wie beim Wolf-Algorithmus wird dabei ein ε_{\min} festgelegt, welches angibt, wie stark sich der Referenzpunkt und der Nachbarpunkt zu Beginn einer jeden Berechnung maximal unterscheiden dürfen. Durch die Festlegung einer solchen Grenze wird verhindert, dass für einzelne Referenzpunkte nächste Nachbarn gefunden werden, die bereits zu Beginn sehr stark voneinander entfernt sind. Da ein ideales ε_{\min} jedoch nicht vorab bestimmt werden kann, wird die Berechnung für wachsende ε_{\min} wiederholt.

8.2.5.3 Lyapunov-Exponenten für nichtstationäre Zeitreihen

Ebenso wie bei der Darstellung der Verfahren zur Dimensionsanalyse bereits ausgeführt, handelt es sich auch bei Chaotizitätskennwerten um Invarianten des dynamischen Systems (vgl. S. 372ff.). In diesem Sinne wird bei der Berechnung des größten Lyapunov-Exponenten vorausgesetzt, dass die Zeitreihe hinsichtlich ihrer Chaotizität stationären Charakter besitzt. Dies kann jedoch in der Regel nur für experimentell gewonnene Datensätze, für die von einer Konstanz relevanter Kontrollparameter ausgegangen werden kann, und Datensätze, die aus Simulationen gewonnen werden, vorausgesetzt werden. Es stellt sich daher die Frage, ob auch die Bestimmung von Lyapunov-Exponenten um Verfahren erweitert werden kann, die Veränderungen in der Chaotizität abzubilden vermögen.

Die Bestimmung des Lyapunov-Exponenten in einem bestimmten Messzeitpunkt ist praktisch kaum durchführbar und theoretisch problematisch

Eine einfache Möglichkeit für die Bestimmung eines solchen *Pointwise-Lyapunov-Exponenten* wäre z.B. in Anlehnung an das PD2 Verfahren denkbar (vgl. S. 373ff.). In diesem Sinne könnte jeweils ein Referenzpunkt gewählt werden, für den die exponentielle Divergenz zu einem nächsten Nachbarn im Verlauf der Zeit bestimmt wird. Dabei würde die Berechnung des Lyapunov-Exponenten jedoch jeweils nur über den Vergleich zweier Trajektorien vorgenommen. Ein solches Verfahren führt daher zu extrem unreliaiblen Ergebnissen, die in der Praxis nicht zu interpretieren wären. Aber auch inhaltlich könnte ein solches Ergebnis nicht als zeitpunktbezogener Lyapunov-Exponent interpretiert werden. Da der Lyapunov-Exponent per Definition ein zeitlich begrenztes Auseinanderdriften nahe benachbarter Trajektorien beschreibt, handelt es sich immer um ein Maß, das Aussagen über einen Zeitraum und nicht über einen Zeitpunkt zulässt.

Die Berechnung von Lyapunov-Exponenten für ein Zeitfenster

Es liegt daher nahe den Lyapunov-Exponenten im Verlauf der Zeit für ein begrenztes Zeitfenster zu berechnen, welches nach und nach über die Zeitreihe verschoben wird. Ähnliche Verfahren wurden bereits im Zusammenhang mit dem gleitenden Mittelwert (vgl. S. 333f.) und der abschnittswisen Korrelation (vgl. S. 346f.) besprochen. Einem solchen Vorgehen steht jedoch der hohe Bedarf an Messzeitpunkten für die Berechnung entgegen. Insbesondere für das Verfahren von Wolf et al. (1985) und verwandter Verfahren (siehe oben) sind sehr lange Zeitreihen nötig, um zu reliablen Ergebnissen zu gelangen. Bedeutend bessere Ergebnisse für ein solches Vorgehen sind jedoch bei Anwendung des Algorithmus von Rosenstein zu erwarten. Je nach Komplexität des untersuchten Systems zeigt der von Rosenstein, Collins und de Luca (1993) vorgeschlagene Berechnungsmodus eine ausreichende Reliabilität auch für kurze Zeitreihen.



Abbildung 112: Abschnittweiser Lyapunov-Exponent berechnet für ein gleitendes Fenster von 1.500 Messzeitpunkten – Wolf-Algorithmus

Die Abbildung zeigt die jeweils für ein Fenster von 1.500 Messzeitpunkten berechneten Lyapunov-Exponenten für die Variable x der Lorenz-Zeitreihe. Das Fenster wird nach und nach um 10 Messzeitpunkte weiter über die insgesamt 10.000 Messzeitpunkte lange Zeitreihe verschoben. Aus der Literatur wäre ein Wert von 1,5 Bit/Sekunde zu erwarten gewesen (vgl. Wolf et al. 1985), der aber im Durchschnitt überschätzt wird. Die große Streuung der in der Abbildung wiedergegebenen Lyapunov-Exponenten belegt die geringe Eignung des von Wolf et al. vorgeschlagenen Algorithmus für die Berechnung von abschnittweisen Lyapunov-Exponenten (vgl. auch Abbildung 113).

Die in der Abbildung dargestellte Berechnung ergibt sich für den Lorenz-Attraktor mit $r = 45,92$; $\sigma = 16$ und $b = 4$. Erzeugt wurden 10.000 Messzeitpunkte.

Für die Verhulst-Gleichung reichen bereits 100 Messzeitpunkte aus, ohne dass der Fehler der Berechnung des Lyapunov-Exponenten über 5% wächst. Für das sich sehr einfach verhaltende Hénon-System bleibt der Fehler bei 100 Datenpunkten sogar unter 2%. Etwas schlechter fallen die Ergebnisse jedoch für komplexere Systeme, wie das Lorenz- und das Rössler-System aus. Zeigt der für das Lorenz-System ermittelte Lyapunov-Exponent bei 5.000 Messzeitpunkten einen Fehler von nur 1,5%, so steigt dieser bei nur 2.000 Messzeitpunkten bereits auf über 10% und für 1.000 Messzeitpunkte auf rund 17%. Beim Rössler-System fallen die Ergebnisse weniger einheitlich aus. Liegt der ermittelte Lyapunov-Exponent bei 2.000 Messzeitpunkten nur rund 2% über dem Literaturwert, so steigt der Fehler bereits bei 1.600 Messzeitpunkten auf über 9% und fällt bei 1.200 Messzeitpunkten wieder auf 2%. Weitere Verkürzungen der Rössler-Zeitreihe führen jedoch zu sehr hohen Berechnungsfehlern (27% Fehler bei 800 Messzeitpunkten und 61% Fehler bei 400 Messzeitpunkten; vgl. Rosenstein, Collins & De Luca 1993). Obwohl die Ergebnisse für die verschiedenen Systeme recht unterschiedlich ausfallen und die ermittelten Fehler zum Teil doch recht hohe Werte annehmen, sind die Abweichungen doch erheblich geringer, als für den von Wolf et al. (1985) vorgeschlagenen Algorithmus.

Wie stark sich eine Verkürzung der Zeitreihenlänge auf die Genauigkeit des Wolf-Algorithmus auswirkt ist in Abbildung 112 zu sehen. Der Lyapunov-Exponent wurde für diese Abbildung jeweils für ein Fenster von 1.500 Messzeitpunkten der Variable x des Lorenzsystems berechnet. Insgesamt ist die Zeitreihe 10.000 Messzeitpunkte lang. Nach jeder Berechnung des Lyapunov-Exponenten, wird das Fenster um 10 Messzeitpunkte weitergeschoben. Die Ergebnisse schwanken zwischen 1,0 Bit/s (Fehler von 33,3%) und 3,3 Bit/s (Fehler von 120,0%). Die durchschnittliche Abweichung liegt bei 29%.

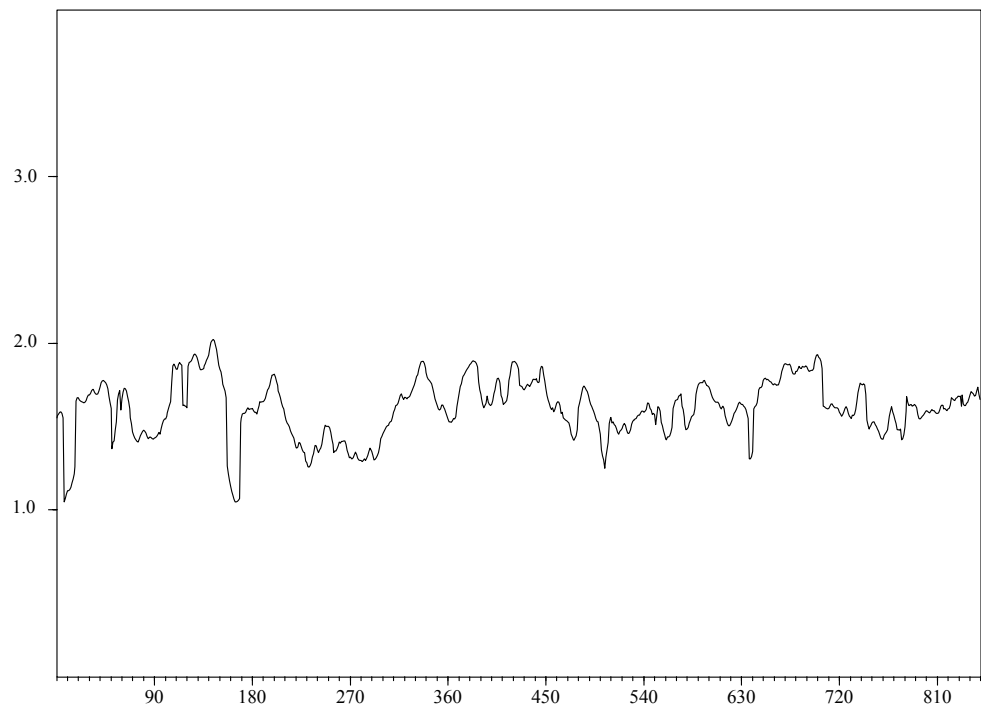


Abbildung 113: Abschnittweiser Lyapunov-Exponent berechnet für ein gleitendes Fenster von 1.500 Messzeitpunkten – Rosenstein-Algorithmus

Die Abbildung zeigt die jeweils für ein Fenster von 1.500 Messzeitpunkten berechneten Lyapunov-Exponenten für die Variable x der Lorenz-Zeitreihe. Das Fenster wird nach und nach um 10 Messzeitpunkte weiter über die insgesamt 10.000 Messzeitpunkte lange Zeitreihe verschoben. Der Literaturwert von 1,5 Bit/Sekunde (vgl. Wolf et al. 1985) wird im Durchschnitt geringfügig überschätzt (ermittelt wird ein durchschnittlicher Lyapunov-Exponent von 1,6 Bit/Sekunde). Die relativ geringe Streuung der in der Abbildung wiedergegebenen Lyapunov-Exponenten belegt die Eignung des von Rosenstein, Collins und de Luca (1993) vorgeschlagenen Algorithmus für die Berechnung von abschnittweisen Lyapunov-Exponenten (vgl. auch Abbildung 112).

Die in der Abbildung dargestellte Berechnung ergibt sich für den Lorenz-Attraktor mit $r = 45,92$; $\sigma = 16$ und $b = 4$. Erzeugt wurden 10.000 Messzeitpunkte.

Bedeutend vielversprechender fallen die Ergebnisse jedoch bei Anwendung des von Rosenstein et al. vorgeschlagenen Verfahrens aus. Der Lyapunov-Exponent wurde, wie auch zuvor für den Wolf-Algorithmus, jeweils für ein Fenster von 1.500 Messzeitpunkten der Variable x des Lorenzsystems berechnet. Insgesamt ist die Zeitreihe 10.000 Messzeitpunkte lang. Nach jeder Berechnung des Lyapunov-Exponenten, wird das Fenster um 10 Messzeitpunkte weitergeschoben. Die Ergebnisse, die in Abbildung 113 dargestellt sind, schwanken zwischen 1,1 Bit/s (Fehler von 26,0%) und 2,0 Bit/s (Fehler von 33,3%). Die durchschnittliche Abweichung liegt mit 11,6% weit unter der durchschnittlichen Abweichung, die für den Wolf-Algorithmus ermittelt wurde.

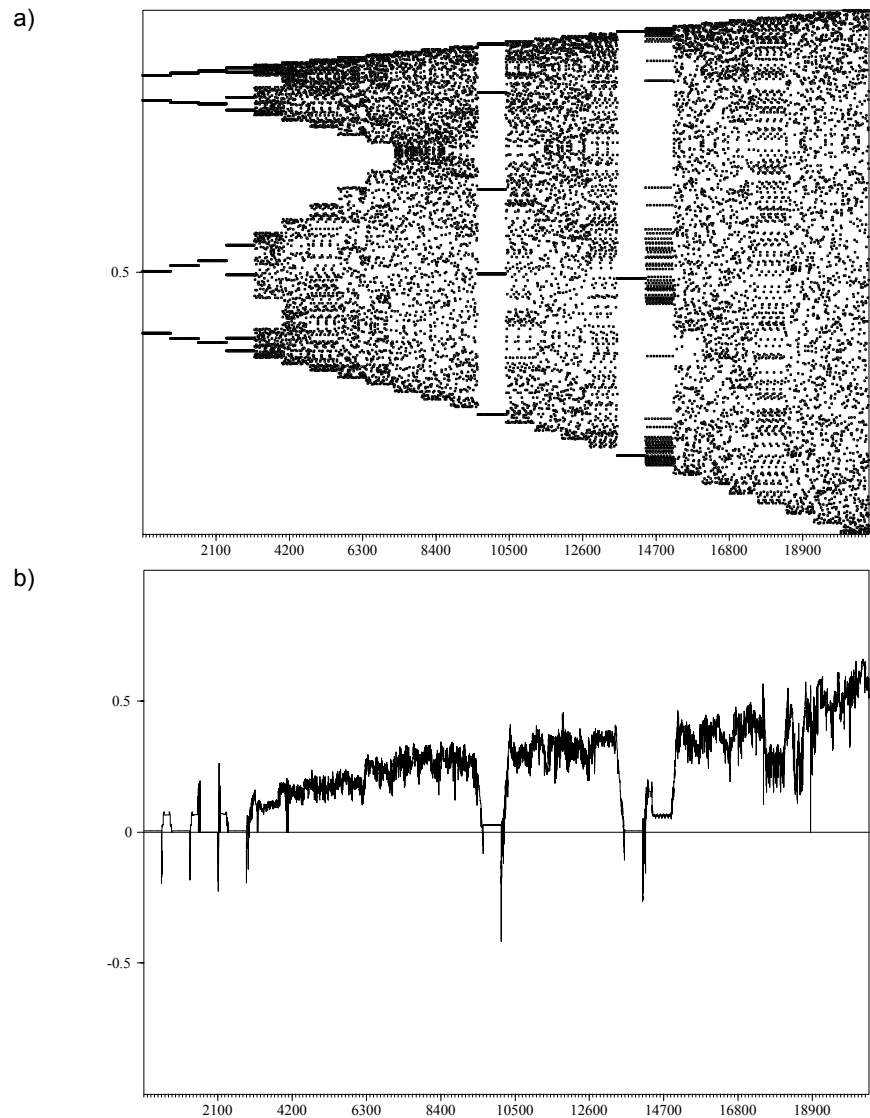


Abbildung 114: Abschnittweiser Lyapunov-Exponent für eine Beispielzeitreihe

Die in a) dargestellte Zeitreihe bildet sich aus jeweils 800 Messzeitpunkten der Verhulst-Dynamik für Parameterwerte zwischen 3,5 und 4,0. Nach jeweils 800 Messzeitpunkten wurde der Parameter um einen Wert von 0,02 erhöht, sodass sich insgesamt 75 verschiedene Parameterwerte ergeben (zur Verhulst-Dynamik siehe ausführlicher ab S. 107ff.). In b) finden sich die Ergebnisse der abschnittweisen Lyapunov-Exponenten der Zeitreihe für ein Fenster von 300 Messzeitpunkten, welches nach jeder Berechnung um einen Messzeitpunkt verschoben wurde. Wie sich zeigt, reagiert das Maß höchst sensibel auf die Veränderungen in der Chaotizität der Zeitreihe. Auch die Fenster der Ordnung sind deutlich ausgeprägt zu erkennen.

Zumindest bei Anwendung des von Rosenstein, Collins und de Luca (1993) vorgeschlagenen Algorithmus scheint es möglich zu sein relativ reliable Lyapunov-Exponenten auch für kleinere Abschnitte einer längeren Zeitreihe ermitteln zu können. Wie empfindlich dieses nichtstationäre Maß auf Veränderungen in der Chaotizität einer Zeitreihe reagiert, zeigt sich in der vorstehenden Abbildung 114.

Für eine brauchbare Anwendung dieses Verfahrens hat sich die Breite des Fensters jedoch nach der Dynamik des Systems zu richten. Bei besonders komplexen Systemen, wie dem oben herangezogenen Lorenz-System, werden weit mehr Datenpunkte für eine reliable Schätzung benötigt als bei relativ einfachen Systemen,

wie z.B. der Hénon-Dynamik. Für empirische Zeitreihen mit unbekanntem generierendem System empfiehlt es sich die Berechnung für verschiedene Fensterbreiten zu wiederholen. Zeigen sich starke Fluktuationen, ist entweder das Fenster zu klein gewählt oder das System zeigt tatsächlich beständige Veränderungen in seiner Chaotizität.

8.2.5.4 Ein Verfahren zur Bestimmung des Skalierungsbereiches

Während sich der Wolf-Algorithmus leicht als Verfahren zur abschnittsweisen Bestimmung von Lyapunov-Exponenten implementieren lässt aber nur eine unzureichende Genauigkeit erlaubt, muss für jeden Lyapunov-Exponenten, der über den von Rosenstein et al. vorgeschlagenen Algorithmus berechnet wird ein Skalierungsbereich für die beste lineare Steigung der logarithmierten mittleren Distanzen bei zunehmenden Zeitschritten bestimmt werden (siehe oben S. 386ff.). Ähnliche Probleme ergeben sich auch für die nichtstationäre Bestimmung der Dimensionalität mittels des PD2-Verfahrens (siehe oben S. 373ff.).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde für den Rosenstein-Algorithmus ein sehr robustes und gut zu implementierendes Verfahren zur Identifikation des Skalierungsbereiches entwickelt. Kern dieses Verfahrens sind die typischen geometrischen Eigenschaften der Kurven, die sich bei der Bestimmung des Lyapunov-Exponenten nach dem Verfahren von Rosenstein et al. für die Darstellung von $\log(\bar{d}_j)$ vs. j ergeben. Da nämlich ab einer bestimmten Größe von j $\log(\bar{d}_j)$ nicht mehr weiter ansteigt, kann der gesuchte Skalierungsbereich nur links von dieser Grenze gefunden werden.

Die folgende Abbildung 115 verdeutlicht, wie diese Grenze gefunden werden kann. Wird der Anfangspunkt (a) der Kurve mit dem Endpunkt (b) verbunden, so ergibt sich eine Gerade. Wird nun für jedes j der Abstand zwischen der konstruierten Gerade \overline{ab} und $\log(\bar{d}_j)$ berechnet, der sich über das Lot auf \overline{ab} durch $\log(\bar{d}_j)$ ergibt, so findet sich der gesuchte Punkt (c) im größten Abstand.

Darauf aufbauend lässt sich nun erneut eine Gerade durch (a) und den neuen Punkt (c) konstruieren. Sollten auch zu dieser Geraden nennenswerte Distanzen in Bezug auf $\log(\bar{d}_j)$ auftreten, so kann durch den Punkt mit der größten Distanz ein neuer Punkt (d) bestimmt werden. Insgesamt sind damit drei Geraden gegeben, nämlich \overline{ac} , \overline{ad} und \overline{dc} . Falls nötig lassen sich auch diese Abschnitte nach dem beschriebenen Verfahren weiter unterteilen. In der Regel genügen jedoch die bisher ermittelten Abschnitte, sodass im nächsten Schritt Ausgleichsgeraden durch $\log(\bar{d}_j)$ gelegt werden, deren Anfangs- und Endpunkte von den ermittelten Punkten (a), (d) und (c) begrenzt werden. Zur Beurteilung der Ausgleichsgeraden wird dann die Korrelation der jeweiligen Gerade mit $\log(\bar{d}_j)$ und die Länge des jeweiligen Abschnittes bestimmt.

Die Gerade, die die höchste Korrelation besitzt und damit den linearsten Teil von $\log(\bar{d}_j)$ beschreibt, ist in der Regel der gesuchte Skalierungsbereich. Selten jedoch kann es geschehen, dass eine der ermittelten Geraden zwar die höchste Korrelation mit $\log(\bar{d}_j)$ aufweist, aber viel kürzer ist als eine andere Gerade mit ähn-

lich hoher Korrelation. In diesem Fall wird die längere Gerade gewählt. Insgesamt sollte die Korrelation der besten Gerade jedoch nicht geringer als ein vorher festgelegter Grenzwert sein.

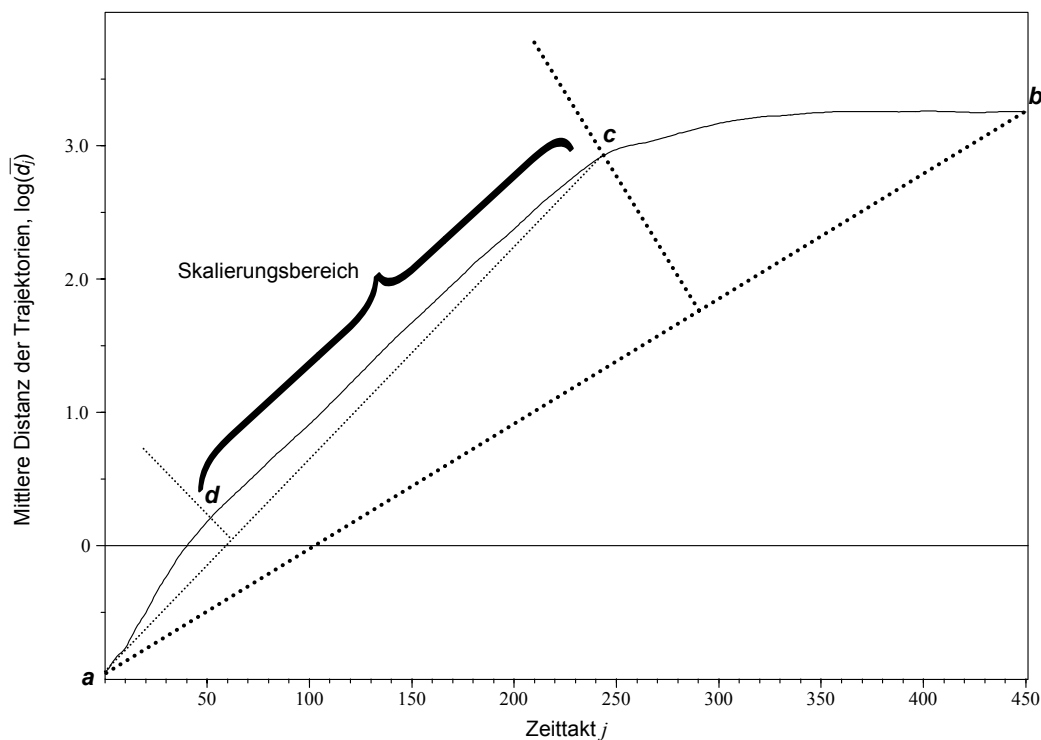


Abbildung 115: Verfahren zur Bestimmung des Skalierungsbereiches

Die Bestimmung des LLE erfordert im Rahmen des Verfahrens von Rosenstein, Collins und de Luca (1993) die Identifikation eines linearen Skalierungsbereiches im Plot von $\log(\bar{d}_j)$ vs. j . Die Abbildung zeigt, wie dieser lineare Bereich automatisiert bestimmt werden kann. Für nähere Erläuterungen vgl. ab S. 393).

Der vorgeschlagene Algorithmus für die automatische Bestimmung des Skalierungsbereiches in $\log(\bar{d}_j)$ vs. j bedeutet einen wichtigen Schritt in Richtung auf eine Objektivierung der durch den Algorithmus von Rosenstein ermittelten Lyapunov-Exponenten. Allerdings kommt auch das hier vorgeschlagene Verfahren nicht ohne die eher subjektive Festlegung von Parametern aus. So muss sowohl angegeben werden, welche kritische Korrelation als Minimalerfordernis für einen Skalierungsbereich anzusehen ist, als auch die Gewichtung der Länge eines Skalierungsbereiches im Bezug zu dessen Korrelation. Die entsprechenden Parameter lassen sich jedoch anhand von Testzeitreihen nach und nach anpassen und optimieren.

8.2.6 Determinismus und Chaos

Die Dimensionalität einer Zeitreihe kann als Maß ihrer Komplexität interpretiert werden. Zudem erlauben K2-Entropie und Lyapunov-Exponenten Aussagen über ihre Chaotizität. Damit die ermittelten Kennwerte sinnvoll interpretiert werden können, sollten die untersuchten Prozesse möglichst gut von einer Zufallsdynamik unterschieden werden können. Während es auch bei unendlich langen Zeitreihen prinzipiell nicht möglich ist, finite D2 und K2-Kennwerte für Zufallsprozesse zu bestimmen, kann es bei endlichen empirischen Zeitreihen nicht ausgeschlossen werden, trotz Sättigungen des D2 oder des K2 nicht dennoch hohe Anteile stochastischer Prozesse erfasst zu haben. Hier ist es sinnvoll, ein Maß für die Determiniertheit eines Zeitsignals angeben zu können. Ein solches Maß wurde von Kaplan und Glass (1992) vorgestellt.

Deterministische Prozesse sind nicht wahllos und sprunghaft

In kleinen Teilvolumina des Phasenraums weisen die Tangenten von Trajektorien, die von deterministischen Systemen erzeugt werden, eine ähnliche räumliche Orientierung auf. Die Tangenten von Trajektorien stochastischer Prozesse zeigen dagegen wild in alle Richtungen. Die Bestimmung der Nettovektoren der Trajektorientangenten in den Teilvolumina liefert also ein Determiniertheitsmaß. Für deterministische Attraktoren weisen die Nettovektoren in eine bestimmte „Flussrichtung“, für Rauschen sind sie nicht existent (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 74).

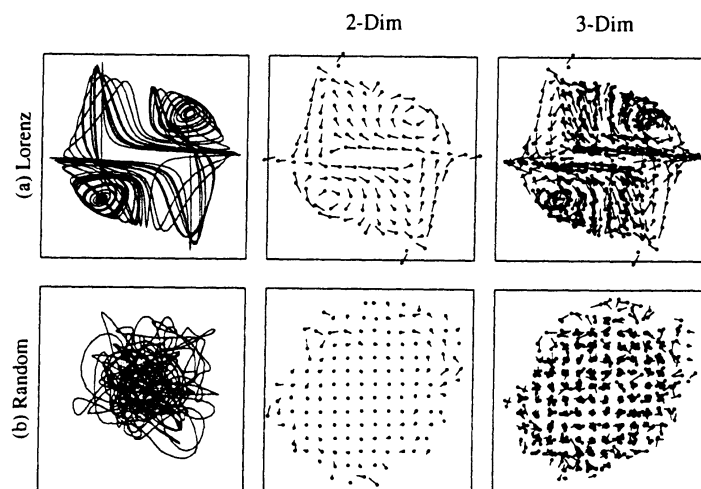


Abbildung 116: Bestimmung der „Determiniertheit“ eines Zeitsignals

(a) die Nettovektoren der Trajektorientangenten des Lorenzsystems zeigen sowohl im zweidimensionalen als auch im dreidimensionalen Phasenraum klare Orientierungen, die bei den Nettovektoren der Trajektorientangenten von Zufallsprozessen (b) fehlen (Abbildung aus: Kaplan & Glass 1992, S. 927).

Insbesondere der Vergleich des Determiniertheitsmaßes einer empirischen Zeitreihe mit den Ergebnissen für entsprechende Random-Surrogate scheint hier ein vielversprechendes Vorgehen zu sein.

8.2.7 Chaos und Ordnung in nominalen Datensätzen

Die bisher besprochenen zeitreihenanalytischen Verfahren stellen allesamt hohe Anforderungen an die Datenqualität der zu untersuchenden Zeitreihen. Neben zum Teil erheblichen Zeitreihenlängen werden auch hohe Anforderungen an die Qualität und Auflösung der Daten gestellt. So sollten die Zeitreihen möglichst rauschfrei und mit möglichst hoher Auflösung erhoben worden sein. Als Skalenniveau sollte zumindest Intervallskalengüte vorliegen.

Inzwischen sind jedoch Verfahren vorgeschlagen worden, die bereits für nominale Datensätze brauchbare Informationen über die Komplexität und Ordnung der erfassten Prozesse liefern können. Im Folgenden sollen die Grundideen solcher Verfahren ausführlicher dargestellt werden.

8.2.7.1 Problemstellung

Im Rahmen der Darstellung verschiedener mathematischer Methoden zur Bestimmung von Kennwerten nichtlinearer dynamischer Systeme wurde bereits mehrfach auf die von Shannon formulierte Definition des Informationsgehalts von Werteabfolgen eingegangen (vgl. Gleichung 48 und S. 359f.; Shannon 1948). Der Informationsgehalt einer Werteabfolge ergibt sich danach als Summe des Produktes der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Wertes und dem Logarithmus für diese Wahrscheinlichkeit. Gleichung 48 sei hier zur Verdeutlichung noch einmal angeführt:

$$I_s = -\sum_{i=1}^N P(s_i) \log_2 P(s_i).$$

Der Informationsgehalt des folgenden Satzes lässt sich nach dieser Gleichung mit 3,78 Bit bestimmen (vgl. Tabelle 11).

Wie hoch ist der Informationsgehalt dieses Satzes?

Shannons Informationsdefinition berücksichtigt keine dynamischen Aspekte

Obwohl die Shannonsche Informationsdefinition zu den wichtigsten Standardberechnungen für den Informationsgehalt von Werteabfolgen gehört, handelt es sich bei dem Verfahren nur um eine unvollständige Charakterisierung. Es zeigt sich nämlich, dass jede zufällige Abfolge der Buchstaben des genannten Satzes zu dem gleichen Informationsgehalt führt. In diesem Sinne unterscheidet sich der vorgestellte Satz nicht von der folgenden Buchstabenfolge:

eeaiiesohIettcrshoszatsWiamrfsohnngnddtSleei

Damit stellt sich die Frage, wie der Informationsbegriff um die Berücksichtigung der dynamischen Ordnung der Zeichenabfolgen erweitert werden kann. Eine Möglichkeit liegt darin, die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten nicht auf ein einzelnes Symbol zu beschränken, sondern auf die Abfolge von Symbolen, also auf Zeichenpaare, Dreier- oder Viererkombinationen zu erweitern, wie es oben schon mehrfach vorgeschlagen wurde (vgl. S. 359ff. und S. 377).

Zeichen	Häufigkeit	P(Zeichen)	$\log_2(P(\text{Zeichen}))$	Produkt
a	3	0,0698	-3,8406	-0,2681
c	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
d	2	0,0465	-4,4266	-0,2058
e	6	0,1395	-2,8417	-0,3964
f	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
g	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
h	3	0,0698	-3,8406	-0,2681
i	5	0,1163	-3,1041	-0,3610
l	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
m	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
n	2	0,0465	-4,4266	-0,2058
o	3	0,0698	-3,8406	-0,2681
r	2	0,0465	-4,4266	-0,2058
s	6	0,1395	-2,8417	-0,3964
t	4	0,0930	-3,4266	-0,3187
w	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
z	1	0,0233	-5,4235	-0,1264
Summe:	43	1,0000		-3,7788

Tabelle 11: Bestimmung des Informationsgehaltes des Satzes: „Wie hoch ist der Informationsgehalt dieses Satzes?“

Der Informationsgehalt des Satzes ergibt sich nach der Shannonschen Informationsdefinition über die Häufigkeitsverteilung der im Satz verwendeten Buchstaben und beläuft sich auf 3,78 Bit.

8.2.7.2 Abfolgen von Symbolen in Zeitreihen: Symbol Dynamics

Unter dem Namen *Symbol Dynamics* sind eine ganze Reihe von Verfahren vorgeschlagen worden, um die Begrenzungen der Shanonnischen Informationsdefinition zu durchbrechen (für einen Überblick: Collet & Eckmann 1980). In ihren Grundlagen gehen diese Ansätze bis auf das Jahr 1898 zurück (Hadamard 1898). Helund und Morse erweiterten den Ansatz von Hadamard um Aspekte periodischen Verhaltens in klassischen dynamischen Systemen (Morse 1921, Morse & Hedlund 1938). Im Folgenden sollen einige Methoden des Symbol Dynamics Ansatzes kurz dargestellt werden:

- **Sequenzen fester Länge:** Eine einfache Methode für die Bestimmung des Informationsgehalts einer dynamischen Symbolfolge ist die Festsetzung einer Sequenzlänge m , die die Länge eines so genannten *Wortes* definiert. Ein solches Wort besteht also aus der Abfolge von R Werten der zu untersuchenden Symbolreihe. Werden alle in der Symbolreihe vorhandenen Worte gebildet und ihre Häufigkeit bestimmt, so lässt sich der Informationsgehalt nach der Shanonnischen Informationsdefinition für die Worte bestimmen. Ein Problem dieses Verfahrens ist jedoch die Wahl eines geeigneten R . Wird R zu groß gewählt, dann kommen viele Worte nur noch einmal in der Symbolreihe vor. Wird R jedoch zu klein gewählt, werden nur wenig Informationen über die spezielle Anordnung der Symbole genutzt. In der Praxis der Anwendung dieses Maßes empfiehlt sich daher die Berechnung für verschiedene R durchzuführen und danach eines auszuwählen, das sowohl möglichst große Bereiche der Dynamik erfasst aber nicht dazu führt, dass zu viele Worte nur einmal vorkommen.

- **Häufigkeitsverteilung von Worten:** Obwohl der Informationsgehalt einer Symbolreihe, die aus n Worten der Länge R besteht direkt berechnet werden kann, empfiehlt es sich, die Häufigkeitsverteilung dieser Worte genauer zu betrachten. Handelt es sich bei der Symbolreihe um eine rein stochastische Anordnung von Symbolen, so sollten relativ unabhängig von der gewählten Wortlänge R alle Worte gleich häufig in der Symbolreihe vorkommen. Weicht die Häufigkeitsverteilung der Worte signifikant von einer Gleichverteilung ab, ist die Symbolreihe wahrscheinlich nicht zufällig.
- **Sequenzen ohne Veränderung:** Eine weitere Möglichkeit Informationen über die geordnete Komplexität einer Symbolfolge zu gewinnen besteht darin, den Prozentsatz von Worten zu bestimmen, die nur ein immer gleiches Symbol enthalten. Wird die Wortlänge zum Beispiel mit fünf festgelegt und besteht die Symbolfolge nur aus den Symbolen ‚0‘ und ‚1‘, so werden alle Worte gezählt, die entweder nur aus ‚0‘ oder nur aus ‚1‘ bestehen.
- **Forbidden Words:** Im Falle einer einfachen periodischen Ordnung in der Symbolreihe wiederholen sich die Worte fortlaufend. Andere Worte als die, die zur Beschreibung einer Periode dienen, werden nicht benötigt und sollten in der Symbolreihe auch nicht vorkommen. In diesem Sinne scheint es für jedes deterministische, nicht stochastische System eine Menge von Worten zu geben, die in der Symbolreihe eigentlich nicht vorkommen dürfen. Praktisch ist es jedoch kaum möglich alle diese Worte vorab zu bestimmen, um dann zu überprüfen, ob sie auch tatsächlich nicht in der Symbolreihe vorkommen. Es lässt sich jedoch bestimmen, wie viele Worte nur sehr selten, d.h. z.B. mit einer Wahrscheinlichkeit von nur 0,1% in der Symbolreihe vorkommen. Die Anzahl solcher seltener Symbole ist dann ein Maß für die Komplexität der Symbolreihe.

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der Ordnung in Symbolreihen wurde von Strunk (1996b; vgl. auch Strunk & Schiepek 2002) vorgeschlagen: Ähnlich wie bei der Bestimmung der K2-Entropie (siehe oben, S. 378ff.) werden Sequenzen von Wertefolgen definiert, wobei sich die Sequenzen jedoch nicht auf Punkte im Phasenraum sondern auf Messwerte der Zeitreihe beziehen. So werden zunächst Zweiersequenzen von Messwertfolgepunkten gebildet und auf ihr wiederholtes Vorkommen in der Zeitreihe hin untersucht. Jede Sequenz wird dabei mit einem Symbol (z.B. einer fortlaufenden Nummerierung) eindeutig bezeichnet. Das Verfahren bildet dann weitere Sequenzen wachsender Länge. Die Länge der Sequenz, die in der Zeitreihe gerade noch zweimal vorkommt ist dann ein Maß für die Komplexität der Zeitreihe. Als Kriterium zum Vergleich des Ergebnisses mit Zufallsabfolgen wird die Ausgangszeitreihe randomisiert und erneut die Komplexität nach dem beschriebenen Verfahren berechnet. Die Komplexität vieler randomisierter Zeitreihen folgt dabei einer Normalverteilung, sodass eine Statistik dafür angegeben werden kann, ob die Komplexität der Originalzeitreihe geordneter ausfällt als die der Surrogate. Das Verfahren hat eine große Ähnlichkeit zu Algorithmen, wie sie auch von anderen Autoren vorgeschlagen wurden (z.B. Stevens 1939, Mood 1940 für einen Überblick siehe: Bortz, Lienert & Boehnke 2000).

8.2.7.3 Die algorithmische Entropie

Einen ganz anderen Weg beschreiten Verfahren der algorithmischen Entropie um die von Shannon formulierte Informationsdefinition um die Berücksichtigung dynamischer Strukturen zu bereichern. Es handelt sich dabei jeweils um spezifische Implementierungen eines Verfahrens zur Bestimmung der so genannten *algorithmischen Entropie*. Die Grundbegriffe der algorithmischen Entropie beruhen auf Arbeiten zur algorithmischen Informationstheorie (Kolmogorov 1965, Zvonkin & Levin 1970, Chaitin 1974), die den Informationsgehalt einer Werteabfolge nach dem Informationsgehalt bemisst, der benötigt wird um die Werteabfolge zu beschreiben. In diesem Sinne ist die Wurzel aus zwei eine Zahl mit unendlich vielen Nachkommastellen, die zudem in einer extrem komplexen Abfolge auftreten. Trotz dieser augenscheinlichen Komplexität der Ziffernabfolgen kann diese durch einen einfachen Algorithmus ermittelt werden. Zur Beschreibung bzw. Erzeugung der Zahlenabfolge genügt also eine relativ einfache Formel, die bereits an anderer Stelle dieser Arbeit präsentiert wurde (vgl. Gleichung 15, S. 164).

Eine deterministische Abfolge von Symbolen sollte sich in der Regel durch einen Algorithmus erzeugen lassen, der einfacher ist als die Abfolge selbst

Die algorithmische Informationstheorie bezieht sich auf diese Überlegungen, indem davon ausgegangen wird, dass zur Beschreibung bzw. Erzeugung bestimmter komplexer aber geordneter Strukturen die Kenntnis eines einfachen Algorithmus genügt. Es ist der Informationsgehalt dieses Algorithmus, der ausreichend ist, um eine, in der Regel weit komplexere, dynamische Ordnung zu generieren. Etwas vereinfachend ist die algorithmische Entropie einer Werteabfolge also gegeben durch die mindestens erforderliche Größe eines Algorithmus, der diese Abfolge erzeugen kann.

Für die Beschreibung von Zufallsfolgen gibt es keine Abkürzungen

Während Strukturen, die sich durch eine geordnete Komplexität auszeichnen in der Regel auf einfachere Algorithmen zurückgeführt werden können, gilt dies nicht für die zufällige Abfolge von Werten. Für einen solchen Fall kann kein Algorithmus angegeben werden, der einfacher ist als die Werteabfolge selbst. Wird also ein Algorithmus zur Beschreibung einer Werteabfolge benötigt, der ebenso komplex ist wie die Werteabfolge selbst, so liegt eine maximale algorithmische Entropie und damit ein Zufallsprozess vor (Hubermann & Hogg 1986).

Auf ähnlichen Überlegungen beruhen Computerprogramme, die zur Komprimierung von Dateien benutzt werden. Eine komprimierte Datei ist im Wesentlichen eine Erzeugungsvorschrift für die Datei selbst. Gelingt die Komprimierung, so liegt ein Algorithmus vor, der viel weniger Speicherplatz einnimmt als die ursprüngliche Datei, aber alle Informationen enthält, um die Datei wieder zu erzeugen. Der Unterschied zwischen der Größe der komprimierten und der unkomprimierten Datei ist dabei ein Maß ihrer algorithmischen Entropie.

Die algorithmische Entropie ergibt sich aus der erfolgreichen Anwendung von Komprimierungsverfahren

Berechnungsmöglichkeiten für die algorithmische Entropie ergeben sich also durch die Anwendung von Verfahren zur verlustfreien Komprimierung von Dateien. Ein solcher Komprimierungsalgorithmus ist z.B. die *Grammar Complexity* (Ebeling & Jiménez-Montano 1980, Jiménez-Montano 1984).

8.2.7.3.1 Grammar Complexity

Am besten wird der Algorithmus der Grammar Complexity verständlich, wenn er anhand eines Beispiels erläutert wird (das Beispiel folgt im Wesentlichen den Ausführungen von Rapp et al. 1991):

Gegeben sei eine Wertefolge x_i mit folgenden Werten:

$$x = 0101101011001001.$$

In einem ersten Schritt sucht der Algorithmus nach sich in der Zeitreihe wiederholenden Paaren, die durch ein Symbol ersetzt werden. Das Symbol und seine Bedeutung wird in eine Symbolliste eingetragen. Wenn keine Paare mehr gefunden werden, die mehr als zwei Mal in der Zeitreihe vorkommen, wird nach Tripeln gesucht, die mindestens zwei Mal in der Zeitreihe vorkommen. Auch diese werden durch ein Symbol ersetzt. In den folgenden Schritten werden mit aufsteigendem n n -Tupel gesucht und durch Symbole ersetzt, wenn es jeweils zwei gleiche davon geben sollte. Der Algorithmus bricht ab, wenn keine weitere Ersetzung mehr möglich ist. Für die als Beispiel gegebene Wertefolge ergibt sich zunächst, dass die Abfolge (0,1) mehrfach vorkommt. Sie wird durch das Symbol a ersetzt:

$$\begin{aligned} x &= a a 1 a a 1 0 a 0 a \\ a &= 0 1. \end{aligned}$$

Da keine weiteren Paare gefunden werden können, die mindestens drei Mal in der Wertefolge vorkommen wird nun nach Tripeln gesucht. Es zeigt sich, dass $(a, a, 1)$ zwei Mal in der Zeitreihe identifiziert werden können. Im Gegensatz zu Paaren, bedeutet das Auffinden von gleichen Abfolgen mit mehr als nur zwei Elementen eine Verkürzung der Zeitreihe, sodass $(a, a, 1)$ durch b ersetzt wird.

$$\begin{aligned} x &= b b 0 a 0 a \\ a &= 0 1 \\ b &= a a 1. \end{aligned}$$

Dass eine Ersetzung von *zwei* Paaren durch *ein* Symbol zu keiner Verkürzung führt, wird deutlich, wenn bedacht wird, dass die Paare jeweils durch ein Symbol ersetzt werden und in der Ersetzungstabelle dieses Symbol durch die beiden Werte des Paares repräsentiert werden müssen. Insgesamt werden also vier Elemente benötigt um die Wertefolge aus der Komprimierung erneut zu erzeugen. Vier Elemente waren es jedoch bereits vor der Komprimierung.

Für die Beispielzeitreihe lässt sich nach der letzten Ersetzung kein weiteres Tripel und auch kein 4-Tupel finden, sodass die Komprimierung hier abbricht. Als Vereinfachung können sich wiederholende Elemente noch als Potenzen geschrieben werden, sodass sich aus $b b$ in Potenzschreibweise b^2 ergibt (würde $b b b$ vorliegen würde daraus b^3):

$$\begin{aligned} x &= b^2 0 a 0 a \\ a &= 0 1 \\ b &= a^2 1. \end{aligned}$$

Es folgt die Berechnung der Grammar Complexity, die gegeben ist als Summe der verbleibenden Symbole, wobei auch die Symbole rechts des Gleichheitszeichens der Ersetzungstabelle mitgezählt werden. Ebenfalls hinzugezählt wird der Betrag des Logarithmus zur Basis zwei, jeder verwendeten Potenz. Insgesamt enthält x

fünf und die beiden Symbole der Ersetzungstabelle zusammen vier Elemente. Zudem sind zwei Potenzen mit jeweils dem Wert zwei vorhanden. Zusammen ergibt sich:

$$\text{Grammar Complexity} = 5 + 2 + 2 + |\log_2 2| + |\log_2 2| = 11.$$

Für die Interpretation des ermittelten Wertes bieten sich zwei Verfahren an. Zum einen kann aus der ursprünglich gegebenen Wertefolge durch Sortierung eine völlig geordnete Symbolreihe erstellt werden:

$$x' = 11111111100000000.$$

Die Grammar Complexity wird interpretierbar im Vergleich mit maximaler Ordnung

Die Grammar Complexity für diese geordnete Abfolge beläuft sich auf 10 und weist sie damit auch als geordneter aus. Allerdings ist der Unterschied zwischen den beiden ermittelten Kennwerten nicht sehr groß. Dies liegt daran, dass die Wertabfolge für dieses Beispiel auch sehr kurz gewählt wurde. Bei längeren Zeitreihen fallen die Unterschiede weit stärker aus.

Die Grammar Complexity wird interpretierbar im Vergleich mit zufälligen Surrogaten

Eine weitere Möglichkeit zur Interpretation der Ergebnisse wurden von Tschacher und Scheier (1995) vorgeschlagen. Sie testeten die Daten mittels eines Surrogatdatenverfahrens. Dazu bildeten sie 50 verschiedene Surrogatzeitreihen, die aus der durcheinandergewürfelten Ursprungszeitreihe bestehen und berechnen für diese ebenfalls die Grammar Complexity. Die ermittelten 50 Werte der Grammar Complexity bilden eine Normalverteilung, sodass die zu überprüfende Zeitreihe auf signifikante Unterschiede gegenüber den Surrogatdaten getestet werden kann (Tschacher & Scheier 1995).

Insgesamt bietet sich die Grammar Complexity zur Komplexitätsbestimmung nominaler Wertabfolgen auch in der Psychotherapieforschung an (vgl. Rapp et al. 1991, Tschacher & Scheier 1995, Friedlmayer, Reznicek & Strunk 1996, Thiele 1997). Zu beachten gilt jedoch, dass die Länge der untersuchten Zeitreihe ebenso einen Einfluss auf das Ergebnis hat, wie auch die Werteverteilung in der Zeitreihe.

Neben dem Verfahren der Grammar Complexity sind noch andere Algorithmen vorgeschlagen worden, die auf Verfahren der Datenkompression beruhen (für eine Vergleichende Darstellung siehe z.B. Schürmann & Grassberger 1996). Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Algorithmen LZ77 und LZ78, die von Lempel und Ziv vorgeschlagen wurden (Ziv & Lempel 1977, Lempel & Ziv 1978).

8.2.7.3.2 Ziv-Lempel Algorithmen

Während es sich bei der Grammar Complexity um einen sog. kontextfreien Algorithmus handelt, ergibt sich die Komplexität einer Symbolabfolge bei den von Ziv und Lempel vorgeschlagenen Algorithmen aus einer Art Lernprozess, bei der die Algorithmen ein Wörterbuch anlegen, welches im Verlauf der Symbolreihe wächst und dabei immer auf dem aufbaut, was die Symbolreihe bisher an Abfolgen enthielt (Ziv & Lempel 1977, Lempel & Ziv 1978).

Wie auch bei der Grammar Complexity lassen sich die von Lempel und Ziv vorgeschlagenen Algorithmen am besten durch Beispiele verdeutlichen, wobei im

Folgenden zunächst allgemein auf das Problem der Datenkomprimierung eingegangen wird. Ist die folgenden Abfolge von Symbolen gegeben:

$$x = a a a b a a b a a a,$$

so lässt sie sich mit folgender Symboltabelle leicht als Ziffernfolgen von Null und Eins kodieren:

$$\begin{aligned} a &= 0 \\ b &= 10 \\ aaa &= 11 \end{aligned}$$

Die resultierende Zahlenfolge ist dann:

$$11010111011.$$

Während die Originalfolge aus 12 Symbolen besteht, werden nach der Übersetzung durch die Symboltabelle nur mehr 11 Symbole benötigt. Die Symbolreihe wurde also komprimiert. Die Frage die sich in diesem Zusammenhang stellt ist jedoch: Warum funktioniert das? – und etwas wichtiger, unter welchen Bedingungen funktioniert das?

Würde man Jemandem die oben genannte Symbolfolge vorlesen, so könnte man z.B. sagen: vier mal a , dann zwei mal $b a a a$. In diesem Sinne geschieht eine Kompression der Daten über das Erkennen von sich wiederholenden Symbolfolgen. Das Problem der Datenkomprimierung lässt sich demnach verdichten zu der Frage, wie auf der Grundlage eines festen Algorithmus eine Regel angegeben werden kann, die solche Wiederholungen identifiziert.

Der LZ78 Algorithmus (Lempel & Ziv 1978) gibt eine solche Regel an, indem eine gegebene Symbolreihe so in Abschnitte zerlegt wird, das ein neuer Abschnitt jeweils den kürzest möglichen neuen Abschnitt bildet. Durch diese Vorschrift wird für die folgende Abfolge von Symbolen,

$$x = a b a b b a b a a b a a b b a b a b$$

als kürzest möglicher neuer Abschnitt a identifiziert. Als kürzester neuer Abschnitt folgt auf a ein b . Das dritte Symbol (a) kam bereits einmal vor, sodass ein Abschnitt, der erneut aus a besteht, kein neuer Abschnitt wäre. Der kürzeste neue Abschnitt wäre also nicht erneut a sondern $a b$. Auf diesen Abschnitt folgt ein b , welches jedoch auch schon einmal vorkam, sodass der nächste Abschnitt aus $b a$ gebildet wird. Erneut ist das nächste Symbol ein b und kommt damit nicht als neuer Abschnitt in Frage. Aber auch der Abschnitt $b a$ existiert bereits, sodass als neuer Abschnitt $b a a$ bestimmt wird. Insgesamt kann nach diesem Verfahren die gegebene Symbolreihe in folgende Abschnitte eingeteilt werden:

$$x = a | b | a b | b a | b a a | a b a | a a | b b | a b a b.$$

Auf diese Weise nehmen die jeweils nacheinander entsehenden Abschnitte jeweils Bezug auf vorher bereits definierte Abschnitte, sodass der dritte Abschnitt $a b$ sich aus dem ersten Abschnitt plus ein b bilden lässt. Da jeweils der kürzest mögliche

neue Abschnitt gebildet wird, kommt jeweils nur ein neues Zeichen hinzu. Damit genügt für die Darstellung jedes Abschnittes der Verweis auf einen vorherigen Abschnitt durch einen Index i und die Angabe des neu hinzugekommenen Symbols. Die für die gegebene Symbolreihe definierten Abschnitte lassen sich also wie folgt darstellen:

$x =$	a	b	a b	b a	b a a	a b a	a a	b b	a b a b
$x' =$	0a	0b	1b	2a	4a	3a	1a	2b	6b
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Anzahl Symbole in x</i>	1	2	4	6	9	12	14	16	20
<i>Anzahl Symbole in x'</i>	2	4	6	8	10	12	14	16	18

Tabelle 12: LZ78 Algorithmus zur Komprimierung von Symbolreihen

Die gegebene Symbolreihe x lässt sich nach dem LZ78 Algorithmus durch die Symbolreihe x' darstellen. x' umfasst dabei immer zwei Informationen. Die Zahl verweist auf einen Index i , bei dem sich bereits ein Teil der zu komprimierenden Symbolabfolge findet. Ist die Zahl 0 existiert kein solcher Abschnitt. Zum Abschnitt, auf den verwiesen wird, wird jeweils nur ein einziges neues Symbol hinzugefügt. Es zeigt sich, dass eine Komprimierung erst gegen Ende der Symbolreihe eintritt.

Da für die Darstellung jedes Abschnittes nur zwei Symbole benötigt werden, wird die Komprimierung mit jedem Abschnitt größer, kann jedoch für den Beginn der Zeitreihe sogar negativ ausfallen, d.h. dass anfangs unter Umständen mehr Symbole benötigt werden als in der Originalsymbolreihe. So werden für die Darstellung der ersten beiden Symbole $a b$ zunächst noch vier Symbole benötigt. Erst im letzten Abschnitt tritt eine Komprimierung ein, sodass nur 18 Symbole genügen um die 20 Symbole der Originalreihe zu generieren.

Die von Lempel und Ziv vorgeschlagenen Verfahren sind kontextabhängig

Es lässt sich zeigen, dass die Stärke der Komprimierung zunächst schnell ansteigt um dann auf einen konstanten Wert zu konvergieren. Der Komprimierungsfaktor für eine möglichst lange Symbolreihe strebt gegen ein Maß für die Komplexität der Symbolreihe. Dass die Komprimierung jedoch erst im Verlauf der Symbolreihe allmählich einsetzt, kennzeichnet dieses Verfahren als kontextabhängig, ein Umstand der für die oben bereits dargestellte Grammar Complexity nicht gilt. Allgemein ergibt sich für LZ78 die algorithmische Entropie h nach folgender Beziehung:

$$h = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\log N}{\langle L(a) \rangle}$$

Der Term $\langle L(a) \rangle$ bezeichnet dabei die zu erwartende (d.h. in der Regel die durchschnittliche) Länge der benutzten Abschnitte und N die Länge der Symbolreihe.

Bei dem vorgestellten LZ78 Algorithmus handelt es sich um eine Vereinfachung des früheren LZ77 Algorithmus (Ziv & Lempel 1977), der weit aufwändiger in seiner Implementierung ist, jedoch bessere Komprimierungsraten erbringt.

Für die bereits gegebenen Symbolreihe würde der LZ77 Algorithmus folgendermaßen vorgehen:

$$x = |a b a b b a b a a a b a a a b b a b a b.$$

Der Algorithmus beginnt, indem ein Cursor an den Anfang der Symbolreihe gesetzt wird. In diesem Zustand ist das Wörterbuch des Algorithmus leer. Es findet sich damit kein Match der rechts des Cursors folgenden Symbole mit einem Eintrag im Wörterbuch. Damit ist auch die Länge eines solchen Matches Null. Direkt nach dem längsten Match (der hier ja Null ist) findet sich das Symbol a . Nun wird der Cursor hinter das neue Symbol a gesetzt:

$$x = a | b a b b a b a a a b a a a b b a b a b.$$

Alle Symbole, die sich links vom Cursor befinden, bilden den Inhalt des Wörterbuches. Es findet sich auch jetzt kein Match der rechts des Cursors folgenden Symbole mit einem Eintrag im Wörterbuch. Damit ist auch die Länge eines solchen Matches Null. Direkt nach dem längsten Match (der hier ja Null ist) findet sich das Symbol b . Nun wird der Cursor hinter das neue Symbol b gesetzt:

$$x = a b | a b b a b a a a b a a a b b a b a b$$

zurück um 2 Symbole ←
Übereinstimmung: 2 Symbole

Diesmal findet sich ein Match der folgenden zwei Symbole mit entsprechenden Einträgen im Wörterbuch. Um diesen Match im Wörterbuch zu finden genügt es zwei Schritte vom Cursor zurück zu gehen. Genau zwei Symbole im Wörterbuch nämlich $a b$ matchen. Direkt nach dem längsten Match (der hier zwei Symbole lang ist) findet sich das Symbol b . Nun wird der Cursor hinter das neue Symbol b gesetzt:

$$x = a b a b b | a b a a a b a a a b b a b a b$$

zurück um 5 Symbole ←
Übereinstimmung: 3 Symbole

Auch diesmal findet sich ein Match, nämlich der folgenden drei Symbole mit entsprechenden Einträgen im Wörterbuch. Um diesen Match im Wörterbuch zu finden müssen fünf Schritte vom Cursor zurück gegangen werden. Genau drei Symbole im Wörterbuch nämlich $a b a$ matchen. Direkt nach dem längsten Match (der hier drei Symbole lang ist) findet sich das Symbol a . Nun wird der Cursor hinter das neue Symbol a gesetzt:

$$x = a b a b b a b a a | a b a a a b b a b a b$$

zurück um 4 Symbole ←
Übereinstimmung: 6 Symbole

Ausgehend von dieser Cursorposition kann ein Match gefunden werden, der vier Symbole vor dem Cursor liegt. Zunächst scheinen auch genau vier Symbole zu matchen. Es zeigt sich aber, dass sich nach diesen vier Symbolen noch einmal der Beginn der Symbolfolge wiederholt: auf $a b a a$ folgt $a b$ was noch einmal auf die ersten beiden Symbole verweist. In diesem Sinne fordert der Algorithmus, dass ausgehend vom Cursor vier Schritte zurück gegangen wird und dann die dort vorgefundene Sequenz insgesamt sechs Zeichen lang genutzt wird. Da die Sequenz selbst nur vier Zeichen lang ist, wird für die verbleibenden zwei Symbole von vorne angefangen. Das nächste Zeichen nach der nun beschriebenen Symbolsequenz ist ein b . Nun wird der Cursor hinter das neue Symbol b gesetzt:

$x = a b a b b a b a a a b a a a b | b a b a b$

zurück um 11 Symbole ←
 Übereinstimmung: 4 Symbole }

Elf Schritte vor dem Cursor findet sich die Folge $b a b a$, die sich in vier Symbolen mit der rechts vom Cursor stehenden Abfolge deckt. Das nächste Zeichen nach der nun beschriebenen Symbolsequenz ist ein b . Damit ist die Komprimierung abgeschlossen.

Insgesamt wurde der Cursor nun sechs mal verschoben. Bei jeder Verschiebung wurden drei Größen ermittelt:

1. Die relative Verschiebung des Cursors nach links, bis an die Stelle im Wörterbuch, an der sich eine Sequenz von Symbolen findet, die ganz oder teilweise mit der Sequenz rechts des Cursors übereinstimmt.
2. Es wird angegeben, wie viele Symbole ab der angegebenen Position übereinstimmen. Es können dabei mehr Symbole angegeben werden, als die Sequenz bis zur Cursorposition lang ist. In einem solchen Fall wird die Sequenz noch einmal wiederholt.
3. Es wird das Zeichen angegeben, welches direkt auf die bereits beschriebene Sequenz folgt.

Auch beim hier beschriebenen LZ77 Algorithmus handelt es sich um einen kontextgebundenen Algorithmus, für den die Komprimierung erst ab einer bestimmten Länge der Symbolreihe eintritt. Eine Diskussion verschiedener Methoden algorithmischer Entropie und die mit ihnen verbundene Möglichkeit, Zufallsprozesse von geordneter Komplexität zu unterscheiden, findet sich z.B. bei Ebeling, Steuer und Titchener (2001).

8.2.8 Zusammenfassender Überblick über die dargestellten Verfahren

Der Schwerpunkt der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Methoden liegt im Rahmen der nichtlinearen zeitreihenanalytischen Verfahren. Neben kleineren Tools zur Datenaufbereitung (z.B. gleitender Mittelwert) lassen sich die eigentlichen Algorithmen zur nichtlinearen Zeitreihenanalyse vereinfachend und relativ grob in zwei Gruppen unterteilen. Die eine Gruppe liefert Kennwerte zur Quantifizierung der Komplexität einer Dynamik und die andere Gruppe umfasst Kennwerte zur Beschreibung der Prognostizierbarkeit von Prozessen. Beide Fragestellungen lassen sich sowohl für nominale Ereignisabfolgen als auch für die Einbettung von metrischen Zeitreihen im Phasenraum relativ elegant beantworten. Für die Analyse metrischer Zeitreihendaten ohne Phasenraumeinbettung kann zur Not auch auf bestimmte Kennzeichen im Rahmen linearer Verfahren der Zeitreihenanalyse zurück gegriffen werden. Die folgende Tabelle 13 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die vorgestellten Algorithmen:

1. **Verfahren für Ereignisabfolgen.** Für nominale Ereignisabfolgen stehen Verfahren aus dem Bereich des *Symbol Dynamics Ansatzes* (vgl. Collet & Eckmann 1980) und der *algorithmischen Entropie* (vgl. Schürmann & Grassberger 1996) zur Verfügung. Beide Konzepte fassen jeweils eine größere Anzahl von

Algorithmen zusammen, die Kennzahlen über die Komplexität von Symbolabfolgen generieren. In der Regel sind die jeweiligen Algorithmen bereits für kurze Datensätze sinnvoll einsetzbar. Allerdings ist die Testpower in der Regel nicht besonders groß. Zudem stellt keine der Methoden aus diesem Umfeld einen zwingenden Beleg für Selbstorganisationsprozesse dar. Sie dienen allein der Quantifizierung von Komplexität. Für die Bestimmung der Vorhersagbarkeit von Symbolabfolgen kann die Schanonsche Informationsdefinition um Symbolabfolgen erweitert werden. Dieses Vorgehen entspricht im Wesentlichen der *Kolmogorov-Sinai-Entropie*, wie sie in paralleler Weise auch für metrische Zeitreihen im Phasenraum bestimmt wird.

2. **Verfahren für Phasenraumdarstellungen.** Die Bestimmung der Komplexität von Prozessen, wie sie in der Phasenraumdarstellung als geometrische Struktur erkennbar wird, ist eng mit dem Konzept der *fraktalen Dimensionalität* (z.B. Mandelbrot 1987) verbunden. Als prominentester Algorithmus dieser Klasse von Verfahren gilt das *Korrelationsintegral* nach Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b), welches auch als D2 bezeichnet wird. Mathematisch gesehen ist mit dem Nachweis einer fraktalen Dimensionalität für die Phasenraumstruktur einer Dynamik auch ein Beleg für Chaos erbracht (Ruelle & Takens 1971, für Ausnahmen von dieser Regel vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 34ff.). Methodische Gründe sprechen jedoch gegen diese Deutung. Für empirische Systeme ist allein mit der Bestimmung der Korrelationsdimension noch kein verlässlicher Beweis für das Vorliegen von deterministischem Chaos möglich. Der Königsweg zur Identifikation einer chaotischen Dynamik führt hingegen über die Analyse der *größten Lyapunov-Exponenten* der im Phasenraum eingebetteten Systemdynamik (z.B. Wolf et al. 1985, Rosenstein, Collins & De Luca 1993). Der Lyapunov-Exponent quantifiziert dabei die exponentielle Divergenz nahe benachbarter Trajektorien. Ist der Exponent positiv, liegt tatsächlich ein *Schmetterlingseffekt* und damit Chaos vor. Die Größe des Exponenten ist zudem ein Maß für die Stärke der Chaotizität.
3. **Verfahren ohne Phasenraumeinbettung.** Sollen Zeitreihen ohne eine Einbettung im Phasenraum auf ihre Komplexität oder ihre Vorhersagbarkeit untersucht werden, können hier behelfsmäßig lineare Methoden herangezogen werden. Insbesondere sollte bei komplexen Prozessen ein breitbandiges Frequenzspektrum ermittelt werden können, in dem sich nur mit Mühe klar dominierende Frequenzen sinnvoll interpretieren lassen. Äquivalent dazu sinkt bei komplexen Zeitreihen die Autokorrelationsfunktion schnell auf Null, was als geringe Vorhersagbarkeit des Prozesses interpretiert werden kann. Beide hier unterbreiteten Vorschläge sind jedoch eher ungenau und relativ subjektiv. Zudem stellt keine der Methoden einen zwingenden Beleg für chaotische Prozesse dar.
4. **Nichtstationäre Zugänge.** In der Regel sind zeitreihenanalytische Verfahren an die Stationarität der zu untersuchenden Prozesse gebunden. Kann diese nicht vorausgesetzt werden oder wird sogar der Nachweis von Veränderungen angestrebt, bleibt vielfach nur der Ausweg, die genannten Verfahren jeweils auf ein möglichst schmales (aber für eine reliable Berechnung auch nicht zu schmales) Zeitfenster anzuwenden, welches nach jeder Berechnung um einen Zeitschritt weiter geschoben wird. Für die Bestimmung des Korrelationsintegrals sind zudem Verfahren der *Pointwise Dimensionalität* (PD2, z.B. Skinner 1992, Skinner, Molnar & Tomberg 1994) vorgeschlagen worden, die eine Zeitpunktsbezogene Komplexitätsschätzung der Dynamik erlauben.

		Fragestellung		
		Daten	Komplexität	Vorhersagbarkeit
Stationäre Zugänge	Ereignisabfolgen		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Symbol-Dynamics ▪ Algorithmische Entropie 	Erweiterungen der Shannonschen Informationsdefinition um Abfolgen
	Metrische Zeitreihen		Breitbandige Frequenzspektren	Schneller Nulldurchgang der Autokorrelationsfunktion
	Darstellung metrischer Daten im Phasenraum		Korrelationsdimension (D2)	Kolmogorov-Sinai-Entropie (K2) Lyapunov-Exponenten
Nichtstationäre Zugänge	Ereignisabfolgen		Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen
	Metrische Zeitreihen		Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen
	Darstellung metrischer Daten im Phasenraum		Pointwise Korrelationsdimension (PD2)	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen
Vergleich mit Zufallsabfolgen	Ereignisabfolgen		Für Random-Surrogate sollte sich eine höhere Komplexität ergeben	Für Random-Surrogate sollte sich die Vorhersagbarkeit verringern. Im Idealfall zeigt sich für Zufallsabfolgen eine völlige Nicht-Vorhersagbarkeit (maximale Entropie).
	Metrische Zeitreihen		Für Random-Surrogate sollte sich eine höhere Komplexität ergeben	Für Random-Surrogate sollte sich die Vorhersagbarkeit verringern Im Idealfall geht die Autokorrelationsfunktion für Zufallszeitreihen bereits bei einem Time-Lag von Eins auf Null.
	Darstellung metrischer Daten im Phasenraum		Für Random- und FFT-Surrogate sollte sich eine höhere Komplexität ergeben. Im Idealfall kann ein D2/PD2 für Zufallszeitreihen erst gar nicht bestimmt werden	Für Random- und FFT-Surrogate sollte sich die Vorhersagbarkeit verringern. Im Idealfall findet sich in Zufallszeitreihen keine exponentielle Divergenz, sondern eine völlige Nicht-Vorhersagbarkeit

Tabelle 13: Grobe schematische Einteilung der vorgestellten zeitreihenanalytischen Verfahren

Mit wenigen Ausnahmen lassen sich die vorgestellten zeitreihenanalytischen Methoden im Raster der Tabelle verorten. So betrachtet lassen sich zwei prinzipiell unterschiedliche Fragestellungen auf drei unterschiedliche Datensätze anwenden. Als Fragestellungen bieten sich im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zum einen Kennwerte zur Quantifizierung der Komplexität einer Dynamik und zum anderen Kennwerte zur Beschreibung der Prognostizierbarkeit eines Prozesses an. Die beiden Fragestellungen können sowohl für nominale Ereignisabfolgen als auch für die Einbettung von metrischen Zeitreihen im Phasenraum relativ elegant beantwortet werden. Für die Analyse metrischer Zeitreihendaten ohne Phasenraumeinbettung kann zur Not auch auf bestimmte Kennzeichen im Rahmen linearer Verfahren der Zeitreihenanalyse zurück gegriffen werden.

5. **Vergleich mit Zufallsprozessen.** Ein Teil der genannten Methoden verfügt über eine implizite Absicherung der Ergebnisse gegen Zufallsprozesse. So ergibt sich z.B. keine Sättigung des D2 bei wachsenden Einbettungsdimensionen, falls ein reiner Zufallsprozess in Hinblick auf seine Korrelationsdimension untersucht wird. Auch die Bestimmung einer exponentiellen Divergenz nahe benachbarter Trajektorien ist für Zufallsprozesse nicht möglich (dies gilt insbesondere für den Algorithmus von Rosenstein, Collins & De Luca 1993). Neben diesen „eingebauten“ Prüfalgorithmen, empfiehlt sich in der Regel ein zusätzlicher Test mit aus den zu untersuchenden Zeitreihen generierten Surrogaten. Die einfachste Möglichkeit besteht hier in der Randomisierung der Originalzeitreihe (Random-Surrogat). Komplexere Surrogatdatenverfahren erzeugen Surrogate, die ganz bestimmte Merkmale mit den Originaldaten gemeinsam haben andere aber nicht. Relativ aufwändig aber sehr informativ sind hier Surrogate, die aus der Fourier-Transformation der Originaldaten gewonnen werden. Die Surrogate beruhen auf dem gleichen Frequenzspektrum aber randomisierten Phasenwinkeln. Das Surrogat entspricht damit einem linearen stochastischen Modell, einer Nullhypothese, die es zurückzuweisen gilt, wenn es sich um einen chaotischen Prozess handeln soll.

Teil III: Analyse zweier Psychotherapien

9. Dynamik, Organisation und Komplexität in der Psychologie

Unabhängig von spezifischen Arbeitsgebieten und theoretischen Verpflichtungen sind es ganz bestimmte Merkmale psychischer Phänomene, die bei Praktikern und Wissenschaftlern gleichermaßen auf zunehmendes Interesse stoßen, nämlich Dynamik, Organisation und Komplexität (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 15).

Der Begriff „*Dynamik*“ meint dabei die prozessuale Verfasstheit vieler psychischer Phänomene, z.B. ätiologischer Verläufe (vgl. z.B. Ciompi & Müller 1976, Ciompi 1989; oder bereits Kraepelin 1909), therapeutischer Prozesse (vgl. z.B. Schiepek & Kowalik 1994, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Tschacher & Scheier 1995, Kowalik et al. 1997, Schiepek et al. 1997, Strunk 1998a, Tschacher, Scheier & Grawe 1998), Verlaufcharakteristika von Störungsbildern (von Zerssen 1987), von Kognitions-, Wahrnehmungs- und Emotionsprozessen (vgl. z.B. Ciompi 1982, Grawe 1986, 1988, Ciompi 1989, Stadler & Kruse 1990, Kruse et al. 1992, Grawe 1998) oder psychobiologischen Rhythmen (vgl. z.B. Mackey 1978, Mackey & an der Heiden 1982, an der Heiden & Mackey 1987, Mackey & Milton 1987, an der Heiden 1992a, 1992b, 1992c, 1993).

Die Dynamik psychischer Phänomene ist gekennzeichnet von organisierter Komplexität

Obwohl aber eine dynamische Perspektive auf psychische Phänomene darauf verweist, dass sich auf der Mikroebene menschlichen Verhaltens beständig Veränderungen ergeben, also alles mehr oder minder im Fluss ist, zeigen sich doch für viele Phänomene oft sehr klare raum-zeitliche Prozessgestalten und Muster bzw. sinnhafte Strukturen. Die Dynamik psychischer Phänomene ist in der Regel *organisierte* Dynamik. Dass auf individueller Ebene beobachtbare Prozesse der Wahrnehmung und kognitiven Verarbeitung äußerer, wie auch innerpsychischer Reize nach Gestaltbildungsgesetzen zu sinnvollen Strukturen und Mustern verdichtet werden, ist aus der Gestaltpsychologie seit Langem bekannt (vgl. z.B. Koffka 1922, Metzger 1953; vgl. auch Abbildung 117). In jüngerer Zeit konnten diese Ordnungsbildungsprozesse in ihrer Dynamik und ihren Abläufen näher verstanden werden (vgl. Stadler & Kruse 1990, Kruse et al. 1992). Aber nicht nur individuelles Wahrnehmen und Erleben sondern auch Prozesse der zwischenmenschlichen Beziehungsdynamik imponieren durch gestaltartige Strukturiertheit, aus der Perspektive des Teilnehmers ebenso wie aus der des Fremdbeobachters, subjektiv-phänomenologisch ebenso, wie vermittelt durch qualitative oder quantitative Datensätze (z.B. Schiepek 1993b, Mittelman & Strunk 1994, Schiepek & Kowalik 1994, Schiepek et al. 1995a, Manteufel & Schiepek 1998). Allerdings lässt sich die Strukturiertheit mancher quantitativer Datensätze (insbesondere Zeitsignale) nicht immer auf den ersten Blick erkennen: sie sehen oft irregulär-erratisch aus, obwohl eine dynamische Ordnung darin verborgen ist, nämlich die des deterministischen, makroskopischen Chaos (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 15).

Organisation und Komplexität sind komplementäre Merkmale der Muster des Lebendigen

Trotz aller Bemühungen Newtons Behauptung über die Einfachheit, der sich die Natur erfreut, auch auf biologische Systeme und hier im Besonderen auf den Menschen, dessen Verhalten, Erleben, Denken und Fühlen zu übertragen, ist es gerade der Aspekt der hochgradig komplexen Verfasstheit beobachtbarer raumzeitlicher Strukturen, der gewissermaßen als Komplementärbegriff zur Organisation an lebenden Systemen imponiert. Bereits äußere Erscheinungsformen lebender

Systeme, wie die geometrischen Strukturen von Färbungsmustern bei Tieren oder Blattformen, die Anordnungen von Ästen in der Botanik (vgl. Abbildung 118, S. 413), aber auch die Strukturen innerer Organe, wie z.B. die hochgradig komplexe Baumstruktur der Lunge oder die fraktale Struktur neuronaler Netze (vgl. Abbildung 119, S. 414) sind nur wenige vor allem räumlich orientierte Beispiele für hoch organisierte aber auch hoch komplexe *Muster des Lebendigen* (Deutsch 1994).

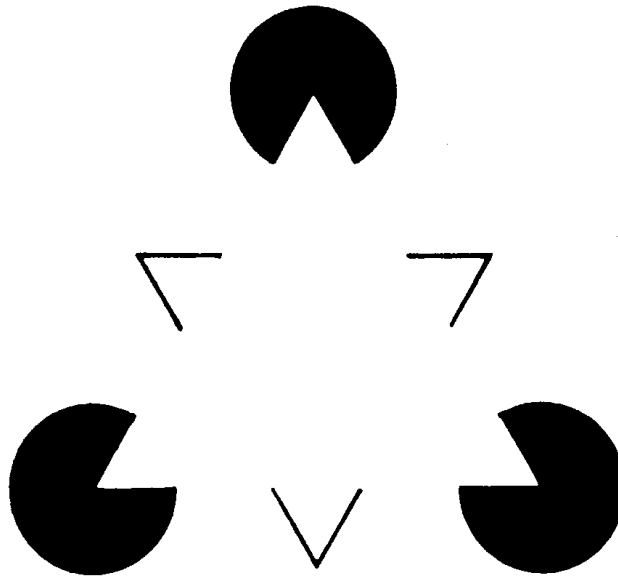


Abbildung 117: Wahrnehmung bedeutet aktive Gestaltbildung

Die Grenzen des in der Abbildung sichtbaren weißen Dreiecks werden deutlich wahrgenommen, obwohl sie „objektiv“ nur innerhalb der schwarzen Scheiben – und ein ganz winziges Stück an den Enden der Winkel – verlaufen. Wahrnehmung bedeutet die aktive Konstruktion einer geordneten und wohlstrukturierten „Wirklichkeit“. Diese Konstruktion folgt den Gestaltgesetzen (Abbildung aus: Metzger 1975, S. 7; vgl. auch Abbildung 20, S. 67 sowie Kaniza 1971, 1979).

Komplexität meint einerseits Informationsdichte und andererseits ein Vielfalt von Faktoren und Strukturen

Ähnlich erratische Ordnungsstrukturen finden sich aber auch im Verhalten von Menschen und Tieren. Insbesondere beim Menschen ist das Verhalten nur selten detailliert vorhersagbar. Es erscheint als komplexe raumzeitliche Gestalt, die jedoch im Gegensatz zu zufälligen Prozessen in geordnete Muster eingebettet ist, z.B. einer Biographie, einer Persönlichkeit oder bestimmten Charakterzügen folgend. Der Begriff der „Komplexität“ bezeichnet dabei einerseits die Informationsdichte (im Sinne von Nicht-Redundanz bzw. Nicht-Vorhersehbarkeit) diachroner und synchroner raum-zeitlicher Strukturen, und andererseits die Vielfalt an Faktoren und Prozessen, deren Zusammenwirken umgekehrt jedoch oft einfache, kohärente Muster erzeugt.

Das hochgradig unwahrscheinliche Phänomen organisierter Komplexität und der Vorgang der eigenständigen Herausbildung organisierter, strukturierter raum-zeitlicher Muster aus einem ursprünglich unstrukturierten, mit unzähligen Freiheitsgraden ausgestatteten Möglichkeitsraum, ist konsequenterweise Thema so unterschiedlicher Systemtheorien wie der Theorie *Selbstreferentieller Systeme* (z.B. Maturana 1982, Luhmann 1984, Maturana & Varela 1987) oder der Theorien Nicht-

linearer Dynamischer Systeme, zu denen auch die Synergetik (z.B. Haken 1985, 1990a, Haken & Wunderlin 1991) gehört.

Das Kernthema systemtheoretischer Perspektiven bildet der Übergang von ungeordneter zu organisierter Komplexität

Während es im Rahmen der Theorie Selbstreferentieller Systeme um die Frage geht, welche Operationen es einem lebenden, insbesondere sinnverarbeitenden System ermöglichen, sich angesichts einer überwältigenden, zunächst ungeordneten Umweltkomplexität zu konstituieren sowie Bestand und Struktur zu erhalten, geht die Synergetik von der Frage aus, wie die Vielzahl an Elementen in einem System, deren Freiheitsgrade, sich zu verhalten nahezu unbegrenzt sind, zu kohärentem Verhalten veranlasst werden kann. In beiden Fällen stellt sich damit – wenngleich in völlig unterschiedlichen Zusammenhängen – die Frage nach dem Übergang von ungeordneter zu organisierter Komplexität (vgl. ausführlicher S. 131ff.).

Die natürliche Evidenz von Dynamik, Organisation und Komplexität in verschiedenen Bereichen der Psychologie hat auch hier das Interesse geweckt, Theorien und Methoden zur Erfassung komplexer Systeme zu erproben. Die Voraussetzungen hierfür sind durchaus gegeben, denn bio-psycho-soziale Krankheits- bzw. Gesundheitsmodelle (vgl. S. 211ff.), multivariate und multifaktorielle Ansätze sowie interdisziplinäre Kooperation gehören bereits seit längerer Zeit zum Standard psychologischer Forschungsbemühungen (Schiepek & Strunk 1994, S. 16).

Damit sind systemwissenschaftliche Ansätze bereits impliziert, denn sobald die multifaktoriellen Vernetzungsstrukturen in bio-psycho-sozialen Systemen explizit herausgearbeitet und das Augenmerk auf die Dynamik der so definierten Systeme gerichtet wird, eröffnet sich die gesamte Vielfalt dynamischer Phänomene, wie sie durch die Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme beschrieben wird (periodische Rhythmen, komplexe periodische Strukturen, Chaos, Phasenübergänge etc.; vgl. auch Tabelle 3, S. 138). Beispiele für Systeme, die sich durch eine organisierte dynamische Komplexität auszeichnen, lassen sich im Bereich bio-psycho-sozialer Systeme relativ leicht anführen, so dass in den folgenden Abschnitten auf einige Aspekte eingegangen werden soll, die in den letzten Jahren verstärkt diskutiert wurden.

9.1 Biologisch-medizinische Phänomene organisierter Komplexität

Bereits einfache biologische Systeme imponieren durch Prozesse komplexer raumzeitlicher Ordnungsbildung. Strukturen von Pflanzen, wie z.B. die Anordnung und räumliche Orientierung von Ästen, Blättern und Blütenblättern ergeben sich aus einem komplexen Prozess der Selbstorganisation und entsprechen in ihrer Gestalt ästhetischen Prinzipien, wie dem des goldenen Schnitts (vgl. Richter & Dullin 1994). Auch die Kommunikation und raumzeitliche Ausbreitung von Informationen innerhalb von Zellverbänden lässt sich erst vor dem Hintergrund nichtlinearer dynamischer Modelle verstehen (Siegert & Steinbock 1994). Ähnliche Phänomene erklären Färbungsmuster von Tierfellen (Grahn et al. 1994), Strukturen von Bienenwaben (Camazine 1994) und Ähnliches mehr (vgl. Deutsch 1994).

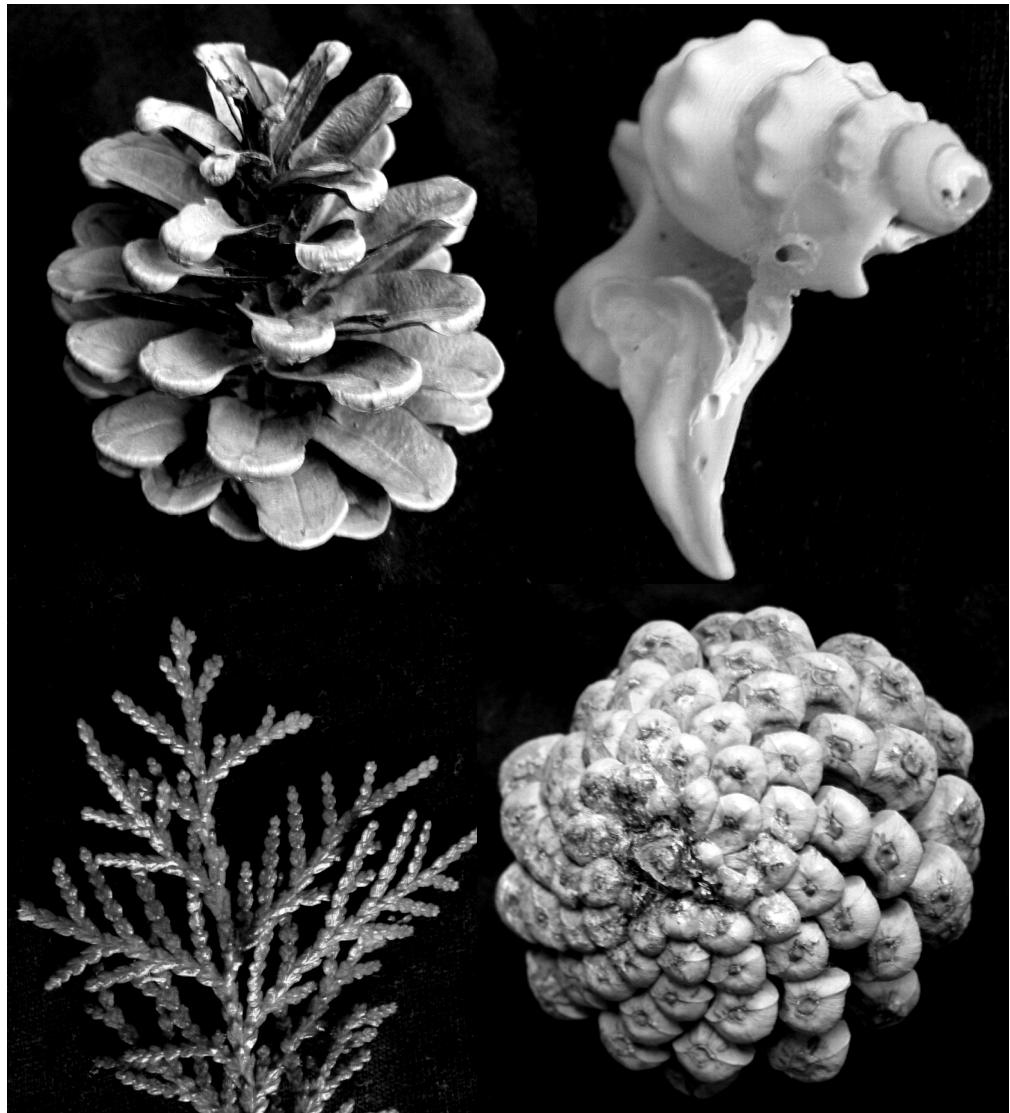


Abbildung 118: Muster des Lebendigen

Bereits einfache biologische Systeme imponieren durch Strukturen komplexer raum-zeitlicher Ordnungsbildung.

Mechanik vs. Selbstorganisation: Genetischer Code, verstanden als Blaupause des Lebens wäre wenig flexibel und anpassungsfähig

Entgegen weitverbreiteter Alltagsvorstellungen, die davon ausgehen, dass solche *Muster des Lebendigen* (Deutsch 1994; vgl. auch Abbildung 118 und Abbildung 119) über einen genetischen Code fest vorgegeben sind, lässt sich zeigen, dass die komplexe Musterbildung in lebenden Systemen keinesfalls als exakte Blaupause verstanden werden kann. Vielmehr legen genetische Faktoren die Konstruktion eines nichtlinearen dynamischen Systems nahe, welches dann erst in Wechselwirkung mit seiner Umwelt die beschriebenen komplexen Strukturen selbstorganisiert hervorbringt. Der genetische Code stellt damit eher die Voraussetzung für Selbstorganisation dar, als dass das Ergebnis dieser Selbstorganisation im Vorhinein detailliert festgelegt würde. Eine solche Strategie wäre tatsächlich auch viel zu anfällig für Veränderungen in den Umweltbedingungen. Ähnlich, wie ein mechanisches Spielzeug hilflos mit den Beinen strampelt, wenn es auf den Rücken gelegt wird, würde eine Blaupause des Lebens, bei geänderten Umweltbedingungen ins Leere laufen (vgl. S. 39ff. und Tabelle 5, S. 180).



Abbildung 119: Neuronale Netze – raum-zeitliche Strukturen

Höchst sinnvolle, sowie sinntragende aber ebenso erratische und komplexe Strukturen stellen Neuronenverbände dar. Die Abbildung zeigt einen Bereich der Hirnrinde, der durch Silberimprägnation sichtbar gemacht wurde (Abbildung aus: Kahle 1991, S. 31).

In Bezug auf Selbstorganisationsphänomene beim Menschen, sind es vor allem biologische und physiologische Systeme, deren Dynamik in den letzten Jahren einer detaillierten empirischen Analysen unterzogen wurde. Bevorzugt handelt es sich dabei um solche Systeme, deren dynamisches Verhalten apparativ relativ leicht erfasst werden kann oder durch häufig wiederholbare biochemische Messungen relativ gut zugänglich ist. Damit orientiert sich dieser Forschungszweig an Datensätzen, die durch die Anwendung von z.B. EEG (Elektroencephalographie) und MEG (Magnetenzephalographie) für neuronale Systeme, EKG für cardiovaskuläre Systeme oder höher-frequente Hormonbestimmungen für endokrine Systeme gewonnen werden.

Insbesondere die Konzeption des Korrelationsintegrals (vgl. Gleichung 59, S. 367) durch Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b) löste eine wahre Flut von Arbeiten aus, die auf die chaotische Prozessdynamik im menschlichen EEG verweisen (z.B. Mayer-Kress 1986, Babloyantz & Destexhe 1987, Babloyantz 1990, West 1990, Elbert & Rockstroh 1993). Die theoretische Argumentation, die die Hoffnung auf die Existenz von deterministischem Chaos im menschlichen Gehirn nährt, ist dabei relativ leicht nachzuvollziehen:

1. **Komplexes dissipatives System.** Beim menschlichen Gehirn handelt es sich um ein komplexes dissipatives System (vgl. ausführlicher ab S. 125ff.), welches aus Milliarden von Subsystemen, den Neuronen gebildet wird.
2. **Fähigkeit zur Selbstorganisation.** Komplexe dissipative Systeme, die zumindest theoretisch über nahezu unendlich viele Freiheitsgrade verfügen können, sind unter bestimmten Bedingungen in der Lage ein kohärentes niedrig-dimensionales Verhalten auszubilden, welches sich durch eine relativ geringe Anzahl von Freiheitsgraden charakterisieren lässt. Solche Vorgänge der Selbstorganisation in Vielteilchen-Systemen lassen sich am besten mit der von Hermann

Haken begründeten Synergetik (vgl. S. 131ff.) erklären. Die Nützlichkeit dieser Konzeption für die Beschreibung von Prozessen im menschlichen Gehirn wird z.B. von Kelso und Fuchs (1995) oder von Freeman (1999, 2000a, 2000b, 2001) betont.

3. **Niedrig-dimensionale Ordnung.** Phänomenologisch verweisen bereits die im EEG zu beobachtenden dominanten Rhythmen, wie z.B. die Alpha-Aktivität im Ruhe-EEG (vgl. Abbildung 120c) des wachen aber entspannten menschlichen Gehirns mit einer Frequenz von 8-13 Herz (weitere Wellentypen: Delta-Wellen mit 0,5 bis 4 Hz bei Tiefschlaf oder Bewusstlosigkeit, Theta-Wellen mit 4 bis 8 Hz bei leichtem Schlaf bzw. „Dösen“ und Beta-Wellen mit 13 bis ca. 30 Hz im angespannten Wachzustand. Vgl. auch Becker-Carus 1981, S. 122) auf ein kohärentes niedrig-dimensionales Verhalten.

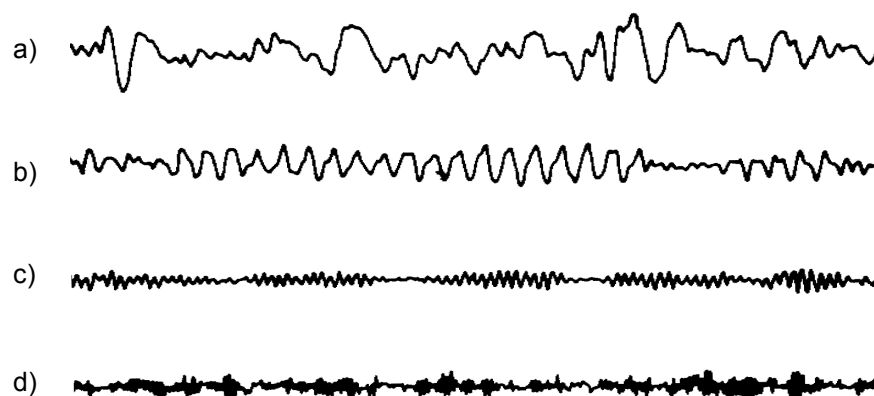


Abbildung 120: EEG-Ableitungen

Die Abbildung zeigt Beispiele unterschiedlicher neuronaler Aktivität, wie sie sich in EEG-Ableitungen zeigen. a) Delta-Wellen mit 0,5 bis 4 Hz bei Tiefschlaf oder Bewusstlosigkeit. b) Theta-Wellen mit 4 bis 8 Hz bei leichtem Schlaf bzw. „Dösen“. c) Alpha-Wellen mit 8 bis 13 Hz im entspannten Wachzustand. d) Beta-Wellen mit 13 bis ca. 30 Hz im angespannten Wachzustand (Abbildung aus: Becker-Carus 1981, S. 123).

4. **Niedrig-dimensionale Ordnung, ein arithmetisches Paradoxon des menschlichen Bewusstseins.** Auf eine ganz andere, psychologisch beobachtbare Form der Ordnungsbildung und Reduktion von Freiheitsgraden im menschlichen Gehirn hat der Physiker Erwin Schrödinger (1989/1958, S. 77ff) verwiesen. Die Einheit des Bewusstseins und die Einheit der Außenwelt stellten für ihn ein erstaunliches arithmetisches Paradoxon dar. So bildet sich das Bewusstsein auf der Grundlage von Milliarden von Neuronen. Dass ein solches System jeweils nur ein einziges Bewusstsein hervorbringt ist hochgradig erstaunlich. Bereits Descartes verweist auf die Einheit der Seele, der *res cogitans*, die daher nur dort mit der *res extensa* des Gehirns in Berührung kommen kann, wo dieses über eine nur einmal vorhandene Struktur verfügt (vgl. Hagner 1997, S. 25ff.). Insbesondere die Hirnhälften sind, da paarweise vorhanden, keine Strukturen, die es ermöglichen würden, die Einheit der Seele zu gewährleisten. Ebenso paradox erscheint die Tatsache, dass Menschen davon ausgehen, dass nur eine einzige reale Außenwelt existiert, obwohl diese erst in den Gehirnen der sie beobachtenden Menschen entsteht. Obwohl es also prinzipiell so viele Interpretationen der Außenwelt geben sollte, wie es Menschen gibt, und deren

Übereinstimmung nicht objektiv überprüft werden kann, gehen Menschen grundsätzlich davon aus, dass nur eine einzige reale, sie umgebende Welt existiert. In beiden Fällen, der Singularität des Bewusstseins, welches jedoch auf unzähligen Neuronen beruht und der Singularität der Wirklichkeit, die ihrerseits erst in der privaten Logik vieler Individuen entsteht, findet also eine enorme Reduktion der Freiheitsgrade statt. Die Bewahrung von Ordnung und Struktur, die sich an diesen Beispielen zeigt, sowie die damit einhergehende Grenzziehung zwischen dem beobachtenden Ich und der beobachteten äußeren Umwelt, ist damit die erstaunliche Leistung eines komplexen operational geschlossenen Systems.

5. **Komplexität und Chaos.** Auch wenn im EEG relativ klare dominierende Frequenzen identifiziert und in einem Zusammenhang mit der Aktivität des Gehirns gebracht werden können, sind diese Rhythmen keinesfalls einfach und in der Regel nicht periodisch (vgl. z.B. Sarbadhikari & Chakrabarty 2001). Die Abweichung von einer Periodizität sind jedoch nicht so groß, als dass sie einfach als Rauschen abgetan werden können, so dass es nahe liegt von der geordneten Komplexität des deterministischen Chaos auszugehen.
6. **Input-Sensibilität.** Chaotische Systeme sind gigantische Verstärker kleinster Verstörungen. Anders als Systeme mit einer regulären Dynamik (Fixpunkte, Grenzyklen oder Tori), sind chaotische Systeme daher in der Lage auf Verstörungen aus der Außenwelt zu reagieren. Diese Fähigkeit chaotischer Systeme scheint daher ein angemessenes Modell für die Informationsverarbeitung im Rahmen der menschlichen Wahrnehmung zu sein. Dass es sich dabei eben nicht um die einfache Datenspeicherung von Sinnesreizen handelt, die von der Umwelt ausgehend auf das Nervensystem einströmen, wird vor allem durch die Tatsache der operativen Schließung des menschlichen Nervensystems (vgl. Maturana 1982, Maturana & Varela 1987) und die Phänomene der Gestaltbildung in der Wahrnehmung und Informationsverarbeitung (vgl. Koffka 1922, Metzger 1953, Metzger 1975, Stadler & Kruse 1990, Kruse et al. 1992) gestützt.
7. **Verhaltensauswahl und Phasenübergänge.** Insbesondere die Synergetik betont die Rolle von Kontrollparametern in komplexen nichtlinearen Systemen, in deren Abhängigkeit ein System ganz unterschiedliche Verhaltensmuster ausbilden kann. Die Fähigkeit solcher Systeme über eine unglaublich große Anzahl von qualitativ unterschiedlichen Prozessmustern zu verfügen, macht diesen Ansatz besonders interessant für die Modellierung menschlichen Verhaltens im Allgemeinen und der Aktivität des menschlichen Gehirns im Besonderen. Insbesondere Freeman (1999, 2000a, 2000b, 2001) stützt sich in seiner theoretischen Konzeption der Gehirnaktivität auf diese Eigenschaft nichtlinearer dynamischer Systeme.

Derzeit ist unklar, ob deterministisches Chaos im menschlichen Gehirn überhaupt nachgewiesen werden kann

Obwohl diese Argumentation das Vorliegen einer chaotischen Dynamik im menschlichen EEG sehr wahrscheinlich erscheinen lässt sind in den letzten Jahren zunehmend Zweifel darüber aufgekommen, ob Chaos im menschlichen EEG überhaupt nachgewiesen werden kann (vgl. für einen Überblick Pritchard & Duke 1995, Faure & Korn 2001).

Obwohl seit Mitte der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts zunächst eine Art Chaoseuphorie vorzuherrschen schien, während der die Zahl der Arbeiten über die erfolgreiche Bestimmung der Korrelationsdimension von EEG-Daten sprunghaft zunimmt (vgl. z.B. Mayer-Kress 1986, Babloyantz & Destexhe 1987, Babloyantz

1990, West 1990, Elbert & Rockstroh 1993), mehren sich Mitte der 90er Jahre Stimmen, die zunächst auf methodische Mängel verweisen und im Rahmen der Anwendung verfeinerter statistischer Verfahren Zweifel an der Gültigkeit der Hypothese nichtlinearer chaotischer Prozesse im menschlichen EEG aufkommen lassen (vgl. z.B. Theiler 1995, Lerner 1996, Paluš 1996, 1999, Paluš et al. 1999, Brandt, Ademoglu & Pritchard 2000, Schreiber 2000).

Deterministisches Chaos lässt sich z.B. nachweisen während epileptischer Anfälle, in einzelnen Zellen und in isolierten Zellverbänden

Vor dem Hintergrund der derzeit vorliegenden Arbeiten kann davon ausgegangen werden, dass deterministisches Chaos im menschlichen Gehirn insbesondere während epileptischer Anfälle auftritt (z.B. Iasemidis et al. 1990, Iasemidis & Sackellares 1991, Theiler 1995, Casdagli et al. 1996, Iasemidis & Sackellares 1996, Lerner 1996, Casdagli et al. 1997, Schiff 1998, Jing & Takigawa 2000, Sackellares et al. 2000, Paluš et al. 2001, Slutzky, Cvitanovic & Mogul 2001, eher kritisch dazu Lai et al. 2002). Neben den Befunden aus der Epilepsie-Forschung können komplexe deterministische Prozesse, die nicht vollständig durch lineare Modelle erklärt werden können, für einzelne Zellen (z.B. Mpitsos et al. 1988, Faure & Korn 1997) und für isolierte Zellverbände (z.B. Chang et al. 1994, Schiff et al. 1994) nachgewiesen werden. Zudem haben einige Studien Phänomene der Synchronisation zwischen Neuronen aufgezeigt, die nur mit Hilfe nichtlinearer Erhebungsverfahren identifiziert werden können (z.B. Paluš et al. 2001). Im makroskopischen EEG lassen sich Merkmale nichtlinearer dynamischer Systeme jedoch nur unter ganz bestimmten Randbedingungen wie z.B. einem epileptischen Anfall identifizieren (vgl. So et al. 1998).

Ob eine chaotische Dynamik im EEG auch unter anderen Randbedingungen als der Epilepsie z.B. bei psychischen Störungsbildern (vgl. Koukkou et al. 1992, Elbert & Rockstroh 1993, Elbert et al. 1994) oder bei unterschiedlichen kognitiven Aufgaben (z.B. Babloyantz & Destexhe 1987) auftritt ist heute zumindest umstritten (vgl. auch Pritchard & Duke 1995, Faure & Korn 2001). Einigkeit herrscht jedoch darüber, dass im Ruhe-EEG (Alpha-Aktivität) keine chaotische Dynamik nachgewiesen werden kann, auch wenn sie auf der Ebene kleinerer Zellverbände durchaus vorliegen sollte. Inzwischen ist weitestgehend anerkannt, dass die blinde Anwendung von Methoden nichtlinearer dynamischer Systeme zu fehlerhaften Ergebnissen und Interpretationen führen kann. Insbesondere die relativ populäre Frage danach, ob ein Prozess nun eher Rauschen oder eher Chaos repräsentiert, ist in Bezug auf neuronale Muster falsch gestellt (Bhattacharya 2000). Chaos, Ordnung und Zufallsrauschen scheinen gleichermaßen Anteil an der Aktivität neuronaler Zellverbände zu besitzen und für deren Funktionieren auch gleichermaßen bedeutsam zu sein (Freeman 2000a).

Chaos spielt eine zentrale Rolle bei der Verarbeitung sensorischer Informationen

Den wohl stärksten und theoretisch am besten untermauerten Bezug zwischen Gehirnfunktion und EEG-Dynamik, stellen die Arbeiten von Freeman (Freeman & DiPrisco 1986, Skarda & Freeman 1987) zur Geruchswahrnehmung her (Dafilis, Liley & Cadusch 2001). Dabei geht Freeman davon aus, dass deterministisches Chaos eine zentrale Rolle bei der Verarbeitung sensorischer Informationen spielt. Nur chaotische Systeme sind in der Lage schnell auf sich verändernde Stimuli zu reagieren. Die vorliegenden empirischen und theoretischen Studien beschreiben den Vorgang des Erkennens eines äußeren Reizes als ein stimulus- und kontextabhängiges Kippen des Systems in einen chaotischen Attraktor, der dem jeweiligen Reiz zugeordnet ist. Dabei verändert sich das Bassin um den Attraktor

und auch der Attraktor selbst in Abhängigkeit von weiteren Lernerfahrungen. Wissen, wie es in solchen chaotischen Attraktoren kodiert ist, ist damit ständig im Fluss. Ähnlich wie eine neue Sichtweise auf ein Problem zum Überdenken und Hinterfragen sämtlicher bisher vorliegender Tatsachen führt, verändert sich die Potenziallandschaft, in der das Gehirn Wissen und Erfahrungen sammelt permanent (vgl. auch Freeman 2000a). Jeder neu gelernte Reiz erzeugt im Prozess des Lernens nicht nur einen neuen, ihm zugeordneten, chaotischen Attraktor und ein dem Attraktor umgrenzendes Bassin, er führt auch zu einer „Überarbeitung“ aller vorhergehenden Lernerfahrungen.

Der Ruhezustand der neuronalen Aktivität ist gekennzeichnet von chaotisch dominiertem Rauschen

Die leicht überprüfbare Tatsache, dass Menschen z.B. einen Geruch wahrnehmen, noch bevor sie Zeit gehabt haben über diese Wahrnehmung zu reflektieren, zeigt wie schnell das Gehirn äußere Reize verarbeitet. Ein Reiz wird unwillkürlich bereits wahrgenommen, noch bevor die bewusste Wahrnehmung den Aufmerksamkeitsfokus darauf lenkt (Dafilis, Liley & Cadusch 2001). Dies ist ein Hinweis darauf, dass das Gehirn in der Lage ist sowohl extrem schnell als auch verlässlich und ohne große Anstrengung zwischen verschiedenen Attraktoren zu wechseln. Freeman (2000a) betont in diesem Zusammenhang, dass das Gehirn in Abhängigkeit von äußeren Anregungen entweder einen bestehenden Attraktor auswählt oder die Ausbildung eines neuen anregt. Um hier entsprechend schnell und zuverlässig zu reagieren ist die neuronale Aktivität des Ruhezustandes gekennzeichnet von einem *chaotisch dominierten Rauschen* (vgl. Freeman 2000a), welches das System so lange in der Schwebelage hält, bis äußere oder auch innere Reize erneut das schnelle Aufsuchen oder Ausbilden eines Attraktors anfordern.

Wenn nun bedacht wird, dass eine einzelne EEG-Elektrode Daten einer Fläche von rund 6 cm² der Gehirnoberfläche und damit Signale von Millionen von Neuronen erfasst (Dafilis, Liley & Cadusch 2001), dann wird verständlich, dass die Mischung aus chaotisch dominiertem Rauschen (Freeman 2000a) und häufig wechselnder chaotischer Attraktoren dazu führen muss, dass mit dem derzeitigen Methodeninventar kein klar erkennbarer chaotischer Attraktor im wachen Ruhezustand (Alpha-Rhythmus) des EEG gefunden werden kann. Die Liste der Gründe für das Scheitern des Nachweises von Chaos im Ruhe-EEG umfasst neben konzeptionell-theoretischen Einwänden auch Hinweise auf methodische Grenzen der eingesetzten zeitreihenanalytischen Methoden. Der folgende Überblick fasst einige der Argumente zusammen:

1. **Fehlende Stationarität der Daten.** Anders als bei der EEG-Analyse, bei der immer ein Gemisch unzähliger Neuronen gleichzeitig erfasst wird, gelingt es im Tierversuch auch Daten einzelner Zellen in vivo abzuleiten (z.B. Faure & Korn 1997). Hier zeigt sich dann, dass das vielfach als synaptisches Rauschen bezeichnete Schwanken im Membranpotenzial von Neuronen ein nichtstationärer deterministischer Prozess ist, in dem eine Mischung von periodischen und chaotischen Phasen nachgewiesen werden kann (Faure & Korn 1997). Das Signal verändert also beständig sein dynamisches Muster, indem es schnell nacheinander verschiedene Attraktoren durchläuft. Ein solches Verhalten scheint dafür verantwortlich zu sein, dass einfache stationäre Verfahren wie das Korrelationsintegral nicht in der Lage sind eindeutige Belege für chaotische Prozesse in einer neuronalen Dynamik zu erbringen. Insbesondere die frühen Arbeiten (z.B. Mayer-Kress 1986, Babloyantz & Destexhe 1987, Babloyantz 1990, West 1990), über den Nachweis niedrig-dimensionalen Chaos im EEG, gehen fälsch-

licher Weise davon aus, dass sich die Dynamik der erhobenen Signale im Laufe der Zeit nicht ändert. In diesem Sinne verweist Pritchard (1995) darauf, dass jeweils nur kurze Episoden eines EEG-Signals analysiert werden dürfen um Probleme der Nicht-Stationarität nicht zu vergrößern. Kurze Zeitreihen erschweren jedoch die Berechnung des Korrelationsintegrals oder die Bestimmung von Lyapunov-Exponenten (vgl. S. 370ff. und S. 384ff.). Erste Zweifel an der Gültigkeit der Befunde, die niedrig-dimensionales Chaos im EEG nachweisen, kamen auf, als sich zeigte, dass die Dimensionalität mit der Länge der untersuchten Zeitreihen zunimmt (vgl. Pritchard & Duke 1995). Ein solches Verhalten verweist entweder auf die nichtstationäre Überlagerung verschiedener Attraktoren oder auf Zufallsrauschen.

Auch die Entwicklung nichtstationärer Analysemethoden (vgl. S. 372ff. und S. 389ff.) hilft in diesem Zusammenhang nicht weiter. Die Möglichkeit Veränderungsprozesse sichtbar zu machen kann nur auf Kosten der Reliabilität der Berechnungen erkaufte werden und ermöglicht eben nicht mehr die Kennzeichnung der gesamten Dynamik als eindeutig deterministisch chaotisch. Alle diese Faktoren zeigen, dass die Berechnung der fraktalen Dimensionalität mit Hilfe des von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b) vorgeschlagenen Algorithmus bei EEG-Datensätzen keine Schätzung der Dimensionalität im mathematischen Sinne ergeben kann. Inzwischen gehen relativ viele Autoren (für einen kurzen Überblick Pritchard & Duke 1995) davon aus, dass das Korrelationsintegral für einen Vergleich verschiedener, unter experimentellen Bedingungen gewonnener, Datensätze gut geeignet ist. Eine Entscheidung über das Vorliegen von deterministischem Chaos kann jedoch mit Hilfe dieses Verfahrens, nicht erzielt werden. In diesem Sinne kann das Ergebnis einer D2-Berechnung nicht mehr als Korrelationsdimension interpretiert werden, sondern wird heute in der EEG-Anwendung durchgängig nur mehr als Kennwert zur Bemessung der Komplexität einer Dynamik genutzt (Pritchard & Theiler 1994, Pritchard & Duke 1995). Ob aber ein EEG-Datensatz eine fraktale Dimensionalität aufweist kann aus dieser Perspektive nicht mehr eindeutig festgestellt werden.

2. **Theoretische Gründe für eine fehlende Stationarität.** Aus methodischer Sicht kann die Verletzung der Stationarität eines Datensatzes als ärgerliches Artefakt interpretiert werden. Eine Interpretation, der die Hoffnung zu Grunde liegt, mit aufwändigeren Erhebungsmethoden genügend stationäre Daten zu erhalten (z.B. höhere zeitliche Auflösung). Aus theoretischer Sicht ist die Nichtstationarität der Dynamik des menschlichen Gehirns weniger ein Ärgernis, als viel mehr eine Notwendigkeit. Das flexible Reagieren auf sich schnell verändernde innere und äußere Zustände ist eine der hervorstechenden Eigenschaften des menschlichen Geistes. Wenn sich nichtstationäre Phasenübergänge bereits im Membranpotenzial einer einzelnen Synapse nachweisen lassen (Faure & Korn 1997), so ist es relativ unwahrscheinlich, in ganzen Zellverbänden, wie sie im EEG erfasst werden, eine einfache einheitliche Struktur zu finden. Die Wahrscheinlichkeit erhöht sich nur dann, wenn das Gehirn z.B. im Rahmen einer pathologischen Dysfunktion in das Regime eines einfachen stabilen Musters gezwungen wird, wie das z.B. bei einem epileptischen Anfall der Fall ist (z.B. Iasemidis et al. 1990, Iasemidis & Sackellares 1991, Theiler 1995, Casdagli et al. 1996, Iasemidis & Sackellares 1996, Lerner 1996, Casdagli et al. 1997, Schiff 1998, Jing & Takigawa 2000, Sackellares et al. 2000, Paluš et al. 2001, Slutzky, Cvitanovic & Mogul 2001).
3. **$1/f^x$ -Rauschen.** Wie oben bereits ausführlich dargestellt (vgl. S. 366ff.), gelingt die Unterscheidung zwischen deterministischen und stochastischen Systeme

men im Rahmen des von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b) vorgeschlagenen Algorithmus durch die Feststellung einer Sättigung der D2-Werte bei wachsender Einbettungsdimension. Bestimmte stochastische Systeme führen jedoch ebenfalls zu einer Sättigung des D2, obwohl sie keine deterministischen Prozesse generieren. Dies gilt insbesondere für eine Dynamik, die sich durch so genanntes farbiges Rauschen auszeichnet (Osborne & Provenzale 1989). Es handelt sich dabei um einen linear-stochastischen Prozess, der im Frequenzspektrum (vgl. S. 348ff.) an seinem exponentiell abfallenden Spektralband erkannt werden kann. Die Spektraldichte folgt dabei der Form $1/f^x$, wobei sich eine irreführende Sättigung des D2 bei $2/(x - 1)$ ergibt (Pritchard & Duke 1995). In diesem Sinne kann dann aber das Vorliegen einer Sättigung des D2 nicht mehr als eindeutiger Beleg für eine deterministische Dynamik gewertet werden.

4. **Nichtlinear deterministisch vs. linear stochastisch – Methoden der Surrogatdatentestung.** Die genannten Grenzen des D2-Verfahrens führen allgemein zu der Frage wie die damit ermittelten Ergebnisse auf ihre Reliabilität hin überprüft werden können. Erst durch den Einsatz aufwändiger Surrogatdatenverfahren (vgl. z.B. Small & Judd 1998, Schreiber & Schmitz 2000) konnte die Diskussion über das Vorliegen einer chaotischen Dynamik im menschlichen EEG auf eine solide Basis gestellt werden. Während einfache Surrogatdatenverfahren die Datensätze durcheinander würfeln und damit jegliche dynamische Ordnung zerstören, lassen sich durch neuere Surrogatdatenverfahren ganz spezifische Hypothesen über ausgewählte Charakteristika der zu untersuchenden Dynamik prüfen. In diesem Sinne lässt sich mit einem randomisierten Datensatz, im Vergleich zum nicht randomisierten, zeigen, ob eine dynamische Ordnung überhaupt vorliegt. Welcher Art diese Ordnung ist bleibt jedoch offen. Wenn aber bereits die Ordnung eines $1/f^x$ -Spektrums genügt, um zu einer Sättigung des D2 zu führen, so kann ein solcher Test als relativ zahnlos eingeschätzt werden. Ob es sich bei einer Dynamik um einen Prozess handelt, der durch ein nichtlineares System erzeugt wird, lässt sich jedoch testen, indem ein Surrogat erzeugt wird, welches zwar das gleiche Frequenzspektrum wie die fragliche Dynamik aufweist aber ansonsten stochastisch ist (vgl. dazu ausführlicher Abbildung 99, S. 352 und die dort angeführten Erläuterungen). Ein solches Surrogat entspricht der Dynamik eines linear-stochastischen Systems. Mit Hilfe solcher Surrogatdatentests wurden von Stepien (2002) insgesamt 336 EEG-Datensätze von 21 Versuchspersonen auf das Vorliegen von Nichtlinearität hin untersucht. Nur 5% der Datensätze unterscheiden sich signifikant von einem linear-stochastischen Prozess. Für die erneute Analyse von Datensätzen, die bereits von Paluš, Dvořák und David (1991) mit Hilfe des Korrelationsintegrals untersucht wurden (sie hatten ein D2 von 5,8 ermittelt) ergaben sich zwar signifikante aber nur geringfügige und praktisch nicht bedeutsame Unterschiede zwischen linear-stochastischen Surrogaten und den EEG-Signalen (Pritchard & Theiler 1994). Es sind diese und ähnliche Ergebnisse der letzten Jahre, die die Zweifel am Vorliegen von niedrig-dimensionalem Chaos im EEG auf empirischer Seite stärken.
5. **Rauschen durch Überlagerungen von Signalen.** Theoretische Gründe für das Fehlen einer einfachen Ordnung im EEG werden im Wesentlichen durch zwei Überlagerungshypothesen angeführt: Zunächst kommt es im Gehirn im zeitlichen Verlauf unweigerlich zu einander schnell ablösenden Phasenübergängen.

Ein einziger EEG-Datensatz repräsentiert damit eine Überlagerung verschiedener Attraktoren und kann daher nicht mit stationären Methoden untersucht werden (siehe oben unter 2.). Neben diesen zeitlichen Interferenzen werden im EEG auch Daten räumlich benachbarter Neuronen zusammengefasst. Das EEG weist damit auch eine räumliche Überlagerung neuronaler Prozesse auf. Wenn man bedenkt, dass eine einzige EEG-Ableitung ein Summenpotenzial von rund einer Million Neuronen (Dafilis, Liley & Cadusch 2001) erfasst, so scheint es doch recht unwahrscheinlich, hierin ein einfaches niedrig-dimensionales Muster deutlich erkennen zu können.

6. **Frei schwebendes chaotisches Rauschen.** Insbesondere Freeman (2000a) betont, dass das Gehirn im wachen Ruhezustand eine Form frei schwebender Aufmerksamkeit realisiert, indem es ein Verhalten zeigt, welches am ehesten als *stochastische Chaotizität* (bzw. *chaotisch dominiertes Rauschen*) beschrieben werden kann. Erst in Abhängigkeit von äußeren und inneren Reizen, kippt das System entweder blitzschnell in einen bereits bestehenden Attraktor oder bildet einen neuen aus. Beide, neuer und alter Attraktor, werden jedoch schnell – um offen zu bleiben für laufend eintreffende neue Eindrücke – wieder zu Gunsten einer frei schwebenden Aufmerksamkeit aufgegeben. Im wachen Gehirn herrscht also ein beständiger Wechsel zwischen Attraktoren und dem chaotisch dominierten Rauschen (Freeman 2000a), der frei schwebenden Aufmerksamkeit, vor. In dem Maße, in dem dieses Verhalten geordnete bzw. ordnende Flexibilität repräsentiert, ist es als deterministisches Chaos aufzufassen und wird am treffendsten von der Synergetik beschrieben. Es bedeutet die schlagartige Ordnungsbildung eines Systems, welches prinzipiell über unüberschaubar viele Freiheitsgrade verfügt. Andererseits wird dieses System durch nicht vorhersagbare äußere und innere Reize getriggert. In diesem Sinne ist es zwangsläufig dort stochastisch, wo es auf stochastische äußere und innere Reize reagiert. Da zudem z.B. durch Veränderungen an den Synapsen und Axonen der Neurone beständig neue Attraktoren gebildet werden, also sich auch die Systemstruktur permanent ändert, wird die neuronale Aktivität nur selten durch stabile, zeitlich überdauernde Attraktoren bestimmt. Es sind aber eben solche zeitlich stabilen Attraktoren, die nötig wären, um eine einfache deterministische Ordnung in der neuronalen Aktivität überhaupt identifizieren zu können.

Komplexität kann als Merkmal der Bewusstseinsfähigkeit des menschlichen Gehirns interpretiert werden

Die bisher vorliegenden Befunde weisen in die Richtung, dass die neuronale Aktivität im menschlichen Gehirn zwar als chaotisch angenommen werden sollte, aus verschiedenen Gründen jedoch weit komplexer ausfällt, als dass sie sich als einfaches niedrig-dimensionales Chaos reliabel feststellen ließe. Insbesondere die Arbeiten von Freeman (z.B. 1986, 1999, 2000a, 2000b, 2001) zeigen, dass diese enorme Komplexität der Prozesse durch eine beständige Adaptation und Anpassung an sich verändernde äußere und innere Stimuli hervorgerufen wird. Nach Meinung einiger Autoren (z.B. Fell, Fernández & Elger 2003), ist die beobachtbare Komplexität eine wichtige und notwendige Grundlage für die Bewusstseinsfähigkeit des menschlichen Geistes. Auch empirische Belege zeigen, dass die Komplexität und die Chaotizität von EEG-Datensätzen bei Zuständen, die mit einem geringen Bewusstseinsgrad verbunden sind, geringer ausfällt. Sowohl im Tiefschlaf, während einer Narkose und während epileptischer Anfälle ist die Komplexität des EEG vermindert (Fell, Fernández & Elger 2003).

Deterministisches Chaos zeigt sich während epileptischer Anfälle

Es sind insbesondere die Studien über epileptische Anfälle, die auch bei Anwendung aufwändiger Surrogatdatentestungen Merkmale nichtlinearer deterministisch chaotischer Prozesse erkennen lassen (Casdagli et al. 1996, Casdagli et al. 1997). Hinweise auf mögliche praktische Anwendungen ergeben sich zudem durch Analysen, die zeigen können, dass epileptische Anfälle durch Verringerungen in den Lyapunov-Exponenten, bereits fünf Minuten vor dem eigentlichen Anfall vorhergesagt werden können (Iasemidis et al. 1990, Iasemidis & Sackellares 1991). Zudem kommt es zu einer Verringerung der Komplexität sowohl vor (z.B. Iasemidis et al. 1990, Iasemidis & Sackellares 1991, Iasemidis & Sackellares 1996, Sackellares et al. 2000), als auch während eines epileptischen Anfalls (z.B. Babloyantz & Destexhe 1986).

Häufig lassen sich praktikable Ergebnisse auch durch einfache lineare Modelle erzielen

Ob aber nichtlineare Methoden tatsächlich bessere Kennwerte für die Vorhersage epileptischer Anfälle liefern als weitaus einfacher zu handhabende lineare Verfahren, ist umstritten. Lerner (1996) verzichtet bei der Bestimmung der Komplexität der Datensätze auf die vollständige Berechnung des Korrelationsintegrals nach Gleichung 57 (S. 366), indem $C(l)$ nur für ein bestimmtes, festgelegtes l ermittelt wird. Obwohl dieses Verfahren, welches als *Correlation Density* bezeichnet wird, in der Lage ist, signifikante Unterschiede in der Komplexität des EEG vor und während eines epileptischen Anfalls deutlich abzubilden, lässt sich zeigen, dass ähnlich gute Ergebnisse auch über lineare Verfahren erzielt werden können. Hier genügt es, die Varianz der Daten zu bestimmen, um zu eben so guten Vorhersagen zu gelangen (McSharry, Smith & Tarassenko 2003). Ob aber die Veränderung der Varianz auch in der Lage ist gegenüber einem vollständig berechneten Korrelationsintegral bzw. Veränderungen in den Lyapunov-Exponenten zu bestehen, darf bezweifelt werden.

Mit Hilfe von mathematischen Systemmodellen lassen sich epileptische Anfälle simulieren

Neben den empirischen Analysen von Zeitreihendaten existieren inzwischen auch mathematische Modelle für die der Epilepsie wahrscheinlich zu Grunde liegenden Systeme. So erklären einfache mathematische Systemmodelle die Epilepsie-Entstehung auf der Basis Penizillin-induzierter GABA-Rezeptoren-Blockaden (Mackey & an der Heiden 1982). Ausgehend von Experimenten mit Katzen, bei denen durch die Applikation von Penizillin ins Hirngewebe epileptische Anfälle ausgelöst werden, wurde ein mathematisches Modell einfacher Neuronenverbände des Hippocampus (vgl. die folgende Abbildung 121) formuliert. Das Modell berücksichtigt die Penizillin-Konzentration als Kontrollparameter, welcher vornehmlich die inhibitorische Wirkung der Gamma-Aminobuttersäure (GABA) beeinflusst. In Abhängigkeit von der Penizillin-Konzentration zeigen sich Phasenübergänge im Feuerungsmuster der Pyramidenzellen die im Wesentlichen mit den empirischen Befunden zur Epilepsie-Entstehung übereinstimmen (vgl. an der Heiden 1999).

Auch in Bezug auf das kardiovaskuläre System konnten Methoden der Dimensionalitätsanalyse überraschende Ergebnisse liefern. So ließ sich z.B. zeigen, dass der gesunde Herzrhythmus niemals wirklich periodisch ist. Chaotische Schwankungen im Herzrhythmus sind ein Zeichen von Gesundheit (Goldberger 1987, West 1990, Bettermann & van Leeuwen 1992). Über die Bestimmung der Dimensionalität und anderer nicht-linearer Merkmale von EKG-Signalen konnten treffsichere Prognosen über den letalen Ausgang von Herzinsuffizienzen (Arterienverschluss) vorgenommen werden (Skinner et al. 1990). Interessant sind in diesem Zusammenhang Untersuchungen zur Komplexität von EKG-Signalen während des Schlafs.

Hier zeigt sich, dass während der durch REM-Aktivität ausgezeichneten Traumphasen die Chaotizität des EKG ansteigt, was als gesteigerte Herzraten-Variabilität interpretiert werden kann (gemessen über den dominanten Lyapunov-Exponenten). Auf der anderen Seite geht aber die Komplexität (erfasst über das D2) des EKG-Signals zurück, was auf einen in Traumphasen reduzierten Einfluss der Atemtätigkeit beruhen könnte (vgl. Fell et al. 2000). Ähnlich, wie die Herzrhythmik, sind auch andere chronobiologische Muster erst vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme verstehbar (vgl. z.B Saunders 1977, Hess & Boiteux 1980, Babloyantz 1990, Are'chiga 1993).

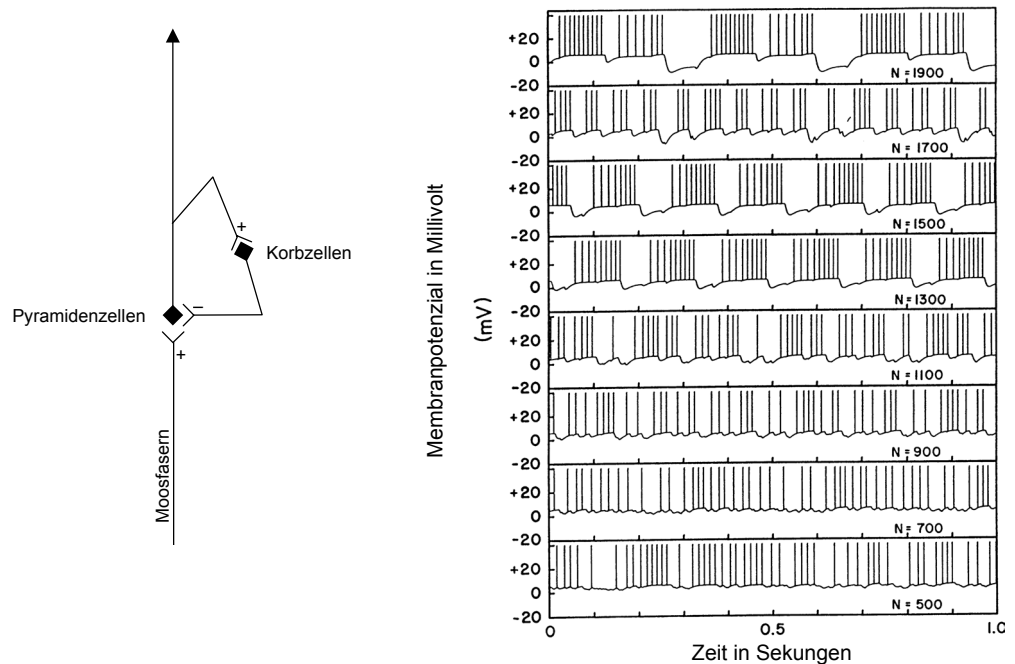


Abbildung 121: Epilepsie-Entstehung auf der Basis Penicillin-induzierter GABA-Rezeptoren-Blockaden

Das Schema links zeigt die zirkuläre Verschaltung der Pyramiden- und Korbzellen im Hippocampus. Die (von Moosfasern aktivierten) Pyramidenzellen erregen (+) die Korbzellen, die ihrerseits die Pyramidenzellen hemmen (-). Die Diagramme rechts geben die Antworten dieses Systems beziehungsweise des entsprechenden mathematischen Modells wieder, wenn man unterschiedlich hohe Dosen von Penicillin auf das Zellnetzwerk aufbringt. Dargestellt ist jeweils die zeitliche Entwicklung des Membranpotenzials (durchgezogene Linie) der Pyramidenzellen und das resultierende Nervenimpulsmuster. Von Bildstreifen zu Bildstreifen nimmt die Penicillinkonzentration in Stufen zu, wodurch mehr und mehr GABA-Rezeptoren blockiert werden. N gibt jeweils die Zahl der unblockierten Rezeptoren an. Bei niedrigen Penicillinkonzentrationen (obere Bildstreifen) ergeben sich periodische Muster mit einer relativ geringen durchschnittlichen Impulsfrequenz; das Muster pro Periode sieht für verschiedene (bei jedem Teilbild aber konstant gehaltene) Konzentrationen unterschiedlich aus. Bei höheren Penicillinkonzentrationen treten schließlich Oszillationen des Membranpotenzials auf, die nicht mehr periodisch sind, und die durchschnittliche Impulsfrequenz ist deutlich erhöht (Mackey & an der Heiden 1982; Abbildung nach an der Heiden 1992b, S. 144, zitiert nach Schiepek & Strunk 1994, S. 89).

Im Bereich der Endokrinologie gelang es, Veränderungen der Parathormon-Sekretionsschwankungen (PTH) als eine wesentliche Bedingung für das Auftreten der Knochen-Stoffwechselerkrankung Osteoporose zu identifizieren. Eine reduzierte und möglicherweise auch qualitativ veränderte Dynamik der Hormonausschüttung degeneriert die fraktale und damit relativ bruch sichere trabekuläre Knochenstruktur und führt zu einem für die Osteoporose typischen Verlust an Knochenmasse

und -struktur (vgl. Harms et al. 1992, Prank & Hesch 1993, für eine Kurzdarstellung Schiepek & Strunk 1994, S. 50f.). Auch im Bereich der Endokrinologie liegen Simulationsmodelle vor, so z.B. zur Hormonregulation von CRH (Corticotropin-Releasing-Hormon), ACTH (adrenocorticotropes Hormon) und Cortisol im Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System (an der Heiden 1992a, 1992c, 1993).

Auf einer makroskopischen Ebene sind es die analytische und die interpretative Epidemiologie, die sich mit organisierter Komplexität in einem aus einer großen Zahl von Individuen und einer großen Zahl von Einflussfaktoren bestehenden System befassen (Schiepek & Tschacher 1992). Es gilt, die Bedingungen für die Ungleichverteilung psychischer aber auch medizinischer Beeinträchtigungen in einem mehrdimensionalen Raum möglicher Einflussfaktoren zu eruieren und zu erklären. Derartige Ungleichverteilungen beziehen sich bekanntermaßen nicht nur auf die soziale Schichtung, Familienverhältnisse, Wohngegenden, biopsychische Belastungsfaktoren, Lebensalter und Ähnliches, sondern auch auf zeitliche Entwicklungen die zu grundlegenden gesellschaftlichen Veränderungsprozessen führen können (vgl. hierzu auch S. 211ff.). Erste empirische Arbeiten zu chaotischen Prozessen in der Epidemiologie liefern Hinweise auf die komplexe Verfasstheit der beteiligten Prozesse (z.B. Olsen, Truty & Schaffer 1988, Olsen & Schaffer 1990).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Phänomene organisierter Komplexität, wie sie im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme konzeptualisiert werden, auf verschiedenen Ebenen biologischer Systeme festgestellt werden können. Eine besondere Bedeutung kommt hier der neurobiologischen Forschung über die Dynamik neuronaler Prozesse zu. In dem Maße, in dem neuronale Prozesse die Grundlage psychischer Funktionen bilden, ist es auch für die Psychologie und ihre methodische sowie theoretische Ausrichtung von Bedeutung, ob diese Prozesse sich z.B. über einfache mechanistische Modelle erklären lassen. Dies scheint eindeutig nicht der Fall zu sein.

Aber auch aus einer methodischen Perspektive sind die vorgestellten Untersuchungen von Bedeutung: während in der Psychologie erst in den letzten Jahren zeitreihenanalytische Studien vorgelegt werden konnten (z.B. Schiepek et al. 1997), haben die Arbeiten im Bereich neuronaler Prozesse bereits zu ersten Adaptationen der zu Grunde liegenden theoretischen Modelle und methodischen Instrumente geführt.

9.2 Psychische Phänomene organisierter Komplexität

Neben medizinischen und biologischen Untersuchungen zeigen sich Phänomene organisierter Komplexität auch in genuin psychologischen Forschungsfeldern, wie z.B. der Wahrnehmungsforschung der kognitiven Psychologie und der Psychologie des Lernens. Obwohl hier nicht alle in diesem Zusammenhang diskutierten Ansätze dargestellt werden können, sollen doch einige wesentliche Merkmale herausgearbeitet und in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden. Insgesamt scheinen die vorliegenden Befunde der Grundlagenforschung auch für die Konzeption psychotherapeutischer Prozesse von Bedeutung zu sein. Diese Überlegungen, die in Kapitel 9.3 ab Seite 468ff. zusammengeführt werden, münden dann in weiterer Folge in eine empirisch Untersuchung, deren Ziel es ist, die komplexe, auf Selbstorganisation beruhende Verfasstheit psychotherapeutischer Prozesse beispielhaft zu belegen.

9.2.1 Wahrnehmung

Selbst Pflanzen realisieren hoch komplexe raum-zeitliche Strukturen organisierter Komplexität. Dabei ist die Anordnung von Ästen, Blätter und Blütenblättern keinesfalls zufällig. Sie scheint vielmehr bestimmten, aber nicht leicht zu enträtseln, Regeln zu folgen. Es handelt sich dabei um Erzeugungsvorschriften, die, obwohl in ihrer Grundstruktur nicht notwendiger Weise kompliziert, zu hoch komplexen Strukturen führen und somit nicht mehr mit Hilfe der klassischen euklidischen Geometrie beschrieben werden können. Dass eine „einfache“ euklidische Geometrie nicht mehr ausreicht, um die Struktur von solchen Fraktalen adäquat zu erfassen, wurde bereits ausführlich diskutiert (vgl. S. 143ff.). Mandelbrot (z.B. 1987) stellt den klaren, sauberen und linearen Objekten der klassischen Geometrie einen vollkommen neuen Zweig der Mathematik, den der fraktalen Geometrie, gegenüber. Die mathematische Behandlung dieser Fraktale ist dann jedoch weit aus aufwändiger, als das Ausmessen der Länge einer idealen Gerade. Allein die Berechnung eines relativ simplen mathematischen Fraktals (wie in Abbildung 122) kann auch moderne Computer eine ganze Weile beschäftigen. Noch einmal aufwändiger ist dann der umgekehrte Fall, nämlich die Prüfung, ob es sich bei einem gegebenen Objekt um eine zufällige oder um eine geordnete Struktur handelt. Die Berechnung z.B. eines Korrelationsintegrals (vgl. S. 366ff.) kann – je nach Länge der zu untersuchenden Zeitreihe – schon mal einige Stunde dauern.

Dem menschlichen Wahrnehmungsapparat gelingt die Identifikation geordneter Strukturen ohne große Mühe

Was einen Computer relativ lange beschäftigen kann und dabei nicht einmal immer gelingt – nämlich die Identifikation der in einer komplexen Struktur verborgenen Ordnung – bewältigen Menschen anscheinend mühelos, schnell und zuverlässig. Im Bereich traditioneller psychologischer Forschungsfelder ist das Phänomen der Mustererkennung, deren Dynamik, Organisiertheit und Komplexität, immer schon als wesentliches Merkmal menschlicher Wahrnehmung hervorgehoben worden. Es waren die Gestaltpsychologen, die erstmals systematisch aufzeigten, wie Menschen ihre komplexe Umwelt wahrnehmen und dabei unwillkürlich,

d.h. ohne bewusste Steuerung, Strukturen und hoch komplexe Muster erkennen. Aber auch die Frage danach, ob es sich bei dem Prozess der Wahrnehmung, um einen Akt des Erkennens oder um einen Akt des *Erfindens* von Ordnung handelt, wird innerhalb der akademischen Psychologie erstmals durch die Gestaltpsychologie angesprochen.

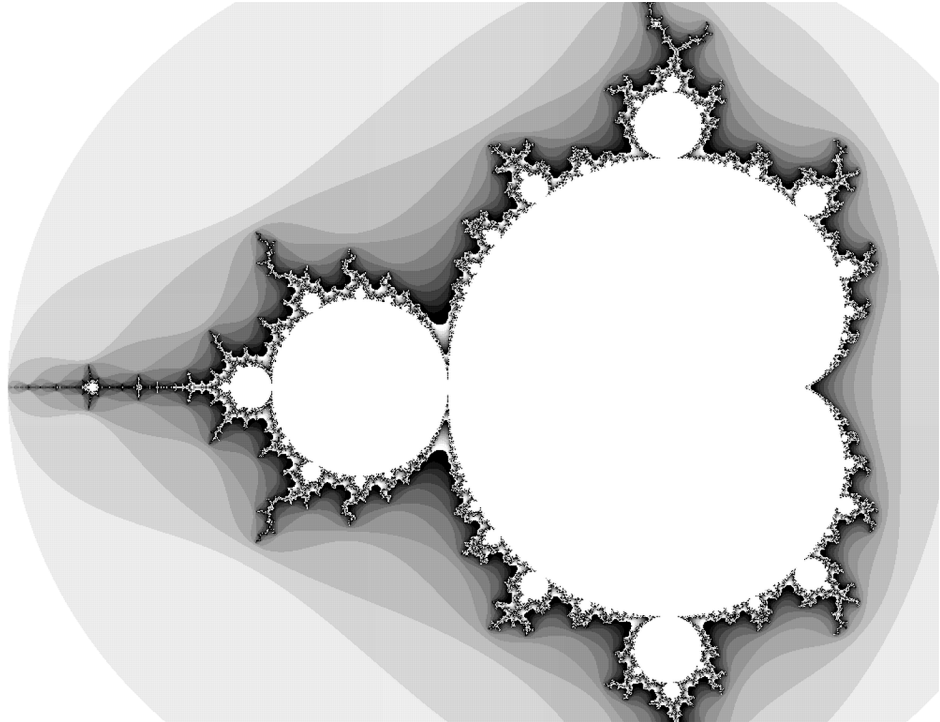


Abbildung 122: Ausschnitt aus dem Apfelmännchen

Das häufig als Apfelmännchen bezeichnete Fraktal der Mandelbrot-Menge ist eines der bekanntesten mathematisch generierten Fraktale.

Fragen nach der ontischen Verfasstheit menschlicher Wahrnehmung reichen bis in die Antike zurück

Philosophisch ist diese Frage bereits älter. Schon früh fingen die Menschen an sich darüber Gedanken zu machen, was sie von der Welt wirklich sicher wissen können. Wieso sollte die Welt so beschaffen sein, dass sie verstanden werden kann? Schon im 6. Jahrhundert vor Christus sah sich eine milesische Philosophenschule, die sog. φυσιολογοι dazu genötigt zu behaupten, dass die Natur verstanden werden kann (vgl. Schrödinger 1989/1958, S. 57). Descartes und auch Newton begründeten diese Hoffnung unter Rückgriff auf Gott, indem sie davon ausgingen, dass dieser die Natur nach einfachen Regeln geschaffen habe, die folglich auch vom Menschen erkannt werden können (vgl. Breuer 1989, S. 11f. oder Sobel 1999). Hier zeigen sich tief verwurzelte Ängste des Menschen, nämlich verloren zu sein, in einer unbegreiflichen Welt, ausgeworfen in ein kaltes unmenschliches Universum. Die Zweifel über die Erkennbarkeit der Außenwelt werden heute unter dem Begriff des Konstruktivismus zusammengefasst. Damit hat der Konstruktivismus als erkenntnistheoretische Position eine lange Geschichte. Bereits Kant hat seine „Kritik der reinen Vernunft“ eingeleitet mit der Feststellung, „dass die Dinge, die wir anschauen, nicht das an sich selbst sind, wofür wir sie anschauen [...] und als Erscheinungen nicht an sich selbst, sondern nur in uns existieren können“ (Kant 1966/1780, B 59/A41).

Der Mensch als Informationsverarbeitendes System gilt als aktiver Erfinder seiner Umwelt

Auf einen naturwissenschaftlich begründbaren Boden gestellt wurden diese Zweifel an der ontischen Verfasstheit der vom Menschen wahrgenommenen *Realität* durch Humberto Maturana und Francisco Varela. Als Neurobiologen beschäftigen sich Maturana und Varela mit Erkenntnisprozessen und Kognitionen von Individuen. Der von ihnen geprägte Systembegriff der Autopoiese umfasst damit biologische Systeme, wie z.B. das menschliche Nervensystem. Aus der biologischen Perspektive erscheint das Nervensystem in sich operational geschlossen. Alle im weitesten Sinne kognitiven Operationen finden in ihm – und nur in ihm – statt. Nervenimpulse können sich immer nur auf Nervenimpulse beziehen. Aufbauend auf diesen Kernannahmen lässt sich die Kognitionstheorie Maturanas (1982) in vier Thesen zusammenfassen:

1. **Strukturdeterminiertheit.** Menschliches Erkennen ist ein biologisches Phänomen, das nicht durch die Objekte der Außenwelt, sondern durch die *Struktur des erkennenden Organismus determiniert wird*.
2. **Operationale Schließung.** Menschen haben ein *operational und funktional geschlossenes* Nervensystem, das nicht zwischen internen und externen Auslösern differenziert; daher sind Wahrnehmung und Illusion, innerer und äußerer Reiz im Prinzip ununterscheidbar.
3. **Subjektgebundene Erkenntnis.** Menschliche Erkenntnis resultiert aus „privaten“ Erfahrungen, ist als Leistung des Organismus grundsätzlich *subjektgebunden* und damit unübertragbar. „Private Erfahrungen“ können jedoch kommuniziert werden.
4. **Strukturelle Ähnlichkeit als Voraussetzung für Kommunikation.** Der Gehalt kommunizierter Erkenntnisse richtet sich nach der *biologischen Struktur des Adressaten*. Das heißt, dass der kommunikative Austausch von Erfahrungen beim Adressaten die Fähigkeit voraussetzt, diese Erfahrungen zumindest prinzipiell, d.h. kognitiv und auch emotionell, „nachvollziehen“ zu können. Da in einer Kommunikation nämlich zumindest zwei autonome Systeme aufeinander treffen, ist eine gewisse sog. „strukturelle Ähnlichkeit“ der beiden Systeme für das Gelingen der Kommunikation grundsätzlich unerlässlich.

Diese, hier nur kurz skizzierten, Positionen (vgl. ausführlicher z.B. Maturana 1982, Maturana & Varela 1987, Glasersfeld 1990, Ludewig 1992) finden sich ähnlich auch im Rahmen psychologischer Theorien, z.B. in Piagets Entwicklungstheorie (z.B. Piaget 1969/1936, 1969/1945, 1976, 1981), in Informationsverarbeitungsansätzen, sowohl der Allgemeinen- als auch der Entwicklungspsychologie (z.B. Neisser 1979). Der Mensch als informationsverarbeitendes System gilt aus dem Blickwinkel dieser theoretischen Positionen, als aktiver „Erfinder“ seiner Umwelt, die zwar außerhalb seiner selbst wahrgenommen wird, aber nur „in ihm“ gedeutet und erfahren bzw. erklärt werden kann. Vor allem Neisser (1979) hat dieser wechselseitigen Beeinflussung Rechnung getragen, in dem er für den Akt des Sehens ein *zyklisches Modell der Wahrnehmung* vorschlägt (Neisser 1979, S. 26, zitiert nach Breuer 1989, S. 32f):

Meines Erachtens sind die für das Sehen entscheidenden kognitiven Strukturen die antizipierenden Schemata, die den Wahrnehmenden darauf vorbereiten, bestimmte Arten von Information eher anzunehmen als andere, und die so das Sehen steuern.

Weil wir nur sehen können, wonach wir zu suchen vermögen, bestimmen diese Schemata (zusammen mit der wirklich verfügbaren Information), was wahrgenommen wird. Wahrnehmung ist tatsächlich ein konstruktiver Prozess, aber was konstruiert wird, ist nicht ein Vorstellungsbild, im Bewusstsein erscheinend und dort vom inneren Menschen bewundert. In jedem Augenblick konstruiert der Wahrnehmende Antizipationen bestimmter Arten von Informationen, die ihn dazu befähigen, sie aufzunehmen, wenn sie verfügbar werden. Oft muss er den optischen Bereich aktiv erkunden, um sie verfügbar zu machen, indem er seine Augen, seinen Kopf oder seinen Körper bewegt. Diese Erkundungen sind durch die antizipierenden Schemata geleitet, die Pläne für die Wahrnehmungstätigkeit und Bereitschaften für gewisse Arten optischer Struktur sind. Das Ergebnis der Erkundungen – die aufgenommene Information – verändert das ursprüngliche Schema. So verändert, leitet es weitere Erkundungen und wird für weitere Information bereit.

Zusammengefasst und veranschaulicht wird dieser Wahrnehmungszyklus durch die Abbildung 123. Wahrnehmung ist demnach nicht zu verstehen als passive Aufnahme von Außenreizen. Sie bedeutet die aktive Gestaltung und Konstruktion einer nach außen projizierten Umwelt, die erst in der Innenwelt von Menschen generiert wird. Dass es sich dabei um einen komplexen dynamischen Prozess handelt wird z.B. durch die Betrachtung multistabiler Reizkonfigurationen deutlich.

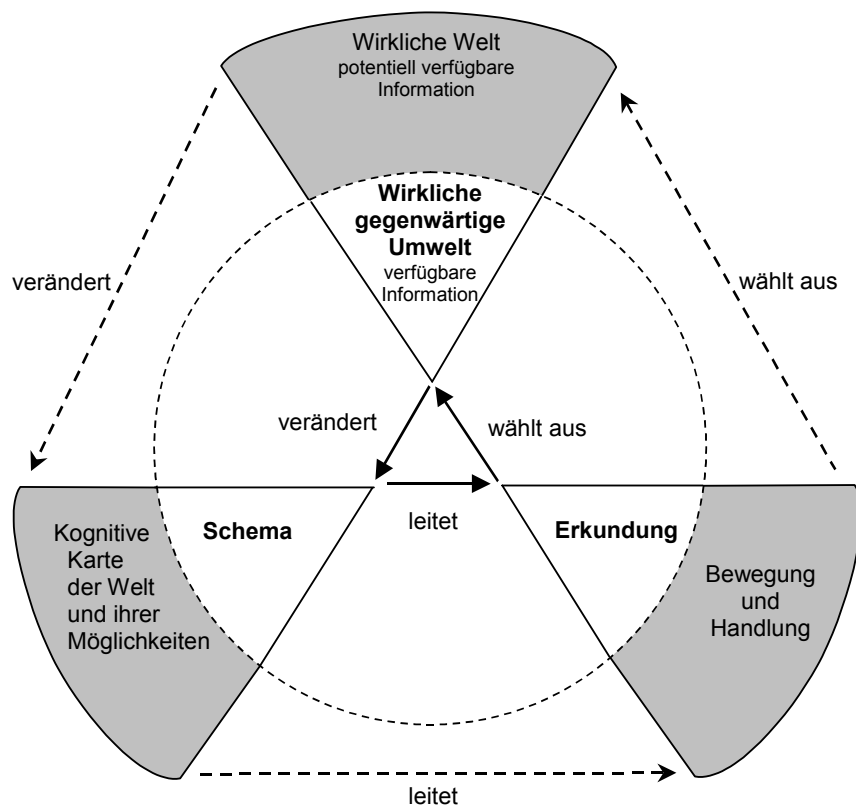


Abbildung 123: Wahrnehmungszyklus

Wahrnehmung ist nach Neisser (1979, S. 27) kein passiver Vorgang, durch den Umweltreize in einen Beobachter hinein projiziert werden. Vielmehr leiten die kognitiven Schemata eines Menschen seine Erkundung der Umwelt. Durch diese Erkundung wählt er aktiv aus der Vielfalt verfügbarer Reize bestimmte Informationen aus. Diese Informationen können dann zu einer Veränderung der Schemata führen (Abbildung nach Breuer 1989, S. 33 und Weick 1985, S. 224).

Das in der Abbildung 124 wiedergegebene Tapetenmuster stellt eine solche multistabile Reizkonfiguration dar. Da die menschliche Wahrnehmung darauf beruht, auch in – aus mathematischer Sicht – beinahe strukturlosen Reizen Muster zu identifizieren, wird sie durch multistabile Figuren immer wieder gezwungen bereits identifizierte Strukturen aufzulösen um sich dann um eine andere Figur erneut zu konfigurieren. Bei der Betrachtung der Abbildung 124 treten immer wieder kreisförmig angeordnete Rosetten aus dem komplexen Muster hervor und verlieren sich kurz darauf wieder zugunsten einer neuen kreisförmigen Anordnung.

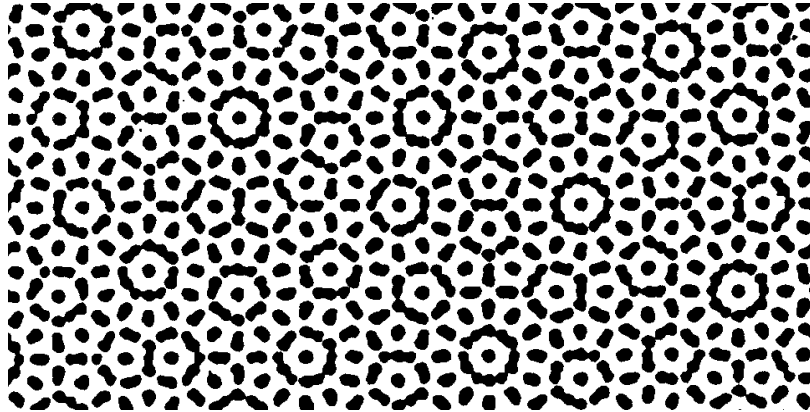


Abbildung 124: Multistabiles „Tapetenmuster“

Multistabilität: Bei längerem Hinsehen lösen sich die wahrgenommenen Muster immer wieder auf, um sich neu zu konfigurieren (Abbildung aus: Stadler & Kruse 1990, 1990, S. 36).

Dass es sich bei dem dargestellten Tapetenmuster nicht um eine Zufallsanordnung handelt, wird im Verlauf der Betrachtung relativ schnell deutlich. Der Prozess der visuellen Wahrnehmung wird jedoch durch eine aktive Organisationsleistung begleitet, die es ermöglicht, auch in unstrukturiertem oder nur teilstrukturiertem Stimulusmaterial eine Ordnung zu erkennen.

I2
 A B C
 I4

Abbildung 125: Kontextabhängigkeit der menschlichen Wahrnehmung

Die menschliche Wahrnehmung ist immer auch eingebunden in einen Interpretationsrahmen. Dieser Interpretationsrahmen bestimmt dann vielfach erst welche von verschiedenen möglichen Interpretationen eines Stimulus gewählt wird.

Stadler und Haynes (1999) verweisen in diesem Zusammenhang z.B. auf die zufällige Anordnung der Sterne, wie sie von der Erde aus beobachtet werden kann. Obwohl der Anordnung der sichtbaren Fixsterne keine physikalisch beschreibbare oder astronomisch sinnvolle Struktur zu Grunde liegt, kommen doch verschiedene Kulturen zu ganz ähnlichen Sternbildern, indem sie bestimmte Sterne in einer ganz bestimmten Art und Weise zu einem Bild, einer organisierten Struktur verbinden. Dabei werden dann nicht selten weniger deutliche Sterne ausgelassen, obwohl sie sich innerhalb des Sternbildes befinden oder umgekehrt, weniger deutliche Sterne zum Sternbild gezählt, weil sie z.B. mit anderen Sternen in einer Linie liegen oder sonst ein sinnvolles Muster bilden. Gestaltgesetze wie die Geschlossenheit von Formen oder Gesetze der Symmetrie spielen eine wichtige Rolle bei der Identifizierung von Sternbildern. Dabei sind diese Gesetze nicht vollständig algorithmisierbar, da sie sich vielfach gegenseitig aufheben oder auf komplexe Art und Weise bestätigen bzw. verstärken (Stadler & Haynes 1999, S. 193f.). Auch der Kontext, d.h. die Umgebung in die solche Reize eingebettet sind (vgl. die vorstehende Abbildung 125) spielt eine wichtige Rolle bei der Konstruktion einer wohlorganisierten Struktur.

Die Strukturierung des Sternenhimmels im kognitiven System des Beobachters ist ein gutes Beispiel dafür, dass komplexe Strukturen subjektiv erzeugt werden, dies insbesondere deshalb, weil es nur schwer begründbar wäre, dass die gesehenen Strukturen (Wagen, Schwertkämpfer) objektiven Charakter besitzen. (Stadler & Haynes 1999, S. 194)

Die Forschungsmethode des Bartlett-Szenarios erlaubt die Demonstration von Ordnungsbildungsprozessen in der menschlichen Wahrnehmung

Die menschliche Wahrnehmung ist also unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass sie eine aktive Rolle bei der Strukturierung und Organisation von unstrukturiertem oder nur teilstrukturiertem Stimulusmaterial spielt. Bereits in den 30iger Jahren des vorherigen Jahrhunderts wurden solche Phänomene der aktiven Ordnungsbildung von Bartlett (1932) intensiv untersucht. Die von ihm vorgeschlagene Untersuchungsmethodik ist dabei so einfach wie genial. Der komplexe und relativ schnell ablaufende Prozess der menschlichen Wahrnehmung wird dabei zerlegt in klar identifizierbare Teilprozesse, indem ein Verfahren angewendet wird, welches an das Kinderspiel der „stillen Post“ erinnert. Dazu wird ein Stimulus zunächst einer Versuchsperson für kurze Zeit dargeboten, bevor diese den Stimulus reproduzieren soll. Weitere Versuchspersonen bekommen immer den von ihren Vorgängern reproduzierten Stimulus präsentiert. Durch dieses Verfahren lassen sich typische Prozessmuster der Ordnungsbildung veranschaulichen. Bereits die Darbietung eines – nur geringfügig aus der Mitte eines Blatts Papier – verschobenen schwarzen Punktes führt im Prozess der wiederholten Reproduktion zu einer relativ klar vorhersagbaren Wanderbewegung: der schwarze Punkt wird relativ schnell in die Ecke des Papiers wandern, der er am nächsten liegt. Dort angekommen, wird er nur noch geringfügig hin und her springen, ohne jedoch seine Position erneut zu verlassen. Mit dem Erreichen der Ecke hat der Stimulus einen stabilen Attraktor eingenommen (vgl. Stadler et al. 1991).

Bei einer Reproduktion des Szenarios mit 60 Studierenden löste sich der ursprünglich präsentierte schwarze Punkt nach und nach zu einer Ellipse auf; da der verwendete Stift relativ fein war, musste zur Reproduktion des ursprünglich dargebotenen Punktes ein kleines „Knäuel“ gezeichnet werden. In dieses Knäuel schlichen sich schnell Unregelmäßigkeiten ein, es blieb zunächst ein kleiner weißer Fleck, der sich schnell weitete, die Figur insgesamt zu einer Ellipse werden

ließ, die dann durch unsauber gezeichnete – und sich überschneidende – Anfangs- und Endpunkte eine schwanzförmige Verlängerung erfuhr. Diese durch Unsauberkeiten in der Reproduktion angeregte *Mutation* hatte den Stimulus innerhalb nur weniger Reproduktionen in ein relativ sinnloses Gebilde verwandelt. Um so stärker setzte dann jedoch die Ordnungsbildung ein: die Ellipse baute die schwanzähnliche Verlängerung aus, öffnete sich und wurde zum klar erkennbaren Buchstaben *S*, der sich, nachdem er erreicht worden war als stabiler Stimulus halten konnte. Während des gesamten Prozesses wanderte die Figur zudem in die ihr ursprünglich am nächsten gelegene Ecke (vgl. Abbildung 126).

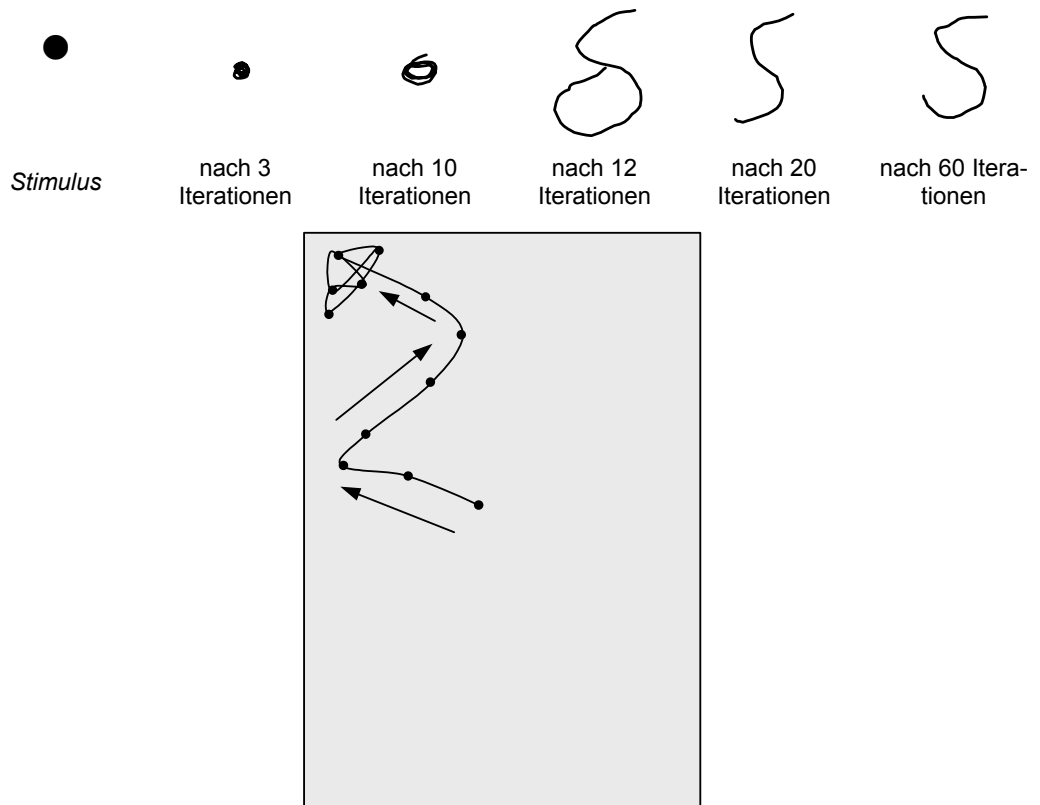


Abbildung 126: Bartlett-Szenario

Beim Bartlett-Szenario handelt es sich um eine Art „Stille Post“ der visuellen Wahrnehmung. Dabei veränderte sich bei der Reproduktion des Originalversuchs der ursprüngliche Stimulus zu einem „S“. Insgesamt wanderte die Figur dabei in die obere linke Ecke des Zeichenpapiers. Von dieser Ecke war der Ausgangsstimulus am geringsten entfernt gewesen. Der Weg über das Zeichenpapier wird hier schematisch vereinfacht wiedergegeben.

Die menschliche Wahrnehmung zeigt charakteristische Phänomene nichtlinearer dynamischer Systeme

Im Rahmen der menschlichen Wahrnehmung finden jedoch nicht nur aktive Strukturierungs- und Ordnungsbildungsprozesse von unstrukturierten Stimulusmaterial statt („Gesichter in Wolken suchen“), sondern auch charakteristische Effekte nichtlinearer dynamischer Systeme: regelmäßiges Umkippen von ambigen Bildern (wie dem Necker-Würfel; vgl. Abbildung 127), Bi- und Multistabilitäten in der Wahrnehmung mehrdeutigen Bildmaterials (vgl. Abbildung 124 und Abbildung 125) oder Hysterese-Effekte, worunter die Sequenzabhängigkeit des Umkippens der Perzepte bei sukzessiv veränderten Bildvorgaben verstanden wird (vgl. z.B. Stadler & Kruse 1990; vgl. Abbildung 128).

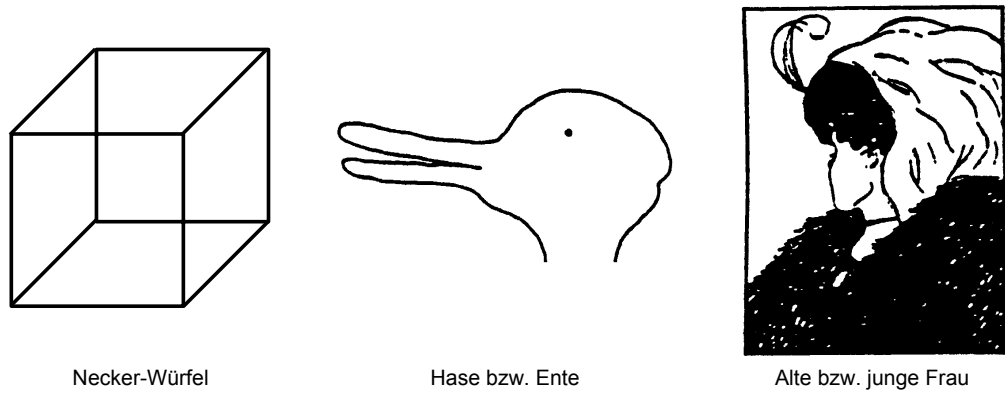


Abbildung 127: Bistabiles Bildmaterial

Bistabiles Bildmaterial führt zu oszillierenden Wahrnehmungen. Die Periodendauer wird dabei von Kontrollparametern wie der Komplexität des Stimulusmaterials und der Aufmerksamkeit des Betrachters bestimmt (Abbildungen aus Haken 1990b, S. 21).

Diese und andere empirisch erfassbare Effekte der Gestaltwahrnehmung (wie etwa die Bedeutung des Parameters „Aufmerksamkeit“ für die Fixierungsdauer ambiger Perzepte) konnten präzisen mathematischen Modellierungen zugänglich gemacht werden, denen die in der Synergetik postulierte Strukturidentität von Musterbildung und Musteridentifikation zu Grunde liegt (Haken 1990b).

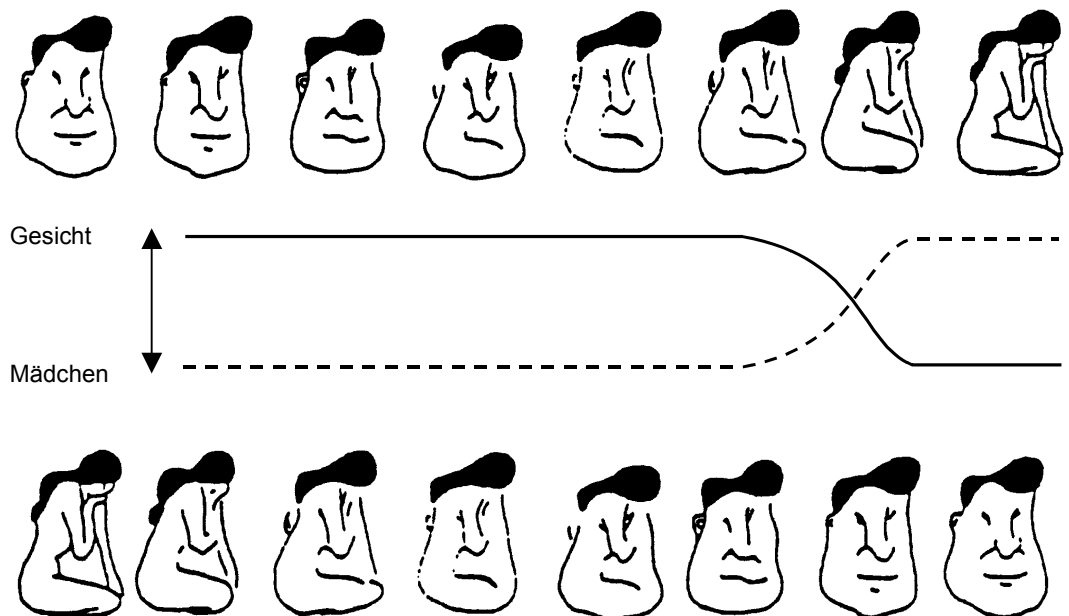


Abbildung 128: Attraktoren der Wahrnehmung – Gesicht oder Mädchen

Bei allmählicher Veränderung des Stimulusmaterials, kommt es zu einem Verharren in der zuvor eingenommenen Wahrnehmungskategorie, die erst relativ spät zu einem Umschlagen in die zweite Wahrnehmungskategorie führt. Das Wahrnehmungssystem wird also, geleitet durch den Kontext seiner erstmaligen Wahrnehmung, in einem Attraktor gehalten (Abbildungen aus Haken 1990b, S. 23).

Die vorgestellten Beispiele verdeutlichen verschiedene Phänomene, die im Wahrnehmungsprozess, der als aktiver Struktur- und Ordnungsbildungsprozess erscheint, beobachtet werden können:

- **Aktive Konstruktion.** Der menschlichen Wahrnehmung gelingt es auch dort geordnete Strukturen zu identifizieren, wo diese objektiv nicht begründet werden können, wie z.B. bei der Identifikation von Sternbildern. Die Wahrnehmung der Außenwelt ist demnach eine „Erfindung“ des beobachtenden Subjektes. Damit muss nicht unbedingt die Position eines radikalen Konstruktivismus vertreten werden. Die Frage, ob die Außenwelt außerhalb des wahrnehmenden Subjektes tatsächlich existiert, lässt sich nicht durch Beobachtungen überprüfen. Unabhängig davon, ob also eine reale Wirklichkeit außerhalb des Beobachters existiert, ist die Strukturierung dieser „Wirklichkeit“, die Wahrnehmung von Ordnung, Strukturen und Mustern ein Akt des wahrnehmenden Beobachters und nicht der wahrgenommenen Außenwelt. Diese Ordnungsmuster werden erst im Beobachter erzeugt und dann erst nach außen projiziert.
- **Prozess vs. Struktur.** Die menschliche Wahrnehmung ist ein relativ schnell ablaufender Prozess der Ordnungsidentifikation und -erzeugung. In diesem Sinne werden nicht in der „Wirklichkeit“ vorhandene Strukturen passiv in das Auge des Betrachters projiziert und von dort ins Gehirn „gespiegelt“. Vielmehr werden Strukturen und Ordnungsmuster erst im Prozess der Wahrnehmung aus dem vorhandenen Stimulusmaterial generiert. Der Wahrnehmung zugänglich wird dieser Prozess der Ordnungsbildung z.B. durch das Bartlett-Szenario (vgl. Abbildung 126) oder durch multi- bzw. bistabile Reizkonfigurationen (vgl. Abbildung 124 und Abbildung 127). In jedem der genannten Fälle zeigt sich, dass das Reizmaterial prozessural verarbeitet wird und erst im Zuge dieses Prozesses Ordnung entsteht. Für ambiges Stimulusmaterial zeigt sich zudem, dass dieser Prozess nicht in einer statischen Struktur münden muss, sondern immer wider umkippen und zu neuen Ordnungsmustern führen kann. Haken (1979) stellt in diesem Zusammenhang fest:

When we look at ... a pattern our first impression might be that a pattern is something static. However, when thinking somewhat more about patterns we realize that patterns are intimately connected with processes. (Haken 1979, S. 2)

- **Charakteristische Ordnungsbildungsprozesse in Vielteilchen-Systemen.** Insbesondere Beispiele die zeigen, wie es der menschlichen Wahrnehmung gelingt selbst dort eine Struktur zu identifizieren, wo nach objektiven Kriterien keine nachgewiesen werden kann, legen es nahe, hier von Unordnungs-Ordnungs-Übergängen auszugehen, wie sie in vergleichbarer Weise von der Synergetik für den Laser beschrieben werden (vgl. S. 131ff.). Hier wie dort zeigen sich konkurrierende Moden, die miteinander in einen Wettbewerb treten (besonders deutlich im Fall der Multistabilität). In Abhängigkeit von äußeren Randbedingungen, den Kontrollparametern, kommt es zu einem Prozess der Selbstorganisation, indem bestimmte Moden, nach und nach, einen Ordnungsparameter durchsetzen, der das Verhalten der Mikroebene versklavt und damit zur Symmetriebrechung und Dominanz einer strukturierten Wahrnehmung führt.

- **Zyklisches Verhalten.** Ebenfalls als für nichtlineare dynamische Systeme charakteristisches Verhaltensmuster kann die Ausbildung zyklisch wechselnder Ordnungsmuster gelten, wie sie bei bistabilen Kippfiguren beobachtet werden können. Dabei zeigt sich, dass die Kippfrequenz von den Kontrollparametern des Reizmaterials (Gleichwertigkeit bzw. Ungleichwertigkeit der beiden Strukturen) und der Aufmerksamkeit des Beobachters bestimmt wird. Ebenfalls eine Rolle spielen Kontrollparameter, die durch Kontextinformationen bereitgestellt werden (vgl. z.B. Abbildung 125). Zu solchen relevanten Kontextinformationen gehören im ganz besonderen Maße auch bisherige Lernerfahrungen (vgl. auch Stadler & Haynes 1999, S. 205).
- **Hysterese-Effekt.** Neben dem Konzept des Ordnungsparameters bzw. des Attraktors, bildet der Begriff des Bassins eine hilfreiche Interpretationsbasis zum Verständnis der menschlichen Wahrnehmung. Als Bassin wird das Einzugsgebiet um einen Attraktor bezeichnet. Eine zeitweilige Auslenkung des Systems innerhalb der durch das Bassin gekennzeichneten Grenzen führt zu keiner dauerhaften Verhaltensänderung. Das System behält daher so lange, wie es nicht zu stark ausgelenkt wird seinen aktuellen Attraktor bei. Genau dieses Verhalten zeigt sich bei Wahrnehmungsexperimenten, bei denen das Stimulusmaterial Schritt für Schritt verändert wird (vgl. Abbildung 128, S. 432): der zunächst ausgebildete Wahrnehmungsattraktor wird dabei lange, auch bei zunehmender Auslenkung, beibehalten. Dass die Auslenkung schon relativ weit in einen neuen Attraktor hineinreicht, bevor die Wahrnehmung plötzlich umschlägt, zeigt sich dann daran, dass bei umgekehrter Darbietungsreihenfolge der andere Attraktor dominiert und nun seinerseits gegen äußere Veränderungen des Materials immun bleibt. Dieses sich jeweils überschneidende Beharren eines Systems im jeweiligen Ausgangsattraktor wird als Hysterese-Effekt bezeichnet und findet sich in paralleler Form auch in verschiedenen physikalischen Systemen, so z.B. beim Magnetismus.

Stadler und Haynes (1999) beschreiben die Strukturbildungsprozesse der menschlichen Wahrnehmung unter Rückgriff auf insgesamt fünf interne Prinzipien, die oben bereits zum Teil angesprochen wurden. Im Einzelnen werden von ihnen folgende Prinzipien für die Ausbildung von Strukturen im Wahrnehmungssystem von Menschen benannt:

1. **Gestaltgesetze.** Bereits eingegangen wurde auf die Bedeutung der Gestaltgesetze für die Strukturbildungsleistung der menschlichen Wahrnehmung. Diese bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts formulierten Prinzipien beschreiben verschiedene Formen spontaner Ordnungsbildung. Bekannte Gestaltgesetze erklären die Unterscheidung von Figur und Grund (vgl. Abbildung 20, S. 67), die virtuelle Verbindung von Teilfiguren zu einer geschlossenen Gestalt (vgl. Abbildung 117, S. 411) und Ähnliches (vgl. auch Köhler 1920, Koffka 1922, Metzger 1953, Metzger 1975). Bereits 1972 betont Wolfgang Metzger die Nähe der Gestalttheorie zu den gerade eben aufkommenden systemtheoretischen Ansätzen:

Dass zwischen Gestalttheorie und Systemtheorie eine Beziehung besteht, und dass die beiden Ansätze zusammenwachsen werden, darüber herrscht kein Zweifel. (Wolfgang Metzger im Gespräch mit Ludwig Pongratz, in Metzger & Pongratz 1972, S. 227)

2. **Nichtlinearisierung.** Verschiedene Bereiche der menschlichen Wahrnehmung werden durch den Wahrnehmungsapparat nichtlinearisiert, d.h. in ihrer Struktur gebrochen und in der Regel in diskrete Kategorien zerteilt. Besonders eindrücklich tritt dieses Phänomen beim Farbsehen zu Tage. Während das Spektrum des elektromagnetischen Wellenbereiches, den Menschen als sichtbares Licht wahrnehmen können (ca. 400 bis 700 nm), physikalisch keine, wie auch immer geartete diskrete Struktur aufweist, nehmen Menschen das Spektrum in unterschiedlichen Farben wahr. Physikalisch unterscheidet sich verschieden farbiges Licht allein durch seine Wellenlänge, wobei jedoch eine unterschiedliche Wellenlänge nicht unbedingt auch eine unterschiedliche Farbe bedeutet. Der Frequenzbereich im Spektrum bei dem eine Farbe schlagartig in eine andere umkippt unterscheidet sich physikalisch nicht von anderen Frequenzbereichen im Spektrum. Eine kontinuierlich verlaufende Veränderung in der Frequenz des Lichtes wird von einem Beobachter in diskrete Abschnitte unterschiedlicher Farbeindrücke untergliedert. Dabei sind diese Unterteilungen selbst und die Frequenzen, bei denen eine Farbe zu einer anderen wird interindividuell übereinstimmend feststellbar. Hinzu kommen weitere Phänomene, die in der physikalischen Beschreibung von Licht keine Entsprechung finden. Dazu gehört der Umstand, dass bestimmte Farben heller (Gelb) und andere als dunkler (Blau) erscheinen. Auch das Phänomen der Komplementärfarben (rotes Licht erzeugt auf der Netzhaut ein grünes Nachbild, Rot und Grün sind daher Komplementärfarben) besitzt keine dem Licht innewohnende physikalische Ursache. Gleiches gilt für die Tatsache, dass kurzwelliges Licht als kalt und langwelliges als warm wahrgenommen wird. Solche Phänomene der Kategorisierung, d.h. der Unterteilung eines kontinuierlichen Stimulusmaterials in verschiedene Wahrnehmungsqualitäten, tritt im Rahmen der menschlichen Wahrnehmung in unterschiedlicher Form auf. Sie bleiben damit nicht auf die Farbwahrnehmung beschränkt, sondern finden sich z.B. auch bei der Beurteilung anderer Menschen (soziale Kategorisierungsprozesse; vgl. z.B. Tajfel et al. 1971, Tajfel 1975, Tajfel & Turner 1986). Erst durch diese Mechanismen der Kategorisierung bzw. Nichtlinearisierung gelingt es, die komplexe Umwelt zu strukturieren. Damit besitzen die wahrgenommenen Objekte subjektiv erzeugte Eigenschaften, die es den Lebewesen ermöglichen, sich zurechtzufinden und bestimmte Umweltkonstellationen wiederzuerkennen (vgl. Stadler & Haynes 1999, S. 196). Soweit das Gesetz der starken Kausalität (vgl. Abbildung 55, S. 173) Gültigkeit beanspruchen kann, ist es daran gebunden, dass Menschen die Welt überhaupt in Klassen „ähnlicher Ursachen“ einteilen können. Die Fähigkeit zur Kategorisierung ist damit eine Bedingung für die Möglichkeit die Umwelt erfahren und deuten zu können.
3. **Struktursensibilität.** Eine besonders wichtige Feststellung von Maturana bezieht sich auf die Unfähigkeit des Menschen zwischen inneren und äußeren Reizen, zwischen Illusion und Wahrnehmung zu unterscheiden (vgl. ausführlicher oben, S. 427 und Maturana 1982, Maturana & Varela 1987, Glasersfeld 1990, Ludewig 1992). In ähnlicher Art und Weise ist auch nicht immer feststellbar, ob eine wahrgenommene Struktur allein dazu dient, Ordnung in eine stochastische Umwelt zu bringen oder ob ihr tatsächlich eine in der Umwelt verborgene Ordnung zu Grunde liegt. Unabhängig von diesen Fragen nach der Wirklichkeit der Wirklichkeit, scheint es so, als ob die menschliche Wahrnehmung ausdrücklich darum bemüht wäre geordnete Strukturen zu entdecken. Die Faszination des multistabilen Reizmuster der Abbildung 124 (S. 429) be-

ruht auf dem beständigen Versuch des kognitiven Systems die diesem Muster tatsächlich zu Grunde liegende Ordnung zu identifizieren. Aber auch Reizkonfigurationen, die virtuelle Konturen hervorrufen zeigen eindrücklich, wie sehr sich das Wahrnehmungssystem bemüht Muster zu identifizieren. Dieses Phänomen der virtuellen Konturen wurde zuerst von dem italienischen Psychologen Kaniza (1971, 1979) beschrieben. Von ihm stammt auch die Abbildung 117 (S. 411), bei der viele Beobachter den Eindruck haben, tatsächlich Konturen des Dreiecks zu sehen und behaupten einen Unterschied in der Helligkeit des Dreiecks im Vergleich zur Umgebung wahrzunehmen. Keine dieser Wahrnehmungen beruht auf physikalischen Ursachen. Besonders stark reagiert das visuelle System auf symmetrische Reizkonfigurationen. Die Entdeckung von Symmetrien scheint eine stammesgeschichtliche Ursache zu haben (vgl. Stadler & Haynes 1999, S. 197) und mag dazu dienen, lebende Strukturen, die in der Regel symmetrisch aufgebaut sind, zu identifizieren.

4. **Strukturverstärkung durch Prägnanztendenzen.** Einer der wichtigsten aber auch der schillerndsten und damit nicht immer klar definierten Begriffe der Gestalttheorie ist der Prägnanzbegriff (vgl. auch Metzger & Pongratz 1972). Dabei werden unter diesem Begriff zweierlei Phänomene zusammengefasst. So bedeutet der Prägnanzbegriff zum einen die Tendenz, prägnante, einfache, ausgezeichnete Strukturen wie Kreise, Quadrate, rechte Winkel und Ähnliches leichter, schneller und genauer wahrzunehmen. Diese Tendenz führt dazu, dass in komplexen – durchaus auch stochastischen – Reizkonfigurationen solche prägnanten Strukturen sofort erkannt werden und herausgehoben erscheinen (vgl. Abbildung 129).

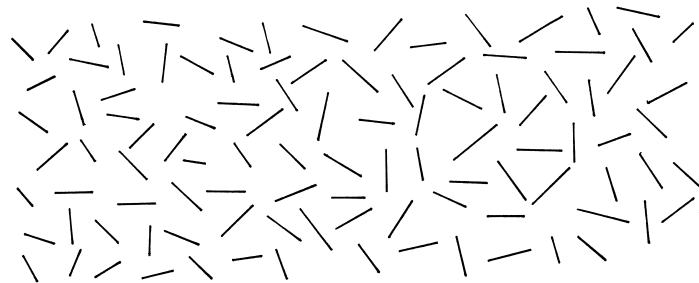


Abbildung 129: Prägnante Kreisstruktur

Der Begriff der Prägnanz beschreibt zwei einander ergänzende Phänomene. Eines dieser Phänomene wird durch die Abbildung illustriert. Die prägnante Struktur des Kreises wird sofort und überdeutlich wahrgenommen (Abbildung aus: Stadler & Haynes 1999, S. 201).

Neben der Tendenz, prägnante Strukturen besonders leicht, schnell und genau identifizieren zu können, beschreibt der Prägnanzbegriff aber auch die Tendenz, das Stimulusmaterial verfälscht wahrzunehmen. Menschen neigen dazu prägnante Strukturen auch dort zu sehen, wo sie eigentlich gar nicht vorliegen. So wird z.B. ein nicht ganz runder Kreis ein klein wenig verfälscht wahrgenommen, so dass er doch als perfekter Kreis erscheint, leicht schiefe Winkel werden zu rechten Winkeln verzerrt und Ähnliches. Obwohl diese Tendenzen nicht zu übertrieben starken Verfälschungen führen, also in ihrem Ausmaß be-

schränkt bleiben, sind sie doch immer vorhanden und können sich bei einer geschickten Kombination der Reizmuster derart aufschaukeln und verstärken, dass es zu bizarren optischen Täuschungen kommt, wie beim sog. Sanderschen Parallelogramm, bei dem die Winkel in Richtung auf rechte Winkel verzerrt werden (vgl. Abbildung 130; vgl. auch Metzger & Pongratz 1972).

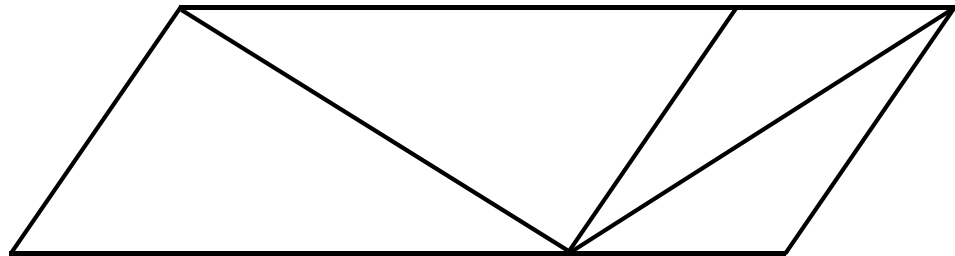


Abbildung 130: Das Sandersche Parallelogramm

Der Begriff der Prägnanz beschreibt aber auch eine Tendenz, die Wahrnehmung in Richtung auf eine prägnanten Gestalt hin zu verzerrten. Dieses Phänomen führt dazu, dass im Sanderschen Parallelogramm die Winkel in Richtung auf Rechte Winkel verzerrt werden. Diese Verzerrung lässt dann die Diagonalen unterschiedlich lang erscheinen, obwohl sie gleich lang sind (Abbildung nach Stadler & Haynes 1999, S. 201).

Gute Möglichkeiten Prägnanztendenzen im Sinne der Verzerrung der Wahrnehmung in Richtung auf eine prägnante Gestalt sichtbar zu machen, ergeben sich z.B. durch das bereits beschriebene Bartlett-Szenario (vgl. Abbildung 126, S. 431), bei dem sich Schritt für Schritt die einzelnen Tendenzen so addieren und aufschaukeln, bis letztlich der Attraktor der prägnanten Gestalt erreicht ist.

5. **Strukturbildung durch Lernerfahrungen.** Während die bisher dargestellten Prinzipien weitgehend erfahrungsunabhängig und damit interindividuell konstant sind, spielen Lernerfahrungen bei der Wahrnehmung und Interpretation von Stimuli eine wichtige Rolle. Tatsächlich lässt sich zeigen, dass auch die hier als interindividuell beschriebenen Prinzipien nicht völlig unabhängig von Lernerfahrungen zu Stande kommen. So müssen die genetisch angelegten neuronalen Wahrnehmungsstrukturen durch äußere Reizeinflüsse erst noch feinjustiert werden, bevor sie in der beschriebenen Weise arbeiten. Diese Prozesse der Justierung finden dann nicht selten während besonders aufnahmebereiter Phasen in der neuronalen Entwicklung statt (vgl. z.B. Singer 1990), die jedoch auf Grund der relativ ähnlichen physikalischen Umwelt bei den meisten Menschen vergleichbar ausfallen. Es ist jedoch offensichtlich, dass Strukturerkennung in bestimmten Fällen ohne vorherige Lernerfahrungen unmöglich ist. Dies gilt im besonderen Maße, wenn der Bereich der bloßen Erkennung von Mustern verlassen wird, und die Bedeutung eines Reizes in den Vordergrund treten soll. Hier zeigt sich dann, dass auch der Prozess des Lernens, der zur Erfassung von Bedeutungen in Reizkonfigurationen nötig ist, selbst in relativ klar abgrenzbaren Phasenübergängen verläuft. So zeigen sich z.B. beim Erwerb der Lese- und Schreibfähigkeit charakteristische Phasen, bei denen zunächst zwar einzelne Buchstaben und die ihnen zugeordneten Laute erkannt werden können, das Kind aber unfähig erscheint, diese Laute zu einem Wort zu verbinden. Dabei

geschieht es nicht selten, dass ein Kind relativ lange auf dieser Stufe verharrt, bevor es ihm schlagartig und übergreifend gelingt die nötige Lautverbindung vorzunehmen. Aber auch diese Phase ist noch weiter ausbaufähig. Im Bemühen um die Identifizierung einzelner Worte, geht die Bedeutung eines, Schritt für Schritt gelesenen Satzes nicht selten verloren. Das Erfassen der Bedeutung eines längeren Satzes oder gar einer ganzen Geschichte erfordert weitere schlagartig auftretende Phasenübergänge. Innerhalb der psychologischen Forschung sind im Zusammenhang mit der Erfahrungsabhängigkeit von Strukturerkennungsprozessen insbesondere die Arbeiten von Chase und Simon (Chase & Simon 1973) berühmt geworden. In ihrem mittlerweile klassischen Experiment können sie zeigen, wie Schachexperten mit Leichtigkeit komplizierte Stellungen auf dem Schachbrett schnell erkennen und später reproduzieren können. Des Schachs unkundige Versuchspersonen sind hingegen nicht in der Lage die präsentierten Konstellationen auf einem anderen Schachbrett nach zu stellen. Aber auch die Schachexperten bekommen Schwierigkeiten, wenn sie sich eine Konstellation einprägen sollen, die offensichtlich sinnlos ist und durch eine stochastische Anordnung der Figuren zustande kam. Anhand dieser und ähnlicher Beispiele lässt sich zeigen, wie Lernerfahrungen erst die Möglichkeiten zur Identifikation und Interpretation komplexer Muster schaffen. Interessanter Weise verlieren dabei die ursprünglich gelernten Regeln nach und nach an Bedeutung. Sie sinken zunehmend auf tiefere Organisationsstufen und in die unbewusste Verarbeitung hinab. In diesem Sinn muss man sich als Erwachsener – anders als ein gerade Lesen lernendes Kind – nicht immer wieder vorsagen, dass die Laute „e“ und „i“, vereint als „ei“ einen ganz anderen Laut ergeben. Dieses Beispiel zeigt aber auch, dass die bewusste Verarbeitung von Reizen immer bereits auf einer ganzen Hierarchie vorgelagerter unbewusster Verarbeitungsmechanismen aufsetzt. Die bewusste Verarbeitung beschäftigt sich dann nur mehr mit erheblich komplexitätsreduzierten Informationen, wobei der Prozess der Komplexitätsreduktion durch häufig nicht einmal mehr reflexionsfähiges Erfahrungswissen gesteuert wird.

Wahrnehmungsprozesse sind kognitive Prozesse

Insbesondere die zuletzt angesprochenen Aspekte zeigen, dass die Prozesse der Mustererkennung weit über den Phänomenbereich hinausgehen, der gemeinhin als Wahrnehmung bezeichnet wird. Wahrnehmung, wie sie im vorliegenden Kapitel verstanden wird, bedeutet viel mehr als die passive innere Repräsentation einer entsprechenden Außenwelt. In dem Maße, in dem Wahrnehmung immer auch Interpretation und eine aktive – bewusst oder unbewusst ablaufende – Strukturierungsleistung bedeutet, ist sie immer auch das Ergebnis eines kognitiven Prozesses und damit selbst ein Modell für kognitive Funktionen. In diesem Sinne finden sich in verschiedenen kognitiven Funktionen ebenfalls Phänomene, die auf charakteristische Eigenschaften nichtlinearer dynamischer Systeme verweisen.

9.2.2 Kognition

Der menschliche Geist ist ein dynamisches System

Philosophische, psychologische oder naturwissenschaftliche Spekulationen über das Wesen menschlicher Kognitionen gibt es beinahe ebenso lange wie es Menschen gibt. Eine starke Bedeutung für die neuere Kognitionsforschung erlangten Arbeiten, die auf das 17. Jahrhundert zurück gehen. Es sind die Ideen und Vorstel-

lungen von David Hume⁹⁶ und Thomas Hobbes⁹⁷, die im 20. Jahrhundert forschungsleitende Ansätze werden sollten. Hume träumte, angeregt durch Newtons *Principia Mathematica*, von der Möglichkeit den menschlichen Geist nach dem mathematischen Vorbild der Bewegungsgesetze als dynamisches System zu beschreiben (vgl. Hume 1978/1739, zitiert nach van Gelder 1998).

Das Bild, das Hume dabei vor Augen hatte war geprägt von dem regulären und leicht vorhersehbaren Verhalten klassisch mechanischer Automaten. Obwohl er also eine dynamische Perspektive propagierte, stellte er sich darunter etwas anderes, weitaus geordneteres vor, als das heute, vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme, als sinnvoll erscheint:

Hume envisioned psychology as dynamical modeling, but that alone does not suffice. The distinctive complexity of cognition yield to scientific understanding only when dynamical modeling is enriched by the perspective and resources of DST [Dynamical System Theory – Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme, G.St.]. Poincaré pioneered DST late last century, but the bulk of it has only been developed in the last few decades. Contemporary dynamics would be a whole new subject to Newton or even Maxwell. Hume aspired to be a Newton of the mind. But in hindsight Poincaré would have made a better model. (van Gelder 1998, S. 621)

Es ist durchaus wahrscheinlich, dass in der Unzulänglichkeit einfacher mechanistischer Ansätze für die Erklärung komplexer dynamischer Strukturen, wie sie für den Bereich mentaler Prozesse vermutet werden können und in der historisch erst relativ spät erfolgten Entwicklung alternativer dynamischer Ansätze der Grund dafür gesehen werden kann, dass das vorherrschende Paradigma der Kognitionsforschung bis vor wenigen Jahren weniger als dynamisch, denn vielmehr als symbolisch kybernetisch bezeichnet werden muss.

**Der menschliche
Geist arbeitet sym-
bolisch kybernetisch**

Es sind die Vorstellungen Thomas Hobbes, die dieses Bild von Menschen als digitalem Computer historisch vorbereiteten. Auch Hobbes ist sich dabei der großen Bedeutung der modernen Naturwissenschaften bewusst. Die einfachen und eleganten mathematischen Berechnungsalgorithmen, wie sie durch Newton für die Bewegung von Planeten vorgeschlagen worden sind, werden von Hobbes direkt als Modell mentaler Prozesse interpretiert. Die Berechnung einer Planetenbahn ist für ihn ein kognitiver Akt und damit ein Modell für kognitive Prozesse schlechthin. Kognition ist damit die Durchführung einer Berechnung, also die bestimmten Regeln folgende Manipulation von Symbolen (Hobbes 1962/1651, zitiert nach van Gelder 1998).

Die bekannteste und die Kognitionswissenschaften seit mehr als 40 Jahren maßgeblich leitende Reformulierung dieser Grundidee findet sich in der Behauptung von Newell und Simon (z.B. Newell & Simon 1956, Newell & Simon 1972), dass ein physikalisches Symbolsystem sowohl die hinreichende als auch notwendige Bedingung für intelligentes Verhalten darstellt (vgl. auch S. 75ff.).

⁹⁶ 1711 bis 1776

⁹⁷ 1588 bis 1679

Eine moderne dynamische Perspektive in den Kognitionswissenschaften eröffnet Fragen nach der Entstehung geordneter Komplexität

Alternativen zur Computeranalogie mentaler Prozesse haben sich erst mit der Entwicklung der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme ergeben, die damit, unter qualitativ anderen Vorzeichen als bei Hume, erneut eine dynamische Perspektive anbieten. Mit der Anwendung dieser Ansätze in den Kognitionswissenschaften rücken auch dort Fragen in den Vordergrund, die sich mit den Phänomenen dynamischer Ordnungsbildung beschäftigen. In diesem Sinne wird z.B. der Frage nachgegangen, wie es das kognitive System vermag in der unglaublichen Komplexität von Sinnesreizen, Gedächtnisinhalten, Lernerfahrungen und beständig neuer – nach Problemlösungen verlangender – Konstellationen einen Überblick zu bewahren, bzw. zu erzeugen, diesen beständig zu überarbeiten und immer wieder neu an sich verändernde Bedingungen anzupassen.

Auch Gedächtnisinhalte sind nach Gestaltgesetzen organisiert

Für viele, der im Zusammenhang mit der dynamischen Verfasstheit kognitiver Prozesse auftretenden Fragestellungen, bieten sich Methoden und theoretische Erklärungsmuster an, wie sie von der Synergetik zur Verfügung gestellt werden, wobei viele Autoren von den Paradigmen der Mustererkennung und Gestaltwahrnehmung ausgehen, wie sie im vorhergegangenen Abschnitt beschrieben wurden (vgl. z.B. Haken 1990b, Haken & Stadler 1990, Stadler & Kruse 1990, Kruse et al. 1992, Stadler & Haynes 1999). Tatsächlich lässt sich zeigen, dass bereits einfache Gedächtnisleistungen weniger als Abrufen exakt gespeicherter Informationen (Modell eines binären Rechners bzw. Ausdruck einer klassisch mechanischen Weltanschauung; vgl. S. 39ff.) sondern vielmehr als aktive (Re-)Konstruktion verstanden werden müssen. Ähnlich wie bei der Mustererkennung scheint das Gedächtnis bestimmten Gestaltgesetzen zu folgen, wenn es aus wenigen Ankerreizen einen Gedächtnisinhalt zunächst neu erfindet und dann in die Vergangenheit projiziert.

Bereits Freud legt die Herrschaft der Vernunft zu den Akten

Beispiele für die mehr rekonstruktive als abbildende Funktionsweise des Gedächtnisses gibt es in der psychologischen Forschung unzählige. Bereits Freud hat durch die Beschreibung von Abwehrmechanismen, wie z.B. der Verdrängung darauf verwiesen wie es möglich sein kann, dass bestimmte Gedächtnisinhalte ausgeblendet werden und keiner bewussten Erinnerung mehr zugänglich sind (vgl. z.B. für eine frühe Arbeit: Freud 2000/1915b). Umgekehrt verlangen dann verdrängte oder libidonös besetzte Inhalte des Unbewussten auf verschiedene Art und Weise Beachtung, indem sie z.B. bewusste Handlungen stören, also zu Fehlleistungen führen, sich im Traum manifestieren und Ähnliches (vgl. z.B. Freud 1989/1904). Es sind diese und ähnliche Befunde, die Freud dazu veranlassen die Psychoanalyse und den Darwinismus miteinander zu vergleichen. Beide gelten für ihn als die großen Kränkungen der Menschheit (vgl. Hagner 1997, S. 10): im einen Ansatz wird die göttliche Herkunft des Menschen und im anderen die Herrschaft der Vernunft zu den Akten gelegt. An die Stelle von Vernunft und Rationalität treten bei Freud verborgene Konflikte, unbewusste Triebregungen und andere Einflüsse aus den verborgenen Untiefen der menschlichen Psyche.

Auch das bereits beschriebene Bartlett-Szenario wurde von Bartlett zunächst zur Untersuchung er-, ver- und umdichtender Gedächtnisleistungen eingesetzt, indem er wie bei dem Kinderspiel der Stillen Post Geschichten darbot und von Versuchsperson zu Versuchsperson nacherzählen ließ. Dabei nutzte er bewusst kulturfremde Geschichten (Indianermärchen), die im Verlauf des Szenarios der Stillen Post zunehmend mehr zu leicht verständlichen und eingänglichen Nacherzählungen

umgeformt werden (vgl. Stadler & Haynes 1999, S. 201). Hier zeigen sich dann Effekte, wie sie auch für die Mustererkennung beschrieben werden können. Es sind vor allem sinnvolle prägnante Gedächtnisinhalte, die reproduziert bzw. rekonstruiert oder dazuerfunden werden.

Insgesamt ist es vor allem dieses Verhalten der aktiven Strukturierung unstrukturierter (bzw. schwer nachvollziehbaren) Materials, welches auf die Selbstorganisationskräfte des kognitiven Systems verweist. Hier wird aktiv und sinnvoll erst organisiert, was sich danach als reproduzierter Gedächtnisinhalt aus gibt. Im Gegensatz zu Computern, die abstürzen, wenn sie einen Gedächtnisinhalt (ein Programm auf der Festplatte) fehlerhaft reproduzieren (in den Arbeitsspeicher laden), „repariert“ der Mensch seine Erinnerungen aktiv und ist in der Lage sie aus kleinsten Hinweisen jeweils neu und dabei relativ verlässlich – also durchaus von Mal zu Mal mit ähnlichem Ergebnis – zu erfinden. Die Gedächtnisfehler von Menschen, sind im Gegensatz zu denen, die Computern bei ähnlichen Aufgaben unterlaufen können und dabei nicht selten einen Programmexitus nach sich ziehen, sinnvoll, dass heißt häufig nachvollziehbar und eventuell sogar Keimzellen für Innovationen und kreative Neuerfindungen.

Gedächtnisleistungen sind keine passiven Eins-Zu-Eins-Abbildungen

Insgesamt liegt es nahe davon auszugehen, dass weder simple noch hoch komplexe Inhalte in einer Art Eins-Zu-Eins-Abbildung passiv im Gedächtnis abgelegt, sondern viel mehr in Form eines nichtlinearen dynamischen Musters kodiert werden. Hier genügen dann ähnliche Kontrollparameterstellungen, um die gesamte Komplexität der Erinnerung wieder auferstehen zu lassen. Damit sind dann aber nicht nur Phänomene plötzlicher, z.B. durch Gerüche der Kindheit oder durch bestimmte Stimmungen ausgelöste Erinnerungen gemeint, die insbesondere dann auftreten, wenn sich die erinnernde Person in einem Gemütszustand befindet, der ihrer Stimmung zum Zeitpunkt der ursprünglichen Erfahrung weitgehend entspricht.

Neben solchen plötzlich und unvermittelt auftretenden Erinnerungen, die das Gedächtnis als zustandsabhängiges System ausweisen, scheint das kognitive System auch unter „normalen“ Umständen nach einem ähnlichen Prinzip zu operieren. Erinnerungen werden als dynamisches Muster kodiert, welches sich dann wieder manifestiert, wenn interne oder externe Einflüsse passende Kontrollparameterwerte liefern. In dem Maße in dem eine Erinnerung als mehr oder minder komplexer Attraktor aufgefasst werden kann, erklärt sich dann aber auch, dass diese Erinnerung nicht Eins-Zu-Eins mit den ursprünglichen Erfahrungen übereinstimmen muss. So wie der konkrete im Detail beobachtbare Verlauf eines chaotischen Attraktors sich nicht identisch wiederholt, aber seine Gestalt als geordnetes Muster beibehält, stimmen dann auch Erinnerungen nur mehr oder minder mit der ursprünglichen Erfahrung überein.

Noch einmal komplexer wird der Vorgang der Speicherung von Erfahrungen im Gedächtnis und deren spätere Reproduktion, wenn in diesem Zusammenhang die Studien von Freeman (z.B. Freeman & DiPrisco 1986, Freeman 2000a; vgl. ausführlicher S. 421f.) berücksichtigt werden, die zeigen können, dass jede neue Erfahrung unter anderem zur Veränderungen und Überarbeitung aller vorherigen Erfahrungen führt. In diesem Sinne bewahrheitet sich dann einmal mehr das bekannte *panta rhei*, welches darauf verweist, dass alles immerzu in Bewegung ist

und es auch in Bezug auf die menschliche Kognition nichts Beständigeres gibt als den Wandel. Dass es Menschen dennoch gelingt Lernerfahrungen zu machen und konstruktiv zu nutzen, kann – wenn überhaupt, dann nur – unter Bezug auf Konzepte der Selbstorganisationstheorien verstanden werden.

Folgerichtig beschreibt Hermann Haken (z.B. Haken 1990b, Haken & Stadler 1990, Haken 1992, 1995, Haken 1996) zumindest einfache kognitive Funktionen, wie das Erkennen komplexer Muster nach dem Modell der Synergetik. Die Modellannahmen, die davon ausgehen, dass Gedächtnisinhalte als Ordnungsparameter kodiert werden und das Erkennen einer äußeren Reizkonfiguration eben denjenigen Ordnungsparameter wieder hervorruft, der dem Gedächtnisinhalt entspricht, werden in Top-down-Experimenten am Computer überprüft. Dieser als „synergetischer Computer“ bezeichnete Algorithmus ist dabei treffsicher in der Lage auch aus verrauschten oder nur teilweise dargebotenem Bildmaterial das gesamte vorher gelernte Bild fehlerfrei zu reproduzieren.

Mustererkennung ist mit Musterbildung identisch

Besonders interessant an dem von Haken vorgeschlagenen Modell ist die postulierte Identität von Mustererkennung und Musterbildung (vgl. z.B. Haken 1992, Haken 1996, S. 46), die darauf verweist, dass auf Seiten des erkennenden Subjektes, Muster erkannt werden, indem ein Ordnungsparameter ausgebildet wird, die Ordnung also durch Selbstorganisation erst erzeugt wird. Mustererkennung ist damit immer eine kognitive Leitung, bei der aus dem Stimulusmaterial einige wenige Merkmale bereits genügen, um die Ausbildung eines Ordnungsparameters zu veranlassen, der dann wiederum die gesamte Wahrnehmung versklavt, also die fehlenden Merkmale selbständig ergänzt oder abweichende Merkmale entsprechend verzerrt. Wie beim Laser (vgl. S. 131ff.) setzen sich im Wettbewerb vieler alternativer *Moden* einige *Moden* durch, die dann das Verhalten der anderen determinieren. In diesem Sinne bringen die Merkmale des Reizmaterials zunächst den Ordnungsparameter hervor, von dem sie dann aber in der Folge versklavt werden, so dass nicht mehr entschieden werden kann, ob bestimmte Merkmale des erkannten Musters erst durch Selbstorganisation hinzuerfunden wurden oder „tatsächlich“ vorliegen. Da Mustererkennung in diesem Sinne immer auch Musterbildung bedeutet, kann die Unterscheidung zwischen der tatsächlichen Existenz der wahrgenommenen Ordnung und der Konstruktion bzw. Erzeugung dieser Ordnung nicht aufrechterhalten bleiben. Um es mit Wolfgang Köhler zu sagen, der Ähnliches bereits 1938 formulierte:

That these processes, occurring in the ... nervous system, should be passive copies of stimulus patterns is certainly an idea which can no longer be seriously held. (Köhler 1938, S. 92, zitiert nach Kruse et al. 1992, S. 104)

Brisant werden Effekte der nachträglichen Konstruktion von Gedächtnisinhalten, wenn es z.B. um die Glaubwürdigkeit von Zeugenaussagen geht oder darum, wie Geschworene und Richter Informationen zu einem Urteil verdichten. Bereits einfache sozialpsychologische Experimente verweisen hier auf erhebliche Unsicherheiten. Dass das menschliche Gedächtnis eben nicht wie eine passive and exakte Videokamera funktioniert, zeigt sich beispielhaft an Hand von Untersuchungen, bei denen Versuchspersonen zunächst eine Filmaufnahme eines Verkehrsunfalls sahen und dann gebeten wurden die Geschwindigkeit der beteiligten Fahrzeuge zu schätzen. Obwohl jede Versuchsperson den gleichen Film vorgeführt bekam, nimmt die geschätzte Geschwindigkeit dramatisch zu, wenn die Probanden danach

befragt werden, wie schnell die Fahrzeuge *zusammengeknallt* sind, im Vergleich zu einer Frage, die darauf abzielt zu erheben wie schnell die Fahrzeuge fahren als sie sich *berührten* (vgl. Loftus & Palmer 1974, für einen Überblick über ein Reihe ähnlicher Phänomene siehe auch Aronson 1994, S. 129ff.). Die unterschiedlichen Schlüsselreize der suggestiven Fragestellung (zusammenknallen vs. berühren) führen zu unterschiedlichen Zeugenaussagen.

Auch Gerichtsurteile zeigen Aspekte spontaner Komplexitätsreduktion

In eine ähnliche Richtung weisen zahlreiche Befunde zur Urteilsfindung in Strafverfahren indem sie eindeutig der häufig formulierten Behauptung widersprechen, dass der Prozess der Urteilsfindung ein hoch komplexes Abwägen unterschiedlicher Gesichtspunkte beinhalte. Korreliert man die Vielzahl an möglicherweise relevanten Merkmalen mit dem anschließenden Urteil, so zeigt sich, dass sich unabhängig von der Komplexität des Einzelfalles die Entscheidungen auf der Grundlage nur einiger weniger Merkmale ergeben. Es findet damit in vielen Fällen die von der Synergetik und der Gestalttheorie beschriebene aktive Ordnungsbildung auf Grund weniger, bereits stark komplexitätsreduzierter Merkmale statt. Es sind dann nicht selten nebensächliche Aspekte, die zur Symmetriebrechung und zur Ausbildung eines Ordners führen, der darauf hin die weitere Wahrnehmung bestimmt. So zeigen Bennet und Feldmann (1981) in einer Analyse von Strafverfahren nach dem Dispositionsgrundsatz, dass der Anschein der Wahrheit weit mehr zählt als die Wahrheit selbst. So gewinnt in Prozessen häufig die Seite, die die wenigsten Widersprüche in ihrer Argumentation aufweist, unabhängig vom konkreten Inhalt der Argumentation. Neben diesen Befunden, die auf Aktenanalysen beruhen, gibt es auch experimentelle Belege, die in die gleiche Richtung weisen: Holstein (1985) zeigte in Simulationsstudien, dass das Vorliegen verschiedener Interpretationen eines Tatbestandes – auch wenn beide für die Unschuld eines Angeklagten sprechen – nachteilige Konsequenzen für das Erreichen eines positiven Urteiles für den Angeklagten bedingen. Es sind hier stark strukturierende kognitiv wirksame Gestaltgesetze, die unabhängig vom konkreten Inhalt einer Sachverhaltsinterpretation zu einer Bewertung führen.

Hysterese-Effekte finden sich auch in der Urteilsbildung

Zudem lassen sich in Gerichtsurteilen auch Hysterese-Effekte (vgl. auch Abbildung 128, S. 432, S. 434, S. 445 und S. 454) beobachten, die sich vor allem dann ergeben, wenn mehrere Vergehen eines Angeklagten in der gleichen Verhandlung behandelt werden. Dies wirkt sich als ungünstiger für den Angeklagten aus, als wenn sie einzeln verhandelt würden (Bordens & Horowitz 1985). Insbesondere die Tatsache, dass sich der Effekt abschwächt, wenn es zu Beginn einer solchen Verhandlung um eher geringfügigere Delikte geht (Davis 1984), zeigt, wie der zuerst gewonnene Eindruck zur Ausbildung eines Attraktors führt, in dessen Licht dann alle weiteren Informationen interpretiert werden.

Stephenson (1990) nennt als wichtigen Grund für die hohe Variabilität der Urteilsverfahren bei verschiedenen Richtern die hohe Komplexität des Urteilsprozesses. Das Urteil richte sich nämlich nicht allein nach der Tat, sondern auch nach einer Vielzahl von individuellen und sozialen Faktoren des Täters. Ein Urteil wird individualisiert und als passend für einen bestimmten Angeklagten wahrgenommen, nicht für die Tat, die er begangen hat. Im Gegensatz zu der hier beschworenen hohen Komplexität der Entscheidungsfindung stehen jedoch zahlreiche Belege, die zeigen, dass in der Praxis der Urteilsfindung häufig eine entsprechend starke Komplexitätsreduktion vorherrscht. Urteile werden relativ schnell gefunden und begründen sich durch eine geringe Zahl gesicherter Fakten. Garber

und Maslach (1977) zeigen z.B., dass die Verhandlung über Strafaussetzungen im erfolgreichen Fall zwei Minuten dauern und im für den Straftäter nicht erfolgreichen Fall eine Minute. Das Ergebnis stand bereits vor der Verhandlung fest und wurde in der Verhandlung durch die Form der Gesprächsführung weiter gefestigt. So wurden Personen, deren Verfahren abgelehnt wurde, zu ihren Problemen im Strafvollzug befragt, während im erfolgreichen Fall Fragen nach der Zukunftsplanung im Vordergrund standen.

Konecni und Ebbeson (1979) gingen bei dem Versuch Zusammenhänge zwischen den im Rahmen einer Verhandlung erhobenen Fakten und einem Urteil aufzuzeigen zunächst von der Annahme aus, dass man angesichts der großen Komplexität der einzelnen Fälle einer gutangelegten archivarischen Datenbank bedürfe, um die Zusammenhänge aller Faktoren und Tatsachen eines Falles mit dem letztendlichen Urteil aufzudecken. Nach einer Analyse von 400 Fällen in San Diego zeigte sich jedoch ein anderes Bild. Nur drei Faktoren bestimmten das Urteilsverhalten vieler Richter in zahlreichen Fällen: Schwere des Verstoßes, Zahl früher begangener Verstöße und die polizeiliche Bewertung der „Gefährlichkeit“ (vgl. Stephenson 1990; vgl. ausführlicher zur Gefährlichkeitsprognose und Urteilsfindung Gutierrez, Wagner & Strunk 1999).

Auch die klinische Urteilsbildung erscheint als aktiver Ordnungsbildungsprozess

Für die Klinische Psychologie dürfte es in diesem Zusammenhang von Bedeutung sein, eine Parallele zur klinischen Urteilsbildung zu ziehen (Schiepek & Tschacher 1992). Dies um so deutlicher, als sich der Prozess diagnostischer Musteridentifikation – analog zur Ersteindrucksbildung – in sehr kurzer Zeit und auch auf der Grundlage unvollständiger Information vollzieht (vgl. bereits Blaser 1977). Ergänzende Informationen dienen meist der Bestätigung und eventuell der Ausdifferenzierung der Wahl einer nosologischen Kategorie bzw. klinischen „Gestalt“. Nicht Kriterienlisten, sondern Prägnanztypen bzw. Standardbeispiele wären es demnach, die Kliniker gespeichert hätten. Unvollständige Muster werden dann nach den Prinzipien der Gestaltwahrnehmung und des assoziativen Gedächtnisses zu prototypischen Störungsbildern komplettiert (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 25). Dass eine klinische Urteilsbildung als aktiver Ordnungsbildungsprozess mehr auf Kategorisierungsprozessen nach der Maßgabe von Prägnanztypen als auf der Abbildung einer zweifelsfrei vorfindbaren Symptomatik in eine nosologische Kategorie beruht, ist vielen Praktikerinnen und Praktikern bekannt, die feststellen, dass die Vergabe einer Diagnose dann besonders leicht fällt, wenn man den Klienten erst wenig kennt, später aber zunehmend schwieriger wird.

Auch im Bereich des schlussfolgernden Denkens zeigen sich charakteristische Phänomene nicht-linearer dynamischer Systeme

Es soll hier nicht verschwiegen werden, dass die psychologische Forschung über kognitive Prozesse nicht allein auf den Bereich der Musteridentifikation beschränkt bleibt. Neben den hier bereits beispielhaft und überblicksartig vorgestellten Phänomenen, lassen sich charakteristische Merkmale organisierter dynamischer Komplexität, wie z.B. Hysterese-Effekte auch im Bereich des schlussfolgernden Denkens und des Problemlösens identifizieren. In diesem Sinne interpretieren z.B. Stadler, Kruse und Carmesin (1996) Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Denkaufgaben als Folge einer – für die Lösung der Aufgaben störenden – Systemstabilität, die z.B. dazu führt, dass Versuchspersonen, die zum ersten Mal mit der Aufgabe konfrontiert werden, die in Abbildung 131 gezeigten neun Punkte durch vier gerade, in einem Zug zu zeichnende, Linien zu verbinden zwischen 30 und 120 Minuten benötigen (vgl. Duncker 1935).

Warum ist die Lösung trotz einer überschaubaren Anzahl von möglichen Linienzügen so schwierig? Weil die quadratische 9-Punkt-Struktur ein stabiler Attraktor ist, der nur schwer wieder verlassen werden kann. Die Lösung erfordert eine Umstrukturierung des Musters, die sowohl die stabile Quadratstruktur überschreitet, als auch die vorgegebene Zentralsymmetrie aufhebt. (Stadler, Kruse & Carmesin 1996, S. 334)

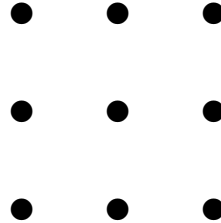


Abbildung 131: Denkaufgabe

Alle neun Punkte sind durch vier gerade, in einem Zug zu zeichnende, Linien zu verbinden (vgl. Duncker 1935, Stadler, Kruse & Carmesin 1996, S. 333).

Attraktoren des Denkens

Typische Hysterese-Effekte lassen sich in kognitiven Prozessen experimentell sehr leicht durch sich wiederholende Aufgaben induzieren. Dabei werden Versuchspersonen gebeten mehrere ähnliche Denkaufgaben zu lösen, deren Lösungsweg aber nach einigen Durchläufen eine andere Herangehensweise erforderlich macht. Dabei zeigt sich dann, dass dieser Wechsel im idealtypischen Lösungsweg in der Regel übersehen wird, obwohl die Lösung selbst (also ohne Wechsel) leicht zu finden gewesen wäre. Es zeigt sich also bei solchen Aufgaben ein Verhalten, wie es oben für Abbildung 128 (S. 432) bereits beschrieben wurde. Das einmal erarbeitete Muster, hier ein Lösungsmuster, wird länger beibehalten, als es auf Grund objektiver Merkmale angebracht erscheint. Nachdem es zunächst durch einen Akt der Ordnungsbildung erzeugt wurde, führt es zu einer Verzerrung neuer Informationen, so dass diese weiterhin als übereinstimmend mit dem anfänglich etablierten Muster erscheinen.

Ein solches Szenario lässt sich z.B. durch Umfüllaufgaben realisieren (vgl. Stadler, Kruse & Carmesin 1996, S. 334f.), bei denen Versuchspersonen gebeten werden mit Hilfe von drei Gefäßen, deren Volumen bekannt ist, ein bestimmtes Zielvolumen auszumessen. Tabelle 14 stellt eine Reihe solcher Aufgaben dar. Für die erste der zehn Aufgaben lässt sich die gewünschte Menge 100 erreichen, indem zunächst das Gefäß B mit 127 gefüllt wird und davon einmal das Gefäß A (minus 21) und zwei Mal das Gefäß C (minus zwei mal 3) abgegossen wird. Mehr als 70% der Versuchspersonen folgen, bei der Bewältigung der weiteren Aufgaben, diesem einmal gefundenen Lösungsweg und nur wenige bemerken, dass sich ab der sechsten Aufgabe eine einfachere Lösung finden lässt. Hier genügt es zunächst das Gefäß A zu füllen und dann C daraus zu entnehmen. Der Übergang in den neuen Lösungsattraktor fällt den meisten Versuchspersonen sichtlich schwer. Er wird letztlich aber von Aufgabe acht erzwungen, die nur auf diese Weise gelöst werden kann (Stadler, Kruse & Carmesin 1996, S. 334f.).

Nr.	Gefäßvolumen			Zielmenge
	A	B	C	
1	21	127	3	100
2	14	163	25	99
3	18	43	10	5
4	9	42	6	21
5	20	59	4	31
6	23	49	3	20
7	18	39	3	15
8	28	76	3	25
9	16	38	6	10
10	19	42	4	15

Tabelle 14:

Umfüllaufgaben

Mit Hilfe der Gefäßvolumina A, B und C soll durch Umfüllen die jeweils angegebene Zielmenge erreicht werden. Bis auf Aufgabe acht können alle Aufgaben mit einem Lösungsweg gelöst werden. Ab Aufgabe sechs existiert jedoch eine zweite, weit einfachere Lösung, die in der Regeln nicht bemerkt wird. Erst Aufgabe acht erfordert diese zweite Lösung, als einzig mögliche (Tabelle aus Stadler, Kruse & Carmesin 1996, S. 334).

Besonders Eindrucksvoll ist der Effekt der Systemstabilität bei einem Denkfehler, der ebenfalls von Stadler, Kruse und Carmesin (1996) berichtet wird. Dazu werden Versuchspersonen gebeten die folgenden Summanden und die jeweils aktuelle Summe laut auszusprechen:

$$1000 + 20 + 1000 + 30 + 1000 + 40 + 1000 + 10$$

Die meisten Probanden lösen diese Aufgabe durch Angabe der folgenden Summen:

$$1020, 2020, 2050, 3050, 3090, 4090, 5000$$

Die irrtümliche Endsumme von 5000 (anstatt 4100) wird auch von mathematisch gut ausgebildeten Versuchspersonen genannt. Die wenigen, die die korrekte Endsumme finden, zeigen kurz vor ihrer Antwort eine typische Pause, in der der starke Attraktor der falschen Lösung (5000) abgewehrt wird. Der Irrtum lässt sich leicht als Konsequenz der Gestaltorganisation der Summen erklären. Die arithmetische Aufgabe erfordert einen dauernden operativen Wechsel zwischen einer zweistelligen und einer vierstelligen Zahl. Dreistellige Zahlen tauschen in dieser Serie nicht auf. Die Hunderterstelle bleibt für die Versuchspersonen unbetont und blass. Nach der Summe 4090 wird daher folgerichtig die Addition von 10 zur runden Zahl 5000 ergänzt, da ja die Hunderterposition (für die richtige Lösung 4100) in dieser Zahlenreihe unbeachtet blieb. Die Gestalttendenz zur Vervollständigung einer runden Summe ist in diesem Fall stärker als die wohlgelehrte Rechenfähigkeit. (Stadler, Kruse & Carmesin 1996, S. 336)

9.2.3 Motorische Prozesse

Es waren die Behavioristen, die Aspekte der Wahrnehmung und kognitiven Verarbeitung als wenig objektivierbare Phänomene aus einer – naturwissenschaftlich verstandenen – Psychologie ausschließen wollten. Psychologie, wie sie der Beha-

aviorist versteht ist ein Zweig der Naturwissenschaften, der sich auf objektivierbare, also beobachtbare Tatsachen stützt, nämlich auf das Verhalten von Menschen in ihrer Umwelt (vgl. ausführlicher S. 52ff.). Wie bereits deutlich wurde, führt dieser Ansatz nicht nur zu erkenntnistheoretischen Problemen. Interessant ist hier vor allem der Umstand, dass der explizit auf das Verhalten des Menschen fokussierte Behaviorismus bei vielen Aspekten der Verhaltenssteuerung weitgehend nutzlos erscheint. Insbesondere komplexe Verhaltensmuster, wie sie im Sport – aber nicht nur dort – erforderlich sind, lassen sich nach den Konzepten des klassischen oder operanten Konditionierens weder erfolgreich aufbauen, noch hinreichend erklären. Geht es darum, komplexe Bewegungsabläufe zu erlernen, wie es z.B. beim Laufenlernen des Kleinkindes, beim Fahrrad- oder Schifahren nötig ist, spielen vielfältige Rückkopplungsschleifen eine Rolle, ohne die solche Lern- aber auch Reproduktionsprozesse gar nicht möglich wären.

Motorische Prozesse lassen sich nicht nach dem Paradigma des Behaviorismus oder dem der Kybernetik beschreiben

Aber auch Ansätze, die die Verhaltenssteuerung als kybernetischen Regelkreis konzipieren greifen in der Realität zu kurz (vgl. z.B. Leist 1999, Schoellhorn 2000). Was sowohl beim Erlernen komplexer Bewegungsabläufe, als auch bei ihrer Ausführung imponiert sind in der Regel kontrollparameterabhängige Ordnungs-Ordnungs-Übergänge, wie sie von der Synergetik beschrieben werden. Diese sprunghaft auftretenden Phasenübergänge, die in vielen Bewegungsmustern identifiziert werden können, sind dabei selten der bewussten Steuerung zugänglich. In diesem Sinne gilt dann häufig, dass gerade der Versuch der bewussten Ausführung einer bestimmten Bewegungsabfolge eben zum Scheitern derselben beiträgt; ein Problem der Sportdidaktik (vgl. Leist 1999), wie es in der Geschichte vom Tausendfüßer zum Ausdruck kommt, der, nachdem er danach gefragt wurde, wie er eigentlich seine Füße setzte, nicht mehr Laufen kann.

Die Ausführungsgeschwindigkeit stellt im Rahmen vieler motorischer Prozesse einen wichtigen Kontrollparameter dar

Ein einfaches Beispiel für einen Phasenübergang in einem motorischen System, kann beim Fahrradfahren beobachtet werden. Ian Stewart (2002, S. 81f.) identifiziert an einem Fahrrad mindestens fünf Bewegungsachsen, nämlich die Lenkachse, die beiden Radachsen, die Pedalachsen und die Bewegungsachsen, die vom Kettenantrieb gebildet werden (vgl. Abbildung 132). Für jede dieser Achsen sind zur vollständigen Beschreibung der Bewegung die beiden physikalischen Größen Ort und Geschwindigkeit erforderlich. Zur relativ vollständigen Kennzeichnung der Bewegungen eines Fahrrades werden mithin zehn Freiheitsgrade benötigt. Ian Stewart (2002) geht es bei seiner Darstellung mehr um die Veranschaulichung des Begriffs des Freiheitsgrades, als um das Fahrradfahren selbst. Dennoch verwundert es ein wenig, dass er eine besonders wichtige Bewegungsachse unterschlägt. Der Winkel zwischen Fahrrad und Untergrund wird von ihm nicht berücksichtigt. Dabei zeigen sich doch insbesondere an dieser Größe ob jemand Fahrradfahren kann oder nicht. Denn auch für einen geübten Radfahrer ist es schwierig diesen im Idealfall senkrechten Winkel aufrecht zu erhalten, wenn er nur sehr langsam fährt. Es kann in einen mühevollen Balance-Akt ausarten, wenn es gilt mit einem Fahrrad Schneckentempo zu fahren. Das Rad wird dabei in der Regel relativ unkontrolliert schwanken, hin und her kippen und es bedarf schneller aber wohldosierter Lenkbewegungen, um nicht umzufallen. Wird der Lenker jetzt losgelassen, ist für viele der Sturz vorprogrammiert. Wird die Fahrtgeschwindigkeit jedoch erhöht, kommt es zu einem Phasenübergang, bei dem sich das Fahrverhalten plötzlich stabilisiert. Die bewusste Kontrolle des Gleichgewichtes kann entfallen und in der Regel gelingt dann sogar das Fahren ohne den Lenker zu benutzen. So wie beim

Fahrradfahren zeigen sich Phasenübergänge auch bei anderen Bewegungsabläufen oder in der Beherrschung von Sportgeräten. Nicht selten ist für das Auftreten solcher Phasenübergänge die Ausführungsgeschwindigkeit ein entscheidender Kontrollparameter.

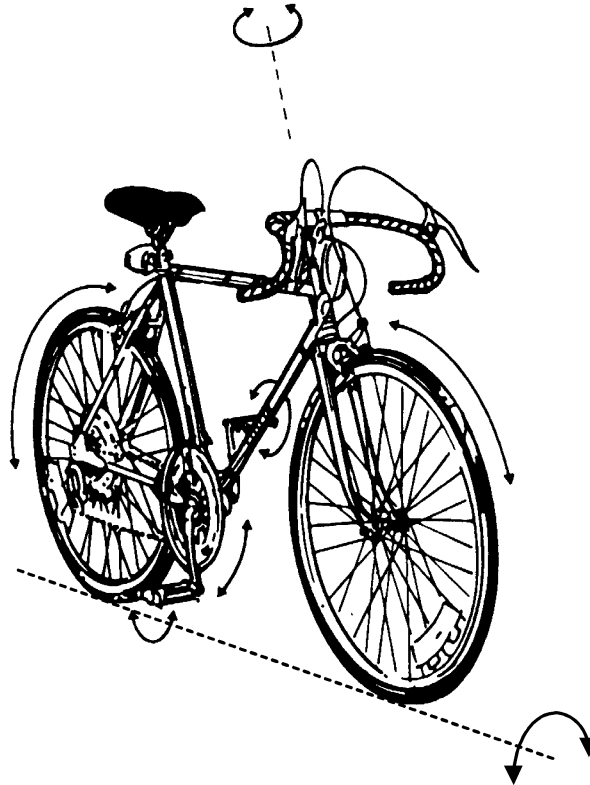


Abbildung 132: Die Freiheitsgrade eines Fahrrades

Bereits ein relativ einfach konstruierter Gegenstand, wie ein Fahrrad, besitzt eine große Zahl von Bewegungsachsen. Die vollständige Beschreibung der Bewegung eines Fahrrades erfordert es, dass für jede der Bewegungsachsen der Ort und die Geschwindigkeit registriert werden. Es ergeben sich also doppelt so viele Freiheitsgrade, wie es Bewegungsachsen gibt. Die Abbildung stammt aus Stewart (2002, S. 82) und wurde um eine fehlende Bewegungsachse ergänzt.

Das Finger-Bewegungs-Paradigma ist mathematisch formalisierbar

Das bekannteste Beispiel für solche Phasenübergänge des motorischen Systems beschreibt einen Ordnungs-Ordnungs-Übergang in der bimodalen Bewegungskoordination und kann leicht im Selbstversuch demonstriert werden: Man bewege dazu die beiden Zeigefinger der linken und der rechten Hand parallel hin und her. Bei zunehmender Geschwindigkeit dieser Parallelbewegung werden die beiden Finger unwillkürlich in eine symmetrische Bewegung übergehen (vgl. Abbildung 133a). Dabei zeigt sich relativ deutlich ein plötzlicher, einschneidender Übergang zwischen zwei diskreten Verhaltensmustern, der bei Veränderung einer stetigen Variable, der Geschwindigkeit auftritt. Es liegt also nahe die Frequenz bzw. Periodendauer der Fingerbewegung als Kontrollparameter zu interpretieren und die relative Phase zwischen den beiden Fingern als Ordnungsparameter. Auf diese Weise gelingt eine mathematische Modellierung des Geschehens im Sinne der Synergetik, die als HKB-Gleichung (Haken, Kelso & Bunz 1985) bekannt wurde. Diese im Folgenden wiedergegebene Gleichung formalisiert die Systemdynamik

auf einer kollektiven Ebene, indem die Beschreibung des Verhaltens auf den Winkel zwischen den beiden Fingern beschränkt bleibt. Es sind jedoch auch Gleichungen zur Kennzeichnung der konkreten Fingerbewegung und zur Beschreibung der beteiligten neuronalen Prozesse vorgeschlagen worden (vgl. für einen Überblick Jirsa, Fuchs & Kelso 1998). Die HKB-Gleichung lautet

Gleichung 67:
HKB-Gleichung

$$\dot{\varphi} = -a \sin \varphi - 2b \sin 2\varphi$$

und formalisiert die zeitliche Veränderung des relativen Phasenwinkel φ zwischen den Fingern. Bei a und b handelt es sich um Konstanten, die jedoch durch einen Kontrollparameter, der Bewegungsfrequenz Ω , miteinander verbunden sind. Inhaltlich bedeutet die Vergrößerung der Bewegungsfrequenz der Finger eine relative Vergrößerung von a gegenüber b , was dazu führt, dass das Verhältnis b/a verkleinert wird.

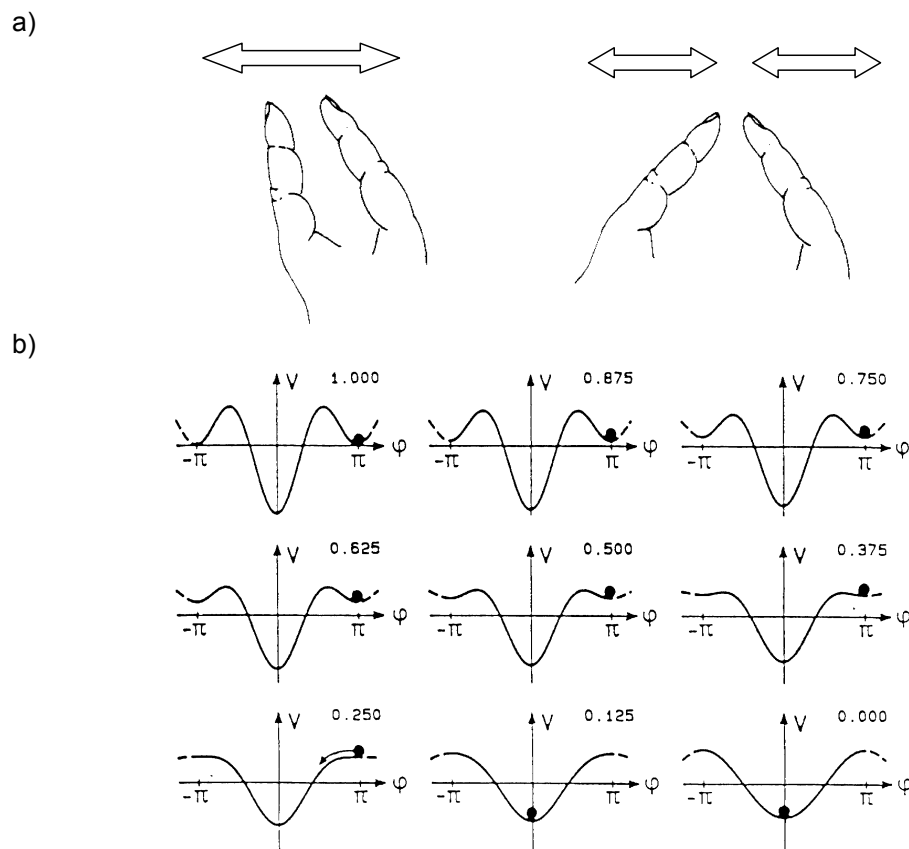


Abbildung 133: Das Fingerbewegungs-Paradigma

(a) Übergang von paralleler zu symmetrischer Fingerbewegung. (b) Potenzialdarstellung des Phasenübergangs bei Fingerbewegungen (Abbildung aus: Haken 1987, S. 152).

Es ergibt sich ein Verhalten, wie es sich in einer Folge von Potenzialdiagrammen (Abbildung 133b) veranschaulichen lässt (Haken, Kelso & Bunz 1985, Haken 1987, 1992). Dabei zeigt sich, dass das System zunächst, über zwei lokale Minima verfügt (eigentlich sind es drei, da die Parallelbewegung durch einen Phasenwinkel von $+180^\circ$ bzw. $+\pi$ aber auch durch -180° bzw. $-\pi$ zu Stande kommt). Bei einer

geringen Bewegungsfrequenz, die ungefähr bei 1 Hz liegt können beide Bewegungsrhythmen, die symmetrische und die parallele gleichermaßen ausgeführt werden. Das Verhältnis der beiden Konstanten b/a ist bei geringer Bewegungsfrequenz gegeben mit einem Wert von Eins. Es lässt sich bereits bei dieser geringen Bewegungsfrequenz nachweisen, dass die symmetrische Bewegung bei einem Phasenwinkel von 0° stabiler ist als die parallele Bewegung bei 180° (bzw. π). In Abbildung 133b zeigt sich dies an dem tieferen Potenzial für den Phasenwinkel von 0° . Andere Phasenwinkel als 0° oder 180° (bzw. π) können nur unter größter Schwierigkeit und nur unter Zuhilfenahme technische Hilfsmittel wie z.B. einem Metronom künstlich aufrechterhalten werden.

Wird die Bewegungsfrequenz erhöht, sinkt das Verhältnis b/a . Dabei wird das lokale Minimum der Parallelbewegung mit zunehmender Frequenz immer flacher (Destabilisierung), bis die Bewegung in den global stabilen Zustand der symmetrischen Bewegung gerät (die Kugel in Abbildung 133b rollt in das Haupttal der Potenzialkurve). Dieser Phasenübergang tritt auf bei $b/a = 0,25$, was ungefähr einer Frequenz von 3 bis 4 Hz entspricht.

Die Vorhersagen des Modells lassen sich empirisch bestätigen

Das Modell sagt voraus, dass die symmetrische Bewegung beibehalten wird, auch wenn man die Frequenz wieder reduziert; die Kugel wird also nicht wieder in das lokale Minimum der Parallelbewegung springen. Dies konnte experimentell bestätigt werden, ebenso die nahe des Phasenübergangs erwartbaren kritischen Fluktuationen der Fingerbewegung (vgl. auch S 170f.). Haken (1987, S. 153) interpretiert diese Passung von Empirie und Theorie im Sinne der Synergetik indem er darauf verweist, dass die vorliegenden Befunde eindeutig der Vorstellung einer zentralen Bewegungssteuerung mit Hilfe von spezifischen Motorprogrammen widersprechen. Es handle sich bei motorischen Abläufen vielmehr um Selbstorganisationsprozesse eines komplexen System aus Neuronen und Muskeln.

Zudem fordert das Beispiel der Bewegungskoordination dazu auf, gängig Methoden der Sportdidaktik kritisch zu hinterfragen (Leist 1999, Schoellhorn 2000). Die auch heute noch weit verbreitete Praxis geht davon aus, dass selbst die höchsten sportlichen Leistungen nur durch einen enormen Trainingsaufwand erreicht werden können. Dabei wird unter Training in der Regel das wiederholte Einüben von *idealen* Bewegungsabläufen verstanden, wobei es darum geht, jede Abweichung von einer als ideal beschriebenen Soll-Bewegungsbahn zu vermeiden (vgl. Schoellhorn 2000). Phänomene, wie sie beispielhaft durch das vorgestellte Fingerbewegungs-Paradigma verdeutlicht werden, aber auch neuere Bewegungsstudien lassen an der Gültigkeit des kybernetischen Paradigmas, der Einübung idealer Bewegungsmuster, Zweifel aufkommen. So zeigt das Beispiel der bimodalen Bewegungskoordination von Fingern unter anderem eine deutliche Geschwindigkeitsabhängigkeit der bevorzugten Bewegungsmuster, was darauf verweist, dass je nach Geschwindigkeit auch jeweils andere Bewegungsbahnen als ideal angesehen werden müssen.

Typische Trainingsprogramme zum Erlernen komplexer Bewegungsabläufe ignorieren diesen Aspekt nicht selten, indem sie die Bewegungen zunächst in einer niedrigen Bewegungsgeschwindigkeit einüben lassen, was zu einigen Problemen führen kann, wenn die Attraktoren der Bewegungsmuster dann ganz anders verteilt sind, als bei hohen Ausführungsgeschwindigkeiten. Da zum Beispiel das Fahr-

radfahren erst dann gelingt, wenn eine gewisse Geschwindigkeit mindestens erreicht wird, verbietet sich hier ein Zugang, der anregt das Fahrradfahren zunächst für geringe Geschwindigkeiten einzuüben. Kinder, die sich bemühen das Fahrradfahren zu erlernen scheitern insbesondere dann, wenn sie aus Angst vor einem Sturz zu langsam fahren. In diesem Sinne sind bestimmte „Trockenübungen“, wie sie in der gängigen Trainingspraxis an der Tagesordnung stehen häufig inadäquat wenn nicht gar hinderlich (vgl. Leist 1999), da sie der letztendlich angestrebten Bewegungsfolge nur ähnlich sehen, ansonsten aber ganz anderen Bewegungsgesetzen gehorchen.

Auch Spitzensportler verfolgen keine idealen Bewegungsmuster

Neben diesen Überlegungen zeigen detaillierte Bewegungsstudien, dass die Bewegungsmuster, gerade von Spitzensportlern, keinesfalls als das starre Abspulen einer Idealbewegung interpretiert werden können (vgl. Schoellhorn 2000). Die Vorstellung von einer immer passenden Idealbewegung ist in sich bereits irreführend. Die Starrheit einer solcher Bewegung ließe eben keine Spitzenleistungen zu. Es zeigt sich vielmehr, dass die Bewegungen von Profisportlern sich optimal anpassen, an das jeweilige Sportgerät, die Tagesform, die mentale Stimmung und an andere äußere und innere Umweltbedingungen. Schoellhorn (2000) berichtet von Studien, bei denen z.B. zwei Diskuswerfer über ein Jahr lang beobachtet wurden und keine zwei identischen Bewegungsabläufe identifiziert werden konnten. Er geht davon aus, dass es unmöglich ist, ein und die selbe Bewegung zwei Mal auszuführen. In dem Maße, wie bereits kleine Fluktuationen im komplexen dynamischen System von Bewegungsabläufen zu Veränderungen in der Bewegung führen können, ist es dann aber auch relativ unproduktiv nur eine ideale Bewegung verbindlich vorzuschreiben.

Sportdidaktisch sollten an die Stelle von Drill und starrer Trainingspläne Methoden treten, die die Variabilität und die Experimentierfreude fördern. Wird diese mit mentalen Rückkopplungen über die Passung einer Bewegung („die Bewegung fühlt sich richtig an“) verknüpft, so kann aus dieser Feedbackschleife eine flexible Selbstoptimierung erwachsen (vgl. Schoellhorn 2000). Das Erlernen komplexer Bewegungsabläufe wird im Rahmen solcher Forderungen ähnlich konzipiert, wie es von Piaget bereits seit Mitte der 30er Jahre vorgeschlagen wurde. Auf diese Lerntheorie, die Lernen im Gegensatz zum Behaviorismus als selbstorganisierten Prozess versteht, wird im Folgenden näher eingegangen.

9.2.4 Lernen als Prozess der Selbstorganisation

Der Siegeszug der modernen Naturwissenschaften seit Galilei und Newton beruhte maßgeblich auf der Methode des Experimentes, welches nach dem Paradigma der isolierenden Variation eine schrittweise Analyse der Naturvorgänge propagiert. Dass ein solches Vorgehen, wenn es gelingen soll, an die Summativität des Systemverhaltens gebunden ist wurde bereits ausführlich dargestellt (vgl. S. 27f., Tabelle 5, S. 180 und S. 182ff.). Auch für die Psychologie sollte die mechanistisch begründete, lineal konzipierte Sichtweise eine naturwissenschaftlich orientierte Forschung ermöglichen. Tatsächlich scheint es so zu sein, dass dieses Vorgehen, welches im Behaviorismus seinen Höhepunkt erfuhr, zur Anerkennung der Psychologie als empirischer Wissenschaft beigetragen hat. Zu der Zeit aber, als sich der Behaviorismus zu formieren begann, hatte Poincaré bereits die Grenzen

dieses einfachen und allzu bequemen Weltbildes ausgelotet und das Tor aufgestoßen zur komplexen Dynamik nichtlinearer, nichtlinearer Systeme (vgl. S. 89ff.). Erstaunlicher Weise gelang es gerade den Strömungen der Psychologie, die sich einer naturwissenschaftlichen Ausrichtung verschrieben hatten, immer nur sehr zögerlich sich auf neue naturwissenschaftliche Ansätze einzustellen. Als in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts der Behaviorismus zur Grundlage der Verhaltenstherapie erhoben wurde, war der theoretische Rahmen der Kybernetik schon runde zehn Jahre alt und endlich auch in der allgemeinen Psychologie rezipiert worden (vgl. S. 66ff.). Es sollte jedoch erneut über zehn Jahre dauern, bis der kybernetische Ansatz der Verhaltenssteuerung, wie er von Miller, Galanter und Pribram 1960 vorgeschlagen worden war im Rahmen der Psychotherapieforschung rezipiert wurde (z.B. Mahoney 1974).

Frühe Ansätze der Gestaltpsychologie und Piagets Schematheorie nehmen viele Aspekte moderner Systemtheorien vorweg

Obwohl es so scheint, als ob die Psychologie in ihren grundlegenden Forschungsparadigmen auf der einen Seite den Naturwissenschaften nacheifert sich aber auf der anderen Seite schwer tut neue Entwicklungen nachzuvollziehen (dieser Hysteresis-Effekt wissenschaftlicher Paradigmen lässt sich jedoch nicht nur in der Psychologie nachweisen; vgl. z.B. Kuhn 1973, 1977), gibt es bestimmte Bereiche, in denen sie ihrer Zeit weit voraus war. Insbesondere die Arbeiten zur Gestaltpsychologie können als Gegenentwürfe zum mechanistisch linealen Behaviorismus gelten und nehmen dabei bereits viele grundlegende Fragestellungen und Erklärungsansätze der modernen Systemwissenschaften vorweg. Aber nicht nur im Bereich der Wahrnehmungs- und kognitiven Psychologie gab es Alternativen zu dem allzu positivistischen Erklärungsmodell des Reiz-Reaktions-Paradigmas. Auch in Bezug auf die Konzeptualisierung, Beschreibung und Erklärung von Lernprozessen sind schon früh Modelle entwickelt worden, die Lernen als Prozess der Selbstorganisation bzw. Selbstaktualisierung verstehen.

Es ist die Schematheorie Jean Piagets, die nicht nur die Kybernetik des Plankonzeptes um rund 30 Jahre vorwegnimmt (Piaget 1969/1936, 1969/1945), ohne dabei in die Falle der trivialen kybernetischen Berechenbarkeit menschlichen Verhaltens zu gehen. Neben der Einbindung des auch von Bartlett (1932) vertretenen Schemabegriffes in die Konzeption von Lernprozessen, die in den 60er Jahren von Miller, Galanter und Pribram wiederholt wird, beschreibt Piaget Lernen als operational geschlossene Transformation und Veränderung von Schemastrukturen, also als Selbstorganisationsleistung eines autonomen Systems. Im Gegensatz zum Behaviorismus wird der Mensch in der Schematheorie Piagets zum aktiven Konstrukteur seiner eigenen Erfahrungen. Die kognitive Entwicklung vollzieht sich, aus dieser Perspektive, nicht als linear ablaufende von außen gesteuerte „Programmierung“, sondern als in diskontinuierlichen Sprüngen stattfindender evolutionärer Prozess der beständigen Selbstaktualisierung.

Den Kern des Ansatzes bildet der Schemabegriff, der von Bartlett (1932) wie folgt umschrieben wird:

Unter ‚Schema‘ verstehen wir eine aktive Organisation von vergangenen Reaktionen oder vergangenen Erfahrungen, von welcher wir annehmen, dass sie in jedem gut angepassten Organismus wirksam ist. Schon bei der kleinsten Ordnung oder Regelmäßigkeit des Verhaltens ist eine bestimmte Reaktion nur möglich, weil sie zu anderen ähnlichen in Beziehung steht. Die Reaktionen sind seriell organisiert, wirken jedoch nicht einfach als indi-

viduelle Glieder, eines nach dem anderen, sondern als einheitliche Masse. Dieses Bestimmtwerden durch Schemata stellt die grundlegende Weise dar, in der wir durch zurückliegende Reaktionen und Erfahrungen beeinflusst werden. Alle hereinkommenden Impulse einer bestimmten Art oder einer bestimmten Gefühlslage bilden zusammen eine aktive organisierte Ordnung: Auf relativ niedrigem Niveau organisieren sich visuelle und auditive Impulse sowie verschiedene Arten von Hautimpulsen usw.; auf einem höheren Niveau geschieht dasselbe mit allen Erfahrungen, welche durch gemeinsame Interessen verbunden sind: Sport, Literatur, Geschichte, Kunst, Wissenschaft, Philosophie usw. (Bartlett 1932, S. 201, zitiert nach Miller, Galanter & Pribram 1973, S. 17)

Schematheoretische Ansätze besitzen heute einen weiten Anwendungsbereich

Noch in den 60er Jahren mussten die Verfechter schematheoretischer Ansätze sich gegen die Kritik wehren unnötigen theoretischen Ballast mit sich herum zu schleppen. Eine solch nebulöse Konstruktion, wie die des Schemabegriffes sei aus der Perspektive einer „modernen“ behavioral orientierten Psychologie verzichtbar (Miller, Galanter & Pribram 1973, S. 29f.). Aus heutiger Sicht bildet der Schemabegriff, der als umfassende Repräsentation und Organisation von Gefühlslagen, sensorischen Impulsen, Erfahrungen und Interessen definiert wird, eine unverzichtbare Grundlage für ganz unterschiedliche theoretische Ansätze, zu denen sowohl die Arbeiten Piagets zur Entwicklungspsychologie (z.B. Piaget 1969/1936, 1969/1945, 1976, 1981), die Arbeiten von Miller, Galanter und Pribram zur Verhaltenssteuerung (Miller, Galanter & Pribram 1960, 1973), die Arbeiten von Klaus Grawe zur Beschreibung psychotherapeutischer Prozesse (z.B. Grawe 1986, 1987a, 1987b, 1988, 1998) und ähnlicher Konzeptionen im Bereich der Systemischen Therapie (z.B. Ahlers et al. 1994, Schiepek 1999a, S. 226) gehören. Insbesondere die psychotherapeutisch orientierten Arbeiten nutzen den Schemabegriff in Verbindung mit den von Piaget vorgeschlagenen Mechanismen der Selbstaktualisierung.

Dass Piaget den Schemabegriff nicht ganz so weit fasst wie Bartlett, sich im Kern auf einen Handlungsorientierten bzw. kognitiv gefärbten Schemabegriff stützt, führt dazu, dass die von ihm vorgeschlagenen Erklärungsmodelle auf die Beschreibung kognitiver Funktionen beschränkt bleiben. Neuere theoretische Ansätze der Psychotherapieforschung erweitern den auf kognitive Funktionen eingegrenzten Schemabegriff daher um emotionale Aspekte, so dass dort dann von kognitiv-emotionalen Schemata gesprochen wird (vgl. z.B. Grawe 1998 aber auch Ciompi 1982, 1991, 1993). Unter einem Schema wird hier dann die grundlegende Organisationseinheit psychischer Prozesse (Ahlers et al. 1994, S. 6) bzw. ein übergreifendes Bedeutungs-Muster (Schiepek 1999a, S. 226) des Wahrnehmens, Erlebens und Verhaltens verstanden.

Schemata leiten Erfahrungen, werden aber erst durch Erfahrungen gebildet

Schemata sind funktionell eingebunden in zwei, einander ergänzende und gegenseitig bedingende, Prozesse. Zum einen werden Schemata erst in der Auseinandersetzung eines Individuums mit seiner Umwelt generiert und zum anderen liegen sie dieser Auseinandersetzung des Individuums mit seiner Umwelt aber auch zu Grunde, indem sie dessen Verhalten, Wahrnehmung und Erleben leiten. Die Bedeutung von Schemata im Prozess der Selbstaktualisierung ist damit gekennzeichnet durch die zirkuläre Kausalität von Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklen, wie sie auch von Neisser (1979) für den Vorgang des Sehens beschrieben werden (vgl. Abbildung 123, S. 428). Ein Schema, als grundlegende Organisationseinheit psychischer Prozesse leitet die Erfahrungen eines Individuums, indem es Erwar-

tungen weckt sowie Handlungsmöglichkeiten und Bewertungen von Ereignissen nahe legt. Andererseits führen die so angeleiteten, und damit von der privaten kognitiv-emotionalen Logik der Schemata beeinflussten, individuellen Erfahrungen auch zu einer Überarbeitung der Schemata. Da sich Schemata durch Differenzierung und Modifikation beständig an neue Wahrnehmungs- und Erlebnisinhalte anpassen unterliegen sie einem fortlaufenden Wandel.

Diesem Prozess der beständig mitlaufenden Selbstaktualisierung steht das Beharrungsvermögen von Schemata gegenüber. Dadurch, dass Schemata die Wahrnehmung eines Individuums organisieren, erzwingen sie zumindest tendenziell eine Wahrnehmung, die mit den beteiligten Schemata im Einklang steht. Dieses Beharrungsvermögen, welches sich z.B. in Hysterese-Effekten der Wahrnehmung und in kognitiven Prozessen äußert wurde oben bereits ausführlich diskutiert (vgl. S. 434f. und S. 445f.).

Assimilation und Akkomodation bilden die Grundprinzipien zur Veränderung von Schemastrukturen

Durch die Beschreibung der kognitiven Entwicklung als zirkulären Prozess, der seinen Ausgangs- und Endpunkt in der Schemastruktur des Individuums besitzt, gelingt Piaget der Entwurf einer selbstgesteuerten evolutionären Dynamik, bei dem jede neue Erfahrung nur auf der Grundlage vorhergehender Erfahrungen verstanden und interpretiert werden kann; neue Erfahrungen aber auch nur dann Relevanz gewinnen wenn bereits etablierte Schemata zu kurz greifen. In diesem Sinne bemüht sich ein Individuum zunächst darum neue Informationen in bereits vorhandene Schemata einzupassen, also zu *assimilieren*. Wenn jedoch die Erfahrungen nicht an ein Schema assimiliert werden können, da sie zu sehr den bisherigen Erfahrungen widersprechen, ist eine *Akkomodation*, also eine grundlegende Veränderung und Anpassung der Schemata nötig, wenn es dem Individuum weiterhin gelingen soll mit seiner Umwelt sinnvoll, also z.B. im Sinne seiner Ziele zu interagieren. Im Rahmen einer solchen Akkomodation werden dann vorhandene Schemata differenziert oder neue generiert.

Dieser von Piaget vermutete Prozess der Assimilation und Akkomodation, dient dem Individuum zur Abstimmung und Anpassung seiner Schemata an Umwelterfahrungen. In dem Maße, in dem es einem Individuum gelingt, seine Schemastrukturen beständig zu aktualisieren, bleibt es handlungsfähig. Gelingt eine Akkomodation nicht, da diese z.B. essentielle Überzeugungen des Individuums in Frage stellen würde, kommt es zu Phänomenen der Verleugnung, indem bestimmte Informationen ausgeblendet bleiben oder im Sinne bereits bestehender Schemata verzerrt werden. Es sind vor allem psychotherapeutisch orientierte Arbeiten (z.B. Ahlers et al. 1994), die diesen Aspekt der Schematheorie betonen.

Ohne „passende“ Verstärkung ist keine Weiterentwicklung möglich

Eine weitere wichtige Schlussfolgerung ergibt sich aus der Beschreibung von Entwicklungsprozessen als Akkomodationsprozessen, da diese erst durch eine fehlende Möglichkeit zur Assimilation ausgelöst werden. In diesem Sinne kommt es nur dann zu einer Lernerfahrung, wenn ein Individuum durch den „Leidensdruck“ einer fehlgeschlagenen Assimilation dazu motiviert wird. Ohne verstörende Inputs, ohne ein sanftes Infragestellen, ohne Widerspruch besteht für ein Individuum keine Veranlassung zur Weiterentwicklung. Auf den Punkt bringt diese Sichtweise das alte Sprichwort über die Bedeutung von Fehlern für das Lernen. Die Interpretation eines Lernprozesses als durch Verstörungen ausgelöste Beseitigung einer als unangenehm erlebten Verunsicherung setzt jedoch voraus, dass ein Individuum die Verstörung auch wahrnimmt, also bereit ist, sich den Herausforderungen

zu stellen und anzuerkennen, dass ein bereits etabliertes Schema in bestimmten Fällen zu wenig passenden Wahrnehmungen, Handlungen oder Bewertungen führt. Eine solche Verstörung muss also hinreichend groß sein, darf aber nicht so dramatische Züge annehmen, dass ein Individuum nur mehr mit Verleugnung reagieren kann (vgl. in diesem Zusammenhang ähnlich Forderungen an die Qualität psychotherapeutisch relevanter Interventionen z.B. bei Ludewig 1992).

Lernerfahrungen vollziehen sich regelhaft, lassen sich aber nicht programmieren

Im Rahmen der beschriebenen Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklen und der beständig mitlaufenden Mechanismen von Assimilation und Akkomodation lassen sich Lernprozesse als bestimmten Regeln folgende gesetzmäßig ablaufende Prozesse interpretieren. Dieser Regelhaftigkeit steht jedoch die inhaltliche Unvorhersagbarkeit des Prozesses gegenüber. In diesem Sinne lassen sich Lernerfahrungen nicht programmieren, wie es der Behaviorismus nahe legt. Sie entstehen aus der intrinsisch motivierten Auseinandersetzung eines Individuums mit seiner Umwelt. Und diese Auseinandersetzung wird durch die Schemata des Individuums gesteuert. Der Umwelt kommt also eine Rolle zu, die umso weniger plan- und zielgerichtet manipulierbar wird, je mehr davon ausgegangen werden muss, dass diese Umwelt erst in der Schemastruktur des die Umwelt beobachtenden Individuums „erfunden“ wird. Lernen und Entwicklung, sowohl der kognitiven Funktionen, als auch der Persönlichkeit erscheint aus dieser Perspektive als aktive Selbstorganisationsleistung operational geschlossener Individuen. Mehr noch als die kybernetisch orientierten Versuche zur Modellierung solcher Prozesse (z.B. durch Klahr 1973, Klahr & Wallace 1973, Klahr & Siegler 1978, Klahr 1981; vgl. S. 74ff.) bietet sich die Verknüpfung schematheoretischer Ansätze mit den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme an (vgl. z.B. Ciompi 1982, 1991, 1993, Grawe 1998, Schiepek 1999a).

9.2.5 Soziale Systeme

Geläufige Alltagserfahrung ist es, dass sich soziale Strukturen (z.B. Rollen, Hierarchien) entwickeln, sobald mehrere Personen interagieren. Phänomene der Kohärenzbildung bei deutlicher Reduktion individueller Freiheitsgrade lassen sich jeden Samstag auf den Zuschauertribünen von Fußballstadien beobachten. Die dabei auftretenden Prozesse, kollektiver makroskopischer Ordnungsbildung, führen zu Fragen, die trotz großer Fortschritte in den Sozialwissenschaften und der Sozialpsychologie noch immer schwer zu beantworten sind: Wie kann es sein, dass Menschen scheinbar ganz automatisch anders miteinander umgehen als man es nach Kenntnis ihrer Persönlichkeit bzw. vor dem Hintergrund ihrer individuellen Eigenschaften vermuten würde? Selbst Freud schreibt 1921:

Wenn die Psychologie, welche die Anlagen, Triebregungen, Motive, Absichten eines einzelnen Menschen bis zu seinen Handlungen und in die Beziehungen zu seinen Nächsten verfolgt, ihre Aufgabe restlos gelöst und alle diese Zusammenhänge restlos durchsichtig gemacht hätte, dann fände sie sich plötzlich vor einer neuen Aufgabe, die sich ungelöst vor ihr erhebt. Sie müsste die überraschende Tatsache erklären, dass dies ihr verständlich gewordene Individuum unter einer bestimmten Bedingung ganz anders fühlt, denkt und handelt, als von ihm zu erwarten stand, und diese Bedingung ist die Einreihung in eine Menschenmenge. (Freud 2000/1921, S. 67)

Der Gruppenbegriff ist relativ jung

Auffällig ist, dass Freud in diesem Zusammenhang nicht von einer „Einreihung in eine Gruppe“, sondern von einer *Menschenmenge* spricht. Der Begriff der *Gruppe*, wie er heute in der Sozialpsychologie Verwendung findet ist relativ jung. Während nämlich die Vorläufer der Psychologie des Individuums weit, nämlich bis auf antike Philosophen zurück reichen, existiert die Sozialpsychologie und mit ihr die Gruppenforschung erst seit dem 20. Jahrhundert, als zunächst wenig beachteter Ableger der Persönlichkeitspsychologie (vgl. Schiepek et al. 1995c).

Für die europäische Sozialpsychologie waren die Franzosen Emile Durkheim⁹⁸ und Gustave Le Bon⁹⁹ von großer Bedeutung. Bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts bestimmte vor allem Le Bons „*Massenpsychologie*“ (1895) die europäische Sozialforschung. Analogien zur Hypnose (Massensuggestion) und zur damals entdeckten bakteriellen Verbreitung von Krankheiten (psychische Ansteckung) erlangten bei der Erklärung von Massenphänomenen, wie Aufständen, Streiks, Revolutionen zentrale Bedeutung. Massenphänomene erhielten dadurch eine pathologische Konnotation nach dem Motto, Menschen, die sich in eine Menschenmenge einreihen, stecken sich mit dem Virus der Dummheit an. Massenphänomenen wurde die Macht zugeschrieben, die Kritik und Urteilsfähigkeit des einzelnen Individuums auszuschalten.

Im Gegensatz zur Massenpsychologie, die das Verhalten von Menschenansammlungen mit Hilfe medizinischer Begriffe zu beschreiben versuchte, führte etwa zur gleichen Zeit der Amerikaner Charles Horton Cooley¹⁰⁰ die Unterscheidung zwischen Primärgruppen (Familie, Freunde, Arbeitskollegen) und Sekundärgruppen (anonyme Gesamtheiten, d.h. alle anderen, mit denen ein Individuum zu tun hat) ein. Er betont, dass Menschen immer in einem komplexen System sozialer Beziehungen stehen und letztlich nur mit Blick auf diese Bezugssysteme verstanden werden können. Im Gegensatz zu Freud, der zu verstehen trachtet, wie ein einzelner Mensch denkt, fühlt und handelt, also bei der Beschreibung von Menschen vom Individuum ausgeht (vgl. hierzu auch die Kritik von Metzger & Pongratz 1972), betont Cooley, dass es das Individuum als solches nicht gibt. Von Geburt an existieren Menschen im Rahmen von Beziehungen und sozialen Interaktionen mit ihrer Primärgruppe (vgl. z.B. Hehlmann 1967, S. 319). George Herbert Mead¹⁰¹ kommt zu ähnlichen Feststellungen: Erst in sozialen Beziehungen und über soziale Erlebnisse entwickelt sich das, was den Menschen zum Menschen macht. Sprache und Geist als Kernvariablen menschlichen Handelns und Erlebens sind in diesem Sinne nur vor dem Hintergrund sozialer Beziehungen verstehbar (z.B. Mead 1968/1934).

Leistungsaspekte unter Gruppeneinfluss werden im Rahmen der Human Relation Bewegung thematisiert

In den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wuchs das Interesse an der Gruppenforschung. Nach und nach wurde erkannt, dass in Gruppen qualitativ andere Spielregeln und Gesetzmäßigkeiten gelten als man bisher angenommen hatte. In dieser Zeit entstanden dann auch erste Studien zu betrieblichen Arbeitsgruppen, wobei vor allem Leistungsaspekte unter Gruppeneinfluss thematisiert wurden. Zu den frühen Studien über betriebliche Arbeitsgruppen gehören auch die berühmten

⁹⁸ 1858 bis 1917

⁹⁹ 1841 bis 1931

¹⁰⁰ 1864 bis 1930

¹⁰¹ 1863 bis 1931

Hawthorne-Studien die Elton Mayo¹⁰² mit seinen Mitarbeitern zwischen 1927 und 1932 durchführte (Mayo 1933, Roethlisberger & Dickson 1939, Mayo 1945) und damit auf das Phänomen der Leistungssteigerung bei sozialer Zuwendung aufmerksam machten.

Ebenfalls aus den 30er Jahren stammen die Beiträge der Gestaltpsychologie zur Gruppenpsychologie. Kurt Lewin entwickelte aus den Vorstellungen der „Berliner Gestalttheorie“, die maßgeblich durch die Gestaltpsychologen Wolfgang Köhler und Max Wertheimer geprägt wurde, eine soziale Feldtheorie und leitete 1935 mit seinem Buch „A Dynamic Theory of Personality“ die Ära der Gruppendynamik ein (kritische Darstellungen aus heutiger Sicht finden sich z.B. bei Molter 1981, Elšik 2003).

Aber auch psychoanalytische Wurzeln trugen zur Entwicklung der Gruppenforschung bei. Freud bearbeitete in Aufsätzen wie „Massenpsychologie und Ich-Analyse“ (2000/1921), „Das Unbehagen in der Kultur“ (2000/1929) oder „Totem und Tabu“ (2000/1913b) gesellschaftliche Fragestellungen, wobei er vor allem einer Erklärung kultureller Phänomene näher zu kommen versuchte. Alfred Adler (z.B. 1972/1912, 1973/1933, 1978/1927) machte die Stellung des Individuums in der Gemeinschaft zu einem Kernpunkt seiner Individualpsychologie (vgl. S. 233ff.). Insgesamt führten die tiefenpsychologisch orientierten Ansätze zu einer Reihe von politisch relevanten Publikationen, wie z.B. Wilhelm Reichs¹⁰³ 1933 erschienene „Massenpsychologie des Faschismus“ (1971/1933).

Die Gruppenforschung entwickelte sich vom Individuumszentrierten Ansatz zur systemischen Perspektive

Nachdem jedoch bis Ende der 30er Jahre fast alle tiefenpsychologisch und analytisch orientierten Psychologen zur Emigration gezwungen waren, kam es zu einem tiefen Bruch in der Entwicklung der europäischen Sozialpsychologie (vgl. Hehlmann 1967, S. 322ff.). Tiefenpsychologische und gestaltpsychologische Wurzeln werden seit Ende des 2. Weltkrieges kaum mehr verfolgt (vgl. für eine neuere Positionsbestimmung zur Beziehung zwischen Unbewussten und Gesellschaft Fromm 1990). Derzeit eröffnet sich dem Betrachter eine unüberschaubare Vielfalt an Einzeltheorien, Spezialwissen und Konzepten. Je nach Schule oder theoretischer Position werden unterschiedlichste Aspekte sozialen Handelns und Erlebens hervorgehoben. Vor diesem Hintergrund fällt es schwer übergreifende allgemeine Entwicklungstrends in der Gruppenforschung zu identifizieren. Versucht man es dennoch, so kann man eine Entwicklung von individuumszentrierten zu systemorientierten Konzeptionen beobachten: Wurde früher das Verhalten von Gruppen als Aggregation von Einzelverhaltensweisen zu erklären versucht (eine Gruppe ist die Summe der Verhaltensweisen ihrer Mitglieder), richtet sich der Blick mittlerweile auf das, wofür die Systemtheorie den Begriff der „Emergenz“ bzw. der Selbstorganisation zur Verfügung stellt (vgl. z.B. Langthaler & Schiepek 1996). Damit nähert sie sich aus einer anderen Perspektiv erneut den Fragestellungen, wie sie in ähnlicher Weise bereits von Lewin thematisiert wurden.

Typische Gruppenphänomene werden als emergente Strukturen verstehbar

Die systemtheoretische Konzeption zeigt auf, dass Prozesse auf der Ebene sozialer Systeme nicht notwendigerweise komplizierter sind als solche auf der Ebene individueller psychischer Systeme: es handelt sich lediglich um ein anderes Auflö-

¹⁰² 1880 bis 1949

¹⁰³ 1897 bis 1957

sungsniveau. Sich emergent ausbildende dynamische Muster und Qualitäten bestimmen dann z.B. über Gruppenstrukturen im Rahmen eines komplexen Prozesses, der nicht als Summe von Einzelverhaltensweisen oder individueller kognitiv-emotionaler Schemata erklärbar ist. Aus dieser Perspektive scheint es zwischen der eingangs zitierten von Freud vorgelegten Fragestellung und klassischen Arbeiten im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme auffällige Parallelen zu geben. Ähnlich, wie es Freud für die Einreihung eines Individuums in eine Menschenmenge beschreibt, lassen sich auch die Bewegungsbahnen von drei einander durch Gravitation beeinflussender Körper nicht mehr in jedem Fall vollständig bestimmen (vgl. 89ff.), obwohl die einzelnen Gesetzmäßigkeiten bis ins Detail bekannt sind. Begegnen sich Individuen in einer Gruppe, so bildet sich ein komplexes System, dessen Verhalten, in ähnlicher Weise, nicht mehr aus der Kenntnis der Einzelverhaltensweisen erschlossen werden kann (vgl. auch Abbildung 19, S. 65). Dennoch ist auch hier kein wahlloses Durcheinander zu erwarten, sondern die Ausbildung kollektiver makroskopischer Muster (wie z.B. die optisch und akustisch recht eindrucksvolle La-Ola-Welle im Fußballstadion). Strukturen entstehen aber auch dann, wenn ein Kollektiv von Personen räumlich verteilt ist, etwa im Bereich der öffentlichen Meinungsbildung (Weidlich & Haag 1983). In diesem Zusammenhang ist die Veränderung kollektiver „Moden“ gesundheitsrelevanter Einstellungen und Verhaltensweisen auch für die Medizin und Gesundheitspsychologie von großer Bedeutung.

Spontane Ordnungsbildung des Sozialen werden durch winzige Gesten ausgelöst

Phänomene der spontanen Ordnungsbildung können im Rahmen sozialer Begegnungen in verschiedenster Gestalt und auf verschiedenen Analyseebenen beobachtet werden. Insbesondere während der erstmaligen Begegnung zwischen zwei Menschen sind es winzige Gesten, ein Lächeln oder eine scheinbar unbedeutende Handbewegung die zur Symmetriebrechung führen. Dabei kommt es im Bruchteil einer Sekunde zur Entscheidung über eine Unzahl möglicher sozialer Interaktionssequenzen, ein Verhalten der Ordnungsbildung wie es von der Synergetik für Systeme mit einer großen Zahl an Freiheitsgraden idealtypisch beschrieben wird (vgl. S. 135ff.). Allgemein gesehen erfolgt jede Begegnung zwischen Menschen unter der Bedingung doppelter Kontingenz, also einer Handlungsunsicherheit auf beiden Seiten (vgl. Luhmann 1984). Damit ergeben sich im Prozess der sozialen Interaktion beständig neu auftretende Phasen hochgradig instabiler Symmetriezustände bei denen mehrere Verhaltensoptionen gleichwahrscheinlich nebeneinander stehen. In diesen Phasen genügen dann kleinste Fluktuationen um zu einer Symmetriebrechung hin zu einer anschlussfähigen Kommunikation zu führen.

Soziale Rollen können Sogfunktionen, ähnlich einem Attraktor entfalten

Trotz der im zwischenmenschlichen Bereich immer gegebenen Unsicherheit auf Seiten jedes beteiligten Interaktionspartners und der, insbesondere in der erstmaligen Begegnung zwischen Menschen, zu beobachtenden Musterstabilisierungs- und Destabilisierungs-Kaskaden kann es auch im zwischenmenschlichen Bereich zu ausgeprägten Hysterese-Phänomenen kommen (vgl. auch S. 434f., S. 445f. und S. 454f.). Die spontane Reduktion der Freiheitsgrade kann eine Sogfunktion entwickeln, die es erschwert sich aus den einmal eingenommenen sozialen Rollen wieder zu verabschieden. Anschauliche Beispiele aus dem klinischen Erfahrungsbereich zeigen sich dann z.B. in den Restriktionen, die manche Familien- und Partnerschaftsstrukturen auf die Verhaltensspielräume und Beziehungsmöglichkeiten der Familienmitglieder oder die beiden Partner wechselseitig auf einander ausüben. Im Bereich der Herausbildung unbewusster Beziehungsmuster in

Partnerschaften liegen Interpretationen vor, die systemtheoretische Konzepte mit psychoanalytischen Ansätzen verknüpfen (Willi 1975). Schiepek (1991) weist vor dem Hintergrund einer Vielzahl analysierter Ehe- und Paarkonstellationen darauf hin, dass stabile Beziehungsmuster aus dem Zusammenwirken von „Symptomen“, grundlegenden Beziehungsdefinitionen, individuellen kognitiv-emotionalen Schemata, wiederholt reproduzierten Lösungs- bzw. Veränderungsversuchen und sozio-ökonomischen Randbedingungen entstehen.

Obwohl hier nur eine phänomenologisch-beschreibende Analogie zwischen den Prozessen der Ordnungsbildung, wie sie von der Synergetik konzeptualisiert werden und den emergenten Musterbildungsprozessen des Sozialen hergestellt werden soll (für theoretisch mathematische Modelle siehe z.B. Weidlich & Haag 1983 und für empirische Analysen Schiepek et al. 1995a), besticht doch die Parallelität der zu Grunde liegenden Mechanismen, die in beiden Fällen als Prozess der selbstorganisierten Entstehung makroskopischer Muster auf der Grundlage zunächst konkurrierender Moden (alternativer Verhaltensweisen) beschrieben werden kann. Zudem zeigen sich dann in der Folge auch für Soziale Prozesse Phänomene der Versklavung, also eine Eingrenzung des Verhaltens unter die Vorgabe des Ordners (z.B. Ausbildung von Erwartungsmustern und Mustern von Erwartungs-Erwartungen in sozialen Interaktionen). Auf einer größeren, gesellschaftlichen Ebene beschreibt der Soziologe Pierre Bourdieu ähnliche kreiskausale Mechanismen der Ordnungsbildung. Auch er kennzeichnet die Ausbildung sozialer Felder (z.B. Bourdieu 1986) als einen Prozess, in dem die Mikroebene erst die Makroebene hervorbringt, von der sie aber in ein übergreifendes Muster gezwungen wird (vgl. Abbildung 134).

Die Verknüpfung von Mikro- und Makroebene folgt bei Bourdieu ähnlichen Mechanismen wie in der Synergetik

Den Kern des Ansatzes von Bourdieu (vgl. z.B. Bourdieu 1986) bildet das Zusammenspiel von *Feld*, *Kapitalien* und *Habitus*. Die Kapitalien können dabei ähnlich dem monetären Kapitalbegriff verstanden werden. Auch wenn bei Bourdieu dann z.B. vom *sozialen Kapital* die Rede ist, ist damit etwas gemeint, was sich ähnlich wie Geld vermehren und investieren lässt. Das soziale Kapital umfasst dabei unter anderem Aspekte sozialer Netzwerke aber auch soziale Umgangsformen und Ähnliches. Im Wesentlichen werden Kapitalien primärsozialisatorisch erworben und bilden damit die Grundlage für das spätere Erreichen gesellschaftlicher Positionen, indem sie die Möglichkeit eröffnen im sozialen Handeln einen bestimmten Habitus, also ein bestimmtes aus den Kapitalien gespeistes Verhaltens-, Erlebens- und Interpretationsmuster, zu zeigen. Der Habitus ist also mit den Handlungskomponenten einer Schemastruktur vergleichbar (vgl. S. 452f.). Die Akteure eines sozialen Feldes zeigen also in der sozialen Interaktion einen ihrer Sozialisation entsprechenden Habitus, wobei es durch die Interaktion zur emergenten Ausbildung einer Strukturierung und Abgrenzung des sozialen Raumes kommt. Die verschiedenen, mit unterschiedlicher Macht und unterschiedlichem Ansehen gekennzeichneten Positionen des sozialen Raumes werden dabei von den interagierenden Individuen als makroskopische Struktur erst gebildet, bestehen also nicht a priori und unabhängig davon. Dieser Soziale Raum heißt bei Bourdieu (1986) Feld und zeigt ähnliche Mechanismen wie sie durch die Synergetik beschrieben werden. Das Feld erzwingt nämlich von den einzelnen Akteuren die möglichst strikte Einhaltung der sozialen Spielregeln, die andererseits erst von den Akteuren durch die Formierung des Feldes hervorgerufen werden.

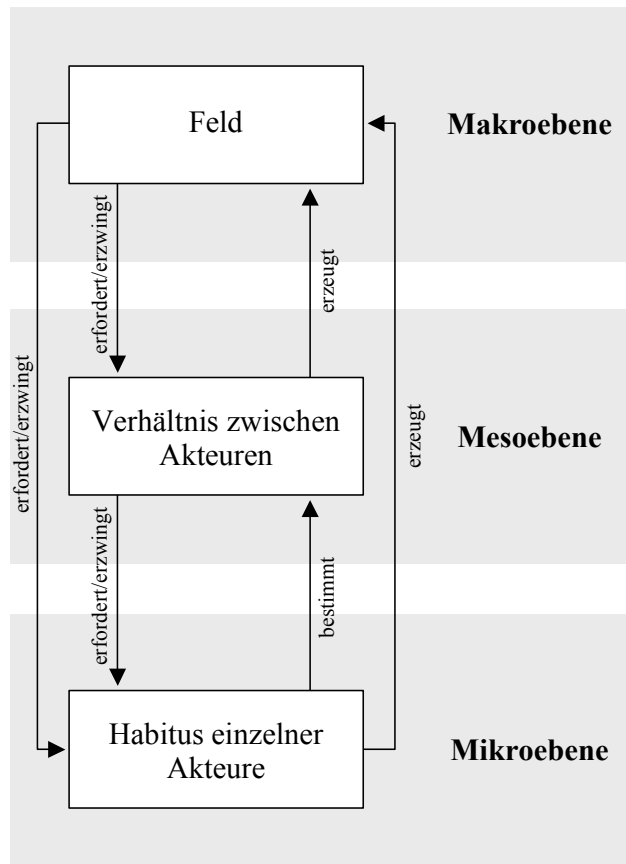


Abbildung 134: Soziale Ordnungsbildung in der Konzeption von Pierre Bourdieu

Soziale Ordnungsbildung beruht bei Bourdieu, ähnlich wie in der Synergetik auf einem Modell der zirkulären Kausalität zwischen Mikro und Makroebene. Dabei erzeugen bzw. bestimmen die unteren Ebenen die höheren Ebenen. Andererseits erzwingen jedoch die höheren Ebenen bestimmte Merkmale von den unteren Ebenen. So wird zwar ein Feld erst aus der Summe der Habitus der einzelnen Akteure gebildet. Das Feld erzwingt dann aber andererseits einen bestimmten Habitus von den Akteuren des Feldes. Vergleiche hierzu auch Abbildung 47 auf Seite 136 (Abbildung nach Hermann 2003).

soziale Strukturen zeigen selbstähnliche Muster

Ein ganz anderer Hinweis auf die komplexe Verfasstheit des Sozialen ist in der häufig beobachtbaren *Selbstähnlichkeit* sozialer Strukturen zu erkennen, die dazu führt, dass sich ähnliche Interaktionsmuster auf unterschiedlichen Stufen reproduzieren. Häufig unterscheidet sich dann z.B. die immer wieder beschworene Meta-Kommunikation, zumindest auf der Beziehungsebene gar nicht so sehr von der ursprünglichen Kommunikation. Ein Umstand, der dazu führt, dass eine rein verbale Meta-Kommunikation bei verfahrenen Beziehungsklärungen oft nichts Grundsätzliches ändert (vgl. Schiepek & Strunk 1994).

Selbstähnliche kommunikativ-soziale Strukturen werden auch für die Beziehungen zwischen Klienten- und Helfersystemen vermutet (vgl. Schweitzer 1989). Dabei wird davon ausgegangen, dass sich Strukturmerkmale des Helfersystems in den Strukturen von Klientensystemen reproduzieren und umgekehrt. Die Rollenverteilung innerhalb einer Klienten-Familie spiegelt sich dann z.B. im therapeutischen Team oder in der Supervisions-Gruppe. In diesem Sinne ist dann auch

die selbstähnliche Abbildung der Interaktionsprobleme z.B. einer Familie in den Kooperationsproblemen zwischen professionellen Helfern oder Hilfsinstitutionen zu verstehen. Wie für Musterbildungsprozesse üblich können auch hier keine bevorzugten Kausalrichtungen identifiziert werden, so dass offen bleiben muss, ob die Muster des Klientensystems im Helfersystem ähnliche Strukturen anregen oder umgekehrt (vgl. Konzepte zur Auflösung solcher häufig dysfunktionalen Muster Strunk 1998c). Auch bleibt die selbstähnliche Musterbildung, im Gegensatz zu mathematischen Fraktalen (vgl. S. 143ff.) auf einen bestimmten „Skalenbereich“ beschränkt. Das aus der Systemischen Therapie stammende Konzept des Problemsystems (vgl. Goolishian & Anderson 1988, Ludewig 1992) verknüpft in diesem Zusammenhang Skalenbereiche, die ihren Ursprung auf der Ebene intrapsychischer Strukturen eines Individuums haben und über die Struktur seiner unmittelbaren Lebensgemeinschaft bis hin zur Kommunikationsstruktur eines Helferteams oder einer beteiligten Institution (oder Institutionen) reichen können.

Selbstähnliche Strukturen lassen sich auch in der Biographie von Menschen finden

Skaleninvariante Selbstähnlichkeit als charakteristische Eigenschaft organisierter Komplexität lässt sich nicht nur in den Kommunikations- und Beziehungsmustern sozialer Systeme, sondern auch über verschiedene Zeitskalen der individuellen Lebensgestaltung und Biographie hinweg vermuten. Das Konzept des Lebensstils, wie es Alfred Adler vorschlägt (z.B. Adler 1972/1912, 1973/1933, Adler 1978/1927), trägt dem Rechnung indem davon ausgegangen wird, dass sich in jedem Detail einer menschlichen Handlung der ganze Mensch offenbart. So verweisen dann Muster, wie sie sich in alltäglichen Handlungen zeigen, auf ähnliche Muster im Umgang mit entscheidenden Lebensaufgaben. Die Art wie man Beziehungen eingetht oder vor ihnen zurückschreckt zeigt sich dann in kleinen und unbedeutenden Begegnungen in ähnlicher Weise wie im Umgang mit dem Partner, der Partnerin. Die Verarbeitung von Misserfolgen, das Streben nach Anerkennung, Berufs- und Partnerwahl, wohin man schaut zeigt sich ein ähnliches Muster aus Zögern und Aggression, aus Ausflüchten und Mut. Dabei liegt für Adler hinter diesen durchaus verschiedenen, und keinesfalls als vollständige Liste gedachten, biographischen Episoden ein verbindendes Grundmuster verborgen, welches als umfassender Lebensstil interpretiert wird (vgl. auch Schiepek, Fricke & Kaimer 1992).

Obwohl der Begriff der Selbstähnlichkeit bei all diesen Beispielen nicht im mathematisch exakten Sinne verwendet wurde, mag er dennoch als Metapher seinen Sinn haben, regt er doch dazu an, bestimmte Aspekte sozialer Beziehungen aus dieser Perspektive einer Neubewertung zu unterziehen und allgemein den Blick zu schärfen für geordnete Strukturen in der Komplexität menschlicher Beziehungen (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 22).

9.2.6 Pathogenese und Dynamische Krankheiten

Klassisch mechanistische Krankheitsmodelle beschreiben den menschlichen Organismus nach dem Modell einer Maschine. In diesem Sinne werden den Mechanismus schädigende Faktoren als Auslöser für pathologische Entwicklungen im Rahmen eines lineal-kausalen Medizinmodells interpretiert. Solche für eine Erkrankung als ursächlich angenommenen Einflüsse werden dann z.B. in genetischen Prädispositionen oder aktuellen physischen Schädigungen gesehen. Auf die

Beschränkungen und logischen Probleme dieses naturwissenschaftlichen Medizinmodells wurde bereits eingegangen (vgl. S. 211ff.). Der Mensch als komplexes bio-psycho-soziales System kann mit dem begrenzten Inventar mechanistischer Erklärungsmuster nur unzureichend beschrieben werden. Die Feststellung, dass psychische Belastungs- und Entlastungsfaktoren sowie sozio-ökonomische Bedingungen zusammen mit den biologisch-physischen Funktionen eines Menschen ein nur mehr in seiner Gesamtheit verstehbares Ganzes bilden, erscheint leider all zu vielen Medizinern auch heute noch als Ketzerei und Angriff auf das Gesundheitssystem.

Die Unterscheidung zwischen erklär- und nicht erklär- psychischen Störungen hat eine lange Tradition

Die kausal mechanistisch motivierte Suche nach Krankheitsursachen gerät insbesondere bei psychopathologischen Störungen immer wieder an ihre Grenzen. Klassische Ansätze zur Pathogenese psychischer Erkrankungen unterschieden in diesem Zusammenhang klar zwischen erklär- und verstehbaren Störungen, die z.B. psychoanalytisch im Rahmen von Theorien zur Neurosenentstehung auf frühkindlich erworbene psychosexuelle Entwicklungsstörungen zurückgeführt und nicht verstehbaren Erkrankungen, die in der klassischen Nosologie als Psychosen zusammengefasst wurden. Zwar ging man auch in Bezug auf psychotische Störungen davon aus, dass kausal interpretierbare Ursachen der Krankheit zu Grunde liegen müssten, die Vielgestaltigkeit der Erscheinungsbilder des „Irrsinns“ ließ sich jedoch nicht so leicht auf einleuchtende Ursachen beziehen. Zumindest gelang es Emil Kraepelin¹⁰⁴ 1896 gemeinsame Muster in den verschiedenen Merkmalen dieser Erkrankungen zu finden, die er unter dem Namen *Dementia praecox* zusammenfasste, ein Ansatz, der 1911 von Eugen Bleuler¹⁰⁵ zur Beschreibung der *Gruppe der Schizophrenien* erweitert wurde (vgl. z.B. Tölle 1994, S. 188).

Auch heute kann über die Ursachen so mancher psychischer Erkrankung trefflich gestritten werden. Die Einteilung in Neurosen auf der einen und Psychosen auf der anderen Seite, die im Grunde auf einer tiefenpsychologisch motivierten pathogenetischen Erklärung beruht, wird heute selbst im psychoanalytisch dominierten ICD aufgegeben. Was die Ursachen der Schizophrenien angeht, so ist man in neueren Konzepten wieder ähnlich vorsichtig wie bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Die Feststellung, dass es sich beim Menschen um ein komplexes bio-psycho-soziales System handelt, findet sich in neueren pathogenetischen Ansätzen durchaus wieder, wenn für die Entstehung psychischer Krankheiten verschiedenste Einflussfaktoren im Sinne einer *multifaktoriellen Genese* benannt werden. So ist es z.B. als unwahrscheinlich anzusehen, dass Schizophrenien sich auf nur eine Ursache zurückführen lassen (vgl. z.B. Tölle 1994, S. 209).

Pathogenetische Einflüsse verletzen nicht selten das Prinzip der starken Kausalität

Charakteristisch für die Entwicklung vieler psychischer Störungen scheint es zu sein, dass das Prinzip der *starken Kausalität* (ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen; vgl. S. 172f.) nicht gilt, was etwa an der unspezifischen Wirkung von Kindheitstraumen oder Life-Events deutlich wird. Sehr unterschiedliche Ausgangskonstellationen können zu ähnlichen psychopathologischen Ordnungszuständen führen und minimale Fluktuationen in den intrapsychischen oder Umgebungsbedingungen eines Menschen können umgekehrt völlig divergierende Folgezustände nach sich ziehen, ein Verhalten, wie es mit dem Konzept der kriti-

¹⁰⁴ 1856 bis 1926

¹⁰⁵ 1857 bis 1939

schen Instabilität treffend beschrieben werden kann (vgl. S. 170f.). Sollte diese Interpretation zutreffen, liegt der Schluss nahe, dass die Unspezifität von Life-Event-Wirkungen (z.B. Brown, Harris & Peto 1980), weniger ein Artefakt unzureichender Forschungsmethodik, sondern vielmehr ein substantielles Charakteristikum einer nicht-linearen pathogenetischen Dynamik ist. Kritische Instabilitäten mit ausgeprägten Fluktuationen kennzeichnen den Übergang zwischen Ordnungszuständen eines Systems, etwa in psychischen Krisen oder in Momenten besonderer therapeutischer Suggestibilität bzw. Aufnahmebereitschaft (Kruse et al. 1992). Auch im Rahmen von Computersimulationen konnte die Bedeutung kritischer Instabilitäten für psychopathologische Prozesse verdeutlicht werden (z.B. bei der Depressionsentwicklung, Schiepek 1991, S. 292ff.; Schaub & Schiepek 1992).

Bestimmte Störungsbilder lassen sich erst aus der Kenntnis der Verlaufsgestalt identifizieren

Trotz dieser häufig widersprüchlichen und nur selten voraussehbaren Entwicklung der psychischen Gesundheit bzw. Krankheit eines Menschen verlaufen solche Prozesse nicht zufällig und wahllos. Bereits die klassische Psychopathologie beschreibt psychische Leidenszustände als hochgeordnete, kohärente Strukturen, die in der Regel mit einer dramatischen Reduzierung der Freiheitsgrade eines Menschen einhergehen. Oft sind dabei diskontinuierliche Phasenübergänge zwischen „kranken“ und „gesunden“ Mustern (vgl. z.B. Mackey & an der Heiden 1982, Mackey & Milton 1987, an der Heiden 1992a, 1993) ebenso beobachtbar, wie auch Ordnungs-Ordnungs-Übergänge zwischen verschiedenen klinischen Ordnungsmustern, z.B. im Verlauf manisch-depressiver Erkrankungen (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 16). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass schon in der traditionellen psychiatrischen Nosologie psychische Störungen vielfach nach ihren Verlaufsgestalten beschrieben wurden (z.B. bei Kraepelin 1909). Klar unterscheidbare Verlaufsgestalten schizophrener Erkrankungen werden z.B. von Ciompi und Müller (Ciompi & Müller 1976, Ciompi 1989) identifiziert (vgl. Abbildung 135).

Solche dynamischen Strukturen, die für verschiedene psychische Störungen ganz eigene, spezifische Gestalten aufweisen, können durchaus als Attraktoren im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme verstanden werden. Auch diese „kranken“, das heißt mit psychischem Leid verbundenen Attraktoren, werden dabei als selbstorganisierte Dynamik des komplexen bio-psycho-sozialen Systems interpretiert. Sie können daher entweder durch eine Verschiebung in den Parametern der Energiezufuhr, also den Kontrollparametern, oder durch starke „Verstörung“ des Systems (z.B. durch Life-Events oder Traumata) ausgelöst werden. An der Heiden (1999) verdeutlicht diese Interpretation der Dynamik von Krankheit und Gesundheit als Attraktor an einem medizinischen Beispiel:

Es ist z.B. eine naheliegende Vermutung, dass der *plötzliche Herztod* eine Konsequenz davon sein kann, dass die Herzdynamik zwei Attraktoren hat, nämlich *Schlagen* (verbunden mit einer periodischen Bewegung) und *Ruhen* (verbunden mit Herzstillstand). Es ist daher denkbar, dass durch einen äußeren Einfluss (zu schnelles Laufen, Erregungszustände, Drogen) das Herz aus dem Attraktionsbereich des Attraktors *Schlagen* in den Attraktionsbereich des Attraktors *Ruhen* *perturbiert* wird. Diese Vermutung wird unterstützt durch den glücklichen Umstand, dass manchmal auch die umgekehrte Perturbation zurück in den Einzugsbereich des Schlagattraktors möglich ist, z.B. durch Herzmassage oder Elektroschock. (an der Heiden 1999, S. 261)

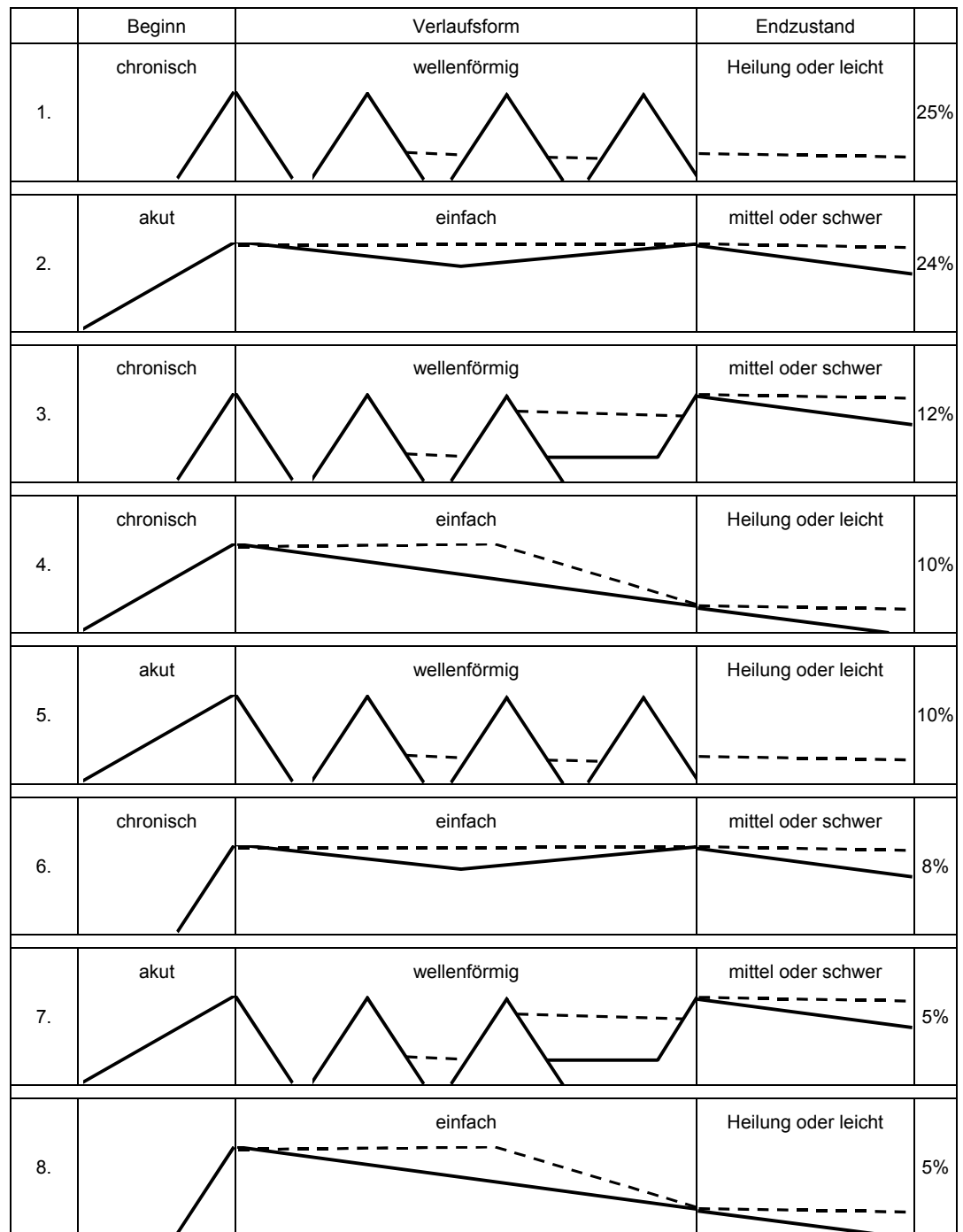


Abbildung 135: Verlaufsförmigkeiten schizophrener Erkrankungen

Wie die Abbildung verdeutlicht, können klar anhand ihres Verlaufs abgrenzbare schizophrene Verlaufsförmigkeiten unterschieden werden, für die zudem eine jeweils unterschiedlich positive Prognose möglich ist. Nicht immer endet eine schizophrene Erkrankung in einem schweren chronischen Zustand (Abbildung nach Ciompi & Müller 1976, Ciompi 1989; vgl. Tölle 1994, S. 205).

Aus diesen Vorstellungen resultiert ein entsprechend neu formuliertes Verständnis von Krankheit und Gesundheit, das sog. Konzept der *Dynamischen Krankheiten* (Glass & Mackey 1977, Mackey 1978, Mackey & an der Heiden 1982, Mackey & Milton 1987, an der Heiden 1992a, 1992c, 1993). Dem Ansatz der Dynamischen

Krankheiten liegt die Vorstellung zu Grunde, dass der menschliche Organismus ein komplexes System interagierender Entitäten ist. Diese Auffassung beschränkt sich nicht nur auf die materielle Seite der menschlichen Existenz (Moleküle, Zellen, Organe etc.), sondern berücksichtigt die Tatsache, dass der „Mensch ein Beziehungsgeflecht umfasst, zu dem mindestens die Hauptkomponenten Körperlichkeit, Fühlen, Wahrnehmen, Denken und Verhalten gehören, von denen jede mit jeder interagiert“ (an der Heiden 1993, S. 52). Ausschnitte aus diesem Beziehungsgeflecht lassen sich mathematisch mit Hilfe von nichtlinearen dynamischen Differentialgleichungssystemen modellieren, so dass dynamische Theorien formuliert, simuliert und mit empirischen Befunden verglichen werden können (vgl. für methodische Überlegungen Kapitel 7.1, S. 183ff.). Modellsysteme und empirische Befunde stützen Interpretationen die davon ausgehen, dass es sich bei Dynamischen Krankheiten um den Ausdruck einer jeweils selbstorganisierten Dynamik des komplexen Systems Mensch handelt. Die Simulationsergebnisse eines solchen Modellsystems zur Entstehung epileptischer Anfälle werden z.B. in Abbildung 121 (S. 423) dargestellt.

Dynamische Krankheiten sind leidvoll erlebte dynamische Muster

Auf der empirischen Seite waren es zunächst klinische Beobachtungen über periodisch auftretende Krankheitssymptome, wie z.B. periodische Fieberschübe, Gelenkschwellungen oder die periodische Wiederkehr von Ödemen, die Reimann (1963) dazu veranlassten von *periodischen Krankheiten* zu sprechen. Bei der Beobachtung solcher periodisch auftretender Symptome stellte sich insbesondere heraus, dass die jeweilige Periodendauer nicht oder nur selten mit Ereignissen außerhalb des Individuums im Einklang steht. Es ließen sich also keine externen Taktgeber identifizieren, mit deren Hilfe die periodischen Muster hätten erklärt werden können. Die Dynamik der periodischen Krankheiten musste also als Ausdruck der internen, im Organismus des Patienten verorteten, Selbstorganisationskräfte interpretiert werden (an der Heiden 1999, S. 247).

Dynamische Krankheiten sind Ausdruck von Selbstorganisationskräften

Erweitert wurde der Ansatz der periodischen Krankheiten durch die Studien von Mackey und Glass (Glass & Mackey 1977, Mackey 1978, Mackey & an der Heiden 1982, Mackey & Milton 1987), die zeigen konnten, dass viele Krankheiten sich weniger durch reguläre periodische Verlaufsformen sondern viel mehr durch irreguläre komplexe Muster auszeichnen. Solche irregulären dynamischen Strukturen zeigen sich z.B. im Zuge von Herzrhythmusstörungen, bestimmten Blutkrankheiten oder in den EEG-Signalen epileptischer Anfälle (vgl. S. 412ff.). Mathematische Modelle legen es nahe diese und andere irregulären Zeitsignale des Organismus als deterministisch-chaotische Dynamik im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zu interpretieren. Experimentell lässt sich in diesem Zusammenhang z.B. zeigen, dass physiologische Regulationssysteme durch eine Verschiebung einzelner oder mehrerer Konstanten des physiologischen Kontrollsystems leicht in einen chaotischen Zustand versetzt werden können (vgl. an der Heiden 1999). Chaos stellt damit ein durchaus wahrscheinliches Verhalten biologischer Systeme dar.

Zusammenfassend lässt sich das Konzept der *Dynamischen Krankheiten* über vier wichtige Folgerungen kennzeichnen (vgl. z.B. an der Heiden 1993). Diese stimmen in weiten Teilen mit Vorstellungen überein, wie sie z.B. auch in der Systemischen Psychotherapie (vgl. z.B. Schlippe & Schweitzer 1996, Schiepek 1999a) vertreten werden:

1. **Einheit von Krankheit und Gesundheit.** Krankheit und Gesundheit werden im Konzept der Dynamischen Krankheiten als kohärente dynamische Strukturen verstanden, die beide gleichermaßen Ausdruck des bio-psycho-sozialen Systems Mensch sind. Die Gegensätze von Krankheit und Gesundheit setzen aus dieser Perspektive eben nicht voraus, dass sie auch auf jeweils unterschiedliche Systeme zurück gehen. Da – ganz im Gegenteil – das gleiche System sowohl krank als auch gesund sein kann, ohne dass sich seine Struktur ändert, ist der „gesunde“ Systemzustand in Form einer Selbstheilungskapazität im System jederzeit vorhanden.
2. **Die Rolle von Interventionen.** Interventionen setzen aus der Sicht der Konzeption Dynamischer Krankheiten entweder an den Parametern des Systems an oder stützen sich auf eine Verstörung des Systems. Beide Interventionsmöglichkeiten können erfolgreich sein, wobei insgesamt gilt, dass Interventionen in komplexen dynamischen Systemen anderen Gesetzen folgen, als dies für lineale Systeme der Fall ist (vgl. z.B. Willke 1994). In diesem Sinne sind Interventionen im Rahmen nicht-trivialer Systeme (von Foerster 1985) weniger spezifisch plan- und durchführbar. Ihre Folgen können nur selten im Detail vorhergesagt werden. Insbesondere verlieren einfache Dosis-Wirkungs-Analogien hier ihre Gültigkeit. An ihre Stelle treten Methoden der Kontextsteuerung, die es im Idealfall ermöglichen ein System in die Lage zu versetzen sich selbst zu organisieren und dabei einen weniger leidvollen, gesunderen Attraktor einzunehmen. Dies soll aber nicht bedeuten, dass aus der Perspektive Dynamischer Krankheiten klassische gezielte medizinische Interventionen keine Rolle mehr spielen oder gar abgelehnt werden. Gemeint ist vielmehr, dass auch solche direkten, zielgerichteten Interventionen in ihrer Wirkweise hinterfragt und neu interpretiert werden müssen. In diesem Sinne gilt die alte Weisheit, dass nicht der Arzt heilt – auch nicht ein gebrochenes Bein, das er schient – sondern sich der Patient selber heilen muss, also die Selbstorganisationskräfte des Organismus dafür sorgen müssen, dass ein Bein wieder zusammen wächst. Dass aber solche Selbstheilungskräfte auch bei bester medizinischer Versorgung eingebunden sind in ein Geflecht bio-psycho-sozialer Wechselwirkungen und damit nicht immer und zwangsläufig zur Gesundung führen, wurde oben (S. 211ff.) ausführlich diskutiert.
3. **Ursache und Wirkung.** In dem Maße, in dem ein Organismus als komplexes kreiskausal operierendes System aufgefasst werden muss, können Ursachen und Wirkungen nicht mehr klar voneinander getrennt werden. Dies gilt in weiten Bereichen sowohl für die Genese von Erkrankungen als auch für deren Heilung. In vielen Fällen ist es daher nicht möglich die Frage nach der Ursache einer Erkrankung zu beantworten. Ähnlich wie in der zwischenmenschlichen Kommunikation, bedeutet die Feststellung einer Ursache, die Setzung einer mehr oder minder begründbaren Interpunktion (vgl. Watzlawick, Beavin & Jackson 1969, Watzlawick & Beavin 1980). Auch in diesem Zusammenhang soll nicht geleugnet werden, dass es hilfreich sein kann, medizinische Ursachen für eine Erkrankung zu diagnostizieren. Das Konzept der Dynamischen Krankheiten verweist aber zudem auf die Bedeutung von Fragestellungen, die darauf abzielen z.B. relevante Kontextfaktoren von Krankheit und Gesundheit zu ermitteln. Dass nicht jeder zu jeder Zeit, nachdem er mit z.B. einem Grippeerreger in Berührung gekommen ist, erkrankt, zeigt, wie unspezifisch häufig auch scheinbar spezifische Ursachen mit Wirkungen verknüpft sind. Auf der anderen Seite

können sehr unterschiedliche Interventionen und Behandlungsmethoden zu einer Heilung anregen. Zwei theoretisch begründbare Formen der Intervention wurden bereits genannt, nämlich die Verstörung des Systems und die Veränderung des Energiedurchflusses durch das System mit Hilfe relevanter Kontrollparameter. Die Feststellung, dass eine erfolgreiche Behandlung auf sehr unterschiedlichen Wegen zu Stande kommen kann verweist darauf, dass Heilung keine Problemkenntnis zur Voraussetzung hat.

4. **Der Plural von Gesundheit.** Dass wohl das Wort „Krankheit“ einen Plural besitzt, nicht aber das Wort „Gesundheit“, ist eine Marotte der deutschen Sprache, die dazu verleitet, die Vielfalt „gesunder“ Lebensformen zu übersehen. So, wie es verschiedenste Krankheiten, also unterschiedliche dynamische Muster gibt, die als leidvoll erlebt werden, gibt es auch verschiedene Formen und Gestalten der Gesundheit, die als befriedigend, angenehm oder beglückend wahrgenommen werden. Die Wiederherstellung der Gesundheit muss also nicht notwendigerweise bedeuten, dass die gleichen Attraktoren, die vor der Erkrankung realisiert wurden, wieder angestrebt werden. In diesem Sinne muss im Rahmen einer Intervention nicht unbedingt versucht werden einen ganz spezifischen „historischen Urzustand“ möglichst genau zu rekonstruieren.

Die Folgerungen aus dem Konzept der Dynamischen Krankheiten, wie sie hier nur überblicksartig dargestellt werden können, schlagen bereits den Bogen zur Praxis der Psychotherapie. So werden die meisten Folgerungen in ähnlicher Form auch im psychotherapeutischen Kontext (vgl. z.B. de Shazer 1985, de Shazer et al. 1986, Ludewig 1987, Grawe 1988, de Shazer 1989, Ludewig 1992, Schiepek, Fricke & Kaimer 1992, Grawe 1998, Grawe & Grawe-Gerber 1999, Schiepek 1999a) und da vor allem im Rahmen der Systemischen Therapie diskutiert (vgl. dazu ausführlicher S. 472ff.).

9.3 Psychotherapie, ein chaotischer Prozess?

Betrachtet man die Strömungen der Psychotherapieforschung seit der berühmt gewordenen Publikation Eysencks aus dem Jahr 1952, in der er behauptet, dass Spontanremissionen und Psychotherapien in etwa zu den gleichen Ergebnissen führen, zeigt sich eine Entwicklung, die von zwei Tendenzen bestimmt wird. Während auf der einen Seite Forschung vor allem mit dem Ziel betrieben wird Eysencks Befunde zu widerlegen, geht es auf der anderen Seite darum Modelle zu entwickeln, mit denen sich psychotherapeutische Prozesse adäquat beschreiben lassen. Während ersteres recht schnell gelang, zeigen sich in Hinblick auf die schlüssige theoretische Fundierung der Wirkmechanismen von Psychotherapie noch immer gravierende Lücken. Vermehrt wird in den letzten Jahren jedoch versucht diese Erklärungslücken mit dynamischen Prozessmodellen zu überbrücken (vgl. z.B. Kriz 1989, Kriz 1990, Schiepek, Fricke & Kaimer 1992, Tschacher, Schiepek & Brunner 1992, Schiepek 1993a, Tschacher & Scheier 1995, Schiepek & Tschacher 1997, Grawe 1998, Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Dabei handelt es sich um Ansätze, die sich in der Regel explizit zu einer Konzeption bekennen, die von den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme nahegelegt wird.

Eysenck behauptet 1952 das Psychotherapie so gut hilft wie keine Psychotherapie

Auslöser für die Forschungsbemühungen und eine ausgedehnte kontroverse Diskussion (Charms, Levy & Wertheimer 1954, Luborsky 1954, Rosenzweig 1954, Cartwright 1955, Stevenson 1959, Duehrssen & Jorswieck 1962, Grawe 1992, Erwiderungen von Eysenck, 1954, 1955, 1961, 1993) war die durch Eysenck (1952, aber auch 1960, 1968) getroffene Behauptung, dass mit oder ohne Therapie zwei Drittel aller neurotischen Störungen innerhalb von zwei Jahren remittieren. Dabei stützte sich Eysenck auf Daten von Landis aus dem Jahre 1938 und Denker aus dem Jahre 1946. McNeilly und Howard legen 1991 – also knapp vierzig Jahre danach – dar, dass die präsentierten Zahlen auch 1952 schon nichts anderes bedeuten haben, als dass es einem psychotherapeutisch behandelten Klienten schon nach drei Monaten so gut gehe wie unbehandelten erst nach zwei Jahren (vgl. Grawe 1992). Laut Grawe (1992, S. 134), dauerte es in der BRD 1958/59 im Durchschnitt zwölf Jahre, 1979 neun Jahre und 1985/86 noch sieben Jahre, bis ein Mensch mit behandlungsbedürftigen neurotischen oder psychosomatischen Störungen schließlich Kontakt mit einer psychotherapeutischen Expertin, einem psychotherapeutischen Experten bekam (vgl. Boor & Künzler 1963, Meyer 1981, Sturm & Zielke 1988). Damit nehmen dann vor allem diejenigen Psychotherapie in Anspruch, die über eine ungünstige Prognose verfügen. Anderenfalls hätten ihre Beschwerden ja bereits nach zwei Jahren zurückgehen müssen.

Grawe löst 1992 erneut eine heftige Diskussion aus, als er in seinem Überblick über den Stand der Psychotherapieforschung zu Beginn der 90er Jahre die Behauptung Eysencks zu widerlegen versucht. Während Grawe Eysencks Schlussfolgerungen für nicht zulässig erklärt und betont, dass Psychotherapie wirkt, antwortet Eysenck beleidigt (Eysenck 1993). Er betont, dass es merkwürdig und intrigant sei, nach 40 Jahren immer noch missverstanden zu werden. Ihm wäre es nicht darum gegangen, zu beweisen, dass Psychotherapie nicht wirkt. Vielmehr wäre es anderen darum gegangen mittels Erfolgsstatistiken nachzuweisen, dass ihre Therapien wirksam seien. Dem hätte er die Zahlen der Spontanremissionen gegenüber gestellt und gezeigt, dass diese Studien nicht in der Lage sind die Wirk-

samkeit dieser Therapieformen zu belegen. Damit spricht Eysenck die Frage danach an, ob wirksame Therapieformen von unwirksamen unterschieden werden können, eine Frage, der Grawe sich ironischer Weise selbst verschrieben hat und nicht eben weniger polemisch beantwortet (vgl. Meyer et al. 1991, Grawe 1992, Grawe, Donati & Bernauer 1994).

Ist erfolgreiche Psychotherapie gebunden an eine zutreffende Theorie über das Wesen des Menschen?

Eysenck hatte sich in diesem Zusammenhang vor allem gegen eine psychoanalytische Behandlung gewendet und vertrat den Standpunkt, dass psychotherapeutische Interventionen allein auf der Grundlage empirisch gesicherter psychologischer Kenntnisse begründet werden können. Mit dieser Argumentation versuchte er zu belegen, dass behavioral orientierte Psychotherapie psychoanalytischen Behandlungen weit überlegen sei. Der Streit zwischen den Therapieschulen war damit getragen von der Überzeugung eine theoretische Überlegenheit des einen Ansatzes gegenüber einem anderen nachweisen zu können. Wer die einzig wahre Theorie über menschliches Verhalten und psychische Störungen für sich deklarieren könnte hätte dann zweifelsfrei auch den einzig möglichen Weg zum Therapieerfolg in Händen.

Der Umkehrschluss aus diesen Überlegungen führte in die Psychotherapievergleichsforschung der 60er Jahre: Die Therapieschule, die die meisten Erfolge für sich verbuchen kann verfügt folgerichtig über die best fundierte Theorie. Omer und Dar (1992) beschreiben in einem historischen Überblick die 60er Jahre als Widerstreit der Therapieschulen. Einig war man sich allein in der Überzeugung, dass Psychotherapie besser sei als keine Therapie. Der Schulenstreit war getragen von der Hoffnung den Sieg einer Therapieschule nachweisen zu können. Diese Hoffnungen wurden enttäuscht (z.B. Luborsky & Singer 1975), so dass es in den 70er Jahren vermehrt zu einer Suche nach den Wirkfaktoren von Psychotherapie kam.

Es scheint keine spezifischen Wirkfaktoren für Psychotherapie zu geben

Neben der theoretisch begründeten Suche nach spezifischen Wirkfaktoren wurden zunehmend auch unsystematische Untersuchungen zu allen Arten von Einflussgrößen (Geschlecht, Alter, Art der Bezahlung der Therapie, etc.) durchgeführt. Die 80er Jahre sind dann gekennzeichnet gewesen von einer Desillusionierung sowohl gegenüber Therapieschulenvergleichen als auch in Bezug auf die Isolation spezifischer Wirkfaktoren. So finden z.B. Bozog und Bühler (1988) in ihrer Überblicksarbeit über die Wirksamkeit der „systematischen Desensibilisierung“ keine überzeugenden Belege dafür, dass Faktoren die sich auf spezielle psychotherapeutische Theorien oder Techniken begründen, auch eine spezifische Wirkungen entfalten (vgl. Bozog & Bühler 1988, S. 123). Die spezifischen Methoden und Techniken der einzelnen Therapieschulen werden von ihnen nur mehr als strukturierende Elemente verstanden, welche in den Therapiesitzungen zur Entfaltung der eigentlich wirksamen unspezifischen Faktoren beitragen.

Die Überzeugung, dass es in psychotherapeutischen Prozessen wirksame, isolierbare und lineal-kausal interpretierbare Ursache-Wirkungs-Mechanismen geben müsse, ist auch heute noch relativ weit verbreitet. In dem Maße, in dem gegen Ende der 80er Jahre der Nachweis spezifischer Wirkfaktoren, mangels empirischer Belege, aufgegeben werden musste, richtete sich das Augenmerk in der Folge mehr und mehr auf so genannte unspezifische Wirkfaktoren, von denen inzwischen auch einige benannt werden können. Dabei umfasst die Liste dieser unspezi-

fischen Wirkfaktoren (z.B. *self-efficacy* bzw. Selbst-Wirksamkeit, Ent-Demoralisierung bzw. Sinnstiftung, Herstellung einer vertrauensvollen Beziehung) schlichtweg solche Faktoren, welche einen gesunden Menschen kennzeichnen (vgl. Schiepek 1994). So paradox dies scheinen mag, die tautologische Rückführung von Gesundheit auf Gesundheit, verweist weniger auf einen forschungsmethodischen Fehler, als auf die kreiskausalen Funktionsmechanismen psychischer Prozesse (vgl. S. 209). In diesem Sinne ist dann aber ein kausal verstandenes Wirkfaktoren-Konzept, unabhängig davon, ob damit ein spezifisches oder ein unspezifisches gemeint ist, nicht mehr zu rechtfertigen.

Mit der Auflösung des Wirkfaktorendenkens löst sich aber generell die Vorstellung davon auf, dass in Psychotherapien gezielt, in Hinblick auf ein vorher feststehendes Therapieziel, interveniert werden kann. Grawe (1988) fasst diese Perspektive mit Bezug auf die Schematheorie zusammen (vgl. auch S. 17f.):

Ein Therapeut kann, wenn er sich ein Bild von den problemrelevanten Schemata seines Klienten gemacht hat, zwar gezielt Anstöße zur Veränderung ganz bestimmter Schemata setzen, indem er gezielt ‚Störungen‘ setzt, d.h. den Klienten in irgendeiner Weise mit nicht assimilierbaren Informationen konfrontiert. Er kann aber nicht von sich aus festlegen oder planen, wie die sich aus diesen Störungen entwickelnde neue Schemastruktur inhaltlich genau aussehen soll. Die vor allem in der Verhaltenstherapie einst und vielfältig auch heute noch übliche Festlegung eines bestimmten Therapiezieles, das erreicht werden soll, und der Methode, mit denen dieser Zielzustand herbeigeführt werden soll, geht aus dieser Perspektive von einem Missverständnis der Natur menschlicher Veränderungsprozesse aus. (Grawe 1988, S. 43f.)

Der hier durchklingende Gegenentwurf zum lineal-kausal orientierten Behaviorismus bezieht sich ganz bewusst auf eine schematheoretische Konzeption menschlicher Veränderungsprozesse, wie sie oben bereits dargestellt wurde (vgl. S. 451ff.). Psychotherapie sollte mehr als Prozess der Selbstorganisation verstanden werden, denn als Prozess einer am Stimulus-Response-Konzept ausgerichteten Umprogrammierung.

Die Idee eines therapieinduzierten Übergangs zwischen psycho-emotionalen Ordnungszuständen wird nicht nur von Grawe (1988) vertreten. Ähnliche Konzeptionen finden sich z.B. bei Ahlers et al (1994), im State-of-Mind-Ansatz von Horowitz (1987), in der von Ciompi (1982, Ciompi 1991, 1993) vorgestellten Affektlogik und der im Rahmen der Synergetik von Schiepek (z.B. Schiepek & Strunk 1994, Schiepek 1996, Schiepek 1999a, 1999b) formulierten Annahme selbstorganisationaler psychotherapeutischer Prozesse. Insgesamt scheinen diese Vorstellungen phänomenologisch naheliegend, da klinische Problemzustände oft durch hohe Stabilität gekennzeichnet sind. Damit beeindrucken auch im Bereich der Psychotherapie Merkmale organisierter Komplexität, und zwar sowohl in Hinblick auf die individuellen psychischen Strukturen von Therapeut und Klient (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 18) als auch in Bezug auf deren Interaktionsdynamik (vgl. Schiepek et al. 1995d).

Psychotherapeutische Veränderungen treten als wenig instruierbare diskontinuierliche Phasenübergänge auf

Dass psychotherapeutische Veränderungen offenbar nicht kontinuierlich, sondern diskontinuierlich in Sprüngen verlaufen, bei denen sich Einfälle und „Aha-Erlebnisse“ ähnlich den Umstrukturierungsvorgängen eines Problemlöseprozesses (vgl. S. 438ff.) spontan ergeben können, stützt zudem die Überzeugung es hier mit Phasenübergängen im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zu tun zu haben. In diesem Sinne ist dann aber auch, im sich anbahnenden Veränderungsprozess, mit charakteristischen Phänomenen, wie auftretenden kritischen Instabilitäten, also Phasen extremer Empfindsamkeit für bereits kleine therapeutische Interventionen oder beiläufig geäußerte Ideen zu rechnen. Solche Phasen können dann begleitet sein von umfangreichen kognitiv-emotionalen Verunsicherungen, bei denen Bewertungen, Wahrnehmungs- und Verhaltensalternativen schnell fluktuierend zwischen multistabilen Mustern (vgl. Abbildung 124, S. 429) wechseln. Eine erfolgreiche Bewältigung und zielführende Nutzung solcher Phasen der Destabilisierung für die Etablierung neuer, als weniger leidvoll erfahrener kognitiv-emotionaler Schemata, setzt neben einer tragfähige Therapeut-Klienten-Beziehung auch die Stabilisierung anderer Bereiche, z.B. des Selbstwertgefühls und der Selbstwirksamkeit voraus (vgl. Schiepek & Strunk 1994, Schiepek 1999b). In Phasen psycho-emotionaler Instabilität sind daher geplante, zielgerichtete Entwicklungen eher unwahrscheinlich, wenn auch die Orientierung an emotional bedeutsamen Zielen wichtige Richtungsimpulse für die Selbstorganisation veränderter Systemzustände liefern kann (Schiepek 1991, S. 108ff.). Aber auch diese Zielvorstellungen lassen sich nicht vorab definieren oder gar von Außen vorgeben. Sie gewinnen meist erst im Verlauf des therapeutischen Prozesses Gestalt.

Die Abkehr von einer lineal-kausalen, am Ursache-Wirkungsprinzip ausgerichteten Therapiekonzeption geht im Bereich der Psychotherapieforschung einher mit einer zunehmenden dynamischen Perspektive. Jenseits der Suche nach spezifischen und unspezifischen Wirkfaktoren sind es die Merkmale der Dynamik und des Interaktionsgeschehens, die in das Interesse der zunehmend wichtiger werden Psychotherapie-Prozessforschung rücken. Dabei setzen sich ganz allgemein Vorstellungen durch, die bei aller Heterogenität der Ansätze doch auch Gemeinsamkeiten erkennen lassen. Auf der Seite der theoretischen Konzeption psychotherapeutischer Prozesse, deren Verständnis und Interpretation, ergeben sich aus den Ansätzen der Selbstorganisationstheorien weitreichende Schlussfolgerungen, die sowohl zur Neuinterpretation altbekannter psychotherapeutischer Methoden und Folgerungen als auch zur Entwicklung neuer Ansätze anregen. Aber nicht selten ist das, was der einen Therapieschule als umwälzend und neu erscheint für eine andere bereits ein alter Hut. Die Akzeptanz dafür, dass Klienten als autonome Systeme aufzufassen sind, mag vor dem Hintergrund eines, an einem medizinischen Vorbild orientierten, Therapiemodells neu klingen. Für die Gesprächspsychotherapie (vgl. Rogers 1957) oder die im deutschen Sprachraum wenig beachtete Psychologie und Psychotherapie der personalen Konstrukte, die auf Georg A. Kelly¹⁰⁶ zurück geht (Kelly 1955, für eine Einführung siehe Sader 1980) scheint eine solche Feststellung seit langem als selbstverständlich. Kaum ein Ansatz geht dabei aber so konsequent auf die theoretischen Arbeiten der Selbstorganisationsforschung ein, wie die Systemische Therapie. Die erst gerade eben von Grawe „entdeckte“ große Bedeutung der Lösungs- und Ressourcenorientierung von Psychotherapie (z.B. Grawe & Grawe-Gerber 1999) wird in der Systemischen Therapie

¹⁰⁶ 1905 bis 1967

– wie vieles andere auch – bereits seit Jahren praktiziert. Als Beispiel für eine systemtheoretisch fundierte psychotherapeutische Praxis wird im Folgenden kurz auf einige Besonderheiten der Systemischen Therapie eingegangen. Zurück zum Ausgangspunkt der Betrachtung führt dann eine Zusammenfassung einiger wesentlicher Aspekte aus der Sicht der Psychotherapie-Prozessforschung.

9.3.1 Psychotherapie als Prozess der Selbstorganisation – Systemische Psychotherapie

Die Systemische Therapie ist historisch aus den Familientherapien hervorgegangen, kann aber als deren Weiterentwicklung betrachtet werden. Sie ist in ihrem aktuellen Verständnis ein eigenständiges Psychotherapie-Verfahren mit eigener klinischer Theorie und Methodologie (vgl. Schiepek 1999a). Dabei wurzelt ihre wissenschaftliche Begründung in einem systemtheoretischen Bezugsrahmen, der auch als „Systemisches Denken“ (Ludewig 1992) bezeichnet wird. Damit unterhält die Systemische Psychotherapie vielfältige interdisziplinäre Bezüge zur Mathematik und den Naturwissenschaften, etwa zu den Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme, der theoretischen Biologie (Autopoiese) und zu den Sozialwissenschaften (Theorie selbstreferentieller Systeme, Kommunikations- und Dialogtheorie).

Historisch entwickelten sich psychotherapeutische Verfahren zunächst auf der Grundlage eines individuumszentrierten Krankheitsmodells. Bis heute kann die individuumszentrierte Sichtweise als das vorherrschende Paradigma von Psychotherapie betrachtet werden kann. Daneben kam es jedoch schon früh zu vereinzelt praktischen Versuchen mit familientherapeutischen Settings und Behandlungsmethoden, so z.B. in den individualpsychologisch geleiteten Familienberatungsstellen im Wien der 20er Jahre des vorherigen Jahrhunderts (vgl. Bruder-Bezzel 1991). So entwickelten sich die Familientherapien nach und nach aus den verschiedenen individuumszentrierten Ansätzen, der Psychoanalyse, der Verhaltenstherapie und den humanistischen Therapieformen. Tiefenpsychologisch stand zunächst die Mutter-Kind-Dyade im Vordergrund. Bald verschob sich jedoch der Fokus auf die gesamte Familie. Verbunden mit diesem Perspektivenwechsel wird dann das Familienmitglied, welches traditioneller Weise als Patientin bzw. als Patient bezeichnet wurde, zunehmend als „Symptomträger“ der Familie und nicht mehr als „gestörte Person“ betrachtet.

Mehrpersonenkonstellationen erfordern eigene theoretische Erklärungsmodelle

Neben einer relativ trivialen Übertragung von individuumsbezogenen Konzepten auf die Familien (z.B. von Persönlichkeitsmerkmalen wie „hysterische Familie“), wurde zunehmend nach eigenständigen theoretischen Ansätzen für Mehrpersonenkonstellationen gesucht. So kam es zu einer Anbindung an die aus den Naturwissenschaften stammenden Konzepte der Systemtheorie. Zunächst wurden hier vor allem kybernetisch orientierte Erklärungsmuster erprobt. Erste Erfolge des systemtheoretischen Denkens brachten die Ansätze der Kommunikationstheorie (z.B. Watzlawick, Beavin & Jackson 1969, Watzlawick & Beavin 1980). Damit ließ sich z.B. eine Familie als System begreifen, das sein inneres Gleichgewicht (verstanden als Homöostase) wahrt, indem es spezifischen Beziehungsregeln folgt.

Die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Systemischen Therapie ist der Konstruktivismus

Die Entwicklung zur Systemischen Therapie vollzog sich jedoch erst in einem weiteren Schritt, der historisch zwar als logische Weiterführung des eingeschlagenen Weges erscheint, in seinen Folgen aber als so umwälzend anzusehen ist, dass sich eine eigenständige psychotherapeutische Behandlungsform entwickelte: Die Familientherapie vollzieht den Übergang vom individuumszentrierten Ansatz zur Mehrpersonenkonstellation, indem sie die Zuschreibung einer Störung zu einer Person (ein Familienmitglied) durch andere Personen (die Familie) relativiert und nun ihrerseits der Familie als ganzer diese Störung zuweist. Die Systemische Therapie hinterfragt auch diese Zuschreibung, indem sie sich eine umfassende erkenntnistheoretische Position zu eigen macht, die des Konstruktivismus (zur Entwicklung der Systemischen Therapie vgl. z.B. Ludewig 1992, Reiter 1994, von Schlippe & Schweitzer 1996).

Heute wird unter der Systemischen Therapie eine eigenständige Therapieform verstanden, die sich in ihrer Begründung auf verschiedene Systemtheoretische Grundlagen stützt. Hier sind vor allem die Theorie Autopoietischer Systeme (Maturana 1982, Maturana & Varela 1987) und die Theorie Sozialer Systeme (Luhmann 1984) zu nennen (vgl. auch S. 427f.). Die Grundlagen der Systemischen Therapie können jedoch nicht allein mit den beiden genannten Ansätzen erschöpfend umschrieben werden. Zu den Einflüssen, die das inzwischen breite Spektrum der Systemischen Theorie und Praxis anregen, zählen anthropologische Arbeiten (z.B. Geertz 1973, Foucault 1978), Bezüge zur postmodernen Philosophie (z.B. Lyotard 1984, Derrida 1988), der Dialogtheorie und narrative Ansätze (z.B. Rorty 1979, Gadamer 1988), Strömungen des sozialen Konstruktivismus (z.B. Shotter 1993, Gergen 1994) und Ansätze aus dem Bereich der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme (z.B. Prigogine 1987, Haken 1992). Zusammengefasst werden diese Perspektiven unter dem Begriff des „Systemischen Denkens“.

Alles was ausgesagt wird, wird von Beobachtern gesagt

Auf einer abstrakten Ebene bedeutet *Systemisches Denken* zunächst die Anerkennung, dass auch Systeme die Konstruktionen von *Beobachtern* sind. Daher ist ein System eine erst durch einen Beobachter hervorgebrachte Einheit (vgl. auch S. 21ff.). Die Realität, auf die sich der Beobachter bei der Konstruktion von Systemen stützt, ist dabei selbst nicht objektivierbar. Sie stellt zunächst allein eine private Weltsicht dar. Dennoch sind Konstruktionen kommunizierbar. Beobachter sind keine solipsistischen Wesen, die einsam, in sich abgeschlossen, existieren. Sie sind vielmehr mit anderen Beobachtern sprachlich gekoppelt. Ein Beobachter wird daher als ein autonom organisiertes (autopoietisches und daher strukturdefiniertes) Lebewesen verstanden. Als solches ist es von außen weder instruierbar noch bestimmbar, sondern allenfalls verstörbar. Dieser Aspekt der autonomen „Selbstorganisation“ zeichnet jedoch zunächst jedes Lebewesen aus; die spezifisch menschlichen Eigenschaften eines Beobachters ergeben sich aus seinen Möglichkeiten sich mit anderen Beobachtern durch Sprache strukturell zu koppeln. Die so umschriebene Grundhaltung des Systemischen Denkens trifft sich mit den Kennzeichen komplexer nichtlinearer dynamischer Systeme. Auch diese erscheinen als allenfalls verstörbare, nicht aber instruierbare Systeme, deren Verhalten sich allein als selbstorganisierter Prozess der Ordnungsbildung und Ordnungserhaltung interpretieren lässt. Auch Aspekte der Selbstreferenzialität sind beiden systemtheoretischen Ansätzen, dem der Autopoiese und dem der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme gemeinsam (vgl. ausführlicher Tabelle 4, S. 168).

Der Rahmen des Systemischen Denkens bildet die Brille, durch die ein Systemischer Therapeut, eine Systemische Therapeutin die Welt sieht. Jede Meinung, jede Aussage, jede Feststellung, jedes Verhalten, ob vom Therapeuten bzw. der Therapeutin selbst oder von einer Klientin, einem Klienten, ob von Institutionen, Gruppierungen (politisch oder nicht), von Medien oder auch von einzelnen Wissenschaftlern oder einer *Scientific Community*, werden als Ausdruck in sich geschlossener, selbstreferentieller, autonomer Systeme interpretiert. Damit umfasst der Systembegriff der Systemischen Therapie nicht nur einzelne Personen. Auch größere soziale Einheiten lassen sich als autonome Systeme auffassen (vgl. Luhmann 1984). Vor diesem Hintergrund ist dann auch eine therapeutische Begegnung als ein System zu verstehen, welches sich um das Thema eines als leidvoll erlebten Problems und dessen Linderung formiert. In dem Sinne, in dem aber auch der Definition eines Problems die Aussage eines Beobachters zu Grunde liegt, wird in der Systemischen Therapie ein Problem nicht als ontologische Tatsache definiert.

Ein Problem ist das Thema eines sozialen Systems

Die Grundlage für den Problembegriff der Systemischen Therapie war die Feststellung, dass viele Hilfesuchende, unabhängig von übergeordneten Normen, bestimmte beunruhigende Situationen als therapiebedürftiges Problem deuten (Goolishian & Anderson 1988). Nehmen Menschen ein leidvoll erlebtes Problem wahr, so löst dies nicht selten eine vermehrte aktive Auseinandersetzung mit der „Störung“, sowohl kognitiv-emotional als auch kommunikativ aus. Unabhängig davon, ob eine Person ein „Problem“ aktiv gegenüber Menschen ihres Vertrauens zum Thema macht oder ob es zum Thema wird, weil gerade dies vermieden wird: ein Problem wird zu einem „relevanten“ Problem, immer erst dadurch, dass es – wie auch immer – das *Thema* eines sozialen Systems (sensu Luhmann 1984) wird.

Ein Problemsystem ist ein eigenständiges soziales System im Umkreis von Problemen

Diese Interpretation führt dazu, dass so genannte *Problemsysteme* als eigenständige soziale Systeme verstanden werden, die kommunikativ im Umkreis von Problemen entstehen. Das Problem selbst ist dabei keine objektiv feststellbare Tatsache sondern zunächst nichts anderes als das Thema einer Kommunikation, die etwas als unerwünscht (schwierig, hinderlich, falsch, störend, unpassend usw.) und als veränderbar wertet, das heißt, für veränderungsbedürftig und -fähig hält. Eine Folgerung aus dieser Sichtweise führt dann dazu, dass Sachverhalte solange keine behandelbaren Probleme bilden, solange sie von den Betroffenen nicht als solche benannt werden. Dies führt besonders im Zwangskontext, z.B. in der Therapie mit Gewalttätern zu wichtigen Implikationen. Sie betreffen den Konflikt zwischen dem institutionellen Auftrag, der Therapie als Maßnahme fordert, beim Klienten aber keine Problemeinsicht voraussetzen kann. Im Zwangskontext erweitert sich das klinische System aus Therapeut bzw. Therapeutin und Klient bzw. Klientin um die Institution. Ähnliches gilt für alle üblen Schicksale, die außer „einsamen“ Klagen keine kommunikativen Folgen haben. Setzt sich aber der Klagende – der auch ein Außenstehender, z.B. ein Vertreter sozialer Ordnungsinstanzen sein kann – in der Kommunikation durch, kann auch hier ein Problemsystem entstehen. Wird es von einem Außenstehenden begründet, z.B. im Zwangskontext, spricht man von einem *fremdinduzierten Problemsystem* (zur Diskussion von Systemischer Therapie im Rahmen von Zwangskontexten vgl. Levold 1993, Conen 1996, Pleyer 1996, Wagner 1996).

Konzepte wie die des hier beispielhaft skizzierten Problemsystems (vgl. für eine ausführliche Darstellung z.B. Ludewig 1992, 1996, von Schlippe & Schweitzer

1996) münden unter anderem in einer therapeutischen Grundhaltung, die dem Klienten, der Klientin zugesteht, Expertin bzw. Experte für die Lösung und Entstehung ihrer Probleme zu sein (vgl. Anderson & Goolishian 1992). Die Systemische Therapeutin, der Systemische Therapeut ist daher unvoreingenommen und enthält sich jeder Zuschreibung von Bewertungen oder Klassifikationen, die den Klienten zu der Einsicht bewegen sollen, dass es für seine Probleme eine bestimmte allein gültige Sichtweise gibt.

Ein wichtiger Pfeiler der Systemischen Therapie ist die Lösungsorientierung

Der Klient bzw. die Klientin kommen aus systemischer Sicht mit einem Anliegen in die Therapie. Die Therapeutin bzw. der Therapeut auf der anderen Seite können Angebote für mögliche Inhalte und Methoden der Behandlung machen. Aus Anliegen und Angebot erarbeiten dann beide Seiten gemeinsam einen Therapieauftrag. Die Orientierung am Anliegen des Klienten und die Ausarbeitung eines Auftrages (unter Verzicht auf Pathologisierungen) begründet die *Lösungsorientierung* der Systemischen Therapie. Eine wichtige Aufgabe, vor allem in der Anfangsphase der Therapie (aber auch später immer wieder) ist daher die Klärung der Frage, woran erkannt werden kann, dass eine „Besserung“ eingetreten ist. Je genauer das Therapieziel unter Einbeziehung aller Ebenen menschlichen Lebens (kognitiv, körperlich, emotional, zwischenmenschlich, ...) von der Klientin bzw. vom Klienten beschrieben werden kann, um so leichter können Wege dahin ausgearbeitet werden.

Aus der Perspektive der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme kann der Aspekt der Lösungsorientierung als Stärkung der Selbstorganisationskräfte des Systems verstanden werden (vgl. z.B. Schiepek 1999b). Hier geht es darum, den Einzugsbereich eines angestrebten Lösungsattraktors nach und nach auszuweiten und als dauerhaft verfügbares kognitiv-emotionales Schema zu etablieren. Während zu Beginn einer Therapie mögliche Lösungen zumeist als bloße Abwesenheit des Problems formuliert werden, also selbst noch nicht als Attraktor erkennbar sind, geht es im Verlauf der Therapie darum, die noch recht unspezifischen Zielvorstellungen zunehmend konkreter werden zu lassen und auszuschnüffeln.

Die Ressourcenorientierung ergänzt die Lösungsorientierung

In eine ähnliche Richtung weist neben der Lösungsorientierung auch die *Ressourcenorientierung*. Sie hinterfragt die Aussagen des Klienten, der Klientin z.B. in Hinblick auf symptomfreie bzw. weniger leidvolle Phasen in der Vergangenheit. Systematisch wird dabei herausgearbeitet, wann und unter welchen Bedingungen solche positiven Ereignisse auftreten. Ein Vorgehen, welches dem Lösungsattraktor immer mehr Gestalt verleiht. Dabei gilt auch in Bezug auf mögliche Lösungen für Probleme eine unvoreingenommene Grundhaltung des Therapeuten, der Therapeutin, die keine vorgefertigten Lösungsangebote verschreiben oder Vorstellungen über mögliche Lösungswege bewerten. Die Ressourcen- und Lösungsorientierung und verwandte Grundhaltungen sind damit nicht nur „Haltungen“ dem Klienten gegenüber, sondern zugleich die Zielrichtung und Leitschnur, an der sich die Gesprächsführung in der Therapie orientiert. Methodologisch hat die Systemische Therapie eine ganze Reihe von Kommunikationstechniken entwickelt, die dazu dienen, die Lösungs- und Ressourcenorientierung aktiv zu verfolgen. Einige dieser Techniken werden im Folgenden überblicksartig dargestellt (vgl. ausführlicher Schlippe & Schweitzer 1996):

1. **Konstruktive Fragen.** Konstruktive Fragen sind vor allem „öffnende“ Fragen, die dazu dienen die Selbstreflexion anzuregen und neue Sichtweisen zu ermöglichen. Ziel ist es, etwas Unerwartetes in den Dialog einzuführen und nicht etwa die Abfrage von Informationen (im Unterschied zu anamnestischen Fragen). Primär dienen sie der Ressourcenaktivierung und der Eröffnung neuer Sichtweisen. Sie sind daher häufig ziel- und zukunftsorientiert. Aber auch an der Vergangenheit orientierte Fragen werden eingesetzt, wenn diese der Klientin, dem Klienten neue Möglichkeiten eröffnen und Ressourcen aktivieren. Man kann konstruktive Fragen unterscheiden nach Eröffnungsfragen („Angenommen, dieses Gespräch (diese Therapie) war hilfreich, woran merken Sie das?“), Erkundungsfragen („Abgesehen von Ihrem Problem, was läuft bei Ihnen am besten?“), Zukunftsfragen („Wenn über Nacht ein Wunder geschieht und das Problem im Schlaf verschwindet, woran merken Sie dies am nächsten Tag?“). Da Kommunikation als aktiv sinnerzeugendes Geschehen verstanden wird, ist die therapeutisch erwünschte Konstruktion eines „neuen“, anderen Sinns daran gebunden, dass dieser einen Unterschied zum vorherigen „alten“ macht. Systemische Fragetechniken dienen daher häufig dazu Unterschiede möglichst detailliert herauszuarbeiten („Was ist anders, wenn es Ihnen gut geht?“). Hierzu können spezielle Fragen, wie z.B. *Skalierungsfragen* genutzt werden. Diese bauen Formulierungen psychologischer Fragebogentechniken kreativ in das Gespräch ein („Auf einer Skala zwischen Eins, für es geht Ihnen schlecht und Zehn, für es geht Ihnen gut, wo stehen Sie heute?“, „Was hat die Verbesserung bzw. Verschlechterung um x Punkte seit dem letzten Mal bewirkt?“, „Was müsste geschehen, damit Sie einen Punkt weiter Richtung Gesundheit gelangen?“). Sollen Unterschiede zwischen dem Problem und einer möglichen Lösung explizit gemacht werden, kann es sinnvoll sein, spezielle problemorientierte Fragen, z.B. *Verschlimmerungsfragen* zu stellen („Was müssten Sie oder andere tun, damit es Ihnen richtig schlecht geht?“). Häufig ist es möglich im Unterschied dazu, ein mögliches Lösungsverhalten klarer herauszuarbeiten. Viele Fragetechniken, wie z.B. die *Wunderfrage* gehen auf die Arbeiten des Brief Family Therapy Center in Milwaukee, USA um Steve de Shazer, Insoo Kim Berg, Eve Lipchik und andere zurück (z.B. de Shazer 1985, de Shazer et al. 1986, de Shazer 1988a, 1988b, 1989, Berg & de Shazer 1993, Berg & Miller 1995). Die wohl wichtigste Fragetechnik der Systemischen Therapie ist das *zirkuläre Fragen* (vgl. Selvini-Palazzoli et al. 1977). Der Klient, die Klientin wird dabei angeregt über die Sichtweisen anderer Mitglieder des Problemsystems zu reflektieren, indem sie danach gefragt werden, was z.B. ein bestimmtes Familienmitglied sagen würde, wenn sie dieses oder jenes täten. Es interessiert hier nicht objektiv, was das betreffende Familienmitglied wirklich tun würde, sondern welches Bild sich die Klientin bzw. der Klient von dem Familienmitglied macht. Man kann verschiedene Unterformen zirkulären Fragens unterscheiden, z.B. nach Inhaltsbereichen wie der gegenwärtigen Situation im Gegensatz zu zukunftsorientierten möglichen Situationen (vgl. ausführlicher Tomm 1988, 1989 und Abbildung 136).

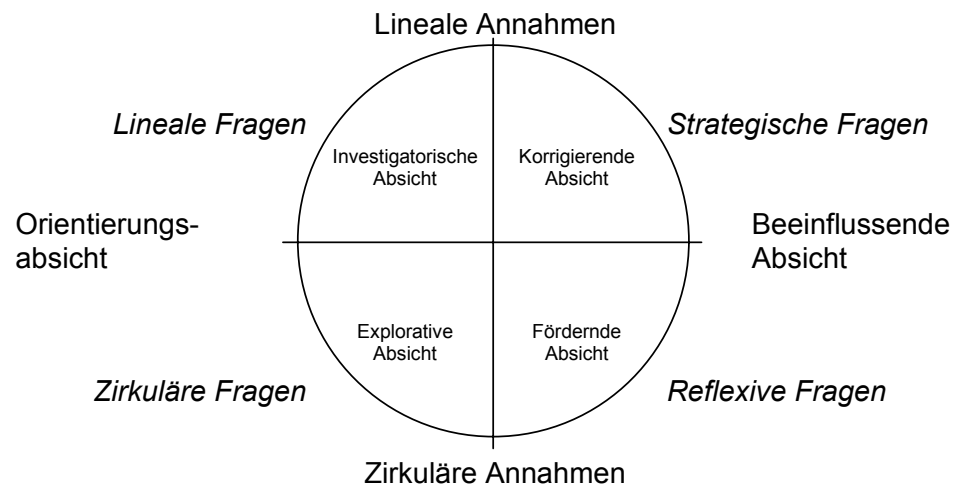


Abbildung 136: Fragetypen

Nach Tomm (1988, 1989) können vier verschiedene Fragetypen nach ihrer Absicht unterschieden werden. Die vier Fragetypen ergeben sich entlang von zwei Dimensionen. Die eine Dimension wird durch die Absicht bestimmt (Orientierung vs. Beeinflussung) und die andere Dimension berücksichtigt die dabei jeweils zu Grunde liegenden Annahmen (lineal vs. zirkulär) (Abbildung nach Schiepek 1999a, S. 82).

2. **Reframing, Umdeutungen.** Eine der wichtigsten Techniken systemischer Gesprächsführung ist neben den konstruktiven Fragen das Reframing, bzw. die Methode des Umdeutens, die sich im angebotenen Interpretationsrahmen niederschlägt. Der Interpretationsrahmen kann dabei durch die Wahl geeigneter Formulierungen ausgeweitet und hinterfragt werden. So werden einfach Ursache-Wirkungs-Analogien aufgelöst zu einem umfassenderen Verständnis unter Einbeziehung vielfältiger Einflüsse, wie Kontext, Prozess und Zirkularität. Dies gelingt dann z.B. in Hinblick auf Schuldzuweisungen, indem der „Sinn“ von Symptomen z.B. für das Beziehungssystem herausgearbeitet wird. Dabei wird konsequent davon ausgegangen, dass prinzipiell jedes Verhalten als sinnvoll verstanden werden kann, wenn der Kontext mit berücksichtigt wird. Eine entsprechende Umdeutung wertet Symptome dann z.B. als eine besondere Fähigkeit des Klienten, der Klientin, die aber eventuell nicht zum Kontext passt. So werden die Nachteile bestimmter Verhaltensweisen hinterfragt, ohne sie z.B. der Persönlichkeitsstruktur eines Menschen anzulasten und zu erschließen versucht, an welcher Stelle sie einen Vorteil bieten (vg. Schlippe & Schweitzer 1996, S. 177ff.).
3. **Visualisierung von Systemen.** Speziell für die Arbeit mit Familien werden in der Systemischen Therapie *Genogramme* eingesetzt (Heinl 1987, 1988, McGoldrick & Gerson 1990). Genogramme stellen Familienstrukturen graphisch dar. Dazu gehen Informationen über Verwandtschaftsverhältnisse, Partnerschaften, aber auch über Krankheiten, schwere Symptome, über Berufe und Ähnliches mit ein. Je nach Anliegen in der Therapie kann ein Genogramm mehrere Generationen umfassen, wobei von der Herkunftsfamilie des Indexklienten ausgegangen wird. Genogramme bilden in der therapeutischen Arbeit den Hintergrund für die Konstruktion eines neuen Verständnisses der Gegenwart. Im Vordergrund steht nicht so sehr die Visualisierung an sich, sondern viel mehr das Sprechen darüber.

Eher als Systemdiagnose wurde in den frühen Ansätzen der strukturellen Familientherapie von Minuchin (1977) ein Satz von Symbolen für Systemzeichnungen, die sog. *Familien-Landkarte* (*Family Mapping*) vorgeschlagen. Diese Symbole eignen sich zur Visualisierung verschiedener Personenkonstellationen. Es muss sich dabei also nicht um Familien handeln. Dargestellt werden Beziehungsqualitäten wie Allianzen, Koalitionen, offene oder verdeckte Konflikte, etc.

Von Schiepek (1986, 1991) werden zur Visualisierung und als Methode der Systemdiagnose idiographische Systemmodelle vorgeschlagen, die Kovariationen zwischen verschiedenen Variablen erfassen (vgl. ausführlicher S. 196ff.). Die Systemmodelle werden zusammen mit den Klienten erarbeitet und können auch innerpsychische Aspekte umfassen, die in den Worten des Klienten notiert werden.

Auch der von Vester (z.B. 1991/1976, 1999) vorgeschlagene Papiercomputer (vgl. S. 201f.) findet im Rahmen der Systemischen Therapie Verwendung (z.B. Strunk 1996a, Bonney, Empt & Strunk 1998, Strunk, Bonney & Empt 1998).

4. **Externalisierungen.** Systemische Therapie geht davon aus, dass nicht ein Mensch gestört ist, sondern ein Problemsystem einen bestimmten Menschen als gestört interpretiert. In diesem Zusammenhang hat z.B. die Arbeit mit Kindern gezeigt, dass es ihnen leichter fällt sich auf die therapeutische Arbeit einzulassen, wenn das Problem nicht ihnen zugeschrieben wird. Das Problem wird im therapeutischen Gespräch z.B. zu einer eigenständigen Person, einem bösen Geist, einem „Verführer zum Ungezogen-Sein“ und damit von der Person des Kindes gelöst. Eine solche Externalisierung hilft konstruktive Fragen zu formulieren, etwa in dem Sinn, wie es sich gegen den bösen Geist wehren könne. Auch bei der Arbeit mit Familien und mit erwachsenen Einzelklienten hat sich die Technik der Externalisierung bewährt. Für die Arbeit mit Erwachsenen kann bereits die konsequente Nutzung bestimmter Formulierungen hilfreich sein, die zwischen Person und Problem trennen („Wie hat das Problem ihr Leben beeinflusst?“).
5. **Paradoxien.** In der frühen Familientherapie der strategischen Schule, wurde die Interventionsform der Paradoxen Intervention perfektioniert (Selvini-Palazzoli et al. 1977, Haley 1978). Die Verschreibung eines genau zum Fall „passenden“ Paradoxons setzt aber zunächst eine gute Kenntnis des zu behandelnden Verhaltens voraus. Zur Erzeugung neuer Sichtweisen werden in der heutigen Systemischen Therapie eher unspezifische Paradoxien genutzt. Dies ist besonders dort hilfreich, wo die kognitiv-emotionalen Schemata eines Klienten, einer Klientin festgefahren erscheinen. Hier kann es z.B. auch helfen, das therapeutische Gespräch paradoxer Weise auf irgend etwas Belangloses zu richten und dort zu verharren. Diese Verstörung wird vom Klienten häufig als besondere Technik missverstanden, deren Sinn er zu ergründen versucht. Unter Umständen kann es ihm so aus eigener Kraft gelingen, neue Sichtweisen zu erfinden.
6. **Reflektieren.** Die Systemische Therapie bemüht sich im besonderen Maße darum, die Reflexionsfähigkeit des Klienten, der Klientin zu stärken. Die Zirkularität reflexiver Prozesse wird auch in der Therapie selbst als Methode zur Gestaltung des therapeutischen Dialoges genutzt. So haben Rückmeldungen und Kommentare der Therapeutin, des Therapeuten grundsätzlich reflektierenden Charakter. Es werden dabei Sichtweisen präsentiert, die den Möglichkeits-

raum des Klienten, der Klientin erweitern sollen. Auf einen Wahrheitsanspruch wird dabei grundsätzlich verzichtet. Häufig werden sogar verschiedene auch widersprüchliche Sichtweisen nebeneinander präsentiert um zu demonstrieren, wie unterschiedlich und reichhaltig die Wahrnehmungsmöglichkeiten sein können. Für die Systemische Therapie sind verschiedene Methoden und Verfahrensweisen für Rückmeldungen und Kommentare entwickelt worden. Besondere Settingvarianten nutzen dann z.B. Methoden der Reflexion in einem therapeutischen Team, in Form einer Art Live-Supervision, auch vor den Klientinnen und Klienten, wie bei dem von Tom Andersen (1990) eingeführten *Reflecting Team*.

Natürlich kann im Rahmen dieser Arbeit kein vollständiger Überblick über die Systemische Therapie gegeben werden (vgl. hierzu z.B. Ludewig 1992, Schlippe & Schweitzer 1996, Schiepek 1999a), zusammenfassend und in Anlehnung an Schiepek (1999a) können jedoch folgende Prinzipien der Systemischen Therapie angeführt werden:

- **Berücksichtigung der Rolle des Beobachters.** Die erkenntnistheoretische Position der Systemischen Therapie fußt auf der Feststellung, dass alles Gesagte von einem Beobachter gesagt wird (vgl. Maturana 1982). Daraus folgt die prinzipielle Gleichwertigkeit auch verschiedener Weltansichten. Diese Perspektive stärkt den Einzelnen, indem sie seine subjektiven Lebenserfahrungen aufwertet. Die Subjektivität des Einzelnen wird jedoch verstanden als eingebunden in die soziale Aktivität kommunikativer Prozesse. Das Konzept des Beobachters, der im Spannungsfeld zwischen privater Welterfahrung und konsensueller Abstimmung mit anderen steht, bildet den Kern der Systemischen Therapie.
- **Anerkennung der Autonomie.** Die Systemische Therapie stützt sich in ihren Grundlagen auf Systemtheorien, denen gemeinsam ist, dass sie Systeme als autonome Einheiten auffassen. Elemente eines Systems sind in diesem Sinne all jene Komponenten, die die Funktionsweise des Systems mitbestimmen. Damit ergibt sich eine Systemgrenze, innerhalb derer sich jedes Verhalten aus der Systemstruktur erklärt. Als notwendige Randbedingungen autonomer Systeme sind in der Systemumwelt materielle, energetische und informationstragende Kontexte gegeben. Lebende, bewusstsensfähige Systeme sind materiell, energetisch (Nahrungsaufnahme) und informativ (Kommunikation) offen. Keine dieser Randbedingungen determinieren jedoch das Systemverhalten. Eine Einflussnahme auf ein System wird nach systemeigenen Operationsregeln verarbeitet und gedeutet. Bewusstsensfähige Systeme sind damit autonome „Erfinder“ ihrer Umwelt. Als solche können sie von außen nicht gesteuert werden. Die therapeutische Arbeit orientiert sich in vielerlei Hinsicht an diesem Konzept der Autonomie, indem sie die Berechtigung von Lebensläufen als Folge derer Eigendynamik respektiert, Sinnfindungen und kognitive Konstruktionen anregt und die Ressourcen und Stärken der Klientinnen und Klienten nutzt. Systemische Therapie geht vom Anliegen der Klienten und Klientinnen aus, trägt zur Formulierung klarer Aufträge bei und beschränkt ihre Interventionen auf den Bereich, der sich aus diesen Aufträgen ergibt. Damit wird im besonderen Ausmaß die Autonomie der Klientinnen und Klienten respektiert.

- **Die Bedeutung der Kommunikation.** Die Anerkennung des Menschen als bio-psycho-soziales System verweist auch auf die Bedeutung sozialer Beziehungen. Während die biologische und psychische Ebene den Menschen als autonomes Individuum kennzeichnen, kommt der sozialen Ebene die Bedeutung zu, durch Kommunikation Beziehungen zu anderen Menschen aufzubauen. Die Möglichkeit durch Kommunikation Beziehungen zu etablieren und aufrecht zu erhalten unterscheidet den Menschen von anderen Lebewesen. Nach Maturana (1982) wird der Mensch nur zum Menschen unter Menschen. Auf dieser Ebene der Betrachtung können kommunikative Systeme ebenfalls als autonome, operativ geschlossene Systeme aufgefasst werden (vgl. Luhmann 1984). Kommunikative Inhalte können sich dabei zwar auf die Ebenen biologischer und psychischer Vorgänge beziehen, sind jedoch nicht mit ihnen identisch. Dies hat weitreichende Implikationen für das Verständnis von Problemsystemen und deren Dynamik, aber auch für die therapeutische Kommunikation. In Problemsystemen wird psychischen Problemen durch Kommunikation ein Sinn zugeschrieben. Es werden Beschreibungen, Erklärungen und Forderungen nach Veränderung und Lösungsmöglichkeiten formuliert. In der therapeutischen Kommunikation werden diese Beschreibungen, Erklärungen, Forderungen und Lösungsmöglichkeiten reflektiert, konkretisiert, hinterfragt und durchlässig gemacht für alternative Sichtweisen. Dabei orientiert sich die therapeutische Arbeit an der Nützlichkeit einer Kommunikation, also einer Beschreibung oder Erklärung, für die Lösung des Problems, insofern, als das z.B. wenig hilfreiche Interpretationen umgedeutet werden.
- **Geeigneter Umgang mit Komplexität.** Die Systemische Therapie bemüht sich um ein ganzheitliches Bild vom Menschen, der als komplexes biologisches, psychisches und soziales System verstanden wird. Die aus den modernen Systemtheorien abgeleiteten klinischen Implikationen und Methoden erlauben einen Umgang mit dieser Komplexität, ohne a priori Einschränkungen auf linear-kausale Störungs- und Behandlungsmodelle vornehmen zu müssen. Damit eröffnet sich ein unvoreingenommener Zugang zu den Lebenswelten, wie sie die Klientinnen und Klienten für sich wahrnehmen. Die in der frühen Familientherapie häufig vertretene Grundposition einer einfachen, am Modell des Regelkreises orientierten Kybernetik werden in der Systemischen Therapie aufgegeben zu Gunsten allgemeinerer systemtheoretischer Konzeptionen, die neben der Homöostase auch andere komplexere Ordnungsstrukturen zu beschreiben in der Lage sind. In diesem Zusammenhang bezieht sich die Systemische Therapie ausdrücklich auf Konzepte der Synergetik und andere Ansätze aus dem Bereich der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. Die Systemische Therapie legt ihrer therapeutischen Praxis, im Einklang mit diesen theoretischen Grundlagen, ein neues Verständnis von der Funktionsweise komplexer Systeme zu Grunde.
- **Ressourcenorientierung.** Für die Systemische Therapie ist die Ressourcenorientierung ein integraler Bestandteil des therapeutischen Prozesses. Bestehende Fähigkeiten, hilfreiche Verhaltensweisen und der Kontakt zu unterstützenden Bezugspersonen werden gestärkt und zur Problemlösung genutzt. Die Systemische Therapie hat spezielle Techniken zur Ressourcenaktivierung entwickelt, wie z.B. konstruktive Fragetechniken, die dazu

dienen, neue Sichtweisen aufzuzeigen. Während die Klientinnen und Klienten zu Beginn einer Therapie oftmals primär defizitorientierte Deutungen ihrer Situation geben, sollen neue Sichtweisen eröffnet werden, die trotz allem bestehende Stärken aufzeigen. Auch bisherige Problemlöseversuche und die Mitarbeit in der Therapie werden als Stärken aufgezeigt und genutzt.

- **Auftrags- und Lösungsorientierung.** Die Systemische Therapie erhebt sowohl die Lösungsorientierung als auch die Ressourcenorientierung zu gezielten Methoden der Behandlung. Auch die Lösungsorientierung meint in der Systemischen Therapie mehr als das selbstverständliche Anstreben einer Lösung, nämlich ein methodisches Vorgehen, welches konsequent die Kommunikation in der Therapie auf mögliche Lösungen ausrichtet. Auch hier sind spezielle Fragetechniken entwickelt worden, wie z.B. die „Wunderfrage“. Es wird möglichst konkret herausgearbeitet, welche Ziele der Klient, die Klientin durch die Therapie anstreben und wie sich diese im Lebensumfeld auswirken würden.
- **Abkehr von einfachen Kausalitätsannahmen.** Für das Verständnis komplexer bio-psycho-sozialer Systeme ist eine Erweiterung einfacher, linearer Kausalitätsprinzipien nötig. Dies folgt aus der operativen Schließung autopoietischer Systeme (Maturana 1982), zeigt sich in der Analyse kommunikativer Prozesse (Watzlawick, Beavin & Jackson 1969) und ergibt sich aus der Verletzung des Prinzips der starken Kausalität, wie es für verschiedene chaotische Systeme beschrieben wurde (vgl. S. 172ff.). Die Erweiterung des Kausalitätsbegriffs fordert im therapeutischen Prozess eine konsequente Zurückhaltung gegenüber einfachen linearen Interventionsmethoden, zugunsten einer umsichtigen, am Klienten bzw. an der Klientin orientierten Kontextsteuerung, die darauf abzielt, Bedingungen zu schaffen für die Möglichkeit einer lösungsorientierten Selbstorganisation des Klientensystems.

9.3.2 Psychotherapie als Prozess der Selbstorganisation – Empirische Zugänge

Der im vorhergehenden Kapitel etwas ausführlicher beschriebene Ansatz der Systemischen Therapie verwirklicht in seiner Methodologie und theoretischen Ausrichtung konsequent wichtige Grundannahmen und Folgerungen aus dem Bereich moderner Systemtheorien. Obwohl die Literatur zur Systemischen Therapie dabei immer wieder auch auf die Konzepte der Synergetik und der Chaosforschung Bezug nimmt (vgl. z.B. Kriz 1989, 1992, Reiter 1992, Schiepek 1993a, Reiter & Steiner 1994, Schiepek 1994, Schiepek & Strunk 1994, Manteufel 1995, Ludwig 1996, Schlippe & Schweitzer 1996, Strunk 1998b, Schiepek 1999a), bezieht sie sich doch weitaus ausführlicher auf die dazu durchaus kompatiblen, aber wenig zur Forschung anregenden Ansätze der Autopoiese. Empirische Belege für oder gegen die Hypothese der Selbstorganisation therapeutischer Prozesse stammen daher häufig aus anderen Quellen als aus dem Umfeld der Systemischen Therapie selbst. Schiepek und Strunk (1994) führen dazu aus:

Die Theorieansätze selbstreferentieller Systeme dagegen (z.B. Maturana 1982, Luhmann 1984, Willke 1989, Schiepek 1991 Kap. IV), deren Diskussion in den letzten Jahren hauptsächlich in der Literatur zur systemischen Therapie erfolgte, genügen zwar hohen Differenziertheits- und Universalitätsansprüchen, mündeten aber kaum in empirische Forschung. (Schiepek & Strunk 1994, S. 26)

Das *Generic Model* der Psychotherapie zeigt die komplexe zirkuläre Interaktion verschiedener Variablen

Eine wichtige empirische Unterstützung für die Hypothese, dass sich psychotherapeutische Prozesse im Rahmen eines komplexen dynamischen Systems entfalten, ergibt sich aus dem sog. „*Generic Model*“ von Orlinsky und Howard (1986; vgl. auch Ambühl & Grawe 1988, Ambühl & Orlinsky 1997), das zu den wohl meistzitierten Modellen der Psychotherapieforschung gehört. Aus über 1.100 zumeist korrelativen Studien stellen die Autoren ein komplex vernetztes Modell psychotherapeutischer Prozesse zusammen, welches in Abbildung 137 wiedergegeben wird. Das *Generic Model* erteilt der Hoffnung, Psychotherapie als Ausdruck einer trivialen (im Sinne von von Foerster 1985) Input-Output-Relation beschreiben zu können, eine klare Absage. Damit einher gehen dann aber auch zwangsläufig weiter reichende Einschränkungen z.B. hinsichtlich der Planbarkeit, Vorhersagbarkeit bzw. instruktiven Intervenierbarkeit (Maturana 1982) des psychotherapeutischen Geschehens.

Als Rahmen und Randbedingungen für das Zustandekommen einer therapeutischen Begegnung werden im *Generic Model* eine Reihe von äußeren Faktoren benannt, zu denen z.B. auch gesellschaftliche Einflüsse, und Faktoren des institutionellen Rahmens sowie die Interessen Dritter gehören. Es sind dies Faktoren, die vor dem Hintergrund einer allzu sehr fokussierten Beschreibung der therapeutischen Interaktion bzw. Kommunikation immer wieder vernachlässigt werden, denen aber ein stark strukturierender und zum Teil energetisierender Einfluss auf die therapeutische Prozessdynamik zukommt (vgl. auch Mackinger 1984).

Psychotherapie ist ein mehrfach kreiskausales Geschehen

Anders als der monokausale Einfluss dieser äußeren Randbedingungen, erscheint die therapeutische Begegnung und der in ihr stattfindende therapeutische Prozess als mehrfach kreiskausal vermitteltes Geschehen (vgl. auch den Ausschnitt aus dem *Generic Model* in Abbildung 138). Das Fehlen einer direkten kausal wirksamen Verbindung zwischen der „therapeutischen Interventionen“ und der „therapeutischen Wirkung“ bedeutet ebenso eine Absage an einfache Ursache-Wirkungs-Modelle, wie auch die Tatsache, dass relevante Veränderungen auf der Makroebene der Persönlichkeit des Patienten erst nach und nach aus einer größeren Anzahl von Mikroergebnissen generiert werden. Therapeutische Interventionen führen erst vermittelt über die „Offenheit des Patienten“ zu einer Wirkung.

Der „Offenheit“ (bzw. Aufnahmenbereitschaft Ambühl & Grawe 1988 bzw. *self-relatedness* Orlinsky & Howard 1986) kommt dabei die Rolle eines Ventils zu. Sie kennzeichnet den Patienten, die Patientin als autonomes operational geschlossenes System, welches von außen als nicht trivial instruierbar erscheint. Veränderungen kommen aus dieser Perspektive erst vor dem Hintergrund einer tragfähigen und vertrauensvollen therapeutischen Beziehung zu Stande, die wiederum als das Ergebnis komplexer Wechselwirkungsprozesse im Umfeld therapeutischer Techniken erscheint (vgl. Abbildung 138).

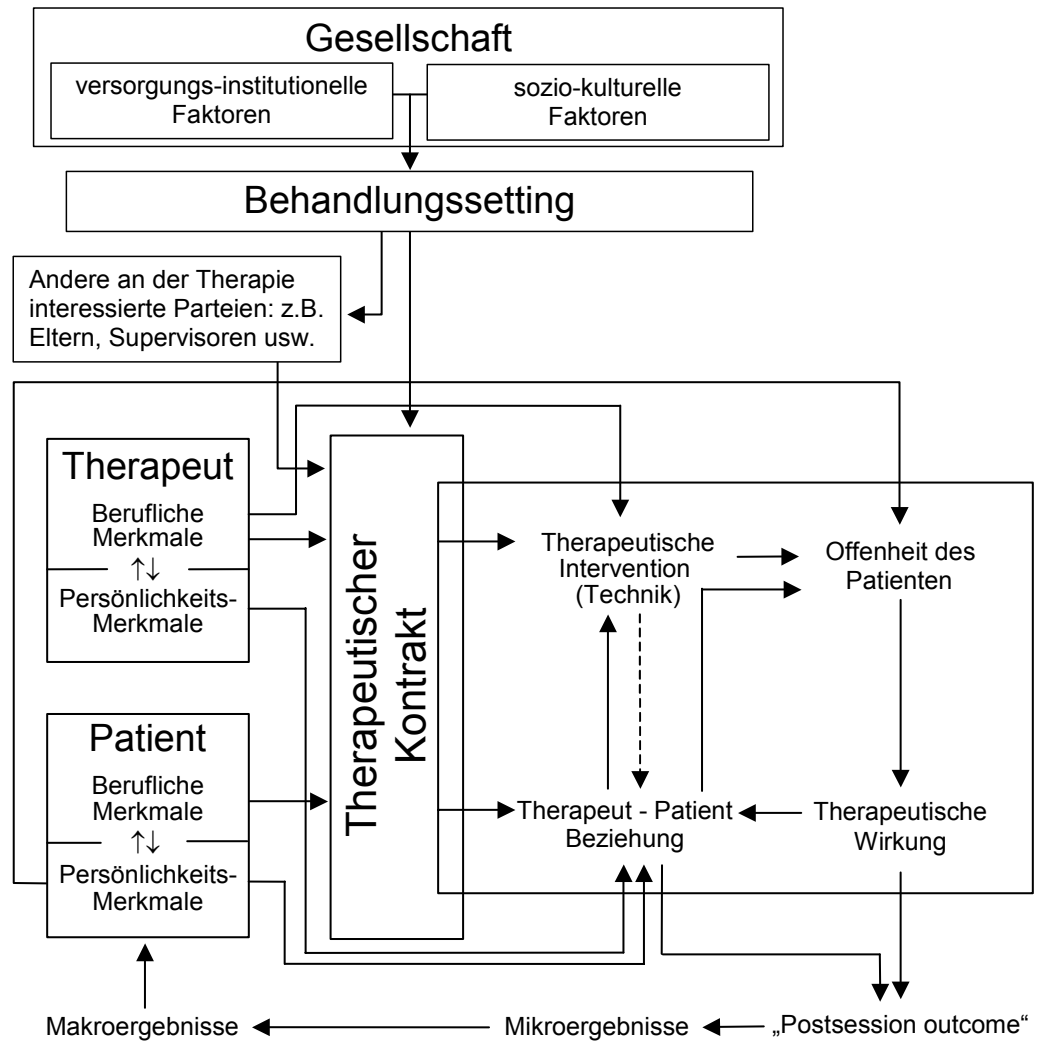


Abbildung 137: Das „Generic Model“ der Psychotherapie

Ein allgemeines Modell der psychotherapeutischen Prozessstruktur wurde von Orlinsky und Howard (1986) auf Grund der Analyse von mehr als 1.100 Einzelstudien zusammen gestellt. Psychotherapeutische Veränderungen können im Rahmen dieses *Generic Models* nicht mehr als einfache lineal-kausale Prozesse interpretiert werden (Abbildung nach Perez 1991, S. 107).

Eine weitere Feedbackschleife koppelt den makroskopisch wirksamen Outcome der Therapie, der erst auf der Grundlage mehrerer kleiner Mikroergebnisse, als Folge der Ergebnisse einzelner Sitzungen entsteht, über die sich verändernden Merkmale des Patienten, der Patientin zurück in die therapeutische Begegnung; ein Umstand, der darauf verweist, dass sich die Beziehungsdynamik beständig, auch in Abhängigkeit von den Fortschritten oder Rückschritten in der Therapie, verändert.

Insgesamt legt das *Generic Model* die Schlussfolgerungen nahe, dass es sich bei therapeutischen Prozessen um den dynamischen Ausdruck eines komplexen, zur Selbstorganisation fähigen Systems handelt. Stellen sich die im Modell vorgesehenen Feedbackschleifen als gemischte, nichtlineare Feedbackprozesse heraus, dann sind Selbstorganisationsphänomene mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu erwarten (vgl. hierzu die Übersicht in Tabelle 5, S. 180; vgl. auch Schiepek 1999b, S. 289).

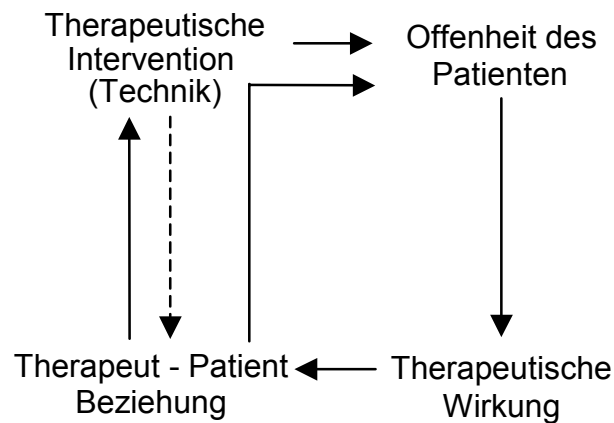


Abbildung 138: Die therapeutische Begegnung im Generic Model

Ausschnitt aus dem *Generic Model*, in deren Mittelpunkt die therapeutische Begegnung als mehrfach kreiskausales Geschehen konzeptualisiert wird.

Die Folgerungen aus dem *Generic Model* stehen im Einklang mit neueren Ansätzen der Psychotherapie-Prozessforschung, deren erklärtes Ziel darin besteht, die Dynamik psychotherapeutischer Prozesse im Kern des Geschehens, das heißt im Rahmen der psychotherapeutischen Begegnung zu beschreiben und nach Möglichkeit in ihrem Zustandekommen zu erklären. Die Grundpositionen der Psychotherapie-Prozessforschung lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. Schiepek et al. 1995d, S. 2ff.):

1. **Bedeutung der Beziehungsgestaltung.** Psychotherapie kann am ehesten als eine spezielle, unter professionellen Rahmenbedingungen stattfindende, zwischenmenschliche Begegnung aufgefasst werden (vgl. hierzu bereits Strotzka 1978). In diesem Zusammenhang kann dann zudem festgestellt werden, dass damit nicht nur der Rahmen, in dem Psychotherapie stattfindet, beschrieben wird, sondern der Qualität der professionellen Begegnung eine entscheidende Rolle für den Erfolg psychotherapeutischer Bemühungen zukommt (z.B. Orlinsky & Howard 1986, Orlinsky, Grawe & Parks 1994). Der empirisch bestgestützte Befund der Psychotherapieforschung ist sicherlich die Feststellung der starken Bedeutung der zwischenmenschlichen therapeutischen Begegnung für den Therapieerfolg (vgl. Czogalik 1989, 1991). Das Bemühen von Therapeuten und Therapeutinnen um eine tragfähige Beziehung, auf deren Grundlage Psychotherapie überhaupt erst stattfinden kann, wird damit zu einem Mittel, welches selbst schon therapeutische Veränderungen bewirkt und weitere erst ermöglicht. Es handelt sich also keinesfalls nur um eine unbedeutende Randbedingung des therapeutischen Prozesses (diese Auffassung ist aber durchaus nicht neu; vgl. bereits Rogers 1957). Neben der phänomenologisch feststellbaren positiven Wirksamkeit einer tragfähigen therapeutischen Beziehung werden wichtige Gründe dafür darin gesehen, dass psychische Störungen selbst zu einem wesentlichen Teil als Beziehungsstörungen interpretiert werden können (vgl. Adler 1972/1912, Caspar 1989, Grawe, Donati & Bernauer 1994, Caspar 1996). Die Arbeit an der therapeutischen Beziehung bedeutet damit gleichsam eine Arbeit an der Störung des Patienten, der Patientin. Für die Psychotherapie-Prozessforschung existieren daher bereits seit längerem Ansätze, die die psychotherapeutische Beziehung und Interaktion zu beschreiben und in ihrem

zeitlichem Verlauf darzustellen versuchen. Czogalik (1991) nennt in diesem Zusammenhang unter anderen Arbeiten von: Czogalik und Hettinger (1988) sowie Mintz und Luborsky (1970). Mit Bezug auf Bötcher (1982) und Enke (1978) weist er dem „Wissen um die Determinanten und die Regulation interpersoneller Beziehungen eine wesentliche Rolle für das Verständnis psychotherapeutischer Prozesse zu“ (Czogalik 1991, S. 174). Schiepek et al. (1995d) verweisen in diesem Zusammenhang darauf, dass der theoretische Hintergrund vor dem Psychotherapie-Prozessforschung zur Interaktionsdynamik in Psychotherapien stattfindet durchaus heterogen ist. Einige Arbeiten orientieren sich an lerntheoretischen Ansätzen, z.B. das Codiersystem zur Interaktion in der Psychotherapie (CIP) von Schindler (z.B. 1989). Andere wählen Messmethoden, die sich an psychoanalytischen Übertragungs-Gegenübertragungskonzepten anlehnen, z.B. im Rahmen der Analyse des zentralen Beziehungskonflikts (*Core Conflictual Relationship Theme*, CCRT) nach Luborsky und Mitarbeitern (z.B. Luborsky & Crits-Christoph 1990) oder die *Plan Diagnosis Method* der Mount Zion Research Group (z.B. Silberschatz, Curtis & Nathans 1989). Weitere Messmethodische Ansätze finden sich z.B. bereits im „Interpersonalen Kreismodell“ von Leary (1957), oder im *Impakt Message Inventory* (IMI) von Kiesler (z.B. Kiesler 1983), im *Inventory of Interpersonal Problems* (IIP) von Horowitz (z.B. Horowitz et al. 1988), oder in der *Structural Analysis of Social Behavior* (SASB) von Benjamin (z.B. Grawe-Gerber & Benjamin 1989, Tress 1992). Auch die von Schiepek vorgeschlagene Erweiterung der Plananalyse zur Sequentiellen Plananalyse (SPA) (z.B. Schiepek et al. 1995d) dient der Mikroprozessanalyse der psychotherapeutischen Beziehungsgestaltung.

2. **Psychotherapie wird zunehmend als kreiskausaler Prozess verstanden.** Bereits das *Generic Model* zeigt, wie therapeutische Methoden, Interventionen und Techniken in einem rekursiven Netzwerk kontextueller Variablen ebenso eingebunden sind, wie auch in einem komplexen zwischenmenschlichen Geschehen. Spezielle therapeutische Techniken können daher nicht mehr als kausal wirksame zielgerichtete Eingriffe interpretiert werden. Die einseitige Identifikation von Wirkursachen auf der einen und Effekten auf der anderen Seite erweist sich als ebenso fragwürdig wie die Substanz-Eingriffs- oder Dosis-Wirkungs-Analogien (Stiles & Shapiro 1989, Hentschel 1990, Schiepek et al. 1995d). Vielmehr sind kreiskausale Modelle im Sinne gemischter Wechsel- und Feedbackwirkungen anzunehmen und bei der Untersuchungsplanung, -Durchführung und Interpretation von Ergebnissen zu berücksichtigen.
3. **Bedeutung von Rand- und Kontextvariablen.** Zwischenmenschliche Beziehungsgestaltung im Rahmen einer therapeutischen Begegnung findet immer auch im Kontext von innerpsychischen, sozialen und institutionellen Faktoren statt (vgl. Mackinger 1984). Dazu gehören dann aber auch solche Einflüsse, wie z.B. die soziale und ökonomische Lebenswelt des Klienten bzw. der Klientin, also z.B. Partnerschaft, Familie, Arbeits- und Freizeitbereich. Aber auch Zuweisungs- und Zugangswege zur Therapie, einschließlich früherer Therapieerfahrungen, der institutionelle Rahmen der Therapie wie z.B. Ko-Therapeuten, Supervisionsteam, Fachaufsichten und Kontrollen, Stationen und Abteilungen, einschließlich der dort herrschenden Gruppendynamik, der Ideologien und des Betriebsklimas besitzen eine Wirkung auf den im Zentrum dieser Einflussfaktoren stattfindenden therapeutischen Prozess. Hinzu kommen oft weitere an einem Fall beteiligte Personen, Institutionen und Kooperationsstrukturen, und deren finanzielle, rechtliche und politische Rahmenbedingungen. Diese und an-

dere Randbedingungen von Psychotherapie – oder allgemein von zwischenmenschlichen Begegnungen – haben eine große Bedeutung für die Prozessdynamik des Systems, indem sie bestimmte Interpretationsrahmen für Beziehungsangebote, Verhaltensnormen, Bewertungsmuster oder Ähnliches nahe legen. So ist es nicht abwegig davon auszugehen, dass eine vermeintliche Randbedingung zum bestimmenden Kontrollparameter des dynamischen Systems werden kann.

4. **Die dynamische Perspektive.** Prozessforschung betont die Zeitvariable a priori. Neben allgemeinen Zeitvorgaben (z.B. Sitzungshäufigkeit, -Dauer, interne zeitliche Struktur von Sitzungen), die verschiedene therapeutische Schulen nach ihren speziellen Ausrichtungen vorgeben, werden im Rahmen einer prozessorientierten dynamischen Perspektive besondere Fragen der zeitlichen Gestaltung von Therapie zum Thema: Wie sind Interventionen in ihren zeitlichen Auswirkungen zu erfassen? Zu welchen Zeitpunkten in der Therapie wirken Interventionen (vgl. Ambühl & Grawe 1988)? Welche Klienten- und Kontextvariablen erlauben eine Identifikation des *Kairos* – des richtigen Zeitpunktes – für Interventionen? Welche Muster von Veränderungen lassen sich klassifizieren? Wie und wodurch verändern sich Muster?
5. **Einzelfallstudien und Vollzeiterfassung.** In dem relativ frühen Stadium, in dem sich die Psychotherapie-Prozessforschung befindet, sollten verstehende, explorative und auf mehreren Ebenen beobachtende Methoden gegenüber hypothesentestenden Ansätzen bevorzugt werden. Qualitative wie quantitative Einzelfallforschung ist nicht nur wieder salonfähig, sondern vielfach die Methode der Wahl. Grawe (1988, 1992) unterstreicht, dass „... fast alle neueren mikro- wie makroanalytischen Ansätze zur Untersuchung der Prozessdynamik in Psychotherapien zunächst einmal auf der Ebene des Einzelfalls ansetzen“ (1992, S. 154). Als ein weiteres Argument für Einzelfallstudien muss der hohe Aufwand für die Vollzeiterfassung von Therapieprozessen gelten. Die Untersuchung von einzelnen Zeitstichproben hat sich zunehmend als unzureichend herausgestellt (Veränderungsrelevante Episoden wurden z.B. von Fiedler & Rogge 1989 beschrieben), so dass inzwischen einige Studien vorliegen, die den aufwändigen Weg der Untersuchung ganzer Therapien beschreiten (vgl. z.B. Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995). Im Bereich der Untersuchung der therapeutischen Beziehungsgestaltung analysiert zum Beispiel Czogalik (1989, 1991) die Beziehungsdynamik über die Identifikation von Interaktionsmustern (vgl. Richter 1993, S. 26).
6. **Die Bedeutung von Mikroprozessanalysen.** Während sich Makroanalysen psychotherapeutischer Kontextbedingungen zunächst auf soziologische, lebensgeschichtliche und institutionelle Rahmenbedingungen von Psychotherapie beziehen, können auch im Therapieprozess Mikro- und Makrostrukturen unterschieden werden. Inzwischen kommen Mikroprozessanalysen immer mehr ins Blickfeld des Forschungsinteresses (vgl. Schiepek et al. 1995d), wobei zu berücksichtigen wäre, dass sich im Sinne der Synergetik aus Mikroprozessen makroskopische Prozessstrukturen herausbilden können (vgl. hierzu ausführlicher S. 135ff.). Es sind diese makroskopischen Strukturen, die im Rahmen einer synergetischen Perspektive einer besonderen Aufmerksamkeit bedürfen.
7. **Eigenständige Methodologie.** Psychotherapie-Prozessforschung erfordert eine eigene Methodik der Datengenerierung, -analyse und Theorienbildung. Einfache lineare Methoden experimenteller oder korrelativer Designs greifen in der

Regel zu kurz oder gar nicht oder führen zu Fehlschlüssen, die immer auch das Gegenteil als wahrscheinlich erscheinen lassen (vgl. ausführlich Kapitel 8 ab S. 276ff.).

8. **Ökologische Validität.** Psychotherapie-Prozessforschung sollte im Rahmen von Forschungsdesigns stattfinden, die die externe und ökologische Validität von Psychotherapieforschung sicherstellen: „Dies bedeutet, die therapeutische Handlungsfreiheit und die Beziehungsgestaltung nicht durch forschungsmotivierte Restriktionen, der Eigendynamik des Geschehens fremde Zeitvorgaben, einseitige Auswahl des Klientels oder praxisferne Manipulation des Umfelds einzuschränken“ (Schiepek 1994, S. 299).

Während die genannten Grundpfeiler der Psychotherapie-Prozessforschung sowohl inhaltliche Ausrichtungen (z.B. die Fokussierung auf die therapeutische Beziehungsgestaltung) und Aspekte des Settings (z.B. der ökologischen Validität von Psychotherapie-Prozessforschung) nahe legen, stellt sich vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme die Frage, mit welchen konkret beobachtbaren Merkmalen sich die Hypothese einer selbstorganisierten Dynamik empirisch prüfen ließe. In diesem Zusammenhang lassen sich mit Bezug auf Kapitel 7 (S. 182) dieser Arbeit unter anderem die folgenden Strategien benennen:

- **Was spricht gegen Metaphorik und Analogiebildung?** Theoretische Modelle sind immer nur Vereinfachungen und Annäherungen an ein Phänomen und mit diesem niemals deckungsgleich oder identisch. Dies gilt für physikalische Beschreibungen der Natur ebenso, wie für Ansätze zur Erklärung therapeutischer Prozesse. Sehr anschaulich hat Schrödinger (1989/1958) die sonderbar qualitätslosen und eingeschränkten Modellvorstellungen einer physikalischen Beschreibung der Welt herausgearbeitet:

Fragt man einen Physiker nach seiner Vorstellung von gelbem Licht, so wird er sagen, dass es aus transversalen elektromagnetischen Wellen besteht, deren Wellenlängen in der Nachbarschaft von $590 \mu\mu$ ($1 \mu\mu = 10^{-6} \text{ mm}$) liegen. Fragt man ihn aber: ‚Wo liegt denn da das Gelb?‘, so wird er antworten: ‚In meinem Bilde überhaupt nicht‘. (Schrödinger 1989/1958, S. 126)

Wie sich an diesem Beispiel zeigt sind auch physikalische Beschreibungen weit davon entfernt, einen Gegenstand „realgetreu“ in einem Modell einzufangen. Ein Modell dem das gelingen würde, wäre auch nur wenig hilfreich, enthielte es doch genau so viel Komplexität, wie das Phänomen, welches es beschreiben soll. Eines der gängigen Kriterien zur Beurteilung theoretischer Modelle ist daher deren Einfachheit bzw. Sparsamkeit (vgl. z.B. Breuer 1989) also genau das Gegenteil einer perfekten in jeder Hinsicht gelingenden Übereinstimmung. In diesem Sinne ist dann aber jedes Modell nicht viel mehr als eine Metapher, ein etwas flaves, etwas farbloses Bild von der Welt. Ist das Modell jedoch tragfähig, so gelingt mit seiner Hilfe die Formulierung und Beantwortung von Fragen, die eben ohne das Modell verborgen blieben oder nicht beantwortbar wären. Vor diesem Hintergrund kann es im Rahmen einer Konzeption psychotherapeutischer oder anderer psychologischer Phänomene sehr anregend und hilfreich sein, Anleihen bei Modellen aus anderen Disziplinen zu nehmen. Die Tatsache, dass ein Modell zunächst in der Physik Verwendung fand verweist eben nicht darauf, dass es nur dort, nicht aber in der Psychologie eine Wirklich-

keit realgetreu abzubilden vermag. Dies gelingt einem Modell eben weder hier noch dort. Es spricht aus dieser Perspektive zunächst nichts dagegen, die Modellvorstellungen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme auch in der Psychotherapieforschung zu erproben.

Auch, wenn es zunächst nicht viel mehr als eine Metapher ist, wenn in Analogiebildung zu physikalischen Systemen der Verlauf einer psychischen Störung als organisierte Komplexität im Sinne eines Attraktors interpretiert wird, besteht der Sinn einer solchen und anderer Übertragungen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme auf Gegenstandsbereiche der Psychotherapieforschung darin, neue und andere Perspektiven einzunehmen, andere Fragen zu stellen, Hypothesen zu generieren und Erklärungsansätze für offene Fragen anzubieten. Es sollte also durch die Übertragung ein Mehrwert im Sinne von etwas Neuem entstehen. Werden solche Metaphern jedoch nur mit dem Ziel verfolgt, bereits seit langem bekannte Tatsachen im Gewand eines modischen Designerkleidchens neu erstrahlen zu lassen, bleibt ihr Wert zweifelhaft.

Insbesondere im Zuge von Forschungsinnovationen ist das kreative Spielen mit Metaphern, Analogien und spontanen intuitiven Eingebungen hingegen ein unerlässlicher Motor für die Entwicklung neuer Erklärungsansätze. Diese sollten sich jedoch in weiterer Folge auch einer empirischen Prüfung als zugänglich erweisen. Die Ansätze der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme und ganz besonders der Synergetik bieten hier einen reichen Fundus, sowohl an innovativen Zugängen und Erklärungsmustern als auch an Methoden und Forschungsparadigmen, die eine empirische Prüfung von Selbstorganisationshypothesen – auch in der Psychotherapie-Prozessforschung – als durchführbar erscheinen lassen.

- **Modellbildung.** In Kapitel 7.3 wird ein umfassendes systemwissenschaftliches Forschungsmodell vorgestellt. Der Kern dieses Forschungsmodells kann in der Parallelführung von Modellbildung (Top-down) und empirischer Zeitreihenanalysen (Bottom-up) gesehen werden (vgl. ausführlicher S. 270ff.). In vielen auch für das Verständnis psychotherapeutischer Prozesse relevanten Forschungsbereichen haben sich in den letzten Jahren sowohl Modelle als auch empirischer Belege gehäuft, die eine systemwissenschaftliche Perspektive stützen. Ein Teil dieser Befunde wurde im Verlauf der vorliegenden Arbeit ausführlich diskutiert. Vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme und der Synergetik formulierte Vorstellungen über die Funktionsweise neuronaler Systeme (vgl. S. 412ff.), Prozesse der Wahrnehmung (vgl. S. 425ff.), Kognition (vgl. S. 438ff.), Motorik (vgl. S. 446ff.), soziale Prozesse (vgl. S. 455ff.), pathogenetischer Entwicklungen (vgl. S. 461ff.) und der Veränderung kognitiv-emotionaler Schemata (vgl. S. 451ff.) bilden eine solide Basis für die Beschreibung und Modellierung auch psychotherapeutischer Prozesse, die in vielfältiger Weise mit den genannten Phänomenen in Beziehung gebracht werden können. Auch das *Generic Model* (vgl. S. 481ff.) verweist auf die Notwendigkeit zu einer systemwissenschaftlichen Modellbildung, wenn eine adäquate Beschreibung von Psychotherapie gelingen soll. Theoretisch fundierte Modelle über das psychotherapeutische Geschehen, bzw. über die spezifisch unspezifischen Wirkungen von Interventionen liegen im kleinen Maßstab bereits vor (vgl. z.B. Schiepek & Schoppek 1991). Ein Beispiel für ein einfaches Modell wird auf Seite 297ff. dieser

Arbeit vorgestellt. Obwohl theoretische Modelle auch dann, wenn sie im Rahmen von Computersimulationen einer mathematischen Behandlung zugänglich werden, nicht als Mittel zur detaillierten Vorhersage psychotherapeutischer Prozesse dienen können, erlauben sie doch einen Einblick in die dynamische Gestalt einer pathogenetischen bzw. therapeutischen Dynamik und in die Muster von Veränderungsprozessen. Möglichkeiten dafür, aus solchen Modellen empirisch überprüfbare Hypothesen abzuleiten wurden oben bereits ausführlich dargestellt (vgl. S. 210ff. und S. 253ff.). Für den Nachweis von Selbstorganisationsprozessen in der Psychotherapie genügt es jedoch, charakteristische Phänomene nichtlinearer dynamischer Systeme zu identifizieren, ohne dass dazu ein konkretes, mathematisch formalisiertes Modell des psychotherapeutischen Geschehens vorab konkretisiert werden müsste.

- **Identifikation charakteristischer Phänomene.** Jede Form der Selbstorganisation in nichtlinearen dynamischen Systemen hinterlässt ganz charakteristische Spuren, so dass mit der Hilfe von methodologischen Ansätzen, die diese Spuren zu deuten und zu identifizieren vermögen, Prozesse der Selbstorganisation auch dort nachgewiesen werden können, wo theoretische Modelle noch nicht verfügbar sind. Methodologisch können solche Nachweise über verschiedene Indikatoren geführt werden. Da die Algorithmen, die in diesem Zusammenhang vorgeschlagen wurden jedoch sehr unterschiedliche und zum Teil sehr hohe Anforderungen an die Daten stellen, empfiehlt es sich, sich dem Problem über verschiedene Zugänge zu nähern, also eine Methodenvielfalt anzustreben. Auf einer relativ abstrakten Ebene geht es bei den in Frage kommenden Verfahren darum, zum einen einfache reguläre Prozesse von irregulär komplexen Prozessen zu unterscheiden und zum anderen, die deterministische Ordnung in der Irregularität zu identifizieren. Bereits bei niedrigen Datenniveau kann dies über die Ansätze der algorithmischen Komplexität oder den *Symbol Dynamics* Ansatz versucht werden. Für solche Verfahren genügen schon nominale Symbolabfolgen, in denen nach Mustern organisierter Komplexität gesucht wird. Die Testpower dieser Verfahren ist jedoch auf Grund des geringen Skalenniveaus nicht sonderlich hoch (vgl. ausführlicher ab S. 396ff.).

Erste Hinweise auf das Vorliegen einer irregulären Prozessdynamik in intervallskalierten Daten lassen sich bereits mit einfachen linearen Analysewerkzeugen gewinnen. So ist ein schneller Nulldurchgang der Autokorrelationsfunktion (vgl. S. 341f.) ebenso ein Hinweis auf eine Irregularität, wie ein entsprechend breites Frequenzspektrum (vgl. S. 348ff.). Beide Befunde lassen sich dann z.B. mit Hilfe von Surrogaten gegenüber zufälligen Prozessen absichern.

Methoden zur Dimensionalitätsanalyse setzen, im Gegensatz zu einfachen linearen Verfahren, an den charakteristischen Eigenschaften chaotischer Prozesse an und erlauben, bei mindestens intervallskalierten Daten, die Identifikation seltsamer Attraktoren (Ruelle & Takens 1971). Die Erfahrungen aus dem Bereich der EEG-Forschung zeigen jedoch, dass hier ergänzende Methoden der Modelltestung über umfangreiche Surrogatdaten-Verfahren nötig sind, um nicht vorschnell von einem sättigenden Korrelationsintegral (vgl. S. 366ff.) auf einen zu Grunde liegenden chaotischen Prozess oder auf ein nichtlineares dynamisches System zu schließen. Obwohl hier also in den letzten Jahren einige Ernüchterung eingetreten ist (vgl. S. 418ff.), können die Methoden der Dimensionalitätsbestimmung

immer noch als verlässliche Verfahren zur Identifikation einer komplexen Ordnung verstanden werden.

Mehr Gewissheit über das Vorliegen eines chaotischen Prozesses gewinnt man jedoch durch die Anwendung von Verfahren zur Bestimmung von Lyapunov-Exponenten. Obwohl es hier zunächst so schien, als ob solche Algorithmen in ihrer Anwendung an noch weit höhere Voraussetzungen gebunden wären als Methoden der Dimensionalitätsanalyse, liegen mit den neueren Verfahren (z.B. bei Rosenstein, Collins & De Luca 1993) praktikable und zuverlässige Ansätze vor (vgl. S. 386ff.).

Obwohl aber auf der einen Seite der Nutzen der genannten Methoden durch die in psychotherapeutischen Prozessen zu erwartende und angestrebte Nicht-Stationarität der Daten eingeschränkt wird, eröffnen aber entsprechend veränderungssensible Erweiterungen (*Pointwise* Dimensionalität und lokale Lyapunov-Exponenten) die Möglichkeit therapeutisch relevante Phasenübergänge zu identifizieren. Im Umfeld therapeutisch relevanter Veränderungen müsste es zu diskontinuierlichen Veränderungen in der Dimensionalität kommen und der Anstieg kritischer Fluktuationen müsste sich in einem Anstieg der Streuung der lokalen Lyapunov-Exponenten zeigen lassen.

Innerhalb der Selbstorganisationsforschung zur Psychotherapie finden sich auch Arbeiten zur sog. „Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie“, die auf Tschacher et al. zurück gehen (Scheier & Tschacher 1994, Tschacher & Scheier 1995, Tschacher, Scheier & Grawe 1998, aber auch Thiele 1997) und nach dem Paradigma der Synergetik den Nachweis von Selbstorganisation an einen Unordnungs-Ordnungs-Übergang binden. Selbstorganisation zeigt sich dann aus dieser Perspektive, wenn eine Therapie im Verlauf des therapeutischen Prozesses über immer weniger Freiheitsgrade verfügt. Dass aber das Vorliegen von mehrfachen Ordnungs-Ordnungs-Übergängen in Psychotherapien theoretisch viel wahrscheinlicher ist, als eine triviale Komplexitätsreduktion wurde ausführlich von Strunk (1998a) diskutiert. Da die „Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie“ nach dem Paradigma des Lasers (vgl. S. 131ff.) von einem Unordnungs-Ordnungs-Übergang ausgeht, muss zunächst die für den Beginn der Therapie zu erwartende Unordnung zweifelsfrei als zufällig nachgewiesen werden (hier sollte also mikroskopisches Chaos mit nahezu unendlich vielen Freiheitsgraden nachweisbar sein; vgl. S. 133f.). Beim Laser kommt es dann durch eine Erhöhung der Energiezufuhr zu einer Ordnungsbildung, die in Zahlen ausgedrückt gewaltige Ausmaße annimmt. Auch wenn in Psychotherapien weder das Vorliegen von Unordnung, noch das von Ordnung zweifelsfrei im Sinne der Hypothese nachgewiesen werden könnte ist doch zumindest ein sehr deutlicher Effekt zu fordern, um die Hypothese zu stützen. Der Unordnung zu Beginn der Therapie sollte demnach eine sehr hohe Ordnung zum Ende der Therapie gegenüber stehen. Die bisherigen Studien die diesen Weg zum Nachweis von Selbstorganisation wählen (Scheier & Tschacher 1994, Tschacher & Scheier 1995, Thiele 1997, Tschacher, Scheier & Grawe 1998) sind jedoch nicht in der Lage die Unordnung zu Beginn der Therapie zu belegen. Dennoch zeigt sich zumindest eine Abnahme der Freiheitsgrade, die jedoch – wenn auch signifikant – so gering ausfällt, dass der Vergleich mit der Selbstorganisation im Laser ein wenig weit hergeholt erscheint.

Die Ziele der folgenden empirischen Analyse zweier Psychotherapien orientieren sich an den hier beschriebenen Möglichkeiten zur Identifikation charakteristischer Phänomene, deren Vorliegen als Hinweise für komplexe Selbstorganisationsprozesse gewertet werden können. Dabei werden verschiedene Verfahren zum Nachweis komplexer Ordnungsstrukturen und von deterministischem Chaos ebenso eingesetzt, wie Verfahren zur Beschreibung psychotherapeutisch relevanter Phasenübergänge. Insgesamt bestätigen die Analysen die Vermutung, dass sich psychotherapeutische Prozesse durch eine organisierte Komplexität im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme auszeichnen. Zudem kann gezeigt werden, wie das Konstrukt der Offenheit bzw. Aufnahmebereitschaft, wie es im *Generic Model* angenommen wird, Veränderungsprozesse maßgeblich beeinflusst. Phasenübergänge im Kontext psychotherapeutischen Verhaltens können damit erstmals empirisch beobachtet und beschrieben werden.

10. Die Sequentielle Plananalyse (SPA) als Methode zur Mikroprozessanalyse zwischenmenschlicher Begegnungen

Forschungsmethodisch ist eine hohe zeitliche und merkmalsbezogene Auflösung für die Identifikation komplexer dynamischer Strukturen zwingend erforderlich

Das hochgesteckte Ziel charakteristische Muster für Selbstorganisationsprozesse und die komplexen Strukturen einer nichtlinearen Dynamik im psychotherapeutischen Geschehen zu identifizieren, lässt sich wenn, dann nur auf der Grundlage einer detaillierten und konsequenten mikroprozessorientierten Perspektive verwirklichen. Das hat zum einen forschungsmethodische, zum anderen aber auch inhaltliche Gründe. Forschungsmethodisch zwingen die Verfahren zur Identifikation nichtlinearer Phänomene zu einer hohen zeitlichen und merkmalsbezogenen Auflösung der zu analysierenden Daten. Ein sinnvoller Versuch für die Bestimmung der Korrelationsdimension oder von Lyapunov-Exponenten hat das Vorliegen von einigen Tausend Messzeitpunkten zur Voraussetzung. Zudem gilt in diesem Zusammenhang zu bedenken, dass es sich bei psychotherapeutischen Prozessen per Definition und im Idealfall um nichtstationäre Prozesse handeln muss. Ein Umstand der neben der Anwendung entsprechender nichtstationärer Verfahren ebenfalls eine hohe zeitliche Auflösung erforderlich macht.

Die Beziehungsgestaltung kann als die zentrale Variable therapeutischer Prozesse betrachtet werden

Neben diesen forschungsmethodischen Voraussetzungen wird die Forderung nach einer hohen Datenqualität und einer hohen zeitlichen Auflösung aber auch von inhaltlichen Überlegungen gestützt. In dem Maße, in dem das psychotherapeutische Geschehen, zunächst und vor allem, als spezifische, reflektierte Form der zwischenmenschlichen Begegnung aufgefasst werden kann, bei der der Heuristik der Beziehungsgestaltung nicht nur die Rolle einer adaptiven Funktion zukommt, sondern Beziehungsgestaltung als Prozessgestaltung aufgefasst werden muss (vgl. Grawe 1999, Strunk & Schiepek 2002) bieten sich Variablen zur Erfassung der psychotherapeutischen Interaktionsdynamik als Observablen auch einer systemtheoretisch fundierten Betrachtung an. Ebenfalls für die Bedeutung der psychotherapeutischen Beziehung als aktives gestaltendes Element von Psychotherapie spricht die im *Generic Model* (Orlinsky & Howard 1986, Ambühl & Grawe 1988, Ambühl & Orlinsky 1997; vgl. auch Abbildung 137, S 483 und Abbildung 138, S. 484) postulierte zirkuläre Struktur der therapeutischen Begegnung und deren Bedeutung für die Generierung des psychotherapeutischen *Outcomes*. Da Selbstorganisationsprozesse an zirkuläre Kausalitätsbeziehungen gebunden sind, legt auch der Rahmen des *Generic Model* eine Suchrichtung nahe, die an den Variablen der zwischenmenschlichen Begegnung ansetzt.

Die hochfrequente Dynamik menschlicher Beziehungsgestaltung macht eine Mikroprozessanalyse erforderlich

Geht es in diesem Zusammenhang nun darum, welche zeitliche Auflösung für die Erfassung eines solch intensiven und dichten Geschehens wie der zwischenmenschlichen Begegnung in einer Psychotherapie sinnvoller Weise angenommen werden sollte, so wird auch von dieser inhaltlichen Seite eine möglichst hohe zeitliche und merkmalsbezogene Auflösung nahegelegt. Über die Qualität und den konkreten Fortschritt einer sozialen Begegnung entscheiden Menschen unbewusst innerhalb von Sekundenbruchteilen, wobei nicht selten mikroskopische Einflüsse, wie z.B. Blickrichtung, Intonation oder andere kaum bewusst wahrnehmbare Ereignisse an Symmetriebrechungen und diskontinuierlichen Übergängen beteiligt sein können (vgl. Grammer 1993).

Damit orientiert sich die Erfassung psychotherapeutischer Prozesse im Rahmen der vorliegenden Arbeit an den folgenden drei Grundannahmen:

1. **Bedeutung der Beziehungsgestaltung.** Im Kern der Analyse steht die Bedeutung der psychotherapeutischen Beziehungsgestaltung. Merkmale der sozialen Begegnung sollen als Observablen einen Einblick in die Prozessdynamik des psychotherapeutischen Geschehens ermöglichen.
2. **Bedeutung der zeitlichen Auflösung.** In dem Maße, in dem damit gerechnet werden kann, dass Entscheidungen über den Fortgang einer sozialen Begegnung unbewusst und in Sekundenbruchteilen getroffen werden, kann eine adäquate Erfassung der Dynamik nur im Rahmen einer hohen zeitlichen Auflösung realisiert werden.
3. **Bedeutung der Merkmalsauflösung.** Da über die konkrete Dynamik einer zwischenmenschlichen Begegnung nicht selten „bedeutsame Nebensächlichkeiten“, wie z.B. ein Stirnrunzeln oder ein Lächeln entscheiden, ergibt sich die Forderung nach einer möglichst breiten und fein aufgelösten Erfassung der Interaktionsdynamik. Idealerweise orientiert sich die Datenerhebung dabei am konkreten Einzelfall, das heißt an den konkreten Merkmalen der zu analysierenden Interaktion, wobei sowohl verbale als auch non- und paraverbale Aspekte Berücksichtigung finden sollten.

Insgesamt orientiert sich die Datenerhebung und -analyse an der Metapher der Musik

In dem Maße, in dem eine zwischenmenschliche Begegnung gleichzeitig über verschiedene Kommunikationskanäle realisiert wird hat sich die Identifikation von gestalttragenden Mustern im Interaktionsgeschehen sowohl auf zeitliche Prozessstrukturen aber auch auf gleichzeitig nebeneinander auftretende Konstellationen zu stützen (vgl. Schiepek et al. 1995a). Strunk und Schiepek (2002) beschreiben diese Suchrichtung der Musteridentifikation als Orientierung an der Metapher der Musik:

Die vorliegende Studie orientiert sich an der Metapher der Musik, um daraus ein Verständnis der Therapeut-Klient-Interaktion zu entwickeln. Musik besteht in der Erzeugung akustischer Prozessgestalten, wobei jeder Ton sowohl synchron – im Zusammenklang von Tönen –, als auch diachron – in der Abfolge von Tönen – in einen Zusammenhang eingebunden ist. Hieraus entstehen Harmonien, Rhythmen und Melodien. Mit dieser Analogie zwischen menschlicher Kommunikation einerseits und musikalischen Prozessgestalten andererseits wird ein bestimmter Anspruch an den Komplexitätsgrad der Beschreibung therapeutischer Beziehungsgestaltung eingeführt. Die Beschreibung sollte über die Beobachtung alternierender Einzelverhaltensweisen der Interaktionspartner (Ping-Pong-Modell) hinausgehen und in der Lage sein, die diachrone und synchrone Koordination von Verhaltensweisen darzustellen und zu analysieren. (Strunk & Schiepek 2002, S. 291f.)

Verwirklicht werden die genannten Ansprüche und Perspektiven auf das psychotherapeutische Geschehen durch die Anwendung einer Weiterentwicklung der hierarchischen Plananalyse nach Caspar (1986, 1989, 1996, Caspar & Grawe 1982) zu einem Kodierinstrument von Abfolgemustern interaktioneller Pläne (Richter et al. 1995, Schiepek et al. 1995d). In den folgenden Abschnitten werden die Grundmerkmale dieser so genannten *Sequentielle Plananalyse* genauer dargestellt.

10.1 Von der horizontalen zur vertikalen Verhaltensanalyse

Während biologistisch argumentierende bestimmte Theorien, zu denen auch Freuds Psychoanalyse gezählt werden kann, Motivationen und Handlungs-(zwänge) triebgesteuert in den Tiefen der menschlichen Psyche verankert sehen, wehren sich die Stimulus-Response-Theorien gegen diese – in ihren Augen nicht beobachtbaren – Annahmen. Beobachtbar wäre allein das Verhalten eines Menschen und der situative Kontext, in dem das Verhalten auftritt. Durch Versuche an Tieren war es ihnen gelungen, zwischen Umweltfaktoren, auslösenden und verstärkenden Stimuli und den Handlungen eine kontingente Beziehung nachzuweisen. So wurde es möglich, unter Aussparung tiefenpsychologischer Annahmen von inneren Trieben oder Motiven, allein aus objektivierbaren, außenbeobachtbaren Tatsachen menschliches Handeln zu mindest theoretisch zu beschreiben. Das Individuum-Umwelt-Verhältnis verschob sich dadurch: Verstand man den Menschen vorher als durch seine Triebe von innen geleitet, wurde er nun als von außen determiniert angesehen.

Die klassische Verhaltensanalyse betrachtet menschliches Verhalten als serielle Abfolge von S-R-C-Ketten

In dieser Beschränkung, liegen aber die theoretischen Probleme der klassischen Verhaltensanalyse begründet. Menschliches Verhalten wird dort traditioneller Weise als von außen determiniert angesehen (vgl. ausführlicher bereits ab S. 52ff.). Auch die Hinzunahme innerpsychischer oder biologischer Reize ändert wenig an der Einbahnstraße, die vom Reiz zur Reaktion, quasi reflexartig abläuft. Auch wenn inzwischen Rückkopplungsschleifen in das Grundmodell integriert werden (z.B. Kanfer, Reinecker & Schmelzer 2000; vgl. Abbildung 17, S. 62), bleibt das Grundmuster erhalten, welches davon ausgeht, dass sich menschliches Verhalten als serielle Abfolge von Stimulus-Response-Ereignissen beschreiben lässt. Es ist diese vornehmlich lineale und serielle Ausrichtung, die dazu führt, dass das Verfahren der klassischen Verhaltensanalyse auch als *horizontale Verhaltensanalyse* bezeichnet wird.

An die Grenzen des Stimulus-Response-Modells gelangten Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts Grawe und Dziewas. Sie hatten versucht, zwischenmenschliche Interaktionsmuster von Teilnehmern ihres Selbstsicherheitstrainings in Gruppen (ATP) mit Hilfe der *funktionalen Bedingungsanalyse* zu verstehen (vgl. Richter et al. 1995). Dabei gelang es ihnen jedoch nicht zu klären, wieso die Teilnehmer immer wieder auch unangenehme Interaktionsmuster wiederholten (Grawe & Dziewas 1978). Denn auch bei Wegfall der auslösenden Stimuli und der aufrechterhaltenden Verstärkung zeigten die Klienten eine Tendenz bestimmte für sie unangenehme Situationen und Verhaltensmuster immer wieder aufzusuchen und zu reproduzieren. Obwohl sich auch dieses Verhalten im Rahmen des klassischen Stimulus-Response-Konzeptes z.B. über innere Repräsentationen der auslösenden Stimuli oder durch eine langsame Extinktionskurve erklären ließe, sind solche Annahmen doch überaus spekulativ und nur wenig objektivierbar.

Menschliches Verhalten ist zielorientiert und dient instrumentell bestimmten Zielen

Eine viel einfachere Erklärung lässt sich hingegen finden, wenn dem Verhalten ein bestimmter Sinn unterstellt wird. Menschliches Verhalten wird dann nicht mehr nur aus der Kenntnis äußerer Reizkonfigurationen als serielle Abfolge von Ereignissen verstanden, sondern zudem als motiviertes und damit zielgerichtetes Verhalten interpretiert. Menschen, so die Überzeugung von Grawe und Dziewas (1978), verfolgen mit ihrem Verhalten bestimmte Motive. Bewusst oder unbewusst

richten sie ihr Verhalten an der Nützlichkeit (Instrumentalität) für die Erreichung bestimmter, ihnen bedeutsamer Ziele aus. Damit wird der Fokus der Erklärung von der äußeren Verursachung eines Verhaltens zurück in die private Innenwelt eines Individuums verlegt, welches sich damit zielorientiert, willentlich und weitgehend autonom verhält. Unter diesem für die Verhaltenstherapie neuen Blickwinkel erscheint menschliches Verhalten von Wünschen, Zielen und Intentionen geleitet zu sein. Aber sowohl die Willens- bzw. Motivationspsychologie als auch die Psychologie der Emotionen waren in der behavioral orientierten Therapie weitgehend vernachlässigt worden. Bei der Suche nach passenden Erklärungsansätzen griff man daher auf das allgemeinspsychologische Plan-Konzept zurück, welches erstmals 1960 von Miller, Galanter und Pribram vorgestellt wurde (vgl. ausführlicher S. 66ff.). Zu einem umfassenden diagnostischen Instrumentarium ausgebaut wird die so genannte *Plananalyse* von Caspar, der sie als vertikale Ergänzung zur klassischen horizontalen Verhaltensanalyse versteht (Grawe & Dzielawski 1978, Caspar & Grawe 1982, Caspar 1986, Grawe 1986, Caspar 1987, Grawe 1987a, 1987b, Caspar 1989; für einen Überblick über die Entstehungsgeschichte der Plananalyse siehe Caspar 1996, S. 27ff.).

Die Plananalyse dient als Grundlage für klinische Fallkonzeptionen

Die Plananalyse, wie sie von Caspar (1989, 1996) vorgeschlagen wird, dient als Grundlage für klinische Fallkonzeptionen der Therapieplanung. Aus dem Blickwinkel einer instrumentellen Perspektive werden die für einen Klienten, eine Klientin wichtigen *interaktionellen Pläne* aus dem Verhalten erschlossen und in eine Planhierarchie eingeordnet. Die Plananalyse tritt damit den Versuch an, zwischenmenschliches Verhalten aus hypothetisch angenommenen Plänen zu *verstehen*. Die Frage nach dem *wozu* (mit welchem Ziel) Menschen so handeln, wie sie es tun, steht damit im Vordergrund. Menschliches Verhalten, ob bewusst oder unbewusst, wird konsequent als instrumentelles Verhalten aufgefasst. Aus der Kenntnis der Ziele, für die es als instrumentell gilt, kann es als *sinnvoll* verstanden werden. Dadurch tritt die *private Logik* (Dreikurs 1981/1930) zu Tage, mit der ein Mensch versucht in seiner Umwelt zielorientiert zu handeln. Im Rahmen einer instrumentellen Interpretation menschlichen Verhaltens lassen sich dann kurzfristige situationsspezifische Ziele als instrumentell für längerfristige situationsübergreifende Ziele verstehen. Erstere sind letzteren also hierarchisch untergeordnet. Kurzfristige Ziele sind, da sie stärker in spezifische Situationen eingebunden sind, verhaltensnäher als längerfristige „Lebensziele“, die an der Spitze einer Planhierarchie verortet werden, und daher eher allgemeine Bedürfnisse eines Individuums kennzeichnen.

Das Verhalten von Menschen verweist aber auch aus einer instrumentellen Perspektive nicht nur auf die Zielkomponente, sondern zeigt mehr oder weniger direkt, *wie* es eine Person versucht, die ihr bedeutsamen Ziele zu verwirklichen. Neben den *Ziel-Komponenten* treten im Verhalten eines Menschen also auch die Mittel, die zur Erreichung der Ziele eingesetzt werden, als *Operations-Komponenten* zu Tage.

Beide Elemente – Ziel und Mittel – repräsentieren im Sprachgebrauch der Plananalyse einen Plan. „Im Vergleich zu anderen klinischen Ansätzen, die einseitig den *Verhaltens-* oder *Motivations-Aspekt* hervorheben, werden beide Aspekte bei der Plananalyse in einer einheitlichen Konzeption integriert“ (Caspar 1989, S. 8).

10.1.1 Theoretische Grundannahmen der Plananalyse

Mit ihrem relativ sparsamen Gerüst an theoretischen Kernannahmen ist die Plananalyse zu verschiedenen klinischen Ansätzen kompatibel, was ihr eine besondere Flexibilität verleiht. So gibt sie insbesondere die inhaltliche Interpretation von Plänen nicht vor. Tiefenpsychologische Konstrukte können ebenso helfen eine Planstruktur zu verstehen, wie auch behaviorale oder systemische Erklärungsansätze. Durch eine überschaubare Anzahl theoretischer Kernannahmen besitzt sie jedoch ein klar ausgearbeitetes Gerüst welches die Methode strukturiert und den Interpretationsrahmen definiert. Die Kernannahmen lassen sich durch im Wesentlichen drei einander ergänzende Perspektiven umschreiben:

1. **Finale, instrumentelle Perspektive.** Menschliches Verhalten besitzt aus der Sicht der Plananalyse eine auf ein Ziel ausgerichtete finale Komponente. Ähnlich wie bereits Adlers *Finalanalyse* (z.B. Adler 1972/1912, 1973/1933, Adler 1978/1927), wird zunächst jedes Verhalten als willentliche Handlung interpretiert, die einen bestimmten Zweck verfolgt (vgl. auch 233ff.). Verhalten ist damit instrumentell auf eine Zielerreichung ausgerichtet. Diese zweckmäßige instrumentelle Ausrichtung muss der handelnden Person jedoch nicht unbedingt bewusst sein. Nicht selten wird sie sogar leugnen mit einem bestimmten Verhalten überhaupt einen Zweck zu verfolgen und die Verantwortung allein auf äußere Umstände zurück zu führen versuchen. Aber auch solche *Selbstrechtfertigungen* können aus einer konsequent verfolgten finalen Perspektive ebenfalls als instrumentelles Verhalten verstanden werden. Eine solche Interpretation von selbstrechtfertigendem Verhalten legt z.B. auch der aus der Sozialpsychologie stammende Ansatz des Impression-Managements (z.B. Tedeschi, Lindskold & Rosenfeld 1985) nahe. So kann dann z.B. gezeigt werden, dass auch verschiedene selbstschädigende Verhaltensweisen (*self-handicapping*) gezeigt werden, um sich für bestimmte antizipierte Fehlleistungen in vorhinein zu entschuldigen. Darunter fällt dann z.B. auch die Prüfungsangst, die nach Meinung von Tedeschi, Lindskold und Rosenfeld (1985) allein als vorab Entschuldigung für erwartete schlechte Leistungen angesehen wird. Das heißt, dass nicht die antizipierte schlechte Leistung im Sinne einer Bedrohung zu Angstgefühlen führt (wie es z.B. Lazarus & Launier 1981 beschreiben würden), sondern bewusst oder unbewusst präsentiert wird, um sein „Gesicht zu wahren“. An diesem Beispiel wird deutlich, dass eine instrumentelle Perspektive auch bei scheinbar reaktiven Verhaltensweisen unterstellt werden kann. Damit soll dann aber nicht geleugnet werden, dass einem Verhalten nicht auch äußere Gründe als Auslöser vorausgehen können. Hinterfragt werden soll jedoch ob diese äußeren Gründe das jeweils spezifische Verhalten deterministisch erzwingen. So gibt es auch bei äußeren Zwängen nicht selten mehrere Reaktionsmöglichkeiten, so dass es angemessen erscheint danach zu fragen, wozu – also mit welchem Ziel – eine Person eine bestimmte Verhaltensweise auswählt. Auf den Punkt gebracht wird diese finale Perspektive bereits durch die Individualpsychologie, so auch von Erwin Wexberg, der bereits 1931 schreibt:

Wenn uns ein Patient über Kopfschmerzen, Schwindel, Herzklopfen, Schlaflosigkeit klagt, die es ihm unmöglich machen, zu arbeiten, Beziehungen zu Menschen, Beziehungen zum anderen Geschlecht zu finden, so gehört es zum Wesen unserer therapeutischen Methodik, dass wir ihm direkt, ver-

blümt oder offen, sofort oder nach und nach zu verstehen geben: Sie machen das, um sich der Arbeit, der Beziehungen zu Menschen, der Beziehung zum anderen Geschlecht unter schicklichem Vorwand zu entziehen. So deuten wir den Kausalnexus, den der Patient erlebt, in einen Finalnexus um. Und in dem Maße als uns das gelingt, in dem Maße, als uns der Patient auf dem Wege dieser Interpretation folgt, schreitet die Heilung fort. Also – so folgern wir, wenn der Patient geheilt die Behandlung verlässt – war unsere Interpretation mehr als eine Arbeitshypothese. Sie ist, zum mindesten in technischem Sinne, wahr. (Wexberg 1991/1931, S. 138f)

2. **Zirkuläre Perspektive.** Im menschlichen Verhalten wirken innerpsychische finale Komponenten und außerhalb des Individuums stehende Umweltkomponenten zusammen. Dabei kommt es zwangsläufig zu einer zirkulären Beziehung zwischen innerpsychisch verankerten Planstrukturen und Umwelteinflüssen, da äußere Ereignisse von einem Individuum immer nur aus einer privaten innerpsychischen Perspektive interpretiert werden können. Piaget (z.B. 1969/1936, 1969/1945, 1976, 1981; vgl. S. 451) und auch Neisser (1979; vgl. Abbildung 123, S. 428) beschreiben diesen Vorgang der wechselseitigen Abhängigkeit von Schemastruktur und Interpretation von Erfahrungen als kreiskausale Prozesse autonomer Selbstregulation. Auch im Rahmen der Plananalyse wird davon ausgegangen, dass Umwelterfahrungen durch die Brille der spezifischen individuellen Planstruktur instrumentell angeleitet und interpretiert werden. Die Person, die in beinahe allen Äußerungen eines Gegenübers einen versteckten Angriff vermutet ist ein typisches Beispiel für eine solche private Sicht, die im Rahmen der Plananalyse als zielführendes Verhalten interpretiert wird. So ist es z.B. möglich, dass die Person mit diesem misstrauischen Verhalten das Ziel verfolgt, sich nicht auf Beziehungen einzulassen.
Andererseits fallen Ziele aber auch nicht vom Himmel. Die Planstruktur eines Individuums bildet sich in der Regel erst durch die Auseinandersetzung mit der Umwelt. Insbesondere Adler (z.B. Adler 1972/1912) betont diesen Aspekt indem er subjektiv erlebte Minderwertigkeitsgefühle als Motor für eine Kompensation und damit die Herausbildung von Lebenszielen und Leitlinien beschreibt. Ein übergeordnetes Bündel solcher Lebensziele nennt Adler dann den *Lebensstil* eines Menschen (vgl. auch S. 461f.).
3. **Hierarchische Perspektive.** Der Planbegriff der Plananalyse geht auf das 1960 eingeführte kybernetische Plankonzept von Miller, Galanter und Pribram zurück (vgl. ausführlicher S. 66ff.). Ein Plan umfasst daher sowohl eine Ziel- als auch eine Handlungs- bzw. Mittel-Komponente. Damit sind Pläne immer auf ein konkretes, zumeist auch beobachtbares, Verhalten bezogen. Im Verlauf der Plananalyse wird dann zu ergründen versucht, welche Ziele eine Person mit dem jeweiligen Verhalten verfolgt. Dabei sind dann aber kurzfristige, taktische Ziele und entsprechende Verhaltensweisen von übergeordneten, langfristigen, strategischen Plänen zu unterscheiden. Insgesamt hat die Plananalyse das Ziel die verschiedenen Pläne eines Menschen in einer – auch graphisch darstellbaren – hierarchischen Struktur abzubilden, indem auch die Pläne untereinander in eine Ziel-Mittel-Relation zueinander gestellt werden. Kurzfristige taktische Ziele dienen dabei instrumentell der Verwirklichung längerfristiger Ziele. Da nicht vorgegeben werden kann, wie tief eine Plananalyse idealer Weise reichen soll, gibt es keine absoluten hierarchischen Positionen von Plänen. Die Position eines Planes ergibt sich vielmehr aus der relativen Verortung in der Planstruktur.

tur durch übergeordnete und untergeordnete Pläne. Da aber zudem ein und derselbe Plan mehreren Zielen gleichzeitig dienen kann (Konvergenz) wird eine Planhierarchie in der Regel nach oben hin gebündelt verlaufen. Es sind insbesondere die hierarchisch hohen Pläne, die auch sonderbares und scheinbar widersprüchliches Verhalten von Menschen erklären helfen, indem sie einen gemeinsamen Nenner anbieten vor dessen Hintergrund sich die Widersprüche auflösen lassen. Ebenfalls aus den hierarchischen Beziehungen zwischen den Plänen folgt, dass es nur selten möglich ist, Pläne isoliert für sich zu interpretieren. Ein Plan erhält seine Bedeutung immer erst im Kontext der gesamten ihn umgebenden Planhierarchie. Der Komplexität menschlichen Verhaltens wird zudem Rechnung getragen, indem davon ausgegangen wird, dass im menschlichen Verhalten fast immer gleichzeitig mehrere Pläne aktiviert sind (Mehrfachbestimmtheit menschlichen Verhaltens).

Obwohl die drei Perspektiven prinzipiell auf jedes menschliche Verhalten angewendet werden könnten schreckt Caspar (1989, 1996) bei der instrumentellen Deutung emotionaler Äußerungen zurück. Auch innerhalb der Individualpsychologie wird die besondere Rolle von Affekten aus dem Blickwinkel einer finalen Perspektive diskutiert:

Aber die Anwendung der finalen Kategorie stößt auf Widerspruch, sobald Verhaltensweisen in Frage kommen, die durch Affekte bestimmt zu sein scheinen. ...

Tatsächlich lässt uns in diesem Bereich der common sense einigermaßen im Stich. Man ist seit alters her gewohnt, den Menschen nur dort, wo er zweckbewusst handelt, als frei zu betrachten, dagegen seine Passivität und Kausalgebundenheit dort anzuerkennen, wo er sich subjektiv unfrei fühlt, also im Affekt. Freilich besteht hier ein bemerkenswerter Unterschied der Grenzbestimmung in der Selbst- und Fremdbeurteilung.

(Wexberg 1991/1933, S. 168)

Im Rahmen der Plananalyse werden spezielle theoretische Konzepte für die Einbeziehung von Emotionen in eine Planstruktur diskutiert. Caspar (1989) nennt dabei vor allem vier unterschiedliche Möglichkeiten mit denen sich die Bedeutung von Emotionen in Planstrukturen kennzeichnen lassen:

1. **Emotionen als Reaktion.** Ähnlich wie Freud in frühen Arbeiten negative Gefühle mit einer Situation in Zusammenhang bringt, bei der ein Individuum an der Erreichung seiner Ziele gehindert wird (vgl. z.B. Freud 2000/1913a, S. 116f; besonders deutlich in Freud 2000/1915a, S. 99ff), werden negative Gefühle wie Angst, Wut, Scham, Schuldgefühle, depressive und ähnliche Affekte auch in der Plananalyse über die Bedrohung von Plänen konzeptualisiert. Entsprechend umgekehrt entstehen positive Gefühle durch die Erreichung der durch Pläne angestrebten Ziele (vgl. Caspar 1989, S. 37).
2. **Pläne für die Färbung einer Emotion.** Die Qualität entstehender Gefühle kann, auch dann, wenn die Emotion selbst nicht Teil der Planstruktur ist, durch Pläne bestimmt sein. Werden insbesondere wichtige Pläne eines Menschen bedroht oder blockiert, so kommt es zu starken negativen Gefühlen. Dabei legt die Art der Bedrohung eine bestimmte emotionale Reaktion in vielen Fällen nahe. Häufig greifen aber gerade bei negativen Gefühlen Pläne mit emotions-

vermeidenden Tendenzen regulativ ein. Sehr häufig finden sich z.B. Pläne der Aggressionsvermeidung. Ein solcher Plan würde beim Aufkommen aggressiv gefärbter Emotionen zu deren Unterdrückung führen, so dass statt dessen z.B. Hilflosigkeit oder Trauer „gefühl“ wird.

3. **Coping-Pläne.** Tatsächlich erlebte oder antizipierte negative Gefühle können spezielle Bewältigungs- oder Coping-Pläne aktivieren, die die Beseitigung der negativen Gefühle zum Ziel haben.
4. **Instrumentelle Emotionen.** Gefühle können selber eine instrumentelle Funktion innerhalb einer Planstruktur besitzen. Besonders unter dem Blickwinkel zwischenmenschlicher Interaktionen kommt der Äußerung von Gefühlen eine besondere Bedeutung zu. „Ein geradezu klassisches Beispiel für die instrumentelle Verstärkung einer Symptomatik ist ja die Zuwendung, die Agoraphobiker oftmals mit ihrer Angst erreichen. Ähnlich wirken – in entsprechenden Beziehungssystemen – auch depressive Gefühle. Umgekehrt kann das Zeigen von Gereiztheit dazu führen, dass ein Mensch, der einem anderen zu nahe gekommen ist, wieder das erwünschte Maß an Distanz einhält usw.“ (Caspar 1989, S. 42). Dabei macht es prinzipiell keinen Unterschied, ob das gezeigte Gefühl auch tatsächlich vorliegt oder nicht. Caspar (1989) verwehrt sich jedoch gegen die Annahme, dass Gefühle ursprünglich wegen ihrer Instrumentalität auftreten. „Es wäre schrecklich, wenn Menschen überwiegend so funktionieren würden!“ (Caspar 1989, Fußnote S. 43).

Emotionen können also aus Planstrukturen erschlossen werden, sind jedoch nicht immer (Punkt 1) explizites Thema einer Planstruktur. Daher müssen ergänzende Informationen, die sich auf Emotionen beziehen, in sog. *Frames* festgehalten werden (vgl. dazu S. 508).

Unter Berücksichtigung der genannten theoretischen Grundannahmen der Plananalyse werden aus dem Verhalten und Erleben eines Menschen seine klinisch bedeutsamen bzw. interaktionellen Pläne erschlossen. Dazu können eine Reihe von Informationsquellen genutzt werden. Ziel der Plananalyse ist die Erstellung einer schriftliche Fallkonzeption. Als Grundlage dazu werden Planstrukturen zudem graphisch visualisiert.

10.1.2 Darstellungsformen der Plananalyse

Obwohl es sich bei der Plananalyse zunächst um ein Verfahren handelt, welches Material für eine schriftliche Fallkonzeption zusammenträgt, beeindrucken an ihr insbesondere die graphischen Darstellungen komplexer Planstrukturen. Auf der Grundlage graphischer Planstrukturen können dann z.B. wichtige interaktionelle Pläne, deren Einbettung in die Störung des Klienten, der Klientin in der Regel schnell und intuitiv erschlossen werden.

Komplexe Planstrukturen lassen sich graphisch gut veranschaulichen

Ausgangspunkt der graphischen Darstellung ist die hierarchische Perspektive der Plananalyse, die davon ausgeht, dass Pläne über Ziel-Mittel-Relationen miteinander verbunden sind und zusammen eine komplexe Planstruktur darstellen. Die Basis einer Planstruktur bildet dabei das konkret beobachtbare Verhalten in Form von *Operatoren* und an der Spitze der Struktur finden sich Pläne, die idealisierte Grundziele eines Menschen repräsentieren. Pläne, die instrumentell anderen Plänen dienen, werden – durch Linien verbunden – *unter* den hierarchisch höheren Plan in eine Planstruktur eingezeichnet (vgl. Abbildung 139). Dabei werden Pläne im *Imperativ* formuliert, um ihren handlungsleitenden Charakter zu unterstreichen. Diese Art der Bezeichnung ist zunächst gewöhnungsbedürftig, da sie den Anschein von Intentionalität erweckt. Intentionalität oder Bewusstheit soll mit der Interpretation eines Verhaltens als instrumentelles zielgerichtetes Handeln jedoch nicht unterstellt werden. Bereits der Begriff „Plan“ legt die Vermutung nahe, dass einer handelnden Person bewusst ist, wozu sie so handelt wie sie es tut. Das ist in der Plananalyse jedoch nicht mit dem Plan-Begriff gemeint. Die Plananalyse geht davon aus, dass ein Mensch durchaus auch unbewusst bestimmte Ziele verfolgen kann.

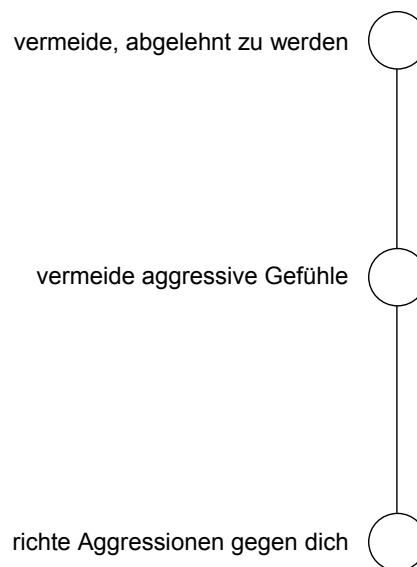


Abbildung 139: Hierarchische Ordnung und Benennung von Plänen

Drei Pläne, als Ausschnitt aus einer prototypischen depressiven Struktur, nach Caspar (1989, S. 59). Man beachte: 1. Die hierarchische Ordnung, nach der jeder graphisch untergeordnete Plan auch instrumentell dem übergeordneten Plan dient. 2. Die Benennung der Pläne im Imperativ.

Jede Plananalyse ist im konkreten Verhalten verankert

Pläne werden in der Regel von unten nach oben erschlossen (*Bottom-up-Verfahren*). Sie begründen sich also aus dem konkreten Verhalten einer Person. Dieses Verhalten wird in der graphischen Struktur an das untere Ende einer Plan-Kette gesetzt und im *Indikativ* formuliert. Konkrete Verhaltensweisen heißen in der Terminologie der Plananalyse *Operatoren* (vgl. die folgende Abbildung 140).

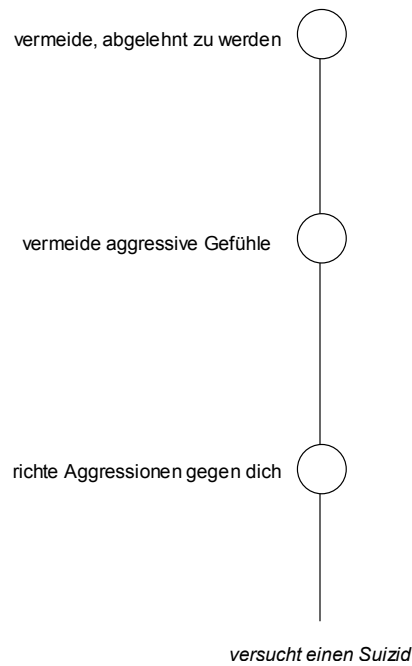


Abbildung 140: Operatoren

Die gleiche Struktur, wie in der vorherigen Abbildung 139 wurde hier durch das Hinzufügen eines zugehörigen Operators ergänzt.

Planstrukturen repräsentieren also, je höher man in ihnen gelangt, immer mehr an abstrakter Zielgerichtetheit, je tiefer man ansetzt, immer mehr an konkreten Verhaltensbezügen (vgl. die folgende Abbildung 141).

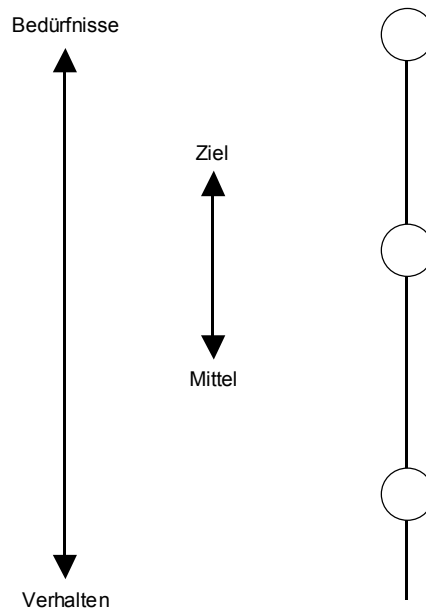


Abbildung 141: Ziel-Mittel- und Bedürfnis-Verhaltens-Relationen

Die hierarchische Ordnung in Planstrukturen bildet die vertikale Orientierung in Oben und Unten ab, die den Polen Ziel-Mittel und Bedürfnisse-Verhalten entspricht.

Je höher man in einer Planhierarchie gelangt, desto eher ist es vorstellbar, dass diese Pläne durch mehrere verschiedene untergeordnete Pläne erfüllt werden können. Dieses Prinzip einer *konvergenten* Mehrfachbestimmtheit menschlichen Handelns führt zu einer Pyramidenform von Planstrukturen (vgl. die folgende Abbildung 142).

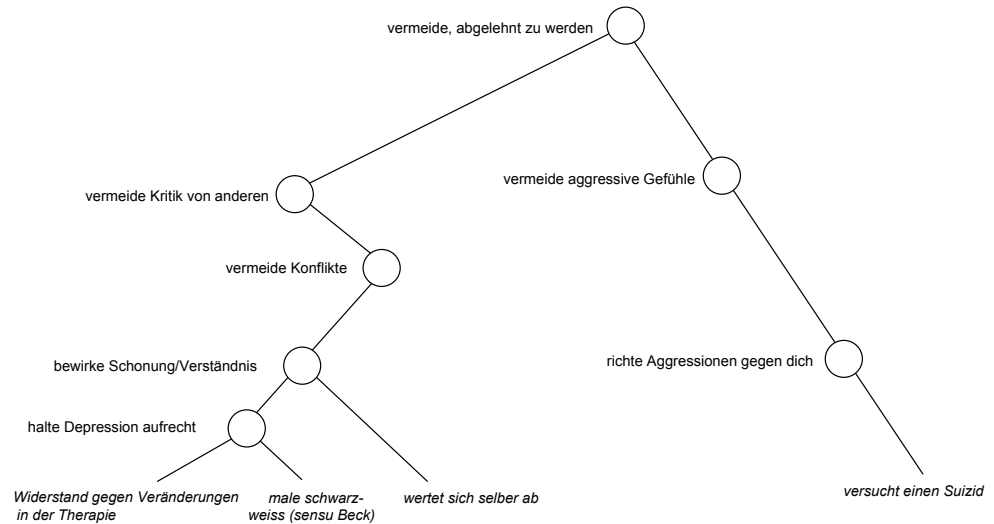


Abbildung 142: Konvergente Planstrukturen

Die prototypische Planstruktur einer Depression wurde hier weiter ergänzt um einen Zweig von Plänen, die ebenfalls instrumentell sind für den an der Spitze stehenden Plan. (Aber auch diese Planstruktur ist noch nicht vollständig) (Abbildung nach Caspar 1989, S. 59).

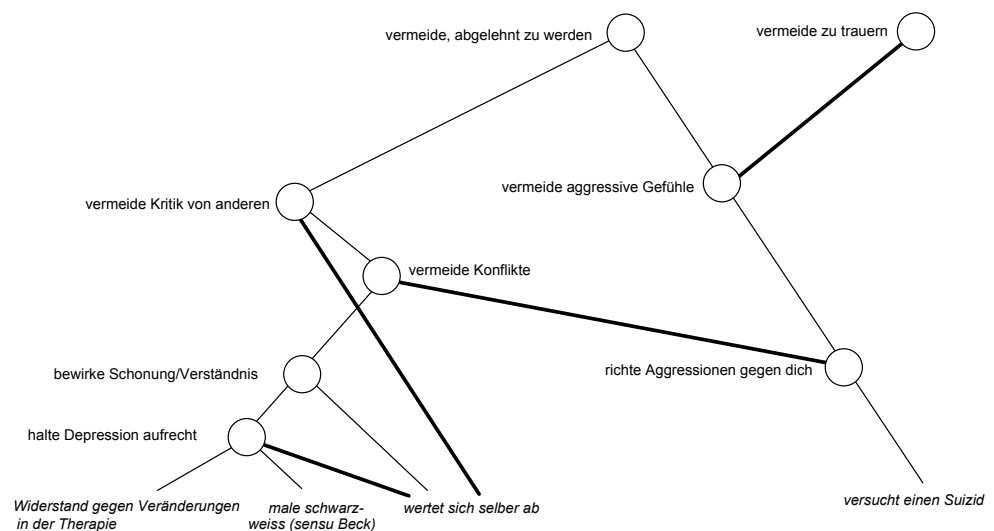


Abbildung 143: Divergenz und Konvergenz

Die etwas dicker gezeichneten Verbindungen zwischen den Plänen sind im Vergleich zur vorhergehenden Abbildung 142 neu hinzugekommen. Sie entsprechen einer divergenten Mehrfachbestimmtheit (von unten gesehen). Aber auch hierbei bleiben die Oben-Unten-, Ziel-Mittel-Relationen erhalten. Damit ist der Plan „vermeide Konflikte“ hierarchisch höher als „richte Aggressionen gegen dich“; und dies, obwohl beide zwei Pläne weit vom obersten Plan entfernt sind. Dies macht deutlich, dass es bei der Plananalyse keine absoluten, messbaren Hierarchiehöhen gibt. Auch diese Planstruktur ist ein abgewandelter Ausschnitt aus Caspar (1989, S. 59).

Pläne besitzen in der Plananalyse keine absolute hierarchische Position

Neben der konvergierenden Mehrfachbestimmtheit (von unten betrachtet), sind aber auch Beziehungen zwischen Plänen denkbar, die divergenten Charakter aufweisen. Dabei kann es dazu kommen, dass Pläne, die scheinbar auf gleicher Hierarchieebene stehen (gleiche Entfernung vom gemeinsamen Oberplan, gemessen in dazwischen liegenden Plänen), nicht tatsächlich nebengeordnet sein müssen. In der Plananalyse gibt es daher keine absoluten Hierarchiehöhen (vgl. Abbildung 143).

Obwohl Planstrukturen unmittelbar und weitgehend intuitiv verständlich wichtige Informationen über eine Klientin, einen Klienten zur Verfügung stellen, vernachlässigen sie jedoch auch einen großen Teil an klinisch relevanten Informationen, die sich eben nicht im Rahmen einer Ziel-Mittel-Relation abbilden lassen. Das ist z.B. dort der Fall, wo durch die Blockade wichtiger Pläne negative Emotionen entstehen. Diese Emotionen lassen sich nicht direkt aus der Planstruktur erschließen, sind aber in der Regel von großer Bedeutung für den therapeutischen Prozess.

In Frames werden wichtige Zusatzinformationen festgehalten

Eine Therapeutin, ein Therapeut, die eine Plananalyse anfertigen, wissen in der Regel, in welchem situativen Kontext bestimmte Pläne auftreten, welche Emotionen mit welchen Verhaltensweisen verbunden sind oder wo sich lebensgeschichtliche Parallelen zeigen (vgl. Caspar 1989, S. 34). Da viele dieser Informationen in einer Planstruktur jedoch verloren gehen, können die Strukturen mit der Hilfe von so genannten *Frames* ergänzt werden. Dabei werden *allgemeine* und *emotionale* Frames voneinander unterschieden. Letztere dienen dazu, die für das Verständnis der Emotionen eines Klienten, einer Klientin relevante Zusatzinformationen festzuhalten. In den Planstrukturen werden dann Hinweise auf die in schriftlicher Form vorliegenden Frames eingetragen. Neben den entsprechenden Plänen werden dann ein Sternchen mit dem Buchstaben *G* für Gefühls-Frames und *F* für allgemeine Frames sowie eine fortlaufende Nummerierung eingetragen (vgl. die folgende Abbildung 144).

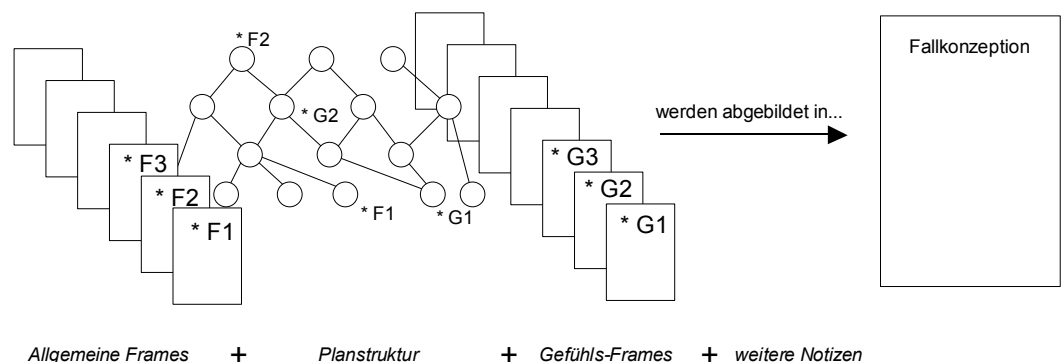


Abbildung 144: Frames

Die Abbildung zeigt das Verhältnis von Planstruktur und schriftlicher Fallkonzeption. Die schematisch dargestellten Frames deuten an, wie diese als Zusatzinformationen zu Planstrukturen genutzt werden (*F = allgemeiner Frame, *G = Gefühls-Frame) (vgl. auch Caspar 1989, S. 71).

10.1.3 Der Stoff aus dem die Pläne sind

Die Plananalyse besitzt einen relativ geringen Korpus an theoretischen Kernannahmen, so dass sie zu verschiedenen klinischen Ansätzen kompatibel ist. „Ein Vergleich zum in mancher Hinsicht ähnlichen *Plan-Diagnosis-Konzept* (Weiss & Sampson 1986) mag verdeutlichen, was gemeint ist: Dieser Ansatz beruht auf einer psychodynamischen Theorie, welche das Testen pathogener Annahmen des Patienten in der Therapiesituation und seiner Schuldgefühle betont. Das verleiht ihm zwar in vielen Fällen eine ganz besondere Potenz, macht ihn in anderen aber blinder oder zumindest schlechter kompatibel mit anderen nützlichen Ansätzen“ (Caspar, 1989, Fußnote S. 22). Das Material, aus denen Pläne erschlossen werden können, ist dementsprechend vielgestaltig. Zu den wichtigsten Quellen für die Erschließung von Planstrukturen können die folgenden vier Bereiche gezählt werden (vgl. auch Caspar 1989, S. 90):

- **Direkte Beobachtungen.** Verhaltensbeobachtungen in der Therapie und/oder in vivo stellen die hauptsächliche Quelle für das Erschließen von Planstrukturen dar. Dabei wird die Unterscheidung zwischen Therapie auf der einen Seite und in vivo Situationen auf der anderen nicht als Unvereinbarkeit betrachtet, da es sich auch bei einer Therapiesituation um eine „in vivo Situation“ handelt.
- **Berichtetes Verhalten.** Berichte des Klienten, der Klientin über ihr bzw. sein Verhalten und Erleben innerhalb und außerhalb der Therapie bilden eine weitere Quelle für die Formulierung von Planhypothesen. Dabei gilt zu beachten, dass die Berichte selbst wieder unter einer instrumentellen Perspektive betrachtet werden können. Als Material können neben den Berichten der Klientinnen bzw. Klienten auch Berichte Dritter (Angehörige, Freunde, Pflegepersonal, Mitgliedern einer Therapiegruppe usw.) genutzt werden.
- **Selbstbeobachtung der Klientin, des Klienten.** Introspektive Berichte des Klienten, der Klientin über ihr bzw. sein Denken und Erleben einschließlich Phantasien und Tagträumen können ebenso wie Verhaltensberichte sowohl direkt als Material Verwendung finden als auch in Hinblick auf ihren instrumentellen Charakter hinterfragt werden. In diesem Sinne ist es durchaus interessant zu hinterfragen mit welchem Ziel ein bestimmter Klient in der Therapie immer wieder über bestimmte Phantasien berichtet.
- **Selbstbeobachtung der Therapeutin, des Therapeuten.** Die Wirkung des Verhaltens der Klientin, des Klienten auf Interaktionspartner ist eine besonders wichtige Quelle für die Interpretation und Erschließung von Planstrukturen. Hier kann es von Therapeutinnen- bzw. Therapeutenseite her sinnvoll sein sich selbst genau zu beobachten: welche Gedanken, Gefühle oder Verhaltenstendenzen löst der Klient, die Klientin bei mir aus? Ist es eventuell ein Ziel der Klientin, des Klienten, diese Gefühle, Gedanken oder Verhaltenstendenzen im Gegenüber zu erzeugen?

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Pläne, auch dort wo sie auf introspektiven Daten beruhen, aus konkretem, beobachtbarem Verhalten erschlossen werden. Trotz dieser Verankerung im konkreten interaktionellen Geschehen sind sie dennoch Abstraktionen, die über den konkreten Anlass hinaus gehen, indem sie

die jeweiligen Handlung in Hinblick auf eine instrumentelle zielgerichtete Orientierung hinterfragen. Dabei können, je nach Therapieziel und „Tiefe“ der Analyse, neben den in der Therapie auftretenden, direkt beobachtbaren Verhaltensweisen andere gezielt abgefragt oder erzeugt werden (z.B. Konfrontationen, Rollenspiele, kreatives Arbeiten, etc.). Generell gilt, dass alles an Informationen genutzt werden kann, was zu den Grundannahmen der Plananalyse kompatibel erscheint (vgl. auch die folgende Abbildung 145).

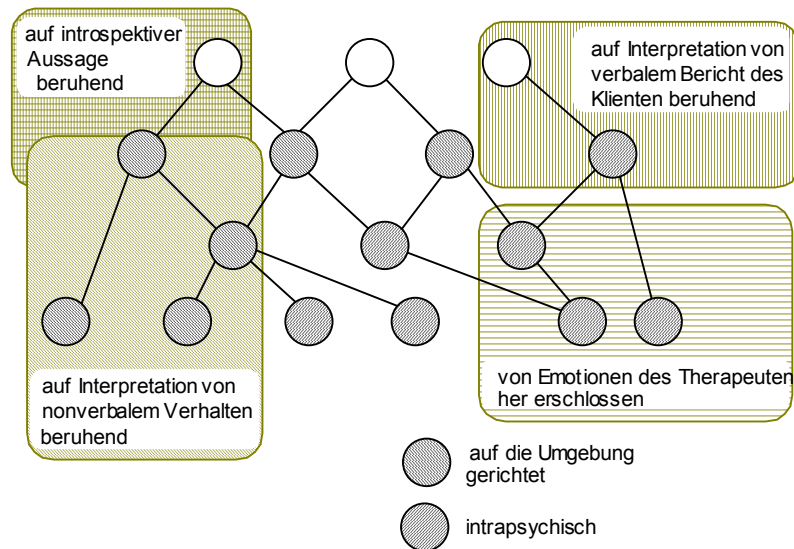


Abbildung 145: Informationsebenen aus denen Pläne erschlossen werden

Die Abbildung verweist auf vier grundsätzliche Informationsebenen vor deren Hintergrund Planstrukturen erschlossen werden können. Zudem werden in der Abbildung intrapsychische und auf die Außenwelt ausgerichtete Pläne unterschieden (Abbildung nach Caspar 1989, S. 89).

Leitfragen für die Erschließung von Plänen, die noch relativ eindeutig im verhaltenstherapeutischen Rahmen formuliert sind aber bereits ein Hauptgewicht auf das interaktionelle Verhalten legen, werden z.B. von Grawe und Dziewas (1978) vorgeschlagen (vgl. die folgende Tabelle 15).

1. Welche Interaktionsmuster geht der Patient bevorzugt ein?
2. Welche zwischenmenschlichen Verhaltensweisen versucht er bei seinen Interaktionspartnern herzustellen, das heißt in konventioneller lerntheoretischer Sprache ausgedrückt: Welches sind seine wichtigsten zwischenmenschlichen Verstärker?
3. Welche zwischenmenschlichen Verhaltensweisen seiner Interaktionspartner versucht der Patient zu vermeiden beziehungsweise aktiv zu verhindern, das heißt welche zwischenmenschlichen Reize sind für ihn aversiv?
4. Wie sehen die wichtigsten Vermeidungsstrategien des Patienten aus, mit denen er das Auftreten dieser aversiven Reize in seinen zwischenmenschlichen Beziehungen verhindert?

Tabelle 15: Leitfragen für die Erstellung einer Fallkonzeption

Die in der Tabelle vorgestellten Leitfragen sind noch stark lerntheoretisch ausgerichtet, betonen aber bereits die interaktionelle Perspektive der Plananalyse (Tabelle nach Grawe & Dziewas 1978, zitiert nach Caspar 1989, S. 72).

Offener und weniger behavioral geht Caspar (1989) vor, indem er für die Entwicklung von Planhypothesen auch auf die therapeutische Introspektion verweist (vgl. die folgende Tabelle 16).

-
- Welche Gefühle und Eindrücke löst der Klient, die Klientin bei mir und anderen aus?
 - Was will er/sie bei mir und anderen erreichen, wozu will er/sie mich und andere bringen, welche Verhaltenstendenzen auslösen?
 - Welches Bild von sich versucht er/sie mir und anderen zu vermitteln?
 - Welches Bild von sich versucht er/sie für sich selber aufrechtzuerhalten?
 - Welches Verhalten von mir und anderen würde gar nicht in die Situation passen, würde schwer fallen, versucht er/sie zu verhindern?
-

Tabelle 16:

Leitfragen zum Entwickeln von Planhypothesen

Die in der Tabelle wiedergegebenen Leitfragen für die Formulierung von Planhypothesen zielen direkt auf das Erleben der Therapeutin, des Therapeuten ab. Gedanken, Gefühle und Verhaltenstendenzen, die der Klient, die Klientin im Gegenüber auslöst sollen in Hinblick auf ihren instrumentellen Charakter hinterfragt werden (Tabelle nach Caspar 1989, S. 102).

Für die Formulierung und Identifikation von Plänen sollten die folgenden Regeln Beachtung finden:

- **Nähe zum Erleben der Klientin, des Klienten.** Pläne sollten nach Möglichkeit in Begriffen formuliert sein, die der Klient, die Klientin selbst verwendet.
- **Vermeiden von Doppeldeutigkeiten.** Benennungen von Plänen können auch bei kleinen Unterschieden zwischen zur Auswahl stehenden Formulierungen höchst unterschiedliche Eindrücke von einem Klienten, einer Klientin vermitteln. So ergeben sich gravierende Unterschiede in der Bedeutung, wenn ein Plan mit „zeige dich perfekt“, im Gegensatz zu „sei perfekt“, benannt wird. Die erste Möglichkeit weist in ihrer Formulierung auf den Wunsch zu einer bestimmten nach Außen gerichteten Selbstpräsentation, wie sie sich z.B. im Rahmen einer Impression-Management-Strategie bzw. -Taktik äußern würde. Hingegen verweist die zweite Benennung auf einen selbstbezogenen, privaten und nach Innen gerichteten Plan.
- **Bedeutung des Kontextes.** Auch gleich bezeichnete Pläne können ganz unterschiedlich definiert sein. In der Regeln gilt, dass immer auch der Kontext der hierarchisch höher und niedriger angesiedelten Pläne bei der Interpretation eines bestimmten Planes berücksichtigt werden müssen (vgl. Abbildung 146).
- **Bedeutung der Hierarchie.** Die Höhe und Tiefe von Planstrukturen ist Geschmackssache. Damit gibt es keine absolute oberste oder unterste Ebene von Planstrukturen. Zudem bildet die hierarchische Ordnung in Planstrukturen keine absoluten Höhen ab. Aber auch die relative Höhe eines Planes sagt wenig darüber aus, ob dieser Plan wichtiger oder weniger wichtig für einen Klienten, eine Klientin ist. Die hierarchische Höhe von

Plänen darf nicht mit der Wichtigkeit bzw. Bedeutung der Pläne verwechselt werden.

- **Top-down und Bottom-up.** Pläne können sowohl induktiv aus dem konkreten Verhalten einer Person erschlossen (Bottom-up-Verfahren) als auch deduktiv (Top-down-Verfahren) aus bestimmten theoretischen Vorannahmen gefolgert werden. Theoretische Ansätze, die mit den Kernannahmen der Plananalyse kompatibel erscheinen, können hier wichtige Hypothesen liefern. Interessant erscheinen in diesem Zusammenhang auch Bereiche der Vermeidung, der Sicherung oder des Copings. Also Bereiche, die auffälliger Weise eben nicht beobachtbar sind, da sie anscheinend von der Klientin, dem Klienten vermieden werden.

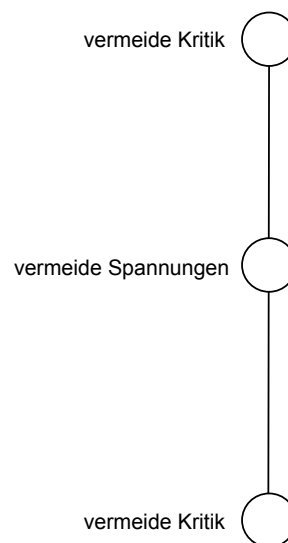


Abbildung 146: Der Kontext bestimmt die Bedeutung von Plänen

Erst durch eine Einordnung in eine Planstruktur gewinnen Pläne ihre tatsächliche Bedeutung. So kann es passieren, dass zwei identisch benannte Pläne Unterschiedliches bezeichnen. So bezieht sich der oberste Plan auf eine grundsätzliche Kritik an der eigenen Person, während der unterste Plan auf die Vermeidung von Kritik an einem konkreten Verhalten bezogen ist (Beispiel und Abbildung nach Caspar 1989, S. 109).

- **Abstraktionen über die Zeit.** Pläne, die im Laufe einer Analyse zum ersten Mal auftreten, müssen keine neuen Pläne sein. Ebenso kann man annehmen, dass momentan nicht gezeigte Pläne weiterhin latent vorhanden bleiben. Dies entspricht der Auffassung, dass Planstrukturen relativ beständig und überdauernd sind (was ihnen jedoch nicht die Möglichkeit für Veränderungen absprechen soll). Planstrukturen sind Abstraktionen über die Zeit.
- **Nonverbales Verhalten.** Besonders bei der Einbeziehung von nonverbaalem Verhalten, welches für interaktionelle Pläne als ganz besonders wichtig angesehen wird, spielt der situative Kontext, in dem das Verhalten beobachtet wird, eine große Rolle. Körpersprachliche Informationen wie Mimik, Gestik und Körperhaltung aber auch Aspekte der äußeren Erscheinung z.B. auch der Kleidung sowie paraverbale Merkmale zu denen der

Sprachfluss, die Intonation und die Stimmlage gehören, sind nur im Kontext der laufenden Kommunikation zu interpretieren. Dabei plädiert Caspar (1989, S. 93f.) dafür, nicht zu akribisch jedes nonverbale Verhalten analysieren zu wollen. Vor allem dieser Ausdruck menschlichen Verhaltens entstehe häufig als Reaktion auf äußere oder innere Reize, ohne direkt instrumentelle Bedeutung zu besitzen.

Insgesamt zielt eine Plananalyse darauf ab, das Material für eine schriftliche Fallkonzeption zur Verfügung zu stellen. Dabei kann der in Tabelle 17 vorgestellte Leitfaden als Checkliste bei der Übersetzung von Planstrukturen in eine Fallkonzeption dienen.

-
1. Die wichtigsten Pläne im Beziehungsverhalten?
– gegenüber dem Therapeuten, der Therapeutin
– gegenüber anderen Personen
Situativer Geltungsbereich dieser Pläne?
Besonders bemerkenswerte Mittel (Unterpläne) dafür?
 2. Das Bild, das der Klient, die Klientin von sich herzustellen / zu vermeiden versucht?
– bei anderen (insbesondere: beim Therapeuten, bei der Therapeutin)
– bei sich selber
 3. Art der Befriedigung wichtiger Bedürfnisse (z.B. nach nahen zwischenmenschlichen Beziehungen, Bestätigung, Sicherheit, Sinngebung)?
 4. Die wichtigsten „wunden Punkte“ der Klientin, des Klienten (Scham, Angst, Schuld...) und die Mittel, diese zu schützen.
 5. Zentrale Konflikte für den Klienten, die Klientin?
 6. Ungleichgewicht zwischen aktiven und defensiven / vermeidenden Plänen?
 7. Aspekte des tatsächlich gelebten Selbst, die dem Klienten, der Klientin nicht oder nur eingeschränkt bewusst zugänglich sind? Gründe dafür?
 8. Auffällige intrapsychische Strategien?
 9. Wichtige Gefühle und Erklärungen dafür?
 10. Die wichtigsten Probleme der Klientin, des Klienten aus ihrer Sicht?
 11. Die wichtigsten Probleme aus der Sicht des Beobachters?
 12. Knappe Erklärungen für Probleme?
 13. Erklärung dafür, dass der Klient, die Klientin ihre Probleme bisher nicht befriedigend lösen konnten und Erklärungen für die Problemsicht der Klientin, des Klienten?
 14. Längerfristige Lebensgestaltung: Auffälligkeiten in Berufs- und Partnerwahl usw. im Bezug zur Planstruktur?
 15. Ideen zur Lösung der Probleme und zur Gestaltung der therapeutischen Beziehung?
-

Tabelle 17:

Leitfaden für die Erstellung von schriftlichen Fallkonzeptionen auf der Grundlage von Planstrukturen

Planstrukturen dienen als Grundlage für die Erstellung einer schriftlichen Fallkonzeption, wobei insbesondere die in der Tabelle angeführten Aspekte zu beachten sind (Leitfaden nach Caspar 1989, S. 73f.).

10.2 Die Sequentielle Plananalyse

Die Sequentielle Plananalyse versteht den Therapieprozess als selbstreferentielles dynamisches System von Planaktivierungen

Der Vorschlag zur Erweiterung der statischen Plananalyse zu einem Instrument der Mikroprozessanalyse geht auf Schiepek (1991) zurück. Grundlegend für die Konzeption der *Sequentiellen Plananalyse* (SPA) ist die Annahme, dass interaktionelle Pläne nicht nur den intentionalen Anteil aktivierter kognitiv-emotionaler Schemata einer Person repräsentieren (Grawe 1986, 1987b, Caspar 1989, 1996), sondern auch als Folge des Beziehungsangebotes des Interaktionspartners zu sehen sind. So wird Verhalten nicht nur als Funktion der Pläne einer Person verstanden, sondern auch als Funktion der Pläne eines Gegenübers. Der Therapieprozess als interaktionelles dyadisches Geschehen, wird unter dieser Perspektive als selbstreferentielles, dynamisches System von Planaktivierungen konzipiert (vgl. Schiepek 1991, Schiepek & Kowalik 1994). Die konkrete Ausarbeitung der Methode der Sequentiellen Plananalyse entsteht bis in die Mitte der 90er Jahre in der Zusammenarbeit von Günter Schiepek, Astrid Schütz, Monika Köhler, Klaus Richter, dem Autor der vorliegenden Arbeit, Petra Gruhl, Cornelia Schardt und Jürgen Kraft. Gegenüber der ursprünglichen Plananalyse ergaben sich verschiedene konzeptionelle und strukturelle Veränderungen sowie eine stärkeren Betonung von Aspekten der Selbstdarstellung und des Impression-Management (vgl. Schütz 1992).

Sequentialität bedeutet die Abfolge von Planaktivierungen einer zeitlich überdauernden Planstruktur

Das prinzipielle Vorgehen bei der Erstellung einer Sequentiellen Plananalyse ist schnell beschrieben: In einem ersten Analyseschritt wird die *vollständige* Planstruktur von Klient bzw. Klientin und Therapeut bzw. Therapeutin erschlossen. Dabei orientiert sich das Vorgehen im Wesentlichen an den von Caspar (1989) beschriebenen Prinzipien. Die erschlossenen Strukturen bilden dann quasi eine „Matrix des Möglichen“, also dessen was sich in der Therapie als Gesamtheit an interaktionellen Plänen zeigt. Ihr sequentielles Moment erhält die Sequentielle Plananalyse dann durch die Erfassung unterschiedlicher Aktivierungen verschiedener Pläne im Laufe der Zeit, wobei Sequenzen von Momentaufnahmen vertikaler, hierarchischer Strukturen in ihrer Abfolge erzeugt werden.

Die Daten einer SPA können damit sowohl einer horizontalen, zeitreihenanalytischen als auch einer vertikalen, strukturellen Analyse unterworfen werden. Dabei ist es auch auf der vertikalen Ebene möglich zeitliche Entwicklungen zu beschreiben. Da beide Ebenen auf den gleichen Daten beruhen, also nur aus unterschiedlichen Perspektiven auf den gleichen Gegenstand, nämlich auf die therapeutische Beziehungsgestaltung blicken, lassen sich die Erkenntnisse wechselseitig aufeinander beziehen.

Eine SPA ist in vier Ebenen unterteilbar

Die wesentlichen Veränderungen der sequentiellen gegenüber der herkömmlichen Plananalyse betreffen vor allem die Struktur der Planhierarchien. Während es in der Plananalyse nach Caspar (1989, 1996) prinzipiell keine Beschränkung in der hierarchischen Differenzierung der Planstrukturen gibt, wurde für die Sequentielle Plananalyse aus ökonomischen Gründen und Gründen der Übersichtlichkeit eine Einschränkung auf insgesamt vier Ebenen vorgenommen:

Die unterste Ebene bildet in beiden Verfahren das konkrete Verhalten in Form so genannter Operatoren ab. Auf der Basis dieses Verhaltens ruht die Plananalyse.

Die Pläne werden in hierarchischer Folge auf zwei Ebenen beschränkt. Die Sequentielle Plananalyse kennt daher nur so genannte *Unterpläne*, die noch relativ verhaltensnah sind und eine Zusammenfassung dieser Unterpläne zu übergreifenden *Oberplänen*, die einen umfassenderen Geltungsbereich besitzen. Auf einer vierten Ebene werden die Oberpläne zu so genannten *Selbstdarstellungsdimensionen* gebündelt. Die Sequentielle Plananalyse erreicht durch diese Strukturvorgaben eine stark konvergente Form. In eine ähnliche Richtung gehen zudem Vorgaben, die zum einen Mehrfachzuordnungen und zum anderen Ebenen überspringende Zuordnungen verbieten. In der Sequentiellen Plananalyse wird jeder Operator nur einem Unterplan, jeder Unterplan nur einem Oberplan und jeder Oberplan nur einer Selbstdarstellungsdimension zugeordnet. Dabei kann keine Zuordnung eine Ebene überspringen (vgl. Abbildung 147).

Die hierarchische Struktur ist in einer SPA weniger bedeutsam als in der klassischen Plananalyse

Obwohl diese Vorgaben sicher stellen, dass bei mehreren Hundert Operatoren und Zuordnungen, die im Laufe einer Analyse schnell anfallen können, eine gewisse Ordnung und Übersichtlichkeit erhalten bleibt, ergeben sich dadurch doch auch erhebliche inhaltliche Unterschiede im Vergleich zur ursprünglichen Plananalyse. Insgesamt tritt die hierarchische Struktur in der SPA zurück, wird weniger bedeutsam. Hierarchie meint in der Sequentiellen Plananalyse Ebenen der Datenaggregation die durchaus auch als absolute hierarchische Positionen aufgefasst werden. In diesem Sinne beschränkt sich dann eine Sequenzanalyse in der Regeln auf die Daten einer hierarchischen Ebene. Es geht dann z.B. um Veränderungen in den Aktivierungsmustern von Oberplänen oder um Prozesse auf der Ebene der Selbstdarstellungsdimensionen. Bei diesen Analysen werden die Ebenen selbst nicht mehr zueinander in eine Beziehung gesetzt.

Die SPA beruht auf einer zeitlichen Mehrfachkodierung

Die genannten Einschränkungen bedeuten jedoch nicht, dass für einen gegebenen Zeitpunkt auch immer nur ein Verhalten kodiert und erfasst wird. Werden zur Beobachtung jeweils nur sehr kurze Zeitfenster gewählt, kann zwar vermutet werden, dass nur wenige Operatoren gleichzeitig auftreten, so dass es eine sinnvolle Einschränkung gewesen wäre, allein die jeweils dominierenden Operatoren zu kodieren. Zum anderen wird jedoch von Caspar (1989, 1996) die Mehrfachbestimmtheit menschlichen Handelns ausdrücklich betont; und tatsächlich scheint es evident, menschliches Handeln in einem komplexen Kontext des Nebeneinander vieler – auch widersprüchlicher – Verhaltensweisen eingebettet zu sehen. Daher wurde letztlich der aufwändigere Weg der Datenerhebung gewählt und eine Mehrfachkodierungen zur Regel erhoben.

Eine SPA liefert neben On-off-Pattern auch metrische Zeitreihendaten

Die Daten die durch die Anwendung einer Sequentiellen Plananalyse gewonnen werden liegen in zwei grundsätzlich verschiedenen Niveaus vor. Zum einen werden Aktivierungsmuster von Plänen auf den verschiedenen Ebenen generiert, zum anderen ergeben sich aber auch metrische Zeitreihendaten. Während also die Aktivierungsmuster als On-off-Pattern allein dichotom erfasst werden, ergeben sich die metrischen Daten aus der Summe der zu einem Zeitpunkt aktivierten Pläne der jeweils darunter liegenden Ebenen. Zudem werden die Operatoren mit einer Gewichtung versehen und entsprechend einer fünfstufigen Einschätzung ihrer Bedeutung für den ihnen zugeordneten Unterplan summiert. Auf der obersten Ebene der Selbstdarstellungsdimensionen ergeben sich damit relativ feinstufig aufgelöste metrische Zeitreihen.

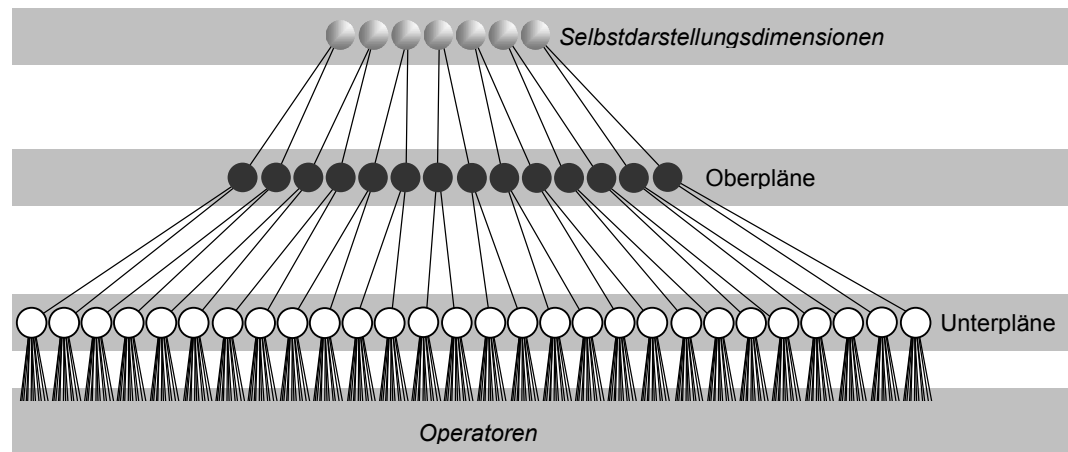


Abbildung 147: Schematische Darstellung der Strukturen Sequentieller Plananalysen

In der Regel besitzen Sequentielle Plananalysen eine breite Basis an Operatoren, auf denen zwei Planebenen (Unter- und Oberpläne) aufsetzen. Die oberste Ebene wird von so genannten Selbstdarstellungsdimensionen gebildet. Die Beziehungen zwischen den Ebenen beruhen von unten nach oben auf eindeutigen Zuordnungen, die keine Ebene überspringen.

Neben diesen strukturellen methodischen Aspekten der Sequentiellen Plananalyse müssen für die Anwendung des Verfahrens noch weitere Vorentscheidungen und Weichenstellungen getroffen werden, die sich vornehmlich auf den sequentiellen Charakter der Analyse beziehen und damit wenig Bezug zur ursprünglichen, statischen Plananalyse aufweisen. In diesem Bereich fallen grundsätzliche Entscheidungen über die Erfassung zeitlicher Veränderungen im Rahmen von Planstrukturen und die Entscheidung über eine Event- oder Time-Sampling gesteuerte zeitliche Erhebungsmethodik.

Eine Planstruktur verändert sich über den Beobachtungszeitraum hinweg nicht

Ihre Zeitlichkeit gewinnt die Sequentielle Plananalyse aus Abfolgen von Aktivierungsmustern. Dazu wird zunächst eine zeitlich global geltende und unveränderliche Planstruktur erstellt, bevor dann für verschiedene Messzeitpunkte registriert wird welche Pläne jeweils aktiviert sind. Diese einmal festgelegte Planstruktur besitzt dann über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg Gültigkeit. Diese strukturelle Stabilität bei gleichzeitiger Erfassung zeitlicher Veränderungen entspricht durchaus den Grundgedanken der Plananalyse, die ebenfalls als zeitliche Abstraktion verstanden wird. Auch wenn bestimmte Pläne zu einem gegebenen Zeitpunkt scheinbar nicht aktiviert sind, kann davon ausgegangen werden, dass sie dennoch in der Planstruktur eines Menschen verankert bleiben, wenn er sie einmal besessen hat. Dass die Veränderung in einer Dynamik eben nicht an eine strukturelle Veränderung gebunden sein muss, zeigt sich aus einer ganz anderen Perspektive auch im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme (vgl. z.B. Abbildung 38, S. 111).

Im Unterschied zu dem beschriebenen Vorgehen wäre es auch denkbar gewesen, zeitliche Veränderungen mit Hilfe verschiedener Planstrukturen als qualitativen Strukturwandel zu beschreiben, etwa indem für bestimmte Phasen des therapeutischen Prozesses jeweils neue Plananalysen erstellt würden. Da aber die Identifikation einer kompletten Planstruktur an entsprechendes Fallmaterial gebunden ist, ist ein solches Vorgehen in seiner zeitlichen Auflösung begrenzt. Eventuell wäre

es dann zwar möglich für jede Therapiesitzung eine eigene Planstruktur zu erzeugen, für eine Identifikation komplexer dynamischer Strukturen reicht dieses Auflösungs-niveau jedoch nicht aus. Soll also eine möglichst hohe zeitliche Auflösung erzielt werden, empfiehlt sich daher das oben beschriebene Verfahren, welches Abfolgen von Aktivierungsmustern einer ansonsten statischen Planstruktur erfasst.

Die SPA nutzt die Methode des Time-Samplings

Die Aktivierungsmuster werden in der Sequentiellen Plananalyse alle zehn Sekunden, also jeweils nach Ablauf eines festgelegten Intervalls erfasst. Diesem gleichabständigen Sampling, welches als Time-Sampling bezeichnet wird, wurde gegenüber dem Verfahren des Event-Sampling, also der ereignisgesteuerten Erhebung der Vorzug gegeben. Letztere hätte nämlich zur Voraussetzung, dass relevante Messzeitpunkte bereits vor der Analyse benannt werden können. Auch die zeitreihenanalytische Auswertung von Event-Sampling-Daten bereitet einige Probleme. Auf der anderen Seite ist ein gelungenes Time-Sampling daran gebunden, dass wichtige Ereignisse nicht durch das Netz schlüpfen, also entsprechend feine Maschen geknüpft werden. Dadurch wächst dann allerdings der Aufwand. Die Festlegung der Samplingrate mit zehn Sekunden stellt einen Kompromiss zwischen Aufwand und sinnvoller Auflösung dar. Wenn bedacht wird, dass interaktionelle Ereignisse, vor allem im non-verbalen Bereich, im Rahmen von Bruchteilen von Sekunden ablaufen (vgl. Grammer 1993), sind Zehn-Sekunden-Takte bereits relativ grobe Vorgaben. Andererseits fallen durch dieses Auflösungs-niveau schon 360 Messzeitpunkte im Verlauf nur einer einzigen Stunde an. Die Gefahr, dass dabei über weite Zeiträume hinweg und mit viel Aufwand das gleiche Verhalten kodiert werden muss nimmt mit einer Verkürzung der Sampling-Frequenz stetig zu.

10.2.1 Operationalisierung: Die Planstruktur entsteht

In der praktischen Umsetzung stützt sich die Sequentielle Plananalyse vornehmlich auf Videoaufzeichnungen therapeutischer Prozesse. Analysiert werden dabei immer beide Interaktionspartner bzw. alle anwesenden und an der Interaktion beteiligten Personen (für die Analyse einer Mehrpersonenkonstellation siehe Schiepek et al. 1995a). Mit Hilfe der Videoaufzeichnungen wird dann zunächst ein umfassendes Transkript der Therapie angefertigt, welches auch non- und paraverbale Informationen enthält. Dieses Vorgehen ist zunächst nicht hypothesengeleitet und dient dazu die Datenbasis zu erstellen, aus der später die Operatoren gewonnen werden. Eine Selektion relevanten Verhaltens erfolgt erst nach Fertigstellung des Transkriptes und orientiert sich vor allem an der interaktionellen und instrumentellen Bedeutung des Geschehens. Ob und wie weit ein Verhalten als relevant für die therapeutische Begegnung angesehen werden kann und damit als Operator kodiert werden sollte, wird unter anderem vom Kontext, in dem es stattfindet, bestimmt. So kann es durchaus möglich sein, dass eine zunächst unbedeutend scheinende Bemerkung in der darauf folgenden Therapiesitzung eine starke Relevanz für die Beziehungsgestaltung gewinnt.

Die Grundlage einer SPA besteht in einer umfassenden Operatorenliste

Als Operatoren werden zudem nur solche Verhaltensweisen gewertet, die auf einen Plan hinzuweisen scheinen; im Gegensatz zu reaktivem Verhalten. Auch zeitliche Konstanten, gehen nicht in die Operatorenliste ein (z.B. Klientin trägt ein rotes Kleid). Operatoren, die immer zusammen auftreten und den gleichen Plan repräsentieren, können als ein Operator bezeichnet werden. Sie stellen also ein Konglomerat mehrerer hochgradig ähnlicher und den gleichen Plan repräsentierender Verhaltensweisen dar. So kann die prinzipiell unendlich lange Liste relevanter Verhaltensweisen auf ein handhabbares Maß reduziert werden. Allerdings ist, um unübersichtliche Mehrfachzuordnungen ein und desselben Operators zu verschiedenen Plänen zu vermeiden, nicht selten auch eine Ausdifferenzierung der Operatoren nötig. Diese erlaubt es, jeden Operator als instrumentell nur für einen einzigen Plan zu betrachten. So wird dann z.B. ein Kopfschütteln differenziert in eine Verneinung von Aussagen oder in eine Abwehr von Konfrontationen oder in eine Missmutsäußerung etc. Je nach Kontext wird also das gleiche Verhalten (Kopfschütteln) als ein anderer Operator registriert.

Top-down- und Bottom-up-Schleifen ergänzen sich gegenseitig bei der Erschließung von Plänen

Bereits bei der Erstellung der Operatorenliste spielt es eine wichtige Rolle ob ein Verhalten auf einen Plan schließen lässt und damit als instrumentell für ein bestimmtes Ziel angesehen werden kann oder ob es treffender als Reaktion auf äußere Einflüsse aufgefasst werden sollte. Das heißt, dass die Filterung der Operatoren aus dem Transkript an die Formulierung von Planhypothesen gebunden ist. Dabei folgt die Erschließung von Plänen den auch bei Caspar (1989) beschriebenen Deduktions-Induktions-Zyklen, bei denen sich Bottom-up erschlossene Pläne auch in weiterer zeitlicher Folge im Geschehen niederschlagen sollten, also z.B. Top-down-Vermutungen über das Verhalten der Person in ähnlichen Situationen ange stellt werden können.

Die Selbstdarstellungsdimensionen besitzen eine Theoretische Verankerung in der Selbstdarstellungsforschung

Aus den Operatoren und den zu ihrer Erschließung nötigen vorläufigen Planhypothesen wird dann eine vollständige Planhierarchie gebildet, die immer wieder am Fall (d.h. am Videoband) überprüft und modifiziert werden muss, bis sie widerspruchsfrei das Verhalten abzubilden vermag. Für jeden Unterplan wird dann eine verbale Beschreibung formuliert und die Zuordnung zu Oberplänen vorgenommen. Die Selbstdarstellungsdimensionen werden vor allem nach theoretischen Gesichtspunkten vor dem Hintergrund der Selbstdarstellungsforschung formuliert (vgl. z.B. Tedeschi, Lindsold & Rosenfeld 1985, Mummendey 1987, Schütz 1992, Laux & Weber 1993). Ihnen werden dann die Oberpläne zugeordnet. Aber auch bei den Selbstdarstellungsdimensionen handelt es sich um nichts anderes als um Pläne, allerdings orientiert sich ihr instrumenteller Charakter vornehmlich an Aspekten der Selbst-Darstellung, -Behauptung und -Rechtfertigung.

Mit der Festlegung der Operatoren, Unterpläne, Oberpläne, Selbstdarstellungsdimensionen und deren gegenseitiger Zuordnung ist das Messinstrument vollständig definiert. Die Basis einer SPA wird also aus dem konkreten beobachtbaren Verhalten der Interaktionspartner zusammengestellt. Auf diesen leicht nachprüf baren Verhaltensbeobachtungen ruht dann – statisch festgelegt und durch seine Zuordnungsregeln vollständig und überdauernd definiert – die Planstruktur. Diese Zuordnungsregeln und die mit ihnen festgelegte inhaltliche Struktur unterliegen damit Beurteilungskriterien der Validität und der Plausibilität, sowie der Relevanz für das Forschungsthema. Die Reliabilität einer Sequentiellen Plananalyse beruht hingegen einzig auf der Güte der Beobachtungsdaten (vgl. S. 526ff.).

Nach endgültiger Festlegung der Planstruktur werden die Operatoren, Pläne und Selbstdarstellungsdimensionen mit Nummerncodes versehen. Die Codes der Operatoren werden dann für jedes Zehn-Sekundenintervall entsprechend ihres Vorkommens aufgezeichnet. Dabei ist es am einfachsten, die schon vorliegenden Transkripte zu verwenden, aus denen sich die Operatorenliste im Einzelnen ja auch ergab. Zusätzlich kann natürlich immer wieder auf das Video zurückgegriffen werden. Damit ist das Verfahren der Operationalisierung und Datenerhebung bereits abgeschlossen.

10.2.2 Datenaufbereitung: Generierung von Zeitreihen

Die Datenaufbereitung kann insbesondere bei großen Sequentiellen Plananalysen nicht mehr von Hand durchgeführt werden. Bereits 1992 wurden daher erste Computerprogramme zur Datenaufbereitung vom Autor der vorliegenden Arbeit entwickelt. Grundsätzlich sind für die Aufbereitung fünf Datensegmente notwendig:

1. Mit einem Zeitcode versehenen Protokolle der Operatorenabfolgen,
2. Zuordnungsliste der Operatoren zu Unterplänen,
3. Zuordnungsliste der Unterplänen zu Oberplänen,
4. Zuordnungsliste der Oberplänen zu Selbstdarstellungskategorien,
5. für eine feinaufgelöste Skalierungsbreite: ein fünfstufiges Rating über die Stärke, mit der jeder Operator den ihm zugeordneten Plan repräsentiert.

Die ersten vier Datensegmente ergeben sich aus dem bereits beschriebenen Vorgehen bei der Operationalisierung und Datenerhebung. Für Punkt 5 muss zusätzlich ein Rating erstellt werden. Für alle fünf Datensegmente liegen Kriterien zum Layout und Aufbau von Daten-Files vor, von denen insgesamt drei genügen, um eine vollständige Beschreibung der Planstruktur in ihrer sequentiellen Abfolge zu ermöglichen:

- **Daten-File I.** Das erste File repräsentiert das unter Punkt 1 beschriebene Protokolle der Operatorenabfolgen. Sie sollte für eine weitere Verarbeitung in der in Tabelle 18 dargestellten Form vorliegen.
- **Daten-File II.** Die 2. Datendatei enthält sortiert nach Operatoren deren Rating und deren Zuordnung zu Unterplänen (vgl. Tabelle 19).
- **Daten-File III.** Das Daten-File III ist insgesamt am kürzesten und enthält die Zuordnung von Unterplänen zu Oberplänen (vgl. Tabelle 20).

Die Struktur der drei Files entspricht im Wesentlichen dem Aufbau einer relationalen Datenbank. Die einzelnen Datensätze sind dabei jeweils durch eindeutige Code-Nummern miteinander verknüpft. Dazu werden zu jedem Zeitpunkt alle Operatoren eingelesen und ihren Unterplänen zugeordnet. Diese Zuordnung geschieht bildlich gesprochen dadurch, dass für jeden Unterplan ein Behälter bereitsteht, der für jeden Zeitpunkt neu mit den jeweils auftretenden Operatoren gefüllt wird. Dabei wird dann auch das Rating jedes vorkommenden Operators in den

entsprechenden Unterplanbehälter gegeben. Die Ausprägung eines Unterplanes ergibt sich aus der Summe der Ratings, die sich während eines Zeitpunktes im Unterplanbehälter befinden. Danach werden alle Inhalte aller Unterplanbehälter in ihre entsprechenden Oberplanbehälter „umgefüllt“. Auch hier bestimmt die Summe der Inhalte den Ausprägungsgrad des Oberplanes. Diese Summen werden jeweils in Ergebnisdateien abgespeichert, worauf die Unter- und Oberplanbehälter geleert werden und der Vorgang für den nächsten Zeitpunkt von neuem beginnen kann.

Zeitpunkt	1. Operator	2. Operator	3. Operator	4. Operator	5. Operator	6. Operator	7. Operator	etc.
...
00005,	217,	217,	100,	002,	010,	014,		
00006,	217,	512,	700,	012,	104,	123,	022,	183,
...

Tabelle 18: Daten-File I – Protokoll der Operatorenabfolgen

Die Tabelle zeigt die Anordnung der Daten im Daten-File I. Die Einträge werden durch Kommata voneinander getrennt und sind auf ihre jeweilige maximale Zifferanzahl mit Nullen aufgefüllt. Die Länge einer Zeile ist prinzipiell unbegrenzt und variabel, so dass unterschiedliche Anzahlen von Operatoren pro Zeitpunkt kodiert werden können. Diese strenge Ordnung der Ziffern, sowie die Trennung durch ein Komma wird nicht unbedingt vom Programm verlangt, erleichtert aber die Übersichtlichkeit der Datei. Jede Zeile wird durch ein Return (*hard carriage return*, CR/LF, ASCII-Code 13+10) abgeschlossen.

Operator	Rating	Unterplan
...
023,	5,	21,
024,	2,	18,
025,	3,	18,
...

Tabelle 19: Daten-File II – Operatorenliste

Im Daten-File II werden Punkt 2 und Punkt 5 (vgl. S. 514) vereint. Durch Kommata getrennt werden – sortiert nach der Operatorenliste – zunächst das Rating und dann die Unterplanzugehörigkeit verzeichnet. Jede Zeile wird durch ein Return abgeschlossen.

Unterplan	Oberplan
01,	01
02,	01
03,	02
04,	02
...	...

Tabelle 20: Daten-File III – Unterplan zu Oberplan

Das dritte und letzte Daten-File enthält durch Kommata getrennt pro Zeile jeweils zwei Eintragungen: Zunächst den Unterplan und dann, ihm zugeordnet, den Oberplan. Jede Zeile wird durch ein Return abgeschlossen.

In einem Computerprogramm lässt sich dieses Verfahren folgendermaßen realisieren: Die Behälter heißen *Arrays* (Felder) und werden über einen Zahlencode angesprochen (adressiert). Arrays können Daten zugewiesen bekommen und können diese Zuweisung speichern sowie bei Bedarf wiedergeben. Sie ähneln damit mathematischen Variablen, die mit einem Index versehen sind.

Zunächst werden alle statischen Daten (Daten-File II und III) in Arrays geladen. Das erste Array wird OPERATOR genannt. Es wird durch eine Zahl angesprochen, die den Code der Operatoren entspricht. Man schreibt dann:

OPERATOR[Operatorennummer].

Als Werte sollen bei diesem Array zwei Inhalte gespeichert werden. Man spricht deswegen auch von einem 2-dimensionalen Array. Zum einen sollen in dem Array die Nummern der zugeordneten Unterpläne und zum anderen das Rating enthalten sein. Die zweite Dimension des Arrays gibt man durch eine weitere Adressierungsmöglichkeit an:

OPERATOR[Operatorennummer][i],
mit i=0 für Ratings und i=1 für Unterplannummern.

So gibt z.B. das folgende Arrayelement das Rating des Operator 025 wieder

OPERATOR[025][0] = 3

und für den gleichen Operator den Unterplan mittels:

OPERATOR[025][1] = 05.

Oder allgemein:

OPERATOR[Operatorennummer][0] = Rating.
OPERATOR[Operatorennummer][1] = Unterplannummer.

Das Daten-File II wird vollständig in dieses Array eingelesen. Ein weiteres Array mit dem Namen UNTERPLAN enthält alle Daten des Daten-File III und ist damit eindimensional strukturiert. Es wird durch den Code des Unterplanes adressiert und gibt dafür die Oberplannummer zurück:

UNTERPLAN[Unterplannummer] = Oberplannummer.

Definiert sind zusätzlich noch zwei Ergebnisarrays:

UNTERPLANBEHÄLTER[Unterplannummer] = Summe der Ratings, die zu dem Unterplan gehören.

OBERPLANBEHÄLTER[Oberplannummer] = Summe der Unterplanbehälter, die zu dem Oberplan gehören.

Die Zusammenfassung von Oberplänen zu Selbstdarstellungsdimensionen ist im bisher beschriebenen Verfahren noch nicht berücksichtigt. Nach inhaltlichen und

theoretischen Gesichtspunkten können die Oberplanzeitreihen jedoch durch einfache arithmetische Rechenvorschriften miteinander verknüpft werden. Dies ist leicht auch mit herkömmlicher Statistiksoftware oder einer Tabellenkalkulationen möglich.

Die folgende Abbildung 148 gibt den Algorithmus der Datenaufbereitung noch einmal zusammenfassend wieder. Mit Hilfe des genannten Verfahrens können für jeden Unter- und Oberplan metrisch skalierte Zeitreihen generiert werden. Aber auch auf Nominalebene ergeben sich interessante Datensätze. Ist ein Plan zu einem Zeitpunkt aktiviert, so enthält seine Zeitreihe an dieser Stelle einen Zahlenwert größer Null, während er bei fehlender Aktivierung Null ist. Auf diese Weise lassen sich die Zeitreihendaten relativ einfach in On-off-Pattern umwandeln, die sich graphisch gut veranschaulichen lassen. Schiepek hat dafür den Begriff der *Partiturdarstellung* geprägt. Durch ein eigens dafür entwickeltes Grafikprogramm können alle Oberpläne untereinander in Zeilen angeordnet werden. Dabei werden senkrecht durch Minutentaktstriche getrennt die Abfolgen der On-off-Pattern in einer Abfolge von schwarzen Rechtecken dargestellt. Die Parallele zur Orchesterpartitur drängt sich tatsächlich auf. Sie wurde inzwischen durch eine akustische Umsetzung von Planpartituren in „Musik“ weiter entwickelt (vgl. Strunk 1999a, 1999b).

Allein die kombinatorischen Möglichkeiten sind in Sequentiellen Plananalysen sehr groß

Dass es sich bei der Metapher der Musik nicht nur um einen netten Vergleich handelt wird ersichtlich, wenn die Methode der Sequentiellen Plananalyse mit herkömmlichen Forschungsmethoden im Bereich der Psychotherapieforschung verglichen wird. Während man im Rahmen einer klassischen Wirkfaktorenforschung bemüht ist, einem Wirkfaktor eine bestimmte, ihm entsprechende Wirkung zuzuordnen – was nur dann gelingt, wenn möglichst viele Kontextfaktoren konstant gehalten werden – geht der Ansatz der Sequentiellen Plananalyse davon aus, dass mehr als nur zwei Variablen (Wirkfaktor und Wirkung) nötig sind, um einen komplexen therapeutischen Prozess zu abbilden. Eine Plananalyse beschreibt dazu einen Möglichkeitsraum, der durch die Anzahl möglicher Planaktivierungsmuster gegeben ist. Der Zustand des therapeutischen Systems ist dann definiert durch Aktivierungsmuster von Plänen. Bei den noch zu beschreibenden Therapien fanden sich jeweils 10 Oberpläne für den Therapeuten und 7 für die Klientin. Zusammen können diese 17 Oberpläne in 131.072 verschiedenen Kombinationen aktiviert sein. Jede mögliche Kombination muss dabei als eigene Qualität aufgefasst werden. Es macht im Sinne der von Caspar (1989) beschriebenen Mehrfachbestimmtheit menschlichen Handelns einen großen Unterschied, ob ein Therapeut, eine Therapeutin z.B. Konfrontationen mit beruhigender Gestik abschwächt, sich als Expertin bzw. Experte auf dem Gebiet hervortut oder die Konfrontation sehr einfühlsam vorbringt. So kann ein Klient, eine Klientin, je nach angesprochenem Selbstkonzept verständig aber abwehrend, latent aggressiv kombiniert mit ein wenig Betroffenheit oder ganz anders reagieren. Niemals jedoch kann die Etikettierung durch nur ein Label als Beschreibung genügen. Es ist die spezielle Mischung von Plänen, die die Situation kennzeichnet. Natürlich darf hier nicht übersehen werden, dass auch eine Planstruktur nur einen begrenzten Möglichkeitsraum abzubilden vermag. Insgesamt fällt dieser jedoch weitaus anpassungsfähiger, flexibler und offener aus, als im Rahmen eines einfachen linealen Experimentalparadigmas.

Im Rahmen der Sequentiellen Plananalyse wird die Perspektive noch einmal um die zeitliche Dimension erweitert. Unter Nutzung des Kontextes des bereits Vergangenen und des antizipierten Zukünftigen ergibt sich ein Bild von Therapie wie es zum Beispiel auch von Bastine, Fiedler und Kommer (1989) vertreten wird:

Therapeutische Veränderungen finden ... statt unter dem Einfluss von miteinander in Wechselbeziehung stehenden Bedingungen; ein jeweils erreichter Entwicklungsmoment bildet jeweils neue Voraussetzungen für nachfolgende Veränderungsschritte. Durch den jeweils neuen Kontext erhalten die Sequenzen des therapeutischen Prozesses unterschiedliche Bedeutung. (Bastine, Fiedler & Kommer 1989, S. 7)

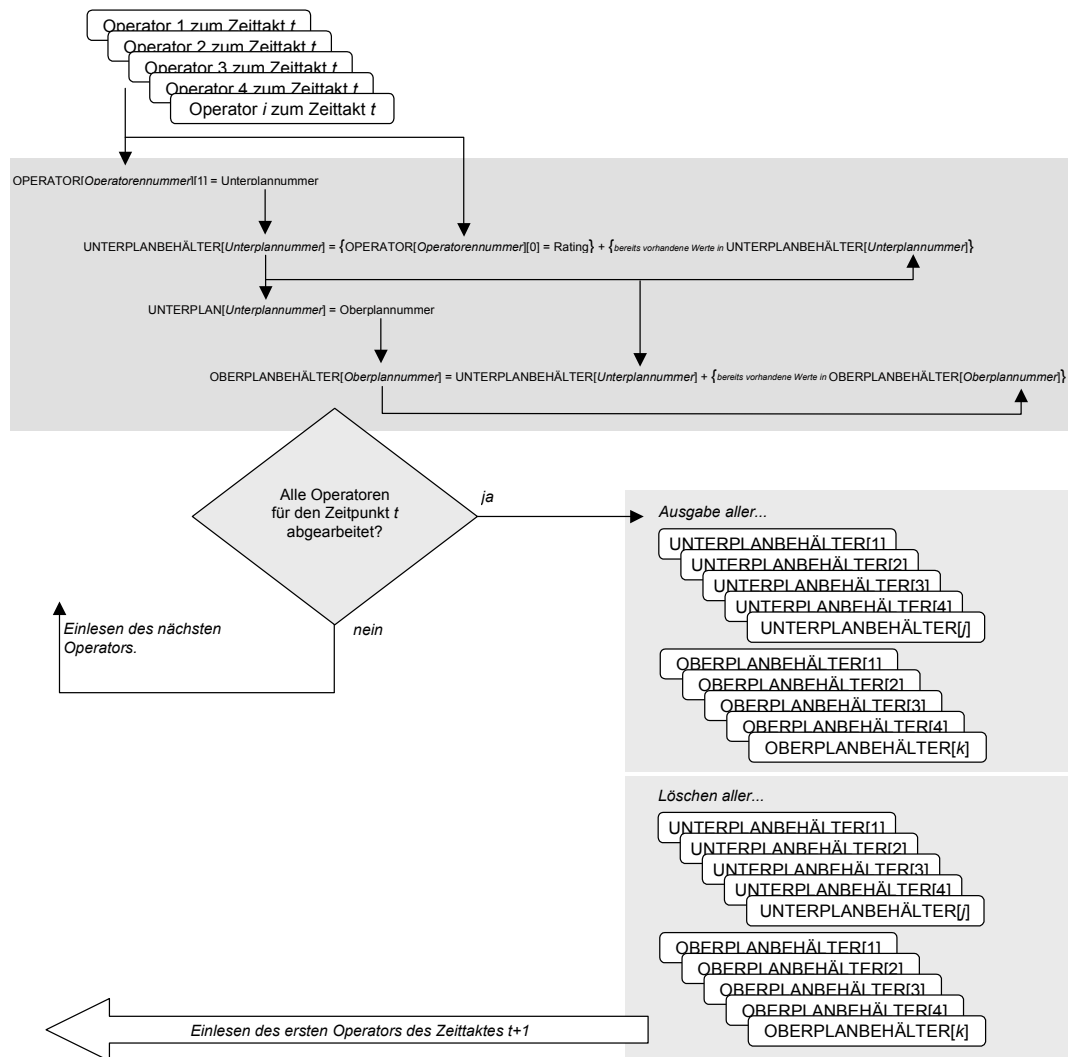


Abbildung 148: Algorithmus zur Datenaufbereitung einer SPA

Die Abbildung zeigt die verschachtelte Struktur, aus der sich die Endergebnisse, nämlich Zeitreihendaten, zu jedem Oberplan und jedem Zeittakt ergeben. Die Inhalte der Behälter werden in Dateien abgespeichert, die nach Durchlaufen aller Zeitpunkte die vollständigen Zeitreihen enthalten.

10.2.3 Darstellung einer SPA: Planpartituren

Komplexe Planhierarchien, wie sie in der klassischen Plananalyse üblich sind (vgl. z.B. Abbildung 143, S. 502 ausführlichere Darstellungen und Beispiele finden sich in Caspar 1989, 1996), können immer nur in ihrer Gesamtheit verstanden und interpretiert werden. Auch wenn eine analysierte Person in einer bestimmten Situation nur einen ihrer unzähligen Pläne bedient, so hängen doch an diesem einem Plan, durch vielfältige konvergente und divergente Verbindungen, eine große Zahl an „Ästen“ und Verzweigungen zu anderen Plänen. Betrachtet man vor diesem Hintergrund eine zeitliche Abfolge von aktivierten Operatoren, so wird damit jeweils eine komplex verschachtelte Struktur von Ästen und Verzweigungen aktiviert. Die Information aus einer solchen Betrachtung ließe sich dann über die qualitative Interpretation der Topologie aktiviert Teiläste und Strukturen gewinnen.

Die einfache topologische Struktur einer SPA führt zu hierarchisch homogenen Analyseebenen

Im Rahmen einer Sequentiellen Plananalysen wird die Topologie bereits durch das Verfahren vorgegeben und stark vereinfacht. Jede Aktivierung eines Operators bewirkt zwangsläufig die Aktivierung genau eines Unterplanes, der zwangsläufig genau einen Oberplan aktiviert, und so fort. Durch die vorgegebene Struktur wird es möglich, die Topologie gänzlich zu vernachlässigen. So kann in Sequentiellen Plananalysen die zeitlich Abfolge von Aktivierungsmustern innerhalb einer einzigen Ebene als homogene Analyseeinheit von den anderen Ebenen getrennt betrachtet werden. Zudem ist auf Grund der einfachen Topologie der Planstruktur insgesamt das Herausgreifen einer Ebene nur mit einem geringen Verlust an Informationen verbunden. Die klare Trennung der vier Ebenen führt zu jeweils hierarchisch homogenen Plateaus. Diesem Prinzip der „trennbaren Planebenen“ kommt im Rahmen der sog. Partiturdarstellung eine besondere Bedeutung zu, da zeitliche Aktivierungsmuster für jede Ebene gesondert analysiert werden können.

Die strukturelle Komplexität wird im Rahmen einer SPA in der Form von On-off-Pattern abgebildet und berücksichtigt

Wie bereits deutlich wurde, handelt es sich aber auch bei einer Sequentiellen Plananalyse um ein Verfahren, mit dem die Eingebundenheit menschlichen Verhaltens in den Rahmen multipler Kontextinformationen angestrebt wird. Dies gelingt durch die Berücksichtigung der Mehrfachbestimmtheit menschlichen Verhaltens, wie es sich in der gleichzeitigen Aktivierung unterschiedlicher Pläne niederschlägt und in der Erfassung der zeitlichen Abfolge solcher komplexer Aktivierungsmuster, die je nach Kontext des Vorangegangenen und im Lichte eventuell antizipierter zukünftiger Entwicklungen ebenfalls Kontextinformationen tragen. Die On-off-Pattern von Sequentiellen Plananalysen lassen sich daher durch die so genannte Partiturdarstellung sowohl als synchrone als auch als diachrone zeitliche Strukturen menschlichen Verhaltens sichtbar machen (vgl. Abbildung 150). Dazu werden durch ein spezielles Computerprogramm die Oberpläne einer SPA in Zeilen angeordnet. Senkrecht Minutentaktstriche erleichtern die Orientierung in der Abfolge der On-off-Pattern, wobei Aktivierungen durch einer Abfolge von schwarzen Rechtecken dargestellt werden.

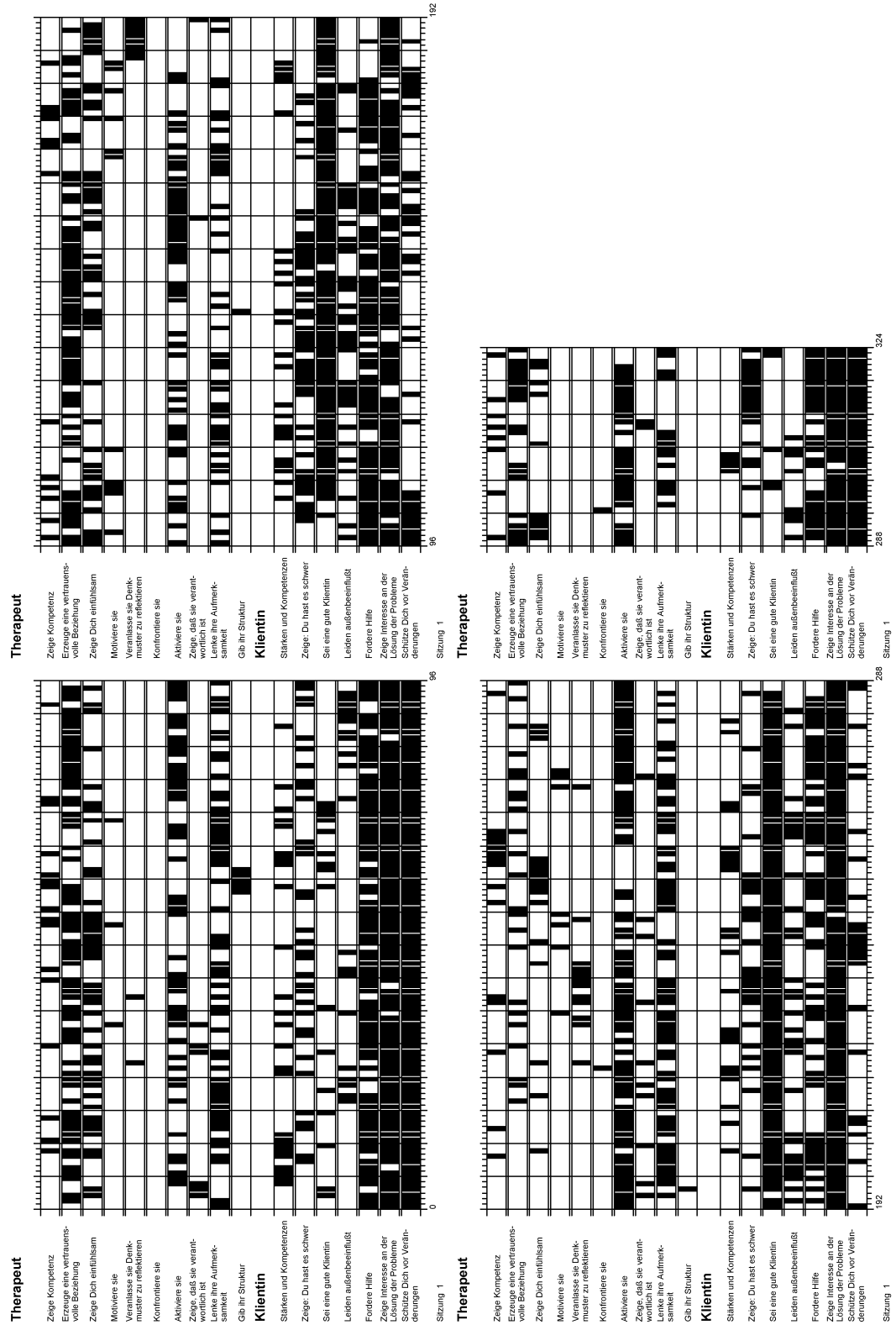


Abbildung 149: Partiturdarstellung der ersten Sitzung der Therapie I

Die Abbildung ist ein Beispiel für eine Partiturdarstellung der Abfolgemuster von Oberplänen (jeweils oben Therapeut und unten Klientin). Die Bezeichnungen der Oberpläne wurden gekürzt). Dargestellt ist die gesamte erste Therapiesitzung der Therapie I. Für die 13 knapp einstündigen Sitzungen der Therapie I ergibt sich eine Partitur von insgesamt 3.922 Sequenzen bzw. Messpunkten.

Planpartituren sind Ausdruck einer systemischen Perspektive

Die Methode der Partiturdarstellung sollte dabei nicht missverstanden werden als eine allein aus ästhetischen Gesichtspunkten entwickelte Spielerei. Planpartituren sind vielmehr Ausdruck einer „systemischen Perspektive“ wie sie im Rahmen Sequentieller Plananalysen eingenommen wird. So, wie ein einzelnes Instrument noch kein Symphonieorchester bildet, so beschreibt ein Plan noch keine Interaktion. Der Vergleich von Planpartituren mit Orchesterpartituren versucht dem Rechnung zu tragen, indem er darauf verweist, dass erst das Zusammenspiel der verschiedenen Pläne, der verschiedenen Instrumente, ein Verständnis des therapeutischen Systems ermöglicht.

Muster in Planpartituren sind eher hör- denn sehbar

Einschränkend muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass Planpartituren dem bloßen Auge nur wenig Informationen über das interaktionelle Geschehen preisgeben. Visuell sind nur selten Muster identifizierbar. Auch verleitet ein naheliegendes zeilenweises Vorgehen beim „Lesen“ der Partituren dazu, den synchronen Kontext ebenfalls aktivierter Pläne zu vernachlässigen. Tatsächlich wird erst im Rahmen einer akustischen Umsetzung der Planpartituren zu tatsächlich erlebbaren Musikstücken erfahrbar, welche komplexen rhythmischen und melodischen Mustern in den Partituren verborgen sind. Details über zur Klangumsetzung von Planpartituren finden sich bei Strunk (1999a). Hörbar und erlebbar ist die Klangumsetzung der vollständigen Planpartitur einer 13-stündigen Therapie bei Strunk (1999b).

Die Aktivierungsschwelle in Planpartituren entspricht der Helligkeitseinstellung eines Monitors

Auch eine Methode zur statistischen Analyse der komplexen Ordnungsstrukturen wie sie in den Partiturdarstellungen verborgen sind, wurde inzwischen vorgestellt (vgl. Strunk 1996b, Strunk & Schiepek 2002). Ausführlicher wird auf dieses Verfahren und die damit identifizierten Strukturen ab Seite 543ff. eingegangen. Grundlage sowohl der visuellen und akustischen Darstellung als auch der mathematischen Analyse der On-off-Pattern bildet die Identifikation von Planaktivierungen. In diesem Zusammenhang stellt sich dann die Frage, unter welchen Bedingungen ein Plan als aktiviert betrachtet werden kann. Die derzeit vorliegenden Planpartituren definieren die Aktivierung eines Planes über das Vorliegen zumindest eines ihm zugeordneten Operators. Die metrische Zeitreihe des Planes weist zu diesem Zeitpunkt und im Fall einer Aktivierung zumindest eine Eins auf. Wenn bedacht wird, dass die Zeitreihen aber durchaus auch weitaus höhere Werte erreichen können, stellt sich die Frage, wie durch eine Veränderung der Definition für eine Aktivierung und eine fehlende Aktivierung, der Informationsgehalt der Partiturdarstellungen beeinflusst wird. Dabei liegt es nahe, diese Definition durch die Festsetzung einer Aktivierungsschwelle vorzunehmen. Überschreitet die Zeitreihe eines Planes den festgelegten Schwellenwert, so wird der Plan als aktiviert gewertet. Diese Aktivierungsschwelle ist mit der „Helligkeit“ bei einem Monitor vergleichbar. Eine zu niedrige Schwelle führt zu einem sehr dunklen Bild, mit vielen schwarz markierten Planaktivierungen. Eine zu hohe Schwelle kann hingegen zu einem völlig „überbelichteten“, weißen Bild führen, nur unterbrochen von vereinzelt auftretenden Aktivierungen.

Die Möglichkeit einer Veränderung der Helligkeit in Planpartituren führt jedoch zu dem Problem, wie Kriterien für geeignete Schwellen entwickelt werden können. Hier scheinen folgende Möglichkeiten gegeben:

- Als Schwelle können Maße der zentralen Tendenz (Mittelwert, Median oder Modalwert) genutzt werden.

- Aber auch beliebige Konfidenzintervalle um den Mittelwert lassen sich aus der Verteilung der Messwerte bestimmen und als Schwellen festlegen.
- Wird eine graduelle Abstufung benötigt, so sollten Verteilungsmaße wie Quartile bzw. Percentile gewählt werden. Dies ermöglicht eine relativ freie Abstufung bei gleichzeitiger Vergleichbarkeit der gewählten Schwellen über verschiedene Pläne hinweg. So schließt die Wahl des ersten Quartils als Schwelle definitionsgemäß die unteren 25% der Messwerte aus.

Die zeitliche Auflösung einer Partiturdarstellung entspricht dem Kontrast eines Monitorbildes

Neben der Helligkeit ist die Qualität eines Monitorbildes auch vom „Kontrast“ abhängig. Übertragen auf Partiturdarstellungen entspricht dies der zeitlichen Auflösung der Messzeitpunkte. Die diskreten hochfrequenten Messungen der Sequentiellen Plananalysen führen zu sehr kontrastreichen Bildern. Vereinzelt auftretende Messfehler führen dann aber unter Umständen zu „Schnee“, der das eigentliche Signal überdecken könnte. Durch die Anwendung gleitender Mittelwerte (vgl. 333f.) können solche Artefakte unterdrückt werden. So ließe sich der Kontrast der Darstellung beliebig über den Mittelwert der Vorgänger und Nachfolger einzelner Messzeitpunkte bestimmen.

Die Einstellung einer passenden Helligkeit und eines passenden Kontrastes ist damit auch bei Planpartituren möglich. Während aber für ein Monitorbild Kriterien dafür angegeben werden können, welche Einstellungen denn tatsächlich optimal für das Erkennen von z.B. Schrift sind, fehlen solche Kriterien in der Psychotherapieforschung. Welche „Gestalten“ und Muster sollen mit Planpartituren sichtbar werden? Welche zeitliche Auflösung ist optimal? Was ist ein Artefakt und was Signal? Inhaltlich können als Leitlinien zur Beantwortung der genannten Fragen nur die möglichst genaue Passung an die „Wahrnehmungsschwellen“ und „Kontrasteinstellungen“ eines menschlichen Beobachters gelten. Eine Planpartitur sollte also in der Lage sein möglichst eine ähnliche Geschichte zu erzählen, wie sie auch ein Betrachter des der Analyse zu Grunde liegenden Videomaterials berichten würde. Eine ganz ähnliche Forderung erhebt auch Eva Jaeggi (1993). Sie beschreibt die Mängel der Psychotherapieforschung zum Beginn der 90er Jahre mit einem ähnlichen Bild, nämlich dem Flimmern auf einer Leinwand: Schaut sie genauer auf die Ergebnisse und Debatten der Psychotherapieforschung, so erscheint nur ein schemenhaftes Bild, wie von einem „uralten Film, wo alles nur schattenhaft an einem vorüberhuscht ... Anders gesagt: Das was ich als Psychotherapeutin erlebe, spiegelt sich in der Forschung nur so schattenhaft wieder, dass es kaum zu erkennen ist“ (Jaeggi 1993, S. 53). Die Praxisrelevanz der Methode der Sequentiellen Plananalyse (und vieler anderer auch) sollte sich genau an diesem Kriterium der Wiedererkennbarkeit messen lassen, um nicht Gefahr zu laufen, einen zu hohen *Erklärungsabstand* (Herrmann 1969, S. 335) einzunehmen. Vergleiche von Planpartituren mit verbalen Beschreibungen der Entwicklung der Beziehungsgestaltung könnten hier iterativ mit immer neuen Partitureinstellungen zu einer vernünftigen Passung führen. Leider fehlen solche Beschreibungen bisher. Während also inhaltliche Kriterien noch weitgehend fehlen, lassen sich methodisch zumindest folgende Zusammenhänge feststellen:

Aus einer theoretischen Perspektive kann vermutet werden, dass die derzeit für Partiturdarstellungen übliche Schwelle $S \geq 1$ für viele Zeitreihen so gering ist, dass die Varianz der Partituren über weite Zeiträume nahezu auf Null geht. Wählt man den Mittelwert als Kriterium ($S \geq \bar{x}$), so folgt daraus die größte mögliche

Varianz der On-off-Pattern. Probleme bereiten jedoch Zeitreihen, die einen Mittelwert kleiner Eins aufweisen. Hier führen die diskreten Messwerte (natürliche Zahlen) zu keinem Spielraum in der Einstellung.

Helligkeit und Kontrast sind nicht voneinander unabhängig

Wird ein gleitender arithmetischer Mittelwert als Glättung zur Einstellung des Kontrastes gewählt, so bleibt der Mittelwert der jeweiligen Zeitreihe erhalten, während sich die Varianz der Messwerte insgesamt verringert. Aus diesem mathematischen Zusammenhang folgt, dass Helligkeit/Schwelle und Kontrast/Glättung nur dann unabhängig voneinander sind, wenn als Schwelle der Mittelwert und als Kontrastregelung ein gleitender Mittelwert gewählt werden. Eine Veränderung des Kontrastes hat in diesem Fall keine spürbare Veränderung der Schwelle zur Folge. Wird hingegen als Schwelle das 1. Quartil gewählt, so muss der entsprechende Zahlenwert nach jeder Kontraständerung, aufgrund der damit einhergehenden Varianzänderung neu bestimmt werden.

Mit zunehmender Stärke der Glättung verringert sich, wie bereits erwähnt, die Varianz der Zeitreihe um den Mittelwert. Eine relativ starke Glättung muss dann jedoch wieder zu relativ langen Phasen von Aktivierung und Deaktivierung von Plänen führen. Das Verfahren der gleitenden Mittelwerte würde dabei den zeitlichen Kontext der Verhaltensweisen mit berücksichtigen und so zeitdiskrete Sprünge ausgleichen. So muss z.B. ein Schweigen nach einer Provokation nicht bedeuten, dass sie nun tatsächlich aufgehört hat. Je weiter die Glättung zeitlich um sich greift, desto stärker werden dem zeitlichen Kontext Beeinflussungsmöglichkeiten eingeräumt.

Als sinnvolle Heuristik für die Wahl der Glättungsbreite erscheint ein Kriterium, welches aus der Zeitreihe selber stammt. So kann z.B. mittels der Autokorrelationsfunktion die Reichweite der zeitlichen Autobeeinflussung des Planes geschätzt werden (vgl. 341ff.). Der erste Nulldurchgang oder das Unterschreiten einer Korrelationsgrenze um Null kann gut als maximale Beeinflussungsdauer interpretiert werden. Der zeitliche Kontext geht also spätestens nach Erreichen dieses Kriteriums verloren. Dieser Wert sollte als maximale Glättungsbreite des gleitenden Mittelwertes nicht überschritten werden.

Entgegen der üblicherweise Verwendung findenden Vorwärtsglättung, die jedem Messwert einem Mittelwert aus seinen Nachfolgern zuweist, ist in diesem Fall eine Rückwärtsglättung angemessen. Dadurch würde sich die Zeitreihe, je nach Stärke der Glättung am Anfang verkürzen (vgl. 333f.).

Zusammenfassend lassen sich die genannten Zusammenhänge wie folgt systematisieren (vgl. Abbildung 150 und Abbildung 151):

- Werden die Zeitreihendaten, aus denen sich die Partituren ergeben nicht geglättet, so folgt daraus eine maximale Varianz der Partituren und damit ein maximaler Informationsgehalt.
- Mit steigender Glättungsbreite, sinkt die Varianz und damit der Informationsgehalt in den Partituren.
- Bewegt sich die Glättungsbreite in einem Range zwischen Null (keine Glättung) und einem Wert, der klein ist gegenüber der Zeitreihenlänge, so

führt eine Änderung in der Glättung zu keiner Änderung in der Helligkeit der Partiturdarstellung. Dies gilt jedoch nur, wenn als Schwelle für die Helligkeitseinstellung der Mittelwert der Zeitreihe gewählt wird.

- Die Glättung der Zeitreihendaten wird hier verstanden als Möglichkeit zur Kontrastreduzierung. Eine Kontraststeigerung ist nicht möglich.
- Eine Kontrastreduzierung trägt Erinnerungseffekten Rechnung, die in den reinen Beobachtungsdaten nicht enthalten sind.
- Die Anwendung einer kontrastreduzierenden Glättung entspricht der Vorstellung, dass Planaktivierungen auch noch nach bereits erfolgter Deaktivierung für eine gewisse Zeit in der Interaktion eine Bedeutung behalten. In diesem Sinne ist eine Rückwärtsglättung die Methode der Wahl.
- Die niedrigste denkbare Schwelle liegt bei Null. In diesem Fall wäre zu jede Zeit jeder Plan aktiviert, was einer Helligkeit von Null entspricht. Die Helligkeit besitzt damit einen absoluten Nullpunkt.
- Überschreitet die Schwelle das Maximum der Zeitreihen so kommt es zu keiner Planaktivierung. Die Helligkeit ist in diesem Fall maximal.
- Der Informationsgehalt der Partitur, hier verstanden als Varianz der Planaktivierungen im zeitlichen Verlauf, besitzt zwei absolute Minima. Liegt die Schwelle bei Null bzw. über dem Maximum der Zeitreihendaten, so folgt daraus eine Varianz von Null.

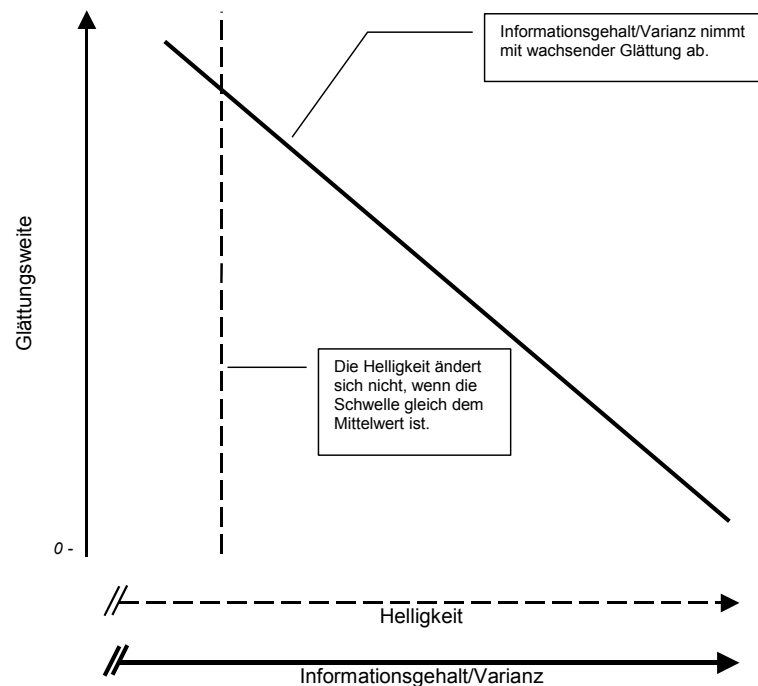


Abbildung 150: Auswirkung der Glättung auf die Helligkeit und den Informationsgehalt der Partitur

Zusammenhang zwischen der Breite eines gleitenden arithmetischen Mittels (Glättung) auf der einen Seite und der Helligkeit sowie des Informationsgehaltes bzw. der Varianz auf der anderen Seite.

- Maximal ist die Varianz der Partiturdaten, sobald die Schwelle mit dem Mittelwert der Zeitreihen identisch ist.
- Zur Einschätzung der bisher in Partiturdarstellungen üblichen Schwelle von Eins gilt es Folgendes zu bedenken: Ist der Mittelwert der zu Grunde liegenden Zeitreihe größer als Eins, so bedeutet die bisher übliche Schwelle eine besonders empfindliche Einstellung, die bereits auf gering ausgeprägte Planaktivierungen reagiert. Die Wahrscheinlichkeit, hier eine nicht unerhebliche Anzahl „falscher Alarme“ zu registrieren, ist groß. Ist der Mittelwert der zu Grunde liegenden Zeitreihe jedoch kleiner als Eins, so ist dies auf eine seltene und/oder geringe Ausprägung der entsprechenden Planaktivität zurückzuführen. Eine Schwelle von Eins bedeutet hier bereits eine optimale Einstellung.
- Bei den Zeitreihendaten Sequentieller Plananalysen handelt es sich um ganzzahlige Daten. Entsprechend ist die Schwelle als ganze Zahl zu wählen. Wird der Mittelwert der Zeitreihe als Schwelle gewählt, so gilt als wirksame Schwelle die am nächsten liegende ganze Zahl (Anwendung üblicher Rundungsregeln).

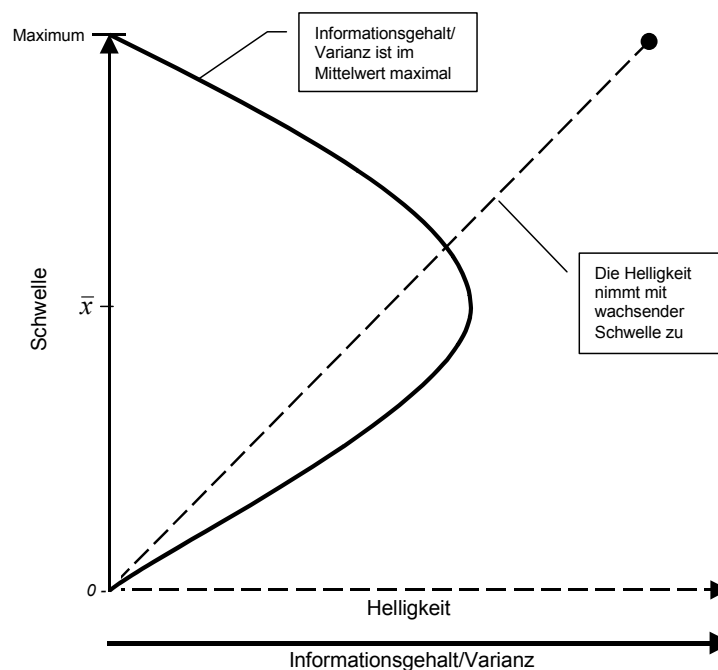


Abbildung 151: Auswirkung der Schwelle auf die Helligkeit und den Informationsgehalt der Partitur

Zusammenhang zwischen der Schwelle zur Bestimmung der Helligkeit auf der einen Seite und der Helligkeit sowie des Informationsgehaltes bzw. der Varianz auf der anderen Seite.

Es soll hier noch einmal hervorgehoben werden, dass das derzeit übliche Verfahren bei der Darstellung und Analyse von Planpartituren eine Schwelle von Eins und keine Glättung der Daten vorsieht. Dies gilt auch für die Darstellungen und Analysen der vorliegenden Arbeit. Es muss daher zukünftigen Anwendungen vorbehalten bleiben, die hier angeführten Überlegungen weiter zu vertiefen und praktisch umzusetzen.

10.2.4 Gütekriterien einer Sequentiellen Plananalyse

Die Erstellung einer Sequentiellen Plananalyse ist ein mühevolleres und langwierigeres Unterfangen. Bereits die Transkription der Videobänder, versehen mit einer fortlaufenden Zeitkodierung und sowohl verbale als auch nochverbale Aspekte beider Interaktionspartner umfassend, bedeutet viel Aufwand. Hier ist eine sorgfältige Beobachtung und eine präzise Verschriftlichung notwendig. Obwohl aber für diesen Teil der Analyse relativ viel Zeit eingeplant werden muss, ist das Vorgehen doch relativ standardisiert und immer wieder am Videoband überprüfbar. Weitaus mehr Erfahrung braucht dann die Selektion der Operatoren, die Formulierung von Planhypothesen, deren Konkretisierung sowie die Erstellung der Zuordnungsregeln für Operatoren und Pläne. Im Verlauf einer Therapie können dabei bis zu eintausend Operatoren und mehr anfallen, die alle in Hinblick auf ihre Planzugehörigkeit eingeschätzt und zudem mit einem fünfstufigen Rating versehen werden müssen. Bereits die im Kapitel 10.1.3 (S. 504ff.) angeführte Hinweistabelle für die Erstellung von Plananalysen dürften in diesem Zusammenhang gezeigt haben, dass die Interpretation des beobachtbaren Verhaltens eine starke subjektive Komponente enthält, ein großes Maß an Verantwortung und viel Erfahrung mit dem interaktionellen Geschehen in Psychotherapien erfordert. Es sind vor allem diese Aspekte der Konstruktion der Planhierarchie, die Fragen nach der Reliabilität und Validität des Verfahrens aufkommen lassen.

In einer SPA entspricht die inhaltliche Relevanz einer Planstruktur der Validität und die Erfassung von Planabfolgen der Reliabilität des Erhebungsinstrumentes

Bei der Beurteilung einer Sequentiellen Plananalyse darf zudem nicht vergessen werden, dass es sich um eine Methode zur Erfassung von Zeitsignalen handelt, die in der Regel am Einzelfall Anwendung findet. In diesem Sinne ist mit der Reliabilität einer Sequentiellen Plananalyse vor allem der Bereich der Messwiederholung gemeint. Das Messinstrument, also die zunächst statische Plananalyse, soll dabei im Zuge jeder im 10-sekündigen Abstand stattfindenden Messung die gleiche Messgenauigkeit aufweisen. Dies soll zudem möglich sein, wenn die Erhebung der Sequenzen wiederholt wird. Die Folie, vor deren Hintergrund diese zeitliche Abbildung des Geschehens stattfindet, ist die zuvor erstellte Planstruktur. Diese ist in ihrem Aufbau und ihren Zuordnungsregeln in Bezug auf ihre Plausibilität und Validität zu beurteilen.

Auch Casper (1989) beschäftigt sich ausführlich mit den Fragen nach den Gütekriterien von Plananalysen. Dabei lassen sich vereinfachend drei Schritte in seiner Argumentation identifizieren. Zunächst stellt er kleinere Studien zur Übereinstimmung von Plananalysen zwischen verschiedenen Beobachtern vor, die aber darauf verzichten komplette Planstrukturen miteinander zu vergleichen. In einer Studie werden nur „wichtige“ Pläne verglichen, in einer anderen die resultierende verbale Fallbeschreibung. In beiden fanden sich befriedigende bis gute Übereinstimmungen. Da es sich hier um die einzigen Übereinstimmungsprüfungen bis 1989 handelt, werden in der folgenden Argumentation auch andere verwandte Diagnoseinstrumente dargestellt, für die zum Teil umfangreiche Übereinstimmungsuntersuchungen existieren. Insgesamt kommt Caspar (1989) zu dem Schluss, dass hohe Übereinstimmungen nach ausführlichem Training und bei eindeutigem Fallmaterial durchaus erwartet werden können. Eine Quantifizierung der Reliabilität einer solchen interpretativen, auch unbewusste Aspekte erfassenden, Diagnostik wäre jedoch nicht möglich (Casper 1989, S. 65).

Dies zeigt in unseren Augen die Richtigkeit der These, dass die Anwendung einer Methode unter ganz bestimmten Bedingungen überprüft werden kann, die Angabe von allgemeinen quantifizierten Zuverlässigkeitswerten für eine Methode aber irreführend ist. Solche Angaben müssten die genauen Umstände der Anwendung berücksichtigen, also vor allem Voraussetzungen beim Anwender und beim bearbeiteten Material. Diese Voraussetzungen lassen sich schwer standardisieren und auch wenn dies einfacher wäre, würde sich die Frage nach der Praxisrelevanz solcher Ergebnisse stellen. (Caspar 1989, S. 65)

Ein weiterer Argumentationsstrang führt zur grundsätzlichen Bedeutung von Gütekriterien für die praktische therapeutische Arbeit:

Doch zurück zu grundsätzlichen Überlegungen zur Reliabilität: Wenn ein Therapeut als Grundlage für seine Therapieplanung Plananalysen durchführt, ist deren Reliabilität ein untergeordnetes Kriterium. Selbstverständlich sollte die Analyse in einer vernünftigen individuellen Beziehung stehen zu den ‚wirklichen‘ Zusammenhängen bei einem Klienten, also in diesem Sinn valide sein, und man kann sich schlecht vorstellen, wie das möglich sein sollte, wenn jeder völlig Beliebiges in einen Klienten hineininterpretieren kann. Das Befolgen gewisser Regeln, ... das Üben und Diskutieren von Analysen in der Gruppe und Selbsterfahrung, um eigene Anteile besser kennen und in Rechnung stellen zu lernen, sind wichtige Voraussetzungen dafür, die Beliebigkeit im erforderlichen Maße einzuschränken. Insbesondere wird bei der Plananalyse wie bei keinem einigermaßen vergleichbaren Verfahren verlangt, Inferenzen mit konkreten Daten zu belegen. (Caspar 1989, S. 66)

Nur wenige Studien überprüfen die Übereinstimmung von Planstrukturen verschiedener Beurteiler

Insgesamt erscheint die Argumentation doch recht dürftig und wird auch in der 1996 erschienenen neuen Auflage von „Beziehungen und Probleme verstehen“ (Caspar 1996) nicht weiter untermauert. Derzeit können für die Übereinstimmung verschiedener Plananalysen nur wenige empirische Belege benannt werden. Diese stützen sich auf den Vergleich von einzelnen Plänen oder von resultierenden Fallkonzeptionen. Nahezu unmöglich scheint hingegen der Versuch komplette Planstrukturen im Rahmen einer Messwiederholung zu replizieren. Man beachte in diesem Zusammenhang, dass das Aufdecken von Motiven eines Menschen zumindest auf hoher oder mittlerer Hierarchieebene relativ leicht gelingen kann. Viele Wünsche und Ziele werden direkt verbal geäußert, andere treten klar durch das Verhalten in Erscheinung. Bereits Dreikurs (1981/1930) betont, dass Menschen in der zwischenmenschlichen Begegnung ganz automatisch versuchen, Ziele und Absichten eines Gegenübers zu erkunden und eigene zum Ausdruck zu bringen. Während also auffällige, wichtige Pläne übereinstimmend auch von ungeübten Beobachtern gefunden werden können, hängt die „Entdeckung“ versteckter Pläne von der Erfahrung, aber auch von der theoretischen Ausrichtung des Beobachters ab.

Neben diesen Vermutungen, die eher gute Übereinstimmungen für eine in theoretischer Hinsicht homogenisierte Beobachtergruppe in Bezug auf zentrale Pläne annehmen lässt, ergibt sich für die Zuordnung von Plänen in Planstrukturen ein weit komplizierteres Bild. Schon wenige Pläne können in nahezu unendlich vielen Konstellationen hierarchischer Über-, Unter-, und Nebenordnung angeordnet werden. Die prinzipiell immer gegebene Mehrfachbestimmtheit menschlichen Verhal-

tens führt zudem zu dem Problem, dass es durchaus möglich ist, jeden Plan mit jedem anderen zu kombinieren. Auch wenn man sich Algorithmen denken könnte, die Übereinstimmungen zwischen Planstrukturen quantifizieren könnten, lassen sich keine hohen Übereinstimmungen erwarten. Zwar kann auch hier davon ausgegangen werden, dass zentrale „Äste“ in den Planstrukturen übereinstimmend gefunden werden können, doch entscheidet in Hinblick auf die Planstruktur weit mehr die Vorliebe des Analysierenden für möglichst umfassende, pedantische oder aber einfache, klare Planstrukturen, ob solche zentralen Planäste nun noch in Verbindung stehen zu weiteren nebengeordneten Verzweigungen u.s.w.

Im Rahmen einer eigenen Studie können durchaus zufriedenstellende Übereinstimmungen für zentrale Pläne ermittelt werden

Im Rahmen von Sequentiellen Plananalysen können diese Überlegungen bestätigt werden. In einer kleinen von Schiepek und Strunk mit Studenten durchgeführten Studie wurden von fünf Gruppen jeweils eine vollständige Sequentielle Plananalyse eines zehn-minütigen Videobandes durchgeführt. Da die Bezeichnungen der Pläne keine eindeutige Beschreibung ihres Bedeutungsumfanges liefern können (vgl. auch Caspar 1989, S. 62), wurden die Gruppen gebeten ihre Oberpläne verbal zu beschreiben und deren Bezüge zu anderen Plänen anzugeben. Dies geschah reihum, in Form von Kurzreferaten, bei Anwesenheit aller Gruppen. Aufbauend auf diesen verbalen Beschreibungen schätzte dann jede Gruppe, die gerade nicht referierte, die Ähnlichkeit aller ihrer Pläne zum gerade vorgetragenen Plan mit einem 6-stufigen Rating von Null (keine Übereinstimmung) bis Fünf (perfekte Übereinstimmung) ein. Die folgende Abbildung 152 zeigt die gegenseitigen Ratings der Gruppen A, C, D, E (Gruppe B war zum Planungstreffen nicht erschienen). Beim Vergleich der Gruppen zeigt sich zunächst ein starker Unterschied in der Anzahl gefundener Oberpläne. Deren Zahl schwankt zwischen Drei und Sechs und entspricht den Vorlieben der Analysierenden nach detaillierter oder eher schlichter Darstellung. Wird nun ausgezählt, wie häufig zwei Gruppen jeweilsangaben den gleichen Oberplan identifiziert zu haben (gegenseitiges Rating jeweils größer oder gleich Drei), so lassen sich befriedigende bis gute Übereinstimmungen finden, wenn dabei die jeweils unterschiedliche Anzahl an Oberplänen keine Berücksichtigung findet. Die umfassendste Analyse wurde dabei von Gruppe A vorgelegt. Sämtlich anderen Gruppen fanden sich vollständig in den Oberplänen von A wieder, was jeweils einer 100%igen Übereinstimmung entspricht. Am anderen Ende des Spektrums bewegt sich der Vergleich der Gruppe E mit der Gruppe C. Die Gruppe E findet sich nur in 60% der Oberplanvergleiche in C wieder (umgekehrt bescheinigt die Gruppe C eine 100%ige Übereinstimmung mit der Gruppe E).

Planhypothesen bilden Aussagen über Ausschnitte einer Realität, über die kommuniziert werden kann

Mit einer Ausnahme (Oberplan E5) lassen sich zu allen Oberplänen mindestens ein Gegenüber in mindestens einer anderen Gruppe finden. Hierin spiegelt sich auch der Hauptbefund der kleinen Untersuchung wider. Auch bei unterschiedlicher Analysetiefe und unterschiedlichen Übereinstimmungen, werden Pläne nicht aus der Luft gegriffen. Planhypothesen bilden damit Aussagen über Ausschnitte einer Realität über die kommuniziert werden kann. Dies zeigt sich vor allem auch daran, dass die gegenseitigen Ratings hoch miteinander korrelieren ($r = 0.64$, $n = 72$), obwohl über die vergebenen Ratings keine Diskussion stattfand. Das Diagnoseinstrument der Sequentiellen Plananalyse schafft damit Konstruktionen über die Pläne von Menschen, die von anderen Beobachtern geteilt werden. Sie bildet damit ein Kommunikationsmittel mit gemeinsamer Sprache.

D1 4 → ← 4 4	C1	D2 0 → ← 0 2	C1	D3 1 → ← 1 2	C1	E4 4 → ← 2 0	C1	E5 0 → ← 0 1	C1	C4 1 → ← ? ?	A1
D1 0 → ← 0 1	C2	D2 2 → ← 3 1	C2	D3 2 → ← 2 1	C2	E4 0 → ← 0 3	C2	E5 1 → ← 1 2	C2	C4 0 → ← ? ?	A2
D1 1 → ← 3 2	C3	D2 1 → ← 1 1	C3	D3 1 → ← 3 0	C3	E4 3 → ← 1 4	C3	E5 2 → ← 0 4	C3	C4 2 → ← ? ?	A3
D1 2 → ← 1 0	C4	D2 1 → ← 0 3	C4	D3 0 → ← 2 1	C4	E4 4 → ← 0 1	C4	E5 4 → ← 0 4	C4	C4 0 → ← 4 0	A4
D1 0 → ← 0 1	C5	D2 3 → ← 4 4	C5	D3 1 → ← 3 3	C5	E4 1 → ← 0 0	C5	E5 4 → ← 1 2	C5	C4 0 → ← ? ?	A5
D1 1 → ← ? ?	A1	D2 2 → ← ? ?	A1	D3 1 → ← ? ?	A1	E4 1 → ← ? ?	A1	E5 2 → ← ? ?	A1	C4 4 → ← 5 ?	A6
D1 0 → ← ? ?	A2	D2 4 → ← 5 ?	A2	D3 3 → ← 4 ?	A2	E4 0 → ← ? ?	A2	E5 2 → ← ? ?	A2	C5 4 → ← 5 ?	A1
D1 3 → ← ? ?	A3	D2 1 → ← ? ?	A3	D3 1 → ← 3 ?	A3	E4 3 → ← ? ?	A3	E5 1 → ← 3 ?	A3	C5 3 → ← ? ?	A2
D1 4 → ← 4 ?	A4	D2 1 → ← ? ?	A4	D3 3 → ← ? ?	A4	E4 4 → ← ? ?	A4	E5 1 → ← ? ?	A4	C5 2 → ← ? ?	A3
D1 1 → ← ? ?	A5	D2 0 → ← ? ?	A5	D3 2 → ← ? ?	A5	E4 2 → ← ? ?	A5	E5 0 → ← ? ?	A5	C5 1 → ← ? ?	A4
D1 1 → ← ? ?	A6	D2 0 → ← ? ?	A6	D3 0 → ← ? ?	A6	E4 3 → ← ? ?	A6	E5 0 → ← ? ?	A6	C5 0 → ← ? ?	A5
D1 1 → ← 1 2	E1	D2 3 → ← 4 ?	E1	D3 1 → ← 2 0	E1	C1 0 → ← ? ?	A1	C2 2 → ← ? ?	A1	C5 0 → ← ? ?	A6
D1 2 → ← 3 3	E2	D2 1 → ← 2 ?	E2	D3 0 → ← 3 ?	E2	C1 0 → ← ? ?	A2	C2 4 → ← ? ?	A2	C3 3 → ← ? ?	A1
D1 3 → ← 4 ?	E3	D2 0 → ← 0 ?	E3	D3 1 → ← 2 ?	E3	C1 4 → ← ? ?	A3	C2 0 → ← ? ?	A3	C3 2 → ← ? ?	A2
D1 1 → ← 4 ?	E4	D2 0 → ← 0 ?	E4	D3 0 → ← 2 ?	E4	C1 4 → ← ? ?	A4	C2 1 → ← ? ?	A4	C3 3 → ← ? ?	A3
D1 1 → ← 0 ?	E5	D2 2 → ← 4 ?	E5	D3 1 → ← 2 ?	E5	C1 3 → ← ? ?	A5	C2 0 → ← ? ?	A5	C3 2 → ← ? ?	A4
E1 1 → ← 0 ?	C1	E2 2 → ← 2 ?	C1	E3 5 → ← 3 ?	C1	C1 2 → ← ? ?	A6	C2 0 → ← ? ?	A6	C3 3 → ← ? ?	A5
E1 4 → ← 3 ?	C2	E2 2 → ← 0 ?	C2	E3 0 → ← 0 ?	C2	E1 0 → ← ? ?	A6	E2 3 → ← ? ?	A6	C3 2 → ← ? ?	A6
E1 1 → ← 2 ?	C3	E2 3 → ← 3 ?	C3	E3 1 → ← 1 ?	C3	E1 4 → ← ? ?	A2	E2 4 → ← ? ?	A2	E3 0 → ← ? ?	A2
E1 1 → ← 0 ?	C4	E2 4 → ← 0 ?	C4	E3 4 → ← 3 ?	C4	E1 1 → ← ? ?	A3	E2 5 → ← ? ?	A3	E3 3 → ← ? ?	A3
E1 5 → ← 4 ?	C5	E2 0 → ← 1 ?	C5	E3 0 → ← 0 ?	C5	E1 1 → ← ? ?	A4	E2 4 → ← ? ?	A4	E3 4 → ← ? ?	A4
E1 4 → ← 4 ?	A1	E2 3 → ← ? ?	A1	E3 0 → ← ? ?	A1	E1 0 → ← ? ?	A5	E2 3 → ← ? ?	A5	E3 3 → ← ? ?	A5
E3 3 → ← ?	A6										

Abbildung 152: Gegenseitiges Rating der Ähnlichkeit von Oberplänen

Die Abbildung zeigt die gegenseitigen Einschätzungen der vier Gruppen A, C, D, E über die Ähnlichkeit der von ihnen identifizierten Oberpläne. Die Nummern hinter den Kennbuchstaben entsprechen den Plannummern (Gruppe A hatte nur Ratings für ähnliche Pläne angegeben, fehlende Einschätzungen sind mit einem ? gekennzeichnet). Die Einschätzung der Ähnlichkeit erfolgt über ein 6-stufiges Rating von Null (keine Übereinstimmung) bis Fünf (perfekte Übereinstimmung).

Bei der Beurteilung Sequentieller Plananalysen steht die Anerkennung der Urteilskraft eines klinisch geschulten Beobachters im Vordergrund

Trotz dieses positiven Befundes sind die von den Gruppen identifizierten Oberpläne bereits in ihrer Anzahl zu unterschiedlich, um noch zu ähnlichen Planstrukturen führen zu können. Die vorliegenden Ergebnisse legen es jedoch nahe davon auszugehen, dass das Verfahren der Sequentiellen Plananalyse zu mindest Ergebnisse produziert, die plausibel erscheinen und als mögliche Sicht der Dinge akzeptiert werden können, auch dann, wenn auf den ersten Blick verschiedene Interpretationen vorzuliegen scheinen. Die Beurteilung von Planstrukturen kann dann aber eben nicht mehr im Sinne einer exakten Übereinstimmungsprüfung zwischen verschiedenen Analysen geführt werden. An die Stelle solcher „harten“ Vergleiche müssen dann „weiche“ Kriterien treten, die sich danach richten, ob die Analyseergebnisse miteinander in Einklang stehen, oder einander widersprechen. Diese Akzentverschiebung bedeutet also eine grundsätzliche Anerkennung der Urteilskraft eines klinisch geschulten Beobachters, der sich an die Grundregeln der Plananalyse hält.

Ebenso wie die Konstruktion eines Intelligenztestes die subjektiven Kriterien des Testkonstruktors widerspiegelt, ist die Erstellung einer Planstruktur die subjektive Konstruktion des Analysierenden

Unabhängig von den bisher vorgestellten Argumenten besitzt die Frage danach, ob zwei Beurteiler – genügend klinische Erfahrung und Training im Erstellen von Plananalysen vorausgesetzt – für einen Fall zu der gleichen Planstruktur gelangen, für Sequentielle Plananalysen nur eine nachgeordnete Bedeutung. Insbesondere wenn es sich um die konkrete Planstruktur und Zuordnung von Operatoren zu Plänen handelt ist eine Übereinstimmung mit anderen Beobachtern relativ unbedeutend. In diesem Sinne stimmen ja auch zwei verschiedene Verfahren der Intelligenzmessung weder in der Formulierung der Items noch in ihren Verrechnungsvorschriften überein. Das tun sie auch dann nicht, wenn beide das Konstrukt um das es geht, die Intelligenz, ähnlich kennzeichnen. Genau wie die Konstruktion eines Intelligenztestes die subjektiven Kriterien des Testkonstruktors widerspiegelt, ist die Erstellung einer Planstruktur die subjektive Konstruktion des Analysierenden. Über die Plausibilität beider Konstruktionen kann z.B. im Rahmen einer Expertendiskussion geurteilt werden. Hier wie dort ist damit das Ergebnis einzuschätzen, unabhängig davon, ob die Testkonstruktion eines anderen Forschers oder Beurteilers anders aussehen mag. Dieser Vergleich zwischen einer Testkonstruktion und einer Plananalyse ist ungewöhnlich und nur für die Sequentielle Plananalyse passend. Während es dem Testkonstrukteur um die Konstruktion *eines* Messinstrumentes geht, welches *vielfach angewendet* werden soll, steht in der klinischen Praxis der Plananalyse die *vielfache Konstruktion* unterschiedlicher Diagnostiker zur Diskussion. Während der erstere also nur einmal konstruiert und mehrfach angewendet, ist in der klinischen Praxis der umgekehrte Fall gegeben: Viele Konstruktionen sollen zu einem allgemeingültigen Ergebnis führen.

In Bezug auf eine Sequentielle Plananalyse ist der Vergleich jedoch zutreffend. Auch diese Erhebungsmethode erfordert die einmalige Konstruktion einer Planstruktur, die alle zehn Sekunden (also sehr häufig) als Messinstrument benutzt wird. In diesem Lichte erscheint die Konstruktion der Planstruktur von Sequentiellen Plananalysen nicht der Frage nach der Reliabilität unterworfen. Man fordert ja auch nicht die mehrmalige Konstruktion eines Intelligenztestes durch verschiedene Konstrukteure, um hinterher auszuzählen welche Fragen exakt übereinstimmen. Die Trefferquote eines solchen Unterfangens wäre wahrscheinlich weit geringer als sie für Plananalysen nachgewiesen wurde. Die Konstruktion der Planstruktur erscheint aus dieser Perspektive der Frage nach der Validität unterworfen, die z.B. durch Expertenurteile und Außenkriterien, sowie durch Plausibilitätsbe-

trachtungen eingeschätzt werden kann. Die Reliabilität des Messinstrumentes ist hingegen in der Messwiederholung der gleichen geschulten Beobachter mit der gleichen einmal festgelegten Planstruktur zu suchen. Diese hängt, nach der Erstellung der Planstruktur, nur noch davon ab, wie gut Beobachter das Auftreten vorher festgelegter Operatoren alle zehn Sekunden anhand von Videoaufzeichnungen und Transkripten feststellen können. Prinzipiell handelt es sich also nur um eine einfache Beobachtungsaufgabe, die auf der Einschätzung über das Vorliegen oder Nichtvorliegen eines klar definierten Verhaltens beruht. Dafür sind zunächst einmal hohe Übereinstimmungen zu erwarten. Durch ein geeignetes Training können hier sehr hohe Genauigkeiten erreicht werden.

In der Praxis ergeben sich jedoch Probleme durch den gigantischen Umfang der Sequentiellen Plananalysen. Eine Beobachtung eines Videos in 10-Sekundentakten führt zu einer großen Zahl an Beobachtungspunkten. Hier ist mit Ermüdungserscheinungen zu rechnen. Die Zahl der Operatoren liegt in der Regel zwischen mehreren hundert bis tausend. Es erscheint hier nahezu unmöglich alle Intervalle auf das Vorliegen aller Operatoren hin zu überprüfen. Auf der anderen Seite sind die meisten Operatoren anhand des Transskriptes erschlossen und damit sofort zeitlich zugeordnet. Es ist schwer, hier ein prinzipielles Urteil zu bilden. Auch angesichts der hohen Operatorenzahlen und der Vielzahl an Messungen können bei geschickter Organisation der Daten schon in der Konstruktionsphase der Planstruktur hohe Reliabilitätswerte für die spätere Messwiederholung sicher gestellt werden.

11. Muster und Muster der Veränderung in der therapeutischen Beziehungsgestaltung

In den letzten Jahren verdichten sich die Belege, die davon ausgehen, dass das psychotherapeutische Geschehen als hochgradig komplexer Prozess aufgefasst werden muss (z.B. Grawe 1986, Orlinsky & Howard 1986, Grawe 1987b, Ambühl & Grawe 1988, Grawe 1988, Tschacher, Schiepek & Brunner 1992, Schiepek 1993b, Scheier & Tschacher 1994, Schiepek & Kowalik 1994, Schiepek 1996, Grawe 1998, Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Maßgeblich beigetragen zum Perspektivenwechsel, der zunehmend ein mechanistisches Bild von Psychotherapie verdrängt, hat das Scheitern der Wirkfaktorenforschung (Schiepek 1994). In dem Maße, in dem einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen, wie z.B. die Dosis-Wirkungs-Analogie, die Suche nach spezifischen und später die Suche nach unspezifischen Wirkfaktoren aufgegeben werden mussten (vgl. Stiles & Shapiro 1989, Hentschel 1990, Schiepek et al. 1995d), zu Gunsten eines komplexeren Verständnisses von Psychotherapie, wurde zunehmend auch auf Modelle der Selbstorganisationsforschung und -theorien zurück gegriffen.

In dieses neue Bild von Psychotherapie passen dann Ansätze der modernen Systemischen Therapie (Ludewig 1992, von Schlippe & Schweitzer 1996, Schiepek 1999a), die ganz allgemein die ontische Verfasstheit der Gegensatzpaare „krank/gesund“, „gestört/normal“ oder „wissender Experte/unwissender Patient“ in Frage stellt und im Rahmen der Theorien Selbstreferentieller Systeme (z.B. Maturana 1982, Luhmann 1984, Maturana & Varela 1987) beginnt Psychotherapie als komplexes System zu begreifen und zu gestalten.

Aus einer anderen Richtung kommend wird durch Grawe und Dziewas (1978) das lineal-kausale Stimulus-Response-Modell innerhalb der Verhaltenstherapie in Frage gestellt. Kybernetische Selbstregulation (sensu Miller, Galanter & Pribram 1960, 1973) im Rahmen der Plananalyse (Caspar 1986, 1989, 1996) ersetzt in der Folge die mechanistische Interpretation menschlichen Verhaltens. Noch einen Schritt weiter geht dann die schematheoretische Interpretation menschlichen Verhaltens (z.B. Grawe 1986, 1987a, 1987b, 1988, Ahlers et al. 1994, Grawe 1998, Schiepek 1999a), die unter Bezugnahme auf die grundlegenden Arbeiten von Piaget (z.B. Piaget 1969/1936, 1969/1945) psychotherapeutische Veränderungsprozesse auf der Grundlage von Akkomodations- und Assimilationsprinzipien als selbstgesteuerte Eigenleistung des Systems beschreiben.

Damit wird von verschiedenen Seiten die Steuerbarkeit von und gezielte Interventionsfähigkeit in Klientensystemen in Frage gestellt (vgl. auch Willke 1994). Psychotherapie wird damit zunehmend als Rahmen verstanden, in dem Selbstorganisationsprozesse ermöglicht und angeregt werden (vgl. z.B. Schiepek 1999a). Wichtiger Bestandteil dieses Rahmens ist die Qualität der zwischenmenschlichen Begegnung in der Psychotherapie (vgl. z.B. Orlinsky & Howard 1986, Czogalik & Hettinger 1988, Czogalik 1989, 1991, Orlinsky, Grawe & Parks 1994). In der Zusammenfassung von rund 1.100 empirischen Studien legt das *Generic Model* (Orlinsky & Howard 1986, Orlinsky, Grawe & Parks 1994) aus der Sicht der Psychotherapieforschung die Schlussfolgerungen nahe, dass es sich bei therapeutischen Prozessen um den dynamischen Ausdruck eines komplexen, zur Selbstorganisation fähigen, Systems handelt. Stellen sich die im Modell vorgesehenen Feed-

backschleifen als gemischte, nichtlineare Feedbackprozesse heraus, dann sind Selbstorganisationsphänomene mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu erwarten (vgl. Schiepek 1999b, S. 289; vgl. Abbildung 137, S. 483). Im Mittelpunkt dieses Modells finden sich erneut Variablen der psychotherapeutischen Beziehungsgestaltung.

Obwohl die Nutzung der Chaosforschung im Psychotherapeutischen Kontext den Ruf einer Modeströmung erlangte, fehlen empirische Belege weitgehend

Insgesamt verdichtete sich zunehmend eine Vorstellung von Psychotherapie, die nicht nur mit den Konzepten der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme kompatibel erscheint, sondern zum Teil direkt unter Rückgriff auf diese Ansätze begründet wird (z.B. Grawe 1987b, Schiepek 1991, 1992, Schiepek, Fricke & Kaimer 1992, Tschacher, Schiepek & Brunner 1992, Schiepek 1996, Grawe 1998, Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Obwohl aber die Nutzung z.B. der Chaosforschung in der Psychotherapie schon bald den Ruf einer Modeströmung erlangte (vgl. Manteufel 1995), fehlen vielfach noch immer empirische Belege für die „Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie“ (Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Es war daher das erklärte Ziel der Arbeitsgruppe um Günter Schiepek seit den 90er Jahren Selbstorganisationsprozesse in Psychotherapien nachzuweisen, zu visualisieren und wenn möglich Veränderungsprozesse in ihrer Entstehung zu beschreiben. Inzwischen liegen zwei vollständig mittels Sequentieller Plananalyse kodierte Psychotherapien vor¹⁰⁷, die eine umfassende zeitreihenanalytische Beschreibung zulassen (Köhler 1992, Richter 1993, Gruhl 1995, Schardt 1996). Insbesondere für die Therapie I wurden inzwischen verschiedene Analysen durchgeführt und veröffentlicht (z.B. Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Kowalik et al. 1997, Schiepek et al. 1997, Strunk & Schiepek 2002), die durchgängig die komplexe aber gleichzeitig auch geordnete Struktur der psychotherapeutischen Prozesse belegen.

Ziel der folgenden Analysen ist es daher zum einen die bisher vorliegenden Ergebnisse einer systematischen Überprüfung und Replikation zu unterziehen und dabei Querverbindungen zwischen den verschiedenen Analysemethoden und Ergebnissen zu ziehen. Zum anderen soll die Auswertung auf die zweite, bisher nicht untersuchte Therapie ausgeweitet werden. Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Therapien sollen dabei systematisch herausgearbeitet werden. Dies ist auch der Grund für die umfangreiche Replikation zum Teil bereits durchgeführter Analysen (wie z.B. bei Kowalik et al. 1997 oder bei Strunk & Schiepek 2002). Eine saubere Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist nämlich nur dann gegeben, wenn auch tatsächlich die gleichen Analyseschritte mit den gleichen Methoden auf die Datensätze angewendet werden.

In diesem Sinne verfolgt die Betrachtung der beiden Psychotherapien eine multimethodale Perspektive, bei der Methoden zur Identifikation von Ordnungsstrukturen in nominalen Datensätzen ebenso zum Einsatz kommen wie Algorithmen zur

¹⁰⁷ Großer Dank gebührt dem damaligen Leiter der Psychotherapeutischen Ambulanz, Herrn Dr. Peter Kaimer, sowie dem Inhaber des Lehrstuhls für Klinische Psychologie, Herrn Prof. Dr. Hans Reinecker, für die Möglichkeit, diese Studie durchführen zu können sowie für die freundliche Unterstützung der Forschungsarbeiten, Herrn Prof. Dr. Lothar Laux (Lehrstuhl für Diagnostische und Differentielle Psychologie) für die Bereitstellung der Infrastruktur des Videolabors dieses Lehrstuhls, und Frau Prof. Dr. Astrid Schütz (damals Mitarbeiterin von Prof. Laux in Bamberg, heute Professorin für Sozialpsychologie in Chemnitz) für die Mithilfe bei der Erstellung der Plananalysen. Die aufwändigen Kodierungen der Sequentiellen Plananalysen wurden von Frau Dipl.-Psych. Monika Köhler und Herrn Dipl.-Psych. Klaus Richter (Therapie I) und von Frau Dipl.-Psych. Cornelia Schardt und Frau Dipl.-Psych. Petra Gruhl (Therapie II) durchgeführt. Auch ihnen sei herzlich für die wertvolle Arbeit gedankt.

Bestimmung der fraktalen Dimensionalität und der größten Lyapunov-Exponenten (LLE). Zudem werden als nichtstationäre Maße die Pointwise Dimensionalität (PD2) und der lokalen LLE eingesetzt, um Muster der Musterveränderung in der komplexen Dynamik aufzuspüren.

Die folgenden Kapitel stellen zunächst die beiden Therapien näher vor und gehen auf die jeweils identifizierten Planstrukturen ausführlich ein. Die Partiturdarstellung Sequentieller Plananalysen bildet dann die Datengrundlage für einen ersten Vorstoß zur Identifikation organisierter Komplexität im interaktionellen Geschehen. Die metrischen Zeitreihendaten erlauben dann einen tieferen Einblick in die komplexe fraktale Struktur der erhobenen Prozesse und in das wechselnde Zusammenspiel von Klientin und Therapeut im zeitlichen Verlauf der Therapien. Mit der Analyse der größten Lyapunov-Exponenten verdichten sich dann die Belege dafür, dass tatsächlich chaotische und damit selbstorganisierte Prozesse betrachtet werden. Diskontinuierliche Sprünge in den lokalen LLE verweisen dabei auf Phasenübergänge bzw. auf Destabilisierungen in der dynamischen Struktur. Lineare Regressionsmodelle zeigen abschließend, von welchem Therapeuten- und Klientinnenverhalten solche Destabilisierungen begleitet werden.

11.1 Die Sequentielle Plananalyse zweier Psychotherapien

Die folgenden Analysen zu Selbstorganisationsprozessen in Psychotherapien basieren auf der vollständigen Kodierung einer 13 und einer 9 Sitzungen umfassenden Einzeltherapie. Da die Plananalyse der längeren Therapie bereits 1993 abgeschlossen wurde, wird sie im Folgenden durchgängig als Therapie I bezeichnet. Die Therapie II wurde hingegen erst drei Jahre später, im Rahmen einer Sequentiellen Plananalyse kodiert. Die Behandlungen wurden von einem erfahrenen männlichen Therapeuten durchgeführt und waren am Ansatz der systemisch-lösungsorientierten Kurzzeittherapie (z.B. de Shazer 1985, de Shazer et al. 1986, de Shazer 1989; vgl. auch S. 472ff.) orientiert. In beiden Fällen handelt es sich bei den Klientinnen um Frauen, deren Problematik und Behandlungsziele sich vorwiegend auf die Beziehungsgestaltung mit ihrer sozialen Umwelt (Partnerschaft, Familie, Eltern) bezogen. Die Problematik wie auch die beobachtbaren Veränderungen spiegelten sich damit unter anderem auch im Beziehungsverhalten zum Therapeuten wider, so dass das therapeutische Interaktionsgeschehen sowohl Ansatzpunkt und Schauplatz von Interventionen als auch Gradmesser erzielter Behandlungsfortschritte war (vgl. Strunk & Schiepek 2002). Trotz dieser Ähnlichkeiten handelte es sich bei den beiden Fällen um durchaus unterschiedliche Psychotherapien mit jeweils eigener Dynamik und recht unterschiedlichem Verlauf. Insbesondere scheint die Therapie I insgesamt weniger erfolgreich verlaufen zu sein als die kürzere Therapie II:

- **Therapie I.** Anliegen der Klientin (28 Jahre alt, verheiratet, Mutter eines zweijährigen Sohnes) war es, sich besser behaupten und wehren zu können, insbesondere den Ansprüchen ihres Mannes, ihrer Herkunftsfamilie und ihren Schwiegereltern gegenüber. Oft hatte sie vergeblich versucht, die Anerkennung ihrer Eltern zu gewinnen. Diese fand sie auch bei ihren Schwiegereltern nicht. Von ihrer Schwiegermutter fühlte sie sich abgelehnt und ihrer Einmischung in die Kindererziehung hilflos ausgeliefert.

Wenn sie sich gegen Forderungen wehrte, hatte sie hinterher Schuldgefühle aufgrund der Verantwortung, die Mutter und Schwiegermutter ihr für die eigenen körperlichen Belastungsreaktionen zuschrieben. Von ihrem Mann bekam sie in diesen Konflikten nicht die erhoffte Unterstützung. Speziell in Konfliktsituationen mit Eltern und Schwiegereltern sowie dann, wenn sie sich mit der Versorgung ihres zweijährigen Sohnes überfordert fühlte, traten starke vegetative Beschwerden auf (Magenprobleme, Herzrasen, Schweißausbrüche und Kreislaufstörungen).

Mit Hilfe der Therapie wollte sie mehr Bezug zu sich selbst, zu ihren Gefühlen (nicht zuletzt auch zu ihrer Wut) und zu ihren Bedürfnissen herstellen. Thema war es immer wieder, ob und wie sie etwas für sich selbst tun und ob sie sich dies überhaupt erlauben könnte – angesichts vieler erlebter Ansprüche und Bedürfnisse, aber auch angesichts ihres fordernden Gewissens. Auf die „Wunderfrage“ hin („Stellen Sie sich vor, es käme über Nacht eine Fee und Ihre Probleme wären gelöst ...“) gab sie an, keine körperlichen Beschwerden, keine Krankheitsängste, phobischen Ängste und Zukunftsängste mehr zu haben, mehr Energie und Unternehmungslust zu spüren, fröhlicher und gelöster zu sein und sich nicht mehr alles gefallen zu lassen, d.h. sich vor allem gegenüber ihrer Herkunftsfamilie und ihren Schwiegereltern mehr durchsetzen zu können. Konkretisiert an traumatischen Erlebnissen mit früheren Krankheiten und medizinischen Eingriffen sowie an Erziehungsfragen ging es oft ums Alleinsein und um ihren Wunsch nach Solidarität und Unterstützung.

Ab der 9. Sitzung berichtete sie über einige Veränderungen. So nehme sie sich jetzt regelmäßig etwas Zeit für sich, achte auf ihre Ernährung, engagiere sich in einer Mütterinitiative, habe Weiterbildungskurse begonnen und sei insgesamt zufriedener geworden. Im Laufe der Behandlung gelang es ihr, eine realistischere Sichtweise zu entwickeln und die Hoffnung zu relativieren, dass Eltern und Schwiegereltern sie doch noch lieben und schätzen würden, wenn sie nur alle ihre Anforderungen erfüllte. Sie lernte, sich stärker von Forderungen anderer abzugrenzen, sich unabhängiger von deren Wertschätzung zu machen und mehr für sich selbst zu sorgen. Zum Ende der Therapie hatte sie für ihren Sohn eine Krabbelgruppe gefunden, begann eine berufliche Weiterqualifizierung, hatte neue soziale Kontakte geknüpft und plante, mit Mann und Sohn in einen anderen Ort zu ziehen, weg aus dem Einflussbereich der Eltern. Ihre körperlichen Beschwerden hatten sich reduziert und sie hatte das Gefühl, mehr Kontrolle über ihre Krankheitsängste zu haben.

Auf einer 75 Items umfassenden Beschwerdeliste reduzierten sich die mit „sehr stark ausgeprägt“ angegebenen Symptome von 24 auf 8 (zu einem sechsmonatigen Katamnesezeitpunkt blieb es bei 8 Nennungen). Ihre drei größten Problembereiche bezeichnete sie als „teilweise gelöst“ (Schwierigkeiten mit den Eltern und Schwiegereltern), „teilweise gelöst“ (Angst, Tachykardie, Magenschmerzen) und „gelöst“ (Schwierigkeiten mit dem Partner und der Familie). Die Einschätzung ihrer Lebenszufriedenheit (auf einem verschiedenen Aspekte thematisierenden Fragebogen) ändert sich allerdings nur unwesentlich.

- **Therapie II.** Die Klientin war zu Therapiebeginn Mitte dreißig, berufstätig und lebt in zweiter Ehe mit ihrem Mann und ihrem Sohn aus erster Ehe. Aus der Beziehung zu einem anderen Mann waren ihr zunehmend Konflikte erwachsen, zu deren Lösung sie in der Therapie „Denkanstöße“ er-

hoffte. Auf Grund der Partnerschaftsproblematik fühlte sich die Klientin beständig unter Druck gesetzt und litt unter Schuldgefühlen. Hinzu kam ein äußerst angespanntes Verhältnis zu ihrem Vater, von dem sie sich rücksichtslos und in wenig einfühlsamer Weise behandelt fühlte. Die Klientin zeigte zum Beginn der Therapie Tendenzen sich dem Druck der aus der Beziehungsproblematik erwachsen war nach Möglichkeit zu entziehen. Insbesondere war sie in Hinblick auf ihre eigenen Wünsche, Bedürfnissen und Möglichkeiten diese umzusetzen zutiefst unsicher. So erlebte sich die Klientin beständig schwankend zwischen defensiver Zurückgenommenheit und verletzt ohnmächtigem Aufbegehren. Dieses ambivalente Konfliktleben zeigte sich in einem immer wiederkehrenden Harmoniebedürfnis, wie auch in fortdauernden Ohnmachts- und Inkompetenzgefühlen.

Die Klientin erlebte sich unter dem Eindruck, sich den selbstwertrelevanten Implikationen wichtiger Auseinandersetzungen nicht stellen zu können als affektiv reaktant und zutiefst verunsichert. Obwohl sie sich selbst mitunter als aufgeschlossen und kontaktfreudig beschrieb, war ihr doch bewusst, dass sie tiefer gehenden emotionalen Beziehungen eher auszuweichen versuchte. Insgesamt sah sich die Klientin nicht dazu in der Lage in Hinblick auf ihre Beziehungsproblematik zu einer Entscheidung zu kommen. Sie berichtete, sich von beiden Männern sowohl angesprochen als auch belastet zu fühlen. Neben der Partnerschaftsproblematik standen damit auch Fragen nach Klärung ihres Lebensentwurfs und zentraler Lebensziele im Mittelpunkt der Therapie. Zudem wurden agoraphobische Verhaltensmuster bearbeitet.

Erste Verbesserungen der Problematik zeigten sich gegen Ende der 7. Sitzung. Die positiven Veränderungen begannen sich dann ab Beginn der 8. Sitzung zu stabilisieren. Sie berichtete davon sich nun entschieden zu haben, äußerte Optimismus auch hinsichtlich möglicher negativer Konsequenzen, die aus der Entscheidung erwachsen könnten. Insgesamt beschrieb sie sich gegen Ende der Therapie als zunehmend sicherer und emotional gefestigt. Selbstbewusst war sie nun in der Lage auch die Unbeholfenheit ihres Partners wahrzunehmen. In Hinblick auf ihre Zukunft äußerte sie sich zuversichtlich so schnell nicht erneut in Entscheidungsschwierigkeiten zu geraten.

Auf der 75 Items umfassenden Beschwerdeliste zeigten 7 Items zum Ende der Therapie sehr deutliche Verbesserungen und weitere 10 Items deutliche Verbesserungen. Ihre drei wichtigsten Therapieziele bezeichnete sie als „erreicht“ („Entscheidungen hinsichtlich ihrer Partnerschaft(en) treffen“), „erreicht“ („Nicht mehr unter zwiespältigen Gefühlen leiden wollen“) und „teilweise erreicht“ („Unsicherheit reduzieren“). Die Einschätzung ihrer Lebenszufriedenheit zeigte im Verlauf von drei Messzeitpunkten (Therapiebeginn, Therapieende, 6-Monats-Katamnese) auf fast allen Skalen eine Zunahme der Zufriedenheit. Auf den von -5 bis +5 reichenden Skalen, zeigte sich eine Verbesserung von -4 auf +2 für „Individuelles Wohlbefinden“, von -3 auf einen Wert von +3 für „Partnerschaft und Ehe“, von -5 auf +3 für „Familie“. Im Bereich „Arbeit und Beruf“ ergab sich eine Verbesserung von -4 auf 0 und für die „Allgemeine Lebenszufriedenheit“ von 0 auf +4. Eine geringe Verschlechterung zeigt sich im Bereich „Freizeit“ von +5 auf +2 (vgl. Schiepek & Schulte 2001).

Beide Sequentiellen Plananalysen kommen inhaltlich zu identischen Selbstdarstellungsdimensionen

Die insgesamt vier Plananalysen wurden von einem Diplomanden und drei Diplomandinnen durchgeführt (Köhler 1992, Richter 1993, Gruhl 1995, Schardt 1996). Die Unterschiede zwischen den beiden Therapien beschränken sich neben der konkreten sequentiell erfassten Dynamik und den jeweils kodierten Operatoren auf die identifizierten Oberpläne. Nach detaillierter Analyse gelangten die Analysierenden der Therapie II zu der Auffassung, dass die Oberpläne und Selbstdarstellungsdimensionen sinnvoll und angemessen durch annähernd die gleichen Kategorien beschrieben werden können wie die der ersten Therapie. Damit stimmen die insgesamt sieben Oberpläne der Klientinnen und die insgesamt zehn Oberpläne des Therapeuten in beiden Therapien weitgehend und die drei Selbstdarstellungsdimensionen der Klientinnen und die vier Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten vollständig überein.

Die folgende Tabelle 21 gibt einen Überblick über die Anzahl der Operatoren, Unterpläne, Oberpläne und Selbstdarstellungsdimensionen der beobachteten Personen (ausführliche Darstellungen der Planstrukturen finden sich im Anhang ab S. 701ff.). Zwischen den beiden Therapien zeigen sich dabei zum Teil dramatische Unterschiede in der Anzahl kodierter Operatoren (Beispiele für Operatoren finden sich in Tabelle 22).

	Therapeut	Klientin
Therapie I		
Anzahl Selbstdarstellungskategorien	4	3
Anzahl Oberpläne	10	7
Anzahl Unterpläne	43	33
Anzahl Operatoren	384	702
davon...		
verbale Operatoren	287 (74,7%)	598 (85,2%)
Gestik	51 (13,3%)	39 (05,4%)
Körperhaltung	13 (03,4%)	25 (03,6%)
Blickrichtung	18 (04,7%)	15 (02,1%)
paraverbale Operatoren	21 (05,5%)	25 (03,6%)
Durchschnittliche Anzahl an Operatoren pro Unterplan	8,93	21,27
Durchschnittliche Anzahl an Operatoren pro Oberplan	38,40	100,29
Durchschnittliche Anzahl an Operatoren pro Selbstdarstellungskategorie	96,00	234,00
Therapie II		
Anzahl Selbstdarstellungskategorien	4	3
Anzahl Oberpläne	10	7
Anzahl Unterpläne	40	28
Anzahl Operatoren	1104	1157
Durchschnittliche Anzahl an Operatoren pro Unterplan	27,60	41,32
Durchschnittliche Anzahl an Operatoren pro Oberplan	110,40	165,29
Durchschnittliche Anzahl an Operatoren pro Selbstdarstellungskategorie	276,00	385,67

Tabelle 21:

Strukturelle Merkmale der beiden Plananalysen

Überblick über die Anzahl der verbalen und nonverbalen Operatoren, Unterpläne, Oberpläne und Selbstdarstellungskategorien des Therapeuten und der Klientinnen in Therapie I und II. Für die Therapie II liegt zwar eine detaillierte Aufschlüsselung der nonverbalen Operatoren nach Kopf-, Blick-, Arm-, Hand-, Bein- und Körperbewegungen, Körperhaltung, Mimik und paraverbalen Merkmalen (z.B. Sprachfluss, Diktion, Stimmlage, Intonation) vor, die sich jedoch nicht so wie bei Therapie I in klaren prozentualen Zuordnungen ausdrücken lassen.

Im Rahmen der Therapie II liegt eine weitaus höhere Anzahl an Operatoren pro Plan vor, was zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass bei dieser Therapie ein besonders starker Akzent auf die Kodierung von Körperhaltung und Gestik gelegt wurde.

Oberplan	5 Fordere Hilfe vom Therapeuten
Unterplan	17 VERLANGE RATSCHLÄGE Klientin zeigt sich äußerst unsicher in ihren Entscheidungen und erwartet Lösungshilfen, Empfehlungen oder Tips vom Therapeuten; teilweise fordert sie ihn direkt auf, ihr Ratschläge zu geben bzw. überlässt ihm die Entscheidung
Operatoren	<p>112 habe gute Tips bekommen: bin nicht verantwortlich für Eltern</p> <p>142 „wie soll ich mich verhalten?“</p> <p>192 „ich fühle' mich so da drinnen, weiß nicht, wie rauskommen...“</p> <p>199 Gefühl: „ich muss Eltern helfen...“; Logik: „das will ich aber nicht...“; „schönstes Dilemma“</p> <p>207 schlechtes Gewissen „erwischt mich eh' wieder“... „Wie soll ich's an der Nase herumführen?“</p> <p>254 „...die Frage ist nur: wie soll ich das durchziehen? Der Kleine lässt mich nicht lernen... das ist das Problem“</p> <p>338 „...weiß nicht, wie ich mich verhalten soll“</p> <p>359 „ist das normal?“</p> <p>360 stellt Erziehungsfragen, will Tips</p> <p>362 Mann meint, sie solle ihre Bedürfnisse vor die ihres Sohnes stellen; „ich weiß nicht“</p> <p>398 richtiges Verhalten? „ich möchte nicht zurückschreien, aber ich möchte auch nicht nix sagen...“</p> <p>400 „wie soll ich reagieren?“</p> <p>453 lässt sich von Mann beeinflussen (bzgl. Umzug nach Bamberg): „das macht mich schwach...; denk' ich mir: vielleicht hat er ja recht...“</p> <p>469 erfragt direkt Rat: „was glauben Sie, dass besser wär'? Was soll ich austesten?“</p> <p>495 „einerseits...“ (entschlossen), „andererseits...“ (unsicher)</p> <p>536 „ich wollte Sie fragen, ob Sie meinen...“</p> <p>902 lehnt sich zurück, erwartungsvoll</p> <p>924 Hände über Hüfte/im Schoß (nach Erklärung, schaut ihn an)</p>

Tabelle 22: Beispiele für die Benennung von Operatoren eines Unterplans der Klientin der Therapie I

Die Tabelle gibt einen Überblick über einige Operatoren zum Unterplan 17 der Klientin der Therapie I. Dabei sind sowohl verbale (z.B. Operator-Nr. 142) als auch non-verbale Operatoren (Operator-Nr. 924) ersichtlich. Zusätzlich zu ihrer Bezeichnung werden alle Unterpläne noch durch knappe Beschreibungen charakterisiert (Tabelle nach Schiepek & Strunk 1994, S. 155).

Die folgende Tabelle 23 enthält die Bezeichnungen der beiden oberen Hierarchiestufen, auf die sich alle weiteren Auswertungen beziehen (Oberpläne und Selbstdarstellungsdimensionen). Die Tatsache, dass es sich jeweils um die gleichen Kategorien handelt, erleichtert einen direkten Vergleich zwischen den Kommunikationsprozessen der beiden Therapien.

Bereits auf der Ebene der Oberpläne lassen sich Beziehungen zur Selbstdarstellungsforschung (z.B. Tedeschi, Lindskold & Rosenfeld 1985, Mummendey 1987) herstellen, die große Übereinstimmungen mit der von Friedlander und Schwarz (1985) vorgenommenen Aufschlüsselung von in Psychotherapien beobachtbaren Selbstdarstellungskategorien aufweisen. Der Oberplan „Demonstriere Stärken und Kompetenzen“ entspricht dabei z.B. der Strategie der „Self-Promotion“ aber auch die Strategien der „Ingratiation“, der „Supplication“, der „Exemplification“ und des „Facework“ lassen sich in den Oberplänen identifizieren (für eine Interpretation der Plananalyse im Lichte der Selbstdarstellungsforschung vgl. Schütz et al. 1997).

Therapeut		Klientin	
SDD	Oberpläne	SDD	Oberpläne
I. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	1. Zeige, dass du kompetent genug bist, ihr bei der Lösung ihrer Probleme zu helfen	I. Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir	1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen (<i>Self-Promotion</i>)
	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung		2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast (<i>Ingratiation</i>)
	3. Zeige Dich einfühlsam		3. Therapie I: Sei eine gute Klientin / schaffe eine gute Beziehung zum Therapeuten 3. Therapie II: Zeige Deine menschlichen Qualitäten / Zeige, dass Du ein guter Mensch bist, vorbildlich in ethischer Hinsicht (<i>Exemplification</i>)
	4. Motiviere sie, weiter an ihren Problemen zu arbeiten	II. Hilflosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke	4. Therapie I: Zeige, dass Dein Leiden stark außenbeeinflusst ist 4. Therapie II: Demonstriere Hilflosigkeit/Bemühe Dich um Mitleid / Unterstützung (<i>Supplication</i>)
II. Konfrontation, Verunsicherung	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	III. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	5. Therapie I: Fordere Hilfe vom Therapeuten 5. Therapie II: Erkläre Probleme / Mache deutlich, dass mangelnde Fortschritte nicht an Dir liegen (<i>Facework</i>)
	6. Konfrontiere sie mit ihrem eigenen Verhalten und mit Verhaltensalternativen		6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems
III. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	7. Aktiviere sie	IV. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems / Widerstand
	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist		
IV. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit auf bestimmte Inhalte		
	10. Gib ihr Struktur		

Tabelle 23: Oberpläne (OP) und Selbstdarstellungsdimensionen (SDD) der beiden Therapien

Bezeichnungen der Oberpläne (jeweils 10 für den Therapeuten, 7 für die Klientinnen) und der Selbstdarstellungsdimensionen (jeweils 4 für den Therapeuten, 3 für die Klientinnen). Die Bezeichnungen der Oberpläne sind in Therapie I und II weitestgehend identisch. Die Selbstdarstellungsdimensionen sind in beiden Therapien vollständig identisch. Eine ausführliche Darstellung der vollständigen Planstrukturen finden sich im Anhang ab S. 701ff. Die Oberpläne wurden für diese Darstellung neu durchnummeriert.

Eine wichtige inhaltliche Bedeutung kommt in beiden Therapien der dritten Selbstdarstellungsdimension der Klientin zu. Diese wird aufgespannt zwischen den beiden Gegensätzen von „Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines

Problems“ und „Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems / Widerstand“ und operationalisiert damit den Grad der aktiven Problembearbeitung durch die Klientin. Die Dimension besitzt damit eine starke inhaltliche Nähe zum Konstrukt der „Aufnahmebereitschaft“ bzw. „Offenheit“, wie es im *Generic Model* an prominenter Stelle verortet werden kann (vgl. Abbildung 138, S. 484). Noch einmal verhaltensnäher wird das Konstrukt zudem vom Unterplan „Sei aufnahmebereit“ (Unterplan 28 in Therapie I und Unterplan 22 in Therapie II; vgl. Tabelle 45, S. 707 und Tabelle 47, S. 714) erfasst. Im Einklang mit der von Ambühl und Grawe (1988) festgestellten starken Bedeutung non-verbaler Signale, mit denen Klientinnen und Klienten Hinweise auf ihre Aufnahmebereitschaft geben, zeigt sich für den entsprechenden Unterplan auch eine entsprechend starke Dominanz dieser Operatoren (vgl. die folgende Abbildung 153).

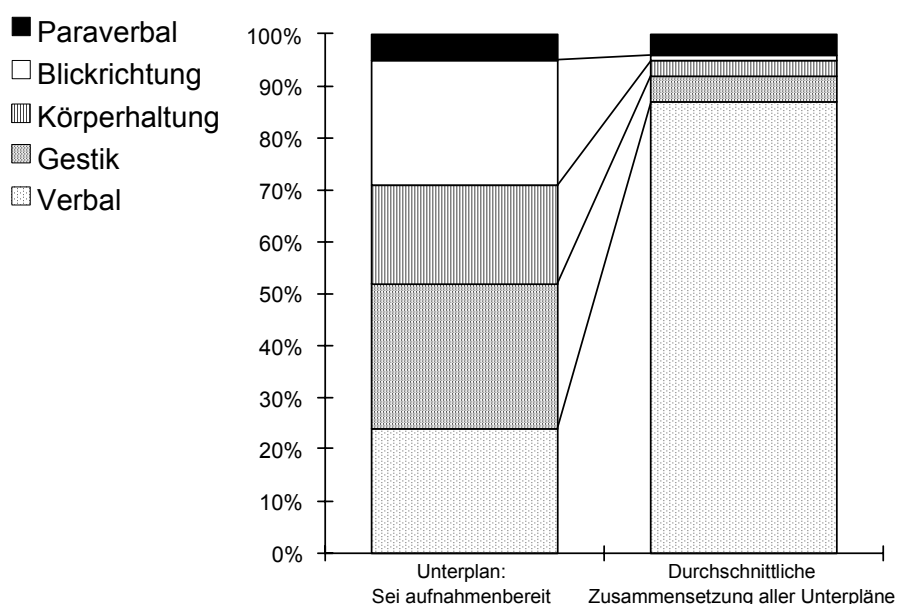


Abbildung 153: Zusammensetzung des Unterplans 28 (Therapie I): „Sei aufnahmebereit“

Der Vergleich der Zusammensetzung des Unterplanes zur Aufnahmenbereitschaft der Klientin in Therapie I mit der durchschnittlichen Zusammensetzung der Unterpläne zeigt, wie stark non- und paraverbale Anteile in diesem Plan vertreten sind (vgl. Schiepek et al. 1995d).

Die Rückmeldephasen gehorchen anderen Spielregeln als die Therapiesituation

Wie oben erwähnt, wurden die untersuchten Psychotherapien nach dem Konzept der lösungs- und ressourcenorientierten Ansatzes von Steve de Shazer und Insoo Kim Berg durchgeführt (z.B. de Shazer 1985, de Shazer et al. 1986, de Shazer 1988a, 1988b, 1989). Für diese Vorgehensweise ist ein Setting charakteristisch, welches einem Team ermöglicht, die Sitzung in einem Nebenraum (z.B. hinter der Einwegscheibe oder am Videomonitor) mitzuverfolgen. Der Therapeut bzw. die Therapeutin zieht sich dann gegen Ende der Sitzung mit dem Team zurück, um gemeinsam mit diesem eine Rückmeldung an den Klienten, die Klientin vorzubereiten. Diese enthält z.B. Anregungen für Verhaltensexperimente oder Übungen für die Zeit bis zum nächsten Therapietermin, wertschätzende Komplimente, Denkanstöße (z.B. in Form eines Reframings) oder anerkennende und unterstützende Äuße-

rungen zur momentanen Problematik und Lebenssituation. Nach der Beratung in Team kehrt der Therapeut, die Therapeutin zum Klienten, zur Klientin zurück und trägt diese – meist in hypnotherapeutischer Art ausformulierte und mit assoziativen Ankern versehene – Rückmeldung vor. Damit entsteht eine Kommunikationssituation, die von der einer dialogischen Gesprächssituation gravierend abweicht. Ein Klient, eine Klientin, befindet sich hier, anders als im therapeutischen Gespräch, primär in der Rolle des Zuhörenden.

In Therapie I konnte für die Klientin festgestellt werden, dass in diesen Rückmeldephasen die Pläne, welche eine Suche nach Zuwendung und Anerkennung beinhalten (*Self-Promotion* und *Ingratiation*) ebenso wie Pläne, die mit Externalisierung, Hilflosigkeitsdarstellung und Suche nach Unterstützung zu tun hatten, nach Zahl und Intensität deutlich reduziert waren. Im Gegensatz dazu war die Intensität von Plänen, die sich auf Veränderung und Problembearbeitung richteten, im Vergleich mit dem Durchschnitt der Gesprächsphasen leicht erhöht (vgl. die folgende Abbildung 154 und Schiepek et al. 1995d).

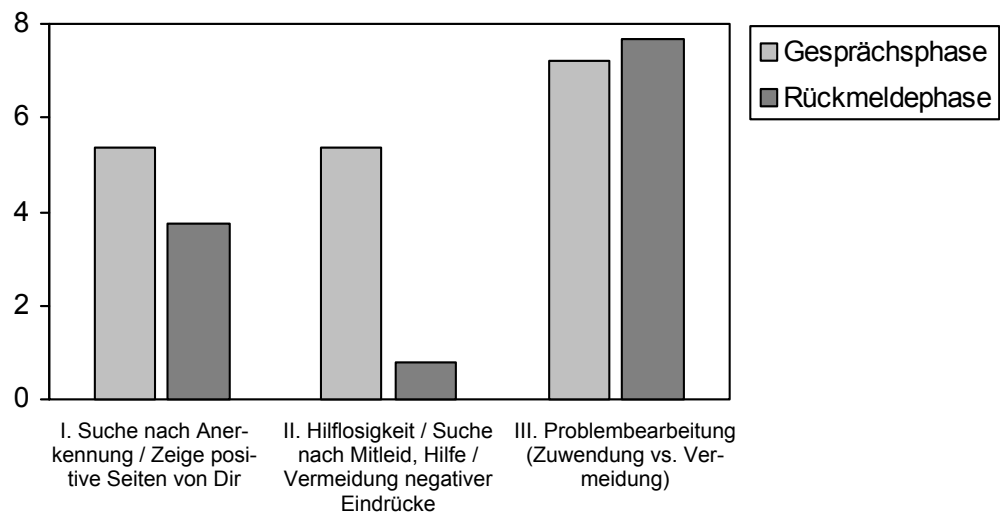


Abbildung 154: Vergleich der Mittelwerte der Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin – Therapie I

Vergleicht man die Mittelwerte der drei Selbstdarstellungskategorien der Klientin der Therapie I für die Gesprächsphase mit den entsprechenden Werten der Rückmeldephase, ergeben sich erwartbare Unterschiede, die natürlich aufgrund der großen Anzahl an Messzeitpunkten hochsignifikant sind.

Für die Zeitreihenanalysen werden die Rückmeldephasen nicht berücksichtigt und die Sitzungen aneinander gefügt

Vor dem Hintergrund der deutlich unterschiedlichen Kommunikationsstruktur in den kurzen (weniger als 5 Minuten dauernden) Rückmeldephasen wurden diese für die weiteren Analysen nicht berücksichtigt. Die im Vergleich zur Rückmeldung erheblich längeren Gesprächsphasen wurden dagegen für eine zeitreihenanalytische Betrachtung direkt aneinandergefügt. Inhaltlich ist ein solches Vorgehen mit der Fokussierung auf den Kommunikationsprozess der Interaktionspartner begründet. Hier interessieren eben nicht die Veränderungen und Aktivitäten, welche die Klientinnen im Alltag durchlaufen. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass sich die Attraktoren der Kommunikation zu Beginn einer neuen Sitzung

meist sehr schnell wieder herstellen. Trotz des zeitlichen Abstands zwischen den Sitzungen setzen Klientin und Therapeut ihren Beziehungsprozess dort fort, wo sie ihn in der letzten Sitzung beendet haben. Nichtlineare Analysen der Datensätze stützen diese Annahme indem gezeigt werden kann, dass nichtlineare Sprünge in der chaotischen Dynamik der Planzeitreihen deutlich öfter *innerhalb* der Sitzungen stattfanden als *zwischen* den Sitzungen (d.h. an der Klebestelle zwischen zwei Sitzungen) (Kowalik et al. 1997).

Ohne die Rückmeldephasen umfassen die therapeutischen Kommunikationsprozesse 3.450 (Therapie I) bzw. 2030 (Therapie II) Messintervalle, mit Rückmeldephasen sind es 3.922 (Therapie I) bzw. 2161 (Therapie II).

11.2 Organisierte Komplexität in Planpartituren

Die in Abbildung 149 (S. 520) exemplarisch dargestellte Partitur der Oberpläne der Therapie I beruht auf der Vorstellung, dass Pläne in unterschiedlichen Konstellationen auch verschiedenartig wirken können, ähnlich wie ein Ton in unterschiedlichen klanglichen Kontexten zu jeweils anderen Harmonien beiträgt. Diese Perspektive entspricht der in der Plananalyse üblichen Annahme der Mehrfachdeterminiertheit: Menschliches Handeln kann und wird meist durch mehrere, einander mitunter sogar widersprechende Pläne konstituiert und kann daher nur aus der jeweiligen Konstellation von aktivierten Plänen angemessen verstanden werden.

Die Betrachtung von Planpartituren bietet jedoch auf den ersten Blick ein unordentliches, irreguläres Bild. Dennoch kann vermutet werden, dass bei der Anordnung von Plankonstellationen nicht der pure Zufall am Werk ist, sondern menschliche Kommunikation sinnvoll und geordnet abläuft. Wie ausgeprägt aber ist diese Ordnung? Es ist das Ziel der folgenden Analysen auf diese Frage gleich mehrere Antworten zu geben. Zunächst wird es dabei um Hinweise auf ein geordnetes Verhalten gehen, wie es aus der Häufigkeitsverteilung der Plankonstellationen abgelesen werden kann. Über bestimmte Merkmale der Häufigkeitsverteilungen von Plankonstellationen einzelner Therapiesitzungen gelingt dann eine rudimentäre Quantifizierung der Ordnung bzw. Unordnung dieser Sitzungen. Eine Quantifizierung der dynamischen Ordnung wird dann in einem weiteren Analyseschritt vorgenommen.

11.2.1 Ordnung im Chaos: Die Häufigkeitsverteilungen der Plankonstellationen

Da für beide Therapien dieselbe Anzahl an Oberplänen, sowohl für die Klientinnen als auch für den Therapeuten festgelegt wurden, gelten die folgenden Überlegungen sowohl für die Therapie I als auch für die Therapie II. In beiden Fallbeispielen realisieren der Therapeut jeweils zehn und die Klientin jeweils sieben Oberpläne. Da jeder Plan im Rahmen einer Partiturdarstellung zwei Zustände annehmen kann, nämlich aktiv und inaktiv, ergeben sich für die 10 Pläne des Therapeuten $2^{10} = 1.024$ mögliche Plankonstellationen. Für die Klientinnen sind es jeweils $2^7 = 128$. Betrachtet man beide zusammen, so kommt man gar auf $2^{17} = 131.072$ denkbare Plankonstellationen. Insbesondere für die Klientin ist nun zu erwarten, dass jede der 128 möglichen Konstellationen in den vorliegenden Daten auch nachgewiesen werden kann. Immerhin umfasst der Datensatz der Therapie I 3.450 und der der Therapie II 2.030 Messzeitpunkte. Für beiden Therapien besteht daher auch eine gute Chance sämtliche Konstellationen des Therapeuten versammelt zu finden. Die 131.072 Plankonstellationen, die für die Kombination aus Klientin und Therapeut möglich wären, sind jedoch wegen der weit geringeren Zahl an Beobachtungspunkten in keiner der beiden Therapien realisierbar.

Die theoretische Auftretenswahrscheinlichkeit einer einzelnen Konstellation ist zunächst der Kehrwert aller möglichen Konstellationen, also z.B. für eine der Klientinnen $1/128 = 0,0078$. Wenn nun im Rahmen der Therapie I 3.450 Messzeitpunkte vorliegen kann vermutet werden, dass jede der 128 Plankonfigurationen $0,0078 * 3.450 = 26,91$, also rund 27 mal im Verlauf der gesamten Therapie beobachtet werden kann.

Als Nullhypothese die Gleichverteilungsannahme der Plankonstellationen

Diese Überlegung setzt die Annahme einer Gleichverteilung voraus. Da menschliches Verhalten z.B. persönlichkeitsbedingt bestimmte präferierte Muster aufweisen dürfte, soll die Annahme der Gleichverteilung hier lediglich als kontrastierende Nullhypothese dienen und die Berechnung von Konfidenzintervallen ermöglichen. Wenn Verhaltensmuster schon nicht gleichverteilt sein dürften, könnten sich die Häufigkeitsunterschiede immerhin mit einiger Plausibilität noch innerhalb eines 99%-Konfidenzintervalls abspielen – eine Annahme, die auch aufgrund ihrer Einfachheit als kontrastierende Folie gegenüber den tatsächlich empirisch auftretenden Verteilungen dienen soll.

Seltene Ereignisse, wie hier das Vorkommen einer bestimmten Plankonstellation bei relativ vielen Beobachtungen ($n_I = 3.450$), sind poissonverteilt nach der Gleichung:

Gleichung 68: Poissonverteilung

$$P(\text{Auftrittshäufigkeit } k \text{ der Plankonstellations } X) = \frac{(np)^k}{e^{np} k!}$$

Die Wahrscheinlichkeit für das k -fache Auftreten einer Plankonstellations X berechnet sich danach aus der Anzahl der Beobachtungen n und der Wahrscheinlichkeit für die fragliche Plankonstellations p . Auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeitsverteilung aus Gleichung 68 lässt sich dann ein Konfidenzintervall ermitteln, welches für eine Vertrauensgrenze von 99% angibt, wie häufig eine bestimmte Konstellation maximal bzw. minimal vorkommen dürfte.

Therapie I $n_I = 3.450$	Möglichkeiten	Wahrscheinlichkeit	Maximal mögliche Anzahl unterschiedlicher Plankonstellationen	Erwartete Häufigkeit	Konfidenzintervall (99%)		
					min	max	
Therapeut	2^{10}	1.024	0,0009766	1.024	3,37	0	8
Klientin	2^7	128	0,0078125	128	26,95	15	40
Gesamt	2^{17}	131.072	0,0000076	3.450	0,03		
Therapie II $n_{II} = 2.030$							
Therapeut	2^{10}	1.024	0,0009766	1.024	1,98	0	6
Klientin	2^7	128	0,0078125	128	15,86	6	26
Gesamt	2^{17}	131.072	0,0000076	2.030	0,02		

Tabelle 24:

Erwartete Häufigkeitsverteilungen für beide Therapien

Übersicht über die zu erwartenden Häufigkeitsverteilungen von Plankonstellationen für den Therapeuten und die Klientinnen beider Therapien.

Wie die vorstehende Tabelle 24 zeigt, ist für den Therapeuten in der ersten Therapie schon ein neunmaliges Vorkommen einer bestimmten Plankonstellations so unwahrscheinlich, dass es jenseits der durch das Vertrauensintervall festgelegten Grenze liegt. In der Therapie II genügt bereits ein siebenmaliges Vorkommen einer Plankonstellations. Für die Klientin der ersten Therapie sollten Auftretenshäufigkeiten kleiner 15 bzw. größer 40 erstaunen: sie liegen bei einer Auftretenswahrscheinlichkeit von unter 1%.

Mit 10 Oberplänen könnte der Therapeut 1.024 mögliche Plankonstellationen realisieren. Es fanden sich jedoch nur 339 in der Therapie I und in der Therapie II sogar nur 163. In beiden Fällen handelt der Therapeut also weit geordneter, als das Gesetz des Zufalls es erwarten lässt. Gleiches gilt für die Klientinnen, die von den 128 Möglichkeiten, die sie aufgrund der 7 Oberpläne zur Verfügung hätten, nur 75 (Therapie I) bzw. 67 (Therapie II) tatsächlich realisieren (vgl. Tabelle 25).

Obwohl die Werte der Klientinnen jeweils näher an der höchstmöglichen Anzahl liegen die des Therapeuten, sind sie weit unwahrscheinlicher, wenn man bedenkt, dass die Zahl der Messwiederholungen bei Weitem die Zahl möglicher Kombinationen übertrifft. Auch für die Gesamtinteraktion, bei der Therapeut und Klientinnen jeweils gemeinsam berücksichtigt werden, finden sich nur 1.665 Plankonstellationen in der Therapie I und nur 740 in der Therapie II. Auch diese Zahlen weisen die Annahme einer zufälligen Verteilung zurück. Sogar wenn die empirisch vorgefundenen (nicht die rechnerisch möglichen) Konstellationen von Therapeut und Klientin jeweils zufällig kombiniert worden wären, hätten sich z.B. immerhin noch $(339 - 1) * 75 / 2 = 12.675$ Möglichkeiten für die Therapie I ergeben (allgemein gilt hier $(h_1 - 1) * h_2 / 2$, wobei h für die Häufigkeit steht), so dass das gefundene Ergebnis auch unter diesem Blickwinkel erstaunt.

Therapie I $n_I = 3.450$	Anzahl unterschiedlicher Plankonstellationen (% der möglichen Kombinationen)	Durchschnittliche Auftrittshäufigkeit
Therapeut	339 (33,1%)	10,18
Klientin	75 (58,6%)	46,00
Gesamt	1.665 (48,3%)	2,07
<hr/>		
Therapie II $n_{II} = 2.030$		
Therapeut	163 (15,9%)	12,45
Klientin	67 (52,3%)	30,30
Gesamt	740 (36,5%)	2,74

Tabelle 25: Tatsächliche Anzahl unterschiedlicher Plankonstellationen in den beiden Therapien

Für beide Therapien, Klientinnen und den Therapeuten zeigen sich jeweils weit weniger Plankonstellationen als eigentlich möglich gewesen wären. Zudem liegt die jeweils durchschnittliche Auftretenshäufigkeit in jedem Fall über der oberen Grenze des Konfidenzintervalls.

Die Zahlen sind noch besser einzuordnen, wenn man die durchschnittlichen Häufigkeiten der vorgefundenen Plankonstellationen ermittelt. Für den Therapeuten kam jede Konstellation im Durchschnitt rund 10 mal (bzw. 13 mal in Therapie II) vor, was eindeutig die Grenze des 99%-Konfidenzintervalls überschreitet. Für die Klientin ergibt sich eine durchschnittliche Auftretenshäufigkeit von 46 (bzw. 30 für die Therapie II). Auch diese Häufigkeiten weisen auf einen signifikanten Unterschied im Vergleich zu einer Gleichverteilung hin, ebenso wie das für beide Interaktionspartner zusammen ermittelte durchschnittlichen Vorkommen von 2 bis 3. Wesentlich interessanter als die durchschnittliche Häufigkeit der realisierten Konstellationen ist allerdings die Häufigkeitsverteilung dieser Konstellationen.

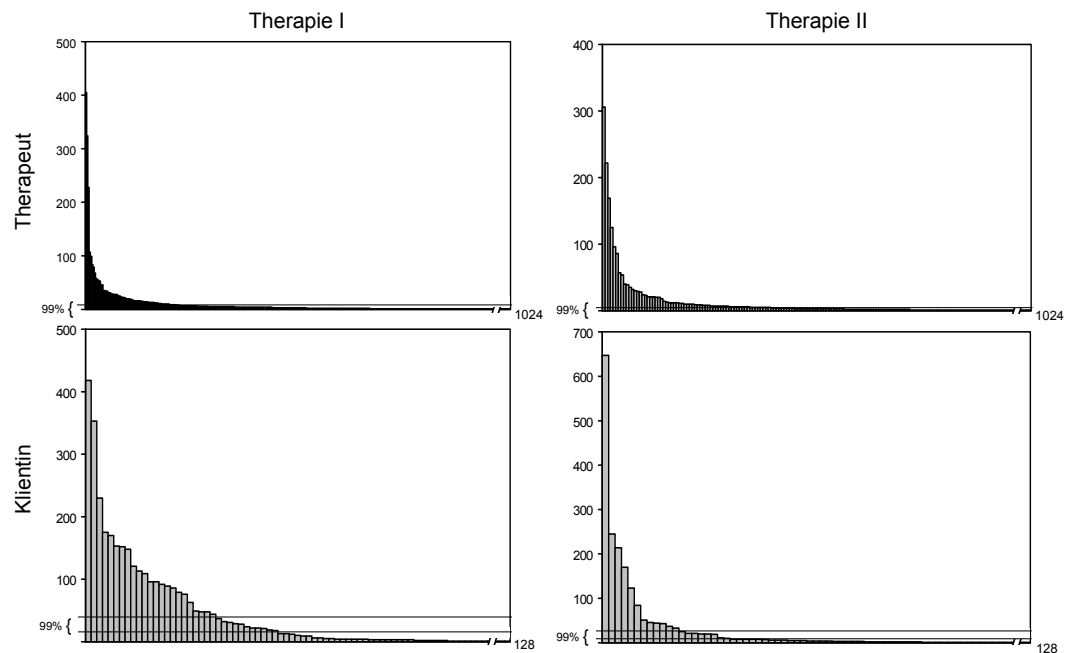


Abbildung 155: Häufigkeitsverteilungen der Plankonstellationen

Häufigkeitsverteilung von Plankonstellationen des Therapeuten (oben) und der Klientin (unten) für die Therapie I (links) und die Therapie II (rechts). Die eingezeichneten Intervallgrenzen verdeutlichen die zu erwartenden Häufigkeiten nach Maßgabe einer Gleichverteilung (Konfidenzintervall von 99%). Die Form der Verteilung entspricht einer so genannten $1/f^x$ -Verteilung, was eventuell ein Hinweis auf selbstorganisierte Kritizität ist (Bak, Chen & Creutz 1989, Bak & Chen 1991), in jedem Fall aber auf deutliche innere Ordnung.

Wie die vorstehende Abbildung 155 zeigt, gibt es jeweils einige wenige Plankonstellationen, die sehr häufig vorkommen und damit die Therapien dominieren, und sehr viele, die nur selten oder gar nicht vorkommen. Insbesondere für die beiden Klientinnen finden sich Plankonstellationen, die mehrere hundert mal in der Therapie auftreten. Die häufigste Plankonstellations der Klientin der Therapie I kann im Verlauf der Therapie 418 mal beobachtet werden; das sind rund 12% aller Zeitpunkte. Besonders ausgeprägt ist die Häufigkeitsverteilung für die Klientin der Therapie II. Hier zeigt sich die häufigste Plankonstellations 647 mal, also in rund einem Drittel der erhobenen Messzeitpunkte. Um 95% der Messzeitpunkte abzubilden, reichen in Therapie I ganze 34 Konstellationen aus. In der Therapie II werden nur 26 Konstellationen benötigt um 95% der Messzeitpunkte zu beschreiben.

Für den Therapeuten ergab sich ein ähnliches Bild. Die häufigste Plankonstellations fand sich in Therapie I insgesamt 405 mal (entspricht rund 12% der Messzeitpunkte) und in Therapie II insgesamt 306 mal (entspricht rund 15% der Messzeitpunkte). Um 95% der Messzeitpunkte abzubilden, benötigt man jedoch – im Gegensatz zu den Klientinnen – jeweils so gut wie alle vorgefundenen Aktivierungsmuster. Dies erklärt sich aus einer weit größeren Zahl an Unikaten (nur einmal in der Therapie vorkommende Plankonstellationen) beim Therapeuten.

In den Verteilungen, die in ihrer Form einer $1/f^x$ -Verteilung entsprechen, wie sie für viele selbstorganisierte Prozesse beobachtet werden kann (Bak, Chen & Creutz 1989, Bak & Chen 1991), zeigt sich die innere Ordnung in der scheinbaren Unordnung der Plankonstellationen.

11.2.2 Die häufigsten individuellen und gemeinsamen Plankonstellationen

In beiden Therapien realisieren Klientin und Therapeut jeweils eine begrenzte Zahl von synchronen Mustern oder *Planakkorden*, wobei die stabilen, wiederkehrenden Grundakkorde durch einige stark streuende Oberpläne variiert und abgewandelt werden. Im Folgenden sollen die wichtigsten Muster und Konstellationen kurz inhaltlich vorgestellt werden.

- **Therapie I.** Das von der Klientin am häufigsten gezeigte Muster ($n = 418$) setzt sich aus den Oberplänen „Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast“, „Sei eine gute Klientin“, „Fordere Hilfe vom Therapeuten“ und „Zeige Interesse an der Lösung Deiner Probleme“ zusammen. Es charakterisiert sie als engagierte Klientin, die bereit ist, zu arbeiten und dabei zugleich Unterstützung einfordert. In den Sitzungen sechs, acht bis zehn und der Sitzung zwölf liegt diese Konstellation auf Platz Eins, in allen anderen mindestens unter den ersten sieben. Nur in der 13. und damit letzten Sitzung wird diese Plankonstellations nur mehr selten verwendet.

Die zweithäufigste Konstellation ($n = 353$) verzichtet auf den regressiv klagenden Anteil des Oberplanes „Mach deutlich, dass Du es schwer hast / hattest“. Ansonsten stimmt die Konstellation mit der häufigsten Konstellation überein. Dieses Muster gehört in allen Sitzungen zu den sechs häufigsten.

In der dritthäufigsten Konstellation ($n = 230$) kommt zum häufigsten Muster ein weiterer Plan hinzu, nämlich „Schütze dich vor bedrohlichen Veränderungen“. Die Ambivalenz zwischen therapeutischem Engagement und klagender Haltung wird hier durch einen defensiven, eine Schutzhaltung repräsentierenden Plan verschärft. Zur Kunst therapeutischer Beziehungsgestaltung gehört es sicherlich, diese Ambiguität nicht zu entwerten und beide Anteile in wertschätzender Balance zu akzeptieren. Am Anfang (1. Sitzung) wie am Ende der Therapie (die letzten drei Sitzungen) kommt dieses ambivalente Muster selten vor, in den mittleren, veränderungsintensiveren Phasen dagegen häufiger (meist unter den häufigsten fünf).

Das häufigste Therapeutenverhalten ist allein durch den Oberplan „Aktiviere sie“ charakterisiert ($n = 405$). Dieser Plan gehört zur übergeordneten Selbstdarstellungsdimension „Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern“. Die nachfolgenden Muster gruppieren sich alle mehr oder weniger deutlich um diesen Oberplan. Bis zum 12.-häufigsten Muster ist er ohne Ausnahme in jeder Konstellation vertreten. Die zweithäufigste Konstellation des Therapeuten ergänzt den Aktivierungsplan um den Plan „Lenke ihre Aufmerksamkeit“, das dritthäufigste Muster um den Plan „Zeige Dich einfühlsam“. Es ergibt sich ein Bild, in dem die Klientin zwar um Mitarbeit bemüht erscheint, aber auch Widerstände, Entschuldigungen und Veränderungsängste präsentiert. Der Therapeut versucht, sie zu aktivieren und zur Mitarbeit anzuhalten. Um dieses Ziel gruppieren sich viele seiner interaktionellen Bemühungen.

Um die Häufigkeiten des zeitgleichen Auftretens von Planmustern richtig beurteilen zu können, muss man sich deren Basiswahrscheinlichkeit vergegenwärtigen: die 75 Konstellationen der Klientin kombiniert mit den 339 Konstellationen des Therapeuten ergibt 12.675 mögliche Paare. Dass allein ein einziges solches Konstellationspaar ein zweites Mal auftreten könnte, ist hoch unwahrscheinlich und wäre ein eindeutiger statistischer

Beleg, der gegen eine Zufallsanordnung sprechen würde. Faktisch aber kommen solche Konstellationsverbindungen durchaus häufig vor: Das häufigste Muster der Klientin

{„Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast“, „Sei eine gute Klientin“, „Fordere Hilfe vom Therapeuten“ und „Zeige Interesse an der Lösung Deiner Probleme“}

kombiniert sich 55 mal mit dem häufigsten Muster des Therapeuten

{„Aktiviere sie“},

und 37 mal mit dem zweithäufigsten Muster des Therapeuten

{„Aktiviere sie“ und „Lenke ihre Aufmerksamkeit“}

sowie 35 mal mit dem dritthäufigsten Muster des Therapeuten

{„Aktiviere sie“ und „Zeige Dich einfühlsam“}.

Wenn die Klientin ihre zweithäufigste Konstellation realisiert

{„Sei eine gute Klientin“, „Fordere Hilfe vom Therapeuten“ und „Zeige Interesse an der Lösung Deiner Probleme“},

tritt 20 mal zeitgleich damit die häufigste Plankonstellation des Therapeuten auf

{„Aktiviere sie“},

ebenfalls 20 mal die zweithäufigste

{„Aktiviere sie“ und „Lenke Ihre Aufmerksamkeit“}.

Das dritthäufigste, oben als hochambivalent beschriebenes Muster der Klientin kombiniert sich 37 mal mit der „Aktivierungs-Botschaft“ des Therapeuten (Plankonstellation Nr. 1), 30 mal mit der dritthäufigsten und 13 mal mit der zweithäufigsten Plankonstellation des Therapeuten.

- **Therapie II.** Das von der Klientin der Therapie II am häufigsten gezeigte Muster (n = 647) setzt sich aus den beiden Oberplänen „Demonstriere Hilflosigkeit / Bemühe Dich um Mitleid / Unterstützung“ und „Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems“ zusammen. Die Kombination zeigt sie als hilfeschuchende engagierte Klientin, die bereit ist in der Therapie aktiv mitzuarbeiten. Diese Plankonstellation ist in allen Sitzungen das häufigste Muster. Die zweithäufigste Konstellation (n = 245) ergänzt die beschriebene Plankonstellation um den Oberplan „Zeige Dich als sympathisch, als gute Klientin“. Dieses Muster gehört in allen Sitzungen zu den vier häufigsten. Die dritthäufigste Konstellation (n = 214) reduziert sich auf nur mehr einen Oberplan, nämlich „Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung

Deines Problems“. Alle drei am häufigsten vorkommenden Plankonstellationen gruppieren sich damit um die Bereitschaft zur Lösung anstehender Probleme. Ambivalente Kombinationen, wie sie für die Klientin der Therapie I beobachtet werden konnten, zeigen sich bei der Klientin der Therapie II kaum. Auch das dritthäufigste Muster gehört in jeder der neun Therapiesitzungen mit zu den häufigsten fünf Konstellationen.

Das häufigste Therapeutenverhalten ist allein durch den Oberplan „Motiviere sie“ charakterisiert (n = 306). Dieser Plan erscheint – aus der hier eingenommenen Makroperspektive – als durchaus passende Antwort auf die Bereitschaft der Klientin zur Mitarbeit. Auch das zweithäufigste Muster (n = 222) stützt sich auf den Oberplan „Motiviere sie“ und ergänzt diesen um den Oberplan „Zeige Kompetenz“. Die dritthäufigste Plankonfiguration des Therapeuten (n = 169) wählt mit dem Oberplan „Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung“ ein anderes Ziel als die beiden vorhergehenden Plankonstellationen.

Auch in der Therapie II bedeutet das mehrmalige zeitgleiche Auftreten bestimmter Kombinationen von Planmustern der Klientin mit denen des Therapeuten einen starken Hinweis auf die geordnete Komplexität der erfassten Interaktion. Aber auch in der Therapie II kommen solche Konstellationsverbindungen durchaus häufig vor: Das häufigste Muster der Klientin

{„Demonstriere Hilflosigkeit / Bemühe Dich um Mitleid / Unterstützung“ und „Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems“},

kombiniert sich 94 (!) mal mit dem häufigsten Muster des Therapeuten

{„Motiviere sie“},

71 mal mit dem zweithäufigsten

{„Motiviere sie“ und „Zeige Kompetenz“}

und sogar noch 62 mal mit dem dritthäufigsten Muster des Therapeuten

{„Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung“}.

Während die Klientin ihre zweithäufigste Plankonfiguration zeigt

{„Zeige Dich als sympathisch, als gute Klientin“, „Demonstriere Hilflosigkeit / Bemühe Dich um Mitleid / Unterstützung“ und „Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems“},

findet sich beim Therapeuten 18 mal seine häufigste Plankonstellations, 17 mal seine zweithäufigste und 15 mal die dritthäufigste. Etwas höher fallen die Kombinationen für das dritte Muster der Klientin aus. Das Muster

{„Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems“},

tritt 26 mal in Kombination mit den Motivationsbemühungen des Therapeuten und 19 mal in Kombination mit seinen Bemühungen um eine vertrauensvolle Beziehung auf.

Insgesamt weisen die vorliegenden Befunde zur Musteridentifikation in den Oberplankonfigurationen darauf hin, dass es sich bei beiden erfassten Therapien, zwar um ein komplexes aber gleichzeitig auch um ein hoch geordnetes Geschehen handelt. Dennoch ging es bei den bisher besprochenen Auswertungen noch nicht um die Beschreibungen der dynamischen Komplexität. Dieser versucht sich das folgende Kapitel zu nähern.

11.2.3 Komplexität im Zeitverlauf

Eine einfache Beschreibung der Komplexität bzw. der Ordnung des interaktionellen Geschehens lässt sich, wie im vorhergehenden Kapitel gesehen, bereits aus der Häufigkeitsverteilung von Plankonstellationen ableiten. Dieser Algorithmus behält natürlich auch dann seine Gültigkeit, wenn er jeweils auf einzelne Sitzungen der Therapien angewendet wird. Um die Komplexitäten der Sitzungen aber tatsächlich miteinander vergleichen zu können, ist es erforderlich, die unterschiedlichen Längen der einzelnen Sitzungen bei der Berechnung zu berücksichtigen, denn längere Sitzungen bieten natürlich eine größere Chance für das Auftreten von mehr verschiedenartigen Konstellationen. Strunk und Schiepek (Strunk 1996b, Strunk & Schiepek 2002) haben einen Algorithmus vorgeschlagen, der die Häufigkeitsverteilung der Plankonstellationen nutzend unabhängig von der jeweiligen Sitzungslänge ist.

Die Ordnung bzw. Komplexität einzelner Sitzungen lässt sich aus der Häufigkeitsverteilung der Plankonstellationen ablesen

Im Kern geht der Algorithmus zur Bestimmung der Ordnung bzw. Komplexität einer Therapiesitzung davon aus, dass eine Sitzung dann als geordnet gelten kann, wenn viele Messintervalle bereits durch wenige Konstellationen abgedeckt werden. Es bietet sich an, von der Länge einer Therapiesitzung sukzessive die Häufigkeit der darin beobachteten Plankonstellationen abzuziehen: die häufigste Konstellation zuerst, dann die zweithäufigste, usw. Die daraus resultierende Kurve fängt zunächst bei einem Wert an, welcher der vollen Anzahl der Messzeitpunkte der jeweiligen Sitzung entspricht und wird dann zunächst stark und später immer weniger fallen, bis alle Zeitpunkte „aufgebraucht“ sind. Die Kurve wäre damit exponentiell fallend.

In allen Sitzungen zeigt sich für die Klientin und für den Therapeuten eine perfekte exponentiell fallende Verteilung

Genau dies zeigt sich durchgehend für alle Sitzungen, sowohl für den Therapeuten als auch die Klientin in beiden Therapien. In einfach logarithmischer Darstellung findet sich für jede Sitzung eine fast perfekte Gerade in einem Koordinatensystem, dessen x -Achse durch die aufsteigend sortierten Rangplätze der Plankonstellationen (also ganz einfach durch die Zahlenwerte 1, 2, 3,... bis zur seltensten Plankonstellations der Sitzung mit der höchsten Zahl), und deren y -Achse sich durch den Logarithmus der jeweils nach Abzug der durch die Plankonstellations verbleibenden Messpunkte bestimmt. Die Korrelationen zwischen dem beobachteten Kurvenverlauf und einer Ausgleichsgeraden liegen nahe Eins (immer $\geq 0,97$; vgl. Tabelle 26, S. 552). Die Steigung dieser Ausgleichsgeraden ist ein Maß für die Komplexität der Sitzung und ist unabhängig von der Sitzungslänge. Das Vorzeichen der so ermittelten Komplexitäts-Kennwerte ist negativ, da die Häufigkeit der Konstellationen sukzessive abnimmt. Hohe Werte (nahe bei Null) repräsentieren damit eine hohe Komplexität und niedrige Werte (weit unter Null) eine geringe Komplexität bzw. eine hohe Ordnung.

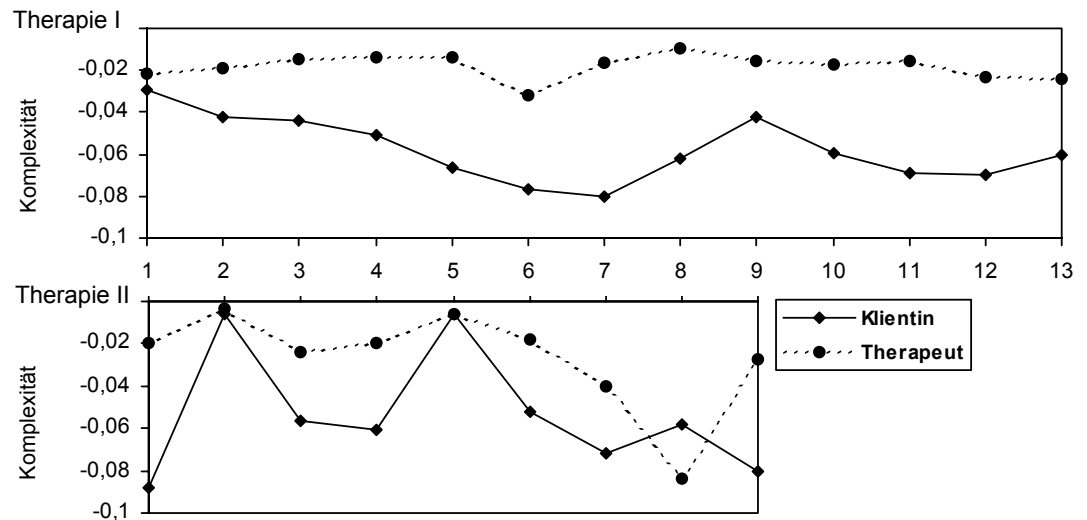


Abbildung 156: Komplexität von Planaktivierungsmustern im Verlauf der Therapien

Der Verlauf der Komplexität von Planaktivierungsmustern von Klientinnen und Therapeut in den einzelnen Sitzungen der Therapien I und II. Ein höherer absoluter Wert weist auf ein stärkeres Gefälle der (x vs. Iny)-Geraden und damit auf einen höheren Ordnungsgrad hin.

Abbildung 156 zeigt die Verläufe des Komplexitätsmaßes. Bei der Interpretation dieser Resultate gilt es allerdings einschränkend zu berücksichtigen, dass die absoluten Werte von Therapeut und Klientin nicht direkt vergleichbar sind, da beide über ein unterschiedlich großes Repertoire an verschiedenen Planaktivierungsmustern verfügen. Mit einem kleineren Repertoire lässt sich Ordnung schneller herstellen als mit einem großen. Dass der Therapeut in beiden Therapien komplexer erscheint als die Klientin, ist auf diese Abhängigkeit des Komplexitäts-Kennwertes, von der Anzahl der Oberpläne (7 bei der Klientin und 10 beim Therapeuten), zurück zu führen. Eine Vergleichbarkeit zwischen den Sitzungen ist jedoch ohne weiteres möglich, da der beschriebene Kennwert dabei abbildet, wie ein und dieselbe Person ihr Repertoire an möglichen Plankonstellationen in unterschiedlicher Weise auf die einzelnen Abschnitte (Sitzungen) des Kommunikationsprozesses verteilt und dadurch den Ordnungsgrad des Prozesses variiert.

In Therapie I hält der Therapeut fast durchgängig ein konstantes Ordnungsniveau aufrecht (einen kleinen Knick weist die Kurve in Sitzung 6 auf), in Therapie II dagegen liegen ausgeprägtere Veränderungen vor. Bei der Klientin nimmt die Komplexität in Therapie I sukzessive bis Sitzung 7 ab, um danach wieder anzusteigen. In Therapie II weist sie deutlichere Schwankungen auf. Unabhängig von der konkreten Ausprägung des Ordnungsgrades im Verlauf der Therapien, beeindruckt der Umstand, dass in jeder Sitzung sowohl für den Therapeuten als auch für die Klientin und zwar in beiden Therapien, jeweils Häufigkeitsverteilung für die Plankonstellationen vorliegen, wie sie oben in Abbildung 155 (S. 546) für den gesamten Prozess identifiziert wurden. In jeder der insgesamt 44 Häufigkeitsverteilungen zeigt sich eine hochgradig perfekte exponentiell fallende Kurve. Die folgende Tabelle 26 enthält die detaillierten Berechnungsergebnisse auf denen auch die Abbildung 156 beruht. Das Ausmaß in dem die Modellannahme für die exponentielle Verteilung zutrifft kann dort aus den Korrelationswerten erschlossen werden.

Sitzung	Therapie I				Therapie II			
	Klientin		Therapeut		Klientin		Therapeut	
	Komplexität	Korrelation	Komplexität	Korrelation	Komplexität	Korrelation	Komplexität	Korrelation
1.	-0,0294	-0,9968	-0,0212	-0,9849	-0,0883	-0,9754	-0,0194	-0,9934
2.	-0,0421	-0,9994	-0,0191	-0,9986	-0,0062	-0,9979	-0,0037	-0,9997
3.	-0,0441	-0,9986	-0,0143	-0,9979	-0,0561	-0,9913	-0,0241	-0,9977
4.	-0,0512	-0,9959	-0,0135	-0,9958	-0,0603	-0,9945	-0,0197	-0,9858
5.	-0,0661	-0,9947	-0,0139	-0,9874	-0,0063	-0,9991	-0,0059	-0,9982
6.	-0,0767	-0,9917	-0,0318	-0,9757	-0,0521	-0,9988	-0,0179	-0,9926
7.	-0,0805	-0,9904	-0,0167	-0,9928	-0,0715	-0,9752	-0,0404	-0,9950
8.	-0,0618	-0,9950	-0,0098	-0,9971	-0,0583	-0,9934	-0,0840	-0,9961
9.	-0,0426	-0,9937	-0,0152	-0,9948	-0,0805	-0,9978	-0,0274	-0,9887
10.	-0,0598	-0,9994	-0,0171	-0,9904				
11.	-0,0688	-0,9931	-0,0159	-0,9953				
12.	-0,0696	-0,9967	-0,0229	-0,9902				
13.	-0,0606	-0,9927	-0,0242	-0,9970				
Gesamt	-0,0374	-0,9916	-0,0054	-0,9950	-0,0345	-0,9916	-0,0114	-0,9942

Tabelle 26:

Komplexität von Planaktivierungsmustern im Verlauf der Therapien

Der Berechnung der Komplexität liegt die Überlegung zu Grunde, dass eine Therapiesitzung dann besonders geordnet ist, wenn sämtliche Messpunkte dieser Sitzung mit nur wenigen Plankonstellationen abgedeckt werden können. Wird von der Sitzungslänge sukzessive die Anzahl der durch die Plankonstellationen abgedeckten Messpunkte (in der Reihenfolge der Bedeutung der Plankonstellationen) abgezogen ergibt sich eine exponentiell fallende Kurve, die sich nach Logarithmierung mit Hilfe der Steigung einer linearen Gerade beschreiben lässt. Diese Steigung ist die in der Tabelle ausgewiesene Komplexität. Die Güte der Anpassung der Modellüberlegungen an die Gerade wird durch die Korrelation erfasst.

Sinnvoll ist auch ein Vergleich zwischen den Therapien, da beide Interaktionspartner in Therapie I und II die gleiche Anzahl von Oberplänen aufweisen. Wie sich unten hinsichtlich der dimensional Komplexität D2 und PD2 noch zeigen wird, entsprechen sich die Ordnungsgrade für die Klientinnen beider Therapien weitgehend (Therapie I: -0,0374; Therapie II: -0,0345). Der Ordnungsgrad des Therapeuten unterscheidet sich dagegen: er ist in Therapie II (-0,0114) etwa doppelt so hoch wie in Therapie I (-0,0054). Der Therapeut zeigt in der ersten Therapie also ein weit komplexeres Verhalten als in der zweiten. Dieses Ergebnis wird auch durch die Berechnungen zum D2/PD2 gestützt (vgl. S. 582ff.). Zudem zeigt der Therapeut in der zweiten Therapie eine höhere Variabilität und eine Entwicklung, die stärker mit der Klientin übereinstimmt.

Der auf der Häufigkeitsverteilung beruhende Komplexitätskennwert berücksichtigt keine dynamischen Aspekte

Obwohl es der Komplexitäts-Kennwert ermöglicht den Verlauf der beiden Therapien abzubilden, fließen in seine Berechnung keine Information über Abfolgen von Plankonstellationen ein. Es handelt sich also um kein dynamisches Komplexitätsmaß im eigentlichen Sinne. Zur Erfassung von Ordnung und Komplexität in Prozessen dient ein anderes Verfahren. Ordnung wird hierbei verstanden als die Wiederholung von Zahlenfolgen in einer Zeitreihe. In zufälligen Zeitreihen dürften sich Zahlenfolgen nicht oder nur selten wiederholen. Um dies zu überprüfen, werden zunächst alle möglichen aufeinander folgenden Zahlenpaare aus der Zeitreihe ermittelt und ausgezählt, ob mindestens eines dieser Paare mindestens zweimal vorkommt. Ebenso werden dann Dreier-, Vierer-, Fünferfolgen usw. gebildet. Die Länge der längsten noch zweimal vorkommende Folge gilt in diesem Verfahren als Maß für die Ordnung. Dieses dynamische Ordnungsmaß kann mit Hilfe eines Surrogatdatenverfahrens auf Zufälligkeit getestet werden. Wenn man nämlich die zu untersuchende Zeitreihe wahllos durcheinander würfelt, so müsste sich jegliche darin enthaltene dynamische Ordnung auflösen. Die Zeitreihe wird mehrfach (50 mal) durcheinander gewürfelt und dann jeweils die längste wieder-

holt auftretende Abfolge bestimmt. Die aus den 50 Surrogatzeilen ermittelten Sequenzlängen bilden eine Normalverteilung, womit ein Signifikanztest möglich wird. Da das Verfahren nur nominale Zeitreihen voraussetzt, eignet es sich zur Identifikation von wiederholten Sequenzen der nominalen Plankonstellationen. Methodisch lässt es sich in den Ansatz des *Symbol Dynamics* einordnen, wie er oben bereits diskutiert wurde (vgl. 397ff.).

Für Therapie I zeigt der Symbol Dynamics Ansatz für die meisten Sitzungen eine höhere dynamische Ordnung als bei Random-Surrogaten

Wendet man diese Prozedur auf die Abfolge von Planaktivierungsmuster des therapeutischen Kommunikationsprozesses an, so erkennt man in fast allen Sitzungen eine vom Zufall (Mittelwerte der 50 gebildeten Surrogatzeilen) deutlich abweichende, höhere Ordnung (vgl. Tabelle 27; in diesem Fall liegen nur Ergebnisse für Therapie I vor; vgl. Strunk & Schiepek 2002). Sowohl für den Therapeuten als auch für die Klientin beeindruckt die hoch geordnete, dynamische Struktur der gesamten Therapie. Es treten sich wiederholende Sequenzen von bis zu 15 Zeittakten (Klientin) auf, was einer Dauer von 2,5 Minuten entspricht. Die Signifikanzprüfung beruht auf einer z-Transformation der in den Surrogatdaten identifizierten längsten Sequenzen. Damit lassen sich Regelmäßigkeiten in der Abfolge von interaktionellen Planaktivierungen identifizieren, obwohl die Planpartituren mit bloßem Auge betrachtet keine wiederkehrenden Muster zu enthalten scheinen. Der hier entwickelte Algorithmus zur Identifikation von synchronen und diachronen Plankonstellationen erlaubt die Identifikation von Ordnung in der Unordnung auf eine relativ einfache Art und Weise.

Sitzung	Therapeut				Klientin			
	Längste Sequenz	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert	Längste Sequenz	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert
1	5	4,24	0,47	1,61	10	4,28	0,92	6,24**
2	7	3,82	0,68	4,65**	5	4,08	0,39	2,35*
3	5	3,70	0,54	2,41*	8	4,34	0,71	5,15**
4	5	4,02	0,58	1,68	6	4,60	0,63	2,21*
5	5	3,66	0,55	2,43*	9	4,56	0,92	4,83**
6	6	4,90	0,73	1,51	9	4,96	0,87	4,64**
7	5	3,98	0,37	2,73**	15	5,64	1,48	6,32**
8	4	3,72	0,49	0,57	7	4,96	0,66	3,08**
9	6	4,40	0,53	3,02**	8	4,22	0,76	5,00**
10	7	4,18	0,56	5,09**	5	4,88	0,62	0,19
11	6	3,98	0,55	3,69**	10	4,72	0,96	5,50**
12	6	3,74	0,63	3,61**	8	5,20	0,78	3,62**
13	5	4,24	0,51	1,48	7	4,42	0,60	4,28**
Gesamte Therapie	11	5,26	0,93	6,15**	15	6,30	1,36	6,40**

Tabelle 27:

Symbol Dynamics – dynamische Ordnung in Therapie I

Ergebnisse des dynamischen Ordnungsmaßes. Mit * gekennzeichnete z-Werte weisen auf eine Signifikanz bei $\alpha = 0,05$, mit ** gekennzeichnete z-Werte auf eine bei $\alpha = 0,01$ hin (1-seitige Testung).

Die Grammar Complexity als Verfahren der algorithmischen Entropie zeigt für die meisten Sitzungen signifikant geordnete dynamische Strukturen

Theoretisch und methodisch anspruchsvoller als das hier beschriebene einfache dynamische Ordnungsmaß sind Methoden, die auf dem theoretischen Ansatz der *algorithmischen Entropie* Bezug nehmen. Als kontextfreier Algorithmus bietet hier die *Grammar Complexity* (Ebeling & Jiménez-Montano 1980, Jiménez-Montano 1984) einen geeigneten Zugang (vgl. ausführlicher ab S. 400ff.). Bezogen auf die Dynamik der Planaktivierungsmuster wurde – ähnlich wie bei dem Verfahren des *Symbol Dynamic* Ansatzes – eine ausführliche Testung der Ergebnisse mit der Hilfe von randomisierten Surrogatzeilen vorgenommen. Es zeigt

sich, dass die empirisch realisierten Sequenzen von Plankonstellationen in fast allen Therapiesitzungen signifikant geordneter sind als die nach dem Zufallsprinzip gewonnenen Surrogatsequenzen (vgl. Tabelle 28). Dies gilt für beide Therapien und kann als Ausdruck der inneren Struktur des Kommunikationsprozesses betrachtet werden. Soziale Systeme erzeugen im zeitlichen Verlauf variierende Grade von Ordnung (vgl. Abbildung 157). Naturgemäß zeigen sich zwischen den Verläufen des in Abbildung 156 (S. 551) dargestellten Verteilungsmaßes und dem Verlauf der z-transformierten Grammar Complexity (vgl. Abbildung 157, S. 555) nicht viele Gemeinsamkeiten. Während nämlich die Grammar Complexity die innere dynamische Struktur der Abfolgen von Plankonstellationen erfasst, wird diese im oben beschriebenen Komplexitätsmaß nicht berücksichtigt. Dort wird allein die Komplexität der Häufigkeitsverteilungen ermittelt.

In der Entwicklung der z-transformierten Grammar Complexity zeigt sich für den Therapeuten in der Therapie II eine bizarre Abweichung nach unten in Sitzung 3: Die Abfolge seiner Planaktivierungsmuster ist hier ungeordneter als nach dem Zufall (Surrogatdaten) zu erwarten. Interessant ist die sehr stark ausgeprägte Synchronisation der Komplexitätswerte in den Sitzungen 4 bis 12 der Therapie I. Die Korrelation der z-Werte beträgt über diese Sitzungen hinweg 0,83 (p-1-seitig = 0,003).

Therapie I					Therapeut				Klientin			
Sitzung	Grammar Complexity	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert	Grammar Complexity	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert	Grammar Complexity	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert
1	303	305,33	2,98	0,78	305	312,21	2,58	2,79 **				
2	229	237,88	1,84	4,83 **	227	231,78	2,64	1,81 *				
3	287	289,64	1,99	1,33	257	274,39	2,82	6,17 **				
4	290	301,73	2,03	5,77 **	265	287,29	2,96	7,52 **				
5	237	244,03	1,48	4,76 **	221	233,08	2,78	4,35 **				
6	207	210,75	2,40	1,56	200	201,97	2,66	0,74				
7	242	248,52	1,86	3,50 **	205	216,15	2,69	4,14 **				
8	194	198,10	1,20	3,42 **	179	181,56	2,16	1,20				
9	313	326,66	2,65	5,16 **	320	332,00	3,19	3,76 **				
10	239	249,00	2,39	4,17 **	228	232,31	2,53	1,70 *				
11	251	263,32	2,01	6,13 **	229	246,39	2,70	6,44 **				
12	194	200,27	1,58	3,97 **	166	175,73	2,31	4,20 **				
13	245	246,59	2,12	0,75	229	243,19	2,86	4,96 **				
Gesamte Therapie	2.935	3.011,26	11,72	6,51 **	2.464	2.647,25	15,57	11,77**				

Therapie II								
Sitzung	Grammar Complexity	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert	Grammar Complexity	Mittelwert der Surrogate	Streuung	z-Wert
1	158	161,20	1,38	2,32 *	128	130,13	2,03	1,05
2	253	256,14	2,13	1,47	190	204,30	2,68	5,33 **
3	244	242,35	1,83	-0,91	197	199,81	2,51	1,12
4	234	240,14	2,25	2,73 **	201	205,52	2,62	1,72 *
5	172	176,20	2,13	1,97 *	167	174,98	2,33	3,42 **
6	310	314,10	2,53	1,60	271	287,65	3,22	5,17 **
7	211	215,12	2,49	1,65 *	165	171,13	2,53	2,43 **
8	86	89,90	2,49	2,49 **	88	90,24	1,51	1,48
9	200	210,42	2,56	4,06 **	182	186,55	2,52	1,81 *
Gesamte Therapie	1.674	1.684,90	8,92	1,22	1.256	1.347,92	8,56	10,74**

Tabelle 28:

Grammar Complexity der Plankonstellationsabfolgen

Grammar Complexity der Therapiesitzungen und der gesamten Therapien, bezogen auf die Abfolgen von synchronen Planaktivierungsmustern. Die Streuung bezieht sich auf die Verteilung von 200 zufällig angeordneten Abfolgen der jeweils gleichen Planaktivierungsmuster (Surrogatdaten). Oben: Therapie I; unten: Therapie II. Zu Zwecken der Signifikanzprüfung wurden die Surrogatverteilungen z-transformiert. Mit * gekennzeichnete z-Werte weisen auf eine Signifikanz bei $\alpha = 0,05$, mit ** gekennzeichnete z-Werte auf eine bei $\alpha = 0,01$ hin (1-seitige Testung).

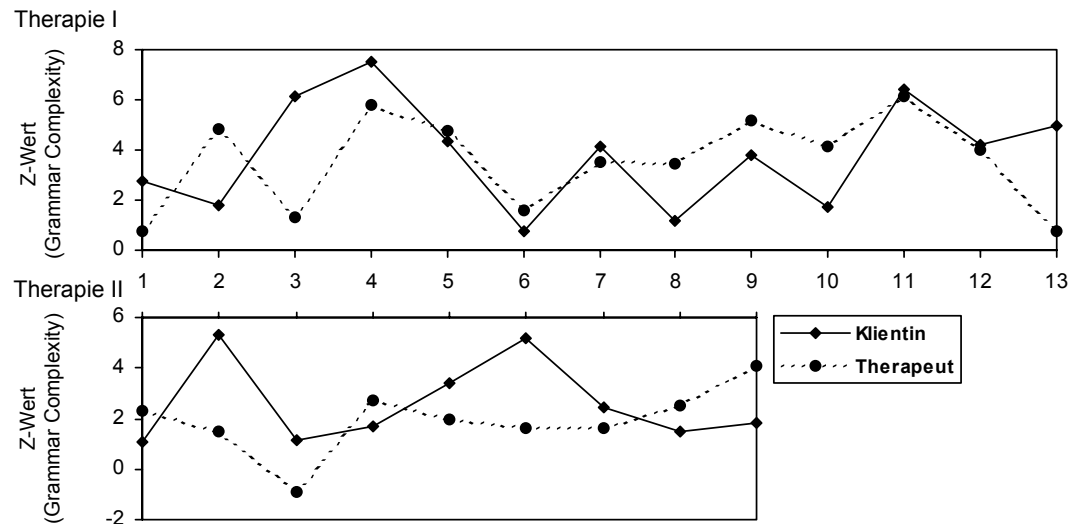


Abbildung 157: Grammar Complexity von Planaktivierungsmustern im Verlauf der Therapien

Verläufe der z-Werte der Grammar Complexity für die einzelnen Therapiesitzungen bei Therapeut und Klientin (oben: Therapie I, unten: Therapie II). Der z-Wert gibt die Abweichung von den mittels Surratdatenmethode gewonnenen Zufallssequenzen an.

Auch hier gilt – ähnlich wie für die Berechnung des Komplexitätsgrades von Planaktivierungsmustern im Rahmen der Quantifizierung der Form von Häufigkeitsverteilungen –, dass die absoluten Werte der Grammar Complexity von Therapeut und Klientin nicht direkt vergleichbar sind, da beide über ein unterschiedliches Repertoire an verschiedenen Planaktivierungsmustern verfügen. Der Grund liegt darin, dass eine Sequenz aus weniger verschiedenen Symbolen leichter algorithmisch komprimierbar ist als ein Satz, der aus mehr verschiedenen Symbolen besteht.

11.2.4 Diskussion

Die Identifikation von Ordnung in irregulären Abfolgen von Nominaldaten führte im Verlauf der vorhergehenden Kapitel zum Phänomen des „nominalen“ oder „qualitativen Chaos“. Denn eben dies ist Chaos: Ordnung in der Unordnung zeitlicher Prozesse, „Gestalt“ im Rauschen, Befolgen von „Spielregeln“ und dennoch Unvorhersehbarkeit (vgl. ausführlicher S. 151ff.). Die zurückgewiesene Annahme der Zufälligkeit von Interaktionsmustern ist dabei allerdings nur eine von mehreren Nullhypothesen, die auf dem Weg zu einem vertieften Verständnis nichtlinearer Prozesse in der Psychotherapie zu verwerfen sind. In diesem Sinne sind die hier vorgelegten Befunde noch kein zwingender Beleg für einen chaotischen Prozess. Ein solcher Beleg kann über die grobe dichotome Skalierung der Planpartituren auch gar nicht erlangt werden. In den folgenden Kapiteln werden dann Analysen der metrischen Datensätze der Plananalysen zeigen, dass es sich bei den erfassten therapeutischen Prozessen höchst wahrscheinlich tatsächlich um chaotische Prozessdynamiken handelt.

Diese Selbstorganisations-Hypothese wird im Rahmen der hier vorgestellten Analysen insbesondere durch die sehr eindeutige Form der identifizierten $1/f^x$ -Verteilungen gestützt. Derartige Verteilungen, wie sie hier für die Häufigkeitsverteilung von Plankonstellationen vorgefunden wurden, gelten als charakteristisch für Auftretensverteilungen selbstorganisierter Systeme, die immer wieder aus ihrem Attraktor ausgelenkt werden. Die Universalität dieser $1/f^x$ -Verteilungen wird daher in der Theorie der selbstorganisierten Kritizität („*self-organized criticality*“, Bak, Chen & Creutz 1989, Bak & Chen 1991) als Hinweis auf systeminterne Destabilisierungsprozesse gewertet. Für psychotherapeutische Prozesse ist darin vorläufig eine interessante Hypothese zu sehen, denn das Ziel eines regelgeleiteten Therapeutenverhaltens erfordert ein Verständnis der Eigendynamik komplexer psychischer und kommunikativer Prozesse (vgl. Strunk & Schiepek 2002).

11.3 Nichtlineare Zeitreihenanalysen

Über eine Analyse der Komplexität synchroner und diachroner Planaktivierungen (On-off-Pattern) hinaus lassen sich die Pläne Sequentieller Plananalysen in ihrer Intensität quantifizieren. Dies geschieht über Ratings der Operatoren (Skalierung von 1 bis 5), welche danach eingeschätzt werden, wie intensiv und deutlich sie den zugehörigen Unterplan zum Ausdruck bringen. Über die hierarchische Zuordnung von Operatoren zu Unterplänen, Unterplänen zu Oberplänen und von diesen zu Selbstdarstellungsdimensionen ist eine relativ feinstufige Auflösung des Zeitsignals durch Summation der jeweils vorliegenden Operatorenratings erreichbar. In der folgenden Abbildung 158 und der Abbildung 159 sind die Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen beider Therapien dargestellt. Diese Zeitreihen sind vornehmliche die Grundlage für weiterführende nichtlineare Analysen der Interaktionsprozesse. Im Rahmen der Dimensionalitätsanalysen werden zudem zunächst auch die Datensätze auf Ebene der Oberpläne herangezogen.

Lineare Methoden der Zeitreihenanalyse tragen für die vorliegenden Daten nicht sehr weit

Dass eine lineare Analyse der vorliegenden Zeitreihen nur wenig Aussicht auf Erfolg verspricht, ergibt sich zunächst vor dem Hintergrund der im vorhergehenden Kapitel dargestellten Auswertungen zur Identifikation komplexer Ordnungsstrukturen in den dichotomisierten Oberplandatensätzen. Die dabei beobachtbare Komplexität und die charakteristische Häufigkeitsverteilung der Plankonstellationen erhärtet die Vermutung es mit einer Dynamik zu tun zu haben, die sich durch Prozesse der Selbstorganisation auszeichnet. Zudem scheinen lineare Methoden tatsächlich nur unzureichend in der Lage zu sein, die mit den Zeitreihen erfasste Dynamik sinnvoll und interpretierbar abzubilden. Sowohl die Spektral-Analyse der Zeitreihen (vgl. Abbildung 160 und Abbildung 161, S. 560f.), als auch der Versuch mit Hilfe von bivariaten Korrelationen Zusammenhänge zwischen den Selbstdarstellungsdimensionen aufzudecken, verweisen auf die erratische und über diese Wege wenig fassbare Komplexität der zu Grunde liegenden Prozesse (vgl. zu dieser Problemstellung auch Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995).

Die Spektralanalysen verweisen auf komplexe Prozesse lassen jedoch offen, ob diese irregulärer Natur sind

Die Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen zeigen ein für chaotische Prozesse typisches breitbandiges Spektrum, für das keine eindeutig dominierenden Frequenzen festgestellt werden können. Obwohl diese Beurteilung der Frequenzspektren per Augenschein noch keinen eindeutigen Beweis für das Vorliegen einer chaotischen Dynamik liefern kann, zeigt sie doch erste Anzeichen, die auf die Unzulänglichkeit einer linearen Auswertungsmethodik verweisen. In dem Maße, in dem keine dominierenden Frequenzen in den Spektren ermittelt werden können, lassen sich die vorliegenden Ergebnisse eben auch nicht sinnvoll interpretieren. Dennoch könnte es durchaus der Fall sein, dass die durch die Spektren erfasste reguläre periodische Dynamik genügt, um das Wesen der zu Grunde liegenden Dynamik sauber abzubilden. Wäre dies der Fall, so würde es sich jeweils um einen zwar komplexen aber linearen Prozess und damit nicht um Chaos handeln. Die Spektralanalysen verweisen also zunächst auf eine komplexe und erratische Struktur der Prozesse. Ob diese dynamische Struktur sinnvoller Weise linear oder nicht linear beschreiben werden sollte, wird sich später erst im Rahmen einer umfassenden Surrogatdatenanalyse nachweisen lassen (vgl. Tabelle 35, S. 581).

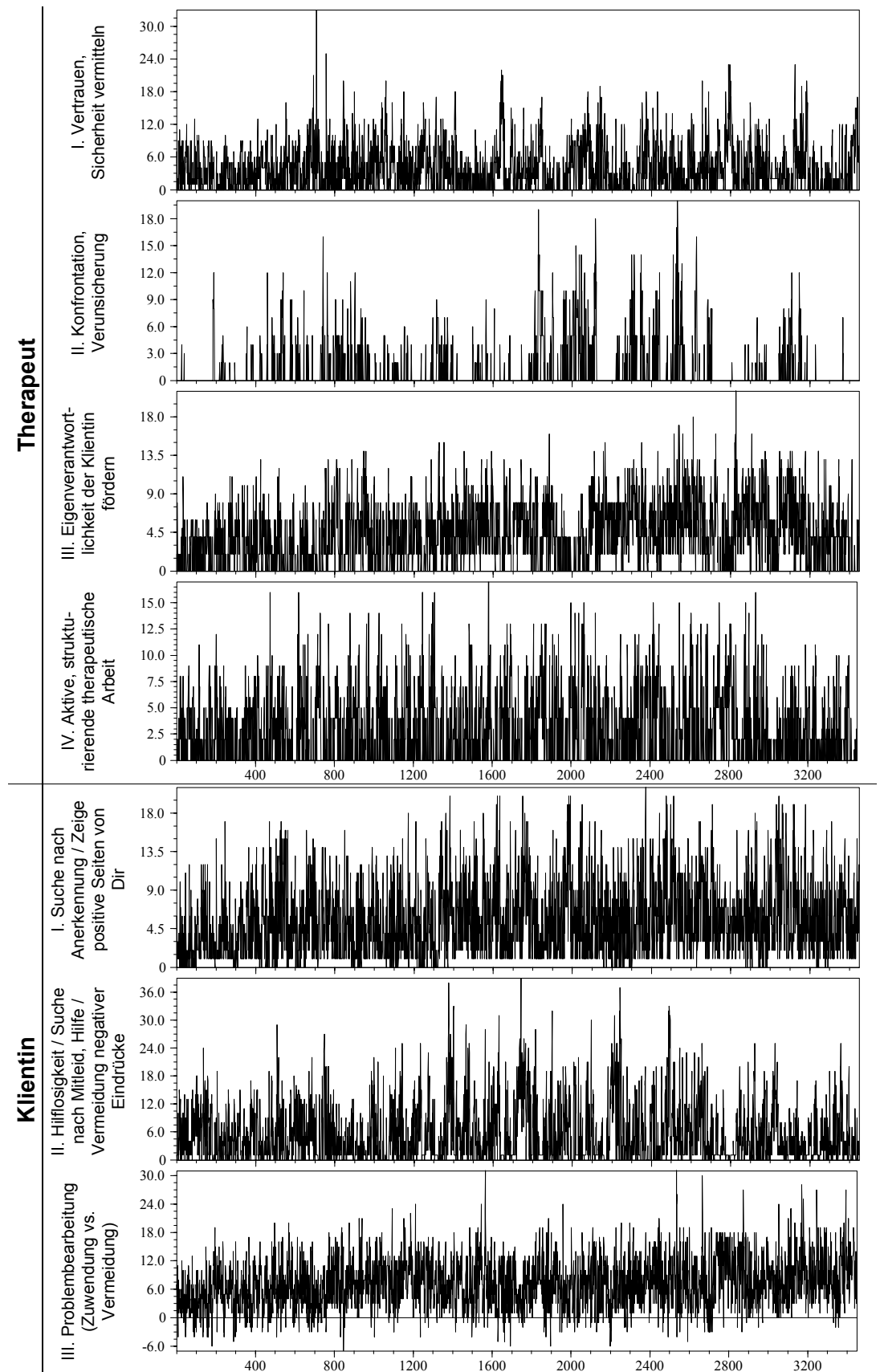


Abbildung 158: Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie I

Zeitreihen der Therapie I (n = 3450 Messintervalle von je 10 Sekunden). Die Rückmeldephasen wurden herausgeschnitten.

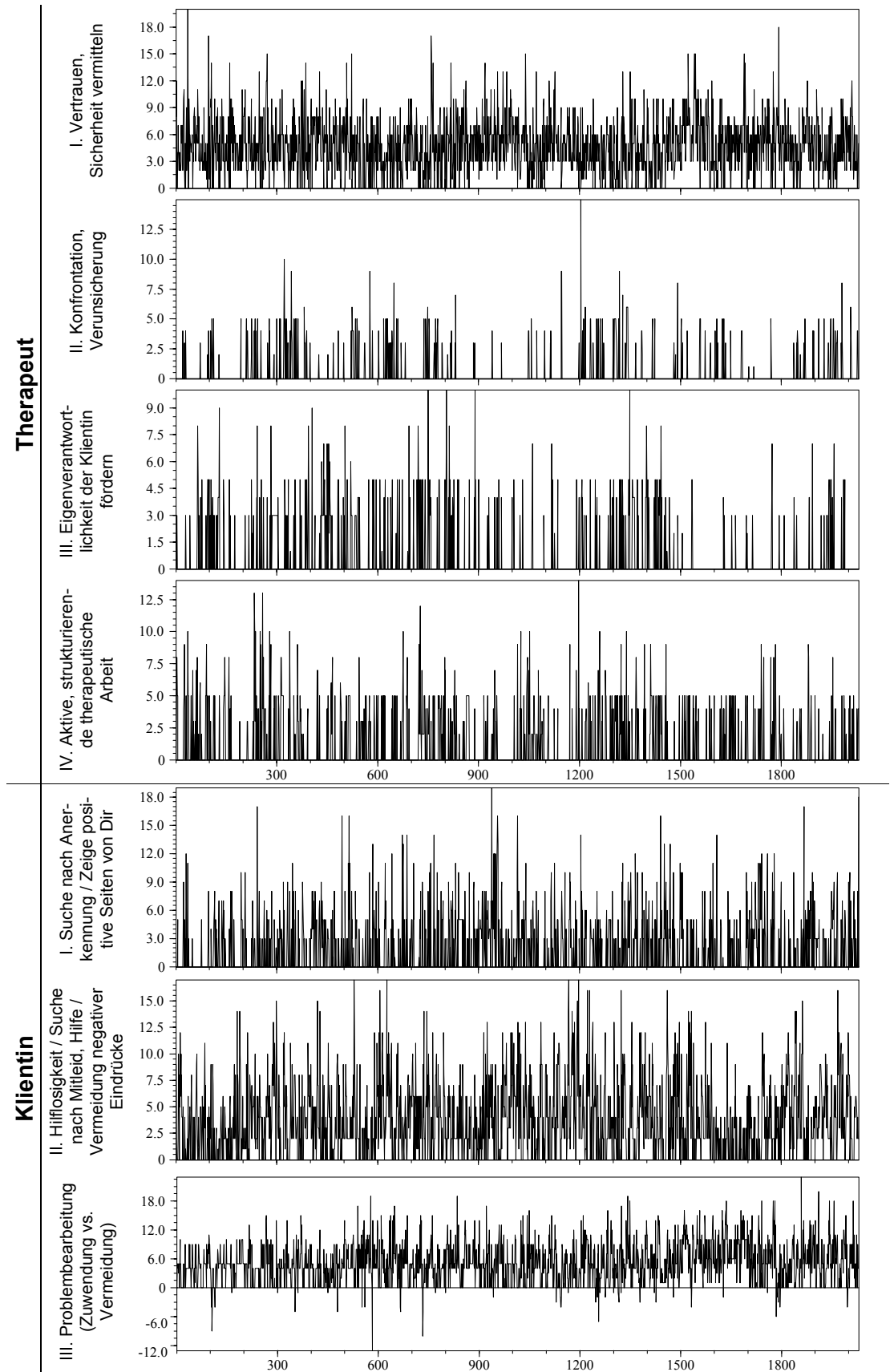


Abbildung 159: Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II

Zeitreihen der Therapie I (n = 2030 Messintervalle von je 10 Sekunden). Die Rückmeldephasen wurden herausgeschnitten.

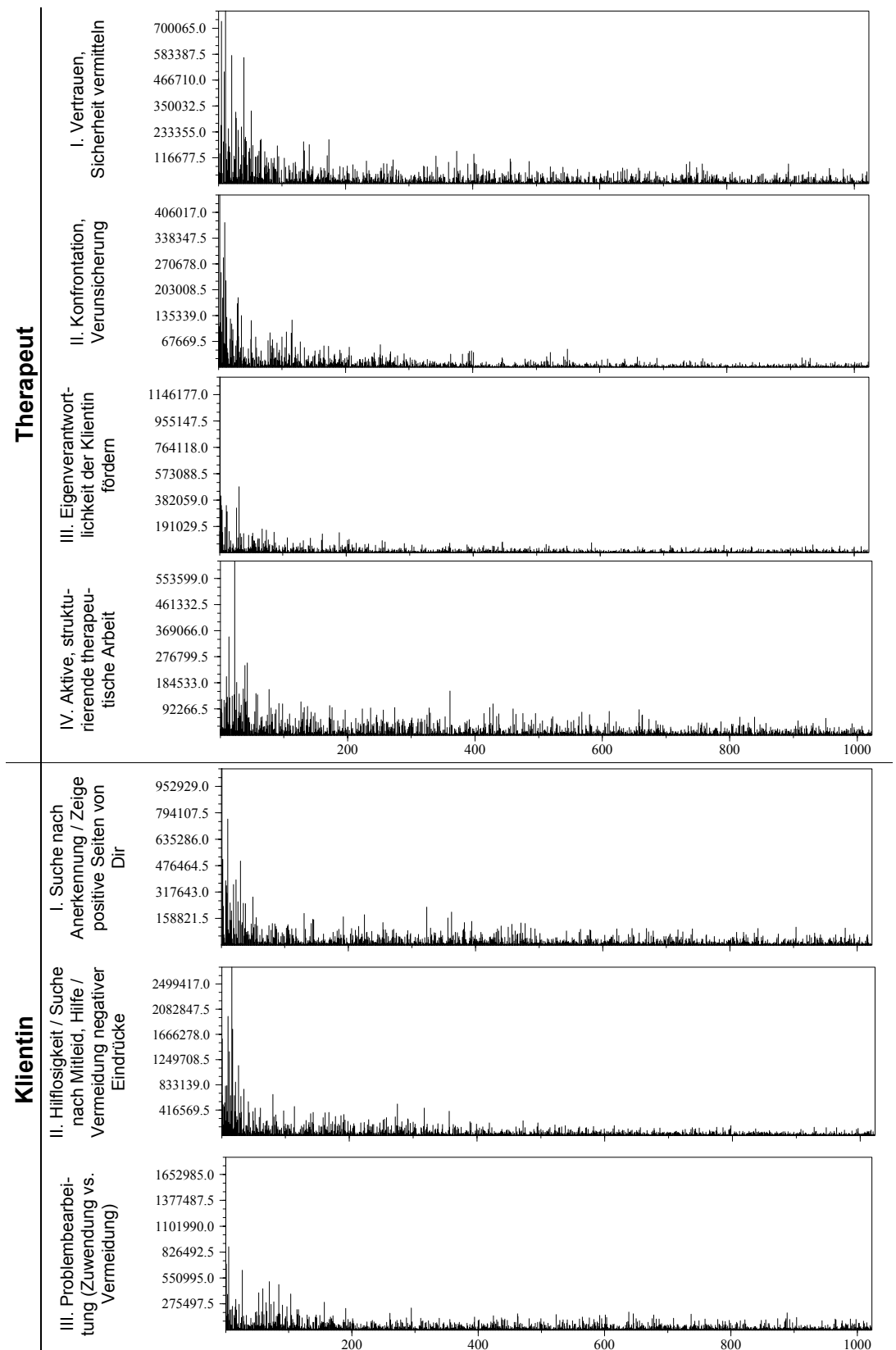


Abbildung 160: Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie I

Die Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie I beruhen auf einer FFT (Fast Fourier Transformation) die hier ohne Normierung der Spektraldichten wiedergegeben wird. Die x-Achse kennzeichnet indirekt die Periodenlängen und reicht von $T/2 = 1024$ (links) bis $T/2 = 1$ (rechts). Konkret handelt es sich bei den Werten der Abszisse um j aus Gleichung 40, S. 348).

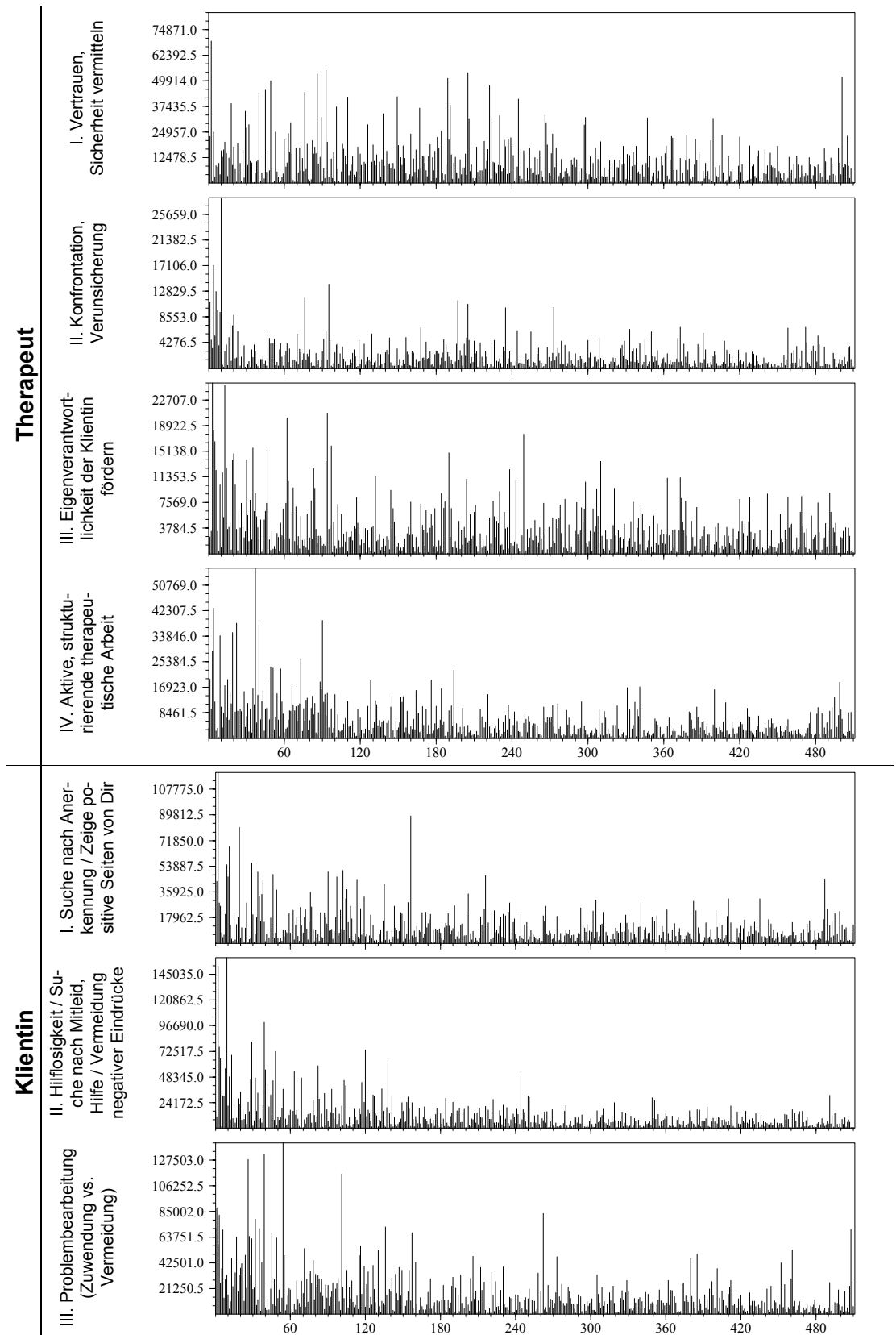


Abbildung 161: Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II

Die Spektralanalysen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II beruhen auf einer FFT (Fast Fourier Transformation) die hier ohne Normierung der Spektraldichten wiedergegeben wird. Die x-Achse kennzeichnet indirekt die Periodenlängen und reicht von $T/2 = 512$ (links) bis $T/2 = 1$ (rechts). Konkret handelt es sich bei den Werten der Abszisse um j aus Gleichung 40, S. 348).

Auch einfache korrelative Zusammenhänge verweisen auf die komplexe Struktur der Zeitreihen

Aus einer eher inhaltlich orientierten Perspektive würde es nahe liegen, die erfassten Daten z.B. im Rahmen eines korrelativen Auswertungsdesigns miteinander in Beziehung zu setzen. So ist es z.B. sehr leicht möglich, inhaltlich sinnvolle Hypothesen über eine Korrelation zwischen dem Verhalten des Therapeuten und dem Verhalten einer der Klientinnen zu formulieren. In der Regel ergeben sich bei der Korrelation von Selbstdarstellungsdimensionen der Klientinnen mit denen des Therapeuten auch durchaus plausible und zum Teil befriedigend hohe Korrelationskoeffizienten. Als vollständig beliebig stellt sich ein solches Vorgehen jedoch heraus, sobald die Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit vom jeweils zu betrachtenden Zeitausschnitt vollkommen andere Ergebnisse erbringen und prinzipiell jeden beliebigen Wert annehmen können (vgl. Abbildung 162). Eine einfache sich über lineare Korrelationen erschließende Ordnung kann für die vorliegenden Zeitreihen nicht nachgewiesen werden. Es ist vielmehr ein bizarres und wenig vorhersehbares, der kausalen Logik wenig entgegenkommendes Verhalten, welches sich im Lichte der Sequentiellen Plananalysen zeigt (vgl. auch Schiepek 1996).

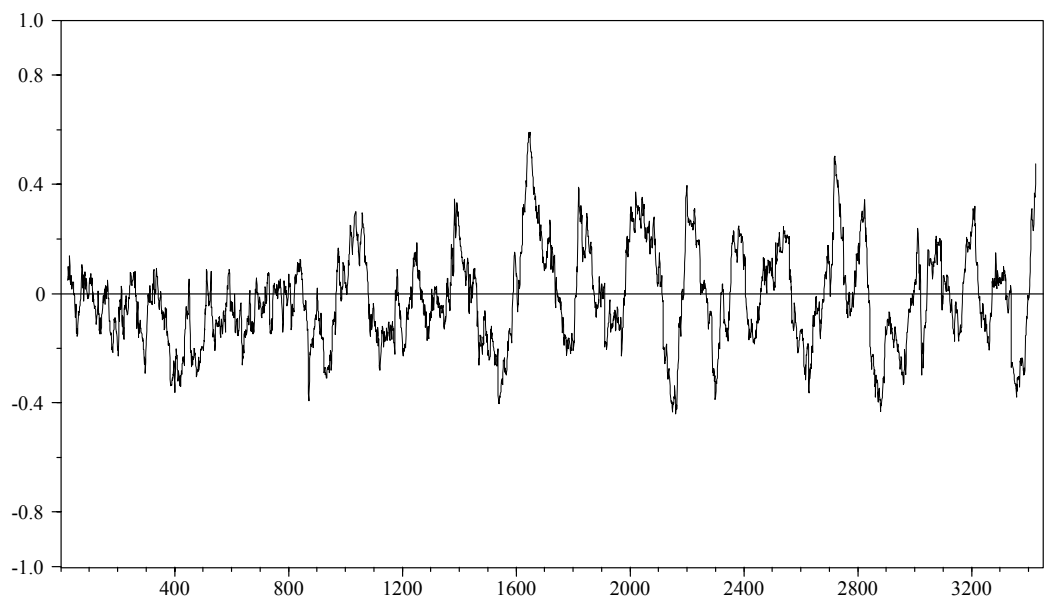


Abbildung 162: Erratischer Korrelationsverlauf

Die Abbildung zeigt den Verlauf der Korrelation zwischen der Selbstdarstellungsdimension I des Therapeuten „Vertrauen und Sicherheit vermitteln“ und der Dimension III der Klientin „Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)“ der Therapie I, jeweils berechnet für ein Fenster von 50 Messzeitpunkten. Das Fenster wird nach jeder Berechnung jeweils um einen Datenpunkt verschoben. Durch das Berechnungsfenster verschiebt sich die Darstellung auf der Zeit-Achse um 25 Messzeitpunkte nach Rechts und endet auch 25 Messzeitpunkte früher. Deutlich sind relativ hohe positive und hohe negative Korrelationen zu erkennen. Die Werte schwanken zwischen -0,44 und 0,60. Die Korrelation über den gesamten erfassten Zeitraum beträgt hingegen nur $r = 0,03$. Ob und welchen Einfluss das Verhalten des Therapeuten auf das Verhalten der Klientin hat, ist im Lichte diese Auswertungen nicht mehr leicht beschreibbar.

11.3.1 Dimensionalitätsanalyse

Die folgende, an nichtlinearen Methoden orientierte, Analyse der metrischen Zeitreihen der beiden Sequentiellen Plananalysen bemüht sich zunächst um die Bestimmung der Korrelationsdimension (Grassberger & Procaccia 1983a, 1983b), wobei verschiedene Berechnungsalgorithmen und Analyseschritte zur Anwendung kommen. Dabei gliedert sich die Dimensionalitätsanalyse zunächst in einen zeitlich invarianten und in einen dynamischen Teil. Die Berechnungsergebnisse des zeitlich invarianten Verfahrens werden zudem durch Surrogatdatenverfahren abgesichert. Die Analyse selbst erfolgt in drei Schritten.

- **Zeitliche Invarianz – Korrelationsdimension.** Der Kern der Dimensionalitätsanalyse ist die Bestimmung der Korrelationsdimension nach dem Verfahren von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b). Das so genannte D2 ist dabei als zeitlich invariantes Maß der Komplexität der erfassten Dynamik zu verstehen. Da in psychotherapeutischen Prozessen Veränderungen in der Dynamik nicht nur erwartet werden können, sondern sogar angestrebt werden, ist die Korrelationsdimension nicht vollständig interpretierbar. Sie liefert jedoch wichtige Zwischenergebnisse, die für die Bestimmung der Pointwise Dimensionalität (vgl. Skinner 1992) genutzt werden. Insbesondere wird jeweils der Skalierungsbereich, der sich in der D2-Analyse bewährte, auch für die Bestimmung der Pointwise Dimensionalität (PD2) benutzt.
- **Veränderung der Komplexität – Pointwise Dimensionalität.** Da für therapeutische Prozesse davon ausgegangen werden kann, dass es im Verlauf der Therapie zu Veränderungen in der Dynamik kommen sollte, können Invarianten wie die Korrelationsdimension oder der Lyapunov-Exponent, die die Dynamik über nur einen Kennwert beschreiben nur mit äußerster Vorsicht interpretiert werden. Erst Verfahren, die die Bestimmung lokaler Kennwerte im zeitlichen Verlauf erlauben, können der für therapeutische Prozesse zu erwartenden Dynamik gerecht werden. In diesem Sinne wurde die Bestimmung der Korrelationsdimension nicht nur über den Algorithmus von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b; vgl. ausführlicher S. 366ff.) für den gesamten Datensatz vorgenommen, sondern zudem lokal über einen Algorithmus für die Pointwise Dimensionalität bestimmt (vgl. Skinner 1992, und S. 373ff.). Dies Verfahren erlaubt die Beschreibung der Komplexitätsveränderung im zeitlichen Verlauf der Therapien. Es ist eine gängige Erfahrung, dass die im Zuge der Datenanalyse erzeugte neue Zeitreihe des PD2-Verlaufes nur zu einem geringen Teil zu einer Komplexitätsreduktion im Sinne einer einfacheren Beschreibung der Prozesse beiträgt. Nicht selten entwickelt sich das PD2 ähnlich komplex wie das analysierte Signal. Dies liegt zu einem großen Teil jedoch an der Messungenauigkeit des Verfahrens selbst, welches ja jeweils nur einen geringen Teil der Daten nutzt, um zu einer Dimensionalitätsschätzung pro Messzeitpunkt zu gelangen. Eine Möglichkeit mit diesem unerwünschten Fehlerrauschen umzugehen besteht darin, die PD2-Verläufe nach der Berechnung mit Hilfe eines arithmetischen gleitenden Mittelwerts zu glätten. Eine andere besteht darin die Messgenauigkeit des PD2 selbst zu erhöhen oder beide Zugänge zu kombinieren. Im Rahmen der folgenden Analysen wird zur Erhöhung der Messgenauigkeit des PD2 ein Verfahren vorge-

schlagen, welches nicht für jeden Fokuspunkt einzeln eine Schätzung der Korrelationsdimension ermittelt, sondern jeweils 50 Fokuspunkte in einem Durchgang behandelt. Während im Rahmen der Methode von Skinner (1992) $N-1$ Abstände zum Fokuspunkt als Berechnungsgrundlage dienen, vergrößert sich die Berechnungsgrundlage proportional zur Anzahl jeweils gemeinsam genutzter Fokuspunkte. Daher ist sie bei 50 Fokuspunkten 50 mal so groß. Das Fenster der zeitlich benachbarten Fokuspunkte wird nach der Berechnung um einen Fokuspunkt weiter geschoben.

Mit der dynamischen Perspektive nähert sich die Analyse unter anderem der Frage, in wie weit sich die von Tschacher et al. vermutete Abnahme der Komplexität in den vorliegenden Therapien nachweisen lässt (vgl. Scheier & Tschacher 1994, Thiele 1997, Strunk 1998a, Tschacher, Scheier & Grawe 1998; vgl. ausführlicher auch auf S. 490). Da im Rahmen der von Tschacher et al. als Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie vorgestellten Argumentation zudem von einem Unordnungs-Ordnungs-Übergang ausgegangen wird, dürfte sich zudem für den Beginn der Therapie keine klare Dimensionalität bestimmen lassen.

- **Testverfahren und Absicherung der Ergebnisse.** Ein wichtiges Kriterium für die valide Bestimmung der Korrelationsdimension (D2) ist die Sättigung der Dimensionalität bei wachsendem *Einbettungsdimension* (Embedding) der Daten (vgl. Abbildung 104, S 370). Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass Zeitreihen endlicher Länge auf Grund der begrenzten Anzahl an Punkten im Phasenraum prinzipiell immer zu einer Sättigung führen. Diese artifizielle Sättigung ist in der Regel jedoch erst für sehr hohe Einbettungsdimensionen (jedoch bei kurzen Zeitreihen auch schon früher) zu erwarten. Dennoch kann ein solcher Fehlalarm nicht vor vornherein ausgeschlossen werden. Einen gängigen Ausweg aus dem Dilemma bieten Surrogatdatenverfahren, von denen im Rahmen der Dimensionalitätsanalysen zwei Ansätze Verwendung finden:
 - a) **Random-Surrogate.** Eine einfache – und daher in jedem Fall Anwendung findende – Möglichkeit zur Überprüfung der Ergebnisse bieten Random-Surrogate, die durch Randomisierung der Originalzeitreihen erzeugt werden. Dadurch geht dann jede in den Daten verborgene dynamische Ordnung verloren. Ein solches Surrogat ermöglicht also einen Test auf Ordnung. Die Art der Ordnung (auf Nichtlinearität beruhend, regulär, irregulär etc.) kann mit solchen Surrogaten jedoch nicht festgestellt oder abgesichert werden.
 - b) **FFT-Surrogate.** Insbesondere bei der Analyse von EEG-Zeitreihen hat sich nach einer Phase in der sich vielerorts Belege für das Vorliegen von Chaos ergaben (z.B. Mayer-Kress 1986, Babloyantz & Destexhe 1987, Babloyantz 1990, West 1990, Elbert & Rockstroh 1993) gezeigt, dass auch bestimmte lineare stochastische Prozesse zu einer Sättigung des D2 führen können (vgl. z.B. Theiler 1995, Lerner 1996, Paluš 1996, 1999, Paluš et al. 1999, Brandt, Ademoglu & Pritchard 2000, Schreiber 2000). Als Lösung für dieses Problem bieten sich komplexe Surrogatdatenverfahren an, die gezielt solche Datensätze erzeugen, die in ihrem Frequenzspektrum mit den Originaldaten übereinstimmen, aber einem linear-stochastischen Prozess entstammen. Dies wird erreicht, indem die Originaldaten zunächst Fourier-analysiert wer-

den. Während bei einer Spektral-Analyse (vgl. S. 348ff.) nur die Amplituden der Frequenzen ermittelt werden, wird bei einer vollständigen Fourier-Analyse auch der Phasenwinkel zwischen den einzelnen Frequenzen bestimmt. Werden diese Phasenwinkel randomisiert und auf Grundlage dieser Informationen die Fourier-Analyse umgekehrt (inverse Fourier-Transformation), also eine neue Zeitreihe erzeugt, so handelt sich dabei um ein Surrogat, welches das gleiche Frequenzspektrum wie die Originalzeitreihe aufweist, aber auf dem linearen Modell der Fourier-Analyse und den randomisierten Phasenwinkeln beruht. Das Modell ist damit linear-stochastisch. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass bei der Nutzung mehrdimensionaler Datensätze (vgl. unten, Punkt 3.) auch die Kopplungen zwischen den einzelnen Datenreihen Berücksichtigung finden (vgl. Prichard & Theiler 1994).

Dieses aufwändige Verfahren der Surrogatdatentestung wird im Rahmen der vorliegenden Analysen erst dann eingesetzt, wenn bereits erste gesicherte Belege vorliegen (vgl. unten Phase 3). Um Zufallseffekte auszuschließen werden dabei insgesamt je 30 Surrogate pro Datensatz erzeugt und einzeln der D2-Bestimmung unterworfen.

Beide Surrogatdatenverfahren müssten bei der Berechnung des Korrelationsintegrals entweder dazu führen, dass keine Sättigung der D2-Werte beobachtet werden kann oder die Sättigung weitaus höher ausfällt, als für die Originalzeitreihen. Letzteres wird im Rahmen der folgenden Analysen über einen T-Test geprüft. Der T-Test beruht dabei auf den D2-Werten des Sättigungsbereiches.

Die gesamte Analyse gliedert sich in drei aufeinander aufbauende Phasen. Jede neue Phase nutzt dabei die Ergebnisse der vorhergehenden Analysen und baut diese damit aus:

1. **Analyse mit variabler Datenglättung.** In einem ersten Schritt werden alle zur Verfügung stehenden Zeitreihen einer Dimensionalitätsanalyse unterzogen. Dabei zeigt sich, dass die Zeitreihen in der Regel erst nach Behandlung mit einem gleitenden Mittelwert zu sättigenden Dimensionsschätzungen führen. Von Datensatz zu Datensatz unterscheidet sich die jeweils nötige Stärke der Glättungen jedoch erheblich. Kommt eine der Zeitreihen auf der eine Seite ganz ohne eine Behandlung mit einem gleitenden Mittelwert aus, so finden sich auf der anderen Seite Datensätze, die mehrfach mit einem gleitenden Mittelwert der Breite Zwei behandelt werden müssen, bevor es zu einer Sättigung kommt. Wie Argyris und Andreadis (1998a, 1998b) zeigen konnten, nimmt die Korrelationsdimension mit dem Vorhandensein von Rauschen zu. In diesem Sinne führt jedoch die Durchführung einer Datenglättung nicht nur zu einer Begrenzung störender Rauschanteile, sondern zudem zu einer Verringerung der Dimensionalität. Daher sind die durch verschieden starke Glättungen ermittelten Dimensionalitätsschätzungen nicht miteinander vergleichbar. Es lässt sich also vor dem Hintergrund der ersten Analyse-Phase noch keinesfalls entscheiden, ob das erhobene Verhalten des Therapeuten komplexer ausfällt als das der Klientin, solange beide nicht mit dem gleichen gleitenden Mittelwert behandelt werden. Ziel des ersten Analyseschrittes, zur Bestimmung der Dimensionalität, war es daher, zunächst zu überprüfen, ob überhaupt eine Sättigung der Dimensionalität bei wachsendem Embedding erreicht werden kann, und ob sich diese durch eine fehlende Sättigung für Random-Surrogate bestätigen lässt.

Das für das Embedding nötige Time-Lag wird im Rahmen der ersten Analyse-Phase für jede Zeitreihe einzeln über das erste lokale Minimum der Mutual Information (vgl. 358ff.) bestimmt.

2. **Analyse mit fester Datenglättung.** Erst in einem zweiten Schritt werden alle Zeitreihen nach Maßgabe der stärksten nötigen Glättung (Ergebnis aus Phase 1) auf eine gemeinsame Basis gestellt. Erst diese im zweiten Schritt ermittelten Schätzungen der Korrelationsdimension erlauben einen Vergleich zwischen den einzelnen Zeitreihen. Dabei zeigt sich jedoch, dass durch dieses Vorgehen einige Zeitreihen über Gebühr geglättet werden, so dass entsprechende Random-Surrogate zum Teil ebenfalls zu sättigenden Dimensionalitätsschätzungen führen. Obwohl die Dimensionalitätsschätzung für die Surrogate jeweils weit höher ausfällt und sich jeweils hochgradig signifikant von den Schätzungen für die Originalzeitreihen unterscheidet, weist dieser Umstand doch auf eine begrenzte Qualität der vorliegenden Zeitreihen hin. Eine geringe Auflösung der Daten, der Einfluss von Messrauschen und die unterschiedliche Beobachtungsdichte, die z.B. beim Therapeuten dazu führt, dass einige Zeitreihen über weite Teile der Therapie auf Null bleiben, führt dazu, dass auch für die Random-Surrogate sättigende Dimensionalitätsschätzungen beobachtet werden können. Das für das Embedding nötige Time-Lag wird auch im Rahmen der zweiten Analyse-Phase für jede Zeitreihe einzeln über das erste lokale Minimum der Mutual Information bestimmt.
3. **Multidimensionale Einbettung.** Da die Datenstruktur der Sequentiellen Plananalyse das Verhalten der beiden Interaktionspartner nicht nur jeweils über nur eine Zeitreihe erfasst, wurde in einem dritten Schritt die Dimensionalitätsbestimmung unter Nutzung aller vorhandenen Datensätze als unabhängige Komponenten des mehrdimensionalen Phasenraumes durchgeführt. In diesem Sinne bilden die drei Selbstdarstellungskategorien der Klientin die drei Komponenten einer dreidimensionalen Einbettung der Daten. Durch dieses Vorgehen kann die Datenqualität erheblich angehoben werden. Für die Dimensionalitätsbestimmung stehen dadurch z.B. für die Klientinnen jeweils drei mal so viele Datenpunkte zur Verfügung, die zudem verschiedene Aspekte des Verhaltens abdecken und damit weniger Ungenauigkeiten und Lücken aufweisen. Insgesamt zeigen sich für die dritte Phase der Dimensionalitätsanalyse klarere Ergebnisse bei verringerter Glättungsintensität. Durch die multidimensionale Einbettung entfällt zudem das Problem der Time-Lag-Bestimmung.

11.3.1.1 Dimensionalitätsanalyse mit variabler Glättung

Die erste Phase der Dimensionalitätsanalyse hat zunächst einen eher explorativen Charakter. Zum einen soll eine für alle Zeitreihen gleichermaßen passende Glättungsstärke bestimmt werden, zum anderen werden nicht nur die Selbstdarstellungsdimensionen sondern auch die Oberplanzeitreihen analysiert. Obwohl davon ausgegangen werden kann, dass die Datenqualität der Selbstdarstellungsdimensionen durch die Zusammenfassung von mehreren Oberplänen auch jeweils höher ausfällt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass bereits auf der Ebene der Oberpläne sinnvolle Ergebnisse erzielt werden können.

Grundlage der folgenden Dimensionalitätsanalysen sind pro Therapie die zehn Oberpläne des Therapeuten, die sieben Oberpläne der Klientin sowie die drei Selbstar-

stellungsdimensionen der Klientin und die vier Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten. Damit wurden insgesamt 24 Zeitreihen pro Therapie analysiert.

Für die Analyse werden verschiedene Algorithmen in C++ implementiert

Das Time-Lag der Zeitverzögerungs-Koordinaten nach dem Takens-Theorem (vgl. 353ff.) wurde dabei jeweils durch das erste Minimum der Mutual Information festgelegt. Der Grundgedanke dieses Verfahrens wird auf den Seiten 358ff. beschrieben und geht auf Fraser und Swinney (1986) zurück. Der Algorithmus für die Berechnung lag als C-Quelltext vor (Weeks 1997), der für die vorliegenden Auswertungen angepasst und auf 32bit-Windows portiert wurde. Der für die Berechnung des D2/PD2 zur Anwendung kommende Algorithmus bestimmt die Dimensionalität für steigende Einbettungsdimensionen (2 bis 20-dimensionale Einbettungen, in Ausnahmefällen bis 25 Dimensionen, um sicher zu stellen, dass die zu beobachtete Sättigung tatsächlich stabil bleibt). Kam es zu keiner Sättigung, wurden die Daten mit einem gleitenden Mittelwert der Breite Zwei geglättet und danach die Berechnungen wiederholt. Erwies sich eine weitere Glättung als erforderlich, so wurden die Datenreihen erneut mit einem gleitenden Mittelwert der Breite Zwei behandelt. In diesem Sinne kam nach und nach ein mehrstufig geschachtelter, gleitender Mittelwert zur Anwendung. Aus der Glättung einer Zeitreihe resultiert eine Filterung von Rauschanteilen, sie führt aber in der Regel auch zu einer Verringerung der Dimensionalitätsschätzungen. Der Algorithmus bricht ab, wenn es zu einer Sättigung der Dimensionalitätsschätzungen kommt. In einem nächsten Schritt prüft der Algorithmus, ob bei der durch Randomisierung der Originalzeitreihe gewonnenen Surrogatzeitreihe die Sättigung ausbleibt. Die Surrogatzeitreihe wird dabei der gleichen Glättungsprozedur unterzogen wie die Originalzeitreihe. Bleibt die Sättigung der Surrogate aus, wird anschließend für die Originalzeitreihe eine Schätzung der Dimensionalität durchgeführt. Die Sättigung wird – im Falle des PD2-Verfahrens – für jeden Messzeitpunkt erneut geprüft; nur für die Zeitpunkte, für die eine Sättigung vorliegt, wird die Dimensionalität registriert. Der D2/PD2-Algorithmus beruht in seinen theoretisch-methodologischen Grundlagen auf den Arbeiten von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b). Er wird auf den Seiten 366ff ausführlich beschrieben. Die Implementierung des Algorithmus in C++ erfolgte durch den Autor der vorliegenden Arbeit. Der Skalierungsbereich und der Sättigungsbereich werden im Rahmen der Analyse automatisiert ermittelt (vgl. S. 369). Auf eine erneute Bestimmung des Skalierungsbereichs wird bei der anschließenden Anwendung des PD2 verzichtet und statt dessen jeweils der Bereich aus der Berechnung des D2 übernommen. Zudem kommt Gleichung 65 (S. 380) zur Reskalierung von euklidischen Abständen im Phasenraum für unterschiedliche Einbettungsdimensionen zur Anwendung.

Die Ergebnisse sind im ersten Schritt der Analyse noch nicht untereinander vergleichbar

Auf Grund der jeweils unterschiedlich starken Glättung der Zeitreihen, sind die in Tabelle 29, Tabelle 30 und Tabelle 31 dargestellten Ergebnisse untereinander nicht vergleichbar. Dies liegt daran, dass das Glätten einer Zeitreihe sowohl zur Filterung von Rauschanteilen dient, eine Verminderung des Rauschens aber auch zu einer Verringerung der Dimensionalität führt. In diesem Sinne war es weniger das Ziel dieses ersten von insgesamt drei Schritten zur Dimensionalitätsbestimmung zu interpretierbaren Ergebnissen über die Komplexität der Zeitreihen zu gelangen als vielmehr zu überprüfen, ob überhaupt sättigende Dimensionalitätsschätzungen durchgeführt werden können und welche Glättungsstufe dafür jeweils nötig ist.

Therapie I			PD2					GAM	Range
Therapeut	Selbstdarstellungsdimension	D2	SD	AM	SD	Median	% valide		
Therapeut	I. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	5,623	0,434	4,952	1,857	4,837	59,26%	4	6 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	II. Konfrontation, Verunsicherung	1,608	0,358	3,040	3,104	1,103	59,20%	0	7 – 20
	Surrogat	sättigt nicht							
	III. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	6,749	0,487	6,253	1,766	6,197	62,77%	2	8 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	IV. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	7,610	0,329	6,208	2,619	6,051	43,90%	3	12 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
Klientin	I. Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir	6,868	0,522	6,456	1,745	6,466	57,68%	3	7 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	II. Hilfslosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke	4,892	0,375	4,655	1,689	4,461	66,64%	5	5 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	III. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	8,529	0,356	8,101	2,001	8,142	42,37%	2	10 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
Therapie II			PD2					GAM	Range
Therapeut	Selbstdarstellungsdimension	D2	SD	AM	SD	Median	% valide		
Therapeut	I. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	4,978	0,453	4,734	1,610	4,523	58,29%	7	5 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	II. Konfrontation, Verunsicherung	2,120	0,300	3,748	3,254	1,844	68,69%	1	10 – 20
	Surrogat	sättigt nicht							
	III. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	3,895	0,306	4,243	2,169	3,852	77,46%	7	12 – 25
	Random-Surrogat	5,162	0,488	T-Test Surrogat vs. Original t = 8,30 (DF = 27 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
	IV. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	5,823	0,269	5,410	1,985	5,632	53,24%	7	11 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
Klientin	I. Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir	5,596	0,504	7,189	4,525	5,88	60,95%	7	7 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	II. Hilfslosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke	7,305	0,279	7,392	1,667	7,499	47,73%	2	11 – 19
	Random-Surrogat	sättigt nicht							
	III. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	7,736	0,272	6,982	2,398	6,841	42,73%	2	10 – 20
	Random-Surrogat	sättigt nicht							

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 GAM: Anzahl der Wiederholungen der Datenglättung mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2

Tabelle 29: D2/PD2 der Selbstdarstellungsdimensionen

D2 und PD2 für die Selbstdarstellungsdimensionen beider Therapien. Die grau unterlegten Zeilen geben die Ergebnisse des Surrogatdatentests wieder.

Wie aus der Tabelle 29 ersichtlich wird, konnten für alle sieben Selbstdarstellungskategorien der ersten Therapie befriedigende Werte für eine D2-Schätzung ermittelt werden. In keinem Fall sättigte eines der für die Zeitreihen erzeugten Random-Surrogate. Im Fall der Selbstdarstellungsdimension II des Therapeuten („Konfrontation, Verunsicherung“) war überhaupt keine Glättung der Zeitreihe

nötig. Bei den anderen Datensätzen der Therapie I schwankten die Glättungen zwischen einer zwei- bis fünffachen Anwendung des gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite Zwei.

**Die Datenqualität
schein für die Thera-
pie II geringer als für
die Therapie I**

Im Gegensatz zur ersten Therapie besteht eine der Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II nicht den Surrogattest. Wie die Tabelle 29 belegt, ist das Surrogat signifikant komplexer als die zugehörige Zeitreihe. Dennoch zeigen sich hier erste Begrenzungen der für die in der zweiten Therapie doch erheblich kürzeren Zeitreihen. Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass die Zeitreihen für die relativ hohen Dimensionalitätswerte doch zum Teil erheblich zu kurz sind. In diesem Sinne reicht die Zahl der Datenpunkte der Surrogate nicht aus, um bei größer werdender Einbettungsdimension den Phasenraum noch weiter zu füllen. In eine ähnliche Richtung weist der zum Teil erheblich höherer Glättungsbedarf der Datensätze der Therapie II.

**Die erfassten Prozesse
sind relativ hoch-
dimensional**

Die Größenordnung der Dimensionalitätsschätzungen schwankt insgesamt zwischen 5 und 9 Dimensionen, was als relativ hoch angesehen werden kann. Das kommunikative Geschehen, wie es im Rahmen der Sequentiellen Plananalysen für die beiden Therapien erfasst wird, erscheint damit als komplexer dynamischer Prozess. Erstaunlich gering fällt jedoch der Wert für die zweite Selbstdarstellungsdimension des Therapeuten („Konfrontation, Verunsicherung“) aus. Obwohl diese Zeitreihe keiner Glättung bzw. einer einfachen Glättung im Fall der Therapie II bedurfte, um zu sättigen, liegt die ermittelte Dimensionalität mit 1,6 (Therapie I) und 2,1 (Therapie II) weit unter den Werten, die für die übrigen Selbstdarstellungskategorien ermittelt wurden. Während der Median der jeweiligen PD2 Berechnungen dieses Ergebnis unterstützt, weist der Mittelwert des PD2 jedoch jeweils auf eine weit höhere Dimensionalität größer 3,0 hin. Es scheint also im Verlauf des PD2 auch immer wieder mal starke Ausreißer nach oben zu geben. Bereits den Zeitreihen in Abbildung 158 und Abbildung 159 (S. 558 und S. 559) ist zu entnehmen, dass konfrontatives und destabilisierendes therapeutisches Verhalten einem anderen zeitlichen Muster folgt als alle anderen Aspekte der Kommunikation. Konfrontation erfolgt nur punktuell und beschränkt sich auf bestimmte Phasen des Prozesses. Vertrauensbildende Pläne dagegen werden sehr viel häufiger, intensiver und auch mit höherer Dynamik kommuniziert. Dass Phasen der Destabilisierung im therapeutischen Kontext begleitet sein sollten von stabilisierenden und stützenden Rahmenbedingungen sowie einer entsprechenden Beziehungsgestaltung, wurde oben bereits betont (vgl. S. 471f. sowie Schiepek & Strunk 1994, Schiepek 1999b).

**Die PD2-Berechnungen
liefern keine
interpretierbaren
Ergebnisse**

Die Berechnungen der PD2 bleiben durch eine verhältnismäßig geringe Anzahl valider Zeitpunkte, für die eine Sättigung festgestellt werden kann, unbefriedigend. Dennoch liegen insbesondere die Mediane der PD2-Schätzungen relativ nahe bei den ermittelten Korrelationsdimensionen (D2). Nach einem Kriterium von Skinner (1992) sollten Analysen, die weniger als 75% valider Messzeitpunkte aufweisen, nicht weiter interpretiert werden. Keine der Selbstdarstellungskategorien überspringt diese Hürde. Dieser Befund ist Anlass für weiterführende Analysen (vgl. S. 573ff. und S. 576ff.).

Die Berechnungen für die Zeitreihen der Oberpläne verweisen – mit wenigen Ausnahmen – auf die grundsätzlich zu geringe Datenqualität dieser Aggregations-

ebene. Wie die Tabelle 30 für die Therapie I zeigt, sättigen für zwei der 17 Oberpläne die Surrogate ebenso gut und in vergleichbarer Höhe, wie die Zeitreihe selber, sodass die für diese Zeitreihen ermittelten D2-Werte nicht weiter interpretiert werden sollten. Es kann vermutet werden, dass dieses Ergebnis auf das geringe Auflösungs-niveau und längere Phasen relativer Konstanz der Datenreihen zurück zu führen ist. Eine Randomisierung der wenig variierenden Zeitreihen führt nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit zu grundsätzlich anderen dynamischen Strukturen.

Für weitere vier Zeitreihen, für die ebenfalls eine Sättigung der D2-Werte der Surrogate festgestellt werden konnte, zeigte sich immerhin jeweils ein hoch signifikanter Unterschied zur Berechnung der Originalzeitreihen. Noch einmal schlechter fallen die Ergebnisse für die Oberplanzeitreihen der Therapie II aus (vgl. Tabelle 31, S. 572). Hier macht sich zusätzlich die über 1.000 Messzeitpunkte kürzere Beobachtungsdauer bemerkbar.

Die D2-Schätzungen für die Oberplanzeitreihen sind eher unbefriedigend

Die Anzahl der für die PD2-Schätzung nutzbaren validen Zeitpunkte variiert für die Oberplanzeitreihen relativ stark. In der Regel ist die Anzahl der validen Zeitpunkte unbefriedigend gering. Für drei besonders niedrig dimensionale Zeitreihen konnten jedoch über 80% valider Zeitpunkte erreicht werden (Therapie I: Oberplan des Therapeuten: „Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung“ und der Klientin: „Demonstriere Stärken und Kompetenzen“; Therapie II: Oberplan des Therapeuten: „Gib ihr Struktur“). Insgesamt zeigen die Dimensionalitätsschätzungen der Oberpläne eine weitaus größere Schwankungsbreite, als dies für die Selbstdarstellungskategorien der Fall ist. Neben hohen Werten, die um neun Dimensionen variieren, finden sich auch Werte unter einer Dimension. Insgesamt scheint es so zu sein, als ob die Dimensionalitätsbestimmung für die Oberpläne auf Grund der weit schlechteren Datenqualität nur in Ausnahmefällen zu brauchbaren Ergebnissen führt.

Zusammenfassend kann für den ersten Schritt der Dimensionalitätsanalyse festgehalten werden, dass zumindest für die Selbstdarstellungsdimensionen beider Therapien brauchbare Schätzungen der Dimensionalität ermittelt werden können. Die Ergebnisse weisen die untersuchten Therapien als relativ komplexe dynamische Strukturen aus, die Dimensionalitätswerte von bis zu neun Dimensionen erreichen können. Obwohl die vorliegenden Berechnungen noch nicht in Hinblick auf die Höhe der ermittelten Korrelationsdimension miteinander verglichen werden können, fällt doch die geringe Dimensionalität der zweiten Selbstdarstellungsdimension des Therapeuten auf, die sich übereinstimmend für beide Therapien feststellen lässt. Für keine der beiden Therapien scheint es jedoch sinnvoll, die Analysen der Oberplanzeitreihen noch weiter zu verfolgen. Insbesondere für die zweite Therapie konnte nur für ca. die Hälfte der untersuchten Oberpläne ein interpretierbarer Wert bestimmt werden.

In diesem Sinne beschränken sich die folgenden Analysen auf die Daten der Selbstdarstellungsdimensionen der beiden Therapien. Die intensivsten Glättungen wurden für die Selbstdarstellungsdimensionen der Therapie II mit einer insgesamt siebenfachen Anwendung des gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite Zwei registriert. Die vergleichende Analyse der Dimensionalität stützt sich daher auf diese Glättungsstufe.

	Therapie I		PD2				GAM	Range	
	Oberplan	D2	SD	AM	SD	Median % valide			
Therapeut	1. Zeige, dass du kompetent genug bist, ihr bei der Lösung ihrer Probleme zu helfen	3,217	0,216	4,289	2,947	3,335	43,44%	18	10 – 19
	Random-Surrogat	4,279	0,331	T-Test Surrogat vs. Original t = 8,975 (DF = 24 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	0,701	0,256	1,228	2,025	0,378	84,36%	1	5 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	3. Zeige Dich einfühlsam	4,941	0,348	4,451	2,094	4,121	56,71%	7	11 – 20
	Random-Surrogat	6,341	0,481	T-Test Surrogat vs. Original t = 7,910 (DF = 23 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
	4. Motiviere sie, weiter an ihren Problemen zu arbeiten	2,154	0,357	3,820	2,099	3,497	68,41%	3	8 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	1,352	0,305	2,656	2,127	1,716	72,05%	7	4 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
Klientin	6. Konfrontiere sie mit ihrem eigenen Verhalten und mit Verhaltensalternativen	0,409	0,136					0	2 – 20
	Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar					
	7. Aktiviere sie	7,299	0,456	6,581	2,025	6,555	56,27%	2	9 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	0,440	0,221					0	2 – 20
	Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar					
	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit auf bestimmte Inhalte	7,284	0,214	6,271	2,485	6,086	43,39%	3	11 – 20
	Random-Surrogat	9,491	0,449	T-Test Surrogat vs. Original t = 13,919 (DF = 17 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
	10. Gib ihr Struktur	2,448	0,334	4,064	1,621	4,046	58,92%	3	9 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
Klientin	1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen	1,006	0,224	1,822	2,819	0,611	80,23%	0	9 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast	6,028	0,405	5,631	1,954	5,531	61,13%	3	7 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	3. Sei eine gute Klientin / schaffe eine gute Beziehung zum Therapeuten	6,450	0,389	6,129	2,233	6,092	47,62%	3	9 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	4. Zeige, dass Dein Leiden stark außenbeeinflusst ist	1,030	0,212	1,391	1,971	0,437	71,59%	5	2 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	5. Fordere Hilfe vom Therapeuten	6,195	0,432	5,134	2,307	4,819	44,71%	3	11 – 20
	Random-Surrogat	8,934	0,268	T-Test Surrogat vs. Original t = 15,645 (DF = 16 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	8,979	0,251	8,261	2,335	8,275	33,92%	2	12 – 20	
Random-Surrogat			sättigt nicht						
7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems / Widerstand	6,340	0,353	5,716	2,165	5,582	51,03%	3	11 – 20	
Random-Surrogat			sättigt nicht						

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 GAM: Anzahl der Wiederholungen der Datenglättung mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2

Tabelle 30: D2/PD2 der Oberpläne der Therapie I

D2 und PD2 für die Oberpläne der Therapie I. Die grau unterlegten Zeilen geben die Ergebnisse des Surrogatdatentests wieder.

Therapie II		D2		PD2				GAM	Range	
Oberplan		D2	SD	AM	SD	Median	% valide			
Therapeut	1. Zeige, dass du kompetent genug bist, ihr bei der Lösung ihrer Probleme zu helfen	4,660	0,413	4,786	1,796	4,637	62,71%	8	9 – 20	
	Random-Surrogat	5,734	0,398	T-Test Surrogat vs. Original t = 6,846 (DF = 25 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *						
	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	8,055	0,350	7,118	2,476	7,265	37,90%	3	12 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
	3. Zeige Dich einfühlsam	3,601	0,287	4,027	1,693	3,647	58,15%	15	10 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
	4. Motiviere sie, weiter an ihren Problemen zu arbeiten	6,987	0,354	6,787	2,322	6,815	34,99%	3	12 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	1,419	0,361	1,901	2,357	0,902	77,68%	1	9 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
Klientin	6. Konfrontiere sie mit ihrem eigenen Verhalten und mit Verhaltensalternativen	0,365	0,202					0	2 – 20	
	Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar						
	7. Aktiviere sie	1,826	0,271	2,867	3,379	1,004	66,06%	1	9 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	0,595	0,361					0	2 – 20	
	Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar						
	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit auf bestimmte Inhalte	5,014	0,270	4,770	1,894	4,421	52,25%	9	10 – 20	
	Random-Surrogat	5,337	0,528	T-Test Surrogat vs. Original t = 1,850 (DF = 24 p-1-seitig = 0,038) * Der Unterschied ist signifikant *						
	10. Gib ihr Struktur	0,406	0,064	0,756	1,291	0,170	90,95%	10	2 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
Klientin	1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen	1,835	0,350	3,779	1,766	3,552	54,84%	7	7 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
	2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast	4,702	0,377	4,511	1,958	4,060	57,03%	10	8 – 20	
	Random-Surrogat	5,070	0,602	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 1,916 (DF = 27 p-1-seitig = 0,033) * Der Unterschied ist signifikant *						
	3. Zeige Deine menschlichen Qualitäten / Zeige, dass Du ein guter Mensch bist, vorbildlich in ethischer Hinsicht	0,264	0,130					1	2 – 20	
	Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar						
	4. Demonstriere Hilfslosigkeit/Bemühe Dich um Mitleid / Unterstützung	6,345	0,286	5,863	1,777	5,775	63,77%	3	7 – 20	
	Random-Surrogat	9,703	0,437	T-Test Surrogat vs. Original t = 22,371 (DF = 21 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *						
	5. Erkläre Probleme/ Mache deutlich, dass mangelnde Fortschritte nicht an Dir liegen	0,707	0,213					0	8 – 20	
	Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar						
Klientin	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7,640	0,452	7,402	1,534	7,309	57,32%	2	9 – 20	
	Random-Surrogat			sättigt nicht						
	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems / Widerstand	0,489	0,211					0	2 – 20	
Random-Surrogat			Surrogat sättigt, kein Unterschied zum Original feststellbar							

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 GAM: Anzahl der Wiederholungen der Datenglättung mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2

Tabelle 31: D2/PD2 der Oberpläne der Therapie II

D2 und PD2 für die Oberpläne der Therapie II. Die grau unterlegten Zeilen geben die Ergebnisse des Surrogatdatentests wieder.

11.3.1.2 Dimensionalitätsanalyse mit fester Glättung

Die Filterung von Messfehlerrauschen ist ein übliches Vorgehen in der Analyse komplexer Zeitsignale (vgl. z.B. Tsonis 1992). Dennoch ist Vorsicht geboten, wenn es darum geht, eine chaotische Dynamik und Prozesse komplexer Selbstorganisation zu identifizieren. Hier ist in vielen Fällen nicht mehr sicher zu stellen, ob durch die Filterung der Daten nicht auch Anteile des eigentlich interessierenden Signals herausgefiltert werden. Als zumindest grobe Richtlinie kann für die Datenfilterung daher gelten: so wenig wie möglich und so viel wie nötig.

Vergleichbare Dimensionalitätschätzungen lassen sich durch eine einheitliche Glättung erreichen

Die Ergebnisse der ersten Phase der Dimensionalitätsbestimmung zeigen auf, dass die Daten in beinahe jedem Fall einer Glättung bedürfen. Die maximale Glättung ist mit einem 7-stufig geschachtelten arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei nicht sehr hoch, führt aber dennoch zu einer merklichen Verringerung der Komplexität des entsprechenden Datensatzes (vgl. die Ergebnisse in Tabelle 29, S. 568 mit den Ergebnissen in Tabelle 32; vgl. auch Argyris & Andreadis 1998b). Um eine Vergleichbarkeit der Berechnungen zu gewährleisten ist es also nötig jeden Datensatz mit der gleichen Glättung zu behandeln. Die festgelegte Glättung mit einem geschachtelten gleitenden Mittelwert der Stufe Sieben und der Breite Zwei liegt jedoch für die Zeitreihen der Therapie I in vielen Fällen weit über der mindest nötigen Glättungsstärke. Dieser Umstand führt dann dazu, dass für sechs der sieben Selbstdarstellungsdimensionen auch eine Sättigung der Surrogate hingenommen werden muss. Die Unterschiede zwischen der Komplexität der Surrogate und den Originalzeitreihen weisen jedoch jeweils in die richtige Richtung und fallen zudem in jedem Fall hoch signifikant aus.

Die Dimensionalität beider Klientinnen liegt bei rund 5,0 Dimensionen

Für die Selbstdarstellungsdimensionen beider Klientinnen wurden relativ dicht beieinander liegende Werte zwischen rund 4,6 und 5,6 Dimensionen ermittelt (vgl. Tabelle 32). Dabei liegen in Therapie I die erste und die dritte Selbstdarstellungsdimension gleichauf, während die zweite Selbstdarstellungsdimension geringfügig nach unten abweicht. In der Therapie II liegen hingegen die zweite und die dritte Selbstdarstellungsdimension gleichauf und die erste weicht nach oben ab. Beide Klientinnen zeigen im Mittelwert über die betrachteten Selbstdarstellungsdimensionen mit jeweils rund 5,0 Dimensionen den gleichen Wert. Die Abweichungen vom Mittelwert sind für keine der Datenreihen der beiden Klientinnen signifikant. Aber auch dann, wenn man annehmen wollte, dass die beobachtbaren Unterschiede zwischen den D2 der einzelnen Selbstdarstellungskategorien interpretierbar wären, ergäbe sich für beide Klientinnen die gleiche Rangordnung: Das D2 für die erste Selbstdarstellungsdimension („Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir“) ist am größten, das für die Zweite („Hilflosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke“) am kleinsten. Die Mitte wird in beiden Fällen von der dritten Selbstdarstellungsdimension („Problembearbeitung: Zuwendung vs. Vermeidung“) gebildet.

Im Gegensatz zu den relativ dicht beieinander liegenden Werten für die Selbstdarstellungskategorien der Klientinnen zeigen sich für den Therapeuten doch größere Unterschiede, wobei auch hier die Ähnlichkeiten zwischen den beiden Therapien überwiegen. Es ist erneut die zweite Selbstdarstellungsdimension des Therapeuten, die in beiden Therapien mit sehr geringen D2-Werten aus dem Rahmen der sonst feststellbaren Ergebnisse fällt.

	Therapie I			PD2				Time-	
	Selbstdarstellungskategorie	D2	SD	AM	SD	Median	% valide	Lag	Range
Therapeut	I. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	4,690	0,457	4,499	1,683	4,277	68,18%	6	5 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	II. Konfrontation, Verunsicherung	1,430	0,470	3,104	1,818	2,823	79,19%	8	2 – 20
	Surrogat	6,479	0,356	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 31,82 (DF = 29) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
	III. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	4,389	0,372	4,394	1,722	4,069	54,72%	8	5 – 20
	Random-Surrogat	6,206	0,717	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 8,94 (DF = 29) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
Klientin	IV. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	5,306	0,650	4,925	1,513	4,849	65,20%	8	5 – 20
	Random-Surrogat	6,303	0,573	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 4,52 (DF = 29) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
	I. Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir	5,191	0,484	4,850	1,485	4,694	62,63%	7	5 – 20
	Random-Surrogat	6,608	0,665	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 6,82 (DF = 29) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
	II. Hilfslosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke	4,646	0,547	4,685	2,037	4,371	62,63%	7	9 – 20
	Random-Surrogat	6,201	0,500	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 7,70 (DF = 25) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
	III. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	5,123	0,620	4,934	1,446	4,828	66,47%	6	5 – 20
	Random-Surrogat	6,087	0,403	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 5,09 (DF = 29) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					

	Therapie II			PD2				Time-	
	Selbstdarstellungskategorie	D2	SD	AM	SD	Median	% valide	Lag	Range
Therapeut	I. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	4,978	0,453	4,734	1,610	4,523	58,29%	7	5 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	II. Konfrontation, Verunsicherung	1,147	0,337	2,659	2,213	1,757	80,83%	2	2 – 20
	Surrogat			sättigt nicht					
	III. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	3,895	0,306	4,243	2,169	3,852	77,46%	6	12 – 25
	Random-Surrogat	5,162	0,488	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 8,30 (DF = 27) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
Klientin	IV. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	5,823	0,269	5,410	1,985	5,632	53,24%	7	11 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	I. Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir	5,596	0,504	5,143	1,669	5,041	57,86%	7	7 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					
	II. Hilfslosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke	4,615	0,413	4,614	1,434	4,420	63,48%	5	5 – 20
	Random-Surrogat	5,860	0,445	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 8,08 (DF = 29) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
	III. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	4,698	0,421	4,578	1,636	4,336	60,61%	4	5 – 20
	Random-Surrogat			sättigt nicht					

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2

Tabelle 32: D2/PD2 der Selbstdarstellungsdimensionen (feste Glättung)

D2 und PD2 für die Selbstdarstellungsdimensionen beider Therapien. Die grau unterlegten Zeilen geben die Ergebnisse des Surrogatdatentests wieder. Die Datensätze wurden vor der Analyse einheitlich mit einem 7-fach geschachtelten gleitenden arithmetischen Mittel der Breite Zwei behandelt.

In beiden Therapien liegt die mittlere Dimensionalität des Therapeuten bei rund 4,0 Dimensionen

Außer für die zweite Selbstdarstellungsdimension („Konfrontation, Verunsicherung“), führen die Berechnungen für den Therapeuten in beiden Therapien zu ähnlich hohen Werten, wie sie auch für die Klientinnen ermittelt wurden. Hier wie dort schwanken die Ergebnisse um fünf Dimensionen. Dennoch berechnet sich die mittlere Dimension des Therapeuten in beiden Fällen auf rund 4,0 Dimensionen. Die größeren Unterschiede in den D2-Werten der Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten verweisen jedoch darauf, dass dieses Ergebnis nur mit Vorsicht interpretiert werden sollte. Zusammenfassend scheint es so zu sein, als ob die Komplexität des Therapeuten in etwa der der Klientin entspricht und nur jeweils für die zweite Selbstdarstellungsdimension erheblich nach unten abweicht. Überraschend ist aber auch für den Therapeuten die starke Übereinstimmung zwischen den beiden Therapien.

Zwischen beiden Therapien überwiegen die Ähnlichkeiten

Insgesamt führt der Vergleich der Ergebnisse für die beiden Therapien zu der durchaus erstaunlichen Feststellung, dass sich in beiden jeweils die gleichen Muster abbilden. Zum einen stimmen die mittlere Dimensionalität beider Klientinnen mit rund 5,0 und beider Therapeuten mit rund 4,0 Dimensionen nahezu exakt überein. Zum anderen zeigen beide Therapien eine extrem geringe Dimensionalität für die zweite Selbstdarstellungskategorie des Therapeuten. Neben diesen besonders auffälligen Übereinstimmungen lassen sich noch weitere „Familienähnlichkeiten“ feststellen:

- In beiden Therapien liegen die Werte für die drei Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin dicht beieinander.
- In beiden Therapien zeigen sich stärkere Unterschiede zwischen den einzelnen Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten.
- Werden die Dimensionalitätsschätzungen der Klientin und des Therapeuten jeweils nach ihrer Größe gereiht, so ergibt sich für beide Therapien exakt die gleiche Rangordnung:

$$D2_{(Klientin\ 1)} > D2_{(Klientin\ 3)} > D2_{(Klientin\ 2)} \text{ und} \\ D2_{(Therapeut\ 4)} > D2_{(Therapeut\ 1)} > D2_{(Therapeut\ 3)} \gg D2_{(Therapeut\ 2)}$$

Selbstdarstellungsdimensionen:

Klientin 1: Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir

Klientin 2: Hilflosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke

Klientin 3: Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)

Therapeut 1: Vertrauen, Sicherheit vermitteln

Therapeut 2: Konfrontation, Verunsicherung

Therapeut 3: Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern

Therapeut 4: Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit

Trotz dieser überraschenden Ergebnisse verweisen die Analysen jedoch auch auf die begrenzte Qualität der vorliegenden Daten. Für relativ viele Zeitreihen konnte eine Sättigung der Random-Surrogate beobachtet werden. Obwohl die Dimensionalitätsschätzung für die Surrogate jeweils weitaus höher ausfällt und sich zudem jeweils hochgradig signifikant von den Schätzungen für die Originalzeitreihen unterscheidet, weist dieser Umstand doch auch auf Grenzen in der Datenqualität hin. Zudem erreichen nur drei der insgesamt 14 Datensätze mehr als 75% valider Messzeitpunkte für die Bestimmung des PD2. Chancen für eine, auch in Hinblick auf das PD2, verlässlichere Auswertung lassen sich in der Datenstruktur der sequentiellen Plananalyse sehen. Da das Verhalten der beiden Interaktionspartner nicht nur jeweils über eine Zeitreihe erfasst wurde, lässt sich für jeden Messzeitpunkt ein ganzes Bündel an Informationen zusammenstellen. Im Rahmen des folgenden dritten Schrittes der Dimensionalitätsbestimmung werden die Daten daher

einer multidimensionalen Einbettung unterzogen, so dass die jeweils drei Selbstdarstellungsdimensionen der Klientinnen bzw. die vier Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten als Komponenten eines individuellen Verhaltenssystems betrachtet werden. Gleiches gilt für die sieben Kategorien des gesamten Interaktionssystems. Durch die Nutzung der jeweils vorhandenen Datensätze als unabhängige Komponenten einer mehrdimensionalen Einbettung kann die Datenqualität erheblich verbessert.

Wie sich im Folgenden zeigen wird, lassen sich dann bei allen vorhandenen Familienähnlichkeiten zwischen den beiden Therapien doch auch Unterschiede in der Dynamik feststellen, die auf die individuellen Besonderheiten der jeweiligen therapeutischen Prozesse zurückgeführt werden können.

11.3.1.3 Dimensionalitätsanalysen der beiden Therapien – Multidimensionale Einbettung

Wie sich aus den Ergebnissen der ersten beiden Analyseschritte zur Bestimmung der Dimensionalität der vorliegenden Therapiedaten ergab, leiden insbesondere die Berechnungen zur Pointwise Dimensionalität (PD2) unter der zum Teil geringen Datenqualität. Aber auch bei der Bestimmung des D2 kommt es durch die Sättigung der Surrogate zu nicht immer eindeutigen Ergebnissen. Die folgende Analyse versucht diese Begrenzungen durch die Nutzung aller jeweils vorhandenen Selbstdarstellungsdimensionen als multidimensionale Datenreihen zu umgehen. Da jedoch für diese multidimensionale Einbettung der Daten zunächst nicht bekannt ist, ob eine Glättung benötigt wird, und wenn das der Fall sein sollte, wie stark diese Glättung zu veranschlagen sei, wurden die Datensätze beider Therapien zunächst mit gleitenden Mittelwerten der Stufen zwei bis fünf geglättet. Für jeden dieser Datensätze wurde die Berechnung schrittweise wiederholt. Für jede der beiden Therapien wurden dabei drei Datensätze getrennt analysiert.

1. **Therapeut.** Die vier Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten ergeben zusammen genommen einen vierdimensionalen Datensatz.
2. **Klientin.** Die drei Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin wurden zusammengefasst zu einem dreidimensionalen Datensatz.
3. **Therapie.** Die insgesamt sieben Selbstdarstellungsdimensionen von Klientin und Therapeuten wurden zu einem siebendimensionalen Datensatz für die gesamte Therapie gebündelt.

Obwohl hier von z.B. dreidimensionalen Datensätzen die Rede ist, ist diese Multidimensionalität der Daten nicht mit der Dimensionalität der Einbettungsdimensionen zu verwechseln. So ist es durchaus möglich, die dreidimensionalen Datensätze der Klientinnen neundimensional einzubetten. Würde bei dem dreidimensionalen Datensatz der vierte Datenwert normalerweise der ersten Dimension entsprechen, so wird er im Falle einer höheren Einbettung der vierten Dimension zugeordnet und so fort. In diesem Sinne kombiniert die Einbettung der vorliegenden Datensätze die bereits erhobene Multidimensionalität mit dem Verfahren der Zeitverzögerungs-Koordinaten (zum Verfahren der Zeitverzögerungs-Koordinaten siehe Gleichung 47, S. 354). Die niedrigste Einbettungsdimension ist dabei jeweils durch die Dimensionalität des Datensatzes festgelegt. Im Zuge der D2-Analyse wird dann die Einbettung schrittweise für die Klientin bis auf 20, für den Therapeuten bis 22 und für die gesamte Therapie bis auf 25 Dimensionen erhöht.

Insgesamt genügt hier bereits eine fünfmalige Glättung der Datensätze

Die Tabelle 33 enthält die Ergebnisse für die multidimensionalen Datensätze der Klientin, des Therapeuten und der gesamten ersten Therapie. Die Ergebnisse für Therapie II finden sich in Tabelle 34. Es zeigt sich zunächst, dass auch bei diesem Vorgehen eine Glättung der Datenreihen unerlässlich ist. Während für die Klientin der Therapie I bereits nach dreimaliger Anwendung eines gleitenden Mittelwertes der Breite zwei eine Sättigung der Dimensionalitätswerte für wachsende Einbettungsdimensionen verzeichnet werden kann, ist für den Therapeuten der gleichen Therapie eine vierfache Anwendung und für die Klientin der Therapie II eine fünffache Anwendung des gleitenden Mittelwertes nötig. Mit der fünffachen Glättung ist auch die maximal nötige Filterung der Datensätze erreicht. Insgesamt bestätigen diese Analysen die Vermutung, dass die Nutzung der multidimensionalen Datensätze zu einer geringeren Glättung zwingen würde als für die einzelnen Zeitreihen. Davon profitiert vor allem die Berechnung für die gesamte Therapie, die aus allen sieben Zeitreihen gespeist wird und damit über die höchste Datenqualität verfügt.

Therapie I Datensatz	D2	SD	PD2				GAM	Range
			AM	SD	Median	% valide		
Klientin			sättigt nicht				2	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
	6,447	0,178	7,489	2,687	7,144	63,55%	3	Dim: 12 – 20
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	6,097	0,247	6,988	2,566	6,627	67,05%	4	Dim: 10 – 20
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	5,909	0,126	6,017	2,110	5,822	80,22%	5	Dim: 9 – 20
Random-Surrogat			sättigt nicht					
Therapeut			sättigt nicht				2	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
			sättigt nicht				3	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
	6,211	0,278	6,646	2,579	6,233	65,90%	4	Dim: 12 – 22
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	5,810	0,198	5,972	2,286	5,598	74,27%	5	Dim: 11 – 22
Random-Surrogat	8,328	0,319	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 23,23 (DF = 7,98 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
Therapie	8,030	0,184	7,651	2,580	7,533	56,42%	2	Dim: 15 – 25
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	7,034	0,321	6,769	2,177	6,798	72,96%	3	Dim: 9 – 25
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	6,301	0,406	6,137	1,944	6,092	76,76%	4	Dim: 7 – 25
Random-Surrogat	9,688	0,341	T-Test Surrogat vs. Original t = 27,85 (DF = 36 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					
	5,649	0,220	5,915	3,155	5,278	84,10%	5	Dim: 7 – 25
Random-Surrogat	8,996	0,220	T-Test Zeitreihe vs. Original t = 46,89 (DF = 36 p-1-seitig = 0,000) * Der Unterschied ist signifikant *					

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 GAM: Anzahl der Wiederholungen der Datenglättung mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2

Tabelle 33: D2/PD2 der multidimensionalen Einbettung – Therapie I

Die Tabelle stellt die Ergebnisse der D2/PD2-Berechnungen für die multidimensionalen Datensätze der Therapie I bei wachsender Glättungsstufe dar. Für den Therapeuten kann bei Glättungsstufe Vier eine Sättigung im D2 festgestellt werden. Auf dieser Stufe sind die Ergebnisse für die drei Datensätze miteinander vergleichbar. Eine Vergleichbarkeit mit der Therapie II ist ab Glättungsstufe Fünf gegeben (vgl. die folgende Tabelle 34).

Therapie II Datensatz	D2	SD	PD2				GAM	Range
			AM	SD	Median	% valide		
Klientin			sättigt nicht				2	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
			sättigt nicht				3	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
			sättigt nicht				4	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
	6,004	0,194	5,931	1,792	5,691	87,66%	5	Dim: 11 – 20
Random-Surrogat			sättigt nicht					
Therapeut			sättigt nicht				2	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
	3,675	0,385	5,454	1,963	5,286	65,81%	3	Dim: 9 – 21
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	3,686	0,399	5,482	2,004	5,371	73,66%	4	Dim: 9 – 22
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	3,425	0,531	4,969	1,607	4,919	80,15%	5	Dim: 5 – 22
Random-Surrogat			sättigt nicht					
Therapie			sättigt nicht				2	sättigt nicht
Random-Surrogat			nicht berechnet					
	6,423	0,466	6,960	2,000	6,804	79,34%	3	Dim: 10 – 25
Random-Surrogat			sättigt nicht					
	6,119	0,410	6,523	1,872	6,434	87,88%	4	Dim: 9 – 25
Random-Surrogat	8,914	0,350	T-Test Surrogat vs. Original t = 21,38 (DF = 32) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					
	5,843	0,257	6,145	1,728	6,076	92,58%	5	Dim: 9 – 25
Random-Surrogat	7,838	0,178	T-Test Surrogat vs. Original t = 26,31 (DF = 32) p-1-seitig = 0,000 * Der Unterschied ist signifikant *					

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 GAM: Anzahl der Wiederholungen der Datenglättung mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2

Tabelle 34: D2/PD2 der multidimensionalen Einbettung – Therapie II

Die Tabelle stellt die Ergebnisse der D2/PD2-Berechnungen für die multidimensionalen Datensätze der Therapie II bei wachsender Glättungsstufe dar. Für die Klientin kann erst bei der Glättungsstufe Fünf (fünfmalige Anwendung eines gleitenden Mittelwertes der Breite Zwei) eine Sättigung im D2 festgestellt werden. Auf dieser Stufe sind die Ergebnisse für die drei Datensätze miteinander vergleichbar.

Der Vergleich mit Random-Surrogaten zeigt die geordneten Strukturen der multidimensionalen Datensätze

Ähnlich positiv fallen die Ergebnisse auch in Bezug auf den Surrogatdatentest aus. Obwohl es auch hier vereinzelt zu einer Sättigung der Random-Surrogate kommt, liegen die Ergebnisse zwischen zwei bis drei Dimensionen über denen der Originaldaten. Die Berechnung der Dimensionalität für die einzelnen Zeitreihen, wie sie im ersten und zweiten Schritt der Dimensionalitätsanalyse verfolgt wurde lieferte hingegen Unterschiede von nur ca. einer Dimension zwischen der Komplexität der Surrogate und der Originalzeitreihe. In diesem Sinne sind die hier zu berichtenden Unterschiede hochgradig signifikant und verweisen auf eine gesteigerte Datenqualität. Für die Klientin der Therapie I konnte zudem für keine der Glättungsstufen eine Sättigung der Surrogate beobachtet werden.

Auch in Bezug auf die Berechnung der Pointwise Dimensionalität kann eine Verbesserung der Datenqualität beobachtet werden. Für die multidimensionalen Datensätze der Therapie II (siebendimensionaler Datensatz) liegt bereits für die Glättungsstufe Drei ein Ergebnis mit über 75% validen Messzeitpunkten vor. Bei Glät-

tungsstufe Fünf (fünffache Anwendung eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite Zwei) verfehlt nur mehr der Datensatz für den Therapeuten in der Therapie II das 75%-Kriterium. Hier fehlen jedoch nicht einmal mehr 1%.

In den meisten Fällen bestätigen die Berechnungen des PD2 (Median und Mittelwert) die Ergebnisse der D2-Analysen. Obwohl die Werte nur selten ganz übereinstimmen, sind sie doch in der Regel nicht weit voneinander entfernt und realisieren in jedem Fall die gleichen Größenordnungen (die Abweichungen bewegen sich für die fünfte Glättungsstufe innerhalb plus-minus rund einer halben Dimension). Eine auffällige Ausnahme von dieser Regel kann jedoch für den Therapeuten der Therapie II festgestellt werden. Nicht nur, dass die D2-Werte rund 1,5 Dimensionen unter allen anderen Dimensionalitätswerten der fünften Glättungsstufe liegen, zudem weichen die PD2-Kennwerte auffällig stark nach oben vom D2 ab. Es ist durchaus möglich, dass sich im PD2 des Therapeuten der Therapie II entsprechend starke dynamische Komplexitätsveränderungen niederschlagen für die das D2 als zeitlich invariantes Maß keine Empfindlichkeit zeigt.

Alle drei Datensätze der Therapie I zeigen Werte um 5,8 Dimensionen

Die auffällig geringe Komplexität des Therapeutenverhaltens in Therapie II zeigt sich durchgängig für jede der analysierten Glättungsstufen, während in der Therapie I die Ergebnisse für alle drei Datensätze über die analysierten Glättungsstufen hinweg nur geringe Abweichungen voneinander zeigen. Die Dynamik des Verhaltens der Klientin und des Therapeuten erscheinen in der Therapie I als gleich komplex. Werden die beiden Datensätze zu einem Datensatz für die gesamte Therapie zusammengefasst, so bleibt die Komplexität im Wesentlichen erhalten. Für die Glättungsstufe Fünf ergibt sich für alle drei Datensätze ein D2 um 5,8 (mit einer Abweichung von rund $\pm 0,1$ Dimensionen). Diese Ergebnisse bestätigen die Befunde, die für den zweiten Analyseschritt berichtet wurden. Musste dort noch offen bleiben, ob sich die Komplexität der Klientin tatsächlich von der des Therapeuten unterscheidet, zeigen sich in der Analyse der multidimensionalen Datensätze verblüffende Übereinstimmungen zwischen allen drei Komplexitätswerten. Diese Übereinstimmung ist nicht nur aus einer methodischen Perspektive überraschend, sondern auch aus einer inhaltlichen. Methodisch ist es durchaus erstaunlich, wenn die Analysen der beiden Interaktionspartner einzeln und in der Zusammenschau als gleich komplex einstufte werden können. Obwohl dies nach dem Takens-Theorem für ein stark gekoppeltes System an Zeitreihen durchaus zu erwarten ist (vgl. S. 353ff. wo gezeigt wird, dass bereits eine Zeitreihe zur Rekonstruktion des gesamten Phasenraumes genügt), erstaunt es vor dem Hintergrund der Datenerhebung, die ja von zwei unabhängigen Beobachtern durchgeführt wurde. Inhaltlich stimmt die hohe Übereinstimmung zwischen der Komplexität des Therapeuten- und Klientinnenverhalten jedoch nachdenklich. Es ist nur wenig einsichtig, dass der Therapeut ein ähnlich komplexes Verhalten zeigt, wie die Klientin, die ja z.B. über mehr Redeanteile verfügen sollte.

In Therapie II erscheint das Therapeutenverhalten als weniger komplex

Doch damit nicht genug der Übereinstimmungen: Erstaunlicher Weise ergibt sich für die Glättungsstufe Fünf wie bereits für die Therapie I auch für die Therapie II ein D2 von 5,8. Auch das D2 der Klientin der Therapie II weicht hiervon um nicht mehr als eine Standardabweichung ab. Allerdings unterscheiden sich die Klientin und der Therapeut der Therapie II erheblich in ihrer Komplexität, wenn diese über das D2 bestimmt wird. Während die Klientin einen Wert um 6 Dimensionen aufweist, erreicht der Therapeut nur 3,4 Dimensionen. Allerdings zeigen die Kennwerte des PD2 des Therapeuten eine bereits erwähnte hohe Abweichung zum D2.

Der Median des PD2 des Therapeuten lässt diesen näher an die Komplexität der Klientin heranreife, bleibt aber immer noch um rund eine Dimension geringer. Wie es für das Setting einer Therapie zu erwarten gewesen wäre, wird die Komplexität des Geschehens in der zweiten Therapie mehr von der Klientin als vom Therapeuten bestimmt. Der Therapeut bleibt zurückhaltender und zeigt eine geringere Komplexität in seinem Verhalten.

Insgesamt scheinen sich die vorliegenden Ergebnisse, angefangen beim ersten Analyseschritt zu einem konsistenten Gesamtbild zu verdichten. Dieses Gesamtbild wird dominiert von der Feststellung, dass es sich bei den vorliegenden Datensätzen jeweils um das Abbild einer relativ komplexen Dynamik handelt. Immerhin scheint es sich um mindestens 6-dimensionale Systeme zu handeln. Zudem weisen die Unterschiede zu Random-Surrogaten die Dynamik der Sequentiellen Plananalyse als signifikant strukturierter und geordneter aus als entsprechende Zufallsabfolgen. Ob es sich bei den vorliegenden Prozessen jedoch um eine chaotische und damit irreguläre Dynamik handelt, kann auf Grundlage der hier diskutierten Analysen noch nicht entschieden werden. Offen bleibt, vor dem Hintergrund der vorliegenden Ergebnisse, zum einen, ob es sich bei den ermittelten Dimensionalitätswerten um Hinweise auf eine fraktale Dimensionalität handelt. Die Ergebnisse liegen zumindest jeweils sehr nahe an ganzzahligen Werten (4,0 und 5,0 Dimensionen im zweiten Analyseschritt und 6,0 in der vorliegenden Analyse). Zum anderen erlauben die bisher durchgeführten Surrogatdatentestungen keine eindeutige Unterscheidung zwischen linearen und nichtlinearen Modellannahmen.

FFT-Surrogate ermöglichen einen Test auf Nichtlinearität

Für die Berechnungen, wie sie in Tabelle 35 wiedergegeben werden, wurden daher pro Datensatz 30 Surrogate durch Randomisation der Phasenwinkel ihrer Fast Fourier Transformatierten (FFT) und anschließender inverser FFT erzeugt. Es handelt sich damit um Datensätze, die im Frequenzspektrum mit den Originaldaten übereinstimmen aber auf einem linear-stochastischen Modell beruhen. Die erzeugten FFT-Surrogate müssten damit geordneter erscheinen als entsprechende Random-Surrogate, aber insgesamt komplexer bleiben als die Originaldatensätze, um eine nichtlineare Modellannahme zu stützen. Die FFT-Surrogate wurden mit dem von Hegger, Kantz und Schreiber (2000) angebotenen Programmpaket TISEAN (Nonlinear Time Series Analysis) erzeugt (vgl. Hegger, Kantz & Schreiber 1999, Schreiber & Schmitz 2000). In die Generierung der FFT-Surrogate fließt neben dem Frequenzspektrum auch das Cross-Korrelationsspektrum als Kopplung zwischen den verschiedenen Zeitreihen der multidimensionalen Datensätze mit ein (vgl. Prichard & Theiler 1994). Der T-Test zwischen den D2-Berechnungen der Surrogate und dem D2 des Originaldatensatzes beruht auf sämtlichen D2-Schätzungen, die im Sättigungsbereich vorliegen. Bei insgesamt 30 Surrogaten und z.B. einem jeweils 12 Dimensionen umfassenden Sättigungsbereich liegen insgesamt 360 D2-Schätzungen für einen typischen Satz von FFT-Surrogaten vor.

Insgesamt bestätigt sich die Annahme, dass es sich bei den beobachteten Prozessen um den Ausdruck nichtlinearer dynamischer Systeme handelt. Obwohl die gemittelte Dimensionalität der jeweils 30 FFT-Surrogate nicht immer stark von der Originalzeitreihe abweicht, ist der Unterschied doch in jedem Fall hoch signifikant. Für den Therapeuten kann in der Therapie II zudem keines der FFT-Surrogate eine Sättigung der D2-Werte erreichen. Sehr gering, aber auf Grund der großen Anzahl an D2-Daten für die Surrogate dennoch signifikant, fällt hingegen der Unterschied für den Therapeuten in der Therapie I aus.

Therapie I Datensatz	D2	SD	PD2				GAM	Range
			AM	SD	Median	% valide		
Therapeut (4-Dimensional)	5,810	0,198	5,972	2,286	5,598	74,27%	5	Dim: 11 – 22
Random-Surrogat	8,328	0,319	T-Test Surrogat vs. Original t = 23,23 (DF = 7,98 p-1-seitig = 0,0000) * Der Unterschied ist signifikant *					
FFT-Surrogat	6,092	0,357	T-Test Surrogate vs. Original t = 2,719 (DF = 11,48 p-1-seitig = 0,0063) * Der Unterschied ist signifikant *					
Klientin (3-Dimensional)	5,909	0,126	6,017	2,110	5,822	80,22%	5	Dim: 9 – 20
Random-Surrogat			sättigt nicht					
FFT-Surrogat	6,674	0,481	T-Test Surrogate vs. Original t = 4,76 (DF = 9,37 p-1-seitig = 0,0002) * Der Unterschied ist signifikant *					
Therapie (7-Dimensional)	5,649	0,220	5,915	3,155	5,278	84,10%	5	Dim: 7 – 25
Random-Surrogat	8,996	0,220	T-Test Surrogat vs. Original t = 46,89 (DF = 36 p-1-seitig = 0) * Der Unterschied ist signifikant *					
FFT-Surrogat	6,359	0,355	T-Test Surrogate vs. Original t = 8,65 (DF = 18,64 p-1-seitig = 0,0000) * Der Unterschied ist signifikant *					
Therapie II								
Therapeut (4-Dimensional)	3,425	0,531	4,969	1,607	4,919	80,15%	5	Dim: 5 – 22
Random-Surrogat			sättigt nicht					
FFT-Surrogat			sättigt nicht					
Klientin (3-Dimensional)	6,004	0,194	5,931	1,792	5,691	87,66%	5	Dim: 11 – 20
Random-Surrogat			sättigt nicht					
FFT-Surrogat ⁺	6,459	0,301	T-Test Surrogate vs. Original t = 4,74 (DF = 9,37 p-1-seitig = 0,0002) * Der Unterschied ist signifikant *					
Therapie (7-Dimensional)	5,843	0,257	6,145	1,728	6,076	92,58%	5	Dim: 9 – 25
Random-Surrogat	7,838	0,178	T-Test Surrogat vs. Original t = 26,31 (DF = 32 p-1-seitig = 0,0000) * Der Unterschied ist signifikant *					
FFT-Surrogat	6,645	0,294	T-Test Surrogate vs. Original t = 11,090 (DF = 476 p-1-seitig = 0,0000) * Der Unterschied ist signifikant *					

SD: Standardabweichung (für D2 im Sättigungsbereich bzw. für PD2 über den gesamten Verlauf)
 AM: Mittelwert des PD2
 %-valide: Anteil der Messzeitpunkte, für die eine valide Berechnung des PD2 möglich ist
 GAM: Anzahl der Wiederholungen der Datenglättung mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite Zwei
 Range: Bereich der Einbettung in dem sich eine Sättigung der D2-Werte zeigt. Dieser Bereich bildet auch die Grundlage für die Bestimmung des PD2
 + 2 der 30 Surrogate sättigten nicht.

Tabelle 35: Ausführliche Surrogatdatentestung

Die Tabelle stellt die Ergebnisse des Tests auf Nichtlinearität zusammen. Zu jedem multidimensionalen Datensatz wurden je 30 FFT-Surrogate erstellt. Diese Testdatensätze realisieren das gleiche Frequenzspektrum und das gleiche Cross-Korrelationsspektrum zwischen den Daten wie die Originaldatensätze. Randomisiert sind jedoch die Phasenwinkel, die festlegen, in welchem Verhältnis die verschiedenen Frequenzen zueinander stehen. Die Surrogate realisieren damit ein linear-stochastisches Modell. Obwohl die gemittelte Dimensionalität der jeweils 30 FFT-Surrogate nicht immer stark von der Originalzeitreihe abweicht, ist der Unterschied doch in jedem Fall hoch signifikant. Für den Therapeuten kann in der Therapie II zudem keines der FFT-Surrogate eine Sättigung der D2-Werte erreichen. Sehr gering, aber auf Grund der großen Anzahl an D2-Daten für die Surrogate dennoch signifikant, fällt hingegen der Unterschied für den Therapeuten in der Therapie I aus.

Zusammenfassend ergibt sich für den dritten Schritt der Dimensionalitätsbestimmung der beiden Therapien folgendes Bild:

- Die Datenqualität der multidimensionalen Datensätze ist bedeutend höher als die der jeweiligen Einzelzeitreihen. Sowohl hinsichtlich der nötigen Glättung als auch in Hinblick auf den Vergleich mit Random-Surrogaten

schneiden die multidimensionalen Datensätze besser ab als die einzelnen Zeitreihen. Zudem erreichen die PD2-Berechnungen erstmals über 75% valider Messzeitpunkte.

- Die Komplexität beider Therapien fällt mit D2-Werten von 5,7 (Therapie I) und 5,8 (Therapie II) gleich hoch aus (der geringfügige Unterschied ist statistisch nicht signifikant). Dieses wenig zu erwartende Ergebnis hatte sich bereits im zweiten Analyseschritt angedeutet.
- Auch die D2-Werte beider Klientinnen zeigen untereinander und im Vergleich zu den beiden Datensätzen für die Therapien nur geringe, ebenfalls nicht signifikante Unterschiede.
- Der Therapeut der ersten Therapie zeigt in seinem interaktionellen Verhalten die gleiche Komplexität wie die Klientin, ein Ergebnis, das durchaus erstaunlich ist. Für eine therapeutische Situation, bei der in der Regel die Klienten größere Redeanteile aufweisen und neues Material präsentieren, während der Therapeut vor einem professionellen Hintergrund Struktur bietet, wäre eine höhere Komplexität für die Klientin als für den Therapeuten zu erwarten gewesen.
- Die Erwartung einer geringeren Komplexität für den Therapeuten wird jedoch für die zweite Therapie bestätigt. Obwohl die Ergebnisse durch die große Diskrepanz zwischen dem D2 und dem Median der PD2-Berechnungen nicht ganz eindeutig ausfallen, bleibt die Komplexität des Therapeuten mindestens eine Dimension unter der der Klientin. Das Ergebnis einer deutlich niedrigeren dimensional Komplexität des Therapeutenverhaltens in Therapie II gegenüber dem in Therapie I entspricht genau seiner in der Abfolge von Planaktivierungsmustern gefundenen höheren Ordnung in Therapie II (vgl. Tabelle 26, S. 552 bzw. Abbildung 156, S. 551 und die dort angeführten Erläuterungen).
- Die Testung der Ergebnisse mit jeweils 30 FFT-Surrogaten bestätigt im Wesentlichen die Annahme, dass die komplexe Dynamik der Interaktionsprozesse auf ein nichtlineares dynamisches System zurück geführt werden kann. Die Nullhypothese eines linear-stochastischen Modells mit identischem Frequenzspektrum aber randomisiertem Phasenwinkel kann jedenfalls für alle Datensätze zurückgewiesen werden.

Im Folgenden soll auf Grundlage der PD2-Berechnungen die Dynamik der Komplexitätsveränderungen im Verlauf der beiden Therapien genauer untersucht werden. Mit Ausnahme des Datensatzes für den Therapeuten in der Therapie I, dem nicht einmal mehr 1% an validen Messzeitpunkten fehlt, erreichen alle Datensätze bei der fünften Glättungsstufe die 75%-Grenze. Auch geben die bisher berichteten Ergebnisse keinen Grund zu der Annahme, dass die PD2-Ergebnisse dieser Glättungsstufe systematischen Verzerrungen unterworfen sind. Insgesamt scheint es daher durchaus sinnvoll die folgende und weitere Analysen (insbesondere in Hinblick auf die Bestimmung der lokalen Lyapunov-Exponenten; siehe dazu unten, S. 599ff.) auf die fünfte Glättungsstufe zu stützen.

11.3.1.4 Veränderungen der Komplexität im Verlauf der Therapien

Die bisherigen Analysen machen deutlich, dass dyadische Kommunikationssysteme innere Ordnung und Merkmale nichtlinearer Dynamik aufweisen. Unter dem Vorbehalt, dass hier zwei Einzelfällen vorliegen, kann allein dieser Befund bereits auf selbstorganisierende Prozesse hinweisen, denn die dynamische Ordnung wird offenbar weder von außen vorgegeben oder erzwungen noch von einem der beiden Kommunikationspartner einseitig in geplanter Weise realisiert, sondern entsteht aus deren Wechselwirkung. Für die Ordnungsbildungsprozesse sind jedoch nicht stabile und stationäre Strukturen, sondern Instationarität und Wandel zu erwarten, zumal gerade Psychotherapien auf einen persönlichen Veränderungsprozess abzielen.

Im Folgenden wird daher über die Dynamik der Komplexitätsveränderungen im Verlauf der beiden Therapiesysteme berichtet. Die zugrunde gelegten Berechnungen des PD2 beruhen auf mehrdimensionalen Einbettungen der drei bzw. vier Zeitreihen der beiden Interaktionspartner. Sämtliche Auswertungen stützen sich dabei auf die fünfte Glättungsstufe (dies gilt dann in weiterer Folge auch für die Bestimmung der lokalen Lyapunov-Exponenten; vgl. S. 599ff.).

Wie bereits dargestellt (vgl. S. 582) zeigt sich für die Therapie I der bemerkenswerte und für therapeutische Prozesse wenig zu vermutende Umstand, dass die Komplexität des Therapeuten im Durchschnitt der Klientin entspricht. Ganz anders und weit plausibler fielen die Ergebnisse für die zweite Therapie aus, wo das D2 bzw. das mittlere PD2 des Therapeuten rund eine Dimension unter der Komplexität der Klientin liegt. Zudem lässt der Unterschied zwischen dem D2 und den PD2-Kennwerten vermuten, dass sich die Dynamik des Therapeuten im Verlauf der Therapie II immer wieder anpasst und er die Komplexität seines interaktionellen Verhaltens variiert.

Korrelationen zwischen den PD2-Verläufen erlauben einen Einblick in die Interaktionsdynamik

Dass es dem Therapeuten in der Therapie II tatsächlich eher gelingt als in der Therapie I, sich auf die Komplexitätsveränderungen der Klientin einzustellen, zeigt sich, wenn die PD2-Verläufe des Therapeuten und der Klientin miteinander korreliert werden. Der Tabelle 36 liegen drei unterschiedlich stark mit Fehlerrauschen belastete Datensätze der Pointwise Dimensionalität zu Grunde. Werden die nicht geglätteten PD2-Verläufe (vgl. Abbildung 163, S. 585) miteinander korreliert, so zeigen sich insgesamt die geringsten Korrelationen. Weitaus höhere Zusammenhänge ergeben sich, für Datensätze, die zuvor geglättet wurden oder bereits in ihrer Generierung auf einer größeren Datenbasis beruhen. Letzteres konnte erreicht werden, indem das PD2 nicht jeweils einzeln für einen Fokuspunkt, sondern für jeweils ein Fenster von 50 Fokuspunkten bestimmt wurde (PD2₅₀). Das Fokusfenster wird dabei nach jeder Berechnung um einen Zeittakt weiter geschoben.

Unabhängig von den unterschiedlichen Niveaus der Korrelationen, für die verschiedenen Berechnungsmodalitäten, findet sich für die Therapie II jeweils eine hoch signifikante positive Korrelation zwischen dem PD2 der Klientin und dem PD2 des Therapeuten ($r = 0,106$; p -2-seitig $< 0,001$, für die Daten ohne Glättung), die jeweils weit über der entsprechenden Korrelation für die Therapie I liegen ($r = 0,049$; p -2-seitig $< 0,05$, für die Datensätze ohne Glättung).

PD2	Therapie I	Therapie II
Therapeut-Klientin	0,049	0,106
Therapeut-Therapie	0,220	0,302
Klientin-Therapie	0,236	0,378

PD2 _(geglättet mit Breite 80)		
Therapeut-Klientin	0,154	0,349
Therapeut-Therapie	0,482	0,476
Klientin-Therapie	0,411	0,748

PD2 ₅₀		
Therapeut-Klientin	(n.s.) 0,011	0,204
Therapeut-Therapie	0,253	0,494
Klientin-Therapie	0,568	0,692

(n.s.) nicht signifikant; alle anderen Korrelationen sind auf Grund der großen Anzahl an Messzeitpunkten zu mindest bei $\alpha = 0,05$ signifikant (2-seitige Testung).

Tabelle 36: Korrelationsmatrix der PD2-Verläufe der beiden Therapien

Der Tabelle liegen drei unterschiedliche Berechnungsmodalitäten zu Grunde. Oben werden die nicht geglätteten PD2-Verläufe miteinander korreliert. In der Mitte werden die gleichen Daten zunächst einer Glättung mit einem gleitenden Mittelwert der Breite 80 unterzogen, bevor die Korrelationen bestimmt werden. Der untere Teil der Tabelle (PD2₅₀) enthält die Korrelationen, wenn das PD2 nicht jeweils einzeln für einen Fokuspunkt sondern für jeweils 50 Fokuspunkte bestimmt wird, bevor dieses Fokus-Fenster um einen Zeittakt weitergeschoben wird. Der mittlere und der untere Tabeleinteil enthalten daher Ergebnisse zu Daten, die vor der Korrelation um Fehlerrauschen bereinigt wurden.

Obwohl die genannten Zusammenhänge nicht besonders groß erscheinen, darf bei der Beurteilung nicht vergessen werden, das Klientin und Therapeut in einem aufwändigen Prozess unabhängig voneinander kodiert und analysiert wurden. Zudem werden die Korrelationen durch das Fehlerrauschen im PD2 zusätzlich gemindert. Die Korrelationen erhöhen sich daher erheblich, wenn die Berechnungen für die geglätteten PD2-Verläufe oder das PD2₅₀ durchgeführt werden, ohne dass sich dabei jedoch das Verhältnis der Korrelationen untereinander verändert.

Für beide Therapien zeigen sich hohe positive Korrelationen beider Akteure mit der Komplexität der gesamten Therapie. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht weiter erstaunlich, setzt sich doch die Berechnung der Komplexität der Therapie jeweils aus den Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen der beiden Interaktionspartner zusammen.

Die dynamischen Strukturen der PD2-Verläufe sind durchaus komplexer, als es die bivariaten Korrelationen vermuten lassen

Trotz dieser zum Teil recht eindeutigen Ergebnisse, wäre es nur mit Einschränkungen gerechtfertigt davon auszugehen, dass in der einen Therapie der Therapeut sich die meiste Zeit an die Komplexität des Verhaltens der Klientin anpasst und in der anderen eben nicht. Viel eher scheint es so zu sein, dass nicht nur die erhobenen Zeitreihen über ein sich beständig änderndes Prozessmuster verfügen, sondern auch die Kennzeichnung der Komplexität dieser Prozessmuster im Verlauf der Zeit beständigen Veränderungen unterworfen ist.

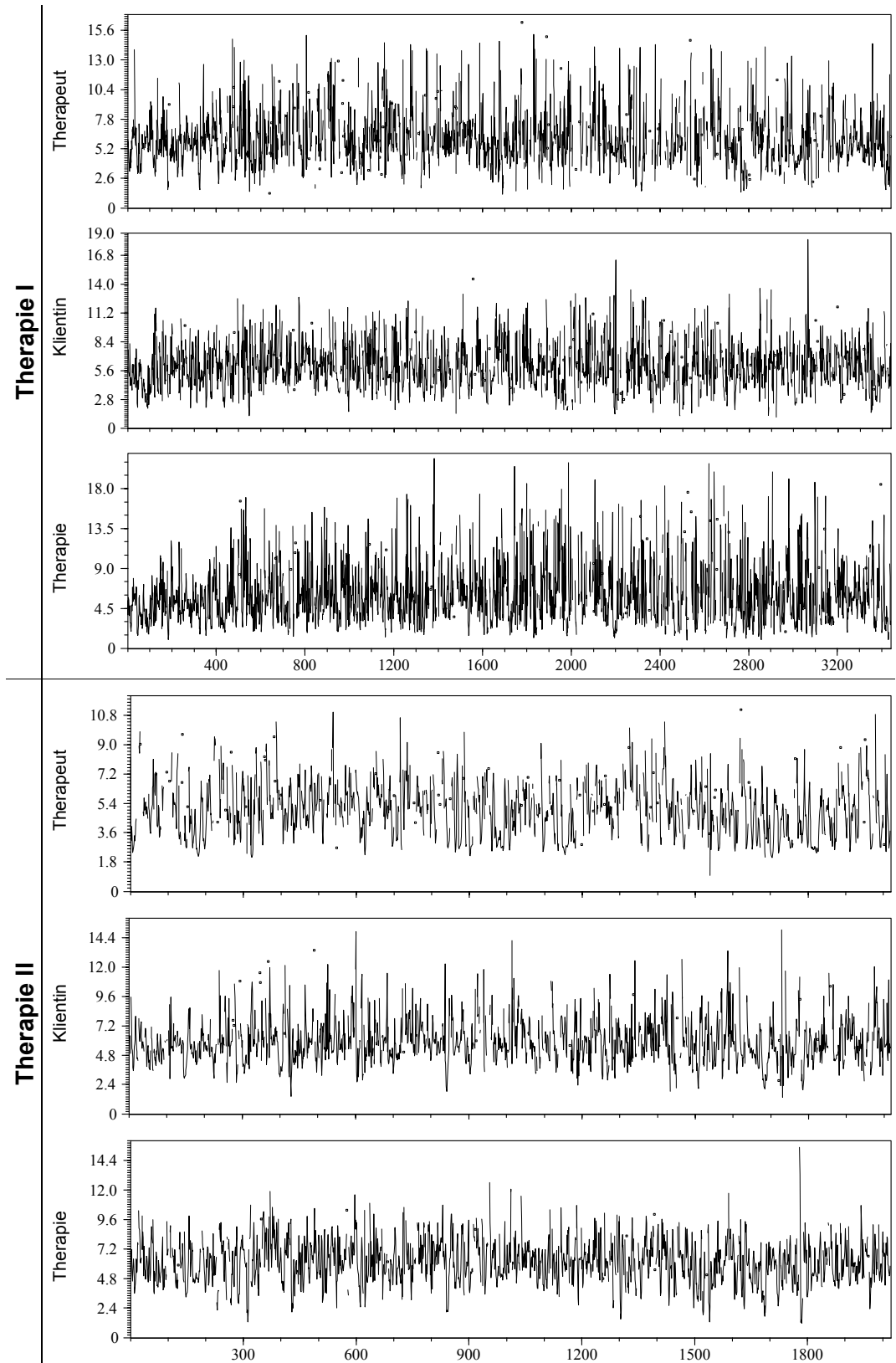


Abbildung 163: PD2-Verlauf beider Therapien

Komplexe und erratische Dynamik in der Veränderung der Komplexität. Die Verläufe des PD2 lassen per Augenschein keine klaren Strukturen erkennen. Die vereinzelt sichtbaren „Sprenkel“ zeigen PD2-Werte, für die keine validen Vorgänger und Nachfolger existieren.

Beide Therapien zeigen einander abwechselnde Phasen synchroner und anti-synchroner Komplexitätsentwicklungen

Auch wenn aus dem Blickwinkel korrelativer Zusammenhänge in der einen Therapie häufiger synchrone Veränderungen der Komplexität von Klientin und Therapeut vorzuliegen scheinen als in der anderen Therapie, stellt sich bei genauerer Betrachtung heraus, dass beide Therapien gekennzeichnet sind von sich abwechselnden Phasen synchroner und gegenläufiger Komplexitätsentwicklungen.

Damit diese einander abwechselnden Strukturen sichtbar werden, ist es nötig die Zeitreihen der PD2-Verläufe genügend stark zu glätten. Abbildung 164 stellt für die Therapie I die mit einem Fenster der Breite 100 geglätteten (gleitender arithmetischer Mittelwert) PD₅₀-Verläufe von Klientin und Therapeut gemeinsam dar. Grau unterlegte Bereiche verweisen dabei auf Phasen, in denen die Komplexität der Klientin sich nahezu parallel zur Komplexität des Therapeuten entwickelt. Im unteren Teil der Abbildung lässt sich die Korrelation der PD₅₀-Verläufe während der dargestellten Phase ablesen. Die Korrelation wurde ebenfalls mittels eines gleitenden Fensters der Breite 100 ermittelt.

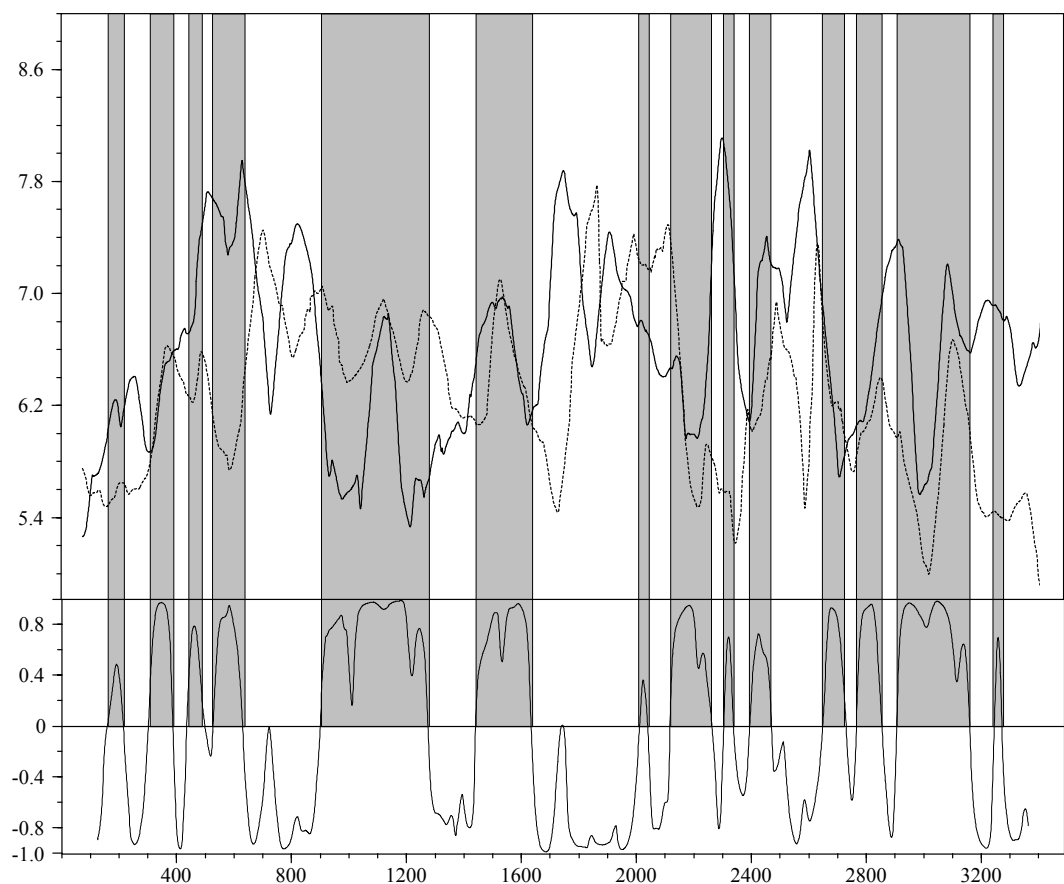


Abbildung 164: Phasen synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität in der ersten Therapie

Die Abbildung zeigt im oberen Teil den geglätteten Verlauf des PD₅₀ der Klientin und des Therapeuten. Bei dem Verfahren des PD₅₀ wird das PD2 nicht jeweils einzeln für nur einen Fokuspunkt, sondern für jeweils 50 Fokuspunkte bestimmt, bevor dieses Fokus-Fenster um einen Zeittakt weitergeschoben wird. Die Glättung wurde mit Hilfe eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite 100 erzeugt. Die Zeitreihe, die ab Zeittakt 2.800 die höheren Werte aufweist, stellt den geglätteten PD₅₀-Verlauf der Klientin dar. Der untere Teil der Grafik zeigt die Korrelation zwischen den Komplexitätszeitreihen für ein Fenster der Breite 100. Hohe Korrelationen entsprechen einem synchronen PD₅₀-Verlauf. Diese Phasen sind grau hervorgehoben.

Der Verlauf der gleitenden Korrelationsberechnung erreicht dabei maximale Werte über 0,9. Abgelöst bzw. unterbrochen werden die Phasen der Synchronizität immer wieder von Phasen in denen gegenläufige Entwicklungen vorherrschen: Steigt die Komplexität des einen Interaktionspartners, so sinkt die des anderen – und umgekehrt. Auch hier erreichen die entsprechenden Korrelationen Werte kleiner -0,9.

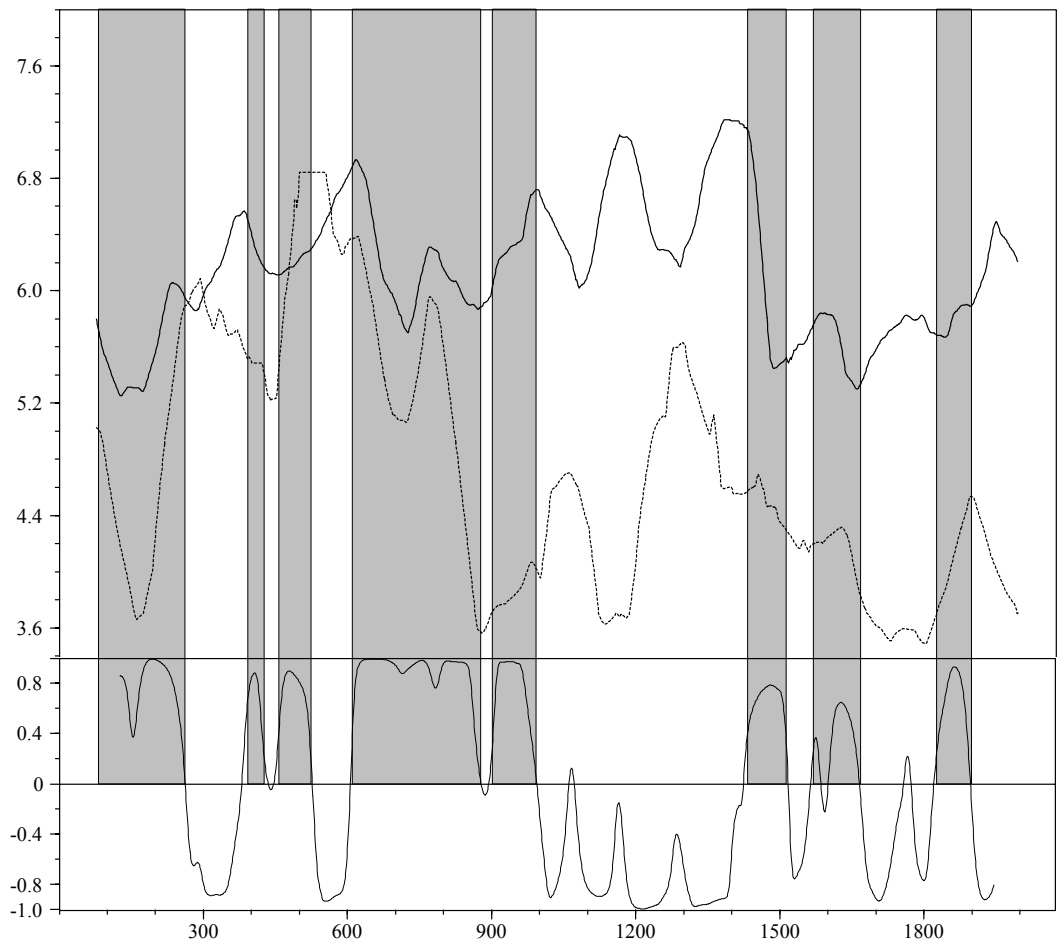


Abbildung 165: Phasen synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität in der zweiten Therapie

Die Abbildung zeigt im oberen Teil den geglätteten Verlauf des PD₂₅₀ der Klientin und des Therapeuten. Bei dem Verfahren des PD₂₅₀ wird das PD2 nicht jeweils einzeln für nur einen Fokuspunkt, sondern für jeweils 50 Fokuspunkte bestimmt, bevor dieses Fokus-Fenster um einen Zeittakt weitergeschoben wird. Die Glättung wurde mit Hilfe eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite 100 erzeugt. Die Zeitreihe, die ab Zeittakt 600 die höheren Werte aufweist, stellt den geglätteten PD₂₅₀-Verlauf der Klientin dar. Der untere Teil der Grafik zeigt die Korrelation zwischen den Komplexitätszeitreihen für ein Fenster der Breite 100. Hohe Korrelationen entsprechen einem synchronen PD₂₅₀-Verlauf. Diese Phasen sind grau hervorgehoben.

Obwohl also die Gesamtkorrelation zwischen dem PD2 der Klientin und dem des Therapeuten für die Therapie I nur gering ausfällt (auch für die hier noch einmal geglätteten Zeitreihen ergibt sich nur eine Korrelation von $r = 0,09$; vgl. auch die Korrelationsmatrix zur ersten Therapie in Tabelle 36, S. 584) können im Detail des zeitlichen Verlaufes nur selten Phasen identifiziert werden, in denen die Korrelation nicht extrem hohe Beträge annimmt.

Ähnlich verhält es sich für die Therapie II (vgl. vorstehende Abbildung 165). Hier überwiegen die Phasen synchronen Verhaltens jedoch vor allem in der ersten Hälfte der Therapie. Obwohl dann im letzten Drittel der Therapie erneut Phasen synchroner Komplexitäts-Entwicklungen auftreten, sind sie nur noch gering ausgeprägt. Insgesamt unterscheiden sich die Muster der Therapie II nicht so sehr von denen der Therapie I (vor allem sollte bei der Beurteilung der Abbildungen berücksichtigt werden, dass die Therapie I vier Sitzungen mehr aufweist und sich allein daher komplexer darstellt). Dennoch erscheint Therapie II „aufgeräumter“, indem die synchronen Prozesse eher die erste und die gegenläufigen Prozesse eher die zweite Hälfte der Therapie bestimmen.

Phasenraumdarstellungen von PD2-Verläufen erlauben die Identifikation von Interaktionsmustern

Gut veranschaulichen lassen sich die synchronen und gegenläufigen Muster der Komplexitätsentwicklungen auch mit Hilfe von Phasenraumdiagrammen, bei denen nicht die Zeitreihen gegeneinander aufgetragen werden, sondern die PD2-Dynamik der Klientin gegenüber der des Therapeuten. Synchroner Entwicklungen stellen sich dann als diagonal verlaufende Geraden dar (vgl. Abbildung 166a) wohingegen gegenläufige Entwicklungen als geschlossene Kurven erscheinen (vgl. Abbildung 166b).

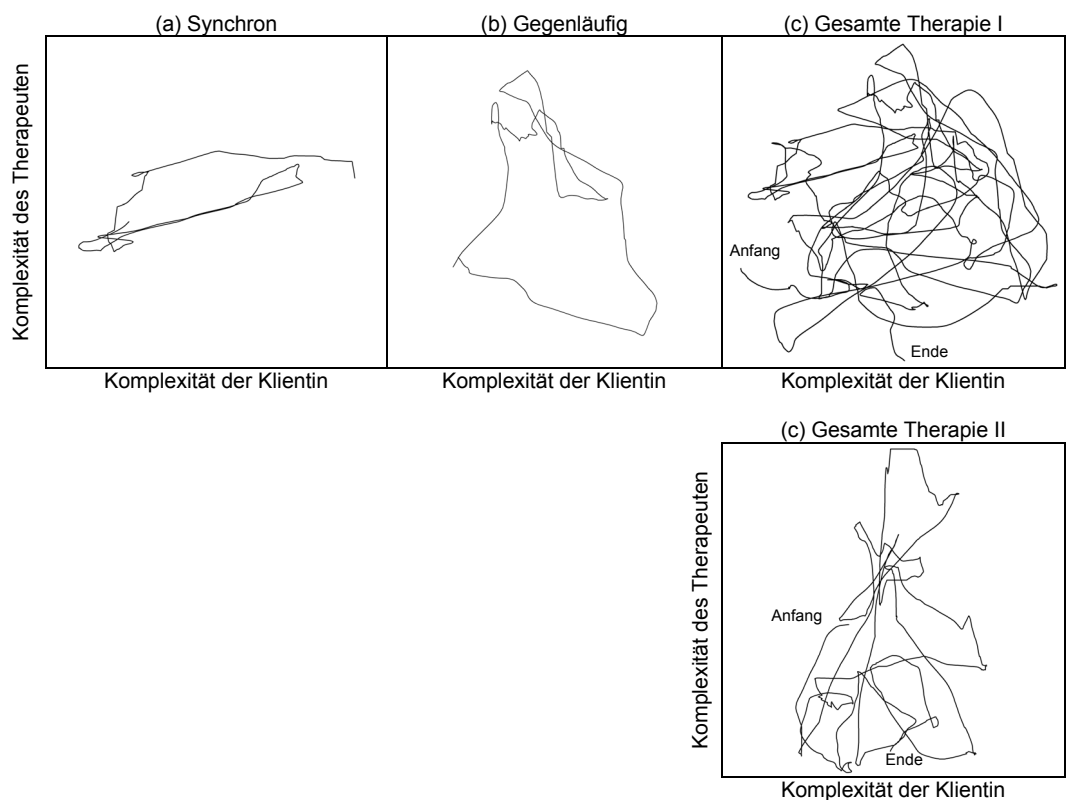


Abbildung 166: Synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität als Phasenraumdarstellung

Die Phasenraumdarstellungen der Abbildungen a) bis c) beruhen auf den geglätteten Verläufen des PD2₅₀ der Klientin und des Therapeuten. Bei dem Verfahren des PD2₅₀ wird das PD2 nicht jeweils einzeln für nur einen Fokuspunkt, sondern für jeweils 50 Fokuspunkte bestimmt, bevor dieses Fokus-Fenster um einen Zeittakt weitergeschoben wird. Die Glättung wurde mit Hilfe eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite 100 erzeugt. Der Ausschnitt a), aus der Phasenraumdarstellung der Therapie I zeigt im Wesentlichen die Struktur eines synchronen Musters. Bei einem perfekten synchronen Verlauf läge eine einzige diagonal verlaufende Gerade vor. Der Ausschnitt b) zeigt hingegen die Struktur eines gegenläufigen Musters. Bei einem perfekten gegenläufigen Muster läge ein Kreis oder eine Ellipse vor. In c) sind beide Therapien vollständig dargestellt.

Auf der Grundlage der Phasenraumdarstellungen ergeben sich neben der Identifizierung synchroner und gegenläufiger Muster noch weitere Ansatzpunkte für die Kennzeichnung der Interaktionsdynamik. So stellten sich z.B. Fragen danach, in welchem Bereich des Phasenraumes sich die Interaktionspartner am häufigsten bzw. am längsten aufhalten, ob es eine bestimmte, herausragende bzw. bevorzugte Bewegungsrichtung im Phasenraum gibt und ob sich in dieser Bewegungsrichtung eher die Handschrift der Klientin oder die des Therapeuten niederschlägt.

Einige Antworten auf die genannten Fragen lassen sich generieren, wenn die Phasenraumdarstellungen noch weiter vereinfacht werden. Dazu werden in einem ersten Schritt die PD₂₅₀-Zeitreihen in wenige disjunkte Abschnitte unterteilt, so dass sich eine neue Zeitreihe ergibt, die nur über einen stark begrenzten Wertebereich verfügt. Werden auf dieser Grundlage Phasenraumdiagramme erstellt, so kann die theoretisch mögliche Anzahl an „Aufenthaltsorten“ eindeutig vorab bestimmt werden. Zudem kann die Auftretenshäufigkeit für jeden Aufenthaltsort und für Abfolgen von Aufenthaltsorten ausgezählt werden.

Da zwischen dem Minimum und dem Maximum der PD₂₅₀-Verläufe rund vier Standardabweichungen liegen, liegt es nahe ebenso viele disjunkte Abschnitte zu wählen, so dass die Zeitreihen in Abfolgen von vier Zahlenwerten transformiert werden, für die dann im Phasenraum insgesamt 16 mögliche Zustände zur Verfügung stehen.

Wie Abbildung 167a zeigt, werden im Rahmen der Therapie I ca. ein Drittel der theoretisch möglichen Konstellationen zwischen den beiden Komplexitätswerten nicht realisiert. Nur 11 von 16 möglichen Kombinationen kommen in den rund 3.400 Datenpunkten umfassenden PD₂₅₀-Zeitreihen tatsächlich vor. Auch für Therapie II können nur 10 Kombinationen identifiziert werden. Noch weitaus erstaunlicher als die geringe Anzahl ist jedoch die Tatsache, dass die Trajektorien zwischen den realisierten Kombinationspunkten allein durch Veränderungen, entweder in der Komplexität des Therapeuten oder in der Komplexität der Klientin, aber niemals von beiden gleichzeitig zu Stande kommen. Für keine der beiden Therapien kann auch nur eine der 18 möglichen diagonalen Trajektorien gefunden werden.

Exakt synchron einsetzende Veränderungen im PD2 der Interaktionspartner können im Phasenraum nicht beobachtet werden

Entgegen der oben bereits berichteten positiven Korrelationen die für bestimmte zeitliche Abschnitte in beiden Therapien zwischen den Komplexitätszeitreihen der Klientin und dem Therapeuten beobachtet werden können, scheint vor dem Hintergrund der in Abbildung 167 wiedergegebenen Phasenraumdiagramme kein synchrones Verhalten vorzuliegen. Obwohl die Vermutung nahe liegt, dass dieses Fehlen diagonalen Trajektorien auf die starke Einschränkung des Skalenbereiches zurück geht, fehlen die Hinweise auf ein synchrones Verhalten auch dann, wenn die Zeitreihen statt in vier Stufen in neun Abschnitte unterteilt werden. Hier zeigen sich dann gerade einmal zwei Diagonalen pro Therapie, obwohl hier 128 verschiedene Möglichkeiten (die Zahl 128 ergibt sich durch Zählung direkter Querverbindungen; es sind noch mehr Möglichkeiten wenn berücksichtigt wird, dass mehrere Stufen auf einmal übersprungen werden können) zur Verfügung gestanden hätten (vgl. Abbildung 167c). Dass es sich bei den beobachtbaren Mustern im Phasenraum der Komplexitätsverläufe tatsächlich um eine spezifische Form der Ordnung handelt, wird sichtbar, wenn die Komplexitätsverläufe randomisiert werden. Die Abbildung 168 zeigt eine der Strukturen, die sich ergibt, wenn die

Daten vor der Einbettung in den Phasenraum durcheinander gewürfelt werden. Hier werden dann so gut wie alle auch theoretisch möglichen Übergänge realisiert.

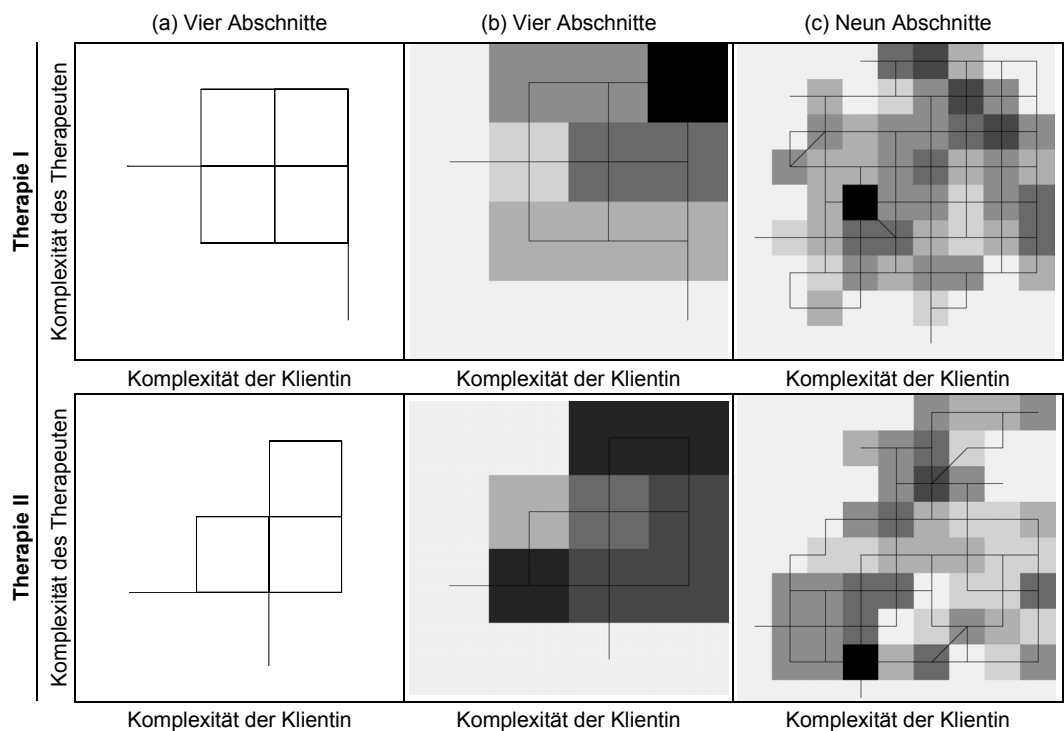


Abbildung 167: Phasenraum mit stark begrenzter Anzahl an Zuständen – Therapie I

Wird der Wertebereich der PD2-Verläufe in disjunkte Abschnitte unterteilt, so ergibt sich eine Phasenraumdarstellung, für die die Anzahl theoretisch möglicher Zustände und Trajektorien im vorhin ein bekannt ist. Die Abbildung a) zeigt den Phasenraum für die in vier Abschnitte unterteilten PD₂₅₀-Verläufe der Klientin und des Therapeuten der ersten Therapie. Nur 11 von 16 Kombinationen kommen in den rund 3.400 Datenpunkten umfassenden Zeitreihen vor. In b) werden die Aufenthaltsorte im Phasenraum nach ihrer Auftretenshäufigkeit unterschiedlich eingefärbt. Je häufiger ein Zustand in der Therapie vorkommt, desto dunkler wird er dargestellt. Die Abbildung c) zeigt den Phasenraum für die in neun Abschnitte unterteilten PD₂₅₀-Verläufe der Klientin und des Therapeuten der ersten Therapie. Sowohl bei der vier- als auch bei der neunstufigen Darstellung zeigen sich nur selten diagonale Trajektorien, die darauf verweisen würden, dass sich die Komplexität beider Interaktionspartner gleichzeitig in die selbe Richtung entwickelt.

Therapeut und Klientin realisieren synchrone Komplexitätsveränderungen durch eine sukzessive Steigerung bzw. Verringerung der Komplexität, bei der einer der Interaktionspartner jeweils zeitversetzt der Entwicklung folgt

Wenn beide Befunde gleichzeitig zutreffen, nämlich zum einen das Vorliegen synchroner Prozesse, wie sie sich über das Vorliegen hoher positiver Korrelationen nachweisen lassen und zum anderen das Fehlen von diagonalen Trajektorien, so zeigt dies, dass auch dann, wenn sich die Komplexität der Klientin und die Komplexität des Therapeuten über einen längeren Zeitraum hinweg parallel entwickelt, mal der eine und mal der andere die Führerschaft übernimmt. Klientin und Therapeut spielen also in Hinblick auf die Komplexität ihres interaktionellen Verhaltens mehr oder weniger „Ping-Pong“, indem z.B. zunächst die Klientin die Komplexität erhöht und der Therapeut erst später nachzieht (oder umgekehrt). Wer aber jeweils welche Entwicklung „angefangen“ bzw. maßgeblich initiiert hat lässt sich jedoch – wie bei kommunikativen Prozessen üblich – auf Grund der zirkulären Verfasstheit der dyadischen Interaktion nicht entscheiden (vgl. Watzlawick, Beavin & Jackson 1969, Watzlawick & Beavin 1980).

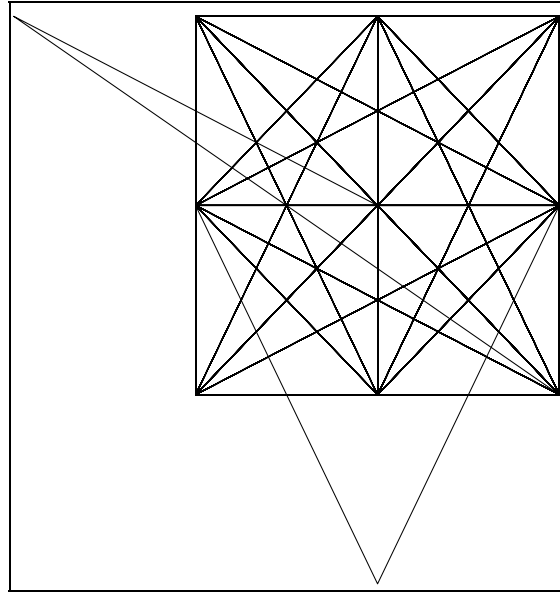


Abbildung 168: Randomisierte Abfolge von Komplexitätswerten

Dass es sich bei den in Abbildung 167 dargestellten Strukturen im Phasenraum tatsächlich um eine spezifische Form der Ordnung in der Dynamik der Komplexitätsverläufe handelt, wird in dieser Abbildung deutlich. Vor der Einbettung in den Phasenraum wurden die in vier Abschnitte eingeteilten Komplexitätsverläufe der Klientin und des Therapeuten der Therapie II randomisiert.

Ein besonderer Vorteil bei der Darstellung einer Dynamik im Phasenraum besteht darin, zeitlich invariante Strukturen zu visualisieren. Indem die Zeitreihen gegeneinander aufgetragen werden, wird die Zeit selbst aus der Abbildung eliminiert. Damit bleibt dann aber letztlich unklar, wie Klientin und Therapeut sich auf den Trajektorien bewegen. Die Möglichkeiten für ein Stufe um Stufe erfolgreiches Nach-oben- oder Nach-unten-Steigen, wie es bei einem synchronen Verlauf aber fehlenden diagonalen Trajektorien der Fall wäre, sind zumindest durch den Wertebereich begrenzt, so dass es wahrscheinlich ist, dass zyklische Muster den Prozess dort fortsetzen, wo ein synchroner Verlauf an seine Grenzen stößt.

Veränderungen treten selten, und wenn doch, dann sprunghaft auf

Welche Verhaltensmuster nun tatsächlich in welchem Ausmaße vorliegen lässt sich erst klären, wenn die Auftretenshäufigkeit von Werteabfolgen ausgezählt wird. Dabei stellt sich dann erstaunlicher Weise heraus, dass das System in rund 98% (der Wert findet sich übereinstimmend bei beiden Therapien) der Zeit keinerlei Veränderung erfährt. 98% der Aufenthaltsorte stimmen mit dem vorhergehenden Aufenthaltsorten überein. Obwohl dieses Ergebnis stark durch die Einteilung der Daten in vier Stufen bestimmt wird, zeigt sich auch bei neun Stufen keine viel größere Dynamik. Hier sind es dann rund 95% der Zeit, in der es zu keiner Veränderung kommt. Es sind damit eher seltene Ereignisse, wenn sich das System transient von einem in einen anderen Zustand bewegt. In diesem Sinne ist es dann auch nur wenig sinnvoll, die vorhandenen Bewegungsmuster eingehend zu analysieren. Ein großer Teil der in Abbildung 167a (S. 590) sichtbaren Trajektorien kommt während der ganzen Therapie I bzw. der Therapie II überhaupt nur ein- oder zweimal vor.

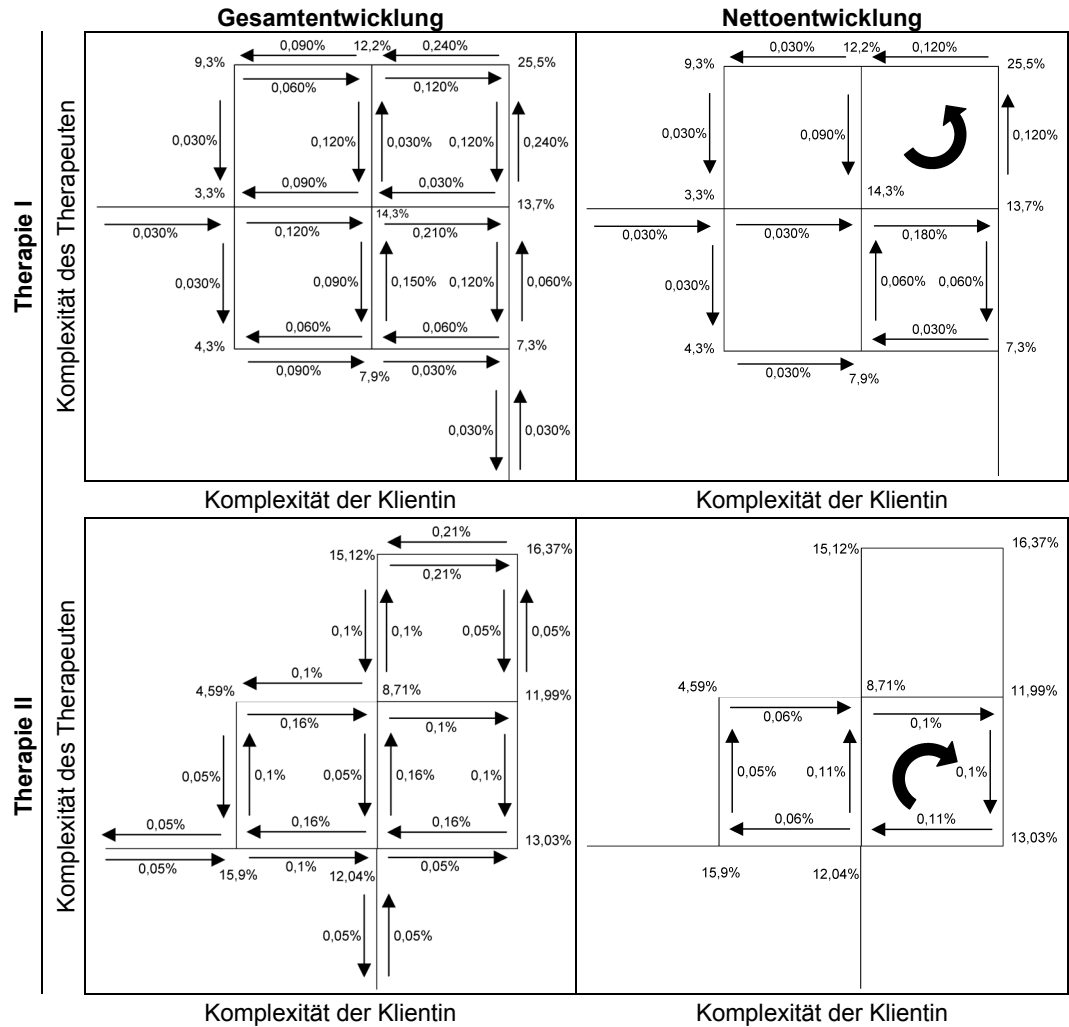


Abbildung 169: Phasenraum mit stark begrenzter Anzahl an Zuständen – Therapie I
 Die Abbildungen kennzeichnen die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den realisierten Zuständen im Phasenraum. Registriert werden dabei jeweils zeitlich direkt aufeinander folgende Zustände. Für die Therapie I können insgesamt 3.338 Trajektorien von einem Zeittakt zum direkten zeitlichen Nachfolger registriert werden. Für die Therapie II waren es 1.918 aufeinanderfolgende Messzeitpunkte. Die Zahlenangaben beschreiben, wie viel Prozent der Trajektorien die durch die Pfeile eingezeichneten Bewegungen realisieren. Links sind sämtliche Trajektorienströme verzeichnet, rechts hingegen die Nettobewegungen.

Obwohl also in der Komplexitätsentwicklung beider Therapien Stabilität vorherrscht, verharren die beiden Systeme nicht die ganze Zeit über in einem einzigen Zustand, sondern wechseln jeweils zwischen verschiedenen stabilen Punkten des PD₂₅₀-Phasenraumes. Nicht alle Aufenthaltsorte scheinen dabei gleich stabil zu sein. Trotz zum Teil sehr unterschiedlicher Dynamik und Entwicklung der Komplexität der beiden Therapien zeigt sich auch hier eine erneute Übereinstimmung. Wie die Abbildung 167b (S. 590) und die Abbildung 169 zeigen, befindet sich der jeweils stabilste Aufenthalt der Therapien bei einer Kombination einer hohen Komplexität der Klientin mit einer hohen Komplexität des Therapeuten (in den einzelnen Darstellungen der Abbildung 169 jeweils oben-rechts). Rund 26% der Zeit befindet sich die Therapie I in diesem Zustand, um den herum sich dort ein gegen den Uhrzeigersinn drehender Zyklus gruppiert (vgl. Abbildung 169).

Therapie II hält sich in diesem Punkt nur rund 16% der Zeit auf. Diagonal gegenüber (beide Interaktionspartner zeigen eine geringe Komplexität in ihrem Verhalten: unten-links) findet sich in dieser Therapie ein weiterer ähnlich stabiler Aufenthaltsort.

Trotz methodischer Einschränkungen verweisen die Befunde doch auf die organisierte Komplexität der Dynamik der beiden Therapien

Insgesamt sollten die hier über die Entwicklung der PD₂₅₀-Verläufe der beiden Therapien konstruierten Phasenraumdarstellungen nicht überinterpretiert werden. So hängt unter anderem auch die Verortung stabiler Aufenthaltsorte maßgeblich von der Aufteilung des Phasenraumes in disjunkte Abschnitte ab. Werden diese Abschnitte verschoben oder in ihrer Ausdehnung variiert, so können sich auch die Häufigkeitsverteilungen verschieben. Auch die Feststellung, dass die Systeme jeweils nur wenig Dynamik zeigen, hat nicht zuletzt etwas mit der Einteilung des Phasenraumes und der starken Glättung der PD₂₅₀-Zeitreihen mit einem gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite 100 zu tun. Nicht geglättete PD₂-Verläufe zeigen eine viel höhere Dynamik in der per Augenschein keine einfache und leicht interpretierbare Entwicklung identifiziert werden kann (vgl. Abbildung 163, S. 585). Trotz der genannten Einschränkungen haben die bisher vorliegenden Analysen zur Komplexitätsdynamik dennoch in sich konsistente Ergebnisse erbracht, die sich insbesondere durch ihren gegenseitigen Bezug auch gegenseitig stützen. Ein gutes Beispiel dafür ist die in Phasen auftretende und immer wieder ins Gegenteil umkippende Korrelation zwischen den geglätteten PD₂₅₀-Verläufen. Unabhängig von der Frage, ob die vorgenommene Glättung zu breit oder zu schmal gewählt wurde, zeigen die durchaus verblüffenden Ergebnisse, bestimmte, sehr spezielle Eigenschaften der betrachteten Systeme, die sich zudem bei beiden Einzelfalldarstellungen in höchst ähnlicher Weise manifestieren. Diese und andere einander ergänzende und gegenseitig bestätigende Befunde verweisen auf die organisierte Komplexität der Prozessgestalten der hier vorgestellten Therapien.

Die beobachtbaren nichtstationären Veränderungen in der Komplexität zeigen alle Merkmale von Ordnungs-Ordnungs-Übergängen

Zu den besonders wichtigen Folgerungen, die vor dem Hintergrund der bisher vorgestellten Ergebnisse gerechtfertigt erscheinen, gehört die Feststellung, dass das therapeutische Geschehen in den hier analysierten Fallbeispielen nicht als stationärer Prozess aufgefasst werden kann. Sprunghaft auftretende Veränderungen beherrschen das Bild und legen die Vermutung nahe, dass sich im Verlauf der Therapie zahlreiche Ordnungs-Ordnungs-Übergänge ereignen, also Veränderungen in der Komplexität, die keinesfalls mit Unordnung oder Zufall verwechselt werden können. Im Gegenteil: Die Berechnung eines jeden PD₂-Wertes setzt voraus, dass eben kein mikroskopisches Chaos im Sinne einer zufälligen Anordnung der Zustände vorliegt, sondern viel mehr ein geordnetes, wenn auch komplexes Muster. In diesem Sinne bedeutet jede signifikante Veränderung in der Komplexität auch eine Veränderung der Ordnung und damit einen Ordnungs-Ordnungs-Übergang. In Gegensatz zu diesem Befund steht die von Tschacher formulierte Selbstorganisationshypothese von Psychotherapien (Scheier & Tschacher 1994, Tschacher & Scheier 1995, Thiele 1997, Tschacher, Scheier & Grawe 1998), da diese im Wesentlichen als Unordnungs-Ordnungs-Übergang konzeptualisiert wird. Die im Rahmen dieser Hypothese angesprochene Parallele zwischen der Entwicklung psychotherapeutischer Prozesse und den Selbstorganisationsprozessen im physikalischen System des Lasers (vgl. S. 131ff.), führt zu der Überlegung, dass sich Selbstorganisationsprozesse über eine dramatische Komplexitätsreduktion identifizieren lassen müssten. Wie im Laser, der nur im geringen Ausmaß mit Energie versorgt wird, sollte sich zum Beginn der Therapie ein völlig ungeordnetes

Verhalten (mikroskopisches Chaos) identifizieren lassen. Selbstorganisation bedeutet dann die selbsttätige Ordnungsbildung nach dem Versklavungsprinzip (vgl. Strunk 1998a).

Insgesamt nimmt die Komplexität im Verlauf der Therapien ab

Die vorliegenden Ergebnisse sprechen jedoch eindeutig gegen das Vorliegen völliger Unordnung zum Beginn der Therapie. Für beide Therapien können sättigende und damit durchaus valide Komplexitätswerte auch für die ersten Minuten des therapeutischen Prozesses bestimmt werden. Auch den Vertretern der so genannten Selbstorganisationshypothese der Psychotherapien gelingt nur der Nachweis einer Komplexitätsreduktion im Verlauf der Therapie (Scheier & Tschacher 1994, Tschacher & Scheier 1995, Thiele 1997, Tschacher, Scheier & Grawe 1998), nicht jedoch der Nachweis eines Unordnungs-Ordnungs-Überganges. Es stellt sich damit die Frage, ob auch in den vorliegenden Therapien insgesamt eine Komplexitätsreduktion festgestellt werden kann. Wie die folgende Tabelle 37 zeigt, kann auch in den hier analysierten Therapien für alle PD2-Verläufe ein signifikanter abfallender Trend im Verlauf der Zeit festgestellt werden.

	Datensatz	Steigung	Korrelation (p-2-seitig)
Therapie I	PD2 Klientin	-0,000060 pro Zeittakt	-0,104 (p < 0,00005)
		-0,0159 pro Sitzung	
	PD2 Therapeut	-0,000073 pro Zeittakt -0,0194 pro Sitzung	-0,095 (p < 0,00005)
Therapie II	PD2 Klientin	-0,000076 pro Zeittakt	-0,091 (p = 0,00030)
		-0,0172 pro Sitzung	
	PD2 Therapeut	-0,000344 pro Zeittakt -0,0778 pro Sitzung	-0,365 (p < 0,00005)
	PD2 Therapie	-0,000172 pro Zeittakt -0,0389 pro Sitzung	-0,243 (p < 0,00005)

Tabelle 37: Trend der PD2 im Verlauf der Therapien

Die Berechnungen wurden für die mit einem gleitenden Mittelwert der Breite 80 geglätteten PD2-Verläufen durchgeführt. Dabei ergibt sich dann eine Steigung pro Zeittakt, die über die durchschnittliche Anzahl von Zeittakten pro Therapiesitzung auf eine Steigung pro Sitzung hochgerechnet wurde.

Über den gesamten Zeitraum des Prozesses reduziert sich die Dimensionalität der Therapie I um 0,13, die der Therapie II um 0,36. Den höchsten Wert erzielt der Therapeut in Therapie II mit einer Abnahme um 0,72 Dimensionen. Diese Befunde scheinen die von Tschacher, Scheier und Grawe (1998) prognostizierte Komplexitätsabnahme als Nachweis für selbstorganisierte Prozesse in Psychotherapien zu bestätigen. Die vorliegenden Analysen weisen die betrachteten therapeutischen Prozesse jedoch bereits von Beginn an als selbstorganisierte Prozesse aus. Bei der hier zu beobachtenden Komplexitätsreduktion handelt es sich also um keine Reduktion, wie sie bei einem Unordnungs-Ordnungs-Übergang zu erwarten wäre. Vielmehr scheinen die vorliegenden Analysen zu zeigen, dass es im Verlauf der Therapien zu mehreren Ordnungs-Ordnungs-Übergängen kommt, auch wenn dabei die Komplexität insgesamt mit der Zeit abnimmt. Entgegen der Hypothese, nach der eine Komplexitätsreduktion in Therapien auf Selbstorganisationsprozesse hinweist, bietet sich hier eine andere Erklärung an:

- Psychotherapeutische Prozesse sind von Beginn an selbstorganisierte Prozesse.
- Eine Abnahme in der Komplexität des therapeutischen Geschehens verweist darauf, dass im Verlauf einer Therapie immer weniger neue Aspekte auftauchen. Große Veränderungen und das Aushandeln einer tragfähigen Beziehung zwischen den Interaktionspartnern finden in der Regel verstärkt zu Beginn einer Therapie statt und werden gegen Ende seltener und insgesamt weniger komplex auftreten.
- Die ebenfalls von Tschacher, Scheier und Grawe (1998) formulierte Vermutung, dass insbesondere erfolgreiche Therapien eine Komplexitätsreduktion aufweisen, lässt sich ebenfalls vor diesem Hintergrund diskutieren. Während das Ringen um Lösungen bei wenig oder gar nicht erfolgreichen Therapien bis zum Ende der Therapie anhalten dürfte, müsste es bei erfolgreichen Therapien abnehmen. In diesem Sinne könnte es tatsächlich möglich sein, dass bei erfolgreichen Therapien eher eine Komplexitätsreduktion zu erwarten ist als bei erfolglosen. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass es sich bei erfolglosen Therapien nicht um selbstorganisierte Prozesse handelt. Die nicht ganz so erfolgreiche Therapie I (vgl. S. 534ff.) stellt sich bei näherer Betrachtung als fortlaufend selbstorganisierter Prozess heraus. Die weit geringer ausgeprägte Komplexitätsreduktion im Verlauf der Therapie I passt jedoch in das Gesamtbild der nicht vollständigen Problemlösung.

11.3.1.5 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorangegangenen Kapitel wurde ein erster Versuch unternommen zu überprüfen, in wie weit den Datensätzen, die über das Verfahren der Sequentiellen Plananalyse für zwei Therapien gewonnen wurden, eine nichtlineare Dynamik zu Grunde liegt. Ziel war es die fraktale Dimensionalität der vorliegenden Daten zu ermitteln und über das Verfahren der Pointwise Dimensionalität Veränderungen in der Komplexität des therapeutischen Geschehens zu identifizieren.

Die vorliegenden Analysen erbrachten neben verblüffenden Gemeinsamkeiten auch im Detail verborgene Unterschiede zwischen den beiden Therapien. Die Familienähnlichkeiten aber auch die Unterschiede zwischen den Therapien weisen beide Prozesse als hochgradig komplexe geordnete Strukturen aus. Im Wesentlichen bestätigen sich damit die Ergebnisse aus der Analyse der Planpartituren und erweitern diese um eine Reihe von differenzierteren Befunden:

- Bei den im Rahmen der Sequentiellen Plananalyse generierten Zeitreihen handelt es sich nicht um messfehlerfreie Daten. Nur vereinzelt führte eine Analyse der Rohdaten zu einer sättigenden Dimensionalitätsschätzung. Dennoch konnte für jede erfasste Selbstdarstellungsdimension (nicht jedoch für die Oberplandaten) ein sättigendes D_2 ermittelt werden, wenn die Daten zuvor mit einem gleitenden Mittelwert geglättet worden waren. Die Stärke der jeweils nötigen Glättung variiert jedoch von Datensatz zu Datensatz. Als kleinste gemeinsame Glättungsstufe wurde die siebenfache Anwendung eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite Zwei für die vergleichende Analyse der Selbstdarstellungsdimensionen beider Therapien festgelegt.

- Der Vergleich der Ergebnisse für die Selbstdarstellungskategorien beider Therapien, die für die unidimensionalen Datensätze mit einer einheitlichen siebenfachen Glättung der Breite Zwei gewonnen wurden, führt zu der erstaunlichen Feststellung, dass sich in beiden Therapien im Wesentlichen die gleichen Muster abbilden. Zum einen stimmen die mittlere Dimensionalität beider Klientinnen mit rund 5,0 und beider Therapeuten mit rund 4,0 überein. Zum anderen findet sich für beide Therapien eine auffallend geringe Dimensionalität für die Selbstdarstellungsdimension II des Therapeuten. Diese inhaltlich durchaus plausible Abweichung des auf Konfrontation und Verunsicherung angelegten Therapeutenverhaltens macht es schwer zu entscheiden, ob der Therapeut insgesamt tatsächlich eine geringere Komplexität in seinem interaktionellen Verhalten zeigt als die Klientinnen. In Hinblick auf die Variabilität der Ergebnisse kann für beide Therapien festgestellt werden, dass die Werte für die drei Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin jeweils dicht beieinander liegen und sich stärkere Unterschiede nur zwischen den Selbstdarstellungsdimensionen der Therapeuten feststellen lassen. Wie sehr sich die Strukturen der beiden Therapien ähneln wird ersichtlich, wenn die Dimensionalitätsschätzungen der Klientin und die des Therapeuten jeweils nach ihrer Größe gereiht werden. Es ergibt sich für beide Therapien exakt die gleiche Rangordnung:

$$D2_{(Klientin\ 1)} > D2_{(Klientin\ 3)} > D2_{(Klientin\ 2)} \text{ und} \\ D2_{(Therapeut\ 4)} > D2_{(Therapeut\ 1)} > D2_{(Therapeut\ 3)} \gg D2_{(Therapeut\ 2)}$$

Selbstdarstellungsdimensionen:

Klientin 1: Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir

Klientin 2: Hilflosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke

Klientin 3: Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)

Therapeut 1: Vertrauen, Sicherheit vermitteln

Therapeut 2: Konfrontation, Verunsicherung

Therapeut 3: Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern

Therapeut 4: Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit

- Obwohl sich im Rahmen der Komplexitätsanalysen für die einzelnen Zeitreihen der Selbstdarstellungsdimensionen durchaus plausible und interpretierbare Ergebnisse ergeben, zeigen sich doch auch Begrenzungen in der Datenqualität. So kommt es für einige der Datensätze auch zu einer Sättigung der jeweiligen Random-Surrogate. Obwohl jeweils signifikante Unterschiede zwischen den Komplexitätswerten der Surrogate und den Originalzeitreihen vorliegen, weisen diese Ergebnisse doch auch auf eine begrenzte Datenqualität, insbesondere in Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Messzeitpunkte hin. In die gleiche Richtung deutet die relativ geringe Ausbeute valider Messzeitpunkte im Rahmen der PD2-Berechnungen. Für die unidimensionalen Zeitreihen finden sich nur vereinzelt mehr als 75% verwertbarer Messzeitpunkte. Im dritten Schritt der Analyse wurden daher die Selbstdarstellungskategorien der Klientinnen, der Therapeuten und der gesamten Therapie zu multidimensionalen Datensätzen zusammengefasst.
- Die Datenqualität der multidimensionalen Datensätze, die im dritten Analyseschritt zur Ausgangsbasis der Dimensionalitätsberechnungen gewählt wurden, ist tatsächlich bedeutend besser als die der jeweiligen Einzelzeitreihen. Sowohl hinsichtlich der nötigen Glättung als auch in Hinblick auf den Surrogatdatentest schneiden die multidimensionalen Datensätze besser ab. Zudem erreichen die PD2-Berechnungen – mit nur mehr einer Ausnahme – bei allen Datensätzen über 75% valider Messzeitpunkte.

- In Bezug auf die D2-Analyse bestätigen die Auswertungen der multidimensionalen Datensätze die Ergebnisse der vorhergehenden Berechnungen. Erneut kann für sämtliche zur Verfügung stehenden Datensätze ein sättigendes D2 bestimmt werden, welches zum einen die Komplexität der Prozesse belegt (die Systeme verfügen jeweils über bis zu sechs Freiheitsgrade) aber gleichzeitig auch auf die innere Ordnung der Dynamik verweist. Auch die bereits identifizierten „Familienähnlichkeiten“ zwischen den Therapien finden sich in ähnlicher Weise auch in den multidimensionalen Daten wieder. So stimmt die Komplexität beider Klientinnen sowohl miteinander als auch mit der Komplexität beider Therapien (erfasst über alle sieben Selbstdarstellungsdimensionen) überein.
- Erste Unterschiede zwischen den beiden Therapien zeigen sich in der multidimensionalen Analyse dadurch, dass der Therapeut der ersten Therapie in seinem interaktionellen Verhalten die gleiche Komplexität wie die Klientin und die multidimensionale Einbettung der Therapie aufweist. Es ist im Kontext einer therapeutischen Interaktion durchaus erstaunlich, dass der Therapeut sich in der ersten Therapie ebenso komplex verhält wie die Klientin.
Die Erwartung einer geringeren Komplexität für den Therapeuten wird jedoch für die zweite Therapie bestätigt. Obwohl die Ergebnisse durch die große Diskrepanz zwischen dem D2 und dem Median der PD2-Berechnungen nicht ganz eindeutig ausfallen, bleibt die Komplexität des Therapeuten der Therapie II mindestens rund eine Dimension unter der der Klientin.
- Auffällig ist die deutliche Nähe beinahe sämtlicher bedeutsamen D2-Zahlenwerte zu ganzzahligen Dimensionen. Je nach Ausmaß der Datenglättung ergaben sich Werte um vier, fünf oder sechs Dimensionen, für die nur schwer entschieden werden kann, ob den Prozessen fraktale Strukturen zu Grunde liegen. In diesem Zusammenhang stellte sich dann auch die Frage danach, ob die Prozesse insgesamt nicht auch über die Modellannahmen eines linearen Systems adäquat beschrieben werden könnten. Ein aufwändiger Surrogatdatentest konnte jedoch zeigen, dass den therapeutischen Systemen höchst wahrscheinlich ein nichtlineares dynamisches System zu Grunde liegt.
- Die Annahme, dass psychotherapeutische Prozesse sich vor allem durch Nichtstationarität auszeichnen, konnte in der Analyse der PD2-Verläufe eindrücklich bestätigt werden. Die ungefilterte PD2-Dynamik scheint jedoch ähnlich komplex zu sein, wie die Dynamik der ihr zu Grunde liegenden Datenreihen. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der im PD2 zu beobachtenden Varianz auf die Ungenauigkeit des Verfahrens selbst, also auf einen unsystematischen Verfahrensfehler zurück geht. Verbesserungen in der Reliabilität der Ergebnisse im PD2₅₀ und die Glättung der Komplexitätsverläufe zeigen dann klare einander ablösende Phasen der Synchronisation und Antisynchronisation der Komplexitätsentwicklungen zwischen Klientinnen und Therapeuten im Verlauf beider Therapien. Dabei erscheint die Therapie II insgesamt aufgeräumter und klarer strukturiert. Aber auch in Phasen der Synchronisation übernimmt einer der beiden Interaktionspartner die Rolle der Führerschaft. Die Darstellung der Komplexitätsverläufe in zweidimensionalen Phasenräumen zeigt, dass der

exakt parallel eintretende und verlaufende Fall synchroner Komplexitätsveränderungen kaum festgestellt werden kann. Immer ist es einer der beiden Interaktionspartner, der zunächst eine bedeutsame größere Veränderung vorgibt, der der andere dann folgt. Über einen längeren Zeitraum und aus einer eher makroskopischen Perspektive etabliert sich dann erst ein fortdauerndes Muster der parallelen Komplexitätsentwicklung, indem der eine dem anderen folgend eine immer höhere bzw. eine immer geringere Komplexität in seinem interaktionellen Verhalten erkennen lässt. In den hochgradig vereinfachten Phasenraumdarstellung der Komplexitätsentwicklungen herrschen jeweils spezifische, besonders ausgezeichnete Stabilitätspunkte vor. In beiden Therapien halten sich die Interaktionspartner besonders häufig gemeinsam im oberen Viertel der von ihnen realisierten Komplexität auf. Nur selten werden die Stabilitätspunkte transient verlassen um kurz darauf erneut in einen Stabilitätspunkt zu münden. Ohne die Befunde der relativ voraussetzungsreichen Phasenraumdarstellungen überinterpretieren zu wollen, verdichten sich durch diese Befunde die Hinweise auf charakteristische Muster in der psychotherapeutischen Dynamik. Diskontinuierlich relativ unvermittelt auftretende Destabilisierungen von bereits etablierten Mustern sowie die schlagartige Ausbildung neuer Ordnungsstrukturen sind ein relativ verlässliches Merkmal für die Identifizierung von Nichtgleichgewichts-Phasenübergängen oder doch zumindest von so genannten Quasi-Attraktoren (Haken & Köpchen 1991), einem Begriff mit dem kurzzeitig stabile, sich dann aber wieder auflösende zeitliche Strukturen bezeichnet werden.

- Die konkret auf die Entwicklung der Komplexität bezogene Selbstorganisations-Hypothese der Psychotherapie (im Sinne von Scheier & Tschacher 1994, Tschacher & Scheier 1995, Thiele 1997, Tschacher, Scheier & Graue 1998) kann für die vorliegenden Datensätze nicht bestätigt werden. Der jeweilige Beginn der beiden analysierten Therapien erscheint ebenso als geordnete Dynamik wie auch deren Ende. Für alle sechs analysierten Datensätze zeigt sich eine statistisch signifikante, im Bezug zu einem Unordnungs-Ordnungs-Übergang jedoch zu geringe, Reduktion der Komplexität im Verlauf der Therapie. Die vorliegenden Befunde lassen sich wahrscheinlich im Lichte der im Zeitverlauf therapeutischer Prozesse zu erwartenden Entwicklungen verstehen. Große Veränderungen und das Aushandeln einer tragfähigen Beziehung zwischen den Interaktionspartnern finden in der Regel verstärkt zu Beginn einer Therapie statt und werden gegen Ende einer Therapie seltener auftreten. Auch die Vermutung, dass insbesondere in erfolgreichen Therapien eine Komplexitätsreduktion vorliegt, lässt sich vor diesem Hintergrund diskutieren. Während das Ringen um Lösungen bei wenig oder gar nicht erfolgreichen Therapien bis zum Ende der Therapie anhalten dürfte, müsste es bei erfolgreichen Therapien abnehmen. In diesem Sinne könnte es tatsächlich möglich sein, dass bei erfolgreichen Therapien eher eine Komplexitätsreduktion zu erwarten ist als bei erfolglosen. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass es sich bei erfolglosen Therapien nicht auch um selbstorganisierte Prozesse handelt.

Das vor dem Hintergrund eines mechanistischen Weltbildes hochgradig unwahrscheinliche Phänomen organisierter Komplexität (Willke 1989) konnte für die Daten der beiden Therapien mehrfach nachgewiesen werden. Dabei zeigen sich

die Spuren geordneter Komplexität auf verschiedenen Auflösungs-niveaus (Oberplandaten und Selbstdarstellungsdimensionen), in Daten unterschiedlicher Skalenniveaus (dichotome und metrische Datensätze) ebenso, wie auch im Rahmen unterschiedlicher methodischer Zugänge (Häufigkeitsverteilungen von Plankonstellationen, Symbol Dynamics, algorithmische Entropie, D2 und PD2). Obwohl die einander ergänzenden und jeweils bestätigenden Belege eine Interpretation der Befunde im Lichte der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme nahe legen, kann der Beweis dafür, es mit deterministisch-chaotischen Systemen zu tun zu haben, methodisch sauber erst über die Bestimmung von positiven Lyapunov-Exponenten (dem Nachweis des sich exponentiell entwickelnden Schmetterlingseffektes) erfolgen (vgl. auch S. 152ff.). Die folgende Analyse versucht daher über die Bestimmung der größten Lyapunov-Exponenten den Nachweis einer chaotischen Prozessdynamik zu erbringen.

11.3.2 Den Schmetterlingseffekt einfangen – Der Nachweis von Chaos

Es ist der Nachweis positiver Lyapunov-Exponenten, der es erlaubt eine Dynamik als deterministisch chaotischen Prozess zu kennzeichnen. Wenn es um die Identifikation von Chaos geht, spielt die Komplexität der Dynamik, verstanden als deren Dimensionalität nur eine untergeordnete Rolle. Zwar verweisen Ruelle und Takens (1971) darauf, dass die aperiodische, irreguläre Dynamik chaotischer Prozesse in der Phasenraumdarstellung zu einer fraktalen Struktur führt, die sie als seltsamen Attraktor bezeichnen (vgl. S. 157), die Höhe der fraktalen Dimensionalität hat aber selbst nichts mit der Stärke der vorliegenden Chaotizität zu tun. Es ist die fraktale Eigenschaft, die auf das Chaos schließen lässt, nicht die Höhe der Dimensionalität. Obwohl also ein fünf-dimensionaler Torus über eine höhere Dimensionalität verfügt als der seltsame Lorenz-Attraktor ($D_2 = 2,06$), ist letzterer chaotisch wohingegen der Torus, ein reguläres, vorhersagbares Verhalten aufweist. In diesem Sinne konnten in den vorhergehenden Kapiteln zwar Indizien zusammengetragen werden, die zumindest nicht gegen eine chaotische Dynamik sprechen, zwingende Belege für das Vorliegen des Schmetterlingseffektes in therapeutischen Prozessen konnten aber damit noch nicht vorgelegt werden.

Der Nachweis von Chaos ist an den Nachweis eines positiven Lyapunov-Exponenten gebunden

Gelingt dieser Nachweis der exponentiellen Divergenz nahe benachbarter Trajektorien im Rahmen der Identifikation positiver Lyapunov-Exponenten, so ist damit – mehr als mit anderen Belegen – die Identifikation selbstorganisierter Prozesse auf der Grundlage nichtlinearer dynamischer Systeme ebenfalls gelungen. Es ist das deterministische Chaos, welches eben nur in bestimmten zur Selbstorganisation fähigen Systemen beobachtet werden kann (vgl. Tabelle 5, S. 180). Das Ziel der folgenden Analysen besteht daher zunächst im Nachweis des Schmetterlingseffektes und der sich daran anschließenden Beschreibung seiner zeitlichen Dynamik. Denn – ebenso, wie bei der Bestimmung der Komplexität – kann davon ausgegangen werden, dass es im Verlauf der beiden Therapien auch zu Veränderungen in der Chaotizität kommen kann. Diese so genannten chaoto-chaotischen Phasenübergänge lassen sich im Verlauf eines lokalen *Largest Lyapunov-Exponenten* (lokaler LLE) über Maxima in der Streuung der lokalen LLE identifizieren.

Die Berechnung der LLE und der lokalen LLE orientierte sich am Algorithmus von Rosenstein, Collins und de Luca (1993), der relativ einfach als Computerprogramm implementiert werden kann. Insbesondere die Anforderung, mit dem Al-

gorithmus auch die Berechnung lokaler Kennwerte und die Einbettung multidimensionaler Datensätze vornehmen zu können, führten zur umfangreichen Neuprogrammierung des Verfahrens unter Nutzung von Codebeispielen aus dem Internet (Rosenstein 1999, Hegger, Kantz & Schreiber 2000). Die Analysen wurden durchgeführt für die jeweils drei multidimensionalen Datensätze der beiden Therapien. Als Glättung fand – wie bereits bei der Bestimmung der D2/PD2-Kennwerte der multidimensionalen Datensätze – ein fünffach geschachtelter gleitender Mittelwert der Breite Zwei Anwendung.

Die D2/PD2-Berechnungen legen eine Einbettung der Daten bei mindestens sechs Dimensionen nahe. Für die Klientin wurde daher eine Einbettung mit sechs und für den Therapeuten eine Einbettung mit acht Dimensionen gewählt. Beide nutzen also zwei multidimensionale Datensätze jeweils aufeinanderfolgender Messzeitpunkte. Die Berechnung für die gesamte Therapie kommt hingegen mit einem Messzeitpunkt aus. Hier wird eine 7-dimensionale Einbettung gewählt.

Die Ergebnisse der globalen LLE-Berechnungen unter Nutzung aller jeweils zur Verfügung stehenden Messzeitpunkte scheinen die Schlussfolgerung nahe zu legen, dass sich in den erhobenen multidimensionalen Zeitreihen tatsächlich zwingende Merkmale chaotischer Prozesse finden lassen. Für beide Therapien und für alle drei Datensätze ergaben sich jeweils positive größte Lyapunov-Exponenten. Tabelle 38 gibt einen Eindruck von den Größenordnungen der LLE. Die Werte schwanken zwischen 0,3 Bit/Iteration und 0,4 Bit/Iteration. Es zeigen sich zum Teil recht starke Abweichungen zwischen den LLE, die für den gesamten Datensatz ermittelt wurden und dem entsprechenden, gemittelten lokalen LLE. Der LLE für den gesamten Zeitraum ist dabei in jedem Fall höher als der gemittelte lokale LLE. Dies mag zum Teil darauf zurück zu führen sein, dass der LLE des gesamten Datensatzes stärker in Richtung der Maxima strebt, die sich in den Verläufen der lokalen LLE finden lassen.

Die beobachtbare Separation nahe benachbarter Trajektorien scheint tatsächlich exponentiell zu verlaufen. Ein sicherer Hinweis auf Chaos

Da der Analyse der Algorithmus von Rosenstein, Collins und de Luca (1993) zu Grunde liegt, kann die Güte der Berechnung aus dem Fit, der im Zeitverlauf zu beobachtenden Separation nah benachbarter Trajektorien, mit einem exponentiellen Modell bestimmt werden. Dazu wird ein linearer Skalierungsbereich im einfach logarithmierten Verlauf der gemittelten Separation gesucht (vgl. ausführlicher auf S. 386ff.). Die Korrelation einer entsprechenden Ausgleichsgeraden mit der im Skalierungsbereich zu findenden logarithmierten Separation fällt bei den vorliegenden Berechnungen jeweils sehr hoch aus (immer $\geq 0,9$). Dennoch scheint eine vorsichtige Interpretation angebracht. Der Skalierungsbereich ist, z.B. im Vergleich zu Analysen von mathematisch generierten Beispielzeitreihen, jeweils nur relativ schmal bemessen. Bereits nach durchschnittlich 10 bis 15 Iterationsschritten erreichen nah benachbarte Trajektorien eine maximal mögliche Separation. Die Daten werden in den vorliegenden Datenreihen sehr schnell auseinander getrieben. Vergleiche mit Random-Surrogaten zeigen jedoch ein noch extremeres Verhalten. Bereits nach 3 bis 4 Iterationsschritten wird hier dann die maximale Separation erreicht. Die ermittelten LLE nehmen für diese künstlichen Datensätze Werte von 1,0 Bit/Iteration an und stützen sich allein auf zwei bis drei verwertbare Iterationsschritte, also einen eindeutig zu kleinen Skalierungsbereich. Es zeigt sich also, dass die Berechnungen für die Originaldaten – wenn auch nicht so reliabel wie erhofft – dennoch weit zuverlässiger durchgeführt werden können als für Random-Surrogate.

Therapie I		LLE		Korrelation mit Gerade	Lokaler LLE	
Theiler-Window = 24 Messzeitpunkte						
Therapeut	1. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	0,3241		0,9510	AM	= 0,2179
	2. Konfrontation, Verunsicherung				SD	= 0,0719
	3. Eigenverantwortung der Klientin fördern				Median	= 0,2085
	4. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit				Min	= 0,0596
					Max	= 0,3278
Klientin	1. Suche nach Zuwendung / Anerkennung / guter Beziehung	0,3588		0,9658	AM	= 0,2499
	2. Externalisation / Hilfflosigkeit demonstrieren				SD	= 0,0793
	3. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)				Median	= 0,2347
					Min	= 0,0863
					Max	= 0,4480
Therapie	Enthält alle sieben Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin und des Therapeuten	0,2597		0,9079	AM	= 0,1978
					SD	= 0,0649
					Median	= 0,2062
					Min	= 0,0332
					Max	= 0,4143
Therapie II						
Therapeut	1. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	0,3673		0,9380	AM	= 0,2967
	2. Konfrontation, Verunsicherung				SD	= 0,0731
	3. Eigenverantwortung der Klientin fördern				Median	= 0,2880
	4. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit				Min	= 0,1139
					Max	= 0,4721
Klientin	1. Suche nach Zuwendung / Anerkennung / guter Beziehung	0,3501		0,9507	AM	= 0,3144
	2. Externalisation / Hilfflosigkeit demonstrieren				SD	= 0,0559
	3. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)				Median	= 0,3429
					Min	= 0,1316
					Max	= 0,3802
Therapie	Enthält alle sieben Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin und des Therapeuten	0,3362		0,9198	AM	= 0,2881
					SD	= 0,0684
					Median	= 0,2971
					Min	= 0,1376
					Max	= 0,3856
AM	Arithmetischer Mittelwert	Min	Minimum			
SD	Standardabweichung	Max	Maximum			

Tabelle 38: Kennwerte zur LLE-Berechnung

In der Tabelle wird jeweils der größte Lyapunov-Exponent (LLE) für die drei Datensätze der Therapie I (oben) und der Therapie II (unten) wiedergegeben. Neben dem LLE, der sich für den gesamten Datensatz ergibt, finden sich auch Durchschnittswerte für den lokalen LLE. Alle Berechnungen beruhen auf einem Theiler-Window von 24 Messzeitpunkten. Der LLE wird in Bit/Iteration angegeben.

Ausnahmslos zeigt sich eine – wenn auch nicht dramatische – so doch merkbare Abhängigkeit der lokalen LLE-Berechnungen von der Breite des Theiler-Window¹⁰⁸. Die Unterschiede zwischen Berechnungen mit verschiedenen breiten Theiler-Windows fallen gering aus (vgl. Abbildung 170), so dass sich die lokalen

¹⁰⁸ Für die Berechnung der LLE werden die Trajektorien-Verläufe nahe benachbarter Messzeitpunkte miteinander verglichen. Messzeitpunkte, die zeitlich nahe beieinander liegen sind in der Regel auch räumlich ähnlich, so dass zu einem Fokuspunkt nicht selten sein zeitlicher Vorgänger oder Nachfolger ein nächstgelegener Nachbar ist. Da es aber wenig sinnvoll ist zeitlich benachbarte Punkte miteinander zu vergleichen, werden zeitlich um einen Fokuspunkt liegende Messzeitpunkte nicht als nächste Nachbarn zugelassen. Das Theiler-Window gibt an, wie viel Messzeitpunkte ein nächster Nachbar mindestens entfernt sein sollte.

LLE-Verläufe in jedem Fall stark ähneln (Korrelationen zwischen Berechnungen mit unterschiedlicher Breite des Theiler-Windows sind in der Regel größer als 0,8). Dennoch wurde auf Grund der beschriebenen Abhängigkeit die Breite des Theiler-Windows für sämtliche Berechnungen konstant mit ± 24 Messzeitpunkten um den Fokuspunkt festgelegt.

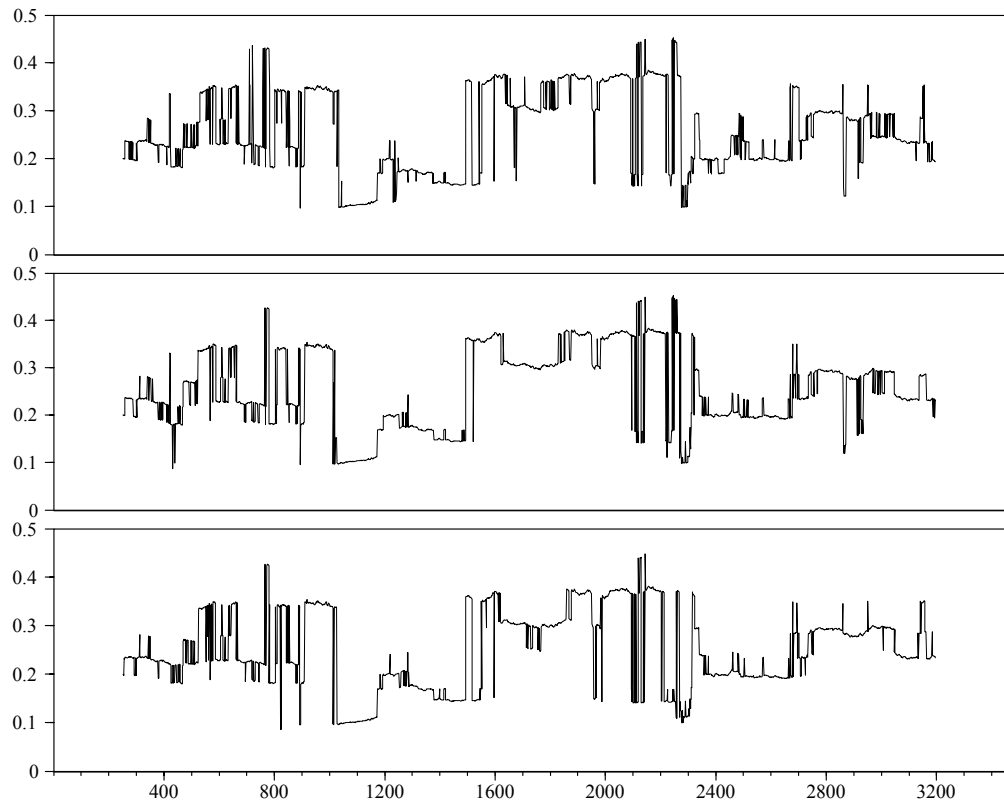


Abbildung 170: Abhängigkeit der lokalen LLE von der Breite des Theiler-Windows

Die in der Abbildung dargestellten Berechnungen für die Klientin der Therapie I zeigen, dass sich für unterschiedlich breite Theiler-Windows zwar hochgradig ähnliche Ergebnisse ermitteln lassen, im Detail aber Unterschiede bestehen. Oben: Das Theiler-Window entspricht 15 Messzeitpunkten. In der Mitte sind es 20 Messzeitpunkte und unten sind es 24.

Die folgenden Abbildungen 171 und 172 zeigen die Entwicklung des lokalen LLE für das mehrdimensional eingebettete System der Selbstdarstellungsdimensionen des Therapeuten und der Klientin der Therapie I bzw. der Therapie II. Prinzipiell bestätigen die zwischen den Interaktionspartnern synchronisierten Sprünge im Verlauf der lokalen LLE Befunde, wie sie für die Therapie I bereits mit einem ähnlichen Verfahren (Kowalik & Elbert 1994) ermittelt wurden (vgl. Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Kowalik et al. 1997).

Die Streuung der lokalen LLE erlaubt die Identifikation von Phasen kritischer Instabilität

Für beide Therapien zeigen sich mehr oder weniger stark ausgeprägte, und zum Teil für beide Interaktionspartner gleichzeitig eintretende Ordnungs-Ordnungs-Übergänge. Nicht selten werden diese chaoto-chaotischen Übergänge zwischen den zeitlich begrenzten Quasi-Attraktoren eingeleitet von Phasen kritischer Instabilität, die sich als hohe Streuung der lokalen LLE in den Daten manifestieren. Über den gesamten Zeitraum kann die Dynamik der untersuchten Datensätze bei der Therapie I als chaotisch im Sinne der Theorie Nichtlinearer Dynamischer Systeme interpretiert werden.

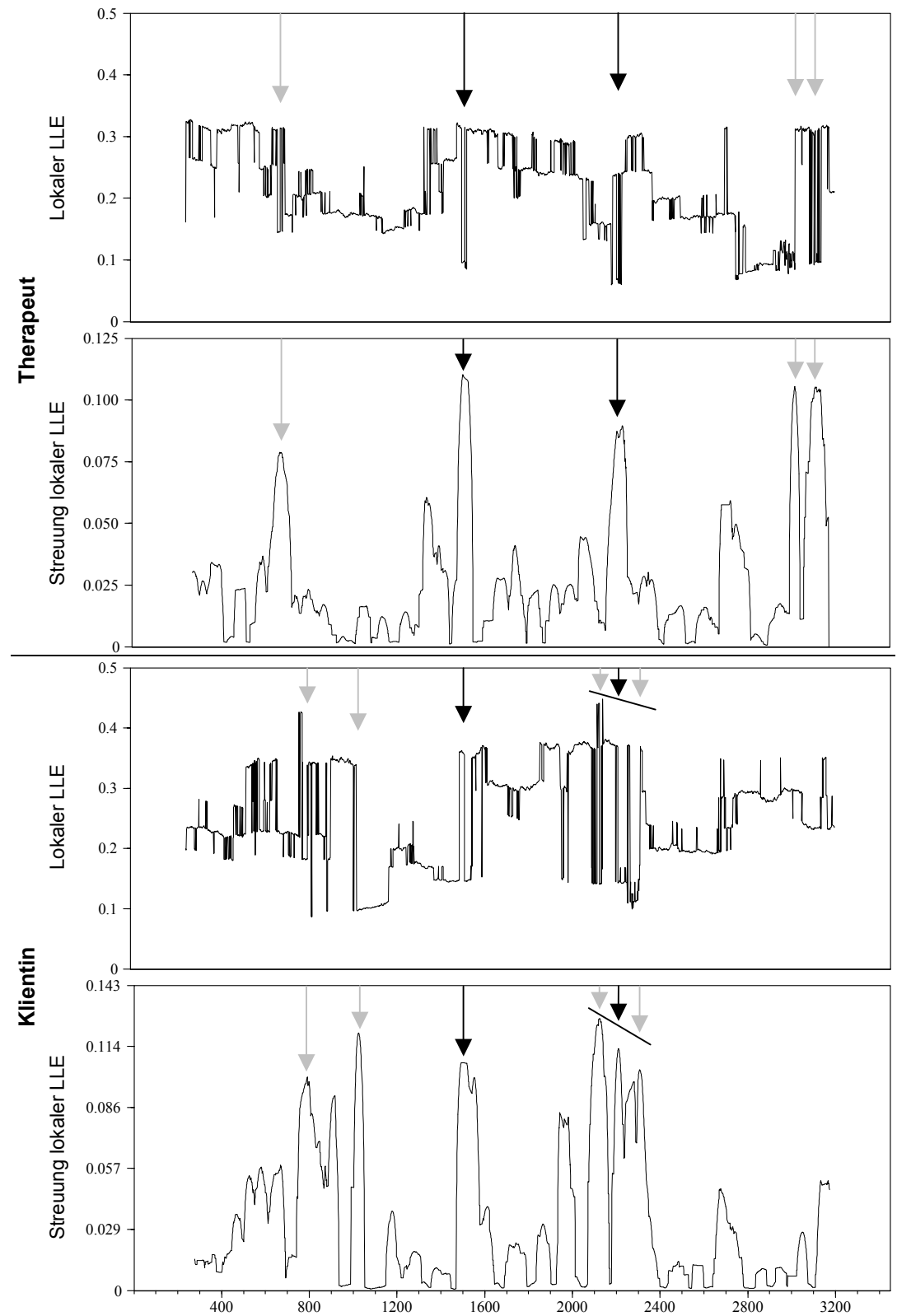


Abbildung 171: Entwicklung der lokalen LLE und deren Streuung – Therapie I

Die Abbildung zeigt die Dynamik der lokalen LLE von Therapeut und Klientin der Therapie I. Der lokale LLE wurde jeweils in einem Fenster von 500 Messpunkten Breite berechnet. Die Pfeile markieren synchron (schwarz) bzw. nicht synchron (grau) auftretende sprunghafte Veränderungen im lokalen LLE und orientieren sich dabei an den entsprechenden Maxima in der Streuung der lokalen LLE. Markiert wurden die vier (bzw. wegen ähnlicher Ausprägung sind es beim Therapeuten fünf), größten Veränderungen.

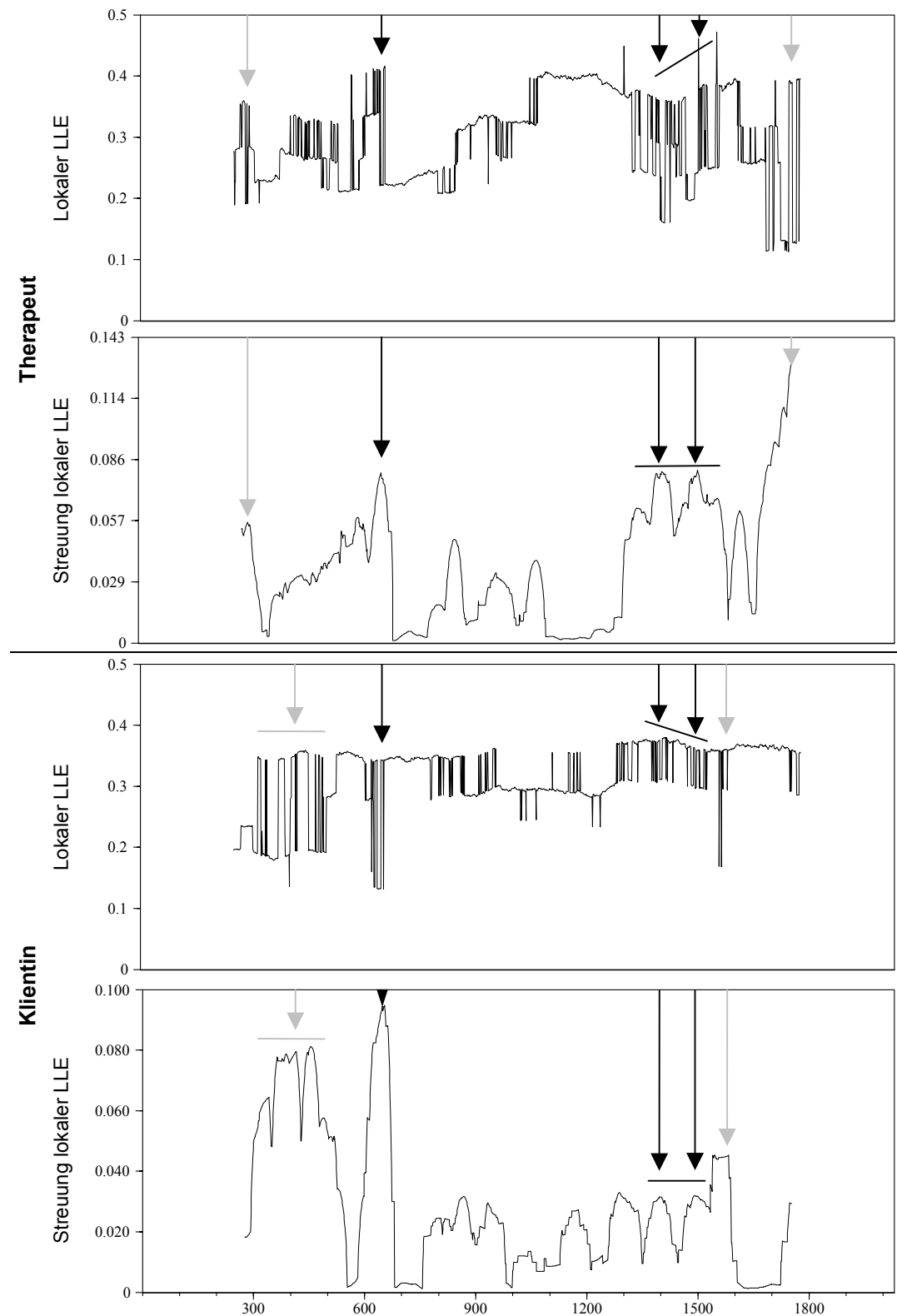


Abbildung 172: Entwicklung der lokalen LLE und deren Streuung – Therapie II

Die Abbildung zeigt die Dynamik der lokalen LLE von Therapeut und Klientin der Therapie II. Der lokale LLE wurde jeweils in einem Fenster von 500 Messpunkten Breite berechnet. Die Pfeile markieren synchron (schwarz) bzw. nicht synchron (grau) auftretende sprunghaften Veränderungen. Diese entsprechen Maxima der Streuung der lokalen LLE (berechnet für ein Fenster von 50 Datenpunkten). Bei der Klientin sind nur die beiden ersten Veränderungen wirklich dramatisch. Weitere Sprünge zeigen sich beim Therapeuten als bedeutsam. Diese korrespondieren zwar zu Veränderungen bei der Klientin, sind dort aber nicht ausgeprägter als andere kleinere Veränderungen auch.

Die in den Abbildungen 171 und 172 markierten Sprünge in der Entwicklung der lokalen LLE ergeben sich aus bedeutsamen Maxima in deren Streuung. Je nach Breite des für die Ermittlung der Streuung gewählten Berechnungsfensters können verschieden viele mehr oder minder ausgeprägte Maxima identifiziert werden. Die insgesamt höchsten Werte bleiben davon jedoch weitestgehend unberührt. Auch in Abhängigkeit von der Breite des Theiler-Windows ergeben sich jeweils leicht unterschiedliche Verläufe der lokalen LLE und damit zum Teil auch unterschiedliche Maxima in deren Streuungen. Die Berechnungen wurden daher mit verschieden breiten Theiler-Windows systematisch wiederholt, ohne dass Unterschiede in der Positionierung der besonders deutlich hervortretenden chaoto-chaotischen Übergänge festgestellt werden konnten. Verschiebungen fanden sich wenn überhaupt, nur in Bezug auf weniger dramatische Veränderungen der lokalen LLE. Bei aller Unterschiedlichkeit, die sich aus der Variation der für die Berechnung gewählten Parameter ergibt, scheinen die dargestellten Befunde insgesamt doch relativ robust zu sein.

Veränderungen in den lokalen LLE treten in allen vier hier betrachteten Fällen relativ abrupt und unvermittelt auf. Wie die Abbildungen 171 und 172 deutlich zeigen, können immer wieder Plateaus in der Dynamik identifiziert werden, die nur eine geringe Streuung generieren. Besonders deutlich wird dies für die Klientin der Therapie II (Abbildung 172), für die z.B. gegen Ende der Therapie kaum mehr eine Veränderung in der Dynamik der lokalen LLE festgestellt werden kann.

Fluktuationen im lokalen LLE leiten häufig Niveauveränderungen ein

Kommt es zu sprunghaften Veränderungen der lokalen LLE, so treten sie im Verlauf der Therapie zunächst als schnell fluktuierende periodische Schwankungen auf, bei denen der LLE zu oszillieren beginnt. Ein solches Verhalten weist starke Parallelen zum Phänomen kritischer Fluktuationen auf, mit denen sich in nichtlinearen dynamischen Systemen Phasenübergänge ankündigen (vgl. Abbildung 54 und die Erläuterungen ab S. 170ff.). In den meisten Fällen findet im Umkreis der lokal erhöhten Fluktuationsrate der lokalen LLE tatsächlich eine Transformation statt: in der Regel sind deutliche Niveauunterschiede zwischen dem Abschnitt vor und nach einer Phase erhöhter Fluktuation erkennbar (vgl. auch die folgende Abbildung 173 in der der lokale LLE jeweils geglättet dargestellt wird).

Im Detail können, durch die Markierung der jeweils vier stärksten Veränderungen im lokalen LLE, in der Therapie I zwei synchronisierte und in der Therapie II nur ein bedeutsamer synchronisierter Übergang beobachtet werden. In beiden Therapien lassen sich weitere gleichzeitig auftretende diskontinuierliche Sprünge finden, die jedoch nicht so dramatisch verlaufen, also nur über gering ausgeprägte Maxima in der Streuung der lokalen LLE verfügen. Auch der zweite synchrone Übergang in Therapie II gehört zu den weniger bedeutsamen Übergängen (insbesondere aus Sicht der Klientin).

Auffällige Veränderungen in der Chaotizität der Klientin der Therapie I zeigen sich insbesondere um die Messzeitpunkte 980 und 1.450. Zwischen diesen Zeitpunkten verbleibt der lokale LLE auf relativ konstant niedrigem Niveau, während er zuvor und danach weit höhere Werte und stärkere Fluktuationen aufweist. Die Zeit bis zum Umschlagen der Chaotizität um den Messzeitpunkt 980 (die dort auftretenden Fluktuationen enden erst später, um den Zeittakt 1.025) umfasst in etwa die ersten vier Therapiesitzungen. Dieser Zeitraum ist für die Klientin insgesamt von starken Fluktuationen im lokalen LLE begleitet. Es scheint beinahe so, als ob sich die Klientin zunächst transient in die Therapiesituation einfinden müsse.

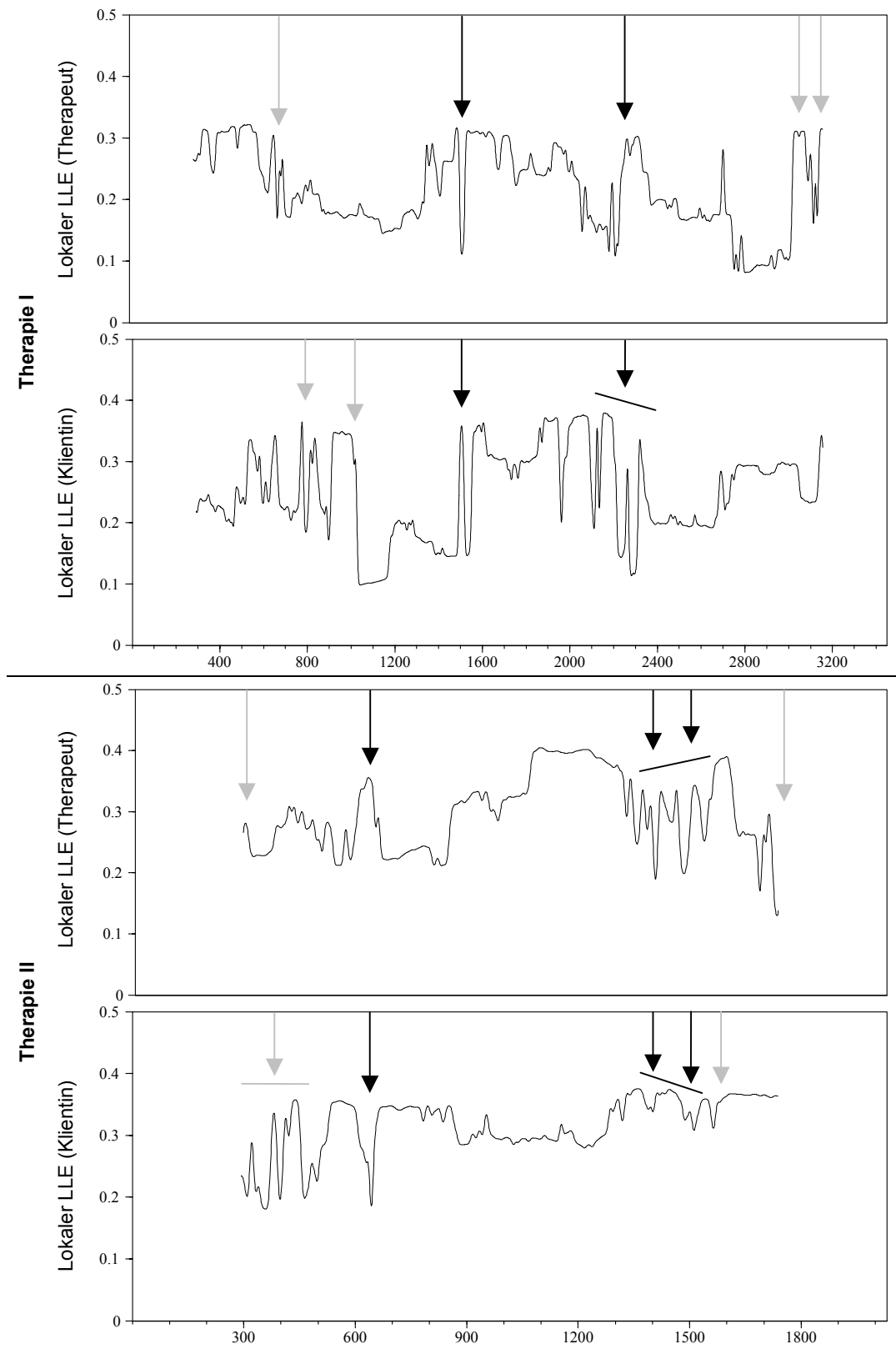


Abbildung 173: Geglättete Darstellung der Entwicklung der lokalen LLE

Für die Abbildung wurde der lokale LLE jeweils mit einem 80fach geschachtelten gleitenden arithmetischen Mittelwert der Breite 2 geglättet. Die Markierungen wurden aus den Abbildungen 171 und 172 übernommen.

Der Beginn beider Therapien ist gekennzeichnet durch starke Fluktuationen im lokalen LLE der Klientinnen

Eine transient verlaufende „Einschwingphase“ ist auch für die Klientin in Therapie II deutlich zu erkennen. In der insgesamt kürzeren Therapie II endet der von starken Fluktuationen gekennzeichnete Einstimmungszeitraum der Klientin kurz vor dem Ende der dritten Sitzung um den Zeitpunkt 650 (vgl. auch Abbildung 172, S. 604). Für die Klientin der Therapie II kommt es nach diesem transienten Verhalten, welches abrupt endet kaum mehr zu nennenswerten Veränderungen. Zwar fällt noch einmal ein Maximum in der Streuung der lokalen LLE gegen Ende der Therapie auf. Dieses steht jedoch relativ isoliert und führt zu keiner bedeutsamen Veränderung in der Grunddynamik. Grob betrachtet weist die Therapie II damit zwei im lokalen LLE der Klientin unterscheidbare Phasen auf: Transiente Einschwingphase, Phase geringer Veränderungen (vgl. Tabelle 39).

1. Abschnitt	2. Abschnitt
Starke Fluktuationen und permanente Veränderung. Allmähliches Einschwingen auf ein Plateau mit hohem Niveau.	Relative Konstanz auf mittlerem Niveau. Dieser Abschnitt ließe sich bei Berücksichtigung vieler, weniger starker Veränderungen im lokalen LLE noch weiter unterteilen. Insgesamt und im Vergleich zum 1. Abschnitt erscheint sie jedoch durchaus homogen.
Zeittakte: 250 – 650	Zeittakte: 651 – 1.780
AM (SD): 0,270 (+/- 0,075)	AM (SD): 0,330 (+/- 0,036)

Tabelle 39: Abschnitte in der Dynamik der lokalen LLE der Klientin – Therapie II

Der Verlauf des lokalen LLE der Klientin der Therapie II lässt sich am besten in zwei Abschnitte einteilen. Dem 1. Abschnitt wurde dabei die transiente Phase kritischer Fluktuationen vollständig zugeschlagen und damit aus dem 2. Abschnitt herausgehalten. Die Zeittakte beziehen sich auf die nicht geglätteten Verläufe des lokalen LLE und berücksichtigen die bei der Berechnung anfallende Fensterbreite mit insgesamt ± 250 Messzeitpunkten.

Für die Klientin der Therapie I können hingegen weitere Übergänge und mehrere klar abgrenzbare Phasen beobachtet werden. Insgesamt lässt sich die Therapie I aus der Sicht der Klientin in vier Abschnitte einteilen (vgl. Tabelle 40).

1. Abschnitt	2. Abschnitt	3. Abschnitt	4. Abschnitt
Starke Fluktuationen und permanente Veränderung. Allmähliches Einschwingen auf ein Plateau mit hohem Niveau.	Relative Konstanz auf geringem Niveau	Starke Fluktuationen auf hohem Niveau	Relative Konstanz auf mittlerem Niveau (dennoch stärkere Fluktuationen als im 2. Abschnitt)
Zeittakte: 250 – 1.025	Zeittakte: 1.026 – 1.450	Zeittakte: 1.451 – 2.370	Zeittakte: 2.371 – 3.200
AM (SD): 0,261 (+/- 0,063)	AM (SD): 0,150 (+/- 0,037)	AM (SD): 0,295 (+/- 0,087)	AM (SD): 0,246 (+/- 0,044)

Tabelle 40: Abschnitte in der Dynamik der lokalen LLE der Klientin – Therapie I

Der Versuch, den Verlauf des lokalen LLE der Klientin der Therapie I in Abschnitte einzuteilen führt zu einer relativ groben Festlegung von vier Abschnitten. Je nach Art des Abschnittes wurde dabei die transiente Phase kritischer Fluktuationen entweder diesem Abschnitt oder dem angrenzenden Abschnitt zugeschlagen. Die Zeittakte beziehen sich auf die nicht geglätteten Verläufe des lokalen LLE und berücksichtigen die bei der Berechnung anfallende Fensterbreite mit insgesamt ± 250 Messzeitpunkten.

Die Dynamik der lokalen LLE der Therapeuten scheint jeweils komplexer als die der Klientinnen

Die Therapeuten weisen in beiden Therapien insgesamt eine komplexere Dynamik des lokalen LLE auf als sie für die jeweiligen Klientinnen beobachtet werden kann. Neben einer Reihe von kleineren Sprüngen zeigen sich für die Therapeuten auch mehr große und zum Teil dramatische Veränderungen. Allerdings sind die

Phasen relativer Konstanz geringer ausgeprägt als bei den jeweiligen Klientinnen. Werden die relevanten Übergänge über die vier größten Maxima in der Streuung der lokalen LLE bestimmt, so zeigt sich für den Therapeuten in der Therapie I ein weitgehend mit dem 3. Abschnitt der Klientin übereinstimmender Zeitraum (vgl. Tabelle 40). Während das Einsetzen dieser Phase um den Zeittakt 1.451 relativ Punktgenau bei beiden Interaktionspartnern gleichzeitig beobachtet werden kann, ist das Ende nur über das Maximum in der Streuung des lokalen LLE identifizierbar (auch dieses stimmt bei beiden Interaktionspartnern perfekt überein), dauert für die Klientin jedoch länger (ausgeprägteres transientes Verhalten) und tritt für sie auch weniger plötzlich zu Tage als für den Therapeuten. Insgesamt zieht sich das Ende dieser Phase über einen Zeitraum von rund 100 Messzeitpunkten (rund 20 Minuten realer Zeit) hin. Es liegt im Bereich von Zeittakt 2.250 bis 2.370.

Eine über den ganzen Zeitraum der Therapien konsistente Korrelation zwischen den Entwicklungen der lokalen LLE bei der Klientin und beim Therapeuten ist hier ebenso unwahrscheinlich, wie entsprechende Korrelationen der PD2-Dynamik (vgl. S. 583ff.). Statt dessen zeigen sich im Verlauf beider Therapien Phasen synchroner und antisynchroner Entwicklungen der lokalen LLE, die einander jeweils relativ unvermittelt ablösen (vgl. Abbildung 174, S. 609). In der Therapie I überwiegt dabei eine geringe positive Korrelation (sie beträgt über den gesamten Zeitraum hinweg $r = 0,07$, für die nicht geglätteten lokalen LLE) und in der Therapie II eine eher negative (sie beträgt über den gesamten Zeitraum hinweg $r = -0,16$, für die nicht geglätteten lokalen LLE; vgl. Tabelle 41). In jedem Fall positiv und jeweils auch höher fällt hingegen die Korrelation zwischen der Entwicklung der Streuung der lokalen LLE von Klientin und Therapeuten aus. Die insgesamt höhere Korrelation für die Therapie II stimmt mit der Beobachtung überein, dass in dieser Therapie mehr als in der Therapie I synchronisiert auftretende Sprünge in den LLE beobachtet werden können. Insgesamt lässt sich für beide Therapien feststellen, dass Phasen kritischer Instabilitäten bis zu einem gewissen Maße synchronisiert zwischen Therapeut und Klientin auftreten.

Lokaler LLE	Therapie I	Therapie II
Therapeut-Klientin	0,068	-0,157
Therapeut-Therapie	0,346	-0,512
Klientin-Therapie	0,109	0,077
Lokaler LLE _(80 mal geglättet mit Breite 2)		
Therapeut-Klientin	0,087	-0,125
Therapeut-Therapie	0,433	-0,218
Klientin-Therapie	0,170	0,073
Streuung lokaler LLE ₍₅₀₎		
Therapeut-Klientin	0,228	0,095
Therapeut-Therapie	0,124	-0,194
Klientin-Therapie	0,023	-0,216

Tabelle 41:

Korrelationsmatrizen für den lokalen LLE und die Streuung des lokalen LLE

Der Tabelle liegen zwei unterschiedliche Berechnungsmodalitäten zu Grunde. Oben werden die nicht geglätteten Verläufe des LLE miteinander korreliert. In der Mitte werden die gleichen Daten zunächst einer 80fachen Glättung mit einem gleitenden Mittelwert der Breite Zwei unterzogen. Die Streuung des lokalen LLE wurde mit einem gleitenden Fenster der Breite 50 für die nicht geglätteten lokalen LLE bestimmt.

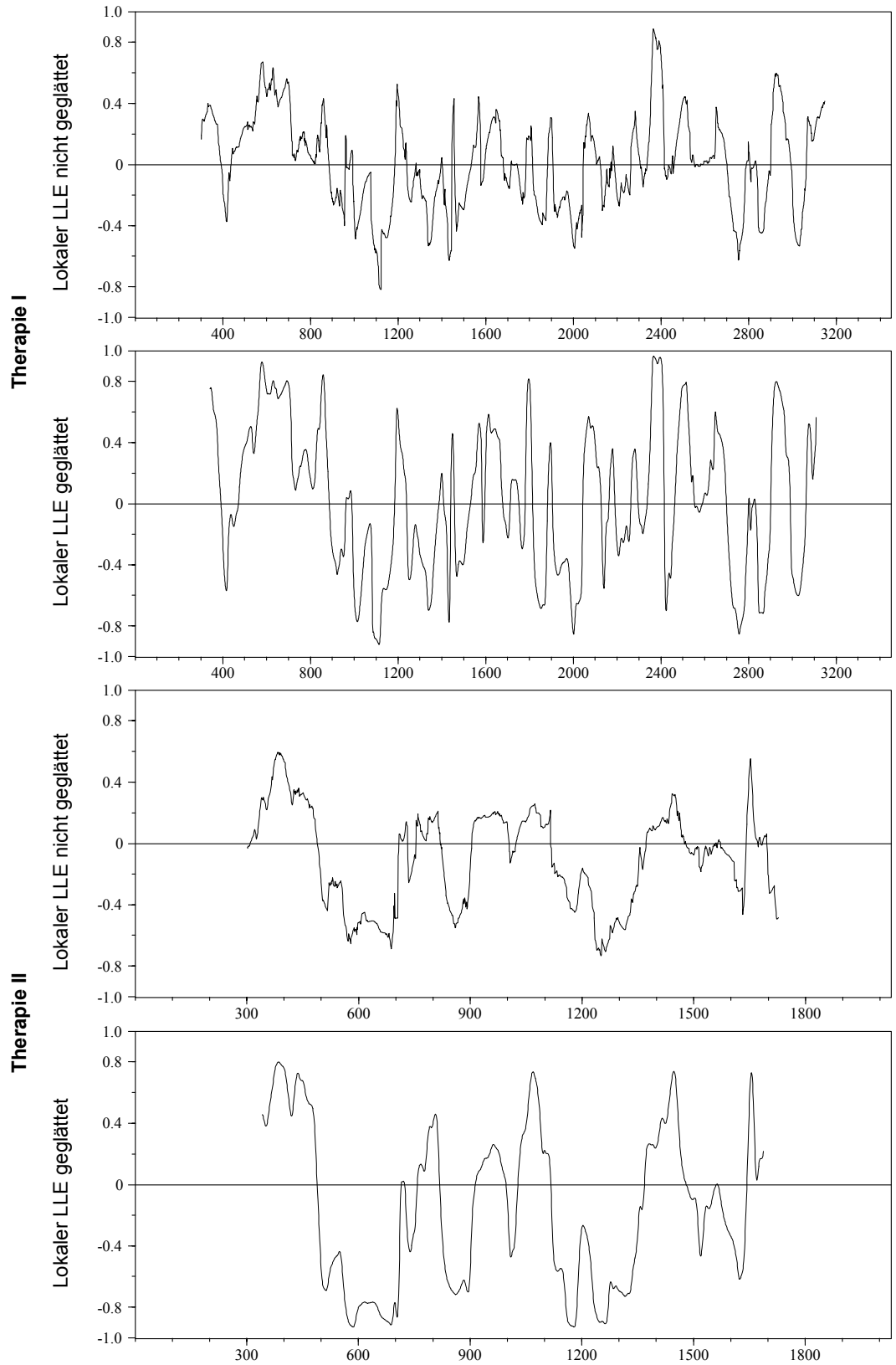


Abbildung 174: Abschnittweise Korrelation zwischen den lokalen LLE der Klientin und des Therapeuten

Die Abbildung zeigt abschnittsweise Korrelationen zwischen dem lokalen LLE der Klientin und den Therapeuten für ein Korrelationsfenster der Breite 100. Als Ausgangsdaten standen sowohl die Rohdaten der lokalen LLE als auch die 80fach mit einem gleitenden Mittelwert der Breite 2 geglätteten Verläufe zur Verfügung.

11.3.3 Phasen kritischer Instabilität und deren Vorhersage

Es ist das Ziel psychotherapeutischer Bemühungen Veränderungsprozesse zu initiieren, zu begleiten und zu festigen. Dass solche *Change-Prozesse* im Rahmen einer systemischen Perspektive nicht verstanden werden können als ein von außen gesteuerter und geplanter Umbau, wie ihn ein Mechaniker an einem Mechanismus vollzieht, wird in den letzten 20 Jahren immer wieder vermutet und betont (z.B. Grawe 1988; vgl. auch ab S. 468ff.). Für ein umfassenderes Verständnis psychotherapeutischer Change-Prozesse müssen mechanistische Erklärungsmodelle aufgegeben werden zu Gunsten eines Denkens in zirkulären Kreisprozessen. Die Hypothese, dass sich dann auch Phänomene nichtlinearer dynamischer Systeme in psychotherapeutischen Prozessen nachweisen lassen müssten, kann vor dem Hintergrund der vorliegenden Befunde bestätigt werden. Zumindest die hier analysierten beiden Einzelfälle zeigen ausgeprägte, in der Dynamik erkennbare Strukturen organisierter Komplexität, die über jeweils den gesamten erfassten Prozess hinweg als deterministisch chaotisch gekennzeichnet werden können.

Komplexität zeigen die Prozesse sowohl vor dem Hintergrund so verschiedener methodischer Zugänge wie dem des Symbol Dynamics Ansatzes, der algorithmischen Entropie und der fraktalen Geometrie. Mit geringen Einschränkungen lässt sich durch jeden dieser Ansätze auch die Ordnung und Strukturiertheit der Prozesse belegen. Die Bestimmung positiver Lyapunov-Exponenten ergänzt dieses Bild um bis dahin fehlende Belege für das Vorliegen von Chaos.

In den Therapien zeigen sich Phänomene organisierter Komplexität 2. Ordnung

Von einfachen physikalischen Beispielsystemen, wie sie im Rahmen der Kapitel 5 und 6 dargestellt wurden unterscheiden sich die hier untersuchten Prozesse jedoch grundlegend. Die in den Therapien angezielte und realisierte Veränderungsdynamik führt zu Phänomenen organisierter Komplexität 2. Ordnung. Nicht nur der direkt beobachtete Prozess scheint dabei den Gestaltmerkmalen einer komplexen Dynamik zu folgen, auch die ermittelten Kennwerte der Komplexität und der Chaotizität zeigen im zeitlichen Verlauf ihrerseits alle Merkmale einer komplexen Dynamik. Auch wenn die Phasen der Synchronisation und Antisynchronisation im Verlauf der PD2 leicht mit herkömmlichen statistischen Modellen beschrieben werden können, also einer regulären Dynamik folgen, ist es diese Komplexität 2. Ordnung, die die Beschreibung psychotherapeutischer Prozesse so erschwert: Veränderungen, wie sie in Psychotherapien beobachtet werden können sind Veränderungen von komplexen dynamischen Strukturen. Sollen Veränderungsprozesse in Psychotherapien verstanden werden, so muss es zunächst gelingen, die vorherrschenden dynamischen Muster zu identifizieren. Erst in einem nächsten Schritt kann es dann gelingen Transformationsprozesse zu beschreiben, bei denen sich ein Muster in ein anderes umbaut.

Entgegen der hier heraufbeschworenen methodischen und inhaltlichen Komplexität gelingt Menschen das Erfassen, also die Wahrnehmung komplexer Muster, weitgehend mühelos (vgl. S. 425ff.). Insbesondere im Kontext sozialer Interaktionsprozesse ist das Vorliegen von Nichtlinearität und diskontinuierlichen Sprüngen gängige Alltagserfahrung: eine Meinungsverschiedenheit, die plötzlich eskaliert; ein unbedachter Satz, der ein Lächeln gefrieren lässt; aber auch ein Lächeln, das ermutigt, ein Kopfnicken, das den Fortlauf des Gespräches verändert. Wenn

es sich bei diesen und ähnlichen anderen Veränderungsprozessen um Phasenübergänge im Sinne der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme handeln sollte, so würden sie eingeleitet und begleitet werden von Phasen kritischer Instabilität in denen kritische Fluktuationen im Zeitpunkt der Bifurkation über den weiteren Fortgang der Situation entscheiden. Auch für solche Phänomene hält die Alltagserfahrung Beispiele bereit: Man merkt, dass ein Streit in der Luft liegt und ein unbedachtes Wort genügen kann oder glaubt ein Knistern in der Luft zu spüren in dem Moment indem sich die Blicke Liebender treffen.

Für das Verständnis psychotherapeutischer Prozesse organisierter Komplexität 2. Ordnung und für deren praktische Nutzung stellt sich die Frage, woran Phasen kritischer Instabilität als Momente der „Offenheit für Veränderungen“ (Orlinsky & Howard 1986, Orlinsky, Grawe & Parks 1994) erkannt werden können. Lässt sich das Auftreten kritischer Fluktuationen vorhersagen? Gibt es Zusammenhänge zwischen der kritischen Instabilität in der Dynamik des Erlebens und Verhaltens von Klientinnen, d.h. den kritischen Events in einer Therapie, an denen sich Änderungen vollziehen, und dem Beziehungserleben und -verhalten der Interaktionspartner?

Methodisch lassen sich Phasen kritischer Instabilität über lokale Maxima in der Streuung der lokalen LLE bestimmen. In solchen Phasen steht ein System kurz vor einem Ordnungsübergang und ist für kleine Verstörungen (z.B. Suggestionen) höchst sensibel. Es ist daher wichtig, dass es einer Therapeutin, einem Therapeuten gelingt, die Phasen kritischer Instabilität zu erkennen und wenn möglich zu nutzen. Derartige Annahmen finden sich z.B. im Konzept der Aufnahmebereitschaft (Ambühl & Grawe 1988), welches bezugnehmend auf Orlinsky und Howard (1986) im Kern des *Generic Model* die Offenheit eines Klienten, einer Klientin für Veränderungen beschreibt (vgl. Abbildung 137. S. 483). Ergänzt wird das stark nach außen gerichtete Konstrukt der Aufnahmebereitschaft durch das Konzept der Prozessinvolviertheit (Nischk, Grothe & Schiepek 2000) um Aspekte der Innenorientierung und des „Mit-sich-selbst-in-Resonanz-Tretens“. Es liegt damit näher an dem Konstrukt der *Self-Relatedness* von Orlinsky und Howard (1986) bzw. Orlinsky, Grawe und Parks (1994). Im Rahmen der vorliegenden Analyse lässt sich die Dritte Selbstdarstellungsdimension der Klientin („Problembearbeitung / Zuwendung vs. Vermeidung“) in ihrer positiven Ausprägung am ehesten mit der Prozessinvolviertheit identifizieren. Die folgenden Analysen zielen zunächst darauf ab, das Auftreten von kritischen Fluktuationen im Verhalten der Klientinnen jeweils in einem Zusammenhang mit dieser Selbstdarstellungsdimension zu bringen. Zeigen sich veränderungssensible Phasen kritischer Fluktuationen tatsächlich im Umfeld einer erhöhten Problembearbeitung und Zuwendung? In einem weiteren Schritt stellt sich die Frage, wie Phasen kritischer Fluktuationen im Kontext anderer Selbstdarstellungsdimensionen – vor allem auch im Kontext des Therapeutenverhaltens – interpretiert werden können.

Über entsprechende Glättungen werden die Datenreihen aneinander angepasst

Um die Prognosemöglichkeiten abzuschätzen, werden zunächst bivariate Korrelationen und daran anschließend Regressionsmodelle berechnet. Für die Korrelation und die Regression der zeitlichen Entwicklung der Problembearbeitung, aber auch aller anderen Selbstdarstellungsdimensionen der Klientinnen und des Therapeuten mit der Streuung der lokalen LLE der Klientin ist eine Anpassung der Datenreihen hinsichtlich Länge und zeitlicher Auflösung notwendig. Da vor der Berechnung

des lokalen LLE die Selbstdarstellungsdimensionen mit einem fünfmal hintereinander angewandten gleitenden Mittelwert der Breite 2 geglättet wurden, wurde diese Prozedur erneut auf die Selbstdarstellungszeitreihen angewandt. Die Berechnung des lokalen LLE selbst beruht auf einem gleitenden Fenster von 50 Messpunkten, so dass auch dieses als gleitender Mittelwert auf die Selbstdarstellungsdimensionen angewendet werden muss, um den lokalen LLE und die Zeitreihen in der zeitliche Auflösung und der Zeitreihenlänge in Übereinstimmung zu bringen. Eine weitere Behandlung der inzwischen mehrfach geglätteten Selbstdarstellungsdimensionen wird dann für die Anpassung an die Berechnung der Streuung der lokalen LLE in einem gleitenden Zeitfenster von 50 Messzeitpunkten nötig (vgl. die folgende Abbildung 175).

Die Tabelle 42 zeigt für beide Therapien die Korrelationen zwischen der Streuung des lokalen LLE der Klientin und den wie beschrieben geglätteten Selbstdarstellungsdimensionen der Klientin selbst und des Therapeuten. Wie zu erwarten, korreliert das Auftreten kritischer Instabilität im Umfeld von nichtlinearen Ordnungsübergängen mit Konfrontation und Destabilisierung auf Seiten des Therapeuten – wenngleich in der zweiten Therapie viel deutlicher als in der ersten.

			Therapie I	Therapie II
Klientin	1. Suche nach Zuwendung / Anerkennung / guter Beziehung	Korrelation nach Pearson	-0,094	-0,377
		Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
		N	2846	1476
	2. Externalisation / Hilflosigkeit demonstrieren	Korrelation nach Pearson	0,104	-0,217
		Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
		N	2846	1476
	3. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	Korrelation nach Pearson	-0,245	-0,282
		Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
		N	2846	1476
Therapeut	1. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	Korrelation nach Pearson	0,117	-0,299
		Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
		N	2846	1476
	2. Konfrontation, Verunsicherung	Korrelation nach Pearson	0,249	0,537
		Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
		N	2846	1476
	3. Eigenverantwortung der Klientin fördern	Korrelation nach Pearson	-0,127	0,585
		Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
		N	2846	1476
	4. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	Korrelation nach Pearson	-0,047	0,580
		Signifikanz (2-seitig)	,011	,000
		N	2846	1476

Tabelle 42: Korrelation zwischen kritischen Fluktuationen und Selbstdarstellungsdimensionen

Korrelationen zwischen der Streuung des lokalen LLE der Klientin und den geglätteten Selbstdarstellungskategorien von Klientin und Therapeut. Die Streuung des lokalen LLE der Klientin wurde für diese Berechnung für ein gleitendes Fenster von 50 Datenpunkten Breite berechnet. Die Daten der Selbstdarstellungskategorien wurden durch mehrfache Glättungen an die zeitliche Auflösung der Streuung der Lokalen LLE angepasst.

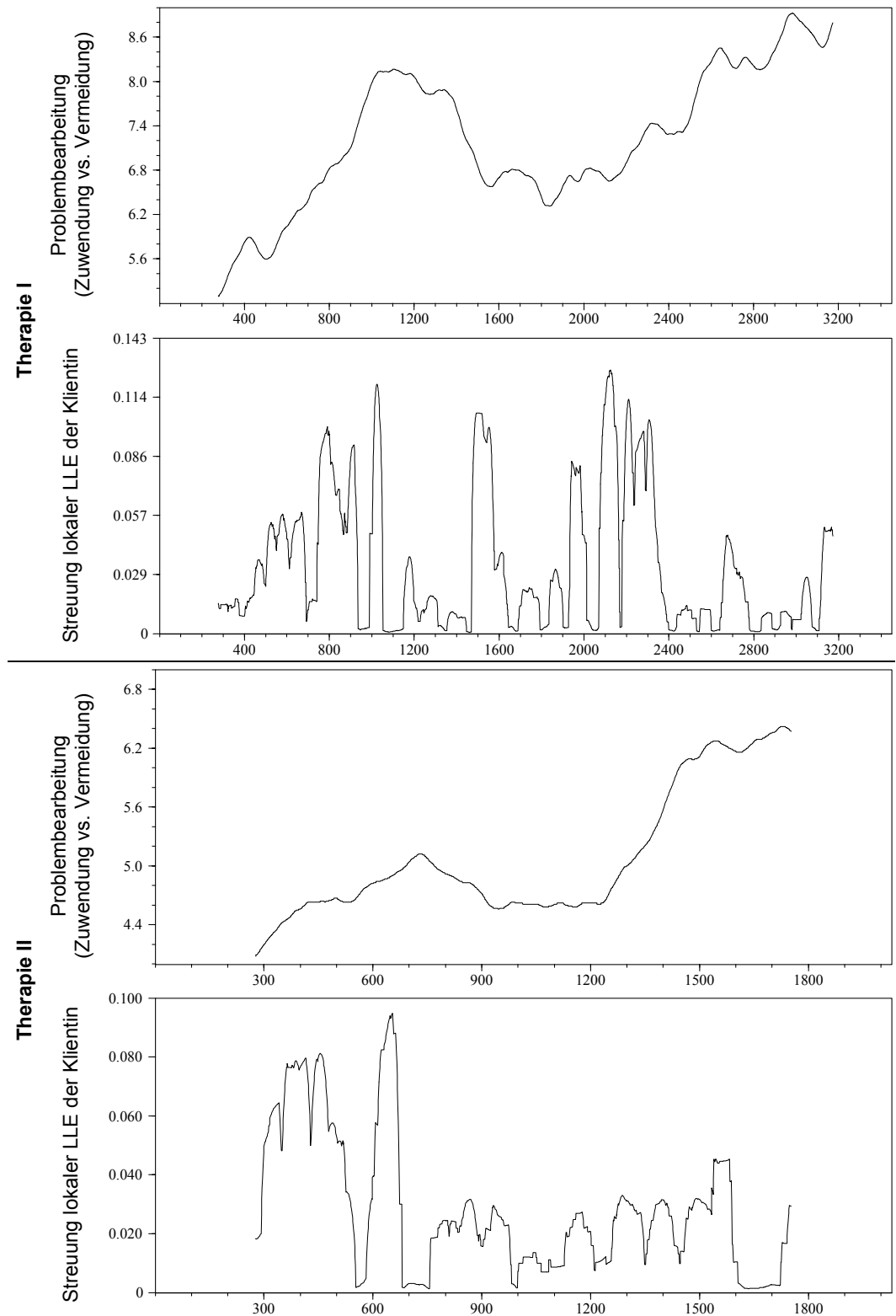


Abbildung 175: Gegenüberstellung von Problembearbeitung und Streuung der lokalen LLE

Die Abbildung stellt jeweils für die Therapie I und die Therapie II die mehrfach geglättete dritte Selbstdarstellungsdimension der Klientin („Problembearbeitung / Zuwendung vs. Vermeidung“) dar und stellt diese der Streuung des lokalen LLE der Klientin gegenüber. Die Streuung wurde in einem gleitenden Fenster der Breite 50 aus dem lokalen LLE ermittelt.

Phasen kritischer Instabilität treten im Umfeld von Widerstand auf Seiten der Klientin auf

Kritische Instabilität geht zudem mit vermeidenden Tendenzen und einem Rückgang in der Problembearbeitung auf Seiten der Klientin einher. Die Energie wird vielleicht für den Veränderungsprozess selbst gebraucht und richtet sich mehr nach innen. Dieser Befund ist zudem interessant, weil er Hinweise darauf liefert, dass im Verhalten der Klientinnen eben dort, wo es zu Veränderungen kommt, eine geringere Veränderungsbereitschaft signalisiert wird. Es kann aber auch sein, dass sich in der negativen Korrelation einfach Angst und Widerstände gegenüber Veränderungen ausdrücken. In der zweiten Therapie, in der die Zusammenhänge durchgehend viel ausgeprägter sind als in der ersten, reduziert sich an den kritischen Übergängen offenbar auch das kommunikative Bemühen um eine gute Beziehung und um soziale Zuwendung.

Während der Therapeut in der ersten Therapie in kritisch-instabilen Phasen tendenziell Vertrauen und Unterstützung kommuniziert (schwach positive Korrelation), tut er dies in der zweiten Therapie nicht. Stattdessen fördert er dort die Eigenverantwortlichkeit der Klientin viel deutlicher und bemüht sich um aktive, strukturierende therapeutische Arbeit. Man könnte sagen, er federt weniger die emotionale Unsicherheit ab und triggert stattdessen die Entwicklungspotenziale kritisch-instabiler Episoden für die Autonomieentwicklung der Klientin.

Da die bivariaten Korrelationen durch Interkorrelationen zwischen den einzelnen Skalen nicht immer eindeutig zu interpretieren sind, wurde in einem weiteren Schritt ein lineares multiples Regressionsmodell über alle sieben Selbstdarstellungsdimensionen berechnet. Als Modellparameter wurde ein Einschluss sämtlicher Selbstdarstellungskategorien und eine Regression durch den Ursprung festgelegt. Letztere – eher ungewöhnliche Vorgabe für ein Regressionsmodell – geht auf die Überlegung zurück, dass die Streuung der lokalen LLE sowohl einen absoluten Nullpunkt besitzt als auch gegen Null gehen sollte, wenn alle Selbstdarstellungskategorien im gegebenen Zeitraum ebenfalls Null wären. Die Güte des Modells, die durch Korrelation der aus dem Modell folgenden Werte und dem Kriterium geschätzt werden kann, beläuft sich für die Therapie I auf $r = 0,56$ und für die Therapie II auf gute $r = 0,67$.

Die β -Regressionskoeffizienten für die beiden Regressionsmodelle sind in Tabelle 43 wiedergegeben. In der ersten Therapie erweisen sich zwei Verhaltensweisen des Therapeuten als am einflussreichsten für die Vorhersage. Kritische Instabilität tritt offenbar ein, wenn der Therapeut auf aktive, strukturierende therapeutische Arbeit verzichtet ($-0,088$) und stattdessen in verstärktem Ausmaß Vertrauen und Sicherheit vermittelt ($0,066$).

Dennoch gehen Phasen kritischer Instabilitäten auf Seiten der Klientin mit Vermeidung und reduzierter Problembearbeitung, sowie erhöhter Externalisation und Kommunikation von Hilflosigkeit einher. Dieser Vermeidungstendenz begegnet der Therapeut jedoch mit dem Versuch, ihre Eigenverantwortung zu fördern. Die Dimension „Suche nach Zuwendung / Anerkennung / guter Beziehung“ spielt im Regressionsmodell der ersten Therapie keine Rolle mehr.

			Therapie I	Therapie II
Klientin	1. Suche nach Zuwendung / Anerkennung / guter Beziehung	Beta-Koeffizient	-0,0012	-0,0247
		Signifikanz	0,4090	,0000
	2. Externalisation / Hilfslosigkeit demonstrieren	Beta-Koeffizient	0,0130	-0,0101
		Signifikanz	,0000	,0000
	3. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	Beta-Koeffizient	-0,0195	-0,0057
		Signifikanz	,0000	,0000
Therapeut	1. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	Beta-Koeffizient	0,0660	0,0151
		Signifikanz	,0000	,0000
	2. Konfrontation, Verunsicherung	Beta-Koeffizient	0,0216	0,0112
		Signifikanz	,0000	,3390
	3. Eigenverantwortung der Klientin fördern	Beta-Koeffizient	0,0202	0,0312
		Signifikanz	,0000	,0000
	4. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	Beta-Koeffizient	-0,0883	0,0448
		Signifikanz	,0000	,0000

Tabelle 43: Multiple Regressionsmodelle zur Vorhersage kritischer Instabilität

Multiples Regressionsmodell zur Vorhersage der Streuung der lokalen LLE der Klientin. Die Streuung der lokalen LLE der Klientin wurde mit Hilfe eines gleitenden Fensters von 50 Datenpunkten Breite berechnet. Die Daten der Selbstdarstellungskategorien wurden durch mehrfache Glättungen an die zeitliche Auflösung der Streuung der Lokalen LLE angepasst.

Die Ergebnisse zur zweiten Therapie decken ein gänzlich anderes Muster auf. Aktive, strukturierende Arbeit des Therapeuten spielt auch hier eine wichtige Rolle, aber im Sinne eines positiven Prädiktors (vgl. bereits die Ergebnisse der bivariaten Korrelationen in Tabelle 42, S. 612). Der Therapeut fördert die Eigenverantwortlichkeit der Klientin, aber vermittelt erheblich weniger Sicherheit und Vertrauen als in der ersten Therapie, wenn sie Episoden kritischer Instabilität durchläuft. Die Vermeidungstendenzen der Klientin sind deutlich geringer. So steht eine Zunahme in der Streuung der lokalen LLE in einem negativen Zusammenhang mit Formen der Selbstdarstellung, die sich auf Anerkennung und Zuwendung richten. Zudem verzichtet die Klientin auf Rechtfertigungsstrategien (Externalisation) ebenso wie auf ein Werben um Sympathie. Das Gesamtmuster spricht für einen sehr effektiven therapeutischen Prozess.

11.3.4 Zusammenfassung

Der Nachweis von Chaos ist an den Nachweis positiver Lyapunov-Exponenten gebunden. Das vorangegangene Kapitel stellte die Ergebnisse der Berechnungen zum LLE und zum lokalen LLE dar, die sich wie folgt noch einmal zusammenfassen lassen:

- Für beide Therapien konnten für alle Datensätze positive Lyapunov-Exponenten nachgewiesen werden. Obwohl die jeweils zur Verfügung stehenden Skalierungsbereiche weit schmaler ausfallen als dies für experimentell gewonnene Daten der Fall ist, zeigen die Korrelationen zwischen dem Skalierungsbereich und einer Ausgleichsgeraden ohne Ausnahme hohe Werte größer als 0,9. Die Separation nahe benachbarter Punkte im Phasenraum folgt damit der exponentiellen Gesetzmäßigkeit, die für chaotische

Prozesse zwingend vorausgesetzt werden kann. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Beziehungsgestaltung zwischen Therapeut und Klientin, wie sie mit der Sequentiellen Plananalyse in den hier vorgestellten Therapien erfasst wurde, ein chaotischer Prozess ist.

- Die Auswertungen zu den lokalen LLE verweisen darauf, dass es sich bei der zu beobachtenden Dynamik um keinen stationären Prozess handelt. Der lokale Lyapunov-Exponent ändert sich in allen betrachteten Zeitreihen im Verlauf der Therapie mehrfach.
- Die zum Teil recht dramatischen Veränderungen im lokalen Lyapunov-Exponenten der Datensätze verweisen auf eine begrenzte Anzahl von Ordnungs-Ordnungs-Übergängen. Nicht selten sind die Phasen relativer Konstanz in den lokalen LLE über längere Zeiträume ausgeprägt zu beobachten, bevor sie sprunghaft in einen anderen Zustand wechseln. Ein Unordnungs-Ordnungsübergang, wie er von Tschacher et al. (1998) postuliert wird konnte in keinem der Datensätze beobachtet werden.
- Bei allen Unterschieden zwischen den beiden Therapien scheinen sich in den Verläufen der lokalen LLE der Klientin durchaus Übereinstimmungen zu finden. Starke Fluktuationen in den lokalen LLE zeigen sich insbesondere zu Beginn der Therapie. In dieser Phase, in dem sich die Klientinnen und der Therapeut auf eine gemeinsame Arbeitsbasis einigen, zeigen sich ständige Veränderungen. Diese Phase nimmt ca. das erste Viertel der Therapie ein. Ebenfalls zeigt sich für beide Therapien ein Bereich geringer Veränderungen, der mehr oder minder synchron für den Therapeuten und die beiden Klientinnen um die Mitte der Therapie zu beobachten ist. Das Ende der Therapie wird in beiden Fällen durch starke Fluktuationen der lokalen LLE der Klientin eingeleitet. Diese starken Fluktuationen gehen bei beiden Verläufen in einen Bereich relativer Konstanz über, der bis zum Ende der Therapie anhält. Dieser Stabilisierungsprozess zum Ende der Therapie ist bei der zweiten Klientin ausgeprägter zu beobachten als bei der ersten.
- Für beide Therapien erscheint der Therapeut flexibler als die jeweilige Klientin. Für ihn zeigen sich stärkere Fluktuationen und nur selten Phasen der Ruhe. Dieses Ergebnis ist durchaus plausibel und verweist auf die strukturierende und aktivierende Rolle des Therapeuten, der sich bemüht Phasen der Konstanz auf Seiten der Klientin immer wieder zu durchbrechen.
- Veränderungen sollten gelungenen therapeutischen Prozessen inhärent sein. Es konnte bereits gezeigt werden, dass beide therapeutische Prozesse durch sprunghafte Veränderungen in der Chaotizität der Klientin geprägt sind. Dieser durchaus wünschenswerte Umstand wird in den beiden Therapien jedoch ganz unterschiedlich konnotiert. Während sich die erste Klientin gegen Veränderungen zu wehren scheint, indem sie Phasen kritischer Instabilität mit Widerstand und der Demonstration von Hilflosigkeit zu überwinden versucht, gehen externalisierende Tendenzen bei der zweiten Klientin zurück. Sie wendet sich statt dessen sich selbst und ihren Problemen zu. Auch ihr bereiten solchen Phasen leichtes Unbehagen, aber sie reagiert in einem weitaus geringeren Maße mit Widerstand. Der Abwehr von Veränderungen begegnet der Therapeut in der ersten Therapie

mit Vorsicht. Er verzichtet in Phasen kritischer Instabilität zunehmend auf aktive strukturierende therapeutische Arbeit und bemüht sich im erheblichen Ausmaß Vertrauen und Sicherheit zu vermitteln. Anders seine Reaktion in der zweiten Therapie, wo er die Phasen kritischer Instabilität aktiv für die strukturierende therapeutische Arbeit zu nutzen versteht und sich bemüht, die Eigenverantwortlichkeit der Klientin zu fördern. Angesichts der ausbleibenden Externalisationstendenzen und des geringen Widerstandes auf Seiten der Klientin scheint dieses Verhalten durchaus passend zu sein.

Es scheint so, als ob sich in den beiden Therapien entgegengesetzte Muster widerspiegeln, die unter anderem auf den Erfolg der beiden Therapien verweisen. Während die erste Therapie als wenig erfolgreich gewertet werden kann, scheint die zweite Therapie durchaus zu konstruktiven Veränderungen geführt zu haben.

12. Der Kreis schließt sich: Zusammenfassung und Ausblick

Kaum ein anderer Paradigmenwechsel der modernen Naturwissenschaften hat so einen umfassenden und weitreichenden Einfluss auf ganz unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen ausgeübt wie die Strömungen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme (vgl. z.B. Haken 1995, Küppers 1996). Heute – rund vierzig Jahre nach der erstmaligen Beschreibung des Schmetterlingseffektes (Lorenz 1963) – findet sich kaum noch eine Fachdisziplin, die sich nicht an einer Übertragung der Chaostheorie, der Synergetik oder der Theorie Dissipativer Strukturen auf ihr Fachgebiet versucht hätte. Tatsächlich ist eine solche Übertragung in vielen Bereichen durchaus nicht unmöglich, bieten diese Ansätze doch unter anderem eine mathematisch fundierte Betrachtungsweise an, die nicht auf physikalische Größen beschränkt bleiben muss. So wie die Wahrscheinlichkeitstheorie und die Stochastik heute ganz selbstverständlich die Grundlage beinahe jeglicher empirischen Forschung bilden, sind die methodologischen und mathematischen Prinzipien komplexer nichtlinearer dynamischer Systeme als universelle Folien zu verstehen, vor deren Hintergrund dann auch ebenso unterschiedliche Phänomene beschrieben werden können.

Der Appeal der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme ist eng mit bestimmten Konzepten wie z.B. dem Chaos, der Bifurkation u.ä. verbunden

Neben den mathematisch formalisierten Prinzipien mit deren Hilfe nichtlineare dynamische Systeme in ihrer Struktur und ihren Prozessen dargestellt werden können, sind es einige besonders populär gewordene Eigenschaften ganz bestimmter dynamischer Systeme, die diese Ansätze so interessant aber auch so umstritten machen. Hier ist an erster Stelle das Phänomen des deterministischen Chaos zu nennen, aber auch das Konzept des Attraktors sowie das der Bifurkation, haben in der Fachwelt – aber auch in populärwissenschaftlichen Publikationen – breiten Anklang gefunden. Viele dieser und ähnlicher Konstrukte kommen der Alltagserfahrung entgegen, die davon geprägt ist, dass im Leben nur selten etwas wirklich vorhergesagt werden kann und gerade zufällige und scheinbar unbedeutende Ereignisse die Biographie nachhaltig verändern können.

Nicht selten werden Konzepte der Mathematik und der Naturwissenschaften ohne empirische Belege in die Geistes- und Naturwissenschaften übertragen

Dass von den modernen Naturwissenschaften eine Strömung ausgeht, die die exakte Berechenbarkeit vieler Prozesse generell in Frage stellt, kommt dem Erkenntnis pessimismus entgegen, der in den letzten Jahren quasi als Gegenströmung zum technikverliebten Machbarkeitsglauben der 60er und 70er Jahre zunehmend an Bedeutung gewinnt (vgl. z.B. Beck 1986). Es sind daher im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Rezeption insbesondere Ansätze des Postmodernismus (z.B. Foucault 1978, Lyotard 1984), die die Erkenntnisse der so genannten „*New Sciences*“ bereitwillig mit Phänomenen der Diversifikation und Pluralität in der Gesellschaft in Verbindung bringen. Sokal und Bricmont (1998, 1999) haben viele dieser metaphorischen Übertragungen als Missbrauch von Konzepten der Mathematik und der Physik bezeichnet. In zahlreichen Arbeiten identifizieren und belegen sie die Darstellungen naturwissenschaftlicher Theorien mit einer wissenschaftlichen und pseudowissenschaftlichen Terminologie, ohne dass sich die Autoren darum kümmern würden, was die Worte eigentlich bedeuten. Viele Konzepte würden zudem ohne die geringste inhaltliche oder empirische Rechtfertigung aus den Naturwissenschaften in die Geistes- und Sozialwissenschaften übernommen (vgl. Sokal 1999, S. 20f.).

Auch in der Psychologie fehlen vielfach empirische Belege für Selbstorganisationshypothesen

Obwohl den Analysen von Sokal und Bricmont (1998, 1999) bei näherer Betrachtung ähnliche Mängel vorgeworfen werden können (die Auswahl der wissenschaftlichen Arbeiten, die auf ihre naturwissenschaftliche Fundierung untersucht werden, ist weder repräsentativ noch besonders umfassend), ist nicht von der Hand zu weisen, dass es sich bei der Anwendung der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme in den Sozialwissenschaften um ein relativ anspruchsvolles Unterfangen handelt, welches in vielen Bereichen noch nicht den Status der metaphorischen Übertragung überwunden hat. Dies gilt auch für viele Anwendungen in der Psychologie. Obwohl die Theoriebildung seit den ersten Ansätzen zur Nutzung der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme in der Klinischen Psychologie (vgl. z.B. Schiepek & Tschacher 1992) konkreter geworden ist, fehlen in vielen Bereichen bis heute empirische Zugänge und entsprechende Belege. Vielfach ist nicht einmal klar, wie eine quantitative Datenerhebung überhaupt bewerkstelligt werden könnte, die es erlauben würde, die angenommenen Phänomene nichtlinearer dynamischer Systeme zu belegen (z.B. im hypothetischen Modell der Interaktion in der Partnerschaft von Kriz 1992).

Es sind methodologische und theoretische Probleme, die den Zugang zu nichtlinearen dynamischen Systemen erschweren

Es sind hier unter anderem methodologische Probleme, die den empirischen Zugang erschweren. So sind z.B. allein die Anforderungen an die Datenmenge zum Nachweis einer chaotischen Dynamik immens (Farmer 1982, Nerenberg & Essex 1990, Tsonis 1992, Jedynak, Bach & Timmer 1993). Die Suche nach einer Methodik, die es auch bei kurzen Datensätzen oder stark messfehlerbehafteten Daten erlauben soll Phänomene der Selbstorganisation zu identifizieren, hat hier auf der einen Seite vielversprechende neue Ansätze zu Tage gefördert (wie z.B. das Verfahren der *Grammar Complexity*; vgl. Ebeling & Jiménez-Montano 1980, Jiménez-Montano 1984), aber auf der anderen Seite auch zu einer Aufweichung wichtiger Kernbegriffe der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme geführt (vgl. die Entgegnung von Strunk 1998a auf die Arbeit von Thiele 1997). Insgesamt richten sich die Ziele der vorliegenden Arbeit damit auf drei einander ergänzende Zugänge zur komplexen Dynamik nichtlinearer dynamischer Systeme in der Psychologie bzw. konkreter, in der Klinischen Psychologie:

1. **Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme.** Der erste Zugang ist ein theoretischer. Hier werden unter dem einheitlichen Blickwinkel ausgewählter Fragestellungen verschiedene systemtheoretische Konzeptionen zunächst dargestellt und abschließend miteinander verglichen. Ein Hauptaugenmerk beim Vergleich der klassischen Mechanik, der Kybernetik und der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme sowie der Synergetik, liegt auf der Frage, wie aus der Perspektive der jeweiligen theoretischen Konzeption das hochgradig unwahrscheinliche aber allgegenwärtige Phänomen der Ordnungsbildung (Willke 1989, Schiepek & Strunk 1994) verstanden werden kann.
2. **Methodologische und methodische Zugänge.** Es gibt bestimmte Selbstorganisationsphänomene, zu denen nur nichtlineare dynamische Systeme fähig sind. Damit bieten die Ansätze der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme Erklärungsschablonen an, die für bestimmte Fragestellungen maßgeschneidert sind. Die Frage danach, unter welchen Bedingungen und im Kontext welcher Phänomenbereiche eine systemtheoretische Konzeptualisierung empfohlen werden kann, bildet den Ausgangspunkt für die Erarbeitung methodologischer Zugänge. Sowohl die Modellbildung und theoriegeleitete Simulation komplexer Systeme als auch die Quantifizierung und Identifikation der Merk-

male einer selbstorganisierten Dynamik erfordern die Anwendung von methodischen Tools, die in der Psychologie bisher noch wenig bekannt sind und die nur selten als Softwarelösung vorliegen. Es ist daher ein Ziel der vorliegenden Arbeit einige besonders wichtige Algorithmen und Werkzeuge einer nichtlinearen Datenanalyse vorzustellen und in ihrer Durchführung zu beschreiben.

3. **Empirische Zugänge in der Klinischen Psychologie.** Was nützt die eleganteste Theorie, wenn ihre Hypothesen empirisch nicht geprüft werden? Ausgehend von den Kernannahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme lassen sich in verschiedenen Bereichen der Psychologie und angrenzender Gebiete bereits umfassende Belege für Selbstorganisationsprozesse finden. Sowohl biologische Strukturen (vgl. z.B. Deutsch 1994), als auch hirnhysiologische Prozesse (z.B. Freeman & DiPrisco 1986) lassen sich adäquat und empirisch fundiert als Selbstorganisationsprozesse kennzeichnen. Insbesondere die Analyse von EEG-Datensätzen zeigt dabei jedoch auch die Grenzen der derzeit vorliegenden Methoden auf (vgl. z.B. Theiler 1995, Lerner 1996, Paluš 1996, 1999, Paluš et al. 1999, Brandt, Ademoglu & Pritchard 2000, Schreiber 2000). Genuin psychologische Selbstorganisationsforschung findet sich unter anderem im Bereich der Wahrnehmung und im Bereich kognitiver Prozesse. Hier zeigt sich eine starke Nähe zu frühen Arbeiten gestalttheoretischer Schulen (vgl. z.B. Köhler 1920, Koffka 1922, Lewin 1935, Metzger 1953, Metzger & Pongratz 1972, Metzger 1975) und zum schematheoretischen Ansatz der kognitiven Entwicklung nach Piaget (z.B. Piaget 1976, 1981). Letzterer ist besonders interessant, weil er in verschiedenen klinisch psychologischen Ansätzen als Grundlage zur Beschreibung psychotherapeutischer Veränderungsprozesse diskutiert wird (Grawe 1986, 1987a, 1987b, 1988, Ahlers et al. 1994, Grawe 1998, Schiepek 1999a). Insgesamt verdichten diese Studien den Eindruck, dass auch soziale Prozesse der Interaktionsdynamik zwischen Klientinnen bzw. Klienten und Therapeutinnen bzw. Therapeuten als komplexe Prozesse der Selbstorganisation aufgefasst werden sollten, wenn eine adäquate Beschreibung im Sinne einer Mikroprozessanalyse angestrebt wird.

Empirisch wird diese Annahme an Hand von Datensätzen zweier Psychotherapien ausführlich überprüft (vgl. bereits Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Strunk & Schiepek 2002). Beide Therapien wurden dazu mit dem Verfahren der *Sequentiellen Plananalyse* (Richter et al. 1995) – einer Erweiterung der von Caspar (1989, 1996) vorgeschlagenen vertikalen Verhaltensanalyse – kodiert und so in jeweils 17 Oberplan-Zeitreihen und 7 Selbstdarstellungs-Zeitreihen von 3.450 (Therapie I) und 2.030 (Therapie II) Messzeitpunkten erfasst. Zur Analyse werden stationäre und nichtstationäre Verfahren der nichtlinearen Zeitreihenanalyse eingesetzt, nachdem zuvor die Beschränkungen linearer Verfahren nachgewiesen werden konnten (vgl. auch Schiepek et al. 1997). Zum Einsatz kommen Verfahren aus dem Bereich des *Symbol Dynamics Ansatzes*, der *Theorie algorithmischer Entropie*, Methoden zur Bestimmung der *fraktalen Dimensionalität* (*Korrelationsdimension* – D2) der im *Phasenraum* eingebetteten Daten sowie Verfahren zur Ermittlung der *größten Lyapunov-Exponenten* (einem Maß zur Quantifizierung des Schmetterlingseffektes). Sämtliche Algorithmen, sowie grafische Darstellungen der Daten (Partitur-, Zeitreihen- und Phasenraumdarstellungen) wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit in C++ implementiert, sorgfältig getestet und an Beispielzeitreihen ausführlich erprobt.

12.1 Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme – wesentliche Ergebnisse

Verschiedene systemtheoretische Konzeptionen unterscheiden sich zunächst in der zu Grunde gelegten Systemstruktur

Die wesentlichen Ergebnisse in Bezug auf die hier kurz umschriebenen Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit lassen sich für den theoretisch orientierten Zugang am ehesten mit der Tabelle 5 (S. 180) zusammenfassen, die auf der folgenden Seite noch einmal angeführt wird. Hier werden die lineale Kette der klassischen Mechanik, der Regelkreis der Kybernetik und die sich durch gemischtes Feedback auszeichnenden Strukturen nichtlinearer dynamischer Systeme in Hinblick auf sechs ausgewählte Kriterien miteinander verglichen. Dabei zeigen sich zunächst bereits Unterschiede in der Konzeption der Systemstruktur: Während die klassische Mechanik keine Feedbackprozesse vorsieht, erweitert sich das Modell im Regelkreis um die explizite Nutzung negativer Rückkopplungen. Noch einmal erweitert und geöffnet wird die Systemstruktur im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme. Hier werden gemischte, also positive und negative, Feedbackprozesse in einem Modell gemeinsam behandelt.

Grundlegende neue Aspekte ergeben sich durch die Analyse offener Systeme

Vor dem Hintergrund des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik (vgl. auch Uffink 2001) reicht eine solche Erweiterung der Systemstruktur jedoch nicht aus, um grundsätzlich neue Phänomene zu beschreiben. Die bis weit in das letzte Jahrhundert vorherrschende ausschließliche Betrachtung energetisch geschlossener Systeme führte nur zu der ernüchternden Erkenntnis, dass jedes System, unabhängig von seinem konkreten Aufbau, relativ schnell dem Systemtod zustrebt. Es genügt also nicht, möglichst viele Beschränkungen hinsichtlich der Systemstruktur aufzuheben. Hinzu kommen musste die Öffnung der Systeme für eine beständige Energiezu- und Entropieabfuhr, damit erstmals die emergente Ausbildung von Strukturen organisierter Komplexität sichtbar werden konnte.

Aus dieser vereinfachenden historischen Perspektive betrachtet wurde das systemwissenschaftliche Denken zunehmend offener. Beschränkungen hinsichtlich der Systemstruktur wurden nach und nach aufgegeben. Ebenso erweitert wurde die Beschränkung auf einmalig mit Energie versorgte, geschlossene Systeme um Konzepte der Dissipation (z.B. Prigogine & Stengers 1986). Daraus erst ergab sich eine weitere Öffnung, nämlich die der Dynamik der betrachteten Systeme. Selbstorganisiert ist selbst ein einfaches aus wenigen Variablen bestehendes System zu unzählbar vielen, komplex geordneten Verhaltensweisen fähig.

Neben einem erhöhten Innovationspotenzial erschüttern die Ansätze der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme den Glauben an „einfache“ Lösungen

Die „Offenheit“ der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme und die Überraschungen, die sie für die Forschung bereithalten, werden jedoch teuer erkaufte. Neben einem sehr hohen Innovationspotenzial für die Theoriebildung und die empirische Forschung fordern diese Ansätze auf eine radikale Weise dazu auf, einfachen (linealen und linearen) Lösungsansätzen zu misstrauen. In dem Maße, in dem nichtlineale (vgl. Böse & Schiepek 1989), nichtlineare Systeme zur Ausbildung organisierter Komplexität fähig sind, können sie zwar eine sparsame Erklärung dieser Komplexität anbieten, ihre Behandlung, Analyse und ihr Verständnis sind häufig jedoch an einen enormen mathematischen Aufwand (für einen Überblick vgl. Hegger, Kantz & Schreiber 1999) gebunden und erfordern nicht selten eine Toleranz für logische Widersprüche (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 124f.).


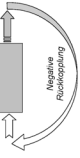
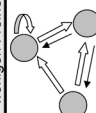
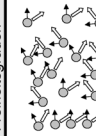
Prototypische Systemstruktur	Klassische Mechanik	Kybernetik	Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme	
			Systeme mit wenigen Freiheitsgraden	Vieleichen-Systeme mit vielen Freiheitsgraden
Feedback	 Lineale Kette Kein Feedback	 Regelkreis Negatives Feedback Nichtlineal	 Dynamische (iterative bzw. Differential-) Gleichungssysteme Gemischtes Feedback Nichtlineal	
2. Hauptsatz	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik wird idealisierend außer Acht gelassen bzw. spielt bei der Beschreibung der Systeme keine wesentliche Rolle	Es handelt sich um idealisierte Systemstrukturen, die sich in verschiedenen Anwendungsfeldern identifizieren lassen. Die Energieversorgung des Systems spielt bei dieser Idealisierung keine besondere Beachtung.	Komplexe selbstorganisierte dynamische Strukturen sind an Dissipation gebunden, d. h. an eine beständige Energieversorgung und Entropieabfuhr, die das System über eine längere Zeit fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht hält.	
Energie	Da idealisierend keine Entropieerzeugung beachtet wird, gilt der Energieerhaltungssatz ohne Einschränkungen. Findet der 2. Hauptsatz jedoch Beachtung, bedeutet die rasche Entropiezunahme einen schnellen Systemtode.	Operative Schließung gegenüber der Umwelt. Verstörungen aus der Umwelt begegnet ein Regelkreis mit negativem Feedback, indem er sich beständig selbst „beobachtet“ und entsprechend reagiert.	Operative Schließung gegenüber der Umwelt. Verstörungen aus der Umwelt begegnet ein nichtlineares dynamisches System nach Maßgabe seiner eigenen Prozesslogik. In der Regel behält es dynamische Ordnungsmuster (Attraktoren) bei.	
Verstörung	Völlige Offenheit gegenüber der Umwelt. Keine operative Schließung, keine Systemgrenzen. Gegenüber Verstörungen durch die Umwelt ist das System „hilflos“.	Die Funktionsweise eines kybernetischen Regelkreises erklärt zeitliche Konstanz bei sich ändernder interner und externer Umwelt (Homöostase).	Durch Bifurkationen und im Falle von Chaos generieren nichtlineare dynamische Systeme irreversible Prozesse. Der Zeitpfeil erhält dadurch eine Richtung. Das System gewinnt eine ihm eigene Geschichte.	
Ewigkeit und Zeit	Alle Prozesse sind reversibel (Uhrwerkuniversum, Ewigkeitsvorstellung). Keine ausgezeichneten Anfangs- und Endzustände. Kein gerichteter Zeitpfeil.	Triviale, kausal determinierte Prozesse. Zirkuläre Kausalität, die jedoch trivial prognostizierbar bleibt.	Im Fall von Chaos verhalten sich nichtlineare dynamische Systeme deterministisch bei gleichzeitiger Verletzung des Prinzips der starken Kausalität.	
Determinismus und Kausalität	Strikte, kausal determinierte Prozesse. Einzige Ausnahme war der Schöpfungsakt.	Ein Regelkreis kann nur in seiner Gesamtheit verstanden werden.	Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.	Das Ganze ist weniger als die Summe seiner Teile
Teile und Ganzes	Kein qualitativer Unterschied zwischen komplexen und einfachen Systemen. Das Ganze ist die Summe seiner Teile	Organisierte Ordnung in Form von Homöostase besteht bereits und soll weiterhin aufrecht erhalten werden.	Selbstorganisierte emergente Ordnungsbildung. In Abhängigkeit von Kontrollparametern können qualitativ unterschiedliche Ordnungsstrukturen ausgebildet werden.	
Entstehung komplexer Ordnung	Organisierte Ordnung existiert bereits. Ihre Entstehung bedarf keiner Klärung, bzw. kann nicht erklärt werden.	Thermostat, Fliehkraftpendel	Verlust-System, Lorenz-System	Laser, Belusov-Zhabotinsky-Reaktion
Beispiele	Mensch-Maschine-Metapher			

Tabelle 5 (vgl. S. 180): Vergleich zwischen der klassischen Mechanik, der Kybernetik und der Theorie Nichtlinearer Dynamischer Systeme

Die Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die im Rahmen der vorliegenden Arbeit diskutierten theoretischen Ansätze. Die Darstellung beschränkt sich dabei auf die wesentlich erscheinenden Unterscheidungsmerkmale, ohne den Anspruch eines vollständigen Vergleiches.

12.2 Methodologische und methodische Zugänge – wesentliche Ergebnisse

Für viele psychologisch bedeutsame Phänomene ist eine Analyse vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme erforderlich

Der Darstellung und systematischen Diskussion der methodologischen, wissenschaftstheoretischen und methodischen Grundlagen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme widmet sich die zweite Zielsetzung der vorliegenden Arbeit. Wichtige Ergebnisse lassen sich zunächst in der Entwicklung eines Entscheidungsbaumes sehen, der bei der Frage, ob ein systemtheoretischer Zugang gewählt werden sollte, einen Leitfaden darstellen kann (vgl. Abbildung 58, S. 194 und folgende Seite). Obwohl hier jeweils nur im Einzelfall geprüft werden kann, ob eine systemwissenschaftliche Modellbildung erforderlich ist, legen die im Rahmen des Leitfadens angeführten Kriterien für viele psychologisch relevanten Phänomene eine solche Betrachtung nahe. Falls es sich bei einem zu beschreibenden Phänomen tatsächlich um den Ausdruck eines nichtlinearen dynamischen Systems handelt, ist dann eine mathematische Formalisierung und anschließende Simulation des Systemverhaltens dringend erforderlich. Die Ableitung von Hypothesen über das Verhalten eines solchen Systems ist nämlich nicht mehr einfach deduktionslogisch möglich, sondern eröffnet sich erst im „Dialog“ mit der simulierten Theorie (Schiepek & Schaub 1991, Schiepek & Strunk 1994, S. 100f.).

Das Ziel einer umfassenden systemwissenschaftlichen Methodologie ist die gegenseitige Ergänzung modellierender und zeitreihenanalytischer Ansätze

Da aber jedes theoretisch erarbeitete Modell immer nur so gut sein kann wie seine Übereinstimmung mit der Empirie, haben sich auch im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Theoriebildung empirische Prüfungen anzuschließen. Auf Grund der erhöhten Komplexität systemwissenschaftlicher Modelle und des möglichen Systemverhaltens ergeben sich hier jedoch besondere Problembereiche und qualitativ andere Lösungsansätze als sie im Rahmen der klassischen Methodenlehre diskutiert werden. Folgt aus einem Modell z.B. deterministisches Chaos, ist die empirische Überprüfung nur noch schwer möglich und kann jedenfalls nicht mehr über die Methoden einer linearen Statistik geführt werden. Hier müssen sich dann aufwändige, an nichtlinearen Methoden orientierte Zeitreihenanalysen und Modelltestungen gegenseitig ergänzen und befruchten. Da aber in einem solchen Fall detaillierte Vorhersagen über ein konkretes Systemverhalten ohnehin nicht mehr über lange Zeitintervalle hinweg möglich sind, gewinnen qualitative Beschreibungen des Systemverhaltens (z.B. Einzugsgebiete um Attraktoren, selten und hoch wahrscheinliche Aufenthaltsorte des Systems etc.) eine besondere Bedeutung.

Top-down- und Bottom-up-Analysen verfolgen das gemeinsame Ziel der Generierung dynamischer Strukturen

Neben der im Rahmen des Leitfadens skizzierten theoriegeleiteten Entscheidungsfindung für die Modellierung eines Phänomens können jedoch auch empirische Befunde (*Bottom-up*) zu einer systemwissenschaftlichen Modellbildung vor dem Hintergrund der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme zwingen. Verhält sich ein empirisches System chaotisch, so kann daraus unter anderem gefolgert werden, dass diesem Verhalten ein nichtlineares, nichtlineales System zu Grunde liegt. Im Idealfall vereint ein systemwissenschaftlicher Zugang jedoch beide Vorgehensweisen, die der theoretischen Modellbildung und Simulation ebenso, wie die der direkten Ableitung von Zeitreihen aus dem empirischen System. Schiepek und Strunk (1994, S. 95ff.) tragen dieser Tatsache Rechnung, indem das von ihnen vorgeschlagene *systemwissenschaftliche Forschungsmodell* beide Wege, „*Top-down-Analysen*“ und „*Bottom-up-Analysen*“, als einander ergänzend aufeinander bezieht.

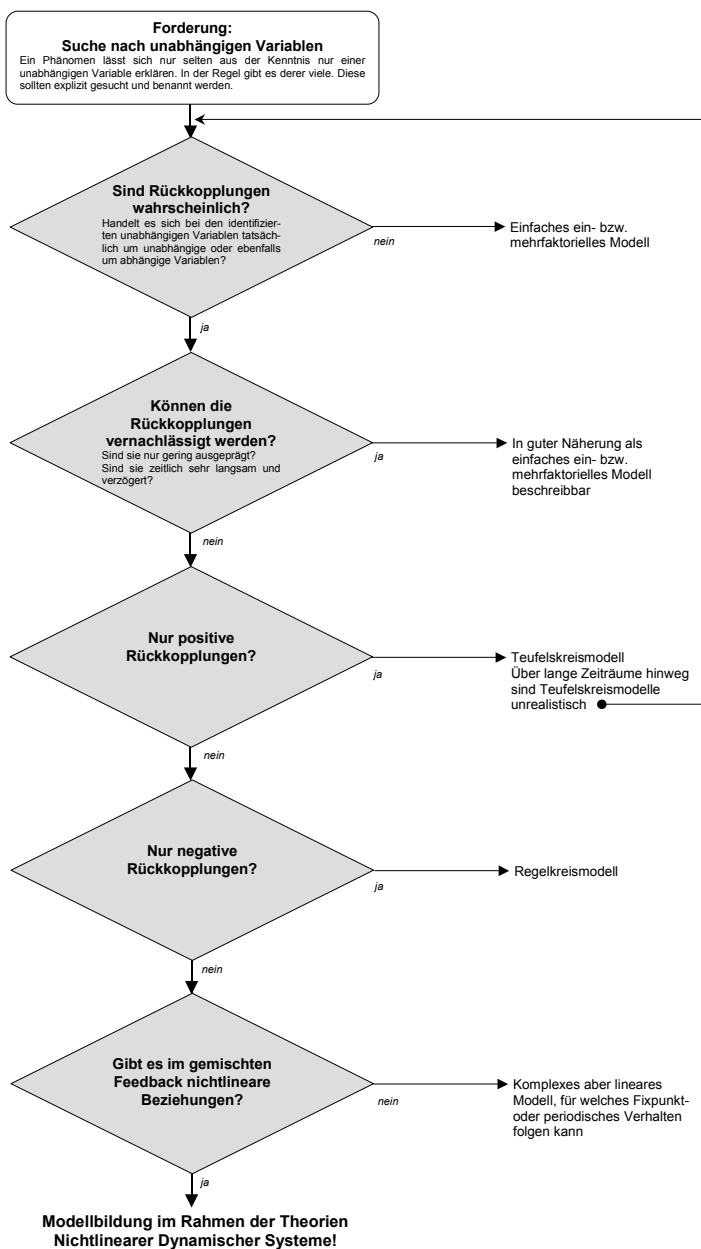


Abbildung 58 (S. 194): Entscheidungsbaum: Wann ist eine systemwissenschaftliche Modellbildung nötig?

Ausgangspunkt des Entscheidungsbaumes ist die Forderung, Phänomene nicht nur vor dem Hintergrund einer einzigen unabhängigen Variable zu analysieren. Ein solcher Fall ist so gut wie für jeden Phänomenbereich unrealistisch. Hieran haben sich weitere Prüfungen anzuschließen.

Das Ziel einer systemwissenschaftlichen Forschungsmethodologie liegt in einer Parallelführung von Modellierung auf der einen und empirischer Erhebung komplexer Zeitsignale auf der anderen Seite. Der gemeinsame Fokus und Zielpunkt beider Analysemethoden liegt in der Identifikation dynamischer Strukturen und der Beschreibung der für ihr Zustandekommen relevanten Mechanismen und Randbedingungen. Die Abbildung 72 (S. 274 und unten) berücksichtigt diesen Aspekt, indem sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Analysen auf ein gemeinsames Ziel ausgerichtet werden, nämlich auf die Identifikation und den Vergleich dynamischer Strukturen.

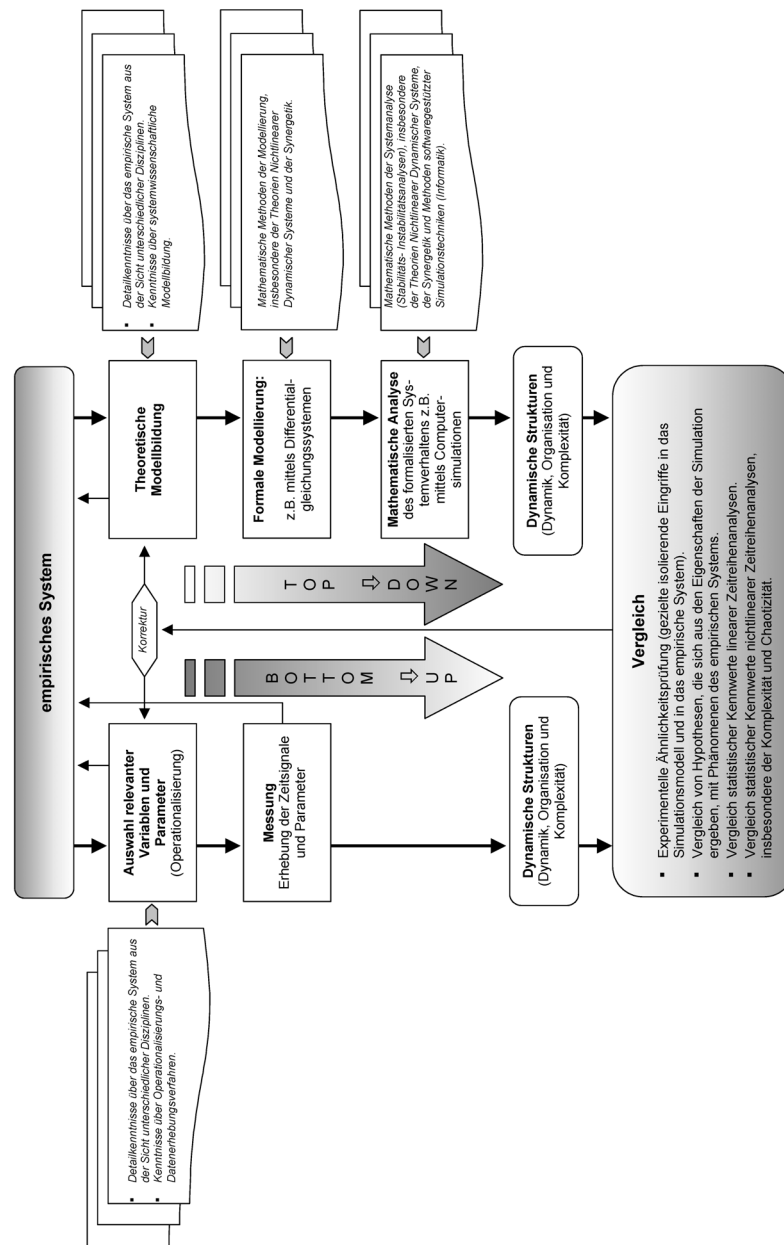


Abbildung 72 (S. 274): Grundstruktur einer systemwissenschaftlichen Methodologie

Die Grundstruktur einer systemwissenschaftlichen Methodologie verfolgt als gemeinsames Ziel zweier unabhängiger, aber parallel aufeinander bezogener Forschungszugänge, die Dynamik empirischer Zeitreihen und künstlich im Rahmen von Computersimulationen gewonnener Zeitreihendaten aufeinander zu beziehen und miteinander zu vergleichen (vgl. Schiepek & Strunk 1994, S. 95f.).

Auch die Darstellung relevanter methodischer Ansätze und Algorithmen berücksichtigt diese Parallelität von Theoriebildung und Zeitreihenanalyse, indem für beide Zugänge ein Überblick über gängige Verfahren erarbeitet wird. Anhand von Beispielen aus eigenen Forschungsarbeiten (z.B. Strunk, Hermann & Schiffinger 2002, Strunk, Friedlmayer & Brousek 2003) wird die Simulation psychischer Phänomene mittels *Differenzgleichungen* und die Modellierung von Vielteilchen-Systemen mit der Hilfe *autonomer Agenten* diskutiert. Zudem werden Methoden der Simulation mittels *Production Systems* und verschiedene Verfahren der *numerischen Integration* nichtlinearer Gleichungssysteme dargestellt.

Der Schwerpunkt der behandelten Methoden liegt jedoch im Rahmen der nichtlinearen zeitreihenanalytischen Verfahren, die ausführlich beschrieben, zum Teil hergeleitet, und in ihrer Berechnungsmechanik konkret erläutert werden. Die Tabelle 13 (S. 407 und folgende Seite) gibt einen knappen Überblick über die wichtigsten Algorithmen und fasst diese zusammen. Dabei werden die Methoden zunächst entlang zweier Fragestellungen in zwei Gruppen eingeteilt. Die eine liefert Kennwerte zur Quantifizierung der *Komplexität* einer Dynamik und die andere befasst sich mit der *Prognostizierbarkeit* von Prozessen. Beide Fragestellungen können sowohl für nominale Ereignisabfolgen als auch für die Einbettung metrischer Zeitreihen im Phasenraum relativ elegant beantwortet werden:

- 1. Verfahren für Ereignisabfolgen.** Für nominale Ereignisabfolgen stehen Verfahren aus dem Bereich des *Symbol Dynamics Ansatzes* (vgl. Collet & Eckmann 1980) und der *algorithmischen Entropie* (vgl. Schürmann & Grassberger 1996) zur Verfügung. Beide Konzepte fassen jeweils eine größere Anzahl von Algorithmen zusammen, die Kennzahlen über die Komplexität von Symbolabfolgen liefern. In der Regel sind die jeweiligen Methoden bereits für kurze Datensätze sinnvoll einsetzbar, worunter jedoch die ohnehin eingeschränkte Testpower leidet. Zudem stellt keine der Methoden aus diesem Umfeld einen zwingenden Beleg für Selbstorganisationsprozesse dar. Sie dienen allein der Quantifizierung von Komplexität. Für die Bestimmung der Vorhersagbarkeit kann die Shannonsche Informationsdefinition (Shannon 1948) um Symbolabfolgen erweitert werden. Dieses Vorgehen entspricht im Wesentlichen der *Kolmogorov-Sinai-Entropie* (vgl. z.B. Schuster 1989a), wie sie in paralleler Weise auch für metrische Zeitreihen im Phasenraum definiert ist.
- 2. Verfahren für Phasenraumdarstellungen.** Die Bestimmung der Komplexität von Prozessen, wie sie in der Phasenraumdarstellung als geometrische Struktur erkennbar wird, ist eng mit dem Konzept der *fraktalen Dimensionalität* (z.B. Mandelbrot 1987) verbunden. Als prominentester Algorithmus dieser Klasse von Verfahren gilt das *Korrelationsintegral* (D2) nach Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b). Mathematisch gesehen ist mit dem Nachweis einer fraktalen Phasenraumstruktur auch ein Beleg für deterministisches Chaos erbracht (Ruelle & Takens 1971, für Ausnahmen vgl. Anishchenko et al. 2002, S. 34ff.). Der zweifelsfrei Nachweis der fraktalen Struktur und damit von Chaos kann mit dem Verfahren der Korrelationsdimension nicht immer erbracht werden. Der Königsweg zur Identifikation einer chaotischen Dynamik führt hingegen über die Analyse der *größten Lyapunov-Exponenten* der im Phasenraum eingebetteten Zeitreihen (z.B. Wolf et al. 1985, Rosenstein, Collins & De Luca 1993). Der Lyapunov-Exponent quantifiziert die exponentielle Divergenz nahe benachbarter Trajektorien. Ist der Exponent positiv, liegt tatsächlich ein *Schmetterlingseffekt* (Lorenz 1963) und damit Chaos vor. Die Größe des Exponenten ist zudem ein Maß für die Stärke der Chaotizität.
- 3. Nichtstationäre Zugänge.** In der Regel sind zeitreihenanalytische Verfahren an die Stationarität der zu untersuchenden Prozesse gebunden. Kann diese nicht vorausgesetzt werden oder wird sogar der Nachweis von Veränderungen angestrebt, ergibt sich die Möglichkeit, die genannten Verfahren jeweils auf ein möglichst schmales (aber für eine reliable Berechnung auch nicht zu schmales) Zeitfenster anzuwenden, welches nach jeder Berechnung um einen Zeitschritt weiter geschoben wird. Für die Bestimmung des Korrelationsintegrals sind zudem Verfahren der *Pointwise Dimensionalität* (PD2, z.B. Skinner 1992, Skinner, Molnar & Tomberg 1994) vorgeschlagen worden, die eine zeitpunktsbezogene Komplexitätsschätzung erlauben.

	Fragestellung		
	Daten	Komplexität	Vorhersagbarkeit
Stationäre Zugänge	Ereignisabfolgen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Symbol-Dynamics ▪ Algorithmische Entropie 	Erweiterungen der Shannonschen Informationsdefinition um Abfolgen
	Metrische Zeitreihen	Breitbandige Frequenzspektren	Schneller Nulldurchgang der Autokorrelationsfunktion
	Darstellung metrischer Daten im Phasenraum	Korrelationsdimension (D2)	Kolmogorov-Sinai-Entropie (K2) Lyapunov-Exponenten
Nichtstationäre Zugänge	Ereignisabfolgen	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen
	Metrische Zeitreihen	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen
	Darstellung metrischer Daten im Phasenraum	Pointwise Korrelationsdimension (PD2)	Gleitfenster bzw. abschnittsweise Berechnungen
Vergleich mit Zufallsabfolgen	Ereignisabfolgen	Für Random-Surrogate sollte sich eine höhere Komplexität ergeben	Für Random-Surrogate sollte sich die Vorhersagbarkeit verringern. Im Idealfall zeigt sich für Zufallsabfolgen eine völlige Nicht-Vorhersagbarkeit (maximale Entropie).
	Metrische Zeitreihen	Für Random-Surrogate sollte sich eine höhere Komplexität ergeben	Für Random-Surrogate sollte sich die Vorhersagbarkeit verringern Im Idealfall geht die Autokorrelationsfunktion für Zufallszeitreihen bereits bei einem Time-Lag von Eins auf Null.
	Darstellung metrischer Daten im Phasenraum	Für Random- und FFT-Surrogate sollte sich eine höhere Komplexität ergeben. Im Idealfall kann ein D2/PD2 für Zufallszeitreihen erst gar nicht bestimmt werden	Für Random- und FFT-Surrogate sollte sich die Vorhersagbarkeit verringern. Im Idealfall findet sich in Zufallszeitreihen keine exponentielle Divergenz, sondern eine völlige Nicht-Vorhersagbarkeit

Tabelle 13 (S. 407): Grobe schematische Einteilung der vorgestellten zeitreihenanalytischen Verfahren

Mit wenigen Ausnahmen lassen sich die vorgestellten zeitreihenanalytischen Methoden im Raster der Tabelle verorten. So betrachtet lassen sich zwei prinzipiell unterschiedliche Fragestellungen auf die Datensätze anwenden. Es bieten sich zum einen Kennwerte zur Quantifizierung der Komplexität einer Dynamik und zum anderen Kennwerte zur Beschreibung der Prognostizierbarkeit eines Prozesses an. Beide Fragestellungen können sowohl für nominale Ereignisabfolgen als auch für die Einbettung von metrischen Zeitreihen im Phasenraum relativ elegant beantwortet werden. Für die Analyse metrischer Zeitreihendaten ohne Phasenraumeinbettung kann zur Not auch auf bestimmte Kennzeichen linearer Verfahren der Zeitreihenanalyse zurück gegriffen werden.

4. **Vergleich mit Zufallsprozessen.** Ein Teil der genannten Methoden verfügt über eine implizite Absicherung gegen Zufallsprozesse. So ergibt sich z.B. keine *Sättigung* des D2 bei wachsender Einbettungsdimension, falls ein reiner Zufallsprozess untersucht wird. Auch die Bestimmung einer *exponentiellen* Divergenz nahe benachbarter Trajektorien ist für Zufallsprozesse nicht möglich (gilt für den Algorithmus von Rosenstein, Collins & De Luca 1993). Neben diesen „eingebauten“ Prüfalgorithmen, empfiehlt sich in der Regel ein zusätzlicher Test mit aus den zu untersuchenden Zeitreihen generierten *Surro-*

gaten (vgl. z.B. Theiler et al. 1992, Prichard & Theiler 1994, Schreiber & Schmitz 1996, 2000). Die einfachste Möglichkeit besteht hier in der Randomisierung der Originalzeitreihe (*Random-Surrogat*). Komplexere Surrogatdatenverfahren erzeugen Surrogate, die ganz bestimmte Merkmale mit den Originaldaten gemeinsam haben – andere aber nicht. Relativ aufwändig aber sehr informativ sind hier Surrogate, die aus der *Fourier-Transformation* der Originaldaten gewonnen werden (Theiler et al. 1992). Die Surrogate beruhen auf dem gleichen Frequenzspektrum aber randomisierten Phasenwinkeln. Das Surrogat entspricht damit einem linearen stochastischen Modell, einer Nullhypothese, die es zurückzuweisen gilt, wenn Chaos erwartet wird (vgl. auch Hütt 2001).

12.3 Empirische Zugänge zu Phänomenen organisierter Komplexität in der Klinischen Psychologie – wesentliche Ergebnisse

Auch therapeutische Prozesse werden zunehmend mit der Hilfe von Modellen aus der Selbstorganisationsforschung beschrieben

Die Anwendung sowohl von Bottom-up- als auch von Top-down-Verfahren hat in verschiedenen Zweigen empirischer Wissenschaften und auch im Umfeld psychologischer Fragestellungen zu zahlreichen Belegen für Selbstorganisationsprozesse geführt, so z.B. im menschlichen EEG (für einen Überblick vgl. Pritchard & Duke 1995) im EKG (Skinner et al. 1990, Fell et al. 2000), in chronobiologischen Mustern (vgl. z.B. Saunders 1977, Hess & Boiteux 1980, Babloyantz 1990, Are'chiga 1993), in der Wahrnehmung (Kruse et al. 1992, Stadler & Haynes 1999), der Kognition (Haken & Stadler 1990, Haken 1996, Stadler & Haynes 1999), in emotionalen (Schiepek et al. 2003) und sozialen Prozessen (Weidlich & Haag 1983, Schiepek et al. 1995a, Schiepek et al. 1995b). Diese Befunde treffen sich mit Entwicklungen in der Konzeptualisierung psychotherapeutischer Prozesse. Auch hier mehrten sich Stimmen, die davon ausgehen, dass das therapeutische Geschehen als hochgradig komplexer Prozess aufgefasst werden muss (z.B. Grawe 1986, Orlinsky & Howard 1986, Grawe 1987b, Ambühl & Grawe 1988, Grawe 1988, Tschacher, Schiepek & Brunner 1992, Schiepek 1993b, Scheier & Tschacher 1994, Schiepek & Kowalik 1994, Schiepek 1996, Grawe 1998, Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Maßgeblich beigetragen zum Perspektivenwechsel, der zunehmend ein mechanistisches Bild von Psychotherapie verdrängt, hat das Scheitern der Wirkfaktorenforschung (Schiepek 1994). In dem Maße, in dem einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen, wie z.B. die Dosis-Wirkungs-Analogie, die Suche nach spezifischen und später die Suche nach unspezifischen Wirkfaktoren aufgegeben werden mussten (vgl. Stiles & Shapiro 1989, Hentschel 1990, Schiepek et al. 1995d), zu Gunsten eines komplexeren Verständnisses von Psychotherapie, wurde zunehmend auch auf Modelle der Selbstorganisationsforschung und -theorien zurück gegriffen.

In dieses neue Bild von Psychotherapie passen z.B. auch Ansätze der Systemischen Therapie (Ludewig 1992, von Schlippe & Schweitzer 1996, Schiepek 1999a), die ganz allgemein die ontische Verfasstheit der Gegensatzpaare „krank/gesund“, „gestört/normal“ oder „wissender Experte/unwissender Patient“ in Frage stellt und im Rahmen der Theorien Selbstreferentieller Systeme (z.B. Maturana 1982, Luhmann 1984, Maturana & Varela 1987) beginnt, Psychotherapie als nicht instruierbares, nicht triviales System zu begreifen und entsprechend zu gestalten. Aus einer anderen Richtung kommend wird durch Grawe und Dziewas (1978) das lineal-kausale Stimulus-Response-Modell innerhalb der Verhaltenstherapie in Frage

gestellt. Kybernetische Selbstregulation (sensu Miller, Galanter & Pribram 1960, 1973) im Rahmen der Plananalyse (Caspar 1986, 1989, 1996) ersetzt in der Folge die mechanistische Interpretation menschlichen Verhaltens (vgl. auch Kanfer & Karoly 1972, Kanfer, Reinecker & Schmelzer 2000). Einen anderen Weg beschreitet die *schematheoretische* Interpretation (z.B. Grawe 1986, 1987a, 1987b, 1988, Ahlers et al. 1994, Grawe 1998, Schiepek 1999a), die unter Bezugnahme auf Arbeiten von Piaget (z.B. Piaget 1969/1936, 1969/1945) psychotherapeutische Veränderungsprozesse auf der Grundlage von *Akkomodations-* und *Assimilationsprinzipien* als selbstgesteuerte und autonome Eigenleistung des Systems beschreiben.

Psychotherapie lässt sich verstehen als das Bereitstellen von Bedingung für die Möglichkeit von Selbstorganisationsprozessen im Klientensystem

Damit wird von verschiedenen Seiten die Steuerbarkeit von und gezielte Interventionsfähigkeit in Klientensystemen in Frage gestellt (vgl. auch Willke 1994), so dass Psychotherapie zunehmend als Rahmen verstanden wird, in dem Selbstorganisationsprozesse ermöglicht und angeregt werden (vgl. z.B. Schiepek 1999a). Wichtiger Bestandteil dieses Rahmens ist die Qualität der zwischenmenschlichen psychotherapeutischen Begegnung (vgl. z.B. Orlinsky & Howard 1986, Czogalik & Hettinger 1988, Czogalik 1989, 1991, Orlinsky, Grawe & Parks 1994). In der Zusammenfassung von rund 1.100 empirischen Studien legt das *Generic Model* (Orlinsky & Howard 1986, Orlinsky, Grawe & Parks 1994) aus der Sicht der Psychotherapieforschung die Schlussfolgerungen nahe, dass es sich bei therapeutischen Prozessen um den Ausdruck eines komplexen Systems handelt. Stellen sich die im Modell vorgesehenen Feedbackschleifen als gemischte, nichtlineare Feedbackprozesse heraus, dann sind Selbstorganisationsphänomene mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu erwarten (vgl. Schiepek 1999b, S. 289; vgl. Abbildung 137, S. 483 und folgende Seite).

Insgesamt mehren sich Konzeptionen von Psychotherapie, die nicht nur mit den Kernaussagen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme kompatibel erscheinen, sondern zum Teil direkt unter Rückgriff auf diese Ansätze begründet werden (z.B. Grawe 1987b, Schiepek 1991, 1992, Schiepek, Fricke & Kaimer 1992, Tschacher, Schiepek & Brunner 1992, Schiepek 1996, Grawe 1998, Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Obwohl aber die Nutzung z.B. der Chaosforschung in der Psychotherapie schon bald den Ruf einer Modeströmung erlangte (vgl. Manteufel 1995), fehlen vielfach noch immer empirische Belege für die „Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie“ (Tschacher, Scheier & Grawe 1998). Es war daher das erklärte Ziel der Arbeitsgruppe um Günter Schiepek seit den 90er Jahren Selbstorganisationsprozesse in Psychotherapien nachzuweisen, zu visualisieren und wenn möglich Veränderungsprozesse in ihrer Entstehung zu beschreiben. Inzwischen liegen zwei vollständig mittels Sequentieller Plananalyse (Richter et al. 1995) kodierte Psychotherapien vor¹⁰⁹, die eine zeitreihenanalytische Beschreibung zulassen (Köhler 1992, Richter 1993, Gruhl 1995, Schardt

¹⁰⁹ Großer Dank gebührt dem damaligen Leiter der Psychotherapeutischen Ambulanz, Herrn Dr. Peter Kaimer, sowie dem Inhaber des Lehrstuhls für Klinische Psychologie, Herrn Prof. Dr. Hans Reinecker, für die Möglichkeit, diese Studie durchführen zu können sowie für die freundliche Unterstützung der Forschungsarbeiten, Herrn Prof. Dr. Lothar Laux (Lehrstuhl für Diagnostische und Differentielle Psychologie) für die Bereitstellung der Infrastruktur des Videolabors dieses Lehrstuhls, und Frau Prof. Dr. Astrid Schütz (damals Mitarbeiterin von Prof. Laux in Bamberg, heute Professorin für Sozialpsychologie in Chemnitz) für die Mithilfe bei der Erstellung der Plananalysen. Die aufwändigen Kodierungen der Sequentiellen Plananalysen wurden von Frau Dipl.-Psych. Monika Köhler und Herrn Dipl.-Psych. Klaus Richter (Therapie I) und von Frau Dipl.-Psych. Cornelia Schardt und Frau Dipl.-Psych. Petra Gruhl (Therapie II) durchgeführt. Auch ihnen sei herzlich für die wertvolle Arbeit gedankt.

1996). Insbesondere für die Therapie I wurden verschiedene Analysen bereits durchgeführt und veröffentlicht (z.B. Schiepek et al. 1995d, Schiepek, Strunk & Kowalik 1995, Kowalik et al. 1997, Schiepek et al. 1997, Strunk & Schiepek 2002), die durchgängig die komplexe aber gleichzeitig auch geordnete Struktur der psychotherapeutischen Prozesse belegen.

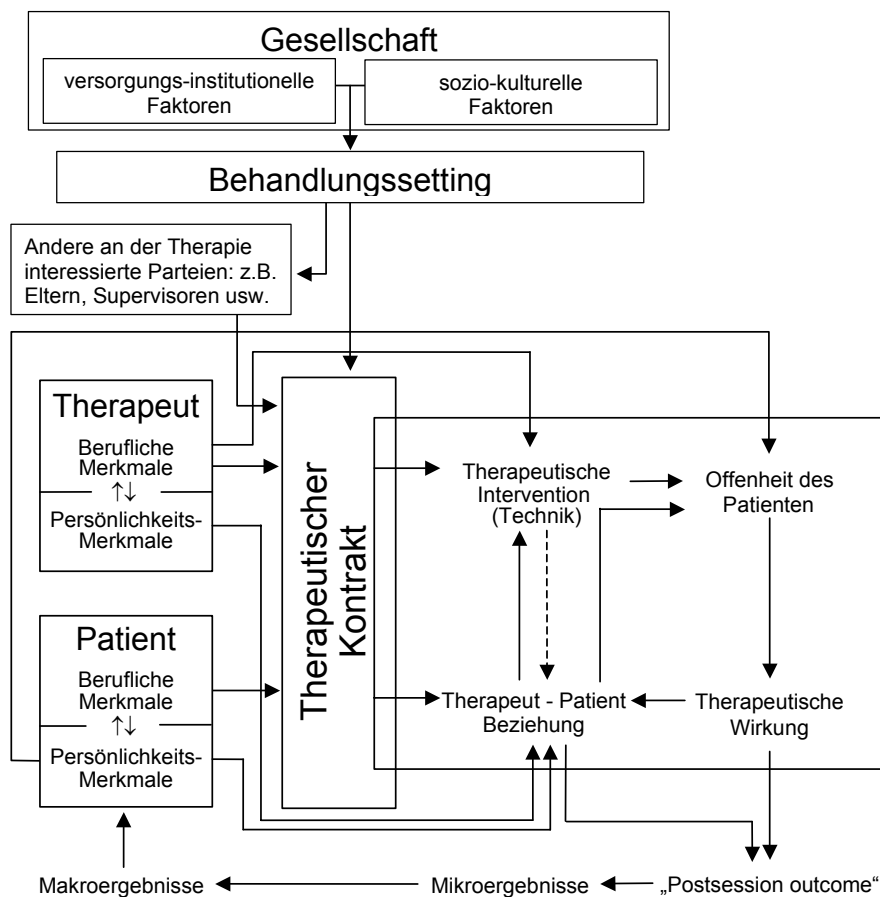


Abbildung 137 (S. 483): Das „Generic Model“ der Psychotherapie

Ein allgemeines Modell der psychotherapeutischen Prozessstruktur wurde von Orlinsky und Howard (1986) auf Grund der Analyse von mehr als 1.100 Einzelstudien zusammen gestellt. Psychotherapeutische Veränderungen können im Rahmen des *Generic Models* nicht mehr als einfacher lineal-kausaler Prozess interpretiert werden (Abbildung nach Perrez 1991, S. 107).

Ziel der Analysen der vorliegenden Arbeit war es daher zum einen die bisher vorliegenden Ergebnisse einer systematischen Überprüfung und Replikation zu unterziehen und dabei Querverbindungen zwischen den verschiedenen Analysemethoden und Ergebnissen zu ziehen. Zum anderen sollte die Auswertung auf die zweite, bisher nicht untersuchte Therapie ausgeweitet werden. Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Therapien galt es systematisch heraus zu arbeiten. Dies ist auch der Grund für die umfangreiche Replikation zum Teil bereits durchgeführter Analysen (wie z.B. bei Kowalik et al. 1997 oder bei Strunk & Schiepek 2002). Eine saubere Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist nämlich nur dann gegeben, wenn auch tatsächlich die gleichen Analyseschritte mit den gleichen Methoden auf die Datensätze angewendet werden.

In diesem Sinne verfolgte die Betrachtung der beiden Psychotherapien eine multimethodale Perspektive, bei der Methoden zur Identifikation von Ordnungsstrukturen in nominalen Datensätzen ebenso zum Einsatz kamen wie Algorithmen zur Bestimmung der *fraktalen Dimensionalität* und der *größten Lyapunov-Exponenten* (LLE). Zudem werden als nichtstationäre Maße die *Pointwise Dimensionalität* (PD2) und der *lokale größte Lyapunov-Exponent* (lokale LLE) eingesetzt, um Muster der Musterveränderung (Strukturen zweiter Ordnung) in der komplexen Dynamik aufzuspüren. Zusammengefasst werden die wesentlichen Ergebnisse der empirischen Analyse in den folgenden Abschnitten, bei denen zunächst auf Phänomene organisierter Komplexität in den On-off-Pattern von Planpartituren eingegangen wird. Als zweiter großer Analyseblock werden dann die Ergebnisse zur Bestimmung der fraktalen Dimensionalität und der Chaotizität der im Phasenraum eingebetteten Datensätze dargestellt. Den Abschluss bildet die Diskussion der zeitlichen Veränderung in den genannten Kennwerte.

Die Berechnungsalgorithmen mussten für die vorliegende Arbeit eigens programmiert werden

Sämtliche Algorithmen, sowie grafische Darstellungen der Daten (Partitur-, Zeitreihen- und Phasenraumdarstellungen) wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit in C++ implementiert, sorgfältig getestet und an Beispielzeitreihen ausführlich erprobt. Eigenentwicklungen wurden im Rahmen des PD2 und der Bestimmung der lokalen LLE nötig, um eine algorithmische Bestimmung der Skalierungsbereiche zu ermöglichen. Für die Berechnungen der Surrogatzeitreihen wurde das TISEAN-Programmpaket (Hegger, Kantz & Schreiber 2000) eingesetzt. Der Algorithmus der *Mutual Information* stammt von Weeks (1997). Für den LLE wurden Anleihen bei Rosenstein (1999) gemacht.

12.3.1 Organisierte Komplexität in Planpartituren

Eines der wesentlichen Teilergebnisse einer Sequentiellen Plananalyse stellen die so genannten Partiturdarstellungen dar, die an Orchesterpartituren erinnern und in einer ähnlichen Weise gelesen werden. Exemplarisch ist eine solche Partitur der Oberpläne der Therapie I in Abbildung 149 (S. 520 und folgende Seite) wiedergegeben. Der Darstellung liegt die Vorstellung zu Grunde, dass Pläne in unterschiedlichen Konstellationen auch verschiedenartig wirken können, ähnlich wie ein Ton in unterschiedlichen klanglichen Kontexten zu jeweils anderen Harmonien beiträgt. Diese Perspektive entspricht der in der Plananalyse üblichen Annahme der Mehrfachdeterminiertheit: Menschliches Handeln kann und wird meist durch mehrere, einander mitunter sogar widersprechende Pläne konstituiert und kann daher nur aus der jeweiligen Konstellation von aktivierten Plänen angemessen verstanden werden (vgl. Caspar 1989, 1996).

Die Betrachtung von Planpartituren bietet auf den ersten Blick ein unordentliches, irreguläres Bild. Dennoch kann vermutet werden, dass bei der Aktivierung von Plänen nicht der pure Zufall am Werk ist, sondern menschliche Kommunikation sinnvoll und geordnet abläuft. Wie ausgeprägt aber ist diese Ordnung? Es war das Ziel der auf dem *Symbol Dynamics Ansatz* und der *Theorie algorithmischer Entropie* aufbauenden Analysen auf diese Frage eine Antwort zu geben. Zunächst liefern jedoch bereits einfache Merkmale der Häufigkeitsverteilung von Plankonstellationen konkrete Hinweise auf Selbstorganisationsprozesse.

- **Selbstorganisierten Kritizität.** Die Selbstorganisations-Hypothese wird im Rahmen der Analysen der Planpartituren insbesondere durch die charakteristische $1/f^x$ -Form der Häufigkeitsverteilungen gestützt. Derartige Verteilungen, wie sie für die Plankonstellationen beider Interaktionspartner beider Therapien identifiziert wurden, gelten als charakteristisch für das Verhalten selbstorganisierter Systeme, die wiederholt aus ihrem Attraktor ausgelenkt werden. Die Universalität dieser $1/f^x$ -Verteilungen wird daher in der Theorie der selbstorganisierten Kritizität („*self-organized criticality*“, Bak, Chen & Creutz 1989, Bak & Chen 1991) als Hinweis auf systeminterne Destabilisierungsprozesse gewertet (vgl. Strunk & Schiepek 2002).
- **Qualitatives Chaos.** Die Identifikation von Ordnung in irregulären Abfolgen von Nominaldaten kann sich jedoch nicht alleine auf die von einer Gleichverteilung abweichende Häufigkeitsverteilung der Plankonstellationen stützen. Insbesondere ist dabei zu bedenken, dass die Häufigkeitsverteilung von der zeitlichen Abfolge der Plankonstellationen unberührt bleibt. Für die Therapie I wurde bereits von Strunk und Schiepek (2002) gezeigt, dass sich überzufällig viele übereinstimmende *Sequenzen* konkreter Plankonstellationsabfolgen identifizieren lassen. Dieser Zugang ist aus dem methodischen Umfeld des *Symbol Dynamics Ansatzes* entlehnt und stellt damit nur eine von vielen Möglichkeiten dar, die dynamische Ordnung in den nominalen Planabfolgen zu kennzeichnen. Methodisch eleganter ist in diesem Zusammenhang das Verfahren der *Grammar Complexity*, welches als Implementierung eines Verfahrens zur Theorie der *algorithmischen Entropie* verstanden werden kann (vgl. Jiménez-Montano 1984). Vereinfachend gesprochen handelt es sich dabei um einen verlust- und kontextfreien Algorithmus zur Kompression von Daten (ähnlich einem Kompressionsprogramm für Computerdateien). Da Symbolfolgen ohne Ordnung (Zufall) sich nur schwer oder gar nicht komprimieren lassen, kann der Grad der Komprimierung als Ordnungskennwert interpretiert werden (vgl. Schürmann & Grassberger 1996). Für die Daten beider Therapien beider Interaktionspartner zeigen sich klare Ordnungsstrukturen. Dabei erscheinen die Prozesse zwar als relativ komplexe (Vergleich gegenüber einer sortierten Datenreihe) aber gleichzeitig auch als signifikant geordnete (Vergleich gegenüber randomisierten Datenreihen) Strukturen.

Der Nachweis organisierter Komplexität in Symbolabfolgen ist ein Hinweis, aber noch kein Nachweis für komplexe Selbstorganisationsprozesse

Die zurückgewiesene Annahme der Zufälligkeit von Interaktionsmustern ist jedoch nur eine von mehreren Nullhypothesen, die auf dem Weg zu einem vertieften Verständnis nichtlinearer Prozesse in der Psychotherapie zu verwerfen sind. In diesem Sinne sind die hier vorgelegten Befunde noch kein zwingender Beleg für einen chaotischen Prozess. Ein solcher Beleg kann über die grobe dichotome Skalierung der Planpartituren auch gar nicht erbracht werden, so dass für die folgenden Analysen die metrischen Zeitreihendaten der Sequentiellen Plananalysen herangezogen werden.

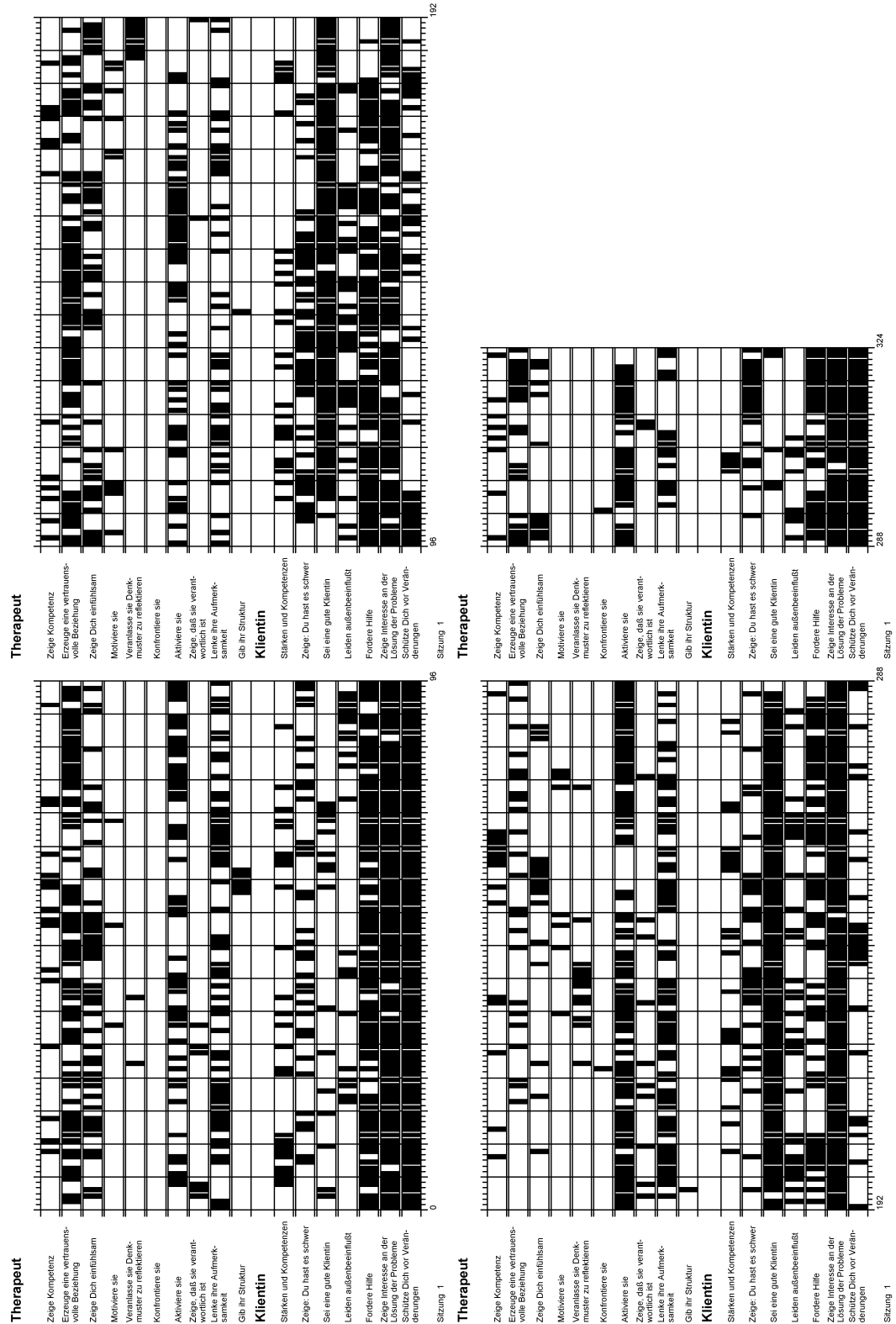


Abbildung 149 (S. 520): Partiturdarstellung der ersten Sitzung der Therapie I

Die Abbildung ist ein Beispiel für eine Partiturdarstellung der Abfolgemuster von Oberplänen (jeweils oben Therapeut und unten Klientin). Die Bezeichnungen der Oberpläne wurden gekürzt). Dargestellt ist die gesamte erste Therapiesitzung der Therapie I. Für die 13 knapp einstündigen Sitzungen der Therapie I ergibt sich eine Partitur von insgesamt 3.922 Sequenzen bzw. Messpunkten.

12.3.2 Fraktale Dimensionalität

Die Komplexität der metrischen Zeitreihen ergibt sich auf der Grundlage einer Phasenraumeinbettung über das stationäre D2 und das nicht-stationäre PD2

Die Analyse der metrischen Zeitreihen der beiden Sequentiellen Plananalysen kann entlang der oben bereits angesprochenen Zweiteilung von Fragestellungen im Rahmen der Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme sowohl in Hinblick auf die Komplexität als auch in Hinblick auf die Vorhersagbarkeit der Prozesse durchgeführt werden. Idealerweise werden dazu die Daten im Phasenraum eingebettet, so dass für die Fragestellung nach der Komplexität die Korrelationsdimension bestimmt werden kann. Diese Analyse erfolgte im Rahmen der vorliegenden Arbeit in zwei aufeinander aufbauenden Schritten. Zunächst wurde die Korrelationsdimension (D2) nach dem Verfahren von Grassberger und Procaccia (1983a, 1983b) als zeitlich invariantes Maß der Komplexität der Dynamik berechnet. Neben den eigentlichen Komplexitätskennwerten für die einzelnen Datensätze liefert dieser erste Schritt der Komplexitätsbestimmung auch wichtige Zwischenergebnisse, auf denen dann im zweiten Schritt eine zeitpunktbezogene Analyse aufbaut. Dieser als Pointwise Dimensionalität (PD2; vgl. Skinner 1992) bezeichnete Zugang hat es zum Ziel, die zeitliche Veränderung der Komplexität im Verlauf der Therapien zu erfassen.

Zur Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit des PD2 wird ein eigenes Verfahren vorgeschlagen und erprobt

Zur Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit des PD2 wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Erweiterung des Verfahrens vorgeschlagen, indem nicht nur für jeden Fokuspunkt einzeln eine Schätzung der Korrelationsdimension ermittelt, sondern jeweils 50 Fokuspunkte (PD2₅₀) in einem Durchgang behandelt werden. Während im Rahmen des allgemein üblichen PD2, so viele euklidische Abstände zum Fokuspunkt berücksichtigt werden, wie auch Messwerte vorliegen, vergrößert sich die Berechnungsgrundlage für das hier gewählte Verfahren proportional zur Anzahl jeweils gemeinsam genutzter Fokuspunkte. Daher ist sie bei 50 Fokuspunkten 50 mal so groß. Das Fenster der zeitlich benachbarten Fokuspunkte wird nach der Berechnung um einen Fokuspunkt weiter geschoben.

Sowohl Random- als auch FFT-Surrogate dienen der Absicherung der Resultate

Die Absicherung der D2-, PD2- und PD2₅₀-Berechnungen erfolgte über zwei Arten von Surrogatdatenverfahren. Erste und nur als Grundlage für weitere vertiefende Berechnungen durchgeführte Analysen werden mit der Hilfe von leicht zu erzeugenden Random-Surrogaten abgesichert. Da durch die Randomisierung der Zeitreihendaten jedoch jegliche dynamische Ordnung verloren geht, handelt es sich bei diesem Vorgehen um eine relativ grobe „Holzhammer-Methode“. Gezieltere Absicherungen werden daher bei bedeutsamen Analyseschritten durch FFT-Surrogate erreicht, die auf einem linear-stochastischen Modell beruhen und damit einen Test auf Nichtlinearität darstellen. Beide Surrogatdatenverfahren sollten bei der Berechnung des Korrelationsintegrals entweder dazu führen, dass keine Sättigung der D2- bzw. PD2-Werte beobachtet werden kann oder die Sättigung signifikant höher ausfällt, als für die Originalzeitreihen. Letzteres wird im Rahmen der folgenden Analysen über einen T-Test geprüft.

Insgesamt erscheinen beide Therapien als hoch komplexe, geordnete Strukturen

Die Ergebnisse der Dimensionalitätsanalysen weisen die Datensätze der Selbstdarstellungsdimensionen der beiden Interaktionspartner beider Therapien als hoch komplexe aber dennoch geordnete Strukturen aus. Einschränkend muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass sättigende D2 Werte und interpretierbare PD2-Berechnungen für viele Datensätze erst nach einer Datenglättung (Rauschfilterung mit Hilfe eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes) möglich waren. Die Glät-

tung kann sich jedoch für die meisten Analysen auf die fünfmalige Anwendung eines gleitenden Mittelwertes der Breite Zwei beschränken und ist damit nicht ungewöhnlich stark.

Überraschende Übereinstimmungen zwischen den Therapien dominieren die Resultate der D2-Analysen

Obwohl es sich bei den beiden Therapien um nicht nur unterschiedlich lange, sondern auch inhaltlich um höchst unterschiedliche Prozesse handelte, führt der Vergleich der D2-Berechnungen für die einzelnen Selbstdarstellungsdimensionen zu der durchaus erstaunlichen Feststellung, dass sich in beiden Therapien jeweils die gleichen Muster abbilden. Zum einen stimmen die mittlere Dimensionalität beider Klientinnen mit rund 5,0 und beider Therapeuten mit rund 4,0 Dimensionen nahezu exakt überein. Zum anderen zeigen beide Therapien eine extrem geringe Dimensionalität für die zweite Selbstdarstellungsdimension des Therapeuten („Konfrontation, Verunsicherung“). Neben diesen besonders auffälligen Übereinstimmungen lassen sich noch weitere durchaus erstaunliche „Familienähnlichkeiten“ feststellen. Werden die Dimensionalitätsschätzungen für die drei Zeitreihen der Klientin und die vier Zeitreihen des Therapeuten jeweils nach ihrer Größe gereiht, so ergeben sich für beide Therapien exakt die gleichen Rangordnungen:

$$D2_{(\text{Klientin 1})} > D2_{(\text{Klientin 3})} > D2_{(\text{Klientin 2})} \text{ und} \\ D2_{(\text{Therapeut 4})} > D2_{(\text{Therapeut 1})} > D2_{(\text{Therapeut 3})} \gg D2_{(\text{Therapeut 2})}$$

Inhaltliche Bedeutung der Selbstdarstellungsdimensionen:

Klientin 1: Suche nach Anerkennung / Zeige positive Seiten von Dir

Klientin 2: Hilfslosigkeit / Suche nach Mitleid, Hilfe / Vermeidung negativer Eindrücke

Klientin 3: Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)

Therapeut 1: Vertrauen, Sicherheit vermitteln

Therapeut 2: Konfrontation, Verunsicherung

Therapeut 3: Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern

Therapeut 4: Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit

Eine verbesserte Datengrundlage ergibt sich durch eine Zusammenfassung der Selbstdarstellungsdimensionen zu multidimensionalen Datensätzen

Trotz dieser überraschenden Ergebnisse verweisen die Analysen jedoch auch auf die begrenzte Qualität der Daten. So konnte für relativ viele Zeitreihen auch eine Sättigung der Random-Surrogate beobachtet werden. Obwohl die Dimensionalitätsschätzung für die Surrogate jeweils weitaus höher ausfällt und sich zudem jeweils hoch signifikant von den Schätzungen für die Originalzeitreihen unterscheidet, weist dieser Umstand doch auch auf Grenzen in der Datenqualität hin. Klarer fallen die Ergebnisse daher aus, wenn die Daten der jeweiligen Klientin und des jeweiligen Therapeuten zu multidimensionalen Datensätzen zusammengefasst werden. In diesem Sinne werden aus den drei Selbstdarstellungsdimensionen einer Klientin dreidimensionale (oder sechs-, neun- etc. dimensionale) Phasenraumbettungen erzeugt. Zusammenfassend ergibt sich für diesen Schritt der Dimensionalitätsbestimmung der beiden Therapien folgendes Bild:

- Die Datenqualität der multidimensionalen Datensätze ist bedeutend höher als die der jeweiligen Einzelzeitreihen. Sowohl hinsichtlich der nötigen Glättung (fünfmalige Anwendung eines gleitenden Mittelwertes der Breite Zwei im Vergleich zur siebenmaligen Anwendung für die einzelnen Zeitreihen) als auch in Hinblick auf den Vergleich mit Random-Surrogaten schneiden die multidimensionalen Datensätze besser ab.
- Die Komplexität beider Therapien fällt mit D2-Werten von 5,7 (Therapie I) und 5,8 (Therapie II) gleich hoch aus (der geringfügige Unterschied ist statistisch nicht signifikant). Dieses wenig zu erwartende Ergebnis hatte sich bereits bei der Analyse der einzelnen Selbstdarstellungsdimensionen

angedeutet. Auch die D2-Werte beider Klientinnen zeigen untereinander und im Vergleich zu den beiden Datensätzen für die Therapien nur geringe, ebenfalls nicht signifikante Unterschiede.

- Der Therapeut der ersten Therapie zeigt in seinem interaktionellen Verhalten die gleiche Komplexität wie die Klientin, ein Ergebnis, das durchaus erstaunlich ist. Für eine therapeutische Situation, bei der in der Regel die Klienten bzw. Klientinnen größere Redeanteile aufweisen und neues Material präsentieren, während ein Therapeut bzw. eine Therapeutin vor einem professionellen Hintergrund Struktur bietet, wäre eine höhere Komplexität für die Klientin als für den Therapeuten zu erwarten gewesen. Die Erwartung einer geringeren Komplexität für den Therapeuten wird jedoch für die zweite Therapie bestätigt. Dort bleibt die Komplexität des Therapeuten mindestens eine Dimension unter der der Klientin.
- Die Testung der Ergebnisse mit jeweils 30 FFT-Surrogaten bestätigt im Wesentlichen die Annahme, dass die komplexe Dynamik der Interaktionsprozesse auf ein nichtlineares dynamisches System zurück geführt werden kann. Die Nullhypothese eines linear-stochastischen Modells mit identischem Frequenzspektrum aber randomisiertem Phasenwinkel kann jedenfalls für alle Datensätze zurückgewiesen werden.

12.3.3 Deterministisches Chaos in der psychotherapeutischen Beziehungsgestaltung

Die Analysen zur Korrelationsdimension zeigen, dass es sich bei den beiden psychotherapeutischen Prozessen um komplexe aber organisierte zeitliche Strukturen handelt. Ob hier deterministisches Chaos vorliegt, was als ein eindeutiger Beleg für Selbstorganisationsprozesse gewertet werden könnte, ist aber erst durch die Bestimmung positiver größter Lyapunov-Exponenten (LLE) entscheidbar.

**Der Algorithmus von
Rosenstein et al.
(1993) erlaubt eine
Absicherung der
Berechnungen**

Die Berechnung der LLE und der lokalen LLE orientierte sich am Algorithmus von Rosenstein, Collins und de Luca (1993), der relativ einfach als Computerprogramm implementiert werden kann. Zudem ermöglicht er eine relativ saubere Absicherung der Ergebnisse, wie sie in vergleichbarer Weise beim sehr häufig eingesetzten Algorithmus von Wolf et al. (1985) nicht möglich ist. Erreicht wird diese Absicherung aus dem Fit, der im Zeitverlauf zu beobachtenden Separation nah benachbarter Trajektorien, mit einem exponentiellen Modell. Dazu wird ein linearer Skalierungsbereich im einfach logarithmierten Verlauf der gemittelten Separation gesucht. Die Korrelation einer entsprechenden Ausgleichsgeraden mit der im Skalierungsbereich zu findenden logarithmierten Separation gibt dann an, wie gut sich ein beobachtbarer „Schmetterlingseffekt“ als exponentielle Fehlereskalation beschreiben lässt.

**Die Datensätze beider
Therapien sind de-
terministisch chao-
tisch**

Die Ergebnisse der globalen LLE-Berechnungen scheinen die Schlussfolgerung nahe zu legen, dass sich in den erhobenen multidimensionalen Zeitreihen tatsächlich zwingende Merkmale chaotischer Prozesse finden lassen. Für beide Therapien und für alle drei multidimensionalen Datensätze ergaben sich jeweils positive größte Lyapunov-Exponenten, deren Werte zwischen 0,3 Bit/Iteration und 0,4 Bit/Iteration schwanken.

Die Passung des exponentiellen Modells ist hoch, aber auf einen schmalen Bereich beschränkt

Die Korrelation einer Ausgleichsgeraden mit der im Skalierungsbereich zu findenden logarithmierten Separation fällt bei den vorliegenden Berechnungen ebenfalls sehr hoch aus (immer $\geq 0,9$). Dennoch scheint eine vorsichtige Interpretation angebracht. Der Skalierungsbereich ist, z.B. im Vergleich zu Analysen von mathematisch generierten Beispielzeitreihen, jeweils nur relativ schmal bemessen. Bereits nach durchschnittlich 10 bis 15 Iterationsschritten erreichen nah benachbarte Trajektorien eine maximal mögliche Separation. Die Daten werden in den vorliegenden Datenreihen sehr schnell auseinander getrieben. Vergleiche mit Random-Surrogaten zeigen jedoch ein noch extremeres Verhalten. Bereits nach 3 bis 4 Iterationsschritten wird hier dann die maximale Separation erreicht. Die ermittelten LLE nehmen für diese künstlichen Datensätze Werte von 1,0 Bit/Iteration an und stützen sich allein auf zwei bis drei verwertbare Iterationsschritte, also einen eindeutig zu kleinen Skalierungsbereich. Es zeigt sich also, dass die Berechnungen für die Originaldaten – wenn auch nicht so reliabel wie erhofft – dennoch weit zuverlässiger durchgeführt werden können als für Random-Surrogate.

12.3.4 Dynamik zweiter Ordnung

Eine sinnvolle Prognose ist nicht einmal über einen Zeitraum von 1,5 Minuten möglich

Verschiedene Methoden, die zudem an ganz unterschiedlichen Datenniveaus ansetzen und im Rahmen gewisser Grenzen durchaus auch verschiedene Definitionen von Ordnung und Komplexität an die Daten herantragen, bestätigen relativ übereinstimmend die geordnete dynamische Komplexität der beiden erfassten psychotherapeutischen Prozesse. Sowohl das interaktionelle Verhalten der beiden Klientinnen als auch das des Therapeuten erscheint vor diesem Hintergrund als Ergebnis eines Selbstorganisations-Prozesses, der nur über kurze Zeiträume hinweg eine Prognose weiterer Entwicklungen erlaubt. Insbesondere die ermittelten größten Lyapunov-Exponenten zeigen, dass kleine Unterschiede in den Ausgangsbedingungen bereits nach durchschnittlich 10 Messzeitpunkten (also rund 1,5 Minuten) zu maximal möglichen Unterschieden in den Trajektorienverläufen führen. Eine sinnvolle Prognose des interaktionellen Prozesses ist damit nicht mehr gegeben. Eine langfristige Planung des Therapeutenverhaltens, etwa im Hinblick auf bestimmte Interventionen ist vor diesem Hintergrund zumindest fraglich.

Der Wert der Befunde ist weniger im Nachweis organisierter Komplexität und Chaos zu sehen, als in der sauberen Operationalisierung dieser Prozessmerkmale

Die vorliegenden Belege zeigen jedoch zunächst einmal nicht viel mehr, als dass die therapeutische Beziehungsgestaltung ein selbstorganisierter komplexer Prozess ist. Obwohl bereits dieser – empirisch gesicherte Beleg – der erste seiner Art sein dürfte, zeigt er doch nichts anderes als ein ohnehin erwartbares Ergebnis: Dass die Beziehungsgestaltung in der Psychotherapie kein Zufallsprozess ist, kann ohnehin erwartet werden, und dass die zwischenmenschliche Interaktion nur selten vorhersagbar verläuft, ist eine gängige Alltagserfahrung. Der Nutzen der vorliegenden Ergebnisse liegt damit nicht so sehr in der Bestätigung der Annahme einer geordneten Komplexität, als vielmehr darin, diese Ordnung und Komplexität mathematisch sauber zu operationalisieren und im zeitlichen Verlauf sichtbar zu machen. Damit werden dann zeitliche Strukturen in der Veränderung von Mustern (Phasenübergänge) einer quantitativen und qualitativen Interpretation zugänglich.

Denn während auf der einen Seite weder die Planpartituren noch die erhobenen Zeitreihen einfache, mit linearen Methoden beschreibbare Muster zeigen, sind auf der anderen Seite die Veränderungen in der Komplexität und in den größten Lya-

punov-Exponenten im Verlauf der Zeit viel klarer strukturiert. Die verborgene Ordnung des interaktionellen Geschehens zeigt sich für beide Therapien relativ ähnlich in der Dynamik der ermittelten Kennwerte, also in einer Dynamik zweiter Ordnung. Therapeutisch interessant ist diese Dynamik zweiter Ordnung vor allem deshalb, weil sich annehmen lässt, dass sich in den sprunghaften dramatischen Veränderungen der Kennwerte Phasenübergänge und damit qualitative Verhaltensänderungen manifestieren. Diese gilt es in Therapien ja gerade anzuregen, zu erkennen und in Hinblick auf eine Problemlösung zu nutzen.

Komplexitätsveränderungen imponieren im zeitlichen Verlauf als einander ablösende Phasen der Synchronisation und Antisynchronisation

Die vorliegenden Analysen zeigen zunächst einmal ein typisches Merkmal sich selbstorganisierender Prozesse, nämlich einander abwechselnde Phasen der Synchronisation und Antisynchronisation (also einer Gegenläufigkeit) in den Entwicklungen der *Pointwise Dimensionalität* (PD₂₅₀). Die Komplexitätsentwicklung von Klientin und Therapeut sind damit über weite Strecken der Therapie aneinander gekoppelt, miteinander verwoben und aufeinander bezogen. Die einander ablösenden Phasen deutlicher Synchronisation und ebenso deutlicher gegenläufiger Entwicklungen sind im Verlauf der PD₂₅₀-Diagramme mit dem bloßen Auge zu erkennen (und bestätigen sich mit der Hilfe einfacher linearer Korrelationskoeffizienten). In diesem Sinne findet sich eine relativ triviale dynamische Ordnung erst im Verlauf der Komplexität, nicht aber im Verlauf der Zeitreihen selbst (vgl. Abbildung 164 und Abbildung 165, ab S. 586 und folgende Seite). Diese Befunde ließen sich im Rahmen weiterer und vor allem qualitativer Analysen auf inhaltliche Aspekte der Therapie beziehen, ein Analyseschritt der im Rahmen der vorliegenden Arbeit noch nicht möglich war.

Lineare Regressionsmodelle erlauben die „Vorhersage“ kritischer Fluktuationen

Neben der Dynamik der PD₂-Verläufe liegt es nahe Phasen kritischer Instabilität, mit denen sich Veränderungen im therapeutischen Prozess andeuten, über die Streuung der lokalen größten Lyapunov-Exponenten zu bestimmen. Maxima in der Streuung der lokalen LLE verweisen dabei auf Phasen kritischer Instabilität und zeigen sich – wenn auch nicht immer – so doch relativ häufig gleichzeitig für die Klientin und den Therapeuten. Auch hier kommt es also zu synchronisierten Übergängen in der Dynamik zweiter Ordnung. Zudem kann bereits mit einfachen multiplen Regressionsmodellen gezeigt werden, dass sich die Streuung der LLE der Klientinnen jeweils im Kontext ganz bestimmter therapeutischer Rahmenbedingungen erhöht. Dabei zeigen sich für die beiden Therapien durchaus Gemeinsamkeiten aber auch Unterschiede. Die Regressionsmodelle beruhen auf den Daten der Selbstdarstellungsdimensionen beider Interaktionspartner als Prädiktoren für die Streuung der LLE. Die Zeitreihen wurden durch entsprechende Glättungsalgorithmen in ihrer zeitlichen Auflösung aneinander angepasst. Wichtige Ergebnisse der Modelle können wie folgt zusammengefasst werden:

- Kritische Instabilität geht bei beiden Klientinnen (bei der Klientin der Therapie I jedoch besonders stark) mit vermeidenden Tendenzen und einem Rückgang in der Problembearbeitung einher. Die Energie wird vielleicht für den Veränderungsprozess selbst gebraucht und richtet sich mehr nach innen. Dieser Befund ist interessant, weil er Hinweise darauf liefert, dass im Verhalten der Klientinnen eben dort, wo es zu Veränderungen kommt, eine geringere Veränderungsbereitschaft signalisiert wird. Es kann aber auch sein, dass sich hier Angst und Widerstände gegenüber Veränderungen ausdrücken.

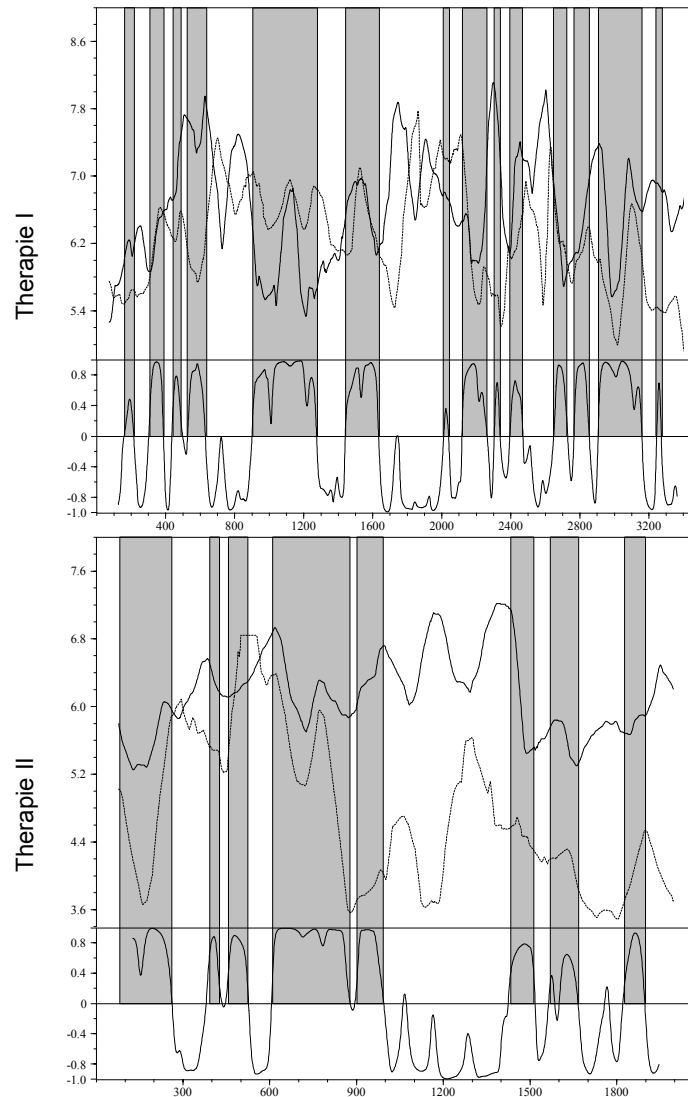


Abbildung 176: Phasen synchroner und gegenläufiger Entwicklungen der Komplexität

Die Abbildung fasst die Abbildung 164 und Abbildung 165 zusammen. Für jede Therapie zeigt der obere Teil den geglätteten Verlauf des PD₂₅₀ der Klientin und des Therapeuten. Die Glättung wurde mit Hilfe eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes der Breite 100 erzeugt. Die Zeitreihe, die in Therapie I ab Zeittakt 2.800 und in Therapie II ab Zeittakt 600 die höheren Werte aufweist, stellt den geglätteten PD₂₅₀-Verlauf der jeweiligen Klientin dar. Der untere Teil der Grafiken zeigt jeweils die Korrelation zwischen den Komplexitätszeitreihen für ein Fenster der Breite 100. Hohe Korrelationen (grau unterlegt) entsprechen einem synchronen PD₂₅₀-Verlauf.

- In der ersten Therapie erweisen sich zwei Verhaltensweisen des Therapeuten als am einflussreichsten für die Vorhersage: Kritische Instabilität tritt offenbar ein, wenn der Therapeut auf aktive, strukturierende therapeutische Arbeit verzichtet und stattdessen in verstärktem Ausmaß Vertrauen und Sicherheit vermittelt. Dennoch gehen Phasen kritischer Instabilitäten auf Seiten der Klientin mit Vermeidung und reduzierter Problembearbeitung, sowie erhöhter Externalisation und Kommunikation von Hilflosigkeit einher. Dieser Vermeidungstendenz begegnet der Therapeut jedoch mit dem Versuch, ihre Eigenverantwortung zu fördern.

- Die Ergebnisse zur zweiten Therapie decken ein gänzlich anderes Muster auf. Aktive, strukturierende Arbeit des Therapeuten spielt auch hier eine wichtige Rolle, aber im Sinne eines positiven Prädiktors. Der Therapeut fördert die Eigenverantwortlichkeit der Klientin, aber vermittelt erheblich weniger Sicherheit und Vertrauen als in der ersten Therapie, wenn sie Episoden kritischer Instabilität durchläuft. Die Vermeidungstendenzen der Klientin sind deutlich geringer. So steht eine Zunahme in der Streuung der lokalen LLE in einem negativen Zusammenhang mit Formen der Selbstdarstellung, die sich auf Anerkennung und Zuwendung richten. Zudem verzichtet die Klientin auf Rechtfertigungsstrategien (Externalisation) ebenso wie auf ein Werben um Sympathie. Das Gesamtmuster spricht hier für einen sehr effektiven therapeutischen Prozess.
- Bei allen Unterschieden zwischen den beiden Therapien scheinen sich in den Verläufen der lokalen LLE der Klientin durchaus auch Übereinstimmungen zu finden. Starke Fluktuationen in den lokalen LLE zeigen sich insbesondere zu Beginn der Therapie. In dieser Phase, in dem sich die Klientinnen und der Therapeut auf eine gemeinsame Arbeitsbasis einigen, zeigen sich ständige Veränderungen. Diese Phase nimmt ca. das erste Viertel der Therapien ein. Ebenfalls zeigt sich für beide Therapien ein Bereich geringer Veränderungen, der mehr oder minder synchron für den Therapeuten und die beiden Klientinnen um die Mitte der jeweiligen Therapie zu beobachten ist. Das Ende der Therapie wird in beiden Fällen durch starke Fluktuationen der lokalen LLE der Klientin eingeleitet. Diese starken Fluktuationen gehen bei beiden Verläufen in einen Bereich relativer Konstanz über, der bis zum Ende der Therapie anhält. Dieser Stabilisierungsprozess zum Ende der Therapie ist bei der zweiten Klientin ausgeprägter zu beobachten als bei der ersten.

12.3.5 Ausblick

Veränderungen sollten gelungenen therapeutischen Prozessen inhärent sein. Es konnte bereits gezeigt werden, dass beide therapeutischen Prozesse durch sprunghafte Veränderungen in der Chaotizität der Klientin geprägt sind. Dieser durchaus wünschenswerte Umstand wird in den beiden Therapien jedoch ganz unterschiedlich konnotiert. Während sich die erste Klientin gegen Veränderungen zu wehren scheint, indem sie Phasen kritischer Instabilität mit Widerstand und der Demonstration von Hilflosigkeit zu überwinden versucht, gehen externalisierende Tendenzen bei der zweiten Klientin zurück. Sie wendet sich statt dessen sich selbst und ihren Problemen zu. Auch ihr bereiten solchen Phasen leichtes Unbehagen, aber sie reagiert in einem weitaus geringeren Maße mit Widerstand. Der Abwehr von Veränderungen begegnet der Therapeut in der ersten Therapie mit Vorsicht. Er verzichtet hier dann auf aktive strukturierende therapeutische Arbeit und bemüht sich im erheblichen Ausmaß Vertrauen und Sicherheit zu vermitteln. Anders seine Reaktion in der zweiten Therapie, wo er die Phasen kritischer Instabilität aktiv für die strukturierende therapeutische Arbeit zu nutzen versteht und sich bemüht, die Eigenverantwortlichkeit der Klientin zu fördern. Angesichts der ausbleibenden Externalisationstendenzen und des geringen Widerstandes auf Seiten der Klientin, scheint dieses Verhalten durchaus passend zu sein.

Es scheint so, als ob der therapeutische Kontext, in den kritische Fluktuationen eingebettet sind, eine Bedeutung für den Therapieerfolg besitzt

Es scheint so, als ob sich in den beiden Therapien entgegengesetzte Muster widerspiegeln, die unter anderem auf den Erfolg der beiden Therapien verweisen. Während die erste Therapie als wenig erfolgreich gewertet werden kann, scheint die zweite Therapie durchaus zu konstruktiven Veränderungen geführt zu haben (dies bestätigen auch katamnestiche Befunde). Sosehr gerade diese Einschätzung einen Zusammenhang zwischen der Dynamik zweiter Ordnung und dem Output einer Therapie suggeriert, sosehr verweist sie jedoch auch auf die Grenzen der vorliegenden Einzelfallanalysen. In diesem Sinne können die vorgelegten Befunde keine Allgemeingültigkeit beanspruchen. Sie sind jedoch durchaus in der Lage sowohl methodische Zugänge zur komplexen psychotherapeutischen Beziehungsgestaltung aufzuweisen, als auch – zumindest für die untersuchten Therapien – die Vermutung über das Vorliegen komplexer Selbstorganisationsphänomene in Psychotherapie zu belegen.

Trotz der durchaus ermutigenden Ergebnisse haben die Erfahrungen der letzten Jahre jedoch auch die Schwierigkeiten im Nachweis organisierter Komplexität in der Psychotherapieforschung gezeigt. So wurde die inhaltliche wissenschaftliche Arbeit schon dadurch erschwert, dass zunächst einmal die Auswertungsalgorithmen programmiert und validiert werden mussten. Der Quellcode der Computerprogramme, die für die vorliegenden Analysen im Verlauf von mehr als acht Jahren erarbeitet wurde fällt noch einmal länger aus, als die hier niedergeschriebene Arbeit. Inzwischen und hier leider zu spät sind zumindest rudimentär einsetzbare Algorithmen frei im Internet verfügbar (Hegger, Kantz & Schreiber 2000), was immerhin die Hoffnung nährt, dass solche methodischen Engpässe in Zukunft seltener werden. Als großes Hindernis für eine weiterreichende Selbstorganisationsforschung in der Psychologie müssen jedoch auch die Anforderungen an die Datenqualität und die Länge der Zeitreihen gelten. Methoden zur Identifikation komplexer Ordnungsmuster in nominalen Symbolabfolgen (*Symbol Dynamics* und *algorithmische Entropie*) sind hier schon eine wesentliche Erleichterung, ermöglichen jedoch keine Identifikation von Selbstorganisationsphänomenen wie z.B. die des deterministischen Chaos. In diesem Sinne bilden die vorliegenden Befunde bis auf Weiteres einen ersten exemplarischen, aber in methodischer Hinsicht zwingenden Beleg für Selbstorganisationsphänomene in der Psychotherapie.

13. Literatur

- Abarbanel HDI, Brown R & Kadtke JB (1989) Prediction and System Identification in Chaotic Time Series with Broadband Fourier Spectra. *Physical Letters A*, 138, S. 401-408
- Abarbanel HDI, Brown R & Kadtke JB (1990) Prediction in Chaotic Nonlinear Systems: Methods for Series with Broadband Fourier Spectra. *Physical Review A*, 41, S. 1782-1807
- Adler A (1972/1912) Über den nervösen Charakter. Fischer, Frankfurt am Main
- Adler A (1973/1933) Der Sinn des Lebens. Fischer Taschenbuch Verlag, Hamburg
- Adler A (1977/1907) Studie über Minderwertigkeit von Organen. Fischer, Frankfurt am Main
- Adler A (1978/1927) Lebenskenntnis. Fischer, Frankfurt am Main
- Ahlers C, Friedlmayer S, Hanser J, Hinsch J, Klammer G, Klar S, Reznicek E, Rössler E, Steiner E, Vorpapel H, Wagner H & Wolf F (1994) Antrag der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für systemische Therapie und systemische Studien auf Anerkennung als psychotherapeutische Ausbildungseinrichtung für das Fachspezifikum. Systeme. *Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 8 (1), S. 5-51
- Ambühl B, Dünki R & Ciompi L (1992) Dynamical Systems and the Development of Schizophrenic Symptoms – an Approach to a Formalization. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 195-203
- Ambühl H & Grawe K (1988) Die Wirkungen von Psychotherapien als Ergebnis der Wechselwirkungen zwischen therapeutischem Angebot und Aufnahmebereitschaft der Klient/inn/en. *Zeitschrift für Klinische Psychologie, Psychopathologie, Psychotherapie*, 36, S. 308-327
- Ambühl H & Orlinsky D (1997) Zum Einfluß der theoretischen Orientierung auf die psychotherapeutische Praxis. *Psychotherapeut*, 42 (5), S. 290-298
- an der Heiden U & Mackey MC (1987) Mixed Feedback: A Paradigm for Regular and Irregular Oscillation. In: Rensing L, Heiden Uad & Mackey MC (Hrsg) *Temporal Disorder in Human Oscillatory Systems*. Springer, Berlin, S. 30-46
- an der Heiden U (1992a) Chaos in Health and Disease – Phenomenology and Theory. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 55-87
- an der Heiden U (1992b) Selbstorganisation in dynamischen Systemen. In: Krohn W & Küppers G (Hrsg) *Emergenz – Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung*. Suhrkamp, Frankfurt am Main, S. 57-88
- an der Heiden U (1992c) Der Organismus als selbstherstellendes dynamisches System. *Spektrum der Wissenschaft: Kommunikationsnetzwerke im Körper*, S. 127-154
- an der Heiden U (1993) Dynamische Krankheiten – Konzepte und Beispiele. In: Schiepek G & Spörkel H (Hrsg) *Verhaltensmedizin als angewandte Systemwissenschaft*. Mackinger, Bergheim bei Salzburg, S. 51-65
- an der Heiden U (1996) Chaos und Ordnung, Zufall und Notwendigkeit. In: Küppers G (Hrsg) *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart, S. 97-121
- an der Heiden U (1999) Dynamische Krankheiten: Neue Perspektiven der Medizin. In: Mainzer K (Hrsg) *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Ge-*

- sellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Springer, Berlin, S. 247-263
- Andersen T (1990) Das Reflectierende Team. Modernes Lernen, Dortmund
- Anderson BL, Kiecolt-Glaser JK & Glaser R (1994) A Biobehavioral Model of Cancer Stress and Disease Course. *American Psychologist*, 49 (5), S. 389-404
- Anderson H & Goolishian H (1992) Der Klient als Experte. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 10, S. 176-189
- Anderson JR (1983) *The Architecture of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, MA
- Anderson JR (1993) *Rules of the Mind*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ
- Anderson JR & Lebière C (1998) *The Atomic Components of Thought*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ
- Andrews MP, Buchholz MM & Paolucci B (1980) An Ecological Approach to the Study of the Family. *Marriage and Family Review*, (3), S. 29-49
- Anishchenko VS, Astakhov VV, Neiman AB, Vadivasova TE & Schimansky-Geier L (2002) *Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems (Corrected Second Printing 2003)*. Springer, Berlin Heidelberg
- Ansbacher HL & Ansbacher RR (1972) *Alfred Adlers Individualpsychologie. Eine systematische Darstellung seiner Lehre in Auszügen aus seinen Schriften*. Ernst Reinhardt Verlag, München
- Are'chiga H (1993) Circadian Rhythms. *Current Opinion in Neurobiology*, (3), S. 1005-1010
- Argyris J & Andreadis I (1998a) On the Influence of Noise on the Largest Lyapunov Exponent and on the Geometric Structure of Attractors. *Chaos, Solutions & Fractals*, 9 (9), S. 947-958
- Argyris J & Andreadis I (1998b) On the Influence of Noise on the Correlation Dimension of Chaotic Attractors. *Chaos, Solutions & Fractals*, 9 (3), S. 343-361
- Arnol'd VI (1992) *Ordinary Differential Equations*. Springer, Berlin
- Aronson E (1994) *Sozialpsychologie. Menschliches Verhalten und gesellschaftlicher Einfluß*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Arthur MB & Rousseau DB (Hrsg) (1996) *The Bounderyless Career. A New Employment for a New Organizational Era*. New York, Oxford
- Arthur MB, Inkson K & Pringle JK (1999) *The New Careers*. Sage, London
- Ashford OM (1985) *Prophet or Professor, the Life and Work of Louis Fry Richardson*. Adam Hilger, Bristol and Boston
- Atkinson RL, Atkinson RC, Smith EE, Bem DJ & Hilgard ER (1990) *Introduction to Psychology*. Harcourt Brace Jovanivich, San Diego
- Babloyantz A & Destexhe A (1986) Low Dimensional Chaos in an Instance of Epilepsy. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 83, S. 3513-3517
- Babloyantz A & Destexhe A (1987) Strange Attractors in Human Cortex. In: Rensing L, Heiden Uad & Mackey MC (Hrsg) *Temporal Disorders in Human Oscillatory Systems*. Springer, Berlin, S. 48-57
- Babloyantz A (1990) Chaotic Dynamics in Brain Activity. In: Basar E (Hrsg) *Chaos in Brain Function*. Springer, Berlin, S. 42-49
- Bak P, Chen K & Creutz M (1989) Self-Organized Criticality and the 'Game of Life'. *Nature*, 342, S. 780-782
- Bak P & Chen K (1991) Self-Organized Criticality. *Scientific American*, (Januar), S. 26-33

- Banbrook M, Ushaw G & McLaughlin S (1996) Lyapunov Exponents from a Time Series: a Noise-robust Extraction Algorithm. *Chaos, Solutions & Fractals*, 7 (7), S. 973-976
- Barrios BA & Hartmann DP (1986) The Contributions of Traditional Assessment. Concepts, Issues and Methodologies. In: Nelson RO & Hayes SC (Hrsg) *Conceptual Foundations of Behavioral Assessment*. Guilford Press, New York
- Bartlett FC (1932) *Remembering, a Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Bastine R, Fiedler P & Kommer D (1989) Was ist therapeutisch an der Psychotherapie? Versuch einer Bestandsaufnahme und Systematisierung der psychotherapeutischen Prozeßforschung. *Zeitschrift für Klinische Psychologie*, 18, S. 3-19
- Bateson G (1982) *Geist und Natur. Eine notwendige Einheit*. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Batschelet E (1975) *Introduction to Mathematics for Life Scientists (Second Edition)*. Springer, Berlin
- Beck U (1986) *Risikogesellschaft. Auf dem Weg zu einer anderen Moderne*. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Becker HS & Strauss AL (1956) Careers, Personality, and Adult Socialization. *The American Journal of Sociology*, 62, S. 253-263
- Becker-Carus C (1981) *Grundriß der Physiologischen Psychologie*. UTB (Quelle & Meyer), Heidelberg
- Belusov BP (1981) A Periodic Reaction and its Mechanism. In: Grecova MT (Hrsg) *Autowave Processes in Systems with Diffusion*. USSR Academy of Sciences, Institute of Applied Physics, Gorky, S. 176-186
- Belusov BP (1985) A Periodic Reaction and its Mechanism. In: Field RJ & Burger M (Hrsg) *Oscillations and Traveling Waves in Chemical Systems*. Wiley, New York, S. 605-613
- Benetka G (2002) *Denkstile der Psychologie. Das 19. Jahrhundert*. WUV-Universitätsverlag, Wien
- Bennet WL & Feldman MS (1981) *Reconstructing Reality in the Courtroom: Justice and Judgment in American Culture*. Rutgers University Press, New Brunswick
- Berg IK & de Shazer S (1993) Wie man Zahlen zum Sprechen bringt: Die Sprach in der Therapie. *Familiendynamik*, 18 (2), S. 146-162
- Berg IK & Miller SD (1995) *Kurzzeittherapie bei Alkoholproblemen*. Carl Auer, Heidelberg
- Berkowitz L (1964) Aggressive Cues in Aggressive Behavior and Hostility Cartharsis. *Psychological Review*, 71, S. 104-122
- Berkowitz L & LePage A (1967) Weapons as Aggression-Eliciting Stimuli. *Journal of Personality and Social Psychology*, 7, S. 202-207
- Berkowitz L (1969) The Frustration-Aggression Hypothesis Revisited. In: Berkowitz L (Hrsg) *Roots of Aggression*. Atherton, New York
- Bernstein DS (2003) Escapements, Govenors, Ailerons, Gyros, and Amplifiers: Feedback and Control and the History of Technology. *IEEE Control System Society Magazine*, (to appear)
- Besicovitch AS & Ursell HD (1937) Sets of Fractional Dimensions (V): On Dimensional Numbers of Some Continuous Curves. *Journal of the London Mathematical Society*, 12, S. 18-25
- Bettermann H & van Leeuwen P (1992) Dimensional Analysis of RR Dynamic in 24 hour Electrocardiograms. *Acta Biotheoretica*, 40, S. 297-312

- Bhattacharya J (2000) Complexity Analysis of Spontaneous EEG. *Acta Neurobiological Experiments*, 60, S. 495-501
- Bitterman ME (1969) Thorndike and the Problem of Animal Intelligence. *American Psychologist*, 24, S. 444-453
- Blaser A (1977) *Klinische Urteilsbildung*. Huber, Bern
- Blick H (1989) *Ökologie*. Gustav Fischer, Stuttgart
- Bonney H, Emt K & Strunk G (1998) Modeling the Psychopathological Development of Anorexia Nervosa. Vortrag, gehalten auf: 14th International Congress of the IACAPAP, Stockholm
- Boor CD & Künzler E (1963) *Die Psychosomatische Klinik und ihre Patienten*. Klett, Stuttgart
- Bordens KS & Horowitz IA (1985) Joinder of Criminal Offences: a Review of the Legal and Psychological Literature. *Law and Human Behavior*, 9, S. 339-353
- Born M (1955) Ist die klassische Mechanik tatsächlich deterministisch? *Physikalische Blätter*, (11), S. 49-54
- Bortz J, Lienert G, A. & Boehnke K (2000) *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Springer, Berlin
- Böse R & Schiepek G (1989) *Systemische Theorie und Therapie*. Ein Handwörterbuch. Asanger, Heidelberg
- Böttcher HR (1982) Zur Psychodiagnostik interpersoneller Beziehungen. In: Höck K, Ott J & Vorweg M (Hrsg) *Klinische Psychologie und soziales Verhalten*. Barth, Leipzig
- Bourdieu P (1986) The Forms of Capital. In: Richardson JG (Hrsg) *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*. New York, S. 241-258
- Bozog B & Bühler KE (1988) Wirkfaktoren der Psychotherapie. Spezifische und unspezifische Einflüsse. *Fortschritte der Neurologie und Psychiatrie*, 56, S. 119-132
- Brandt ME, Ademoglu A & Pritchard WS (2000) Nonlinear Prediction and Complexity of Alpha EEG Activity. *International Journal of Bifurkation and Chaos*, 10 (1), S. 123-133
- Bray WC (1921) A Periodic Reaction in Homogeneous Solution and its Relation to Catalysis. *Journal of the American Chemical Society*, 43, S. 1262-1267
- Bray WC & Liebafsky HA (1931) Reactions Involving Hydrogen Peroxid, Iodine and Iodate Ion. *Journal of Physical Chemistry*, 53, S. 38-48
- Breuer F (1989) *Wissenschaftstheorie für Psychologen*. Eine Einführung. Aschedorff Verlag, Münster
- Briggs J & Peat FD (1990) *Die Entdeckung des Chaos*. Hanser, München
- Briggs K (1990) An Improved Method for Estimating Lyapunov Exponents of Chaotic Time Series. *Physical Letters A*, 151, S. 27-32
- Brody AL, Saxena S, Mandelkern MA, Fairbanks LA, Ho ML & Baxter LR (2001) Brain Metabolic Changes Associated with Symptom Factor Improvement in Major Depressive Disorder. *Biological Psychiatry*, 50, S. 171-178
- Broomhead DS & King GP (1986) Extracting Qualitative Dynamics from Experimental Data. *Physica D*, 20, S. 217-226
- Broomhead DS & Lowe D (1988) Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks. *Complex Systems*, 2, S. 321-355
- Brown GW, Harris TO & Peto J (1980) Die Kausalbeziehung zwischen lebensverändernden Ereignissen und psychischen Störungen. In: Katschnik H (Hrsg) *Sozialer Streß und psychische Erkrankung*. Urban & Schwarzenberg, München, S. 214-237

- Brown R, Bryant P & Abarbanel HDI (1991) Computing the Lyapunov Spectrum of a Dynamical System from Observed Time Series. *Physical Review A*, 43, S. 27-87
- Bruder-Bezzel A (1991) *Die Geschichte der Individualpsychologie*. Fischer, Frankfurt am Main
- Brunner J & Bronisch T (2002) Genetik und Neurobiologie suizidalen Verhaltens. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 260-272
- Butz T (1998) *Fouriertransformation für Fußgänger*. Teubner, Stuttgart
- Buzug T & Pfister G (1992) Optimal Delay Time and Embedding Dimension for Delay-Time Coordinates by Analysis of the Global Static and Local Dynamical Behavior of Strange Attractors. *Physical Review A*, 45, S. 7073-7084
- Camazine S (1994) Selbstorganisation als Prinzip. In Bienenkörben entstehen komplexe Honig- und Pollenmuster. In: Deutsch A (Hrsg) *Muster des Lebendigen. Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig, S. 39-54
- Cann A, Holt K & Calhoun L (1999) The Roles of Humor and Sense of Humor in Responses to Stressors. *Humor*, 12, S. 177-193
- Capra F (1992) *Das neue Denken. Ein ganzheitliches Weltbild im Spannungsfeld zwischen Naturwissenschaft und Mystik, Begegnungen und Reflexionen*. DTV, München
- Cartwright DS (1955) Effectiveness of Psychotherapy: A Critic of the Spontaneous Remission Argument. *Journal of Counselling Psychology*, 2, S. 290-296
- Casdagli M (1989) Nonlinear Prediction of Chaotic Time Series. *Physica D*, 35, S. 335-356
- Casdagli M (1992) Chaos and Deterministic versus Stochastic Non-linear Modelling. *Journal of the Royal Statistic Society B*, 54, S. 303-328
- Casdagli MC, Iasemidis LD, Sackellares JC, Roper SN, Gilmore RL & Savit RS (1996) Characterizing Nonlinearity in Invasive EEG Recordings from Temporal Lobe Epilepsy. *Physica D*, 99, S. 381-399
- Casdagli MC, Iasemidis LD, Savit RS, Gilmore RL, Roper SN & Sackellares JC (1997) Non-Linearity in Invasive EEG Recordings from Patients with Temporal Lobe Epilepsy. *Clinical Neurophysiology*, 102 (2), S. 98-105
- Caspar F & Grawe K (1982) *Vertikale Verhaltensanalyse: Analyse des Interaktionsverhaltens als Grundlage für die Problemdefinition und Therapieplanung*. Psychologisches Institut der Universität Bern, Bern
- Caspar F (1986) Die Plananalyse als Konzept und Methode. *Verhaltensmodifikation*, 4, S. 235-256
- Caspar F (Hrsg) (1987) *Problemanalyse in der Psychotherapie. Bestandsaufnahme und Perspektiven*. DGVT, Tübingen
- Caspar F (1989) *Beziehungen und Probleme verstehen. Eine Einführung in die psychotherapeutische Plananalyse*. Hans Huber Verlag, Bern
- Caspar F (1996) *Beziehungen und Probleme verstehen. Eine Einführung in die psychotherapeutische Plananalyse (2., überarbeitete Auflage)*. Hans Huber Verlag, Bern
- Caspar F & Grawe K (1996) Was spricht für, was gegen individuelle Fallkonzeptionen? Überlegungen zu einem alten Problem aus einer neuen Perspektive. In: Caspar F (Hrsg) *Psychotherapeutische Problemanalyse*. DGVT, Tübingen, S. 65-86
- Caspar F (2003) Psychotherapy Research and Neurobiology: Challenge, Chance, or Enrichment? *Psychotherapy Research (International Journal of the Society for Psychotherapy Research, SPR)*, 13 (1), S. 1-23

- Castelfranchi C, Conte R & Paolucci M (1998) Normative Reputation and the Costs of Compliance. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1 (3)
- Cattell RB (1986) *The Handbook for the 16 Personality Factor Questionnaire*. Institute for Personality and Ability, Champaign, IL
- Chaitin GJ (1974) Information Theoretic Computational Complexity. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT20, S. 10-15
- Chang T, Schiff SJ, Sauer T, Gossard J-P & Burke RE (1994) Stochastic Versus Deterministic Variability in Simple Neural Circuits. I. Monosynaptic Spinal Cord Reflexes. *Biophysical Journal*, 67, S. 671-683
- Charms RD, Levy J & Wertheimer M (1954) A Note on Attempted Evaluation of Psychotherapy. *Journal of Clinical Psychology*, 10, S. 233-235
- Chase WG & Simon HA (1973) Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4, S. 55-81
- Cherry EC (1954) *Kybernetik. Die Beziehungen zwischen Mensch und Maschine*. Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen
- Ciampi L & Müller C (1976) *Lebensweg und Alter der Schizophrenen. Eine katamnestiche Langzeitstudie*. Springer, Berlin
- Ciampi L (1982) *Affektlogik. Über die Struktur der Psyche und ihre Entwicklung*. Klett, Stuttgart
- Ciampi L (1989) Zur Dynamik komplexer biologisch-psychosozialer Systeme: Vier fundamentale Mediatoren in der Langzeitentwicklung der Schizophrenie. In: Böker W & Brenner HD (Hrsg) *Schizophrenie als systemische Störung*. Hans-Huber, Bern, S. 27-38
- Ciampi L (1991) Affects as Central Organising Integrating Factors. A New Psychosocial, Biological Model of the Psyche. *British Journal of Psychiatry*, 159, S. 97-105
- Ciampi L (1993) Die Hypothese der Affektlogik. *Spektrum der Wissenschaft*, (2), S. 76-87
- Collet P & Eckmann JP (1980) *Iterated Maps on the Interval as Dynamical System*. Birkhäuser, Basel
- Conen ML (1996) "Wie können wir Ihnen helfen, uns wieder loszuwerden?" – Aufsuchende Familientherapie mit Multiproblemfamilien. *Zeitschrift für systemische Therapie*, (3), S. 178-185
- Conte R & Castelfranchi C (1995) Understanding the Functions of Norms in Social Groups through Simulation. In: Gilbert N & Conte R (Hrsg) *Artificial Societies. The Computer Simulation of Social Life*. UCL Press, London, S. 252-267
- Coveney P & Highfield R (1992) *Anti – Chaos. Der Pfeil der Zeit in der Selbstorganisation des Lebens*. Rowohlt Verlag, Reinbeck bei Hamburg
- Crutchfield JP & McNamara BS (1987) Equation of Motion from a Data Series. *Complex Systems*, 1, S. 417-452
- Czogalik D & Hettinger R (1988) Mehrebenenanalyse der psychotherapeutischen Interaktion: Eine Verlaufsstudie am Einzelfall. *Zeitschrift für Klinische Psychologie*, 17 (1), S. 31-45
- Czogalik D (1989) *Psychotherapie als Prozeß: Mehrebenenanalytische Untersuchung zu Struktur und Verlauf psychotherapeutischer Interaktion*. Habilitationsschrift, Universität Ulm.
- Czogalik D (1991) Eine Strategie der Interaktions-Prozeßforschung. *Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis*, 2, S. 173-186
- Dafilis MP, Liley DTJ & Cadusch PJ (2001) Robust Chaos in a Model of the Electroencephalogram: Implications for Brain Dynamics. *Chaos*, 11 (3), S. 474-478

- D'Ancona U (1926) Dell'influenza della stasi peschereccia del periodo 1914-1918 sul patrimonio ittico dell'Alto Adriatico. Regio Comitato Talassografico Italiano, Memoria, 126, S. 95ff
- D'Ancona U (1954) *The Struggle for Existence*. E.J. Brill, Leiden
- Davis JH (1984) *Order in the Courtroom*. In: Müller DJ, Blackman DE & Chapman AJ (Hrsg) *Psychology and Law*. Wiley, Chichester
- de Laplace PS (1996/1814) *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit*. Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main
- de Shazer S (1985) *Keys to Solution in Brief Therapy*. Norton, New York
- de Shazer S, Berg IK, Lipchik E, Munnally E, Molnar A, Gingerich W & Weiner-Davis M (1986) *Kurztherapie – Zielgerichtete Entwicklung von Lösungen*. *Familiendynamik*, 11 (3), S. 182-205
- de Shazer S (1988a) *Clues*. Norton, New York
- de Shazer S (1988b) *Der Dreh*. Auer, Heidelberg
- de Shazer S (1989) *Wege erfolgreicher Kurzzeittherapie*. Klett-Cotta, Stuttgart
- Denker PG (1946) *Results of Treatment of Psychoneurosis by the General Practitioner. A Follow-up Study of 500 Cases*. *New York State Journal of Medicine*, 46, S. 2164-2166
- Derrida J (1988) *Randgänge der Philosophie*. Original von 1972: *Marges de la philosophie*. Passagen, Wien
- Deutsch A (Hrsg) (1994) *Muster des Lebendigen. Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig
- Dollard J, Doob LW, Miller NE, Mowrer OH & Sears RT (1939) *Frustration and Aggression*. Yale University Press, New Haven
- Dörner D (1989) *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg
- Dörner D, Kreuzig HW, Reither F & Stäudel T (1993) *Lohausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Huber, Bern
- Dörner D (1998) *Bauplan für eine Seele*. Rowohlt, Reinbeck bei Hamburg
- Dörner D, Levi P, Detje F, Becht M & Lippold D (2001) *Der agentenorientierte, sozionische Ansatz mit PSI. Sozionik aktuell*, (2)
- Dörner K & Plog U (Hrsg) (1972) *Sozialpsychiatrie*. Luchterhand, Neuwied und Berlin
- Dörner K & Plog U (1992) *Irren ist menschlich. Lehrbuch der Psychiatrie/Psychotherapie*. Psychiatrie Verlag, Bonn
- Dorsch F, Häcker H & Stapf K-H (Hrsg) (1987) *Psychologisches Wörterbuch*. 11. Auflage. Hans Huber Verlag, Bern
- Dreikurs R (1981/1930) *Grundbegriffe der Individualpsychologie*. (Erstauflage in Auszügen 1930). Klett-Cotta Verlag, Stuttgart
- Dubois DM (1975) *Learning Adaption and Evolution of the Environment Ecosystem Couple*. In: Trapp R & Pichler FR (Hrsg) *Progress in Cybernetics and System Research*. Volume 1. Hemisphere Publishing Corporation, Washington
- Duehrssen A & Jorswieck J (1962) *Zur Korrektur von Eysenks Berichterstattung über Psychoanalytische Behandlungsergebnisse*. *Acta psychotherapeutica et psychosomatica*, 10, S. 329-342
- Duncker K (1935) *Zur Psychologie des Produktiven Denkens*. Springer, Berlin
- Dürr H-P (1990) *Das Netz des Physikers. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse in der Verantwortung*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München

- Dyer L (Hrsg) (1976) *Careers in Organizations*. Ithaca, New York
- Dyson FJ (1978) Characterizing Irregularity. *Science*, 200 (4342), S. 677-678
- D'Zurilla TJ & Goldfried MR (1971) Problem Solving and Behavior Modification. *Journal of Abnormal Psychology*, 78, S. 107-126
- Ebeling W & Jiménez-Montano MA (1980) On Grammars, Complexity, and Information Measures of Biological Macromolecules. *Mathematical Biosciences*, 52, S. 53-71
- Ebeling W, Steuer R & Titchener MR (2001) Partition-Based Entropies of Deterministic and Stochastic Maps. *Stochastic and Dynamics*, 1 (1), S. 1-17
- Ebmeier KP & Kronhaus D (2002) Brain Imaging in Mood Disorders. *Biological Psychiatry*, XVIII (9), S. 1-14
- Eckmann JP & Ruelle D (1985) Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors. *Review of Modern Physics*, 57, 3, S. 617-655
- Eckmann JP, Kamphorst SO, Ruelle D & Ciliberto S (1986) Liapunov Exponents from Time Series. *Physical Review A*, 34, S. 4971-4979
- Eichler E, Buscherowsky H, Göbel R, Damm W, Glatz P, Schulze P & Plötz R (1979) *Wissenspeicher Physik*. VEB Volk und Wissen, Berlin
- Eigen M (1971) Self-Organization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules. *Naturwissenschaften*, 58, S. 465-523
- Eigen M & Schuster P (1979) *The Hypercycle – a Principle of Natural Self-Organization*. Springer, Berlin
- Elbert T & Rockstroh B (1993) Das chaotische Gehirn – Erfassung nichtlinearer Dynamik aus physiologischen Zeitreihen. *Verhaltensmodifikation und Verhaltensmedizin*, (1/2), S. 80-95
- Elbert T, Ray WJ, Kowalik ZJ, Skinner JE, Graf KE & Bierbaumer N (1994) Chaos and Physiology – Deterministic Chaos in Excitable Cell Assemblies. *Physiological Reviews*, 74, S. 1-47
- Ellner S, Gallant AR, McCaffrey D & Nychka D (1991) Convergence Rates and Data Requirements for Jacobian-Based Estimates of Lyapunov Exponents from Data. *Physical Letters A*, 153, S. 357-363
- Elšik W (2003) Gruppendynamik. In: Martin A (Hrsg) *Organizational Behaviour – Verhalten in Organisationen*. Kohlhammer, Stuttgart, S. 173-195
- Enke H (1978) Die Notwendigkeit der Erweiterung persönlichkeitspsychologischer (psychoanalytischer) Aspekte um sozialpsychologische Aspekte bei der Erfassung des psychotherapeutischen Prozesses. *Psychotherapie und Psychosomatik*, 29, S. 161-173
- Epstein IR & Pojman JA (1998) *An Introduction to Nonlinear Chemical Dynamics. Oscillations, Waves, Patterns, and Chaos*. University Press, Oxford
- Eysenck HJ (1952) The Effects of Psychotherapy: An Evaluation. *Journal of Consulting Psychology*, 16, S. 319-324
- Eysenck HJ (1953) *The Structure of Human Personality*. Wiley, New York
- Eysenck HJ (1954) A Reply to Luborsky's Note. *British Journal of Psychology*, 45, S. 132-133
- Eysenck HJ (1955) The Effects of Psychotherapy: A Reply. *Journal of Abnormal Psychology*, 50, S. 147-148
- Eysenck HJ (1959) *Learning Theory and Behavior Therapy*. *Journal of Mental Sciences*, 105, S. 62-75
- Eysenck HJ (Hrsg) (1960) *Behavior Therapy and the Neuroses*. Pergamon Press, Oxford

- Eysenck HJ (1961) The Effects of Psychotherapy. In: Eysenck HJ (Hrsg) Handbook of Abnormal Psychology. Basic Books, New York, S. 697-725
- Eysenck HJ (1968) The Effects of Psychotherapy. Science House, Inc., New York
- Eysenck HJ & Rachmann S (1971) Neurosen: Ursachen und Heilmethoden. VEB Verlag der Wissenschaft, Berlin
- Eysenck HJ (1973) Die Experimentiergesellschaft. Rowohlt, Reinbeck
- Eysenck HJ (1993) Grawe and the Effectiveness of psychotherapy: Some Comments. Psychologische Rundschau, 44, S. 177-180
- Farmer JD (1982) Chaotic Attractors in an Infinite-Dimensional Dynamical System. Physica 7 D, S. 366-393
- Farmer JD & Sidorowich JJ (1987) Predicting Chaotic Time Series. Physical Review Letters, 59, S. 845-848
- Farmer JD & Sidorowich JJ (1988a) Exploiting Chaos to Predict the Future and Reduce Noise. In: Lee YC (Hrsg) Evolution, Learning and Cognition. World Scientific Press, Singapore, S. 277-330
- Farmer JD & Sidorowich JJ (1988b) Exploiting Chaos to Predict the Future and Reduce Noise. Los Alamos National Laboratory, Scientific Report, LA-UR-88-901
- Faure P & Korn H (1997) A Nonrandom Dynamic Component in the Synaptic Noise of a Central Neuron. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 94, S. 6506-6511
- Faure P & Korn H (2001) Is there Chaos in the Brain? I. Concepts of Nonlinear Dynamics and Methods of Investigation. Life Sciences, 324 (9), S. 773-793
- Fechner AT (1828) Über Umkehrungen der Polarität der einfachen Kette. Schweigg. J, 53, S. 61-76
- Feigenbaum MJ (1978) Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations. Journal of Statistical Physics, 19 (1), S. 25-52
- Fell J, Mann K, Röschke J & Gopinathan MS (2000) Nonlinear Analysis of Continuous ECG During Sleep II. Dynamical Measures. Biological Cybernetics, 82, S. 485-491
- Fell J, Fernández G & Elger C, E. (2003) More than Synchrony: EEG Chaoticity may be Necessary for Conscious Brain Functioning. Medical Hypotheses, 61 (1), S. 158-160
- Festinger L (1957) A Theory of Cognitive Dissonance. Stanford University Press, Stanford
- Fiedler P & Rogge K-E (1989) Zur Prozeßuntersuchung psychotherapeutischer Episoden. Zeitschrift für Klinische Psychologie, 18, S. 45-54
- Foppa K (1984) Operationalisierung und der empirische Gehalt psychologischer Theorien. Psychologische Beiträge, 26, S. 539-551
- Förstl H (2002) Biologische Korrelate psychotherapeutischer Interventionen. Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie, 7 (2), S. 184-188
- Foucault M (1978) Dispositive der Macht. Über Sexualität, Wissen und Wahrheit. Merve, Berlin
- Frank M, Blank HR, Heindl J, Kaltenhäuser M, Köchner H, Kreische W, Müller N & Poscher Sua (1993) Improvement of K2-Entropy Calculations by Means of Dimension Scaled Distances. Physica D, 65, S. 359-364
- Frank W (1990) Psychiatrie. Kurzlehrbuch mit Hervorhebung der Prüfungsfakten; 9. Auflage. Jungjohann Verlagsgesellschaft, Stuttgart

- Fraser AM & Swinney H (1986) Independent Coordinates from Strange Attractors from Mutual Information. *Physical Review A*, 33, S. 1134-1140
- Freeman WJ & DiPrisco V (1986) EEG Spatial Pattern Differences with Discriminated Odors Manifest Chaotic and Limit Cycle Attractors in Olfactory Bulb of Rabbits. In: Palm G & Aertsen A (Hrsg) *Brain Theory*. Springer, Berlin, S. 97-119
- Freeman WJ (1999) Noise-Inducted First-Order Phase Transitions in Chaotic Brain Activity. *International Journal of Bifurkation and Chaos*, 9 (11), S. 2215-2218
- Freeman WJ (2000a) A Proposed Name for Aperiodic Brain Activity: Stochastic Chaos. *Neural Networks*, 13, S. 11-13
- Freeman WJ (2000b) Characteristics of the Synchronization of Brain Activity Imposed by Finite Conduction Velocities of Axons. *International Journal of Bifurkation and Chaos*, 10, S. 2307-2322
- Freeman WJ, Kozma R & Werbos PJ (2001) Biocomplexity: Adaptive Behaviour in Complex Stochastic Dynamical Systems. *BioSystems*, 59, S. 109-123
- Freud S & Breuer J (1970/1895) *Studien über Hysterie*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main
- Freud S (1989/1904) *Zur Psychopathologie des Alltagslebens*. Fischer, Frankfurt am Main
- Freud S (2000/1890) *Psychische Behandlung (Seelenbehandlung)*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Schriften zur Behandlungstechnik*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 13-35
- Freud S (2000/1913a) *Die Disposition zur Zwangsneurose (Ein Beitrag zum Problem der Neurosenwahl)*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Zwang, Paranoia und Perversion*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 105-117
- Freud S (2000/1913b) *Totem und Tabu. Einige Übereinstimmungen im Seelenleben der Wilden und der Neurotiker*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Fragen der Gesellschaft, Ursprünge der Religion*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 287-444
- Freud S (2000/1915a) *Triebe und Triebchicksale*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Psychologie des Unbewußten*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 75-102
- Freud S (2000/1915b) *Verdrängung*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Psychologie des Unbewußten*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 103-118
- Freud S (2000/1921) *Massenpsychologie und Ich-Analyse*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Fragen der Gesellschaft, Ursprünge der Religion*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 61-134
- Freud S (2000/1929) *Das Unbehagen in der Kultur*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Fragen der Gesellschaft, Ursprünge der Religion*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 191-286
- Freud S (2000/1938) *Die psychoanalytische Technik*. In: Mitscherlich A, Richards A, Strachey J & Grubich-Simitis I (Hrsg) *Sigmund Freud. Studienausgabe. Schriften zur Behandlungstechnik*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, S. 409-421
- Friedlander ML & Schwartz GS (1985) Toward a Theory of Strategic Self-Presentation in Counseling and Psychotherapy. *Journal of Counseling Psychology*, 32, S. 483-501

- Friedlmayer S, Reznicek E & Strunk G (1996) Sozialisationschancen und Betreuungsstrukturen. Amt für Jugend und Familie der Stadt Wien, Wien
- Friedlmayer S, Reznicek E & Strunk G (1997) Educational Chances and Treatment Structures. Practice and Research in Dialogue. Poster zur Herbstakademie 1997. MA 11 – Sozialpädagogische Grundlagenforschung, Wien
- Friedrich R & Uhl C (1992) Synergetic Analysis of Human Electroencephalograms: Petit-Mal Epilepsy. In: Friedrich R & Wunderlin A (Hrsg) Evolution of Dynamical Structures in Complex Systems. Springer, Berlin, S. 249-265
- Fromm E (1990) Die Entdeckung des gesellschaftlichen Unbewußten. In: Funk R (Hrsg) Schriften aus dem Nachlaß. Band 3. Beltz, Weinheim
- Gadamer H-G (1988) Truth and Method (J. Weinsheimer & D.G. Marshall, Translation). Crossroad, New York
- Galilei G (1642/1638) Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- Gao JB (2001) Detecting Nonstationarity and State Transitions in a Time Series. Physical Review E, 63, S. 066202-1-066202-8
- Garber RM & Maslach C (1977) The Parole Hearing: Decision or Justification? Law and Human Behavior, S. 261-281
- Garson JW (1995) Chaos and Free Will. Philosophical Psychology, 8 (4), S. 365-374
- Gatti RA, Robinson WW, Deinare AS, Nesbit M, McCulloch JJ, Ballow M & Good RA (1972) Cyclic Leukocytosis in Chronic Myelogenous Leukemia. Blood, 1, S. 771-782
- Geckova AM, Dijk van JP, Honcariv R, Grothoff JW & Post D (2003) Influence of Health Risk Behavior and Socio-economic Status of Slovak Adolescents. Croatian Medical Journal, 44 (1), S. 41-49
- Geertz C (1973) The Interpretation of Cultures. Basic Books, New York
- Gerdtham U-G & Johannesson M (2000) Income-related Inequality in Life-years and Quality-adjusted Life-years. Journal of Health Economics, 19, S. 1007-1026
- Gerdtham U-G & Johannesson M (2003) A Note on the Effect of Unemployment on Mortality. Journal of Health Economics, 22, S. 505-518
- Gergen KJ (1994) Realities and Relationships. Soundings in Social Construction. Harvard University Press, Cambridge
- Gibson W & Sterling B (1992) Die Differenz Maschine. Heyne, München
- Giona M, Lentini F & Cimagalli V (1991) Functional Reconstruction and Local Prediction of Chaotic Time Series. Physical Review A, 44, S. 3496-3502
- Glaser BG (1968) Career Concerns and Footholds in the Organization. In: Glaser BG (Hrsg) Organizational Careers – A Sourcebook for Theory. Aldine, Chicago, S. 181-183
- Glaserfeld Ev (1990) Zuerst muß man zu zweit sein. Systeme. Zeitschrift der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für systemische Therapie und systemische Studien, 4 (2), S. 119-135
- Glass L & Mackey MC (1977) From Clock to Chaos. The Rhythms of Life. University Press, Princeton
- Goldberger AL (1987) Nonlinear Dynamics, Fractals, Cardiac Physiology, and Sudden Death. In: Rensing L, Heiden Uad & Mackey MC (Hrsg) Temporal Disorders in Human Oscillatory Systems. Springer, Berlin, S. 118-125

- Goldfried MR & D'Zurilla TJ (1969) A Behavioral-Analytic Model for Assessing Competence. In: Spielberger CD (Hrsg) Current Topics in Clinical and Community Psychology. Academic Press, New York, S. 151-195
- Goldstein J (1999) Emergence as a Construct: History and Issues. *Emergence*, 1 (1), S. 49-72
- Goolishian HA & Anderson H (1988) Menschliche Systeme. Vor welche Probleme sie stellen und wie wir mit ihnen arbeiten. In: Reiter L, Brunner E & Reiter-Theil S (Hrsg) Von der Familientherapie zur systemischen Perspektive. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 189-216
- Grahn A, Sundén L, Olsson L, Deutsch A & Löfberg J (1994) Das Wandern ist der Zellen Lust. Bewegung von Pigmentzellen führt zur Musterbildung von Salamanderlarven. In: Deutsch A (Hrsg) Muster des Lebendigen. Faszination ihrer Entstehung und Simulation. Vieweg Verlag, Braunschweig, S. 161-182
- Grammer K (1993) Signale der Liebe. Die biologischen Gesetze der Partnerschaft. Hoffmann & Campe, Hamburg
- Grassberger P & Procaccia I (1983a) On the Characterization of strange Attractors. *Physical Review Letters*, 50, S. 346-356
- Grassberger P & Procaccia I (1983b) Measuring the Strangeness of strange Attractors. *Physica D*, 9, S. 189-208
- Grawe K & Dzielwas H (1978) Interaktionelle Verhaltenstherapie. Vortrag auf dem Jahreskongreß der DGVT in Berlin 1977. Sonderheft I der Mitteilungen der DGVT, S. 27-49
- Grawe K (1986) Schema-Theorie und heuristische Psychotherapie. Psychologisches Institut der Universität Bern, Bern
- Grawe K (1987a) Psychotherapie als Entwicklungsstimulation von Schemata. Ein Prozeß mit nicht vorhersehbarem Ausgang. In: Caspar F (Hrsg) Problemanalyse in der Psychotherapie. DGVT, Tübingen, S. 72-87
- Grawe K (1987b) Schema-Theorie und Heuristische Psychotherapie. Zweite, leicht veränderte Auflage des Forschungsberichtes 1986/1. Psychologisches Institut der Universität Bern, Bern
- Grawe K (1988) Der Weg entsteht beim Gehen. Ein heuristisches Verständnis von Psychotherapie. *Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis*, (1), S. 39-49
- Grawe K (1992) Psychotherapieforschung zu Beginn der neunziger Jahre. *Psychologische Rundschau*, 43, S. 132-162
- Grawe K, Donati R & Bernauer F (1994) Psychotherapie im Wandel. Von der Konfession zur Profession. Hogrefe, Göttingen
- Grawe K (1998) Psychologische Therapie. Hogrefe, Göttingen
- Grawe K (1999) Gründe und Vorschläge für eine Allgemeine Psychotherapie. *Psychotherapeut*, 44 (6), S. 350-359
- Grawe K & Grawe-Gerber M (1999) Ressourcenaktivierung. *Psychotherapeut*, 44 (2), S. 63-73
- Grawe-Gerber M & Benjamin LS (1989) Structural Analysis of Social Behavior (SASB). Coding Manual for Psychotherapy Research. Forschungsbericht der Universität Bern, Bern
- Green CD (2000) Classics in the History of Psychology. York University, <http://psychclassics.yorku.ca>, abgefragt am: 18.02.2003.2003
- Grehn J, Hessberg Av, Holz H-G, Krause J, Krüger H & Schmidt HK (Hrsg) (1986) Physik (Metzler). Für den kursorientierten Unterricht in der gymnasialen Oberstufe. J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Ernst Poeschel Verlag, Stuttgart

- Groddeck G (1925) Das Es und die Psychoanalyse, nebst einigen Anmerkungen zum Kongresswesen. *Die Arche*, 1 (10), S. 1-15
- Groddeck G (1979/1923) Das Buch von Es. Psychoanalytische Briefe an eine Freundin. Fischer, Frankfurt am Main
- Gruhl P (1995) Die Sequentielle Plananalyse einer Psychotherapie – der Therapeut. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Bamberg
- Guerry D, Dale DC, Omine M, Perry S & Wolff SM (1973) Periodic Hematopoiesis in Human Cyclic Neutropenia. *Journal of Clinical Investigations*, 52, S. 3220-3230
- Gunz H (1989) Careers and Corporate Cultures. Managerial Mobility in Large Corporations. Blackwell, Oxford, New York
- Guthrie ER (1952) *The Psychology of Learning (Revised Edition)*. Harper Bros., Massachusetts
- Gutierrez K, Wagner E & Strunk G (1999) Abschlußbericht Teil II. Maßnahmenvollzug – Sexualdelinquenz gefördert durch: Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank. Projekt-Nr. 5365. Universitätsklinik für Psychiatrie, Wien
- Hadamard J (1898) Les surfaces à courbures opposées et lignes géodésiques. *J. Math. pures appl.*, S. 27-73
- Hagner M (1997) *Homo Cerebralis. Der Wandel vom Seelenorgan zum Gehirn*. Berlin Verlag, Berlin
- Haken H (1979) Pattern Formation and Pattern Recognition – An Attempt at a Synthesis. In: Haken H (Hrsg) *Pattern Formation by Dynamic Systems and Pattern Recognition*. Springer, Berlin
- Haken H (1985) Synergetik. Eine Einführung. Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie. Springer, Berlin
- Haken H, Kelso JAS & Bunz H (1985) A Theoretical Model of Phase Transitions in Human Hand Movements. *Biological Cybernetics*, 51, S. 347-356
- Haken H (1987) Die Selbstorganisation der Information in biologischen Systemen aus der Sicht der Synergetik. In: Küppers B-O (Hrsg) *Ordnung aus dem Chaos*. Piper, München, S. 127-156
- Haken H (1990a) *Synergetics. An Introduction*. Springer, Berlin
- Haken H (1990b) Synergetics as a Tool for the Conceptualization and Mathematization of Cognition and Behavior – How Far Can we Go? In: Haken H & Stadler M (Hrsg) *Synergetics of Cognition*. Springer, Berlin, S. 2-31
- Haken H & Stadler M (Hrsg) (1990) *Synergetics of Cognition*. Springer Series in Synergetics, Vol. 45. Springer, Berlin
- Haken H & Köpchen HP (Hrsg) (1991) *Rhythms in Physiological Systems*. Springer, Berlin
- Haken H & Wunderlin A (1991) *Die Selbststrukturierung der Materie*. Vieweg, Braunschweig
- Haken H (1992) Synergetics in Psychology. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 32-54
- Haken H (1995) *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik – Die Lehre vom Zusammenwirken* (Erstauflage bei DVA, 1981). Rohwolt, Reinbeck bei Hamburg
- Haken H (1996) Der Synergetische Computer. In: Küppers G (Hrsg) *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart, S. 176-199
- Haley J (1978) *Gemeinsamer Nenner Interaktion. Strategien der Psychotherapie*. (Ersterscheinen: *Strategies of Psychotherapy*. 1963). *Leben lernen* 34. Pfeiffer, München

- Hall DT (1976) *Careers in Organizations*. Addison-Wesley, Santa Monica
- Hall DT (Hrsg) (1996) *The Career is Dead – Long Live the Career. A Relational Approach to Careers*. Jossey-Bass Publishers, San Francisco
- Harms HM, Prank K, Brosa U, Schlinke E, Neubauer O, Brabant G & Hesch RD (1992) Classification of Dynamical Diseases by New Mathematical Tools: Application of Multi-dimensional Phase Analyses to the Pulsatile Secretion of Parathyroid Hormone. *European Journal of Clinical Investigation*, 22, S. 371-377
- Hausdorff F (1919) Dimension und äußeres Maß. *Mathematische Annalen*, 79, S. 157-179
- Hebb DO (1949) *The Organization of Behavior*. Wiley, New York
- Hegerl U, Henkel V & Pogarell O (2002) Neurobiologische Erklärungsansätze bei Zwangsstörungen. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 228-233
- Hegger R, Kantz H & Schreiber T (1999) Practical Implementation of Nonlinear Time Series Methods: The TISEAN Package. *Chaos*, 9, S. 413-435
- Hegger R, Kantz H & Schreiber T (2000) TISEAN. 2.1. Frankfurt (Main) und Dresden, <http://www.mpipks-dresden.mpg.de/~tisean/>
- Hehlmann W (1967) *Geschichte der Psychologie*. Alfred Körner Verlag, Stuttgart
- Heinl P (1987) Die Technik der visuellen Analyse von Familienstambäumen. *Familiendynamik*, 12, S. 118-138
- Heinl P (1988) Kontext und Kommunikation: Koordinaten des Genogramms. *Integrative Therapie*, 14 (4), S. 365-375
- Hempel C & Oppenheim P (1948) *Studies in the Logic of Explanation*. *Philosophy of Science*, 15, S. 135-175
- Henman LD (2001) Humor as a Coping Mechanism: Lessons from POWs. *Humor*, 14 (1), S. 83-94
- Hentschel U (1990) Zur Psychotherapeutischen Allianz. In: Tschuschke V & Czogalik D (Hrsg) *Welche Effekte verändern? Zur Frage der Wirkmechanismen therapeutischer Prozesse*. Springer, Berlin, S. 71-89
- Hermann A (2003) *Karrieremuster im Management als Ergebnis geschlechtlich gesteuerter Austauschprozesse. Die Sozialtheorie Pierre Bourdieus als Ausgangspunkt für eine geschlechterbasierte Karrierebetrachtung*. Dissertationsschrift, Wien
- Herrmann T (1969) *Lehrbuch der empirischen Persönlichkeitsforschung*. Hogrefe, Göttingen
- Hess B & Boiteux A (1980) Oscillations in Biochemical Systems. *Berichte der Bunsengesellschaft Physical Chemistry Chemical Physics*, 84 (4), S. 346-351
- Hirsch A (1989) *Rechte Psychologie*. Hans Jürgen Eysenck und seine Wissenschaft. A-sanger, Heidelberg
- Hobbes T (1962/1651) *Leviathan*. Collier Books, New York
- Hofstadter DR (1985) *Gödel Escher Bach. Ein Endlos geflochtenes Band* (Originalausgabe: 1979). Klett-Cotta, Stuttgart
- Holstein JA (1985) Jurors' Interpretation and Jury Decision Making. *Law and Human Behavior*, 9, S. 83-100
- Holzkamp K (1972) Zum Problem der Relevanz psychologischer Forschung für die Praxis. In: Holzkamp K (Hrsg) *Kritische Psychologie. Vorbereitende Arbeiten*. Fischer, Frankfurt am Main, S. 9-34

- Horowitz LM, Rosenberg SE, Baer BA, Ureno G & Villasenor VS (1988) Inventory of Interpersonal Problems: Psychometric Properties and Clinical Application. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 56, S. 885-892
- Horowitz MJ (1987) *States of Mind*. Plenum Press, New York
- Hubermann BA & Hogg T (1986) Complexity and Adaptation. *Physica D*, 22, S. 376-384
- Hughes EC (1951) Career and Office. In: Dubin R (Hrsg) *Human Relations in Administration*. Prentice-Hall, New York, S. 96-99
- Hume D (1778/1739) *A Treatise of Human Nature*. Clarendon Press, Oxford
- Hunt BR & Yorke JA (1993) Maxwell on Chaos. *Nonlinear Science Today*, 3 (1), S. 1-4
- Hütt M-T (2001) *Datenanalyse in der Biologie*. Springer, Berlin
- Iasemidis LD, Sackellares JC, Zaveri H & Williams W (1990) Phase Space Topography and the Lyapunov Exponent of Electrocorticograms in Partial Seizures. *Brain Topography*, 2, S. 187-201
- Iasemidis LD & Sackellares JC (1991) The Evolution with Time of the Spatial Distribution of the Largest Lyapunov Exponent on the Human Epileptic Cortex. In: Duke D & Pritchard W (Hrsg) *Measuring Chaos in the Human Brain*. World Scientific, Singapore, S. 49-82
- Iasemidis LD & Sackellares JC (1996) Chaos Theory and Epilepsy. *The Neuroscientist*, (2), S. 118-126
- IBW (Hrsg) (1997) *Lebensbegleitendes Lernen*. ibw (Institut für Bildungsforschung der Wirtschaft), Wien
- Jackson A (1999) The Dream of a Swedish Mathematician: The Mittag-Leffler Institute. *Notices of the American Mathematical Society*, 46 (9), S. 1050-1058
- Jackson DD (1980) Das Studium der Familie. In: Watzlawick P & Weakland JH (Hrsg) *Interaktion. Menschliche Probleme und Familientherapie*. Piper, München, S. 21-46
- Jaeggi E (1993) Das Flimmern auf der Leinwand: Psychotherapieforschung und Psychotherapie. *Journal für Psychologie*, 1, S. 53-63
- Jedynak A, Bach M & Timmer J (1993) Failure of Dimension Analysis in a Simple Five-Dimensional System. *Physical Review*, E, 50, S. 1770-1780
- Jiménez J, Moreno JA & Ruggeri GJ (1992) Forecasting on Chaotic Time Series: A Local Optimal Linear-Reconstruction Method. *Physical Review A*, 45, S. 3553-3558
- Jiménez-Montano MA (1984) On the Syntactic Structure of Protein Sequences and the Concept of Grammar Complexity. *Bulletin of Mathematical Biology*, 46, S. 641-659
- Jing H & Takigawa M (2000) Topographic Analysis of Dimension Estimates of EEG and Filtered Rhythms in Epileptic Patients with Complex Seizures. *Biological Cybernetics*, 83 (5), S. 391-397
- Jirsa VK, Fuchs A & Kelso JAS (1998) Connecting Cortical and Behavioral Dynamics: Bimanual Coordination. *Neural Computation*, 10, S. 2019-2045
- Jones MC (1924) A Laboratory Study of Fear: The Case of Peter. *Pedagogical Seminary*, 31, S. 308-315
- Jonsson D, Ferraz-Nunes J & Rahmqvist M (2002) Socio-Economic Evaluation of Mental Health as a Basis for Financing Health Care in Sweden. *International Advances in Economic Research*, 8 (2), S. 107-118
- Kahle W (Hrsg) (1991) *Taschenatlas der Anatomie für Studium und Praxis*, in 3 Bänden. Band 3: Nervensystem und Sinnesorgane. Georg Thieme Verlag, Deutscher Taschenbuch Verlag, Stuttgart

- Kanfer FH & Phillips JS (1970) *Learning Foundations of Behavior Therapy*. Wiley, New York
- Kanfer FH & Karoly P (1972) *Self-Regulation and its Clinical Applications*. In: Johnson RC, Dolecki PR & Mowrer OH (Hrsg) *Conscience, Contract and Social Reality: Theory and Research in Behavioral Science*. Holt, Rinehart & Winston, New York
- Kanfer FH, Reinecker H & Schmelzer D (2000) *Selbstmanagement-Therapie. Ein Lehrbuch für die klinische Praxis* (3. Auflage). Springer, Berlin
- Kaniza G (1971) *Contours without Gradients or Cognitive Contours*. *Italian Journal of Psychology*, S. 93-112
- Kaniza G (1979) *Organization in Vision: Essays on Gestalt Perception*. Praeger, New York
- Kant I (1766/1780) *Kritik der reinen Vernunft*. Philipp Reclam, Stuttgart
- Kantz H (1994) *A Robust Method to Estimate Maximal Lyapunov Exponents of a Time Series*. *Physical Letters A*, 185, S. 77-87
- Kantz H & Schürmann T (1996) *Enlarged Scaling Ranges for the KS-Entropy and the Information Dimension*. *Chaos*, 6 (2), S. 167-171
- Kapfhammer HP (2002) *Neurobiologie der Posttraumatischen Belastungsstörung*. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 247-259
- Kapfhammer H-P (1998) *Psychotherapie und Pharmakotherapie*. *Psychotherapeut*, 43 (6), S. 331-351
- Kaplan D & Glass L (1992) *Direct Test for Determinism in a Time Series*. *Physical Review Letters*, 68, S. 427-430
- Kaufmann C & Auer DP (2002) *Bildgebende Verfahren in der psychiatrischen Hirnforschung*. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 196-202
- Kazantsev E (1998) *Unstable Periodic Orbits and Attractor of the Lorenz Model*. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Rocquencourt, 3344
- Keller B (1988) *Selbstmodifizierende Produktionssysteme zur Modellierung kognitiver Entwicklung nach David Klahr*. In: Flammer A (Hrsg) *Entwicklungstheorien. Psychologische Theorien der menschlichen Entwicklung*. Hans Huber, Bern, S. 201-218
- Kelly GA (1955) *A Theory of Personality. The Psychology of Personal Constructs*. Norton, New York
- Kelso JAS & Fuchs A (1995) *Self-Organizing Dynamics of the Human Brain: Critical Instabilities and Sil'nikov Chaos*. *Chaos*, 5 (1), S. 64-69
- Kiecolt-Glaser JK & Glaser R (1988) *Methodological Issues in Behavioral Immunology Research with Humans*. *Brain, Behaviour, and Immunity*, 2, S. 67-78
- Kiecolt-Glaser JK & Glaser R (1992) *Psychoneuroimmunology: Can Psychological Interventions Modulate Immunity?* *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 60 (4), S. 569-575
- Kiecolt-Glaser JK, Page GG, Marucha PT, MacCallum RC & Glaser R (1998) *Psychological Influences on Surgical Recovery. Perspectives From Psychoneuroimmunology*. *American Psychologist*, 53 (11), S. 1209-1218
- Kiecolt-Glaser JK & Newton TL (2001) *Marriage and Health: His and Hers*. *Psychological Bulletin*, 127 (4), S. 472-503
- Kiecolt-Glaser JK, McGuire L, Robles TF & Glaser R (2002) *Emotions, Morbidity, and Mortality. New Perspectives from Psychoneuroimmunology*. *Annual Review on Psychology*, 53, S. 83-107

- Kiecolt-Glaser JK, Bane C, Glaser R & Malarkey WB (2003) Love, Marriage, and Divorce: Newlyweds' Stress Hormones Foreshadow Relationship Changes. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 71 (1), S. 176-188
- Kiesler DJ (1983) The 1982 Interpersonal Circle: A Taxonomy for Complementarity in Human Transactions. *Psychological Review*, 90, S. 185-214
- Klahr D (1973) A Production System for Counting, Subitizing and Adding. In: Chase WG (Hrsg) *Visual Information Processing*. Academic Press, New York, S. 527-546
- Klahr D & Wallace JG (1973) The Role of Quantification Operators in the Development of Conservation of Quantity. *Cognitive Psychology*, 4, S. 301-327
- Klahr D & Siegler R (1978) The Representation of Children's Knowledge. In: Reese HW & Lipsitt LP (Hrsg) *Advances in Child Development*. Academic Press, New York, S. 61-115
- Klahr D (1981) Informationsverarbeitungsmodelle der Denkentwicklung. In: Spada H & Kluwe RH (Hrsg) *Studien zur Denkentwicklung*. Huber, Bern, S. 231-288
- Klir G (1991) *Facets of Systems Science*. Plenum Press, New York
- Koffka K (1922) Perception: An Introduction to Gestalt-theorie. *Psychological Bulletin*, 19, S. 531-585
- Köhler M (1992) Die Sequentielle Plananalyse: Entwicklung und Erprobung einer neuen Methode der Psychotherapie-Prozeßforschung. Teil 1: Analyse der Klientin. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Bamberg
- Köhler W (1920) *Die psychischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*. Vieweg, Braunschweig
- Köhler W (1938) *The Place of Value in a World of Facts*. Liveright, New York
- Kolmogorov AM (1965) Three Approaches to the Definition of the Concept Quantity of Information. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT14, S. 662-669
- Konecni VJ & Ebbeson EB (1979) External Validity of Research in Legal Psychology. *Law and Human Behavior*, 3, S. 39-70
- Köppen J (2000) Three Body Problem.
<http://astro.u-strasbg.fr/~koppen/body/ThreeBody.html>, abgefragt am: 20.05.2002
- Koukkou M, Lehmann D, Wackermann J, Dvorak I & Henggeler B (1992) The Dimensional Complexity of the EEG in Untreated Acute Schizophrenics, in Persons in Remission after a First Schizophrenic Episode, and in Controls. *Schizophrenia Research*, (6), S. 129
- Kowalik ZJ & Elbert T (1994) Changes of Chaoticness in Spontaneous EEG/MEG. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 29 (3), S. 270-282
- Kowalik ZJ, Schiepek G, Kumpf K, Roberts LE & Elbert T (1997) Psychotherapy as a Chaotic Process. Part II: The Application of Nonlinear Analysis Methods on Quasi Time Series of the Client-Therapist Interaction: A Nonstationary Approach. *Psychotherapy Research (International Journal of the Society for Psychotherapy Research, SPR)*, 7 (2), S. 197-218
- Kraepelin E (1909) *Psychiatrie. Ein Lehrbuch*, 8. Auflage. Barth, Leipzig
- Kratky KW (2003) *Komplementäre Medizinsysteme. Vergleich und Integration*. Ibero Verlag, Wien
- Kriz J (1989) Synergetik in der Klinischen Psychologie. *Forschungsberichte aus dem Fachbereich Psychologie der Universität Osnabrück*, Osnabrück, 73
- Kriz J (1990) Synergetics in Clinical Psychology. In: Haken H & Stadler M (Hrsg) *Synergetics of Cognition*. Springer, Berlin, S. 393-404

- Kriz J (1992) Simulation of Psychological Processes by Population Dynamics. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 150-162
- Kriz J (1994) *Grundkonzepte der Psychotherapie. Eine Einführung*. Beltz PVU, Weinheim
- Kriz W (2000) *Lernziel: Systemkompetenz. Planspiel als Trainingsmethode*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Kruse P, Stadler M, Pavlekovic B & Gheorgiu V (1992) Instability and Cognitive Order Formation: Self-Organization Principles, Psychological Experiments and Psychotherapeutic Interventions. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 102-117
- Kuhn TS (1973) *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. (The Structure of Scientific Revolutions. Chicago: University of Chicago Press 1962)*. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Kuhn TS (1974) Anmerkungen zu Lakatos. In: Diederich W (Hrsg) *Theorien der Wissenschaftsgeschichte. Beiträge zur diachronen Wissenschaftstheorie*. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Kuhn TS (1977) *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Küppers G (Hrsg) (1996) *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart
- Lai Y-C, Osorio I, Harrison MAF & Frei MG (2002) Correlation-Dimension and Autocorrelation Fluctuations in Epileptic Seizure Dynamics. *Physical Review E*, 65, S. 65-69
- Laird J, Newell A & Rosenbloom P (1987) SOAR: An Architecture for General Intelligence. *Artificial Intelligence*, 33, S. 1-64
- Landis CC (1938) A Statistical Evaluation of Psychotherapeutic Methods. In: Hinsie SE (Hrsg) *Concepts and Problems of Psychotherapy*. Heinemann, London, S. 155-165
- Langthaler W & Schiepek G (Hrsg) (1996) *Selbstorganisation und Dynamik in Gruppen*. Lit-Verlag, Münster
- Lapedes AS & Farber R (1987) *Nonlinear Signal Processing Using Neural Networks: Prediction and System Modelling*. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, LA-UR-87-2662
- Laux L & Weber H (1993) *Emotionsbewältigung und Selbstdarstellung*. Kohlhammer, Stuttgart
- Lazarus AA (1958) New Methods in Psychotherapy: A Case Study. *South African Medical Journal*, 32, S. 660-664
- Lazarus RS & Launier R (1981) Streßbezogene Transaktion zwischen Person und Umwelt. In: Nitsch J (Hrsg) *Streß. Theorien, Untersuchungen, Maßnahmen*. Hans Huber, Bern, S. 213-259
- Leary T (1957) *Interpersonal Diagnosis*. Roland Press, New York
- LeBon G (1961/1895) *Psychologie der Massen (Original: Psychologie des foules – 1895)*. Körner, Stuttgart
- Lefcourt HM, Davidson K & Prkachin KM (1997) Humor as a Stress Moderator in the Prediction of Blood Pressure Obtained During Five Stressful Tasks. *Journal of Research in Personality*, 31, S. 523-542
- Leist K-H (1999) Synergetische Lehr-Lernprozesse des Bewegungssystems. In: Mainzer K (Hrsg) *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft*.

- Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Springer, Berlin, S. 207-220
- Lempel A & Ziv J (1978) Compression of Individual Sequences Via Variable-Rate Coding. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT 24, S. 530-536
- Lerner DE (1996) Monitoring Changing Dynamics with Correlation Integrals: Case Study of an Epileptic Seizure. *Physica D*, 97, S. 563-576
- Leslie PH & Gower JC (1960) Properties of a Stochastic Model for the Predator-Prey Type of Interaction Between Two Species. *Biometrika*, 47, S. 219-301
- Leuchter AF, Cook IA, Witte EA, Morgan M & Abrams M (2002) Changes in Brain Function of Depressed Subjects During Treatment with Placebo. *American Journal of Psychiatry*, 159, S. 122-129
- Levold T (1993) Systemische Therapie zwischen Konstruktivismus und Inquisition. Zum therapeutischen Umgang mit Mißhandlung und sexueller Gewalt in der Familie. *Kontext*, 1 (1), S. 26-35
- Lewin K (1935) *A Dynamic Theory of Personality*. McGraw-Hill, New York
- Lewinter R (1990) Georg Groddeck. *Studien zu Leben und Werk*. Fischer Verlag, Frankfurt am Main
- Li T-Y & Yorke JA (1975) Period Three Implies Chaos. *American Mathematical Monthly*, 82 (6), S. 985-992
- Liebert W & Schuster HG (1989) Proper Choice of Time Delay for the Analysis of Chaotic Time Series. *Physical Letters A*, 142, S. 107-111
- Liebovitch LS & Tóth TI (1989) A Fast Algorithm to Determine Fractal Dimension by Box Counting. *Physical Letters A*, 141, S. 386-390
- Lienert G, A. & Raatz U (1994) *Testaufbau und Testanalyse*. Beltz, PVU, Weinheim
- Liening A (1998) *Komplexe Systeme zwischen Ordnung und Chaos*. Lit-Verlag, Münster
- Lindsley OR, Skinner BF & Solomon HC (1953) *Studies in Behavior Therapy*. Status Report 1. Metropolitan State Hospital. M.A.
- Linsay PS (1991) An Efficient Method of Forecasting Chaotic Time Series Using Linear Interpolations. *Physical Letters A*, 153, S. 353-356
- Loftus EF & Palmer JC (1974) Reconstruction of Automobile Destruction: An Example of the Interaction Between Language and Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 13, S. 585-589
- Longo GO (1995) Die Simulation bei Mensch und Maschine. In: Braitenberg V & Hosp I (Hrsg) *Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, S. 26-43
- Lorenz EN (1963) Deterministic Non-Periodic Flow. *Journal of Atmosphere Science*, 20, S. 130-141
- Lorenz EN (1991) Dimension of Weather and Climate Attractors. *Nature*, 353, S. 241-242
- Lotka AJ (1925) *Elements of Physical Biology*. Wiliam and Wilkins, Baltimore
- Luborsky L (1954) A Note on Eysenck's Article "The Effects of Psychotherapy: An Evaluation". *British Journal of Psychology*, 45, S. 129-131
- Luborsky L & Singer B (1975) Comparative Studies of Psychotherapy: Is It True that "Everyone has Won and All Must Have Prizes?" *Archives of General Psychiatry*, 32, S. 995-1008
- Luborsky L & Crits-Christoph P (1990) *Understanding Transference: The CCRT Method (The Core Conflictual Relationship Theme)*. Basic Books, New York

- Ludewig K (1987) 10 + 1 Leitsätze bzw. Leitfragen. Zeitschrift für Systemische Therapie, 5 (3), S. 178-191
- Ludewig K (1992) Systemische Therapie. Grundlagen klinischer Theorie und Praxis. Klett-Cotta, Stuttgart
- Ludewig K (1996) Systemische Therapie in Deutschland. Familiendynamik, (1), S. 95-115
- Luhmann N (1984) Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Liotard J-F (1984) The Post-Modern Condition: A Report on Knowledge. University of Minnesota Press, Minneapolis
- Mackey MC (1978) A Unified Hypothesis for the Origin of Aplastic Anemia and Periodic Hematopoiesis. Blood, 51, S. 941-956
- Mackey MC & an der Heiden U (1982) Dynamical Diseases and Bifurcations. Funktionelle Biologie & Medizin, 1, S. 156-164
- Mackey MC & Milton J (1987) Dynamical Diseases. Annals of the New York Academy of Sciences, 504, S. 16-32
- Mackinger H (1984) Sind Rahmenbedingungen Randbedingungen? Überlegungen zum Bereich stationärer Psychotherapie. Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis, 16, S. 543-552
- Maderthaner M (1994) Verhaltenstherapeutische Ansätze. Klassische und Kognitive Verhaltenstherapie. In: Stumm G & Wirth B (Hrsg) Psychotherapie. Schulen und Methoden. Eine Orientierungshilfe für Theorie und Praxis. Falter Verlag, Wien, S. 107-139
- Mahoney MJ (1974) Cognition and Behavior Modification. Ballinger, Cambridge
- Mainzer K (1995) Computer – Neue Flügel des Geistes? Die Evolution computergestützter Technik, Wissenschaft, Kultur und Philosophie. De Gruyter, Berlin
- Mainzer K (1996) Zeit. Von der Urzeit zur Computerzeit (2., durchgesehene Auflage). Beck, München
- Mainzer K (Hrsg) (1999) Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Springer, Berlin
- Mandelbrot BB (1987) Die fraktale Geometrie der Natur. Birkhäuser, Basel
- Manteufel A & Schiepek G (1994) Kontextbezogene Selbsterfahrung und Systemkompetenz. In: Laireiter A & Elke G (Hrsg) Selbsterfahrung in der Verhaltenstherapie. DGVT, Tübingen
- Manteufel A (1995) "Chaosmania" – Über Chaostheorie und ihren Nutzen für Klinische Psychologie und Psychiatrie. Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften, 9 (1), S. 24-40
- Manteufel A & Schiepek G (1998) Systeme spielen. Selbstorganisation und Konzeptentwicklung in sozialen Systemen (unter Mitarbeit von Reicherts, M., Strunk, G., Wevers, D.). Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Manteufel A (2003) Chromosomen non est omen – Über die Beziehung zwischen Neurobiologie und Psychotherapie. Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften, 17 (1), S. 3-21
- Martin RA, Kuiper NA, Olinger LJ & Dance KA (1993) Humor, Coping with Stress, Self-concept, and Psychological Well-being. Humor, 6, S. 89-104

- Martin RA, Puhlik-Doris P, Larsen G, Gray J & Weir K (2003) Individual Differences in use of Humor and their Relation to Psychological Well-Being: Development of the Humor Styles Questionnaire. *Journal of Research in Personality*, S. 48-75
- Masterman M (1974) Die Natur eines Paradigmas. In: Lakatos I & Musgrave A (Hrsg) *Kritik und Erkenntnisfortschritt*. Vieweg, Braunschweig, S. 59-88
- Maturana HR (1982) *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit*. Vieweg, Braunschweig
- Maturana HR & Varela F (1987) *Der Baum der Erkenntnis*. Scherz, Bern, München, Wien
- Maxwell JC (1969/1873) *Essay on Determinism and Free Will*. In: Campbell L & Garnett W (Hrsg) *The Life of James Clerk Maxwell, with Selections from his Correspondence and Occasional Writings* (MacMillan and C., London, 1884). Johnson Reprint, New York, S. 440-444
- Mayer-Kress G (Hrsg) (1986) *Dimension and Entropies in Chaotic Systems*. Springer, Berlin
- Mayo E (1933) *The Human Problems of an Industrial Civilization*. MacMillan, New York
- Mayo E (1945) *Social Problems of an Industrial Civilization*. Routledge & Kegan Paul, Boston
- Mayrhofer W, Steyrer J, Meyer M, Erten C, Hermann A, Iellatchitch A, Mattl C & Strunk G (2000) *Towards a Habitus Based Concept of Managerial Careers*. Vortrag, gehalten auf: Academy of Management, Toronto, Canada
- Mayrhofer W, Meyer M, Steyrer J, Iellatchitch A, Schiffinger M, Strunk G, Erten-Buch C, Hermann A & Mattl C (2002) Einmal gut, immer gut? Einflussfaktoren auf Karrieren in "neuen" Karrierefeldern. *Zeitschrift für Personalforschung*, 16 (3), S. 392-414
- McCrae RR & Costa PT (1987) Validation of the Five-Factor Model of Personality Across Instruments and Observers. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52, S. 81-90
- McGloskey M (1983) *Irrwege der Intuition in der Physik*. Spektrum der Wissenschaften, 6, S. 88-99
- McGoldrick SH & Gerson R (1990) *Genogramme in der Familienberatung*. Huber, Stuttgart
- McNeilly CL & Howard KI (1991) The Effects of Psychotherapy: A Re-evaluation Based on Dosage. *Psychotherapy Research*, 1, S. 74-78
- McSharry PE, Smith AL & Tarassenko L (2003) Comparison of Predictability of Epileptic Seizures by a Linear and a Nonlinear Method. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50 (5), S. 628-633
- Mead GH (1968/1934) *Geist, Identität und Gesellschaft aus der Sicht des Sozialbehaviorismus*. Fischer, Frankfurt am Main
- Meadows D, Meadows D, Zahn E & Milling P (1972) *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart
- Meisenzahl EM & Möller H-J (2002) Neurobiologie kognitiver Störungen bei schizophrenen Erkrankungen. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 273-279
- Metzger W (1953) *Gesetze des Sehens*. Kramer, Frankfurt
- Metzger W & Pongratz LJ (1972) Wolfgang Metzger. In: Pongratz LJ, Traxel W & Wehner EG (Hrsg) *Psychologie in Selbstdarstellungen*. Hans Huber, Bern, S. 192-230

- Metzger W (1975) Was ist Gestalttheorie? In: Guss K (Hrsg) Gestalttheorie und Erziehung. S. 1-17
- Meyer AE (1981) The Hamburg Short Psychotherapy Comparison Experiment. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 35, S. 81-201
- Meyer AE, Richter R, Grawe K, Schulenburg J-MGvd & Schulte B (1991) Forschungsgutachten zu Fragen eines Psychotherapiegesetzes (im Auftrage des Bundesministeriums für Jugend, Frauen, Familie und Gesundheit). Bundesministerium, Bonn
- Miller GA, Galanter E & Pribram KH (1960) *Plans and the Structure of Behavior*. Holt, Rinehart & Winston, New York
- Miller GA, Galanter E & Pribram KH (1973) *Strategien des Handelns: Pläne und Strukturen des Verhaltens*. Hans Huber, Bern
- Miller NE, Sears RR, Mowrer OH, Doob LW & Dollard I (1941) The Frustration-Aggression Hypothesis. *Psychological Review*, 48, S. 337-342
- Millicent HA (2002) Humor, Stress, and Coping Strategies. *Humor*, 15 (4), S. 365-381
- Mintz J & Luborsky L (1970) P-Technique Factor Analysis in Psychotherapy Research: An Illustration of a Method. *Psychotherapy: Theory, Research and Practice*, 7 (1), S. 13-18
- Minuchin S (1977) *Familie und Familientherapie. Theorie und Praxis struktureller Familientherapie*. Lambertus, Freiburg
- Mittelmann K & Strunk G (1994) "Levels of groupness" – oder ein bisschen Gruppe hier und da. Poster zur Herbstakademie 1994. Universität Münster, Münster
- Molter H (1981) Wie human ist die "Humanistische Psychologie". Statt "Selbstverwirklichung": Soziales Handeln! In: Bachmann CH (Hrsg) *Kritik der Gruppendynamik. Grenzen und Möglichkeiten sozialen Lernens*. Fischer, Frankfurt am Main, S. 51-84
- Mood AM (1940) Distribution Theory of Runs. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11, S. 367-392
- Morse M (1921) Recurrent Geodesics on a Surface of Negative Curvature. *Transactions of the American Mathematical Society*, 22, S. 84-110
- Morse M & Hedlund GA (1938) Symbol Dynamics. *American Journal of Mathematics*, 60, S. 815-866
- Mpitsos GJ, Burton RM, Creech HC & Soinila SO (1988) Evidence for Chaos in Spike Trains of Neurons that Generate Rhythmic Motor Pattern. *Brain Research Bulletin*, 21, S. 529-538
- Müller SC (1994) Chemie der Musterbildung. Runge-Bilder, Liesegang-Ringe und Belousov-Zhabotinsky-Spiralen. In: Deutsch A (Hrsg) *Muster des Lebendigen. Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig, S. 227-245
- Mummendey A (1990) Aggressives Verhalten. In: Stroebe W, Hewstone M, Codol J-P & Stephenson GM (Hrsg) *sozialpsychologie. Eine Einführung*. Springer, Berlin, S. 275-304
- Mummendey HD (1987) *Psychologie der Selbstdarstellung*. Hogrefe, Göttingen
- Münze TF & Heinze H-J (2001) Beitrag moderner neurowissenschaftlicher Verfahren zur Bewußtseinsforschung. In: Pauen M & Roth G (Hrsg) *Neurowissenschaften und Philosophie*. Wilhelm Fink Verlag, München, S. 298-328
- Naschold F & Narr W-D (1969) *Systemsteuerung. Einführung in die moderne politische Theorie. Teil II*. Kohlhammer, Stuttgart
- Neisser U (1979) *Kognition und Wirklichkeit. Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie*. Klett-Cotta, Stuttgart

- Nerenberg MAH & Essex C (1990) Correlation Dimension and Systematic Geometric Effects. *Physical Review A*, 42, S. 7065-7074
- Newell A & Simon HA (1956) The Logic Theory Machine: A Complex Information Processing System. *IRE Transaction on Information Theory*, 2 (3), S. 61-79
- Newell A & Simon HA (1972) *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, New York
- Newell A (1973) *Production Systems: Models of Control Structure*. In: Chase WG (Hrsg) *Visual Information Processing*. Academic Press, New York
- Newell A (1990) *Unified Theories of Cognition*. (The William James Lectures, 1987). Harvard University Press, Cambridge, MA
- Newell A (1992) *Unified Theories of Cognition and the Role of Soar*. In: Michon JA & Akyürek A (Hrsg) *Soar: A Cognitive Architecture in Perspective. A Tribute to Allen Newell*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, S. 25-79
- Nickel T (2002) Neurobiologie der Depression. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 234-246
- Nicolis G & Prigogine I (1977) *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. John Wiley and Sons, New York
- Nicolis G & Prigogine I (1987) *Die Erforschung des Komplexen. Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften*. Piper, München
- Nischk D, Grothe A & Schiepek G (2000) Beratungsprozesse aus Sicht der Klienten. Das mehrdimensionale Konstrukt der Prozeßinvolviertheit als Grundlage für die Entwicklung eines Klientenstundenbogens. *Zeitschrift für Klinische Psychologie, Psychiatrie und Psychotherapie*, 48 (2), S. 118-134
- Noll J (1995) *Die Hitfabrik. Musikproduktion mit dem PC*. Carl Hanser, München Wien
- Nolte G, Ziehe A & Müller K-R (2001) Noise Robust Estimates of Correlation Dimension and K2 Entropy. *Physical Review E*, 64 (1), S. 16112-16121
- Oerter R & Montada L (1987) *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch*. (2., neu bearbeitete Auflage). PVU, München, Weinheim
- Office for Official Publications of the European Communities (1999a) *Gemeinsamer Beschäftigungsbericht der Europäischen Union Teil 1*. Europäische Union, Brüssel
- Office for Official Publications of the European Communities (1999b) *Gemeinsamer Beschäftigungsbericht der Europäischen Union Teil 2*. Europäische Union, Brüssel
- Olsen LF, Truty G & Schaffer WM (1988) Oscillations and Chaos in Epidemics. A Non-linear Dynamic Study of six Childhood Diseases in Copenhagen, Denmark. *Theoretical Population Biology*, 33, S. 444-449
- Olsen LF & Schaffer WM (1990) Chaos Versus Noisy Periodicity: Alternative Hypotheses for Childhood Epidemics. *Science*, 249, S. 499-504
- Omer H & Dar R (1992) Changing Trends in Three Decades of Psychotherapy Research: The Flight From Theory Into Pragmatics. *Journal of Consulting Clinical Psychology*, 60 (1), S. 88-93
- Orlinsky DE & Howard KJ (1986) Process and Outcome in Psychotherapy. In: Garfield SL & Bergin AE (Hrsg) *Handbook of Psychotherapy and Behavior Change*. Wiley, New York, S. 311-381
- Orlinsky DE, Grawe K & Parks R (1994) Process and Outcome in Psychotherapy. In: Bergin AE & Garfield SL (Hrsg) *Handbook of Psychotherapy and Behavior Change*. Wiley, New York, S. 270-376
- Osborne AR & Provenzale A (1989) A Finite Correlation Dimension for Stochastic Systems with Power-Law Spectra. *Physica D*, 35, S. 357-381

- Ourti TV (2003) Socio-economic Inequality in Ill-health Amongst the Elderly. Should one use Current or Permanent Income? *Journal of Health Economics*, 22, S. 219-241
- Packard NH, Crutchfield JP, Farmer JD & Shaw RS (1980) Geometry from a Time Series. *Physical Review Letters*, 45, S. 712-716
- Paluš M, Dvorák I & David I (1991) Remarks on Spatial and Temporal Dynamics of EEG. In: Dvorák I & Holden VA (Hrsg) *Mathematical Approaches to Brain Functioning Diagnostic*. Manchester University Press, New York, S. 369-385
- Paluš M (1996) Nonlinearity in Normal Human EEG: Cycles, Temporal Asymmetry, Nonstationarity and Randomness, not Chaos. *Biological Cybernetics*, 75 (5), S. 389-396
- Paluš M (1999) Nonlinear Dynamics in the EEG Analysis: Disappointments and Perspectives. In: Pradhan N, Rapp PE & Sreenivasan R (Hrsg) *Nonlinear Dynamics and Brain Functioning*. Nova Science Publishers, New York, S. 201-216
- Paluš M, Komárek V, Hrcír Z & Procházka T (1999) Is Nonlinearity Relevant for Detecting Changes in EEG. *Theory in Biosciences*, 118 (3-4), S. 179-188
- Paluš M, Komárek V, Procházka T, Hrcír Z & Sterbová K (2001) Synchronization and Information Flow in EEGs of Epileptic Patients. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20 (5), S. 65-71
- Paquette V, Lévesque J, Mensour B, Leroux J-M, Beaudoin G, Bourgouin P & Beuregard M (2003) "Change the Mind and you Change the Brain": Effects of Cognitive-behavioral Therapy on the Neural Correlates of Spider Phobia. *NeuroImage*, 18, S. 401-409
- Parker B (1996) *Chaos in the Cosmos: New Insights into the Universe*. Plenum Press,
- Paslack R (1996) Sagenhaftes Chaos: Der Ursprung der Welt im Mythos. In: Küppers G (Hrsg) *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart, S. 11-27
- Pawelzik K & Schuster HG (1991) Unstable Periodic Orbits and Prediction. *Physical Review A*, 43, S. 1808-1812
- Pawlik K (1976) Modell- und Praxisdimensionen psychologischer Diagnostik. In: Pawlik K (Hrsg) *Diagnose der Diagnostik*. Klett, Stuttgart
- Pawlow IP (1953) *Sämtliche Werke*. Zeller, Berlin
- Peiperl M & Baruch Y (1997) Back to Square Zero: The Post-Corporate Career. *Organizational Dynamics*, (Spring), S. 7-22
- Peitgen H-O, Jürgens H, Saupe D & Zahlten C (1990) *Fraktale in Filmen und Gesprächen*. Spektrum der Wissenschaften Videothek, Heidelberg
- Peitgen H-O, Jürgens H & Saupe D (1992) *Bausteine des Chaos. Fraktale*. Springer; Klett-Cotta, Berlin
- Pennebaker JW, Kiecolt-Glaser JK & Glaser R (1988) Disclosure of Traumas and Immune Function: Health Implication for Psychotherapy. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 56 (2), S. 239-245
- Perrez M (1991) *Behandlung und Therapie (Psychotherapie): Systematik und allgemeine Aspekte*. In: Perrez M & Baumann U (Hrsg) *Klinische Psychologie. Band 2: Intervention*. Hans-Huber Verlag, Bern, S. 99-116
- Peterson I (1994) Was Newton nicht wußte. *Chaos im Sonnensystem*. Insel Verlag, Frankfurt am Main und Leipzig
- Peterson I (1999) Prophet of Chaos. *Science News Online*, http://www.sciencenews.org/sn_arc99/11_13_99/mathland.htm, abgefragt am: 19.05.2002

- Pettit JW & Kline JP (2001) Are Happy People Healthier? The Specific Role of Positive Affect in Predicting Self-Reported Health Symptoms. *Journal of Research in Personality*, 35, S. 521-536
- Piaget J (1969/1936) *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. (Original 1936). Deutsch: *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Klett, Stuttgart
- Piaget J (1969/1945) *La formation du symbole chez l'enfant. Imitation, jeu et rêve; image et représentation*. (Original 1945). Deutsch: *Nachahmung, Spiel und Traum*. Klett, Stuttgart
- Piaget J (1976) *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*. Klett, Stuttgart
- Piaget J (1981) *Jean Piaget über Jean Piaget. Sein Werk aus seiner Sicht*. Kindler, München
- Pielou EC (1969) *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Intersciens, New York
- Pinel JPJ (2001) *Biopsychologie* (2. deutsche Auflage). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Pleyer KH (1996) Schöne Dialoge in häßlichen Spielen? Überlegungen zum Zwang als Rahmen für Therapie. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 14 (3), S. 186-196
- Pogarell O & Hegerl U (2002) Bildgebende Verfahren bei Zwangsstörungen. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 204-208
- Poincaré H (1904) *Wissenschaft und Hypothese (La science et l'hypothèse)*. Teubner, Leipzig
- Poincaré H (1908) *Science et méthode*. Flammarion, Paris
- Popp M (1991) *Einführung in die Grundbegriffe der allgemeinen Psychologie*. Ernst Reinhardt Verlag, München
- Popper KR (1973/1934) *Logik der Forschung*. Mohr, Tübingen
- Popper KR (1990) Über Geschichtsschreibung und über den Sinn der Geschichte. In: Popper KR (Hrsg) *Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik*. Piper, München, S. 173-205
- Powell MJD (1987) Radial Basis Functions for Multivariable Interpolation: A Review. In: Moxon JC & Cox MG (Hrsg) *Algorithms for Approximation*. Clarendon Press, Oxford
- Prank K & Hesch RD (1993) Chaos und Struktur in hormonalen Systemen – Beispielhafte Überlegungen zur synergetischen Medizin. In: Schiepek G & Spörkel H (Hrsg) *Verhaltensmedizin als angewandte Systemwissenschaft*. S. 66-79
- Prichard D & Theiler J (1994) Generating Surrogate Data for Time Series with Several Simultaneously Measured Variables. *Physical Review Letters*, 73, S. 951-954
- Prigogine I (1955) *Thermodynamics of Irreversible Processes*. Wiley, New York
- Prigogine I & Stengers I (1986) *Dialog mit der Natur*. (5. Auflg.). Piper, München
- Prigogine I (1987) *Die Erforschung des Komplexen. Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften*. Piper, München
- Prigogine I & Stengers I (1993) *Das Paradoxon der Zeit. Zeit, Chaos und Quanten*. Piper, München
- Prigogine I (1995) *Die Gesetze des Chaos*. Insel Taschenbuch, Frankfurt am Main
- Pritchard WS & Duke DW (1995) Measuring "Chaos" in the Brain. A Tutorial Review of EEG Dimension Estimation. *Brain and Cognition*, 27, S. 353-397
- Puhr-Westerheide P (1995) Simulationen mit Computern – eine neue Methode zur Analyse schwer zugänglicher Prozesse. In: Braitenberg V & Hosp I (Hrsg) *Simulation*.

- Computer zwischen Experiment und Theorie. Rowohlt, Reinbeck bei Hamburg, S. 10-25
- Raidl A (1998) Is Weather Chaotic. In: Zelinka I (Hrsg) Perspective in Modern Prediction Methods. S. 44-48
- Rapp PE, Jiménez-Montano MA, Langs RJ, Thomson L & Mees AI (1991) Toward a Quantitative Characterization of Patient-Therapist Communication. *Mathematical Biosciences*, 105, S. 207-227
- Rastetter D (1998) Männerbund Management. Ist Gleichstellung von Frauen und Männern trotz wirksamer archaischer Gegenkräfte möglich. *Zeitschrift für Personalforschung*, 12 (2), S. 167-186
- Reetz L & Reitmann T (Hrsg) (1990) Schlüsselqualifikationen. Feldhaus, Hamburg
- Reich W (1971/1933) Die Massenpsychologie des Faschismus. Kiepenheuer und Witsch, Köln
- Reimann HA (1963) *Periodic Diseases*. Davis, Philadelphia
- Reinecker H (1991) Verhaltenstherapeutisch orientierte Intervention. In: Perrez M & Baumann U (Hrsg) *Klinische Psychologie. Band 2: Intervention*. Hans-Huber Verlag, Bern, S. 129-145
- Reinecker-Hecht C & Baumann U (1990) Klinisch-psychologische Diagnostik: Allgemeine Gesichtspunkte. In: Baumann U & Perrez M (Hrsg) *Klinische Psychologie. Band 1: Grundlagen, Diagnostik, Ätiologie*. Hans-Huber Verlag, Bern, S. 57-70
- Reiter L (1992) Clinical Constellations: A Concept for Therapeutic Practice. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin
- Reiter L (1994) Leitfiguren der Familientherapie und systemischen Therapie. Eine bibliometrische Studie am Beispiel der Zeitschrift "Systeme". *Psychotherapie Forum*, (2), S. 137-143
- Reiter L & Steiner E (1994) Klinische Synergetik und Selbstorganisation: Ein wissenschaftliches Feld formiert sich. *Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 8 (1), S. 52-66
- Richter K (1993) Die Sequentielle Plananalyse: Entwicklung und Erprobung einer neuen Methode der Psychotherapie-Prozeßforschung. Teil 2: Analyse des Therapeuten und der Therapeut-Klient-Interaktion. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Bamberg
- Richter K, Schiepek G, Köhler M & Schütz A (1995) Von der statischen zur Sequentiellen Plananalyse. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie*, S. 24 – 36
- Richter PH & Dullin H (1994) Harmonie der Proportion. Der Goldene Schnitt in der Blattstellung höherer Pflanzen. In: Deutsch A (Hrsg) *Muster des Lebendigen. Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig, S. 55-70
- Richter S (1989) *Wunderbares Menschenwerk. Aus der Geschichte der mechanischen Automaten*. Edition Leipzig, Leipzig
- Roazen P (1976) *Sigmund Freud und sein Kreis. Eine biographische Geschichte der Psychoanalyse*. Gustav Lübbe Verlag, Bergisch Gladbach
- Robert R (2001) Das Ende des Schmetterlingseffektes. *Spektrum der Wissenschaften*, 11, S. 66-75
- Roethlisberger FJ & Dickson J (1939) *Management and the Worker*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

- Rogers CR (1957) The Necessary and Sufficient Conditions of Therapeutic Personality Change. *Journal of Consulting Psychology*, 21, S. 95-103
- Rohracher H (1947) Einführung in die Psychologie. Urban und Schwarzenberg, Wien
- Rorty R (1979) *Philosophy and the Mirror of Nature*. Princeton University Press, Princeton, NJ
- Rosenbaum JE (1979) Tournament Mobility: Career Patterns in a Corporation. *Administrative Science Quarterly*, 24, S. 220-241
- Rosenbaum JE (1984) *Career Mobility in a Corporate Hierarchy*. Academic Press, New York
- Rosenberg DR, Benazon NR, Gilbert A, Sullivan A & Moore GJ (2000) Thalamic Volume in Pediatric Obsessive-Compulsive Disorder before and after Cognitive Behavioral Therapy. *Biological Psychiatry*, 48, S. 294-300
- Rosenbloom PS, Laird JE & Newell A (Hrsg) (1993) *The Soar papers: Research on integrated intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA
- Rosenstein MT, Collins JJ & De Luca CJ (1993) A Practical Method for Calculating Largest Lyapunov Exponents from Small Data Sets. *Physica D*, 65, S. 117
- Rosenstein MT (1999) L1D2. 1.0. Massachusetts, <http://www-anw.cs.umass.edu/~mtr/>
- Rosenzweig S (1954) A Transvaluation of Psychotherapy – a Reply to Hans Eysenck. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 58, S. 298-304
- Rost J (2002) Zeitgeist und Moden Empirischer Analysemethoden. In: van Deth J (Hrsg) *ZUMA Nachrichten Spezialband*. ZUMA, Mannheim, S. 21-31
- Rötzer F (1997) Konkurrenz und Versklavung. Florian Rötzer im Gespräch mit Hermann Haken. Verlag Heinz Heise, Hannover, <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/co/2109/1.html>, abgefragt am: 01.04.2003.2003
- Ruelle D & Takens F (1971) On the Nature of Turbulence. *Communications in Mathematical Physics*, 20, S. 167-192
- Saam NJ & Harrer A (1999) Simulating Norms, Social Inequality, and Functional Change in Artificial Societies. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2 (1)
- Sackellares JC, Iasemidis LD, Shiao D-S, Gilmore RL & Roper SN (2000) Epilepsy – When Chaos Fails. In: Lehnertz K & Elger CE (Hrsg) *Chaos in the Brain?* World Scientific, Singapore
- Sader M (1980) *Psychologie der Persönlichkeit*. Juventa, München
- Sano M & Sawada Y (1985) Measurement of the Lyapunov Spectrum from a Chaotic Time Series. *Physical Review Letters*, 55 (10), S. 1082-1085
- Sarbadhikari SN & Chakrabarty K (2001) Chaos in the Brain: a Short Review Alluding to Epilepsy, Depression, Exercise and Lateralization. *Medical Engineering & Physics*, 23, S. 445-455
- Sarraille J & DiFalco P (1992) FD3. 0.3. Computer Science Department, CSU Stanislaus, Turlock, CA 95380
- Sato S, Sano M & Sawada Y (1987) Practical Methods of Measuring the Generalized Dimension and the Largest Lyapunov Exponent in High Dimensional Chaotic Systems. *Progress of Theoretical Physics*, 77 (1), S. 1-5
- Saunders D (1977) *An Introduction to Biological Rhythms*. Blackie, Glasgow
- Schardt C (1996) *Die Sequentielle Plananalyse einer Psychotherapie – die Klientin*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Bamberg
- Schaub H & Schiepek G (1992) Simulation of Psychological Processes – Basic Issues and Illustration within the Etiologie of Depressive Disorder. In: Tschacher W, Schiepek

- G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin
- Scheier C & Tschacher W (1994) Gestaltmerkmale in psychologischen Zeitreihen. *Gestalt Theory*, 16 (3), S. 151-171
- Schein E (1978) *Career Dynamics. Matching Individual and Organizational Needs*. Addison Wesley Publishing Company, Reading, Mass.
- Schiepek G (1986) *Systemische Diagnostik in der Klinischen Psychologie*. Beltz Verlag, Weinheim; München
- Schiepek G (1991) *Systemtheorie der Klinischen Psychologie*. Vieweg Verlag, Braunschweig
- Schiepek G & Schaub H (1991) Als die Theorien laufen lernten ...Ein Simulationsmodell zur Depressionsentwicklung. In: Schiepek G (Hrsg) *Systemtheorie der Klinischen Psychologie*. Vieweg, Braunschweig, S. 221-305
- Schiepek G & Schoppek W (1991) Synergetik in der Psychiatrie: Simulation schizophrener Verläufe auf der Grundlage nicht-linearer Differenzgleichungen. In: Niedersen U & Pohlmann L (Hrsg) *Selbstorganisation. Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften*, Bd. 2. Duncker & Humboldt, Berlin, S. 69-102
- Schiepek G (1992) Application of Synergetics to Psychology. In: Friedrich R & Wunderlin A (Hrsg) *Evolution of Dynamical Structures in Complex Systems*. Springer, Berlin, S. 341-381
- Schiepek G, Fricke B & Kaimer P (1992) Synergetics of Psychotherapy. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin
- Schiepek G & Reicherts M (1992) The Concept of System-Games as Research Paradigm for Self-Organization of Complex Social Systems. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 55-87
- Schiepek G & Schoppek W (1992) Synergetik in der Psychiatrie: Simulation schizophrener Verläufe auf der Grundlage nicht-linearer Differenzgleichungen. *Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 6 (1), S. 22-57
- Schiepek G, Schoppek W & Tretter F (1992) Synergetics in Psychiatry – Simulation of Evolutionary Patterns of Schizophrenia on the Basis of Nonlinear Difference Equations. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin
- Schiepek G & Tschacher W (1992) Application of Synergetics to Clinical Psychology. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organisation and Clinical Psychologie*. Springer Series in Synergetics. Springer, Berlin
- Schiepek G (1993a) Systemorientierte Psychotherapie. *Psychotherapie Forum* 1, 93, S. 8-16
- Schiepek G (1993b) Die Beziehungsgestaltung in der Psychologie – ein chaotischer Prozeß? *Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 7 (2), S. 49-59
- Schiepek G, Manteufel A & Reicherts M (1993) Dynamik und Struktur in komplexen Sozialsystemen – zur Entwicklung eines Forschungs- und Trainingsparadigmas. In: Schiepek G & Spörkel H (Hrsg) *Verhaltensmedizin als angewandte Systemwissenschaft*. Mackinger Verlag, Bergheim bei Salzburg
- Schiepek G & Spörkel H (Hrsg) (1993) *Verhaltensmedizin als angewandte Systemwissenschaft*. Mackinger Verlag, Bergheim bei Salzburg

- Schiepek G (1994) Ist eine systemische Psychotherapieforschung möglich? *Zeitschrift für klinische Psychologie, Psychopathologie und Psychotherapie*, 4, S. 297 – 318
- Schiepek G & Kowalik ZJ (1994) Dynamik und Chaos in der psychotherapeutischen Interaktion. *Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis*, (4), S. 503-527
- Schiepek G & Strunk G (1994) *Dynamische Systeme. Grundlagen und Analysemethoden für Psychologen und Psychiater*. Asanger, Heidelberg
- Schiepek G, Kowalik ZJ, Gees C, Welter T & Strunk G (1995a) Chaos in Gruppen? In: Langthaler W & Schiepek G (Hrsg) *Selbstorganisation und Dynamik in Gruppen*. Lit-Verlag, Münster, S. 38-68
- Schiepek G, Küppers G, Mittelmann K & Strunk G (1995b) Kreative Problemlöseprozesse in Kleingruppen. In: Langthaler W & Schiepek G (Hrsg) *Selbstorganisation und Dynamik in Gruppen*. Lit-Verlag, Münster, S. 236-255
- Schiepek G, Manteufel A, Strunk G & Reicherts M (1995c) Kooperationsdynamik in Systemspielen. Ein empirischer Ansatz zur Analyse selbstorganisierter Ordnungsbildung in komplexen Sozialsystemen. In: Langthaler W & Schiepek G (Hrsg) *Selbstorganisation und Dynamik in Gruppen*. Lit-Verlag, Münster, S. 123-162
- Schiepek G, Schütz A, Köhler M, Richter K & Strunk G (1995d) Die Mikroanalyse der Therapeut-Klient-Interaktion mittels Sequentieller Plananalyse. Teil I: Grundlagen, Methodenentwicklung und erste Ergebnisse. *Psychotherapie Forum*, 3 (1), S. 1-17
- Schiepek G, Strunk G & Kowalik ZJ (1995) Die Mikroanalyse der Therapeut-Klient-Interaktion mittels Sequentieller Plananalyse. Teil II: Die Ordnung des Chaos. *Psychotherapie Forum*, 3 (2), S. 87-109
- Schiepek G (1996) Der Appeal der Chaosforschung für die Psychologie. In: Küppers G (Hrsg) *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart, S. 353-381
- Schiepek G, Kowalik ZJ, Schütz A, Köhler M, Richter K, Strunk G, Mühlwinkel W & Elbert T (1997) Psychotherapy as a Chaotic Process. Part I: Coding the Client-Therapist Interaction by Means of Sequential Plan Analysis and the Search for Chaos: A Stationary Approach. *Psychotherapy Research (International Journal of the Society for Psychotherapy Research, SPR)*, 7 (2), S. 173-194
- Schiepek G & Tschacher W (1997) *Selbstorganisation in Psychologie und Psychiatrie*. Vieweg, Braunschweig
- Schiepek G (1999a) *Die Grundlagen der Systemischen Therapie*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Schiepek G (1999b) Selbstorganisation in psychischen und sozialen Prozessen: Neue Perspektiven der Psychotherapie. In: Mainzer K (Hrsg) *Komplexe Systeme und Nicht-lineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert*. Springer, Berlin, S. 280-317
- Schiepek G & Schulte A (2001) Therapeuten- und Patientenverhalten in einer systemisch-lösungsorientierten Kurzzeittherapie – Einzelfallanalyse und explorativer Vergleich mit einer verhaltenstherapeutisch orientierten Kurzzeittherapie. *Zeitschrift für Klinische Psychologie, Psychiatrie und Psychotherapie*, 49 (1), S. 49-71
- Schiepek G, Strunk G, Weihrauch S, Bölker S & Nelle I (2003) Nonlinear Dynamics and Complexity in the Experience of Emotions. Vortrag, gehalten auf: International Nonlinear Science Conference. Research and Applications in the Life Sciences, Wien
- Schiff SJ, Jerger T, Chang T, Sauer T & Aitken PG (1994) Stochastic Versus Deterministic Variability in Simple Neural Circuits. II. Hippocampal Slice. *Biophysical Journal*, 67, S. 684-691
- Schiff SJ (1998) Forecasting Brain Storms. *Nature Medicine*, 4 (10), S. 1117-1118

- Schindler L (1989) Das Codiersystem zur Interaktion in der Psychotherapie (CIP). Ein Instrument zur systematischen Beobachtung des Verhaltens von Therapeut und Klient. *Zeitschrift für Klinische Psychologie*, 18, S. 68-79
- Schlippe A & Schweitzer J (1996) *Lehrbuch der systemischen Therapie*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen; Zürich
- Schneewind KA (1987) Familienentwicklung. In: Oerter R & Montada L (Hrsg) *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch*. (2., neu bearbeitete Auflage). Psychologie Verlags Union, München, Weinheim, S. 971-1014
- Schoellhorn WI (2000) Applications of Systems Dynamic Principles to Technique and Strength Training. *Acta Academiae Olympicae Estoniae*, 8, S. 67-85
- Schreiber T & Schmitz A (1996) Improved Surrogate Data for Nonlinearity Tests. *Physical Review Letters*, 77, S. 635-638
- Schreiber T (1999) Interdisciplinary Application of Nonlinear Time Series Methods. *Physics Report*, 308, S. 1-64
- Schreiber T (2000) Is Nonlinearity Evident in Time Series of Brain Electrical Activity? In: Lehnertz K, Elger CE, Arnhold J & Grassberger P (Hrsg) *Chaos in Brain?* World Scientific, Singapore, S. 13-22
- Schreiber T & Schmitz A (2000) Surrogate Time Series. *Physica D*, 142, S. 346-382
- Schrödinger E (1989/1944) *Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet*. Piper, München
- Schrödinger E (1989/1958) *Geist und Materie*. Diogenes, Zürich
- Schulte D (1990) Psychische Gesundheit, psychische Krankheit, psychische Störung. In: Baumann U & Perrez M (Hrsg) *Klinische Psychologie. Band 1: Grundlagen, Diagnostik, Ätiologie*. Hans Huber Verlag, Bern, S. 28-37
- Schürer R (2000) Restricted Circular Three Body Problem. <http://www.cosy.sbg.ac.at/~rschuer/astro/source.html>, abgefragt am: 20.05.2002
- Schurig V (1994) Ökosysteme und Ökosystemforschung in der Biologie: Entwicklung und heuristische Relevanz. In: Hörmann G (Hrsg) *Im System gefangen. Zur Kritik systemischer Konzepte in den Sozialwissenschaften*. Hans Zygowski Bessau Verlag, Münster
- Schürmann T & Grassberger P (1996) Entropy Estimation of Symbol Sequences. *Chaos*, 6 (3), S. 414-427
- Schuster HG (1989a) *Deterministic Chaos*. VCH, Weinheim
- Schuster HG (1989b) Information Content of Chaotic Signals. *Physica Scripta*, 40, S. 367-372
- Schuster P (1999) Grundprinzipien der Selbstorganisation in komplexen Systemen. In: Toifel K (Hrsg) *Chaostheorie und Medizin. Selbstorganisation im komplexen System Mensch*. Wilhelm Maudrich, Wien, S. 9-28
- Schütz A (1992) *Selbstdarstellung von Politikern. Analyse von Wahlkampfauftritten*. Deutscher Studien Verlag, Weinheim
- Schütz A, Richter K, Köhler M & Schiepek G (1997) Self-Presentation in the Client-Therapist-Interaction: A Single Case Study. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 16, S. 440-462
- Schwegler H (1978) Sind Katastrophen vorhersehbar? – Geometrische Modelle für sprunghafte Veränderungen in Natur und Gesellschaft. In: Wittheit zu Bremen (Hrsg) *Jahrbuch der Wittheit zu Bremen*. Bremen, S. 181-198
- Schwegler H (2001) Reduktionismen und Physikalismen. In: Pauen M & Roth G (Hrsg) *Neurowissenschaften und Philosophie*. Wilhelm Fink Verlag, München, S. 59-82

- Schweitzer J (1989) Professionelle (Nicht-)Kooperation: Ihr Beitrag zur Eskalation dissozialer Karrieren. *Zeitschrift für Systemische Therapie*, 7, S. 247-254
- Seifritz W (1987) *Wachstum, Rückkopplung und Chaos*. Hanser, München
- Seitz A, Tschacher W, Ackermann K & Revensdorf D (1992) Applicability of Dimension Analysis to Data in Psychology. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) *Self-Organization and Clinical Psychology*. Springer, Berlin, S. 367-384
- Seligman MEP (1971) Phobias and Preparedness. *Behavior Therapy*, 2, S. 307-320
- Seligman MEP & Rosenhan DL (1984) *Abnormal Psychology*. Norton, New York
- Selvini-Palazzoli M, Boscolo L, Cecchin G & Prata G (1977) *Paradoxon und Gegenparadoxon*. Klett, Stuttgart
- Selvini-Palazzoli M, Cirillo S, D'Ettore L, Garbellini M, Ghezzi D, Lerma D, Martino M, Mazzoni C, Mazzucchelli F & Nichelle M (1978) *Der entzauberte Magier. Zur paradoxen Situation des Schulpsychologen*. Klett, Stuttgart
- Shannon CE (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, S. 379-423 and 623-656
- Sharma KR & Noyes RM (1975) Oscillations in Chemical Systems. VII. Effects of Light and of Oxygen on the Bray-Liebafsky Reaction. *Journal of the American Chemical Society*, 91, S. 202-204
- Sherrington CS (1906) *The Integrative Action of the Nervous System*. Scribner's Sons, New York
- Shotter J (1993) *Conversational Realities. Constructing Life through Language*. Sage Publications, London
- Siegert F & Steinbock O (1994) Die Natur schlägt Wellen. Spiralwellen organisieren die Entwicklung sozialer Amöben. In: Deutsch A (Hrsg) *Muster des Lebendigen. Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig, S. 71-89
- Silberschatz G, Curtis JT & Nathans S (1989) Using the Patient's Plan to Assess Progress in Psychotherapy. *Psychotherapy*, 26, S. 40-46
- Simmen R (Hrsg) (1967) *Der mechanische Mensch. Texte und Dokumente über Automaten, Androiden und Roboter. Eine Sammlung*. Simmen, Zürich
- Singer W (1990) Hirnentwicklung und Umwelt. *Spektrum der Wissenschaft: Gehirn und Kognition*, S. 50-65
- Skarda CA & Freeman WJ (1987) How Brain Makes Chaos in Order to Make Sense to the World. *Behavior and Brain Sciences*, 10, S. 161-195
- Skinner BF (1935) Two Types of Conditioned Reflex and a Pseudo Type. *Journal of General Psychology*, 12, S. 66-77
- Skinner BF (1937) Two Types of Conditioned Reflex: A Reply to Konorski and Miller. *Journal of General Psychology*, 16, S. 272-279
- Skinner BF (1938) *The Behavior of Organism*. Appleton-Century-Crofts., New York
- Skinner BF (1948) 'Superstition' in the Pigeon. *Journal of Experimental Psychology*, 38, S. 168-172
- Skinner JE, Martin JL, Landisman CE, Mommer MM, Fulton K, Mitra M, Burton WD & Saltzberg B (1989) Chaotic Attractors in a Model of Neocortex: Dimensionalities of Olfactory Bulb Surface Potentials are Spatially Uniform and Event Related. In: Basar E & Bullock TH (Hrsg) *Brain-Dynamics. Progress and Perspectives*. Springer, Berlin, S. 158-173
- Skinner JE, Goldberger AL, Mayer-Kress G & Ideker RE (1990) Chaos in the Heart: Implications for Clinical Cardiology. *Biotechnology*, (8), S. 1018-1033
- Skinner JE (1992) *The Point-D2 Algorithm*. Baylor Collage of Medicine, Houston

- Skinner JE, Molnar M & Tomberg C (1994) The Point Correlation Dimension: Performance with Nonstationary Surrogate Data and Noise. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 29, S. 217-234
- Slutzky MW, Cvitanovic P & Mogul DJ (2001) Deterministic Chaos and Noise in Three in Vitro Hippocampal Models of Epilepsy. *Annals of Biomedical Engineering*, 29, S. 607-618
- Small M & Judd K (1998) Detecting Nonlinearity in Experimental Data. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 8 (6), S. 1231-1244
- Smith SW (1999) *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. Second Edition. California Technical Publishing, San Diego
- So P, Francis JT, Netoff TI, Gluckman BJ & Schiff SJ (1998) Periodic Orbits: A New Language for Neuronal Dynamics. *Biophysical Journal*, 74, S. 2776-2785
- Sobel D (1999) *Gelileos Tochter. Eine Geschichte von der Wissenschaft, den Sternen und der Liebe*. btb Taschenbuch im Goldmann Verlag, Ohne Ort
- Sokal A (1999) *Eleganter Unsinn. Wie die Denker der Postmoderne die Wissenschaften mißbrauchen*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- Sokal AD & Bricmont J (1998) *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals' Abuse of Science*. Picador, New York
- Sprott JC & Linz SJ (2000) Algebraically Simple Chaotic Flows. *International Journal of Chaos Theory and Applications*, 5 (2), S. 1-20
- Stadler M & Kruse P (1990) The Self-Organization Perspective in Cognition Research: Historical Remarks and New Experimental Approaches. In: Haken H & Stadler M (Hrsg) *Synergetics of Cognition*. Springer, Berlin, S. 32-52
- Stadler M, Richter PH, Pfaff S & Kruse P (1991) Attractors and Perceptual Field Dynamics of Homogeneous Stimulus Areas. *Psychological Research*, 53, S. 102-112
- Stadler M, Kruse P & Carmesin HO (1996) Erleben und Verhalten in der Polarität von Chaos und Ordnung. In: Küppers G (Hrsg) *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Philipp Reclam jun., Stuttgart, S. 322-352
- Stadler M & Haynes J-D (1999) Physikalische Komplexität und kognitive Strukturerkennung. In: Mainzer K (Hrsg) *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert*. Springer, Berlin, S. 189-206
- Stegmüller W (1986) *Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie. Eine kritische Einführung*, Bd. 2. Kröner, Stuttgart
- Stephan A (2001) Emergenz in kognitionsfähigen Systemen. In: Pauen M & Roth G (Hrsg) *Neurowissenschaften und Philosophie*. UTB. Wilhelm Fink, München
- Stephenson GM (1990) Angewandte Sozialpsychologie. In: Stroebe W, Hewstone M, Codol J-P & Stephenson GM (Hrsg) *Sozialpsychologie. Eine Einführung*. Springer, Berlin Heidelberg, S. 369-399
- Stepien R, A. (2002) Testing for Non-Linearity in EEG Signal of Healthy Subjects. *Acta Neurobiological Experiments*, 62, S. 277-281
- Stevens SS (1939) On the Problem of Scales for Measurement of Psychological Magnitudes. *Journal of Unified Science*, 9, S. 94-99
- Stevenson I (1959) The Challenge of Results in Psychotherapy. *American Journal of Psychiatry*, 116, S. 120-123
- Stewart I (2002) *Does God Play Dice? The New Mathematics of Chaos (Second Edition)*. Blackwell Publishing, Malden

- Stewart JM (2001) The Impact of Health Status on the Duration of Unemployment Spells and their Implications for Studies of the Impact of Unemployment on Health Status. *Journal of Health Economics*, 20, S. 781-796
- Stiles WB & Shapiro DA (1989) Abuse of the Drug Metaphor in Psychotherapy Process-Outcome Research. *Clinical Psychology Review*, 9, S. 521-543
- Stollwerk N & Drepper F (1991) Global Reconstruction of the Laws of Motion from a Time Series. *Forschungszentrum Jülich, Jülich*
- Stoop R & Parisi J (1991) Calculation of Lyapunov Exponents Avoiding Spurious Elements. *Physica D*, 50, S. 89
- Storch M (2002) Die Bedeutung neurowissenschaftlicher Forschung für die psychotherapeutische Praxis. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 281-294
- Ströhle A (2002) Humanexperimentelle Angstmodelle: Die experimentelle Provokation von Panikattacken. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutische Medizin und Klinischer Psychologie*, 7 (2), S. 220-227
- Strotzka H (1978) *Psychotherapie: Grundlagen, Verfahren, Indikationen*. Urban & Schwarzenberg, München
- Strunk G (1996a) Versuch einer systemischen Modellbildung. *Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 10 (2), S. 46-64
- Strunk G (1996b) Die Sequentielle Plananalyse als systemwissenschaftliche Methode der Psychotherapieprozeßforschung. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Westfälische Wilhelms Universität
- Strunk G & Schiepek G (1996) Der Belusow-Zahbotinsky-Attraktor. Eine kleine Geschichte zum Logo der Zeitschrift "Systeme". *Struktur, Konstruktion, Konversation. Die Dynamik der Systemischen Therapie. Jubiläumsband anlässlich des zehnjährigen Bestehens der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für systemische Therapie und systemische Studien (ÖAS)*, S. 176-179
- Strunk G (1998a) Die Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie. *Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 12 (2), S. 3-21
- Strunk G (1998b) Stellungnahme zur Theorie und Praxis der Systemischen Therapie zum Antrag auf Anerkennung der systemischen Weiterbildung. für den Erwerb des Zertifikats "Klinische/r Psychologe/in Psychotherapeut/in BDP" beim Berufsverband Deutscher Psychologinnen und Psychologen.
- Strunk G (1998c) Entwicklung eines Beratungskonzeptes: Kooperationsstiftende Interviews. Ein Konzept des Instituts für Ehe- und Familientherapie zur Arbeit mit komplexen Klient-Helfer-Systemen. *Institut für Ehe- und Familientherapie, Wien*
- Strunk G, Bonney H & Empt K (1998) Systemische Sensitivitätsmodelle bei anorektischen Entwicklungen im Selbstbild der Klientinnen (Vorstudien zur Identifizierung transindividueller Problemmuster mittels bildgebender Computeranalyse). Vortrag, gehalten auf: *Systemische Therapie- und Beratungsforschung, Heidelberg*
- Strunk G (1999a) Partiturdarstellung und Musik – mehr als eine Analogie. Teil (C) der beiliegenden CD-Rom. In: Schiepek G (Hrsg) *Die Grundlagen der Systemischen Therapie. Theorie, Praxis, Forschung*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
- Strunk G (1999b) Klangumsetzung einer Sequentiellen Plananalyse. Teil (D) der beiliegenden CD-Rom. In: Schiepek G (Hrsg) *Die Grundlagen der Systemischen Therapie. Theorie, Praxis, Forschung*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen

- Strunk G & Hermann A (2000) Career Patterns of Men and Women. A Social Simulation Study Based on Co-Operating Normative Agents (Poster zur 9. Herbstakademie). Wirtschaftsuniversität, Wien
- Strunk G, Friedlmayer S & Brousek E (2001) Ein Erziehungsproblem? – Das kann doch nicht so schwer sein. Vortrag, gehalten auf: Science Week @ Austria 2001, Wien
- Strunk G, Hermann A & Schiffinger M (2002) New Fields of Career. How to Behave Successfully in the Field of Chronic Flexibility. A Social Simulation Study Based on Co-operating Normative Agents. Vortrag, gehalten auf: 10. Herbstakademie; Selbstorganisation in Psychologie, Psychiatrie und den Sozialwissenschaften. Empirische Zugänge zu einer psychologischen Synergetik, Seeon
- Strunk G, Mayrhofer W, Meyer M, Steyrer J, Schiffinger M & Iellatchitch A (2002a) Karrieren jenseits bekannter Trampelpfade? Postorganisationale Karrierewünsche von Absolventen der Wirtschaftsuniversität Wien. Vortrag, gehalten auf: Herbstworkshop 2002 des Verbands der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft, Wien
- Strunk G & Schiepek G (2002) Dynamische Komplexität in der Therapeut-Klient-Interaktion. *Therapieforschung aus dem Geiste der Musik*. *Psychotherapeut*, 47 (5), S. 291-300
- Strunk G, Steyrer J, Mattl C & Mayrhofer W (2002b) How Career Tactics and Personality Influence Post-Organizational Career Aspirations. Vortrag, gehalten auf: 25th International Congress of Applied Psychology, Singapore
- Strunk G, Friedlmayer S & Brousek E (2003) Research in the Field of Social Work. A Longitudinal Analysis of Long-Term Psychosocial Care Cases and a Computer Simulation Game on Social Working Practice. Vortrag, gehalten auf: 8th European Conference of Psychology, Vienna
- Strunk G, Schiffinger M & Mayrhofer W (2003) Career, Chaos and Complexity. Vortrag, gehalten auf: Academy of Management (AoM), Seattle
- Sturm J & Zielke M (1988) "Chronisches Krankheitsverhalten": Die klinische Entwicklung eines neuen Krankheitsparadigmas. *Praxis der Klinischen Verhaltensmedizin und Rehabilitation*, 1, S. 17-27
- Super DE (1957) *The Psychology of Careers*. Harper & Row, New York
- Tajfel H, Flament C, Billig MG & Bundy RP (1971) Social Categorization and Intergroup Behaviour. *European Journal of Social Psychology*, (1), S. 149-178
- Tajfel H (1975) Soziales Kategorisieren. In: Moscovici S (Hrsg) *Forschungsgebiete der Sozialpsychologie*. Athenäum Fischer, Frankfurt am Main, S. 345-380
- Tajfel H & Turner JC (1986) The Social-Identity Theory of Intergroup Behaviour. In: Worchel S & Austin WC (Hrsg) *Psychology of intergroup relations*. Nelson-Hall Publishing, Chicago, S. 7-24
- Takens F (1981) Detecting Strange Attractors in Turbulence. In: Rand DA & Young LS (Hrsg) *Lecture Notes in Mathematics*. Springer, Berlin, S. 368-381
- Tedeschi JT, Lindskold S & Rosenfeld P (1985) Introduction to Social Psychology. Chapter 3, "Identities and Self-Presentation". West Publishing Company, St. Paul, MN
- Theiler J, Eubank S, Longtin A, Galdrikian B & Farmer JD (1992) Testing for Nonlinearity in Time Series: The Method of Surrogate Data. *Physica D*, 58, S. 77-94
- Theiler J (1995) On the Evidence for Low-Dimensional Chaos in an Epileptic Electroencephalogram. *Physical Letter A*, 196, S. 335-341
- Thiele C (1997) Selbstorganisation und Komplexität in der Psychotherapie. *Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften*, 11 (2), S. 21-32
- Thorndike EL (1911) *Animal Intelligence*. Macmillan, New York

- Thorndike EL (1913) Educational Psychology. Columbia University, New York
- Thorndike EL (1932) The Fundamentals of Learning. AMS Press, New York
- Toifel K (1999) Selbstorganisation von Gesundheit und Krankheit im komplexen System Mensch. In: Toifel K (Hrsg) Chaostheorie und Medizin. Selbstorganisation im komplexen System Mensch. Wilhelm Maudrich Verlag, Wien, S. 109-132
- Tölle R (1994) Psychiatrie. Springer, Berlin, Heidelberg
- Tolman EC (1948) Cognitive Maps in Rats and Men. Psychological Review, 55, S. 189-208
- Tomm K (1988) Das systemische Interview als Intervention. Teil II. Reflexive Fragen als Mittel zur Selbstheilung. System Familie, (1), S. 220-243
- Tomm K (1989) Das systemische Interview als Intervention. Teil III. Lineale, zirkuläre, strategische oder reflexive Fragen? System Familie, (2), S. 21-40
- Tress W (Hrsg) (1992) Die strukturelle Analyse sozialen Verhaltens. Asanger, Heidelberg
- Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) (1992) Self-Organization and Clinical Psychology. Empirical Approaches to Synergetics in Psychology. Springer, Berlin
- Tschacher W & Scheier C (1995) Analyse komplexer psychologischer Systeme. II. Verlaufsmodelle und Komplexität einer Paartherapie. System Familie, 8, S. 160-171
- Tschacher W, Scheier C & Grawe K (1998) Order and Pattern Formation in Psychotherapy. Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences, 2 (3), S. 195-215
- Tschacher W & Scheier C (1999) Der Ansatz der Embodied Cognitive Science: Konzepte, Methoden und Implikationen für die Psychologie. Forschungsberichte der universitären psychiatrischen Dienste Bern, 99 (1), S. 1-25
- Tsonis AA & Elsner JB (1988) The Weather Attraktor over Very Short Time Scales. Nature, 33, S. 545-547
- Tsonis AA (1992) Chaos: From Theory to Applications. Plenum Press, New York
- Uffink J (2001) Bluff your Way in the Second Law of Thermodynamics. Studies in History and Philosophy of Modern Physics, 32, S. 305-394
- Untersteiner N (1995) Theorien, Experimente und der Computer in den Erdwissenschaften. In: Braitenberg V & Hosp I (Hrsg) Simulation. Computer zwischen Experiment und Theorie. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, S. 126-147
- van Gelder T (1998) The Dynamic Hypothesis in Cognitive Science. Behavioral and Brain Sciences, 21, S. 615-665
- Vastano JA & Kostelich EJ (1986) Comparison of Algorithms for Determining Lyapunov-Exponents from Experimental Data. In: Mayer-Kress G (Hrsg) Dimension and Entropies in Chaotic Systems. Springer, Berlin, S. 100-107
- Vester F (1991/1976) Ballungsgebiete in der Krise. DTV, München
- Vester F (1997) Ecopolity. 1.2. Freiburg
- Vester F (1999) Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart
- Vogel K (2001) Psychopathologie des Selbstkonstrukts. In: Pauen M & Roth G (Hrsg) Neurowissenschaften und Philosophie. Wilhelm Fink Verlag, München, S. 238-268
- Volterra V (1931) Leçon sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie. Gauthier-Villars,
- von Foerster H (1981) On Cybernetics of Cybernetics and Social Theory. In: Roth G & Schwengler H (Hrsg) Self-Organizing Systems. Campus, Frankfurt am Main, S. 102-105

- von Foerster H (1985) Sicht und Einsicht. Versuche zur operativen Erkenntnistheorie. Vieweg, Braunschweig
- von Osterhausen F (1993) Taschenuhren. Von der Balkenwaag des Mittelalters zur Integralunruh der Gegenwart. Heyne, München
- von Schlippe A & Schweitzer J (1996) Lehrbuch der systemischen Therapie und Beratung. Vanderhoeck & Ruprecht, Göttingen, Zürich
- von Zerssen D (1987) Die Klassifikation affektiver Störungen nach ihrem Verlauf. In: Simhandl C, Berner P, Luccioni H & Alf C (Hrsg) Klassifikationsprobleme in der Psychiatrie. Medizinisch-Pharmazeutische Verlagsgesellschaft, Purkersdorf
- Wagner E (1996) Systemische Einzeltherapie im Zwangskontext. Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften, 10 (2), S. 16-33
- Wales DJ (1991) Calculating the Rate Loss of Information from Chaotic Time Series by Forecasting. Nature, 350, S. 485-488
- Wallace R (1976) Leonardo da Vinci und seine Zeit. Time-Life International, Amsterdam
- Warmdt C & Warmdt L (1997) Das Planspiel für den kaufmännischen Unterricht. Winklers Flügelstift, (2), S. 21-26
- Watson JB (1913) Psychology as the Behaviorist Views It. Psychological Review, 20, S. 158-177
- Watson JB & Rayner R (1920) Conditioned Emotional Reactions. Journal of Experimental Psychology, 3 (1), S. 1-14
- Watzlawick P, Beavin JH & Jackson DD (1969) Menschliche Kommunikation. Formen, Störungen, Paradoxien. Hans Huber Verlag, Bern
- Watzlawick P & Beavin J (1980) Einige formale Aspekte der Kommunikation. (Titel des Originals: Some Formal Aspects of Kommunikation. American Behavioral Scientist, 10, 1966/1967, S. 4-8). In: Watzlawick P & Weakland JH (Hrsg) Interaktion. Piper, München, S. 95-110
- Weeks ER (1997) Mutual Information Algorithm. v05. Harvard, <http://www.deas.harvard.edu/~weeks/>
- Weick KE (1985) Der Prozeß des Organisierens. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Weidlich W & Haag G (1983) Concepts and Models of a Quantitative Sociology. Springer, Berlin
- Weiss J & Sampson H (1986) The Psychoanalytic Process. Theory, Clinical Observations and Empirical Research. Guilford, New York
- Weizenbaum J (1966) ELIZA – A computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine. Communications of the ACM, 9, S. 36-45
- West BJ (1990) Fractal Physiology and Chaos in Medicine. World Scientific, Singapore
- Wexberg E (1991/1914) Zur Verwendung der Traumdeutung in der Psychotherapie. In: Lehmkuhl G (Hrsg) Zur Entwicklung der Individualpsychologie und andere Schriften. Fischer, Frankfurt am Main, S. 162-172
- Wexberg E (1991/1931) Neurosenwahl. In: Lehmkuhl G (Hrsg) Zur Entwicklung der Individualpsychologie und andere Schriften. Fischer, Frankfurt am Main, S. 138-161
- Wexberg E (1991/1933) Was ist wirklich eine Neurose. In: Lehmkuhl G (Hrsg) Zur Entwicklung der Individualpsychologie und andere Schriften. Fischer, Frankfurt am Main, S. 162-172

- White S & Camarena P (1989) Laughter as a Stress Reducer in Small Groups. *Humor*, 2 (1), S. 73-79
- White S & Winzelberg A (1992) Laughter and Stress. *Humor*, 5 (4), S. 342-354
- Wiener N (1948) *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. John Wiley, New York
- Wildman J (2003) Modelling Health, Income and Income Inequality: the Impact of Income Inequality on Health and Health Inequality. *Journal of Health Economics*, 22, S. 521-538
- Will H (1987) Georg Groddeck. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- Willi J (1975) *Die Zweierbeziehung*. Rowohlt, Reinbeck
- Willke H (1983) Methodologische Leitfragen systemtheoretischen Denkens. Annäherungen an das Verhältnis von Intervention und System. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 1 (2), S. 23-37
- Willke H (1989) *Systemtheorie entwickelter Gesellschaften*. Juventa, München
- Willke H (1994) *Systemtheorie II. Interventionstheorie. Grundzüge einer Theorie der Intervention in komplexe Systeme*. Fischer, Stuttgart, Jena
- Wissel C (1989) *Theoretische Ökologie*. Springer, Berlin
- Wittgenstein L (1963) *Tractatus logico-philosophicus*. Logisch-philosophische Abhandlung. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Wolf A, Swift JB, Swinney HL & Vastano JA (1985) Determining Lyapunov Exponents from a Time Series. *Physica*, 16 D, S. 285-317
- Wolpe J (1958) *Psychotherapy by Reciprocal Inhibition*. Stanford University Press, Stanford
- Wood G (2002) *Edison's Eve. A Magical History of the Quest for Mechanical Life*. Anchor Books, New York
- Wozniak RH (1999) *Classics in Psychology 1855-1914: Historical Essays*. Thoemmes Press, Bristol, UK
- Wright J (1984) Method for Calculating a Lyapunov Exponent. *Physical Review A*, 29, S. 2924-2927
- Zeng X, Eykholt R & Pielke RA (1991) Estimating the Lyapunov-Exponent Spectrum from Short Time Series of Low Precision. *Physical Review Letters*, 66, S. 3229
- Zink C (1990) *Pschyrembel. Klinisches Wörterbuch mit klinischen Syndromen und Nomina Anatomica (256., neu bearbeitete Auflage)*. Walter de Gruyter, Berlin, New York
- Ziv J & Lempel A (1977) A Universal Algorithm for Data Compression. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT 23 (3), S. 337-343
- Zola E (1947/1885) *Germinal*. Philipp Reclam jun., Leipzig
- Zvonkin AK & Levin LA (1970) The Complexity of Finite Objects and the Development of the Concepts of Information and Randomness by Means of the Theory of Algorithms. *Russian Mathematics Surveys*, 25 (6), S. 83-124

14. Index

1

1/f^x-Rauschen · 419
 1/f^x-Verteilung · 546, 556, 632

A

Abarbanel · 335, 386, 642, 646
 Abbauprodukt · 22
 Abrams · 660
 Ackermann · 672
 ACTH · 238, 296, 424
 Ademoglu · 19, 417, 564, 620, 645
 Adler · 233, 234, 235, 236, 239, 457, 461, 484, 496, 497, 642
 Aertsen · 651
 Affekt · 227, 228, 498
 Agenten
 autonome · 317
 Aggression · 163, 186, 187, 188, 189, 190, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 461, 502, 644, 648, 663
 Aggressionstrieb · 186
 Ahlers · 19, 453, 454, 470, 532, 620, 629, 642
 Aitken · 670
 Akkomodation · 454, 455
 Akyürek · 664
 Albert · 28, 54
 Alf · 677
 Algorithmus · 18, 19, 313, 333, 340, 348, 351, 358, 360, 367, 369, 372, 373, 375, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 408, 419, 420, 442, 489, 517, 518, 528, 533, 550, 553, 563, 567, 599, 600, 620, 625, 626, 627, 631, 632, 636, 641
 Alkohol · 224, 225, 230, 238
 Alltagsverständnis · 27, 30, 145
 Alltagsvorstellung · 26, 413
 Ambühl · 264, 297, 482, 486, 492, 532, 540, 611, 628, 642
 an der Heiden · 159, 165, 174, 211, 216, 267, 277, 296, 308, 410, 422, 423, 424, 463, 464, 465, 642, 661
 Andersen · 214, 479, 643
 Anderson · 215, 221, 222, 223, 224, 225, 230, 313, 461, 474, 475, 643, 653

Ä

Änderungsmotivation · 58

A

Andreadis · 370, 372, 376, 565, 573, 643
 Andrews · 198, 643
 Androide · 32, 33, 37, 41, 43, 45, 168, 177, 672
 Angeboren · 53, 79

Angst · 35, 54, 64, 163, 214, 216, 220, 221, 222, 226, 232, 244, 266, 277, 284, 312, 426, 451, 498, 499, 508, 535, 614, 638
 Angststörung · 54, 231, 240
 Anishchenko · 138, 139, 155, 156, 157, 158, 406, 626, 643
 Anker
 Ankerrad · 127
 Anker-Hemmung · 127
 Anomalie · 81, 88, 118
 Ansbacher · 233, 643
 Anschlussfähigkeit · 282
 Antizipation · 57, 428
 Apfelmännchen · 426

Ä

Äquilibration · 666

A

Arbeitsbereich · 282
 Arbeitslosigkeit · 241
 Argyris · 370, 372, 376, 565, 573, 643
 ARIMA · 341, 346
 Arnhold · 671
 Aronson · 443, 643
 Arthur · 319, 643
 Ashford · 164, 643
 Assimilation · 86, 454, 455
 Astakhov · 643
 Asthma · 218
 Atkinson · 53, 643
 Atom · 22, 41, 82, 86, 134, 137, 147
 ATP · 494
 Attraktor · 48, 92, 98, 99, 112, 113, 114, 122, 123, 125, 130, 136, 137, 140, 141, 142, 143, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 170, 171, 173, 174, 196, 204, 209, 210, 211, 215, 216, 262, 263, 264, 265, 269, 272, 273, 277, 298, 299, 305, 308, 312, 335, 361, 362, 363, 365, 366, 367, 368, 371, 372, 373, 376, 377, 379, 380, 381, 382, 384, 385, 386, 387, 388, 390, 391, 395, 417, 418, 421, 430, 432, 434, 437, 441, 443, 445, 446, 450, 458, 463, 466, 467, 475, 488, 489, 541, 556, 598, 599, 602, 618, 623, 632, 674, 676
 Fixpunkt · 48, 51, 80, 112, 116, 122, 137, 138, 140, 141, 168, 171, 381, 382, 416
 Grenzyklus · 92, 137, 138, 141, 156, 168, 170, 268, 382, 416
 Lorenz-Attraktor · 98, 130, 156, 362, 368, 376, 388, 390, 391, 599
 seltsamer · 155, 157, 171, 376, 489
 Torus · 137, 138, 157, 168, 185, 312, 416, 599
 Auer · 213, 214, 644, 648, 657
 Aufnahmebereitschaft · 463, 491, 540, 611, 642
 Aussagensystem · 208, 245

- Austauschprozess · 22, 24, 162, 655
 Austin · 675
 Autokatalyse · 201, 271, 278, 280
 Autokorrelationsfunktion · 113, 331, 341,
 342, 343, 344, 350, 355, 356, 357, 358,
 360, 406, 407, 489, 523
 Automat · 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,
 41, 66, 168, 317, 327, 328, 329, 439,
 667, 672
 Autonomie · 45, 46, 49, 168, 473, 479, 495
 Autopoiese · 167, 168, 427, 472, 473, 481
 Avicenna · 28
 Axiom · 30, 41, 246
 Azetylcholinesterasehemmer · 244
-
- B**
- Babloyantz · 263, 296, 367, 368, 373, 414,
 416, 417, 418, 422, 423, 564, 628, 643
 Bach · 18, 370, 371, 619, 655, 656
 Bachmann · 663
 Bäckertransformation · 152, 173, 381, 385
 Baer · 656
 Bak · 546, 556, 632, 643
 Ballow · 652
 Banbrook · 384, 644
 Bane · 658
 Barnsley-Farn · 144
 Barrios · 59, 644
 Bartlett · 67, 72, 430, 431, 433, 437, 440,
 452, 453, 644
 Bartlett-Szenario · 430, 431, 433, 437, 440
 Baruch · 319, 665
 Basar · 643, 672
 Basisfunktion · 335, 338
 Bassin · 140, 142, 170, 417, 434
 Bastine · 518, 644
 Bateson · 207, 644
 Batschelet · 104, 644
 Batson · 207
 Baumann · 59, 60, 64, 665, 667, 671
 Baxter · 645
 Bayes-Theorem · 359
 Beaudoin · 665
 Beauregard · 665
 Beavin · 50, 197, 466, 472, 481, 590, 677
 Becht · 648
 Beck · 22, 26, 618, 644, 661
 Becker · 319, 415, 644
 Becker-Carus · 415, 644
 Bedingungsanalyse · 58, 494
 Beeinflussungsstärke · 200, 202, 271
 Behaviorismus · 52, 54, 56, 57, 58, 61, 65,
 67, 68, 72, 446, 447, 451, 452, 453, 455,
 469, 470, 495, 496, 506, 665, 677
 Belusov · 81, 118, 119, 120, 121, 122, 125,
 130, 135, 644
 Belusov-Zhabotinsky-Reaktion · 81, 119,
 120, 122, 125, 130, 135
 Bem · 643
 Benazon · 668
 Benetka · 195, 281, 312, 644
 Benjamin · 485, 653
 Bennet · 443, 644
 Beobachter · 21, 36, 42, 145, 151, 197, 228,
 428, 433, 435, 436, 473, 479, 527, 531
 Berg · 171, 476, 540, 644, 648
 Bergin · 664
 Berkowitz · 187, 644
 Bernauer · 17, 469, 484, 653
 Berner · 677
 Bernstein · 44, 45, 644
 Besicovitch · 145, 147, 148, 644
 Bettermann · 263, 267, 422, 644
 Beute · 102, 103, 104, 105, 106, 114, 115,
 116, 164, 279, 297
 Bewegungsgesetz · 30, 35, 89, 95, 126, 169,
 439, 451
 Bewusstsein · 64, 244, 415, 428
 Beziehungsgestaltung · 19, 267, 268, 484,
 485, 486, 487, 492, 493, 509, 512, 522,
 532, 533, 534, 547, 569, 616, 636, 637,
 641, 669
 Beziehungsstruktur · 21
 Bhattacharya · 417, 645
 Bienenwaben · 412
 Bierbaumer · 649
 Bifurkation · 111, 123, 136, 161, 170, 209,
 269, 277, 611, 618, 645, 651, 673
 Bifurkationspunkt · 110, 111, 112, 113,
 123, 141, 170, 171, 209, 269
 Billig · 675
 Biologie · 19, 22, 23, 24, 47, 54, 61, 62, 167,
 211, 212, 214, 218, 233, 235, 240, 247,
 410, 412, 413, 414, 424, 427, 462, 465,
 472, 480, 494, 620, 647, 654, 656, 661,
 671
 Bitterman · 56, 645
 Blackman · 648
 Blank · 650
 Blaser · 444, 645
 Blick · 23, 50, 74, 79, 83, 89, 167, 187, 193,
 243, 278, 325, 410, 456, 457, 461, 530,
 537, 543, 631, 645
 Boehnke · 398, 645
 Boiteux · 296, 423, 628, 655
 Böker · 647
 Bölker · 670
 Boltzmann · 176
 Bonney · 204, 478, 645, 674
 Boor · 468, 645
 Bordens · 443, 645
 Born · 172, 645
 Bortz · 398, 645
 Boscolo · 672
 Böse · 39, 621, 645
 Böttcher · 645
 Bottom-up · 99, 100, 143, 166, 196, 253,
 262, 263, 269, 270, 272, 273, 276, 307,
 312, 488, 500, 507, 513, 623, 624, 628
 Bourdieu · 459, 460, 645
 Bourgouin · 665
 Bozog · 469, 645
 Brabant · 655
 Braitenberg · 660, 666, 676
 Brandt · 19, 417, 564, 620, 645
 Bray · 118, 645, 672
 Brenner · 647
 Breuer · 67, 165, 172, 205, 206, 217, 249,
 253, 426, 427, 428, 487, 645, 651
 Brewster · 37
 Bricmont · 618, 619, 673
 Briggs · 107, 386, 645
 Brody · 214, 645
 Brokkazentrum · 214

- Bronisch · 214, 244, 646
 Broomhead · 338, 354, 645
 Brosa · 655
 Brousek · 259, 260, 264, 625, 675
 Brown · 335, 386, 463, 642, 645, 646
 Bruder-Bezzel · 472, 646
 Brunner · 131, 214, 244, 468, 532, 533, 628,
 629, 642, 646, 653, 654, 659, 667, 669,
 672, 676
 Bruns · 90
 Bryant · 386, 646
 Buchholz · 198, 643
 Bühler · 469, 645
 Bullock · 672
 Bundy · 675
 Bunz · 448, 449, 654
 Burger · 644
 Burke · 647
 Burton · 663, 672
 Buscherowsky · 649
 Butz · 351, 646
 Buzug · 17, 358, 360, 361, 363, 364, 646
-
- C**
 C++ · 19, 567, 620, 631
 Cadusch · 417, 418, 421, 647
 Calhoun · 221, 646
 Camarena · 221, 678
 Camazine · 328, 412, 646
 Camersche Regel · 337
 Campbell · 662
 Cann · 221, 646
 Cantor · 87
 Capra · 207, 646
 Carmesin · 444, 445, 446, 673
 Cartwright · 468, 646
 Casdagli · 335, 338, 386, 417, 419, 422, 646
 Caspar · 19, 58, 60, 63, 77, 214, 215, 244,
 484, 493, 495, 498, 499, 500, 502, 503,
 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 513,
 517, 519, 526, 527, 528, 532, 620, 629,
 631, 646, 653
 Castelfranchi · 317, 320, 322, 323, 324, 647
 Cattell · 61, 647
 CCRT · 485, 660
 Cecchin · 672
 Chaitin · 399, 647
 Chakrabarty · 416, 668
 Chang · 417, 647, 670
 Change-Prozess · 610
 Chaos
 Chaosforschung · 17, 153, 155, 159, 160,
 335, 481, 533, 629, 670
 Chaostheorie · 17, 124, 160, 618, 661,
 671, 676
 chaotisch · 37, 89, 94, 97, 98, 99, 101,
 111, 112, 113, 114, 122, 123, 124,
 138, 151, 152, 153, 154, 155, 157,
 158, 159, 160, 161, 170, 171, 172,
 174, 182, 190, 196, 209, 210, 211,
 245, 262, 263, 264, 267, 268, 269,
 271, 272, 273, 303, 304, 307, 311,
 312, 331, 332, 335, 336, 341, 343,
 349, 352, 374, 376, 377, 379, 381,
 382, 383, 384, 387, 406, 414, 416,
 417, 418, 421, 422, 465, 468, 481,
 489, 534, 555, 557, 573, 580, 599,
 600, 602, 610, 615, 623, 636, 649,
 669
 stochastisches · 421
 Chapman · 648
 Charcot · 217
 Charms · 468, 647
 Chase · 438, 647, 658, 664
 Chemie · 43, 81, 118, 120, 121, 122, 125,
 131, 261, 654, 663
 Chen · 546, 556, 632, 643
 Cherry · 47, 647
 Chunking · 75
 Ciliberto · 649
 Cimagalli · 335, 652
 Ciompi · 213, 264, 297, 410, 453, 455, 463,
 464, 470, 642, 647
 CIP · 485, 671
 Cirillo · 672
 Clausius · 84, 85
 Codol · 663, 673
 Collet · 397, 405, 626, 647
 Collins · 262, 384, 386, 389, 390, 391, 392,
 394, 406, 408, 490, 599, 600, 626, 627,
 636, 668
 Compliance · 221, 224, 225, 230, 647
 Computer · 72, 88, 94, 97, 98, 108, 124, 140,
 153, 159, 164, 174, 216, 256, 261, 262,
 271, 297, 313, 317, 318, 329, 425, 439,
 442, 647, 654, 660, 661, 667, 668, 675,
 676
 Computersimulation · 94, 104, 182, 185,
 186, 203, 254, 261, 271, 274, 297,
 307, 331, 463, 489, 625
 Conen · 474, 647
 Conflict Set · 76, 329
 Conte · 317, 320, 322, 323, 324, 647
 Cook · 660
 Cooley · 456
 Coping · 230, 499, 655, 661, 663
 maladaptives · 230
 Correlation Density · 422
 Costa · 61, 662
 Coveney · 84, 95, 118, 119, 120, 127, 647
 Cover Jones · 56
 Cox · 666
 Creech · 663
 Creutz · 546, 556, 632, 643
 CRH · 424
 Crits-Christoph · 485, 660
 Crutchfield · 335, 647, 665
 Curtis · 485, 672
 Cvitanovic · 417, 419, 673
 Cyberspace · 255
 Czogalik · 484, 486, 532, 629, 647, 655
-
- D**
 Dafilis · 417, 418, 421, 647
 Dale · 654
 Damm · 649
 Dampfmaschine · 43, 44, 45, 84
 Dance · 661
 Dar · 469, 664
 Datenfilterung · 331, 333, 340, 573
 David · 37, 75, 420, 439, 657, 665
 Davidson · 221, 659
 Davis · 443, 648, 667
 De la Mettrie · 35

- De Luca · 262, 384, 386, 390, 406, 408, 490, 626, 627, 668
de Shazer · 467, 476, 534, 540, 644, 648
Deduktionslogik · 205, 206, 209, 211, 244, 246, 623
deduktiv · 183, 205, 206, 507
Definition · 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 35, 47, 55, 61, 73, 78, 84, 126, 130, 142, 145, 146, 151, 152, 154, 157, 162, 163, 165, 168, 172, 178, 191, 205, 212, 245, 272, 276, 309, 312, 389, 396, 474, 492, 521, 637, 658
Deinare · 652
Dekodierung · 47
Dementia praecox · 462
Demokrit · 82
Demoralisierung · 58, 470
Denker · 468, 648, 673
Depression · 213, 214, 220, 222, 223, 225, 227, 228, 237, 240, 242, 243, 298, 463, 498, 499, 502, 664, 668
Derrida · 473, 648
Descartes · 33, 35, 72, 415, 426
Desensibilisierung
systematische · 469
Destabilisierung · 450, 471, 569, 612
Destexhe · 263, 367, 368, 373, 414, 416, 417, 418, 422, 564, 643
Determinante · 64, 297, 337, 362, 485
Determinismus · 23, 30, 41, 49, 52, 55, 65, 66, 81, 82, 83, 87, 88, 94, 97, 109, 113, 127, 138, 151, 159, 167, 168, 170, 171, 172, 178, 209, 235, 263, 272, 277, 279, 303, 377, 395, 398, 399, 416, 417, 418, 420, 421, 422, 427, 465, 489, 494, 496, 599, 610, 623, 626, 636, 645
Detje · 648
Deutsch · 19, 119, 328, 411, 412, 413, 620, 646, 648, 653, 663, 666, 667, 672
Dickson · 457, 667
Diederich · 659
DiFalco · 148, 668
Differenzenquotient · 140, 290, 291, 292, 293
Dijk van · 652
Dilettantismus · 22
Dimensionalität · 19, 143, 145, 146, 148, 150, 154, 158, 273, 303, 352, 358, 361, 365, 366, 370, 371, 372, 373, 374, 376, 385, 387, 393, 395, 406, 419, 422, 490, 534, 563, 564, 565, 567, 569, 570, 573, 575, 576, 578, 580, 581, 583, 594, 595, 596, 599, 620, 626, 631, 634, 635, 638
Hausdorff-Besicovitch-Dimension · 145, 147, 148
PD2 · 367, 373, 374, 375, 380, 389, 393, 406, 407, 534, 552, 563, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 593, 594, 596, 597, 599, 600, 608, 610, 626, 631, 634, 638
PD2-Verlauf · 563, 583, 584, 585, 586, 588, 590, 593, 594, 597, 638
DiPrisco · 19, 263, 268, 417, 441, 620, 651
Dirichlet · 89
Diskrimination · 54, 75
Dissipation · 134, 136, 140, 158, 177, 179, 267, 621
dissipativ · 110, 121, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 140, 158, 160, 166, 168, 169, 272, 276, 382, 414
Divergenz
exponentielle · 152, 155, 157, 158, 160, 376, 383, 385, 387, 389, 406, 407, 626
Dolecki · 657
Dollard · 186, 187, 648, 663
Donati · 17, 469, 484, 653
Doob · 186, 648, 663
Dörner · 51, 80, 213, 259, 313, 648
Dorsch · 52, 648
Drehbewegung · 44, 45
Drehzahl · 43, 44, 45
Drei-Körper-Problem · 87, 89, 90, 94, 96, 104, 109, 121, 130, 140, 185, 192
Dreikurs · 495, 527, 648
Drepper · 335, 337, 674
Dubin · 656
Dubois · 103, 106, 115, 247, 252, 648
Duehrssen · 468, 648
Duke · 416, 417, 419, 420, 628, 656, 666
Dullin · 412, 667
Duncker · 444, 445, 648, 669
Dünki · 264, 642
Durkheim · 456
Dürr · 82, 83, 173, 174, 648
Dvorak · 658
Dvorák · 665
Dyer · 319, 649
Dysenterie · 228
Dyson · 143, 649
Dziewas · 58, 77, 494, 505, 532, 628, 653
-
- E**
Ebbeson · 444, 658
Ebeling · 18, 399, 405, 553, 619, 649
Ebmeier · 214, 649
Eckmann · 384, 386, 397, 405, 626, 647, 649
Ecopolicy · 258, 676
EEG · 19, 263, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 465, 489, 564, 620, 628, 645, 646, 650, 651, 656, 658, 665, 666, 673
Efferenz · 69
Eichler · 133, 649
Eigen · 17, 30, 69, 87, 649
Eigenschaftsdiagnostik · 59, 60, 61, 62
Einbettungsdimension · 253, 303, 336, 337, 354, 355, 358, 360, 361, 363, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 375, 378, 379, 380, 385, 388, 405, 406, 407, 408, 420, 499, 564, 566, 567, 568, 569, 571, 572, 574, 576, 577, 578, 581, 583, 590, 591, 597, 600, 626, 627
Einflussfaktoren · 26, 43, 193, 195, 226, 232, 245, 372, 424, 462, 485, 662
Einflussgröße · 26, 247, 469
Einkommenspyramide · 241
Eklektizismus · 22
Elbert · 216, 263, 354, 373, 384, 414, 417, 564, 602, 649, 658, 670
Elektrochemisch · 118
Elektron · 132, 133, 134

- Elger · 421, 650, 668, 671
 Eliza · 313, 314, 315
 Elke · 661
 Ellner · 386, 649
 Elšik · 457, 649
 Elsner · 358, 676
 Emergenz · 135, 159, 457, 642, 673
 Emotion · 36, 63, 214, 215, 216, 218, 220, 221, 222, 224, 225, 226, 227, 232, 239, 240, 242, 243, 272, 276, 495, 498, 499, 503
 Empirisch · 17, 18, 52, 91, 95, 96, 98, 113, 133, 151, 153, 154, 155, 156, 160, 166, 178, 179, 182, 183, 185, 186, 187, 194, 196, 202, 203, 206, 209, 214, 246, 248, 249, 251, 252, 253, 254, 262, 263, 264, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 296, 303, 307, 312, 327, 329, 331, 332, 335, 341, 348, 349, 352, 353, 365, 366, 370, 393, 406, 420, 421, 424, 425, 432, 450, 451, 459, 465, 469, 482, 484, 487, 488, 491, 527, 533, 544, 545, 554, 618, 619, 620, 621, 623, 624, 625, 628, 629, 637, 650, 670
 Employability · 319
 Empt · 204, 478, 645, 674
 Energie · 40, 69, 84, 94, 103, 118, 121, 125, 126, 127, 129, 130, 132, 134, 136, 140, 168, 178, 179, 201, 258, 267, 276, 309, 318, 320, 321, 324, 326, 382, 535, 593, 614, 621, 638
 Enke · 485, 649
 Entelechie · 86, 169
 Entropie · 19, 47, 84, 86, 87, 120, 121, 125, 126, 130, 136, 151, 169, 177, 178, 210, 267, 273, 276, 309, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 395, 398, 399, 403, 405, 407, 553, 599, 610, 620, 626, 631, 632, 641
 algorithmische · 19, 399, 403, 405, 553, 599, 610, 620, 626, 631, 632, 641
 negative · 86, 121
 Entscheidungsbaum · 194, 195, 262, 270, 623, 624
 Entwicklungsstufe · 75
 Epidemiologie · 263, 424
 Epilepsie · 216, 263, 296, 417, 421, 422, 423, 465
 Epimenides · 206
 Epinephrin · 220, 223, 224, 238
 Epstein · 118, 119, 120, 649
 Erbanlage · 217
 Erkenntnisposition · 56
 Erklärungsabstand · 522
 Erten · 662
 Essex · 18, 371, 619, 664
 Ethisch · 55, 539, 572
 Ethnie · 240
 Eubank · 675
 Euklid · 143
 Evaluation · 58, 647, 649, 656, 659, 660
 Event-Sampling · 512
 Ewigkeit · 40, 42, 49, 81, 168, 178, 311
 Experiment · 30, 54, 67, 98, 100, 132, 142, 179, 187, 192, 251, 254, 275, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 438, 442, 645, 659, 660, 663, 667, 673, 676
 Explanandum · 206
 Explanans · 206
 Explikation · 253
 Extinction · 54
 Eykholt · 386, 678
 Eysenck · 54, 57, 61, 468, 469, 649, 650, 655, 660, 668
-
- F**
 Fairbanks · 645
 Fallbeispiel · 64, 199
 Fallgesetze · 27, 80, 652
 Fallkonzeption · 60, 495, 499, 503, 505, 508, 527, 646
 Fallmaterial · 511, 526
 Falsifikation · 248, 250, 252
 Farber · 335, 659
 Farmer · 18, 335, 338, 371, 386, 619, 650, 665, 675
 Fatou · 87
 Faure · 416, 417, 418, 419, 650
 Fechner · 118, 281, 650
 Feedback · 43, 44, 48, 66, 159, 162, 163, 169, 195, 208, 245, 267, 276, 621, 642, 644
 Feedbackprozesse · 47, 49, 159, 162, 178, 179, 185, 195, 196, 197, 206, 209, 244, 483, 533, 621, 629
 gemischtes Feedback · 159, 162, 245, 267, 276, 621
 negatives · 43, 44, 47, 48, 162, 163, 169, 179
 Fehler
 Fehlereskalation · 209, 636
 Fehlertoleranz · 95, 142, 388
 Feigenbaum · 110, 111, 112, 124, 130, 156, 650
 Feindseligkeit · 236, 239
 Feldman · 644
 Fell · 421, 423, 628, 650
 Fenster der Ordnung · 111, 112, 153, 156, 392
 Fernández · 421, 650
 Ferraz-Nunes · 242, 656
 Festinger · 74, 75, 650
 Fiedler · 486, 518, 644, 650
 Field · 644, 673, 675
 Filter · 333, 340, 349, 656
 Breitbandfilter · 333
 Kernel-Filter · 333, 349
 Finalanalyse · 496
 Fingerabdruck · 210
 Flament · 675
 Flammer · 657
 Fliehkraft · 44, 45
 Fliehkraftpendel · 44, 45
 Flugbahn · 27, 28
 Fluktuationen · 110, 113, 123, 129, 136, 152, 153, 170, 171, 174, 182, 209, 301, 302, 303, 304, 306, 309, 312, 333, 393, 450, 451, 458, 462, 490, 605, 607, 611, 612, 616, 638, 640, 641
 Flussdiagramm · 321, 322
 Foppa · 62, 650
 Forbidden Words · 398
 Forschung
 Forschungsmethodik · 30, 31, 175, 181, 276, 430, 463, 517

- Forschungsparadigma · 30
 Förstl · 214, 244, 650
 Foucault · 473, 618, 650
 Fourier-Synthese · 351, 352
 Fourier-Transformation · 351, 352, 375, 408, 565, 628
 FFT · 351, 352, 375, 407, 560, 561, 564, 580, 581, 582, 634, 636
 FFT-Surrogat · 352, 375, 407, 564, 580, 581, 582, 634, 636
 FT · 351, 352
 Fragetypen · 477
 Fraktal · 143, 144, 145, 149, 154, 155, 157, 158, 425, 426, 634, 665
 Frames · 499, 503
 Francis · 673
 Frank · 213, 380, 650
 Fraser · 358, 360, 567, 651
 Freeman · 19, 263, 268, 415, 416, 417, 418, 421, 441, 620, 651, 672
 Frei · 58, 421, 659
 Freiheitsgrad · 134, 136, 137, 138, 154, 158, 353, 366, 412, 414, 416, 421, 447, 448, 455, 458, 463, 490, 597
 Frequenz
 Frequenzspektrum · 333, 349, 350, 352, 358, 372, 406, 408, 420, 489, 564, 580, 581, 582, 628, 636
 Freud · 186, 217, 227, 229, 233, 234, 440, 455, 456, 457, 458, 498, 651, 667
 Fricke · 461, 467, 468, 533, 629, 669
 Friedlander · 538, 651
 Friedlmayer · 259, 260, 264, 401, 625, 642, 652, 675
 Friedrich · 216, 263, 652, 669
 Fromm · 457, 652
 Frustration · 64, 79, 186, 187, 188, 189, 190, 203, 211, 644, 648, 663
 Frustrations-Aggressionshypothese · 186, 187, 188, 190, 203, 211
 Fuchs · 415, 449, 656, 657
 Fulton · 672
 Funk · 417, 652
 Furcht · 54, 227
-
- G**
 GABA-Rezeptoren · 296, 422, 423
 Gadamer · 473, 652
 Galanter · 30, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 313, 452, 453, 495, 497, 532, 629, 663
 Galdrikian · 675
 Galen · 218
 Galilei · 28, 451, 652
 Gallant · 649
 Gammainterferon · 223
 Ganzheitlich · 233, 480, 646
 Gao · 372, 652
 Garbellini · 672
 Garber · 443, 652
 Garfield · 664
 Garnett · 662
 Garson · 36, 652
 Gatti · 296, 652
 Geburtsfehler · 218
 Geckova · 241, 652
 Gedächtnisinhalte · 440, 441, 442
 Geertz · 473, 652
 Gees · 670
 Geisteswissenschaften · 131, 214, 669
 Generalisation · 54, 75
 Generic Model · 482, 483, 484, 485, 488, 491, 492, 532, 540, 611, 629, 630
 Genogramme · 477, 662
 Gerdtham · 241, 652
 Gerson · 477, 662
 Geschwindigkeit · 27, 91, 92, 95, 126, 184, 310, 353, 355, 442, 447, 448, 450, 451
 Gestalt
 Gestaltbildung · 411, 416
 Gestaltgesetze · 67, 175, 430, 434, 443
 Gestalttheorie · 434, 436, 443, 457, 663
 Gesundheit · 119, 212, 218, 219, 220, 233, 235, 236, 239, 241, 242, 243, 301, 308, 422, 463, 464, 466, 467, 470, 476, 663, 671, 676
 Gheorgiu · 659
 Ghezzi · 672
 Gibson · 128, 652
 Gigo · 259, 261
 Gilbert · 647, 668
 Gilmore · 646, 668
 Gingerich · 648
 Giona · 335, 652
 Glaser · 215, 217, 218, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 229, 230, 236, 237, 238, 242, 243, 319, 643, 652, 657, 658, 665
 Glasersfeld · 46, 166, 427, 435, 652
 Glass · 395, 464, 465, 652, 657
 Glättungsstufe · 567, 570, 577, 578, 579, 582, 583, 595
 Glatz · 649
 Gleichgewicht · 46, 48, 110, 121, 125, 126, 127, 128, 130, 136, 140, 152, 158, 160, 169, 177, 190, 308, 318, 382, 472
 Gleichgewichtserferne · 121
 Gleichgewichtspunkt · 120, 126
 Gleichungssystem
 Differenzgleichungen · 104, 140, 270, 289, 290, 291, 292, 294, 295, 296, 297, 307, 625, 669
 Gluckman · 673
 Glühlampe · 132, 133
 Göbel · 649
 Gödel · 208, 655
 Gödel-Nummerierung · 208
 Goldberger · 263, 267, 422, 652, 672
 Goldfried · 58, 61, 649, 653
 Goldstein · 87, 167, 653
 Golmore · 646
 Good · 652
 Goolishian · 461, 474, 475, 643, 653
 Gopinathan · 650
 Gossard · 647
 Gott · 33, 34, 426
 Gower · 116, 660
 Graf · 649
 Grahn · 328, 412, 653
 Grammar Complexity · 18, 399, 400, 401, 403, 553, 554, 555, 619, 632, 656
 Grammer · 492, 512, 653
 Grandville · 33, 34

- Grassberger · 262, 360, 366, 373, 374, 376, 379, 401, 405, 406, 414, 419, 420, 563, 567, 626, 632, 634, 653, 671
 Gravitation · 89, 184, 458
 Grawe · 17, 19, 58, 60, 63, 77, 78, 215, 216, 243, 308, 410, 453, 455, 467, 468, 470, 471, 482, 484, 486, 490, 492, 493, 494, 505, 509, 532, 533, 540, 564, 593, 594, 595, 598, 610, 611, 620, 628, 629, 642, 646, 650, 653, 663, 664, 676
 Grawe-Gerber · 467, 471, 485, 653
 Gray · 662
 Grecova · 644
 Green · 67, 70, 653
 Grehn · 95, 184, 653
 Groddeck · 218, 219, 220, 654, 660, 678
 Grothe · 611, 664
 Grothoff · 652
 Groupness · 347
 Grubich-Simitis · 651
 Gruhl · 509, 533, 537, 629, 654
 Grundformel · 61, 63
 Gruppe · 57, 68, 131, 135, 155, 230, 241, 319, 320, 323, 324, 325, 326, 333, 405, 456, 457, 458, 460, 462, 494, 527, 528, 529, 530, 626, 659, 663, 670
 Gruppenintervention · 230
 Gruppentherapie · 77, 230
 Guerry · 296, 654
 Gunz · 319, 654
 Guss · 26, 663
 Guthrie · 70, 654
 Gutierrez · 444, 654
-
- H**
- Haag · 115, 192, 268, 458, 459, 628, 677
 Häcker · 52, 648
 Hadamard · 397, 654
 Hagner · 415, 440, 654
 Haken · 17, 30, 84, 87, 115, 116, 117, 122, 124, 131, 132, 133, 134, 135, 139, 141, 142, 160, 177, 211, 247, 291, 412, 415, 432, 433, 440, 442, 448, 449, 450, 473, 598, 618, 628, 654, 658, 668, 673
 Haley · 478, 654
 Hall · 319, 655, 656, 675
 Handlung · 41, 55, 69, 70, 71, 72, 73, 78, 79, 234, 440, 455, 461, 494, 496, 505
 Handwerkskunst · 39
 Hanser · 642, 645, 664, 672
 Harms · 424, 655
 Harrer · 317, 320, 324, 668
 Harris · 463, 645
 Harrison · 659
 Hartmann · 59, 644
 Harvey · 33
 Hass · 186
 Hausdorff · 145, 147, 148, 655
 Hawthorne-Studie · 457
 Hayes · 644
 Haynes · 430, 434, 435, 436, 437, 440, 441, 628, 673
 Heaviside-Funktion · 361, 367
 Hebb · 330, 655
 Hebbischen Regel · 330
 Hebel · 32, 40
 Hedlund · 397, 663
 Hegerl · 213, 244, 655, 666
 Hegger · 580, 600, 621, 631, 641, 655
 Hehlmann · 456, 457, 655
 Heiden · 216, 267, 277, 309, 410, 422, 423, 463, 464, 465, 642, 643, 652
 Heindl · 650
 Heini · 477, 655
 Heinze · 213, 663
 Hemmung · 127
 Hempel · 206, 209, 246, 655
 Hempel-Oppenheim-Schema · 206, 209, 246
 Henggeler · 658
 Henkel · 213, 244, 655
 Henman · 221, 655
 Hénon-System · 335, 390
 Hentschel · 485, 532, 628, 655
 Hermann · 17, 87, 122, 124, 131, 319, 323, 327, 414, 442, 460, 625, 655, 662, 668, 675
 Hermite · 89
 Herrmann · 522, 655
 Herz
 Herzkrankheit · 221, 222, 238, 239, 242
 Herzrhythmus · 263, 422
 Hesch · 424, 655, 666
 Hess · 296, 423, 628, 655
 Hessberg · 653
 Heterarchisch · 24, 162, 212
 Hettinger · 485, 532, 629, 647
 Heuristik · 142, 358, 492, 523
 Hewstone · 663, 673
 Hierarchie · 72, 243, 438, 455, 506, 510
 Hierarchisch · 23, 24, 69, 71, 72, 73, 75, 77, 78, 162, 495, 498, 500, 501, 502, 503, 506, 509, 510, 519, 527, 557
 Highfield · 84, 95, 118, 119, 120, 127, 647
 Hilgard · 643
 Hinsch · 642
 Hinsie · 659
 Hippokrates · 218
 Hirnforschung · 215, 243, 244, 657
 Hirnphysiologische Prozesse · 19, 620
 Hirsch · 55, 655
 HIV · 225
 HKB · 448, 449
 Ho · 645
 Hobbes · 34, 439, 655
 Höck · 645
 Hofstadter · 101, 206, 216, 217, 655
 Hogg · 399, 656
 Holden · 665
 Holstein · 443, 655
 Holt · 221, 646, 657, 663
 Holz · 653
 Holzkamp · 193, 205, 655
 Homöostase · 46, 47, 50, 51, 106, 116, 122, 163, 169, 190, 210, 267, 472, 480
 Honcariv · 652
 Hörmann · 671
 Horowitz · 443, 470, 485, 645, 656
 Hosp · 660, 666, 676
 Howard · 468, 482, 483, 484, 492, 532, 611, 628, 629, 630, 662, 664
 Hrnčíř · 665
 Hubermann · 399, 656
 Hughes · 319, 656
 Hume · 439, 440, 656

Humor · 221, 646, 655, 659, 661, 662, 663, 678
 Hund · 40, 52, 53, 57, 216
 Hunt · 173, 656
 Hütt · 327, 328, 341, 351, 352, 628, 656
 Hypnose · 217, 456
 Hypophysenvorderlappen · 220, 223, 238
 Hypothalamus · 220, 296, 424
 Hypothese · 98, 186, 187, 189, 211, 237, 324, 331, 417, 481, 482, 487, 490, 556, 593, 594, 598, 610, 632, 647, 666
 Hysterese-Effekt · 431, 434, 443, 444, 445, 452, 454, 458
 Hysterie · 217, 651

I

Isamid · 216, 263, 417, 419, 422, 646, 656, 668
 Ideker · 672
 Iellatchitch · 662, 675
 IIP · 485
 Image · 72, 73, 75
 IMI · 485
 Immunsystem · 220, 222, 224, 225, 227, 229, 230, 231, 238, 240, 242, 243
 Impetus · 28
 Impression-Management · 496, 506, 509
 Individualpsychologie · 233, 234, 235, 457, 496, 498, 643, 646, 648, 677
 Individuum · 55, 63, 117, 160, 186, 221, 233, 234, 235, 243, 319, 327, 416, 424, 427, 454, 455, 456, 458, 459, 480, 494, 497, 498
 Information · 21, 41, 45, 46, 47, 50, 62, 72, 74, 231, 244, 255, 258, 262, 268, 297, 332, 335, 341, 351, 353, 358, 359, 360, 361, 362, 365, 366, 368, 372, 375, 385, 387, 388, 396, 397, 398, 399, 403, 412, 417, 427, 428, 438, 440, 442, 443, 444, 445, 454, 470, 476, 477, 499, 503, 505, 507, 512, 519, 521, 523, 524, 525, 552, 565, 566, 567, 575, 631, 647, 649, 651, 654, 657, 658, 660, 664, 665, 671, 677, 678
 Informationsverarbeitung · 197, 268, 269, 416
 Information Informationsvermittlung · 268
 Inkson · 319, 643
 Innerpsychisch · 56, 61, 62, 71, 78, 410, 478, 494, 497
 Instrumentalität · 495, 499
 Integral · 90, 105, 363, 364
 Interaktion · 63, 65, 102, 133, 202, 203, 212, 254, 263, 268, 285, 316, 317, 320, 327, 456, 458, 459, 482, 484, 493, 499, 512, 521, 524, 549, 590, 597, 619, 637, 647, 654, 656, 658, 667, 670, 671, 675, 677
 Interaktionsdynamik · 19, 470, 485, 492, 493, 583, 589, 620
 Interdisziplinarität · 131, 211, 412, 472
 Interleukin-2 · 223
 Intermittenz · 111, 156, 185
 Interpunktion · 196, 197, 466
 Intervention · 58, 59, 178, 201, 215, 229, 230, 231, 232, 243, 254, 259, 269, 275, 299, 304, 308, 309, 316, 455, 466, 467,

469, 471, 478, 479, 482, 485, 486, 488, 534, 637, 650, 665, 667, 676, 678
 Introspektion · 55, 56, 506
 Irreversibilität · 127, 161, 170, 171, 175, 176
 Iteration · 109, 113, 153, 208, 431, 600, 601, 636, 637
 Ivanitsky · 120

J

Jackson · 50, 93, 197, 466, 472, 481, 590, 656, 677
 Jaeggi · 522, 656
 Jäger · 102, 103, 104, 105, 115, 116, 279
 Jaquet-Droz · 32
 Jedynak · 18, 370, 371, 619, 656
 Jelliffe · 220
 Jerger · 670
 Jiménez · 18, 336, 399, 553, 619, 632, 649, 656, 667
 Jiménez-Montano · 18, 399, 553, 619, 632, 649, 656, 667
 Jing · 417, 419, 656
 Jirsa · 449, 656
 Johannesson · 241, 652
 Johnson · 657, 662
 Jones · 56, 656
 Jonsson · 242, 656
 Jorswieck · 468, 648
 Judd · 352, 420, 673
 Julia · 87
 Jupiter · 261
 Jürgens · 97, 107, 109, 144, 665

K

Kadtke · 335, 386, 642
 Kahle · 414, 656
 Kaimer · 461, 467, 468, 533, 629, 669
 Kairos · 486
 Kaltenhäuser · 650
 Kampfspiele · 255
 Kamphorst · 649
 Kanfer · 58, 61, 62, 63, 64, 494, 629, 657
 Kaniza · 411, 436, 657
 Kant · 36, 72, 197, 426, 657
 Kantz · 372, 373, 384, 389, 580, 600, 621, 631, 641, 655, 657
 Kapfhammer · 54, 214, 231, 244, 657
 Kaplan · 395, 657
 Karoly · 61, 629, 657
 Karriereforschung · 319
 Karten-Manöver · 255
 Kartierung · 139, 141
 Katecholamine · 220, 224
 Katharsis · 217, 229
 kathartisch · 217
 Katschnik · 645
 Kaufmann · 213, 214, 657
 Kausalität · 41, 49, 50, 95, 134, 171, 172, 173, 174, 178, 207, 345, 435, 453, 460, 462, 481
 kausal · 17, 36, 37, 39, 41, 50, 51, 52, 55, 63, 65, 66, 69, 79, 81, 88, 106, 172, 173, 175, 178, 183, 197, 205, 209, 213, 241, 242, 267, 345, 461, 462, 469, 470, 471, 480, 482, 483, 485, 532, 628, 630

- Kazantsev · 98, 657
 Keller · 75, 76, 313, 657
 Kelly · 471, 657
 Kelso · 415, 448, 449, 654, 656, 657
 Kelvin · 45
 Kempelen · 35
 Kepler · 89
 Kiecolt-Glaser · 215, 217, 218, 220, 221,
 222, 223, 224, 225, 229, 230, 231, 236,
 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 643,
 657, 658, 665
 Kiesler · 485, 658
 Killerzellen · 222, 223, 230
 Kindheit · 240, 441
 King · 354, 645
 Kippfiguren · 67, 434
 Klahr · 75, 76, 313, 455, 657, 658
 Klammer · 345, 642
 Klangumsetzung · 521, 674
 Klar · 463, 642
 Kleinkind · 54, 447
 Klient · 17, 19, 57, 59, 60, 61, 66, 77, 269,
 277, 297, 298, 299, 304, 306, 307, 308,
 310, 316, 346, 444, 460, 468, 470, 471,
 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481,
 485, 486, 493, 494, 495, 499, 503, 504,
 506, 507, 508, 509, 513, 517, 520, 527,
 534, 535, 537, 538, 539, 540, 541, 542,
 543, 544, 545, 546, 547, 548, 550, 551,
 552, 553, 554, 555, 558, 559, 560, 561,
 562, 565, 566, 568, 570, 571, 572, 574,
 575, 576, 577, 578, 579, 581, 582, 583,
 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591,
 592, 594, 596, 597, 600, 601, 602, 603,
 604, 605, 606, 607, 608, 609, 611, 612,
 613, 614, 615, 616, 620, 633, 635, 636,
 638, 639, 640, 642, 643, 658, 664, 667,
 668, 670, 671, 674, 675
 Klimamodell · 99, 174
 Klimasimulation · 261
 Kline · 221, 666
 Klir · 21, 25, 658
 Kluwe · 658
 Köchner · 650
 Kodierung · 47, 203, 533, 534, 537, 629
 Koeffizientenmatrix · 336, 337
 Koffein · 225
 Koffka · 19, 67, 410, 416, 434, 620, 658
 Kognition · 19, 22, 23, 36, 57, 58, 68, 69, 70,
 71, 73, 75, 76, 214, 313, 427, 438, 439,
 440, 441, 442, 443, 444, 452, 453, 454,
 458, 459, 471, 474, 475, 478, 479, 488,
 509, 620, 628, 657, 662, 663, 672, 673
 Köhler · 19, 58, 67, 69, 434, 442, 457, 509,
 533, 537, 620, 629, 658, 667, 670, 671
 Kolmogorov · 124, 210, 376, 377, 399, 406,
 407, 626, 658
 Kolmogorov-Sinai-Entropie · 210, 376, 377,
 406, 407, 626
 Komárek · 665
 Kommer · 518, 644
 Kommunikation · 50, 196, 197, 251, 282,
 314, 412, 427, 458, 460, 466, 474, 476,
 479, 480, 481, 482, 493, 508, 541, 543,
 556, 569, 614, 631, 639, 655, 677
 Kommunikationsstruktur · 461, 541
 Komprimierung · 399, 400, 403, 405, 632
 Konditionierung · 53, 54, 55, 267
 Konecni · 444, 658
 König Oscar II · 89
 Konstruktivismus · 17, 46, 166, 426, 433,
 473, 660
 Kontrollgruppe · 217, 230
 Kontrollparameter · 110, 122, 123, 134, 136,
 139, 140, 141, 142, 156, 157, 160, 161,
 165, 166, 185, 196, 204, 211, 216, 247,
 252, 262, 267, 269, 272, 276, 277, 299,
 305, 306, 316, 389, 422, 434, 447, 448,
 449, 467, 486
 Koordinatensystem · 91, 92, 106, 141, 353,
 354, 356, 550
 Karhunen-Loeve-Koordinatensystem
 354
 Köpchen · 598, 654
 Köppen · 94, 658
 Korn · 416, 417, 418, 419, 650
 Körper
 körperlich · 64, 217, 218, 222, 227, 228,
 231, 236, 239, 242, 243, 475
 Körpertemperatur · 46
 Korrelation · 182, 253, 272, 273, 332, 341,
 342, 343, 344, 345, 346, 347, 352, 354,
 375, 389, 393, 394, 550, 552, 554, 557,
 562, 583, 584, 586, 587, 589, 590, 593,
 594, 600, 601, 602, 608, 609, 611, 612,
 614, 615, 636, 637, 639
 Cross-Linked-Korrelation · 341, 345, 346,
 352
 korrelativ · 200, 486, 562, 586
 Korrelationsintegral · 360, 361, 365, 366,
 367, 368, 374, 376, 379, 380, 406, 418,
 422, 489, 626
 D2 · 19, 303, 351, 367, 368, 370, 371,
 372, 373, 375, 376, 380, 385, 387,
 395, 406, 407, 408, 419, 420, 423,
 552, 563, 564, 565, 567, 568, 569,
 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576,
 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583,
 595, 596, 597, 599, 600, 620, 626,
 627, 634, 635, 672
 Korrelationsdimension · 19, 367, 369,
 370, 375, 376, 406, 407, 408, 416,
 419, 492, 563, 564, 565, 566, 569,
 570, 620, 626, 634, 636
 Korrelationsmatrix · 345, 354, 584, 587
 Kortisol · 220, 223, 225
 Kosmos · 22, 82
 Kostelich · 384, 676
 Koukkou · 417, 658
 Kowalik · 19, 58, 267, 268, 373, 410, 486,
 509, 532, 533, 542, 557, 602, 620, 628,
 630, 649, 658, 670
 Kozma · 651
 Kraepelin · 410, 462, 463, 658
 Kraft · 27, 86, 184, 229, 235, 478, 509
 Krankheit · 57, 60, 204, 212, 213, 218, 219,
 222, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 236,
 239, 242, 243, 296, 297, 309, 456, 461,
 462, 463, 464, 465, 466, 467, 477, 535,
 642, 671, 676
 dynamische · 277, 461, 465
 Krankheitserreger · 220
 periodische · 296, 465
 Kratky · 213, 218, 268, 658

- Krause · 653
 Kreativfunktion · 254
 Krebs · 119, 225, 232, 237, 242
 Kreische · 650
 Kreiskausal · 49, 196, 197, 209, 226, 263,
 459, 466, 482, 484, 485, 497
 Kreuzig · 648
 Krieg
 Kriegs-Schach · 255
 Kriegsspiele · 255
 Krinsky · 120
 Kritisch
 kritische Fluktuationen · 113, 171, 209,
 490, 605, 607, 611, 638, 641
 kritisches Langsamerwerden · 113, 170,
 209
 Kriz · 21, 24, 57, 115, 131, 192, 251, 252,
 259, 297, 307, 468, 481, 619, 658, 659
 Krohn · 642
 Kronhaus · 214, 649
 Krüger · 653
 Kruse · 269, 410, 416, 429, 431, 440, 442,
 444, 445, 446, 463, 628, 659, 673
 Kuhn · 66, 67, 248, 249, 452, 659
 Kuiper · 661
 Kumpf · 658
 Künzler · 468, 645
 Küppers · 618, 642, 654, 659, 665, 670, 673
 Kurzzeittherapie · 534, 644, 648, 670
 Küstenlinie · 144, 147, 148, 149, 150, 154
 Kybernetik · 18, 30, 31, 43, 47, 48, 50, 51,
 52, 66, 68, 71, 73, 78, 79, 80, 81, 106,
 122, 169, 178, 180, 207, 439, 447, 452,
 455, 472, 480, 497, 619, 621, 622, 647
-
- L**
 Labor · 100, 193, 261
 Lai · 417, 659
 Laird · 313, 659, 668
 Laireiter · 661
 Lakatos · 659, 662
 Landis · 468, 659
 Landisman · 672
 Langeweile · 64
 Langs · 667
 Langthaler · 457, 659, 670
 Lapedes · 335, 659
 Laplace · 41, 89, 648
 Larsen · 662
 Laser · 131, 132, 133, 134, 135, 137, 140,
 353, 433, 442, 490, 593
 Launier · 496, 659
 Laux · 513, 533, 629, 659
 Lazarus · 57, 496, 659
 L-Dopa · 244
 Le Bon · 456
 Leary · 485, 659
 Lebenserwartung · 236, 237, 241
 Lebensgeister · 33
 Lebenslanges Lernen · 319
 Lebensstil · 234, 235, 461, 497
 Lebewesen · 40, 45, 72, 86, 87, 179, 435,
 473, 480
 Lebière · 313, 643
 LeBon · 659
 Lee · 44, 55, 650
 Lefcourt · 221, 659
 Lehmann · 658
 Lehmkuhl · 677
 Lehnertz · 668, 671
 Leibniz · 41, 172
 Leist · 447, 450, 451, 659
 Lempel · 401, 402, 403, 660, 678
 Lempel-Ziv
 LZ77 · 401, 403, 405
 LZ78 · 401, 402, 403
 Ziv-Lempel · 401
 Lentini · 335, 652
 LePage · 187, 644
 Lerma · 672
 Lernen · 53, 55, 66, 74, 75, 103, 252, 299,
 319, 451, 452, 454, 455, 527, 643, 654,
 656
 Lerntheorie · 57, 61, 75, 451, 505
 Lerner · 19, 417, 419, 422, 564, 620, 660
 Leroux · 665
 Leschot · 32
 Leslie · 116, 660
 Leuchter · 214, 660
 Leukozyten · 223
 Lévesque · 665
 Levi · 648
 Levin · 399, 678
 Levold · 474, 660
 Levy · 468, 647
 Lewin · 19, 67, 457, 620, 660
 Lewinter · 218, 219, 660
 Li · 112, 153, 155, 660
 Liebert · 360, 660
 Liebhafsky · 118, 645, 672
 Liebovitch · 150, 660
 Lienert · 60, 398, 645, 660
 Liening · 110, 660
 Life-Event · 241, 462, 463
 Lighthill · 30
 Likert-Skala · 371
 Liley · 417, 418, 421, 647
 Lindskold · 496, 513, 538, 675
 Lindsley · 57, 660
 Lineal · 39, 40, 49, 50, 51, 63, 65, 66, 79,
 106, 162, 175, 178, 182, 183, 185, 196,
 197, 244, 250, 254, 262, 267, 268, 270,
 307, 451, 461, 466, 469, 470, 471, 477,
 481, 483, 494, 532, 621, 628, 630
 nichtlineal · 49, 66, 179, 183, 185, 196,
 244, 263, 267, 276, 452, 621, 623
 Linear · 17, 19, 36, 38, 39, 69, 141, 159, 185,
 191, 195, 196, 204, 252, 258, 279, 280,
 281, 285, 286, 287, 288, 309, 331, 332,
 335, 336, 341, 351, 352, 354, 358, 367,
 368, 370, 372, 375, 387, 393, 394, 405,
 406, 407, 417, 420, 422, 452, 480, 486,
 534, 557, 562, 564, 580, 581, 582, 600,
 614, 620, 627, 634, 636, 638, 646, 656,
 660, 662, 664, 669
 nichtlinear · 17, 18, 29, 39, 48, 124, 135,
 137, 138, 139, 151, 159, 160, 163,
 165, 166, 168, 175, 176, 177, 179,
 185, 192, 195, 196, 204, 211, 245,
 267, 270, 272, 273, 276, 287, 296,
 307, 309, 316, 332, 335, 337, 351,
 352, 358, 375, 396, 412, 416, 417,
 420, 422, 431, 434, 438, 444, 452,
 473, 483, 489, 492, 533, 542, 555,

- 557, 580, 582, 583, 595, 597, 599,
610, 618, 619, 621, 623, 625, 629,
632, 636, 649
- Linsay · 335, 660
Linz · 139, 673
Lipchik · 476, 648
Lippold · 648
Lipsitt · 658
Löfberg · 653
Loftus · 443, 660
Longo · 215, 256, 660
Longtin · 675
Lorenz · 81, 97, 98, 99, 101, 102, 109, 113,
123, 130, 156, 288, 289, 290, 291, 294,
295, 339, 355, 362, 368, 370, 371, 373,
376, 388, 390, 391, 392, 599, 618, 626,
657, 660
Lösungsorientierung · 475, 481
Lotka · 102, 103, 104, 105, 106, 107, 114,
115, 116, 137, 164, 247, 248, 249, 250,
660
Lowe · 338, 645
Luborsky · 468, 469, 485, 649, 660, 663
Luccioni · 677
Ludewig · 17, 167, 168, 427, 435, 455, 461,
467, 472, 473, 474, 479, 481, 532, 628,
661
Ludwig XVI · 46
Luhmann · 46, 167, 411, 458, 473, 474, 480,
482, 532, 628, 661
Lyapunov-Exponent · 19, 210, 263, 269, 273,
303, 335, 363, 381, 382, 383, 384, 385,
386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393,
394, 395, 406, 407, 419, 422, 423, 490,
492, 534, 563, 582, 583, 599, 600, 601,
610, 615, 616, 620, 626, 631, 636, 637,
638, 676, 678
LLE · 263, 384, 385, 386, 394, 534, 599,
600, 601, 602, 603, 604, 605, 606,
607, 608, 609, 611, 612, 613, 614,
615, 616, 631, 636, 637, 638, 640
Lyotard · 473, 618, 661
-
- M**
- MacCallum · 657
Mackey · 159, 216, 267, 277, 296, 410, 422,
423, 463, 464, 465, 642, 643, 652, 661
Mackinger · 482, 485, 642, 661, 669
Maderthaler · 58, 60, 661
Maelzel · 35
Mahoney · 452, 661
Mainzer · 32, 36, 82, 131, 169, 172, 330,
642, 659, 661, 670, 673
Makroebene · 134, 135, 136, 459, 460, 482
Malarkey · 658
Mandelbrot · 143, 144, 145, 146, 147, 148,
154, 159, 366, 406, 425, 426, 626, 661
Mandelkern · 645
Mann · 535, 650
Männerbünde · 322, 323, 326, 667
Manteufel · 131, 202, 213, 255, 259, 268,
410, 481, 533, 629, 661, 669, 670
Martin · 217, 221, 649, 661, 662, 672
Martino · 672
Marucha · 657
- Maschine · 33, 34, 35, 36, 38, 43, 44, 45, 47,
65, 72, 84, 128, 169, 175, 461, 647, 652,
660
Maschinenmetapher · 29, 31, 36, 39, 40,
66, 78
Maslach · 444, 652
Massenpsychologie · 456, 457, 651, 667
Massensuggestion · 456
Massen-Trägheitsgesetz · 27
Masterman · 67, 662
Mattl · 662, 675
Maturana · 46, 166, 167, 168, 411, 416, 427,
435, 473, 479, 480, 481, 482, 532, 628,
662
Maxwell · 45, 172, 173, 439, 656, 662
Mayer-Kress · 263, 414, 416, 418, 564, 662,
672, 676
Mayo · 457, 662
Mayrhofer · 264, 265, 268, 319, 327, 662,
675
Mazzoni · 672
Mazzucchelli · 672
McCaffrey · 649
McCrae · 61, 662
McCulloch · 652
McGloskey · 28, 662
McGoldrick · 477, 662
McGuire · 657
McLaughlin · 384, 644
McNamara · 335, 647
McNeilly · 468, 662
McSharry · 422, 662
Mead · 44, 456, 662
Meadows · 261, 662
Mechanik · 18, 27, 30, 31, 34, 35, 36, 39, 40,
44, 52, 55, 66, 67, 81, 83, 86, 126, 151,
162, 169, 176, 178, 179, 180, 210, 245,
257, 413, 439, 619, 621, 622, 645, 652,
672
Medizin · 165, 213, 217, 218, 227, 231, 232,
233, 412, 424, 456, 458, 466, 642, 646,
650, 655, 657, 661, 662, 664, 666, 671,
674, 676
Medizinmodell · 213, 218
Mees · 667
MEG · 263, 414, 658
Mehrfachbestimmtheit · 498, 502, 503, 510,
517, 519, 527
Meisenzahl · 213, 214, 243, 662
Membranpotenzial · 418, 419, 423
Mensch · 22, 23, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36,
37, 38, 43, 46, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 65,
66, 67, 68, 69, 72, 74, 79, 81, 82, 144,
161, 164, 165, 168, 175, 177, 188, 193,
196, 197, 212, 214, 215, 216, 217, 218,
219, 220, 221, 222, 223, 224, 228, 229,
231, 233, 234, 235, 237, 239, 240, 242,
243, 254, 255, 259, 268, 270, 277, 307,
319, 329, 410, 411, 414, 415, 418, 425,
426, 427, 428, 434, 435, 436, 437, 438,
439, 440, 441, 442, 447, 452, 455, 456,
458, 461, 462, 463, 465, 466, 468, 469,
470, 474, 477, 478, 480, 492, 494, 495,
496, 497, 498, 499, 500, 511, 527, 528,
539, 572, 610, 647, 660, 671, 672, 676
Menschenbild · 212, 234, 270
Menschenmenge · 317, 455, 456, 458

- Mensour · 665
 Merkmalsauflösung · 493
 Messfehler · 95, 96, 98, 209, 211, 272, 365, 378, 522, 563
 Metabolismus · 86
 Metaphorik · 487
 Metzger · 19, 410, 411, 416, 434, 436, 437, 456, 620, 662, 663
 Meyer · 468, 469, 644, 662, 663, 675
 Michon · 664
 Mid-Point-Verfahren · 291, 292, 293, 295, 329
 Mikroebene · 79, 133, 134, 135, 136, 410, 433, 459
 Mikroprozessanalyse · 19, 52, 485, 486, 492, 509, 620
 Miller · 30, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 186, 187, 313, 452, 453, 476, 495, 497, 532, 629, 644, 648, 663, 672
 Millicent · 221, 663
 Milling · 662
 Milton · 267, 277, 410, 463, 464, 465, 661
 Minderwertigkeitskomplex · 236
 Mintz · 485, 663
 Minuchin · 478, 663
 Mitra · 672
 Mitscherlich · 651
 Mittag-Leffler · 89, 93, 656
 Mittelmann · 268, 347, 410, 663, 670
 Mittelwert · 152, 182, 326, 327, 333, 334, 335, 340, 344, 345, 351, 362, 363, 364, 369, 372, 373, 375, 387, 389, 405, 521, 522, 523, 524, 525, 541, 553, 554, 565, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 577, 578, 579, 581, 584, 586, 587, 588, 593, 594, 595, 601, 606, 608, 609, 612, 634, 635, 639
 geschachtelter gleitender · 335, 600
 gleitender · 333, 335, 405, 522, 523, 567, 600, 612
 Mobile · 26, 84, 85, 211
 Mode · 135, 142, 199
 Modellbildung · 18, 95, 115, 182, 183, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 200, 201, 203, 204, 209, 244, 245, 246, 247, 249, 252, 253, 254, 255, 262, 270, 271, 272, 276, 278, 297, 307, 310, 338, 488, 619, 623, 624, 674
 Mogul · 417, 419, 673
 Molekül · 101, 135, 147, 152, 216, 465
 Möller · 213, 214, 244, 662
 Molnar · 373, 406, 626, 648, 673
 Molter · 457, 663
 Mommer · 672
 Mond · 261
 Monster · 143
 Montada · 74, 664, 671
 Mood · 398, 649, 663
 Moore · 668
 Moosfaser · 423
 Moreno · 336, 656
 Morgan · 660
 Morse · 397, 663
 Moscovici · 675
 Motorisch · 61, 447
 Mowrer · 186, 648, 657, 663
 Moxon · 666
 Mpitsos · 417, 663
 Mühlwinkel · 670
 Müller · 118, 213, 372, 410, 463, 464, 647, 648, 650, 663, 664
 Mummendey · 186, 187, 513, 538, 663
 Munally · 648
 Münze · 213, 663
 Musgrave · 662
 Musik · 143, 493, 517, 674, 675
 Muskeln · 33, 227, 450
 Mutual-Information · 358, 360, 362, 365, 368, 385, 387, 388
-
- N**
 Nachrichtentechnik · 47
 Nahrungsquelle · 117
 Narr · 47, 663
 Naschold · 47, 663
 Nathans · 485, 672
 Natur · 17, 24, 29, 34, 38, 39, 41, 42, 46, 51, 83, 85, 86, 87, 95, 98, 126, 131, 143, 144, 147, 151, 154, 175, 179, 192, 195, 227, 247, 248, 287, 311, 410, 426, 470, 487, 557, 642, 644, 654, 659, 661, 662, 665, 666, 669, 670, 671, 672, 673
 Naturgesetz · 46, 81, 82, 126, 151, 205
 Naturwissenschaft · 27, 29, 30, 41, 124, 177, 213, 214, 427, 438, 446, 451, 618, 619, 646
 Nebenniere · 68, 220, 223
 Nebennierenrinde · 220, 238
 Nebenwirkung · 214, 218, 225, 227, 231
 Neiman · 643
 Neisser · 427, 428, 453, 497, 663
 Nelle · 670
 Nelson · 644, 675
 Nerenberg · 18, 371, 619, 664
 Nerven · 33, 34, 227, 228, 416
 Nesbit · 652
 Netoff · 673
 Netze
 neuronale · 329, 330, 411
 Neubauer · 655
 Neurobiologie · 215, 243
 Neurose · 57, 217, 219, 462, 650, 677
 Neurotransmitter · 214
 Newell · 75, 313, 439, 659, 664, 668
 NEWS · 255
 Newton · 27, 28, 34, 89, 90, 95, 126, 143, 169, 184, 192, 236, 237, 238, 426, 439, 451, 657, 665
 Nichelle · 672
 Nickel · 213, 243, 664
 Nicolis · 105, 125, 127, 129, 381, 664
 Niedersen · 669
 Nischk · 611, 664
 Nitsch · 659
 Noll · 33, 34, 664
 Nolte · 372, 664
 Norepinephrin · 220, 223, 224
 Normal · 60, 134, 219, 532, 628, 665
 Normierung · 60, 62, 364, 560, 561
 Noyes · 118, 672
 Nychka · 649

O

Objektivität · 22, 55, 56, 60, 62, 63, 65, 139, 215, 411, 416, 430, 433, 445, 474, 476
 Oerter · 74, 664, 671
 Ofen · 43, 44

Ö

Ökologie · 81, 102, 115, 247, 248, 251, 253, 487, 645, 678
 Ökolopoly · 258, 259
 Ökonomie · 46, 199, 239, 462, 485

O

Olinger · 661
 Olsen · 263, 424, 664
 Olsson · 653
 Omer · 469, 664
 Omine · 654
 On-off-Pattern · 510, 517, 519, 521, 523, 557, 631
 Onsager · 125
 Operationale Schließung · 427
 Operationalisierung · 186, 512, 514, 540, 637, 650
 Operationslogik · 46, 168
 Operator · 500, 501, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 519, 526, 530, 531, 537, 538, 540, 557
 Oppenheim · 206, 209, 246, 655
 Ordner · 134, 160
 Ordnung
 Ordnungsbildung · 18, 30, 87, 89, 130, 134, 135, 169, 177, 412, 413, 415, 421, 430, 431, 433, 434, 440, 443, 445, 455, 458, 459, 460, 473, 490, 594, 619, 670
 Ordnungsparameter · 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 215, 433, 434, 442, 448
 Ordnungsübergang · 611, 616
 Organ · 23, 228, 411, 465
 Organismus · 23, 35, 47, 63, 69, 72, 86, 177, 186, 213, 219, 228, 261, 427, 452, 461, 465, 466, 642
 Orlinsky · 482, 483, 484, 492, 532, 611, 628, 629, 630, 642, 664
 Osborne · 420, 664
 Osorio · 659
 Oszillierend · 126, 207
 Ott · 645
 Ourti · 241, 665

P

Packard · 354, 365, 665
 Pädagogik · 56, 256, 271
 Page · 657
 Palm · 651
 Palmer · 443, 660
 Paluš · 19, 417, 419, 420, 564, 620, 665
 Panik · 284
 Paolucci · 198, 317, 320, 322, 324, 643, 647
 Papiercomputer · 202, 478
 Paquette · 214, 665

Paradigma · 54, 66, 67, 71, 131, 142, 179, 267, 353, 439, 440, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 472, 490
 Paradoxie · 206, 209, 478, 677
 Parameter · 43, 44, 46, 104, 110, 111, 116, 117, 122, 142, 156, 166, 204, 220, 252, 253, 281, 283, 284, 285, 287, 288, 300, 305, 309, 335, 336, 337, 338, 386, 387, 388, 392, 394, 432, 605
 Parisi · 386, 674
 Parker · 89, 90, 665
 Parks · 484, 532, 611, 629, 664
 Partnerschaft · 236, 237, 238, 239, 459, 477, 485, 534, 536, 619, 653
 Paslack · 151, 665
 Pathogenese · 461, 462
 Pathologisch · 143, 456, 461
 Patient · 50, 56, 58, 64, 213, 220, 225, 230, 231, 240, 243, 244, 256, 465, 466, 472, 482, 483, 484, 496, 504, 505, 532, 628, 645, 667, 672
 Pauen · 663, 671, 673, 676
 Pavlekovic · 659
 Pawelzik · 335, 665
 Pawlik · 59, 665
 Pawlow · 53, 57, 665
 Peat · 107, 645
 Peiperl · 319, 665
 Peitgen · 97, 107, 109, 144, 665
 Pendel · 84, 91, 120, 126, 127, 129
 Pennebaker · 217, 218, 230, 665
 Pereira · 33
 Performanzmodell · 75, 76
 Periode
 Periodendauer · 106, 432, 448, 465
 Periodenlänge · 341, 342, 345, 348, 349, 350, 351, 356, 358, 361, 364, 386, 560, 561
 Periodik · 108, 109, 153, 155, 271, 363
 Perpetuum Mobile · 84, 85
 Perrez · 483, 630, 665, 667, 671
 Perry · 654
 Persönlichkeit · 59, 61, 189, 190, 224, 233, 234, 411, 455, 482, 668
 Persönlichkeitsfaktoren · 189, 224, 226, 240, 244
 Persönlichkeitsmerkmal · 189
 Pessimist · 68, 69, 224
 Peterson · 89, 90, 93, 95, 665
 Peto · 463, 645
 Pettit · 221, 666
 Pfaff · 673
 Pfister · 358, 360, 361, 363, 364, 646
 Pflanze · 86, 154, 169, 179, 412, 425, 667
 Phantasie · 69, 164, 504
 Phasenraum · 19, 91, 92, 105, 114, 123, 137, 138, 139, 152, 154, 157, 210, 269, 273, 303, 317, 336, 340, 352, 353, 354, 355, 356, 360, 361, 363, 365, 366, 367, 370, 375, 376, 377, 380, 381, 382, 383, 385, 387, 395, 398, 405, 406, 407, 564, 567, 569, 589, 590, 591, 592, 615, 620, 626, 627, 631, 634
 Phasenraumabbildung · 123, 353, 358, 589
 Phasenraumrekonstruktion · 331, 354, 356, 357, 358

- Phasenübergang · 123, 124, 211, 252, 269, 272, 277, 412, 416, 419, 422, 438, 447, 448, 463, 471, 490, 491, 534, 599, 605, 611, 637, 638, 654
- Phasenwinkel · 351, 352, 408, 449, 565, 580, 581, 582, 628, 636
- Phillips · 64, 657
- Philosophisch · 72, 172, 678
- Physikalisch · 34, 47, 68, 84, 95, 129, 151, 159, 160, 165, 167, 276, 281, 363, 430, 435, 439, 487, 618
- Physiokratismus · 46
- Physiologie · 47, 57, 61, 63, 68, 211, 220, 222, 226, 229, 232, 414, 465
- Piaget · 19, 72, 74, 75, 78, 79, 313, 427, 451, 452, 453, 454, 497, 532, 620, 629, 666
- Pichler · 648
- Pielke · 386, 678
- Pielou · 106, 115, 116, 248, 250, 251, 666
- Pinel · 213, 227, 244, 666
- Placebo · 660
- Plan · 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 128, 255, 428, 485, 493, 495, 497, 498, 499, 500, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 513, 514, 517, 519, 521, 522, 524, 526, 527, 528, 529, 537, 540, 541, 543, 547, 549, 557, 569, 631, 663, 670, 672
- Oberplan · 19, 503, 510, 511, 513, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 528, 529, 530, 537, 538, 539, 543, 545, 547, 548, 551, 557, 566, 569, 570, 571, 572, 620, 631, 633
- Plananalyse · 19, 52, 58, 77, 78, 79, 485, 492, 493, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 502, 503, 504, 505, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 517, 518, 519, 521, 522, 525, 526, 527, 528, 530, 531, 532, 533, 534, 537, 538, 543, 555, 557, 562, 563, 566, 569, 575, 580, 595, 616, 620, 629, 631, 632, 634, 646
- Planhypothese · 504, 506, 513, 526, 528
- Plankonstellation · 543, 544, 545, 546, 547, 548, 550, 551, 552, 553, 554, 556, 557, 599, 631, 632
- Plankonzept · 71, 75, 77, 78, 79, 313, 497
- Planpartitur · 517, 519, 521, 522, 525, 543, 553, 555, 595, 631, 632, 637
- Sequentielle Plananalyse · 19, 52, 58, 78, 485, 492, 493, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 517, 518, 519, 521, 522, 525, 526, 528, 530, 531, 533, 534, 537, 557, 562, 563, 566, 569, 575, 580, 595, 616, 620, 629, 631, 632, 634, 654, 658, 667, 668, 670, 674
- SPA · 485, 492, 509, 510, 512, 513, 518, 519, 526
- Unterplan · 508, 510, 513, 514, 515, 516, 537, 538, 540, 557
- Planeten · 40, 89, 90, 92, 94, 96, 121, 152, 184, 439
- Pleyer · 474, 666
- Plog · 213, 648
- Plötz · 649
- Pneumokocken · 219
- Poe · 37
- Pogarell · 213, 244, 655, 666
- Pohlmann · 669
- Poincaré · 81, 87, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 97, 101, 102, 109, 118, 123, 124, 126, 139, 152, 153, 159, 176, 192, 382, 439, 451, 666
- Poincaré-Bendixon-Theorem · 139
- Poincaré-Schnitt · 92, 93, 94, 382
- Poissonverteilung · 544
- Pojman · 118, 119, 120, 649
- Polynom · 335, 336, 337, 340
- Pongratz · 19, 434, 436, 437, 456, 620, 662
- Popp · 52, 666
- Popper · 205, 206, 250, 252, 666
- Populärwissenschaftlich · 21
- Populationsdynamik · 102, 121, 204, 248, 249, 278, 329
- Poscher · 650
- Post · 120, 430, 431, 440, 652, 661, 665, 675
- Potenziallandschaft · 48, 142, 170, 308, 418
- Powell · 337, 666
- Pradhan · 665
- Prägnanz · 436, 437
- Prank · 424, 655, 666
- Prata · 672
- Pribram · 30, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 313, 452, 453, 495, 497, 532, 629, 663
- Prichard · 352, 419, 420, 565, 580, 628, 666
- Prigogine · 17, 30, 87, 103, 105, 120, 121, 122, 125, 126, 127, 129, 160, 166, 169, 177, 209, 381, 473, 621, 664, 666
- Pringle · 319, 643
- Pritchard · 19, 416, 417, 419, 420, 564, 620, 628, 645, 666
- Pritehard · 656
- Private Logik · 495
- Prkachin · 221, 659
- Problemsystem · 461, 474, 476, 478
- Procaccia · 262, 360, 366, 373, 374, 376, 379, 406, 414, 419, 420, 563, 567, 626, 634, 653
- Procházka · 665
- Production System · 75, 76, 313, 315, 316, 317, 329, 625, 658, 664
- Production Systems · 75, 76, 313, 316, 317, 329, 625, 664
- Prognose · 95, 98, 153, 174, 178, 182, 183, 205, 206, 209, 210, 211, 221, 244, 245, 246, 249, 253, 254, 269, 422, 464, 468, 637
- Programm · 40, 72, 75, 261, 313, 314, 315, 441, 515
- Prolaktin · 220, 223
- Proportional · 28, 98, 103, 104, 115, 117, 125, 279, 280, 281, 283, 285, 564, 634
- Proportionalität · 103
- Provenzale · 420, 664
- Prozess
- Prozessforschung · 277, 471, 484, 486, 487, 488
- Prozessgestalt · 100, 136, 154, 161, 163, 211, 265, 267, 268, 276, 277, 287, 308, 310, 410, 493, 593

- soziale · 19, 488, 620
 Psychoanalyse · 186, 233, 440, 472, 494, 654, 667
 Psychologie · 17, 18, 24, 30, 31, 36, 47, 51, 52, 55, 56, 57, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 76, 77, 79, 80, 81, 88, 115, 131, 160, 165, 175, 186, 190, 191, 192, 193, 195, 199, 204, 205, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 229, 230, 231, 243, 247, 248, 251, 273, 276, 277, 297, 307, 309, 313, 348, 355, 371, 410, 412, 415, 424, 425, 427, 438, 444, 446, 451, 452, 453, 455, 456, 469, 471, 476, 487, 495, 533, 619, 620, 623, 628, 629, 641, 642, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 655, 656, 657, 658, 659, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 674, 675, 676
 Psychoneuroimmunologie · 220, 236
 Psychopathologisch · 24, 463
 Psychosomatik · 61, 218, 220, 649, 667
 Psychotherapie · 17, 19, 65, 77, 167, 212, 214, 215, 218, 229, 231, 232, 233, 243, 244, 267, 278, 307, 372, 425, 453, 454, 455, 465, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 490, 491, 492, 493, 532, 533, 555, 556, 564, 593, 597, 598, 610, 611, 620, 628, 629, 630, 632, 637, 641, 642, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 674, 675, 677
 Psychotherapieforschung · 212, 215, 401, 452, 453, 468, 471, 482, 484, 487, 488, 517, 522, 532, 629, 641, 653, 656, 670
 PTH · 423
 Puhlik-Doris · 662
 Puh-Westerheide · 255, 261, 666
 Puppe · 34, 256
 Pyramidenzelle · 422, 423
-
- Q**
- Quantenphysik · 132, 173
 Quasi-Attraktor · 598, 602
 Quesnay · 46
-
- R**
- Raatz · 60, 660
 Rachmann · 61, 650
 Räderwerk · 39, 40, 41, 81, 83, 90, 127
 Radial Basis Funktion · 336
 Rahmenbedingung · 22, 40, 122, 159, 170, 185, 206, 210, 245, 251, 278, 317, 319, 484, 485, 486, 569, 638, 661
 Rahmentheorie · 245, 246, 271
 Rahmqvist · 242, 656
 Raidl · 378, 667
 Rand · 164, 485, 675
 Rapp · 400, 401, 665, 667
 Rastetter · 322, 667
 Rauschen · 331, 332, 333, 363, 365, 366, 372, 373, 388, 395, 416, 417, 418, 420, 421, 555, 565
 Ray · 649
 Rayner · 54, 677
 Reaktion · 49, 53, 54, 57, 61, 63, 64, 69, 70, 81, 118, 119, 120, 121, 122, 125, 197, 218, 220, 240, 247, 272, 284, 452, 494, 498, 508, 513, 617, 640
 Reaktionssubstitution · 187
 Realität · 103, 106, 165, 190, 193, 196, 215, 247, 248, 250, 251, 255, 256, 258, 260, 275, 311, 337, 353, 427, 447, 473, 528
 Reduktionismus · 212, 213, 214
 Reese · 658
 Reetz · 319, 667
 Reflecting Team · 479
 Reflex · 53, 68, 672
 Reframing · 477
 Regelkreis · 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 71, 73, 78, 79, 80, 106, 116, 122, 137, 159, 162, 163, 169, 179, 191, 206, 276, 447, 480, 621
 Regeltechnik · 47
 Regler · 44, 45
 Regressionsmodell · 534, 611, 614, 615, 638
 Reich · 667
 Reicherts · 202, 259, 661, 669, 670
 Reimann · 296, 465, 667
 Reinecker · 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 494, 533, 629, 657, 667
 Reinecker-Hecht · 59, 60, 64, 667
 Reiter · 473, 481, 653, 667
 Reiter-Theil · 653
 Reither · 648
 Reitmann · 319, 667
 Reiz · 52, 53, 54, 57, 61, 66, 68, 69, 71, 72, 78, 281, 410, 417, 418, 421, 427, 428, 430, 437, 452, 494, 505, 508
 Rekonstruktion · 143, 356, 385, 387, 388, 579
 Rekursiv · 63, 75
 Reliabilität · 60, 62, 215, 371, 385, 386, 387, 389, 392, 406, 419, 420, 421, 513, 526, 527, 530, 597, 600, 626, 637
 REM-Aktivität · 423
 Renaissance · 218
 Rensing · 642, 643, 652
 Resignation · 58, 261
 Ressourcenorientierung · 471, 475, 480, 481
 Revensdorf · 672
 reversibel · 126, 169, 170, 171
 Rezeptorzelle · 69
 Reznicek · 264, 401, 642, 652
 Richards · 651
 Richardson · 164, 643, 645
 Richter · 19, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 43, 45, 46, 58, 412, 442, 444, 486, 493, 494, 509, 533, 537, 620, 629, 663, 667, 670, 671, 673
 Roazen · 186, 217, 233, 667
 Robert · 75, 99, 667
 Roberts · 658
 Robinson · 652
 Robles · 657
 Rockstroh · 216, 263, 414, 417, 564, 649
 Roethlisberger · 457, 667
 Rogers · 471, 484, 668
 Rogge · 486, 650
 Rohracher · 52, 668
 Roper · 646, 668

- Rorty · 473, 668
 Röschke · 650
 Rosenbaum · 323, 325, 668
 Rosenberg · 214, 656, 668
 Rosenbloom · 313, 659, 668
 Rosenfeld · 496, 513, 538, 675
 Rosenhan · 54, 672
 Rosenstein · 262, 384, 386, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 406, 408, 490, 599, 600, 626, 627, 631, 636, 668
 Rosenzweig · 468, 668
 Rössler · 390, 642
 Rost · 172, 668
 Roth · 663, 671, 673, 676
 Rötzer · 160, 668
 Rousseau · 319, 643
 Rubin · 67
 Rückkopplung · 49, 50, 133, 176, 195, 258, 299, 451, 621, 672
 Ruelle · 153, 155, 156, 157, 159, 376, 384, 386, 406, 489, 599, 626, 649, 668
 Ruggeri · 336, 656
 Runge-Kutta-Verfahren · 289, 291, 292, 293, 294, 295, 296
-
- S**
- Saam · 317, 320, 324, 668
 Sackellares · 216, 263, 417, 419, 422, 646, 656, 668
 Sader · 471, 668
 Saltzberg · 672
 Sampson · 504, 677
 Sandkasten · 255
 Sano · 386, 668
 Sarbadhikari · 416, 668
 Sarraïlle · 148, 668
 SASB · 485, 653
 Sato · 386, 668
 Sauer · 647, 670
 Saunders · 296, 423, 628, 668
 Saupe · 97, 107, 109, 144, 665
 Savit · 646
 Sawada · 386, 668
 Saxena · 645
 Schachautomat · 35, 37
 Schaffer · 263, 424, 664
 Schardt · 509, 533, 537, 629, 668
 Schaub · 114, 115, 185, 192, 296, 301, 307, 311, 313, 316, 317, 329, 463, 623, 668, 669
 Scheier · 36, 264, 267, 268, 401, 410, 468, 490, 532, 533, 564, 593, 594, 595, 598, 628, 629, 669, 676
 Schein · 236, 319, 669
 Schemata · 65, 72, 73, 78, 106, 206, 209, 211, 246, 327, 423, 427, 428, 452, 453, 454, 455, 458, 459, 470, 471, 475, 478, 488, 509, 653
 Schematheorie · 452, 453, 454, 455, 470, 532, 629
 Schiepek · 17, 18, 19, 24, 39, 58, 65, 78, 84, 88, 95, 105, 106, 107, 114, 115, 118, 131, 136, 157, 173, 179, 185, 192, 200, 202, 207, 209, 210, 211, 212, 253, 255, 259, 265, 266, 267, 268, 270, 273, 274, 275, 289, 296, 297, 301, 307, 308, 311, 313, 316, 317, 329, 340, 347, 349, 356, 378, 381, 382, 384, 384, 395, 398, 410, 412, 423, 424, 444, 453, 455, 456, 457, 459, 460, 461, 463, 465, 467, 468, 470, 471, 472, 475, 477, 478, 479, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 492, 493, 509, 512, 517, 521, 528, 532, 533, 534, 536, 538, 540, 541, 550, 553, 556, 557, 562, 569, 602, 611, 619, 620, 621, 623, 625, 628, 629, 630, 632, 642, 645, 654, 658, 659, 661, 664, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 674, 675, 676
 Schiff · 417, 419, 647, 670, 673
 Schiffiger · 264, 265, 268, 319, 323, 327, 625, 662, 675
 Schimansky-Geier · 643
 Schindler · 485, 671
 Schizophrenie · 50, 213, 243, 264, 289, 296, 297, 311, 463, 464, 647, 669
 Schlafstörung · 220, 224, 225
 Schlaganfall · 218, 222
 Schlinke · 655
 Schlippe · 465, 475, 477, 479, 481, 671
 Schmelzer · 58, 61, 62, 63, 494, 629, 657
 Schmerz · 221, 224, 225, 226, 228, 231, 232, 236, 237
 Schmetterlingseffekt · 109, 113, 209, 376, 378, 381, 406, 599, 626, 636
 Schmidt · 386, 653
 Schmitz · 352, 420, 580, 628, 671
 Schneewind · 198, 671
 Schoellhorn · 447, 450, 451, 671
 Schöpfer · 34, 219
 Schöpfung · 219
 Schoppek · 115, 185, 192, 289, 296, 297, 301, 307, 488, 669
 Schreiber · 19, 32, 35, 40, 43, 352, 417, 420, 564, 580, 600, 620, 621, 628, 631, 641, 655, 671
 Schrödinger · 86, 87, 121, 177, 415, 426, 487, 671
 Schulenburg · 663
 Schulte · 212, 536, 663, 670, 671
 Schulze · 649
 Schürer · 96, 671
 Schurig · 23, 671
 Schürmann · 372, 373, 401, 405, 626, 632, 657, 671
 Schuster · 17, 30, 87, 109, 111, 137, 138, 139, 159, 172, 190, 336, 358, 360, 378, 381, 382, 626, 649, 660, 665, 671
 Schütz · 509, 513, 533, 538, 629, 667, 670, 671
 Schwartz · 651
 Schwegler · 170, 213, 671
 Schweitzer · 460, 465, 473, 474, 475, 477, 479, 481, 532, 628, 671, 672, 677
 Schwengler · 676
 Sears · 186, 648, 663
 Seele · 33, 35, 72, 80, 169, 415, 648
 Seifritz · 384, 672
 Seitz · 371, 372, 672
 Selbstähnlichkeit · 112, 124, 149, 150, 154, 460, 461
 Selbstdarstellungsdimension · 510, 511, 513, 514, 516, 537, 538, 539, 541, 547, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 566, 567, 568, 569, 570, 573, 574, 575, 576, 584, 595,

- 596, 597, 599, 601, 602, 611, 612, 613, 614, 634, 635, 638
- Selbstdarstellungsforschung · 513, 538
- Selbstorganisation · 17, 18, 19, 30, 51, 87, 89, 113, 118, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 160, 163, 167, 168, 169, 176, 209, 216, 245, 278, 308, 353, 412, 413, 414, 425, 433, 442, 451, 452, 457, 470, 471, 472, 473, 481, 483, 489, 532, 557, 573, 594, 599, 619, 620, 642, 646, 647, 654, 659, 661, 665, 667, 669, 670, 671, 673, 675, 676
- Selbstorganisationshypothese · 488, 490, 533, 564, 593, 594, 619, 629, 674
- Selbstrechtfertigung · 496
- Selbstreferenzialität · 46, 473
- Selbstregulation · 45, 46, 61, 79, 258, 497, 532, 629
- Self-organized criticality · 556, 632, 643
- Self-Relatedness · 611
- Seligman · 54, 672
- Selvini-Palazzoli · 50, 476, 478, 672
- Sexualität · 233, 650
- Sexualpräferenz · 54
- Sexualtrieb · 186
- Shadowing · 333, 335, 372
- Shakespeare · 176
- Shannon · 47, 358, 396, 399, 626, 672
- Shapiro · 485, 532, 628, 674
- Sharma · 118, 672
- Shaw · 665
- Sherrington · 69
- Sherrington · 69, 672
- Shiau · 668
- Sidorowich · 335, 338, 386, 650
- Siegert · 412, 672
- Siegler · 75, 313, 455, 658
- Siemens · 45
- Signal · 125, 268, 332, 372, 418, 423, 465, 522, 540, 563, 573, 653, 659, 671, 673
- Silberschatz · 485, 672
- Simhandl · 677
- Simmen · 37, 672
- Simon · 41, 75, 89, 438, 439, 647, 664
- Simulation · 18, 75, 76, 83, 96, 97, 98, 107, 114, 115, 122, 140, 154, 162, 182, 185, 203, 247, 254, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 263, 271, 273, 275, 278, 289, 296, 297, 298, 304, 307, 309, 310, 311, 312, 313, 316, 317, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 332, 383, 422, 465, 619, 623, 625, 646, 647, 648, 653, 659, 660, 663, 666, 667, 668, 669, 672, 675, 676
- Singer · 437, 469, 660, 672
- Sinnesmodalität · 174, 312
- Situation · 36, 54, 55, 59, 61, 63, 65, 77, 83, 187, 188, 189, 190, 193, 209, 210, 217, 255, 257, 259, 269, 312, 322, 474, 476, 481, 494, 495, 498, 504, 506, 513, 517, 519, 582, 611, 636, 648, 672
- Skalenqualität · 331
- Skarda · 263, 268, 417, 672
- Skinner · 53, 55, 57, 68, 263, 354, 373, 406, 422, 563, 569, 626, 628, 634, 649, 660, 672, 673
- Slutzky · 417, 419, 673
- Small · 352, 420, 668, 673, 678
- Smith · 46, 220, 333, 422, 643, 662, 673
- Sobel · 28, 426, 673
- Software · 101, 204
- Soinila · 663
- Sokal · 39, 618, 619, 673
- Solomon · 57, 660
- Sonnensystem · 81, 89, 90, 665
- Sozialpsychologie · 186, 234, 442, 455, 456, 457, 496, 533, 629, 643, 649, 673, 675
- Spada · 658
- Sparsamkeit · 165, 487
- Spektralanalyse · 331, 333, 341, 344, 348, 350, 351, 386, 557, 560, 561
- Spektraldichtefunktion · 348, 349, 351, 352
- Spielberger · 653
- Spiritus animales · 33
- Spörkel · 24, 131, 642, 666, 669
- Sprott · 139, 673
- Sreenivasan · 665
- Stabilitätsanalyse · 139, 141
- Stadler · 269, 410, 416, 429, 430, 431, 434, 435, 436, 437, 440, 441, 442, 444, 445, 446, 628, 654, 658, 659, 673
- Standardabweichung · 182, 326, 327, 568, 571, 572, 574, 577, 578, 579, 581, 589, 601
- Stapf · 52, 648
- Stationarität · 19, 117, 160, 161, 366, 372, 406, 418, 419, 490, 583, 593, 620, 626, 634, 661
- nichtstationär · 19, 161, 272, 340, 372, 373, 389, 392, 393, 418, 419, 492, 534, 597, 620, 631, 634
- Stäudel · 648
- Stegmüller · 249, 673
- Steinbock · 412, 672
- Steiner · 481, 642, 667
- Stengers · 17, 30, 87, 120, 209, 621, 666
- Stephan · 87, 167, 673
- Stephenson · 443, 444, 663, 673
- Stepien · 420, 673
- Sterberate · 103, 116, 117, 241
- Sterbová · 665
- Sterling · 128, 652
- Steuer · 51, 405, 649
- Steuerung · 26, 33, 47, 71, 79, 268, 426, 447
- Stevens · 398, 673
- Stevenson · 468, 673
- Stewart · 160, 241, 447, 448, 673, 674
- Steyrer · 662, 675
- Stichprobe · 62, 222, 251, 344
- Stiles · 485, 532, 628, 674
- Stimuli · 53, 54, 55, 56, 61, 63, 64, 65, 66, 69, 77, 240, 417, 421, 429, 430, 431, 437, 470, 494, 532, 628, 644, 673
- Stollwerk · 335, 337, 674
- Stoop · 386, 674
- Storch · 213, 214, 244, 674
- Störungsmuster · 59
- Strachey · 651
- Strafrechtsverfahren · 443
- Strauss · 319, 644

- Stress · 64, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 229, 230, 232, 242, 244, 643, 658, 659, 661, 663, 678
- Stroebe · 663, 673
- Ströhle · 214, 244, 674
- Strotzka · 484, 674
- Strukturdeterminiertheit · 168, 309, 427, 473
- Strunk · 17, 18, 19, 24, 58, 65, 84, 95, 105, 106, 107, 114, 118, 136, 157, 173, 179, 202, 203, 204, 207, 209, 210, 211, 253, 259, 260, 264, 265, 267, 268, 270, 273, 274, 275, 297, 308, 319, 323, 327, 347, 349, 356, 378, 381, 382, 384, 395, 398, 401, 410, 412, 423, 424, 444, 460, 461, 463, 470, 471, 478, 481, 482, 486, 490, 492, 493, 517, 521, 528, 533, 534, 538, 550, 553, 556, 557, 564, 569, 594, 602, 619, 620, 621, 623, 625, 630, 632, 645, 652, 654, 661, 662, 663, 670, 674, 675
- Stumm · 661
- Sturm · 468, 675
- Sullivan · 668
- Sundén · 653
- Super · 319, 675
- Surrogatdaten · 348, 351, 352, 375, 401, 408, 420, 489, 553, 554, 564, 565, 568, 569, 571, 572, 574, 577, 578, 581, 596, 597, 628
- Süßigkeit · 57, 64
- Swift · 678
- Swinney · 358, 360, 567, 651, 678
- Symbol Dynamics · 19, 397, 405, 489, 553, 599, 610, 620, 626, 631, 632, 641, 663
- Sympathikus · 220, 223
- Symptom · 58, 60, 61, 217, 218, 219, 222, 241, 258, 465, 477, 535, 642, 645, 666
- Synergetik · 17, 18, 87, 104, 110, 113, 122, 124, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 143, 152, 160, 161, 164, 170, 171, 176, 200, 247, 270, 305, 308, 316, 353, 355, 412, 415, 416, 421, 432, 433, 440, 442, 443, 447, 448, 450, 458, 459, 460, 470, 480, 481, 486, 488, 490, 618, 619, 654, 658, 667, 669, 675
- System
- bio-psycho-soziales · 165, 212, 220, 239, 242, 243, 244, 270, 273, 307, 412, 462, 463, 466, 480, 481
 - geschlossenes · 46, 84, 120, 121, 126, 130, 167, 179, 480, 482, 621
 - komplexe · 18, 29, 31, 39, 47, 51, 102, 123, 124, 128, 136, 140, 160, 178, 182, 183, 184, 185, 193, 196, 199, 200, 204, 245, 253, 254, 259, 262, 269, 309, 313, 317, 352, 412, 458, 465, 480, 532, 619, 678
 - konservatives · 126
 - Ökosystem · 23, 102, 107, 249, 250, 671
 - selbstreferentielles · 411, 412, 472, 482, 532, 628
 - Systembegriff · 26, 27, 29, 162, 178, 191, 276, 427, 474
 - Systemelemente · 21, 26, 27, 159, 162, 195, 197, 198, 199, 200, 201, 204, 245, 276
 - Systemgrenze · 22, 24, 479
 - systemisch · 167, 190, 245, 475, 477, 496, 534, 642, 643, 647, 652, 666, 670, 671, 674, 676, 678
- Systemisches Denken · 472, 473
- Systemstruktur · 39, 40, 48, 49, 50, 121, 162, 163, 165, 166, 171, 178, 179, 197, 198, 201, 202, 203, 270, 277, 298, 307, 382, 421, 479, 621
- Systemtheorie · 17, 27, 30, 31, 43, 48, 124, 160, 161, 162, 167, 178, 411, 434, 452, 457, 472, 479, 480, 481, 669, 678
- Systemtod · 84, 110, 126, 167, 179, 621
- Systemwissenschaft · 19, 21, 26, 29, 87, 131, 179, 182, 183, 185, 186, 191, 193, 194, 195, 196, 200, 209, 245, 249, 250, 252, 253, 254, 255, 262, 269, 270, 271, 272, 273, 275, 276, 277, 278, 297, 307, 309, 412, 452, 488, 621, 623, 624, 642, 666, 669, 674
- Verhulst-System · 110, 112, 113, 115, 122, 166, 310, 349
-
- ## T
- Tajfel · 435, 675
- Takens · 153, 155, 156, 157, 159, 354, 365, 376, 406, 489, 567, 579, 599, 626, 668, 675
- Takigawa · 417, 419, 656
- Tarassenko · 422, 662
- Tautologie · 209, 470
- Tedeschi · 496, 513, 538, 675
- Teufelskreis · 159, 186, 299, 303, 304, 311
- Theiler · 19, 352, 388, 417, 419, 420, 564, 580, 601, 602, 605, 620, 628, 666, 675
- Theiler-Window · 388, 601, 602, 605
- T-Helferzellen · 223
- Theorie der Hyperzyklen · 17, 87
- Theorie Dissipativer Systeme · 17, 87, 120, 122, 124, 125, 134, 136, 382
- Theorien Nichtlinearer Dynamischer Systeme · 17, 18, 31, 78, 81, 94, 101, 121, 124, 152, 159, 162, 167, 168, 176, 177, 178, 179, 180, 183, 192, 194, 196, 199, 201, 209, 245, 246, 247, 267, 271, 276, 328, 329, 407, 412, 423, 424, 439, 440, 455, 458, 463, 465, 468, 471, 472, 473, 475, 480, 487, 488, 491, 511, 533, 599, 602, 611, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 629, 634
- Therapeut · 17, 19, 58, 66, 346, 470, 471, 474, 475, 478, 484, 485, 493, 503, 504, 506, 508, 509, 517, 520, 527, 534, 537, 539, 540, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 558, 559, 560, 561, 562, 565, 566, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 594, 596, 597, 600, 601, 602, 603, 604, 606, 607, 608, 609, 611, 612, 614, 615, 616, 620, 633, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 654, 667, 670, 675
- Therapieschule · 469, 471
- Therapieziel · 58, 470, 475, 505, 536

- Thermodynamik · 81, 84, 85, 86, 90, 99, 118,
 120, 121, 122, 125, 126, 130, 151, 152,
 167, 169, 176, 178, 179, 621
 Thiele · 17, 401, 490, 564, 593, 594, 598,
 619, 675
 Thomson · 85, 667
 Thorndike · 55, 56, 645, 675, 676
 Tiefenpsychologisch · 234, 457, 462, 494
 Tier · 31, 33, 34, 35, 43, 70, 72
 Time-Lag · 113, 341, 345, 346, 356, 357,
 358, 360, 361, 362, 363, 365, 368, 369,
 373, 388, 407, 566, 567
 Timmer · 18, 370, 371, 619, 656
 Titchener · 405, 649
 Tohuwabohu · 151
 Toifel · 212, 671, 676
 Tölle · 462, 464, 676
 Tolman · 69, 70, 676
 Tomberg · 373, 406, 626, 673
 Tomm · 476, 477, 676
 Top-down · 98, 143, 166, 190, 253, 262, 269,
 270, 271, 272, 273, 276, 307, 312, 329,
 442, 488, 507, 513, 623, 624, 628
 Topologie · 145, 146, 148, 154, 353, 519
 TOTE · 52, 68, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80
 Tóth · 150, 660
 Trajektorie · 92, 93, 98, 116, 137, 152, 155,
 157, 158, 211, 253, 273, 312, 363, 376,
 378, 381, 382, 383, 385, 387, 388, 389,
 395, 406, 408, 589, 590, 591, 592, 599,
 600, 601, 626, 627, 636, 637
 Transient · 48, 112, 113, 305, 312, 591, 598,
 605, 607, 608
 Transmutation · 43
 Trappl · 648
 Trauma · 54, 214, 217, 218, 229, 463
 Traxel · 662
 Treatment · 648, 652, 660
 Treatmentgruppe · 230
 Tress · 485, 676
 Treter · 192, 289, 296, 301, 307, 311, 669
 Triebregung · 440, 455
 Truty · 263, 424, 664
 Tschacher · 17, 18, 36, 131, 264, 267, 268,
 401, 410, 424, 444, 468, 490, 532, 533,
 564, 593, 594, 595, 598, 616, 619, 628,
 629, 642, 654, 659, 667, 668, 669, 670,
 672, 676
 Tschuschke · 655
 Tsonis · 18, 337, 354, 358, 360, 371, 372,
 573, 619, 676
 Turner · 435, 675
-
- Ü**
 Übergeneralisierung · 248, 250, 251, 310
 Über-Ich · 234
 Überlebenserwartung · 230
 Überlegenheit · 236, 324, 325, 328, 469
-
- U**
 Uffink · 84, 85, 176, 621, 676
 Uhl · 216, 263, 652
 Uhr · 34, 38, 39, 41, 83, 127
 Spieluhr · 32
 Umfüllaufgabe · 445, 446
 Umkehrung · 83, 141, 650
- Umwelt · 22, 23, 24, 26, 40, 43, 45, 46, 49,
 51, 52, 55, 59, 63, 65, 66, 67, 68, 72, 78,
 86, 87, 103, 121, 123, 125, 126, 127,
 129, 130, 136, 137, 145, 162, 167, 168,
 169, 170, 171, 178, 190, 191, 193, 212,
 247, 252, 267, 276, 309, 413, 416, 425,
 427, 428, 435, 437, 447, 453, 454, 455,
 479, 494, 495, 497, 534, 659, 672
 Universum · 22, 40, 41, 81, 82, 84, 85, 90,
 151, 168, 169, 426
 UNO · 212
 Unordnung · 37, 84, 87, 113, 130, 132, 176,
 490, 543, 546, 553, 555, 593, 594
 Unordnungs-Ordnungs-Übergang · 135,
 433, 490, 564, 593, 594, 598
 Unruhe · 127
 Untersteiner · 98, 99, 100, 164, 676
 Ureno · 656
 Ursache · 30, 37, 39, 40, 41, 49, 50, 52, 53,
 55, 79, 83, 109, 120, 172, 173, 182, 183,
 196, 197, 206, 207, 213, 217, 218, 219,
 220, 228, 239, 435, 436, 462, 466, 469,
 471, 477, 482, 532, 628, 650
 Ursache-Wirkungs-Kette · 37, 53, 55,
 183, 196
 Ursell · 145, 147, 644
 Urteil · 70, 442, 443, 444, 531
 Ushaw · 384, 644
-
- V**
 Vadivasova · 643
 Validität · 60, 62, 114, 115, 193, 195, 211,
 215, 251, 253, 487, 513, 526, 527, 530,
 564, 568, 569, 570, 571, 572, 574, 575,
 577, 578, 581, 582, 594, 596
 ökologische · 251, 253, 487
 van Deth · 668
 van Gelder · 439, 676
 van Leeuwen · 263, 267, 422, 644
 Varela · 46, 166, 167, 168, 411, 416, 427,
 435, 473, 532, 628, 662
 Variable · 27, 56, 60, 61, 78, 90, 91, 103,
 111, 117, 126, 129, 140, 141, 142, 160,
 163, 165, 179, 188, 190, 193, 194, 195,
 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 229,
 239, 240, 243, 245, 251, 253, 254, 258,
 259, 260, 261, 263, 265, 267, 270, 272,
 273, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282,
 284, 285, 286, 288, 289, 290, 295, 298,
 299, 300, 301, 303, 304, 307, 308, 309,
 310, 311, 312, 316, 329, 332, 336, 341,
 345, 346, 347, 353, 356, 371, 390, 391,
 448, 478, 482, 485, 492, 516, 517, 533,
 621, 624, 660
 Vastano · 384, 676, 678
 Vektor · 139, 336, 361, 362, 366
 Vektoralgebra · 92
 Ventil · 33, 44, 45
 Veränderung
 Veränderungsmessung · 59
 Vergangenheit · 40, 41, 82, 83, 127, 169,
 173, 174, 175, 440, 475, 476
 Verhalten
 Verhaltensanalyse · 19, 52, 58, 63, 64,
 77, 494, 495, 620, 646
 Verhaltensdiagnostik · 59, 60, 61, 62, 77
 Verhaltensprogramm · 36, 43, 65, 66

- Verhaltensrepertoire · 39, 53, 59
 Verhaltenssteuerung · 56, 66, 68, 71, 78,
 447, 452, 453
 Verhaltensstrategie · 72, 320
 Verhaltenstaktik · 72
 Verhaltenstherapie · 17, 52, 54, 57, 58,
 61, 77, 214, 452, 470, 472, 495, 532,
 628, 647, 653, 661, 670
 Verhulst · 102, 107, 108, 109, 110, 111, 112,
 113, 114, 115, 116, 122, 123, 128, 138,
 156, 166, 186, 190, 310, 343, 349, 373,
 374, 383, 390, 392
 Verifikation · 248, 250, 251
 Versklavungs Prinzip · 134, 135, 142, 215,
 216, 353, 433, 442, 459, 668
 Verstärker · 56, 61, 152, 171, 416, 505
 Verstörung · 17, 46, 90, 100, 101, 109, 112,
 113, 122, 123, 127, 129, 136, 137, 138,
 152, 170, 171, 178, 209, 268, 269, 275,
 304, 305, 308, 309, 312, 416, 454, 463,
 466, 467, 478, 611
 Vester · 21, 202, 258, 259, 478, 676
 Villasenor · 656
 Vogeley · 36, 213, 243, 676
 Volterra · 102, 103, 104, 105, 106, 107, 114,
 115, 116, 137, 164, 247, 248, 249, 250,
 676
 von Foerster · 166, 466, 482, 676, 677
 Von Koch · 87
 von Osterhausen · 127, 677
 von Schlippe · 473, 474, 532, 628, 677
 von Zerssen · 410, 677
 Vorhersage
 Vorhersagbar · 30, 35, 94, 96, 97, 98,
 123, 171, 173, 269, 308, 336, 406,
 407, 411, 421, 482, 599, 626, 634,
 637
 Vorhersagealgorithmen · 335, 336, 338,
 339
 Vorpagel · 642
 Vorwerg · 645
-
- W**
- Wackermann · 658
 Waffeneffekt · 187
 Wagner · 444, 474, 642, 654, 677
 Wahrnehmung · 19, 21, 36, 67, 74, 269, 281,
 282, 307, 410, 411, 416, 418, 425, 426,
 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434,
 435, 437, 438, 442, 443, 446, 453, 454,
 455, 488, 610, 620, 628
 Wahrnehmungszyklus · 428
 Wales · 386, 677
 Wallace · 75, 85, 313, 455, 658, 677
 Warmdt · 255, 256, 257, 677
 Wasserkasten · 255
 Watson · 54, 56, 61, 65, 67, 677
 Watzlawick · 50, 196, 197, 466, 472, 481,
 590, 656, 677
 Weakland · 656, 677
 Weber · 195, 281, 513, 659
 Wechselbeziehungen · 21, 518
 Weeks · 567, 631, 677
 Wehner · 662
 Weick · 428, 677
 Weidlich · 115, 192, 268, 458, 459, 628, 677
 Weierstraß · 89
 Weihrauch · 670
 Weiner-Davis · 648
 Weir · 662
 Weiss · 504, 677
 Weizenbaum · 313, 677
 Weltbild · 82, 87, 173, 246, 646
 Welter · 670
 Weltmodell · 83
 Werbos · 651
 Wertheimer · 67, 457, 468, 647
 West · 263, 267, 414, 417, 418, 422, 564,
 675, 677
 Wetter · 97, 98, 99, 100, 101, 113, 121, 122
 Wexberg · 234, 496, 497, 498, 677
 White · 221, 678
 WHO · 212, 314
 Widerspruchsfreiheit · 205, 209, 272, 513
 Wiederkehrinwand · 176
 Wiener · 43, 47, 233, 678
 Wildman · 241, 678
 Will · 219, 220, 652, 662, 678
 Willi · 459, 678
 Williams · 656
 Willke · 18, 21, 24, 176, 466, 482, 532, 598,
 619, 629, 678
 Windmühle · 43, 44
 Winzelberg · 221, 678
 Wirkungszusammenhänge · 41, 257
 Wirth · 661
 Wirtschaftssimulation · 256
 Wissel · 253, 678
 Wissenschaft · 29, 30, 50, 68, 88, 177, 191,
 214, 249, 256, 261, 271, 451, 453, 628,
 642, 647, 650, 655, 661, 662, 665, 666,
 667, 672, 673
 Witte · 660
 Wittgenstein · 172, 678
 Wolf · 262, 358, 384, 385, 386, 387, 388,
 389, 390, 391, 393, 406, 626, 636, 642,
 678
 Wolff · 654
 Wolpe · 57, 678
 Wood · 33, 34, 35, 37, 678
 Worchel · 675
 Wozniak · 56, 678
 Wright · 386, 678
 Wunderfrage · 476, 481, 535
 Wunderheilung · 229
 Wunderlin · 17, 30, 87, 131, 135, 139, 141,
 142, 291, 412, 652, 654, 669
-
- Y**
- Yorke · 112, 153, 155, 173, 656, 660
 Young · 675
-
- Z**
- Zahlten · 665
 Zahn · 83, 662
 Zaikin · 119, 120
 Zaveri · 656
 Zeitpfeil · 82, 83, 84, 126, 127, 129, 169, 178
 Zeitreihe · 19, 91, 109, 113, 114, 143, 153,
 156, 264, 266, 272, 273, 274, 276, 295,
 303, 311, 328, 331, 332, 333, 334, 335,
 336, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344,
 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352,

- 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 361,
362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 370,
371, 372, 373, 374, 375, 377, 383, 384,
385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392,
393, 395, 396, 397, 398, 400, 401, 403,
405, 406, 407, 408, 419, 425, 510, 514,
517, 518, 521, 522, 523, 524, 525, 552,
557, 558, 559, 562, 563, 564, 565, 566,
567, 568, 569, 570, 572, 573, 574, 575,
577, 578, 579, 580, 582, 583, 584, 586,
587, 588, 589, 590, 591, 593, 595, 596,
600, 612, 616, 620, 623, 625, 626, 627,
631, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 641,
649, 669
- Zeitreihenanalyse · 19, 166, 196, 211,
262, 264, 269, 271, 276, 303, 312,
331, 332, 348, 351, 352, 365, 405,
407, 488, 541, 557, 620, 623, 625,
627
- Zeitverzögerungskordinaten · 331, 354,
355, 357, 361, 365, 367, 373, 385, 387
- Zelinka · 667
- Zelle · 22, 23, 118, 168, 202, 203, 216, 222,
328, 378, 417, 418, 465, 653, 671
- Zellmembran · 22
- Zellverband · 214, 215, 417
- Zeng · 386, 678
- Zentralsymmetrie · 445
- Zentrifugalregelung · 44
- Zhabotinsky · 81, 119, 120, 122, 125, 130,
135, 663
- Ziehe · 372, 664
- Ziel
- Zielanalyse · 58
 - Zielsubstitution · 187, 190
 - Zielzustand · 17, 78, 470
- Zielke · 468, 675
- Zigarette · 224
- Zink · 223, 678
- Zirkularität · 55, 423, 453, 476, 477, 478,
482, 492, 676
- Ziv · 401, 402, 403, 660, 678
- ZNS · 242
- Zola · 26, 678
- Zugfeder · 127
- Zukunft · 40, 41, 65, 82, 83, 127, 169, 173,
174, 233, 252, 257, 269, 311, 319, 327,
536, 641
- Zvonkin · 399, 678
- Zyklus · 33, 34, 137, 304, 382, 592
- zyklisch · 66, 92, 112, 134, 296, 382,
427, 434, 591

Anhang

15. Planstrukturen Therapie I

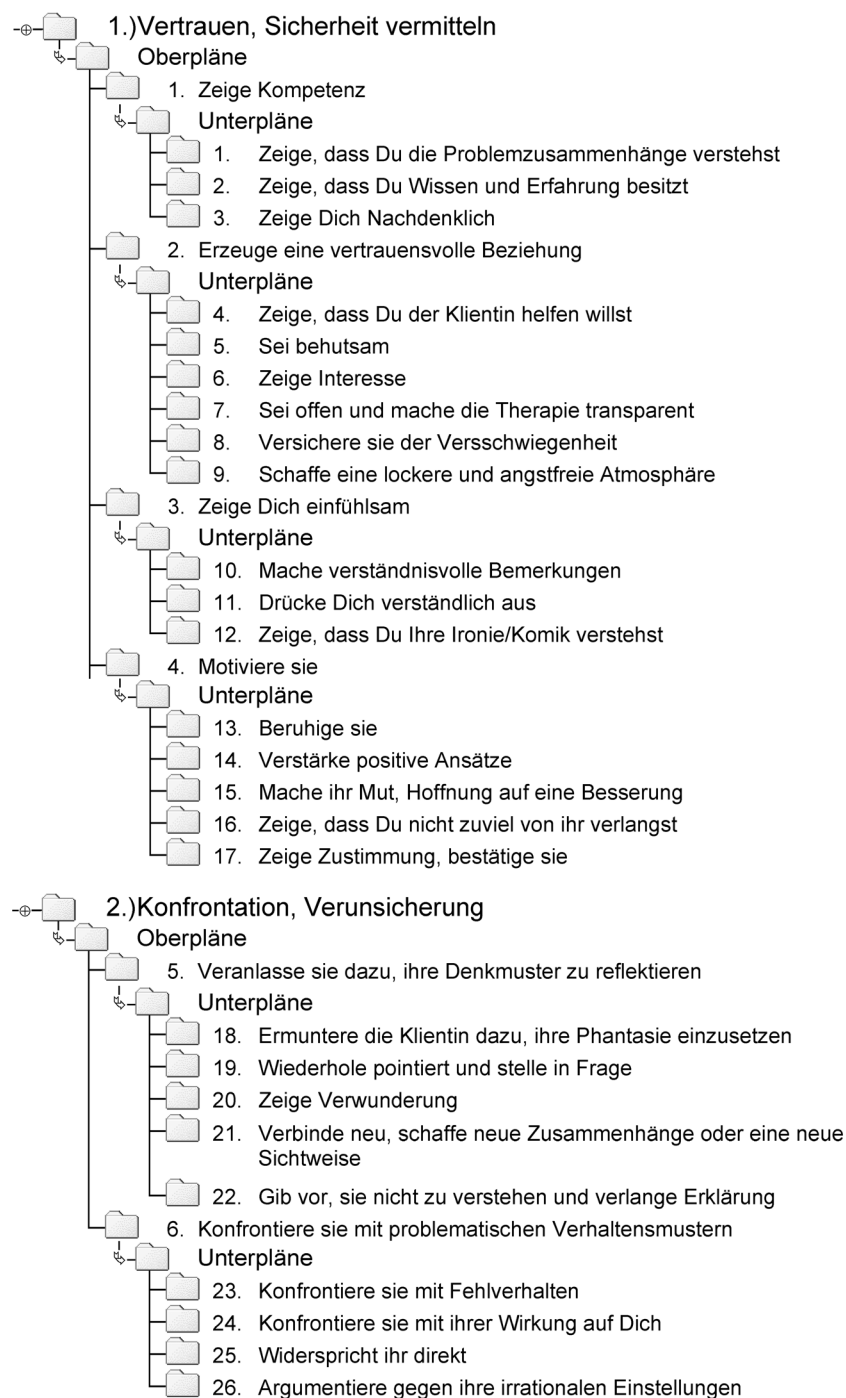


Abbildung 177: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 1 und 2 des Therapeuten – Therapie I

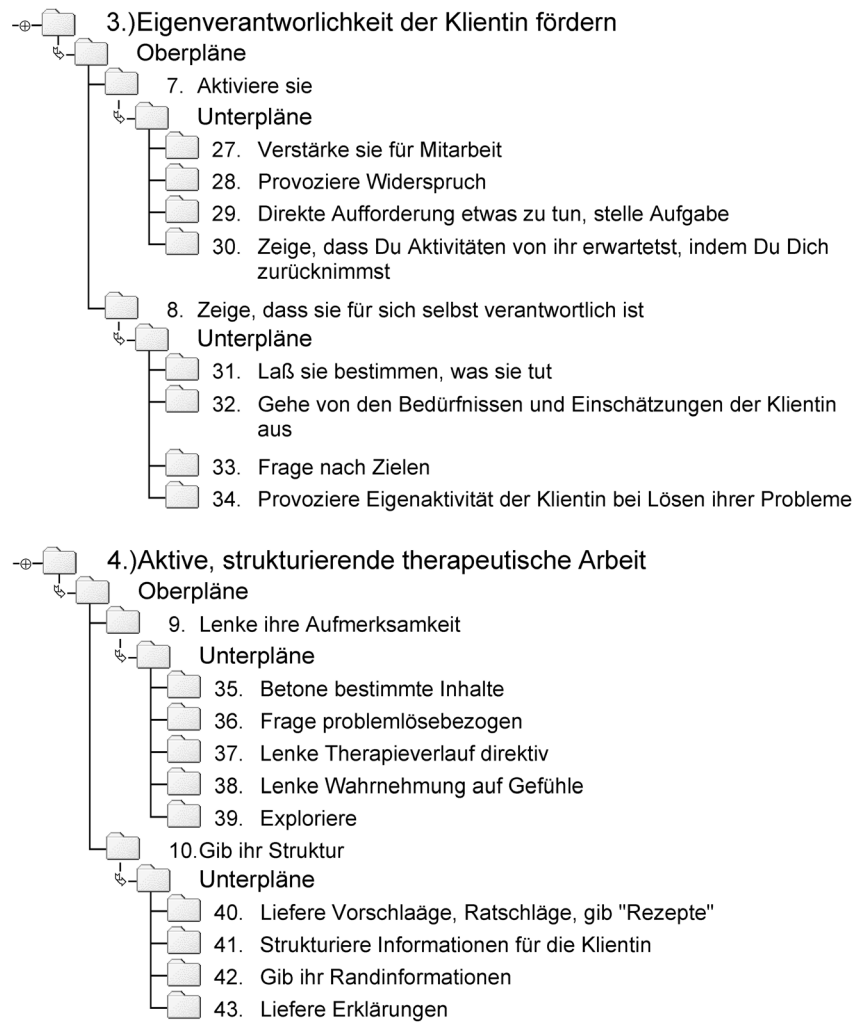


Abbildung 178: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 3 und 4 des Therapeuten – Therapie I

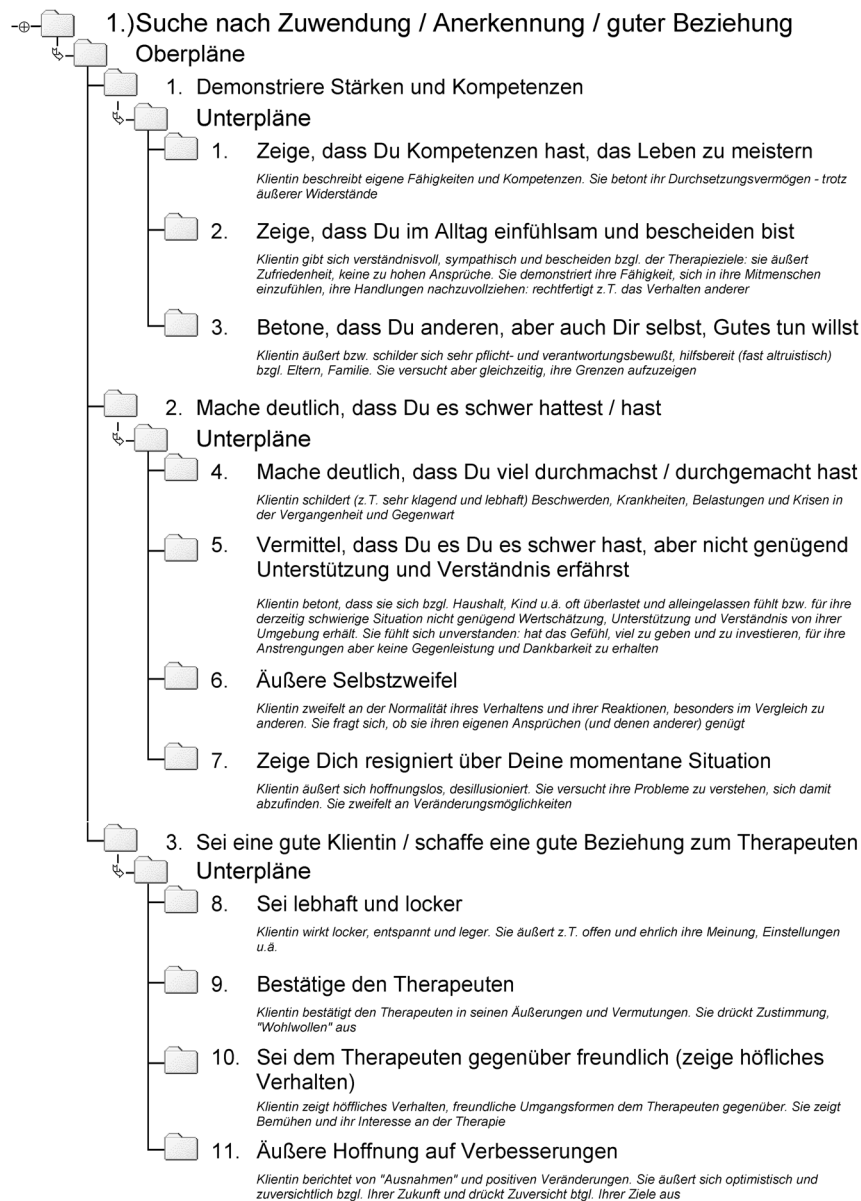


Abbildung 179: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 1 der Klientin – Therapie I

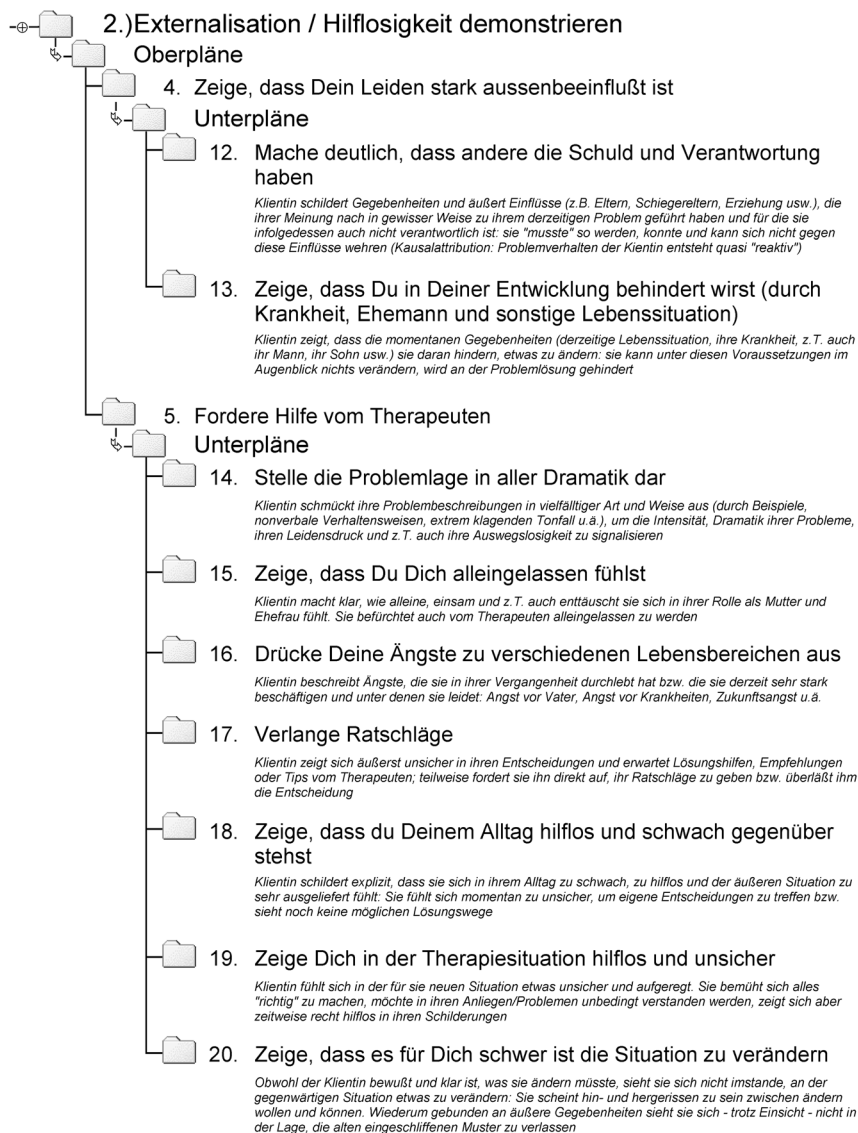


Abbildung 180: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 2 der Klientin – Therapie I

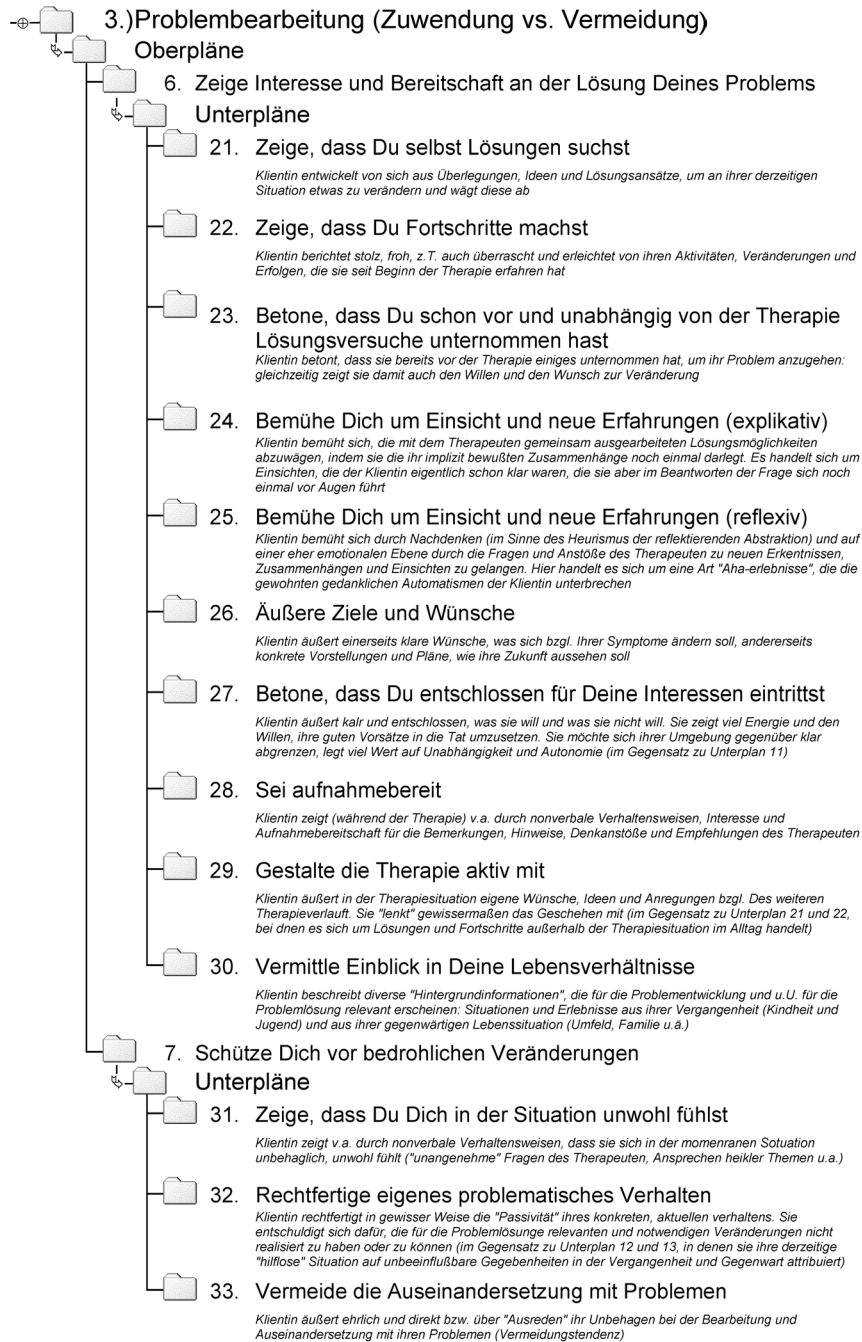


Abbildung 181: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 3 der Klientin – Therapie I

Operatoren – Therapeut	Anzahl an Operatoren
1. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	160
1. Zeige Kompetenz	24
1. Zeige, dass Du die Problemzusammenhänge verstehst	10
2. Zeige, dass Du Wissen und Erfahrung besitzt	3
3. Zeige Dich Nachdenklich	11
2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	53
4. Zeige, dass Du der Klientin helfen willst	10
5. Sei behutsam	5
6. Zeige Interesse	12
7. Sei offen und mache die Therapie transparent	8
8. Versichere sie der Versschwiegenheit	3
9. Schaffe eine lockere und angstfreie Atmosphäre	15
3. Zeige Dich einfühlsam	31
10. Mache verständnisvolle Bemerkungen	13
11. Drücke Dich verständlich aus	8
12. Zeige, dass Du Ihre Ironie/Komik verstehst	10
4. Motiviere sie	52
13. Beruhige sie	8
14. Verstärke positive Ansätze	15
15. Mache ihr Mut, Hoffnung auf eine Besserung	11
16. Zeige, dass Du nicht zuviel von ihr verlangst	12
17. Zeige Zustimmung, bestätige sie	6
2. Konfrontation, Verunsicherung	69
5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	34
18. Ermuntere die Klientin dazu, ihre Phantasie einzusetzen	5
19. Wiederhole pointiert und stelle in Frage	9
20. Zeige Verwunderung	5
21. Verbinde neu, schaffe neue Zusammenhänge oder eine neue Sichtweise	12
22. Gib vor, sie nicht zu verstehen und verlange Erklärung	3
6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	35
23. Konfrontiere sie mit Fehlverhalten	10
24. Konfrontiere sie mit ihrer Wirkung auf Dich	14
25. Widerspricht ihr direkt	6
26. Argumentiere gegen ihre irrationalen Einstellungen	5
3. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	72
7. Aktiviere sie	34
27. Verstärke sie für Mitarbeit	6
28. Provoziere Widerspruch	5
29. Direkte Aufforderung etwas zu tun, stelle Aufgabe	12
30. Zeige, dass Du Aktivitäten von ihr erwartest, indem Du Dich zurücknimmst	11
8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	38
31. Laß sie bestimmen, was sie tut	7
32. Gehe von den Bedürfnissen und Einschätzungen der Klientin aus	18
33. Frage nach Zielen	4
34. Provoziere Eigenaktivität der Klientin bei Lösen ihrer Probleme	9
4. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	83
9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	58
35. Betone bestimmte Inhalte	15
36. Frage problemlösebezogen	20
37. Lenke Therapieverlauf direktiv	7
38. Lenke Wahrnehmung auf Gefühle	6
39. Exploriere	10
10. Gib ihr Struktur	25
40. Liefere Vorschläge, Ratschläge, gib "Rezepte"	8
41. Strukturiere Informationen für die Klientin	8
42. Gib ihr Randinformationen	2
43. Liefere Erklärungen	7

Tabelle 44: Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur des Therapeuten der Therapie I

Operatoren – Klientin	Anzahl an Operatoren
1. Suche nach Zuwendung / Anerkennung / guter Beziehung	216
1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen	55
1. Zeige, dass Du Kompetenzen hast, das Leben zu meistern	26
2. Zeige, dass Du im Alltag einfühlsam und bescheiden bist	20
3. Betone, dass Du anderen, aber auch Dir selbst, Gutes tun willst	9
2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast	78
4. Mache deutlich, dass Du viel durchmachst / durchgemacht hast	17
5. Vermittle, dass Du es Du es schwer hast, aber nicht genügend Unterstützung und Verständnis erfährst	26
6. Äußere Selbstzweifel	13
7. Zeige Dich resigniert über Deine momentane Situation	22
3. Sei eine gute Klientin / schaffe eine gute Beziehung zum Therapeuten	83
8. Sei lebhaft und locker	25
9. Bestätige den Therapeuten	20
10. Sei dem Therapeuten gegenüber freundlich (zeige höfliches Verhalten)	16
11. Äußere Hoffnung auf Verbesserungen	22
2. Externalisation / Hilflosigkeit demonstrieren	194
4. Zeige, dass Dein Leiden stark aussenbeeinflusst ist	50
12. Mache deutlich, dass andere die Schuld und Verantwortung haben	24
13. Zeige, dass Du in Deiner Entwicklung behindert wirst (durch Krankheit, Ehemann und sonstige Lebenssituation)	26
5. Fordere Hilfe vom Therapeuten	144
14. Stelle die Problemlage in aller Dramatik dar	37
15. Zeige, dass Du Dich alleingelassen fühlst	13
16. Drücke Deine Ängste zu verschiedenen Lebensbereichen aus	16
17. Verlange Ratschläge	18
18. Zeige, dass du Deinem Alltag hilflos und schwach gegenüber stehst	25
19. Zeige Dich in der Therapiesituation hilflos und unsicher	14
20. Zeige, dass es für Dich schwer ist die Situation zu verändern	21
3. Problembearbeitung (Zuwendung vs. Vermeidung)	292
6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	252
21. Zeige, dass Du selbst Lösungen suchst	9
22. Zeige, dass Du Fortschritte machst	35
23. Betone, dass Du schon vor und unabhängig von der Therapie Lösungsversuche unternommen hast	10
24. Bemühe Dich um Einsicht und neue Erfahrungen (explikativ)	46
25. Bemühe Dich um Einsicht und neue Erfahrungen (reflexiv)	27
26. Äußere Ziele und Wünsche	15
27. Betone, dass Du entschlossen für Deine Interessen eintrittst	41
28. Sei aufnahmebereit	18
29. Gestalte die Therapie aktiv mit	12
30. Vermittle Einblick in Deine Lebensverhältnisse	39
7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen	40
31. Zeige, dass Du Dich in der Situation unwohl fühlst	25
32. Rechtfertige eigenes problematisches Verhalten	10
33. Vermeide die Auseinandersetzung mit Problemen	5

Tabelle 45: Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur der Klientin der Therapie I

16. Planstrukturen Therapie II

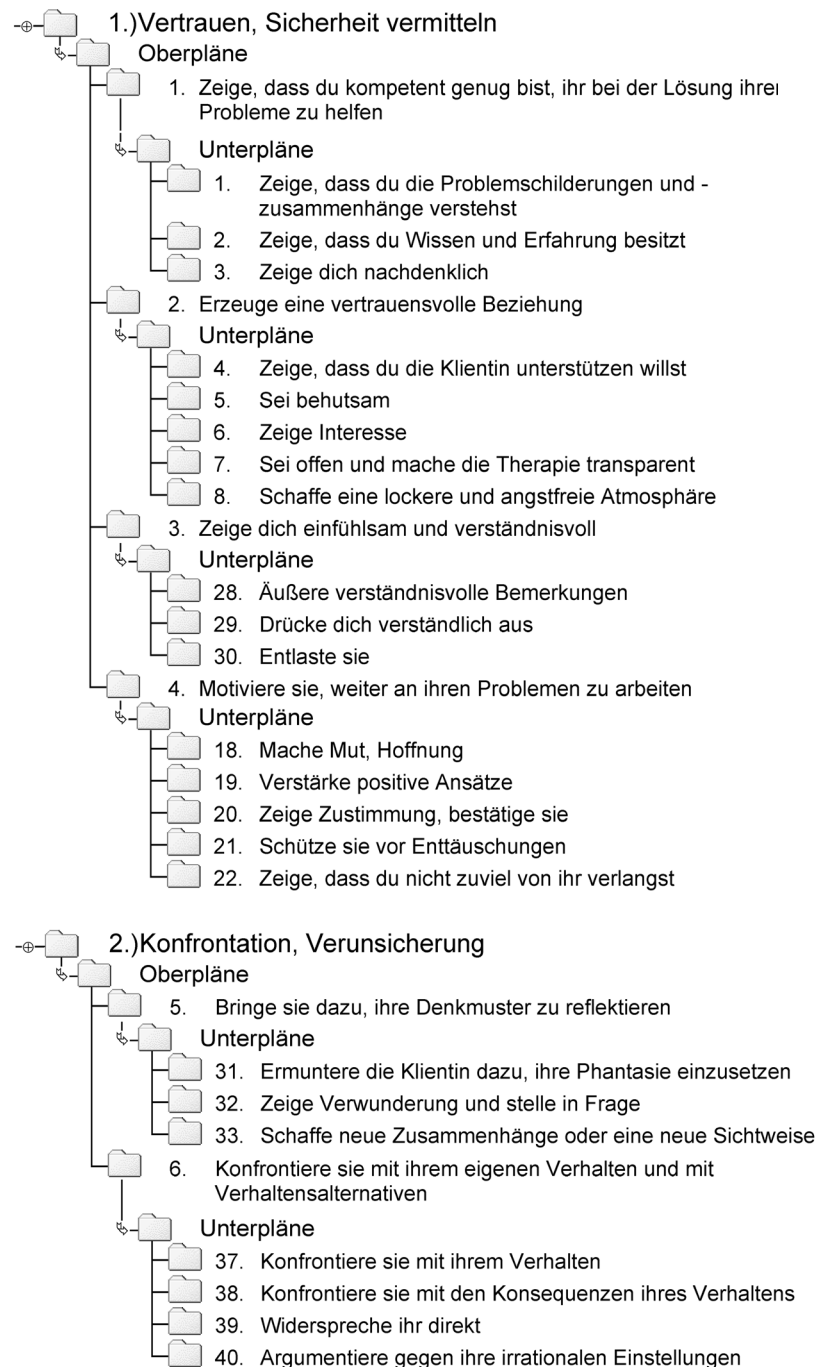


Abbildung 182: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 1 und 2 des Therapeuten – Therapie II

In der ursprünglichen Fassung der Planstruktur für den Therapeuten der zweiten Therapie ergab sich eine andere Nummerierung der Ober- und Unterpläne. In der hier wiedergegebenen Darstellung wurden die Oberpläne – abweichend von der Originalarbeit – fortlaufend nummeriert.

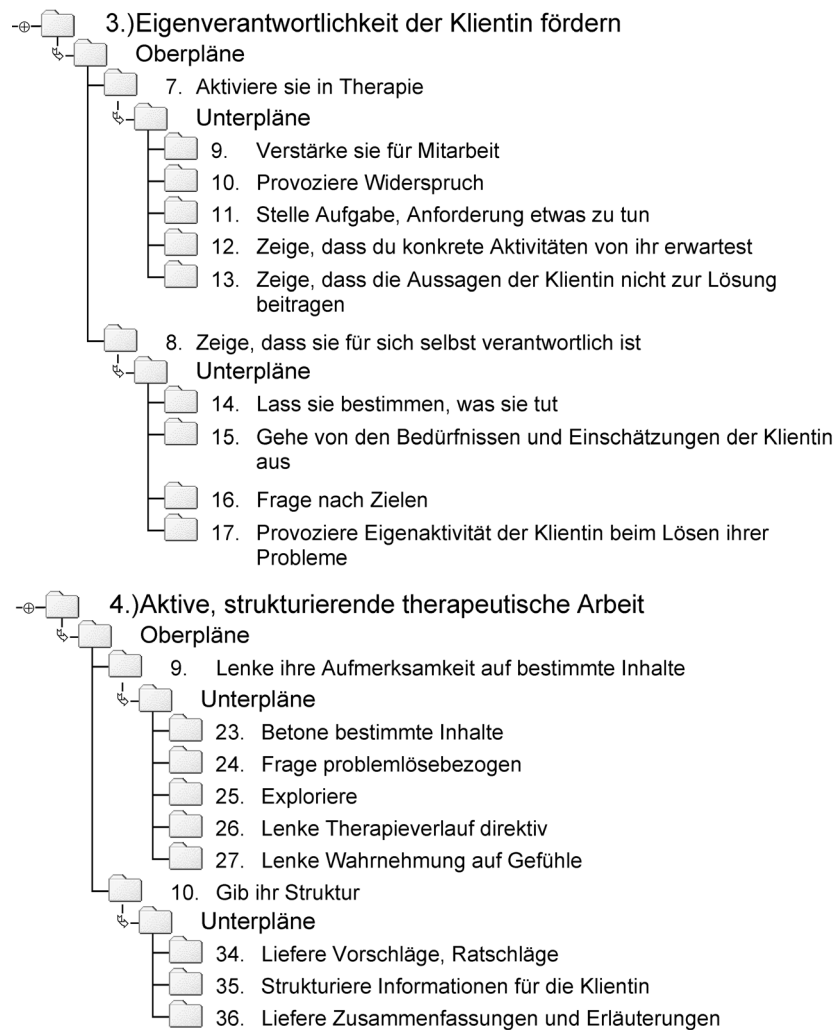


Abbildung 183: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimensionen 3 und 4 des Therapeuten – Therapie II

In der ursprünglichen Fassung der Planstruktur für den Therapeuten der zweiten Therapie ergab sich eine andere Nummerierung der Ober- und Unterpläne. In der hier wiedergegebenen Darstellung wurden die Oberpläne – abweichend von der Originalarbeit – fortlaufend nummeriert.

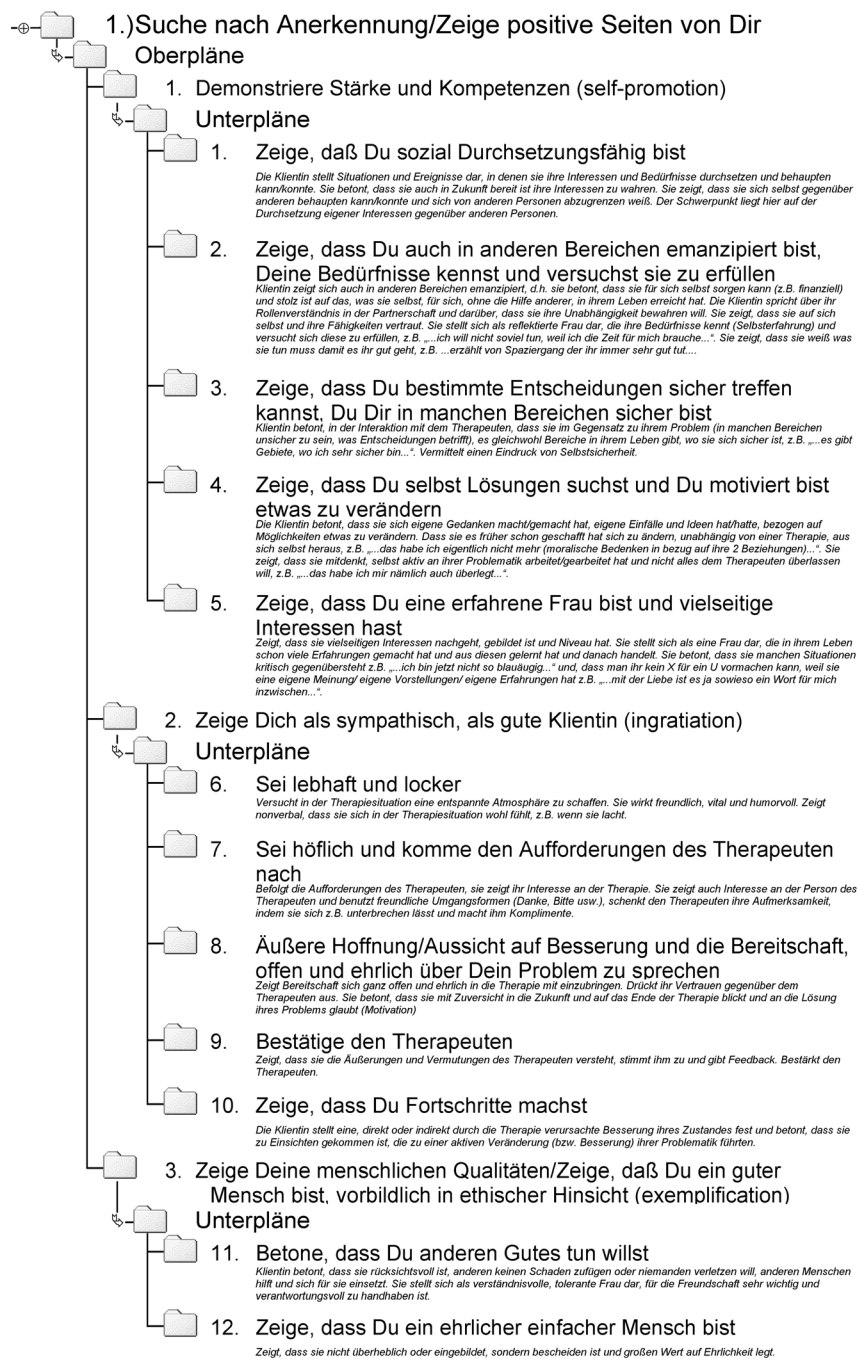


Abbildung 184: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 1 der Klientin – Therapie II

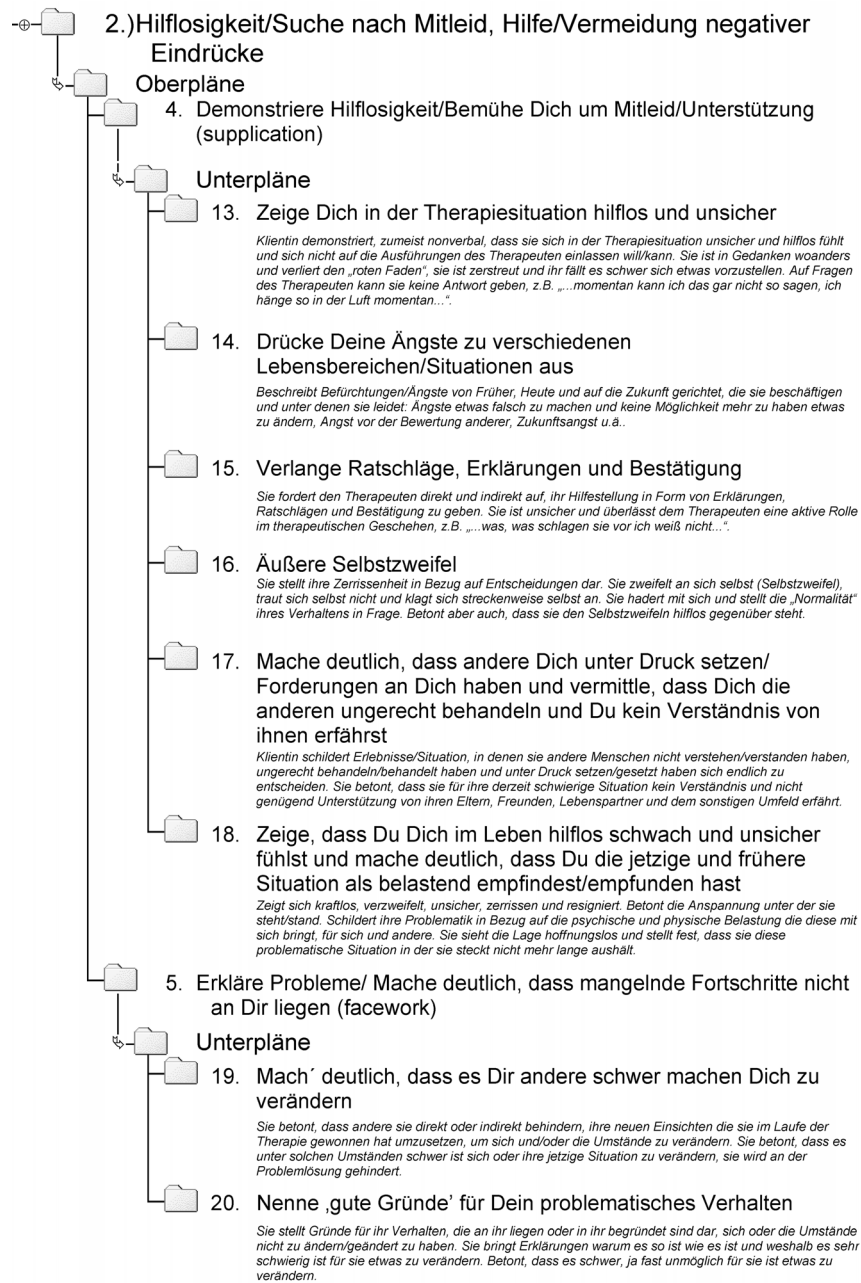


Abbildung 185: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 2 der Klientin – Therapie II

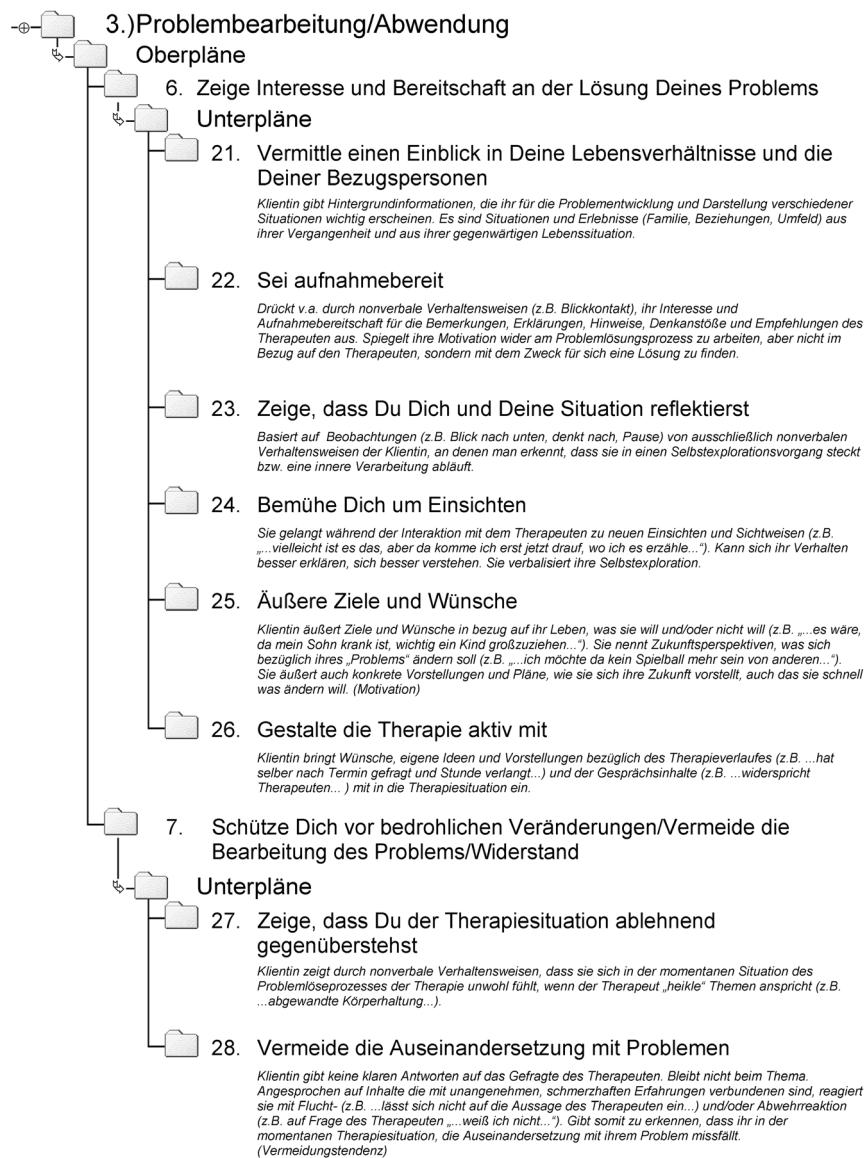


Abbildung 186: Planstruktur der Selbstdarstellungsdimension 3 der Klientin – Therapie II

Operatoren – Therapeut	Anzahl an Operatoren
1. Vertrauen, Sicherheit vermitteln	440
1. Zeige, dass du kompetent genug bist, ihr bei der Lösung ihrer Probleme zu helfen	97
1. Zeige, dass du die Problemschilderungen und -zusammenhänge verstehst	36
2. Zeige, dass du Wissen und Erfahrung besitzt	31
3. Zeige dich nachdenklich	30
2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	135
4. Zeige, dass du die Klientin unterstützen willst	18
5. Sei behutsam	22
6. Zeige Interesse	44
7. Sei offen und mache die Therapie transparent	23
8. Schaffe eine lockere und angstfreie Atmosphäre	28
3. Zeige dich einfühlsam und verständnisvoll	76
28. Äußere verständnisvolle Bemerkungen	44
29. Drücke dich verständlich aus	21
30. Entlaste sie	11
4. Motiviere sie, weiter an ihren Problemen zu arbeiten	132
18. Mache Mut, Hoffnung	14
19. Verstärke positive Ansätze	48
20. Zeige Zustimmung, bestätige sie	42
21. Schütze sie vor Enttäuschungen	17
22. Zeige, dass du nicht zuviel von ihr verlangst	11
2. Konfrontation, Verunsicherung	191
5. Bringe sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	87
31. Ermuntere die Klientin dazu, ihre Phantasie einzusetzen	16
32. Zeige Verwunderung und stelle in Frage	32
33. Schaffe neue Zusammenhänge oder eine neue Sichtweise	39
6. Konfrontiere sie mit ihrem eigenen Verhalten und mit Verhaltensalternativen	104
37. Konfrontiere sie mit ihrem Verhalten	39
38. Konfrontiere sie mit den Konsequenzen ihres Verhaltens	16
39. Widerspreche ihr direkt	37
40. Argumentiere gegen ihre irrationalen Einstellungen	12
3. Eigenverantwortlichkeit der Klientin fördern	187
7. Aktiviere sie in Therapie	72
9. Verstärke sie für Mitarbeit	10
10. Provoziere Widerspruch	8
11. Stelle Aufgabe, Anforderung etwas zu tun	14
12. Zeige, dass du konkrete Aktivitäten von ihr erwartest	19
13. Zeige, dass die Aussagen der Klientin nicht zur Lösung beitragen	21
8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	115
14. Lass sie bestimmen, was sie tut	22
15. Gehe von den Bedürfnissen und Einschätzungen der Klientin aus	51
16. Frage nach Zielen	10
17. Provoziere Eigenaktivität der Klientin beim Lösen ihrer Probleme	32
4. Aktive, strukturierende therapeutische Arbeit	286
9. Lenke ihre Aufmerksamkeit auf bestimmte Inhalte	211
23. Betone bestimmte Inhalte	18
24. Frage problemlösebezogen	75
25. Exploriere	39
26. Lenke Therapieverlauf direktiv	51
27. Lenke Wahrnehmung auf Gefühle	28
10. Gib ihr Struktur	75
34. Liefere Vorschläge, Ratschläge	36
35. Strukturiere Informationen für die Klientin	23
36. Liefere Zusammenfassungen und Erläuterungen	16

Tabelle 46: Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur des Therapeuten der Therapie II

Operatoren – Klientin	Anzahl an Operatoren
1. Suche nach Anerkennung/Zeige positive Seiten von Dir	281
1. Demonstriere Stärke und Kompetenzen (self-promotion)	140
1. Zeige, dass Du sozial Durchsetzungsfähig bist	31
2. Zeige, dass Du auch in anderen Bereichen emanzipiert bist, Deine Bedürfnisse kennst und versuchst sie zu erfüllen	35
3. Zeige, dass Du bestimmte Entscheidungen sicher treffen kannst, Du Dir in manchen Bereichen sicher bist	25
4. Zeige, dass Du selbst Lösungen suchst und Du motiviert bist etwas zu verändern	35
5. Zeige, dass Du eine erfahrene Frau bist und vielseitige Interessen hast	14
2. Zeige Dich als sympathisch, als gute Klientin (ingratiation)	113
6. Sei lebhaft und locker	6
7. Sei höflich und komme den Aufforderungen des Therapeuten nach	14
8. Äußere Hoffnung/Aussicht auf Besserung und die Bereitschaft, offen und ehrlich über Dein Problem zu sprechen	9
9. Bestätige den Therapeuten	53
10. Zeige, dass Du Fortschritte machst	31
3. Zeige Deine menschlichen Qualitäten/Zeige, dass Du ein guter Mensch bist, vorbildlich in ethischer Hinsicht (exemplification)	28
11. Betone, dass Du anderen Gutes tun willst	21
12. Zeige, dass Du ein ehrlicher einfacher Mensch bist	7
2. Hilflosigkeit/Suche nach Mitleid, Hilfe/Vermeidung negativer Eindrücke	460
4. Demonstriere Hilflosigkeit/Bemühe Dich um Mitleid/Unterstützung (supplication)	376
13. Zeige Dich in der Therapiesituation hilflos und unsicher	65
14. Drücke Deine Ängste zu verschiedenen Lebensbereichen/Situationen aus	38
15. Verlange Ratschläge, Erklärungen und Bestätigung	24
16. Äußere Selbstzweifel	56
17. Mache deutlich, dass andere Dich unter Druck setzen/ Forderungen an Dich haben und vermittele, dass Dich die anderen ungerecht behandeln und Du kein Verständnis von ihnen erfährst	70
18. Zeige, dass Du Dich im Leben hilflos schwach und unsicher fühlst und mache deutlich, dass Du die jetzige und frühere Situation als belastend empfindest/empfunden hast	123
5. Erkläre Probleme/ Mache deutlich, dass mangelnde Fortschritte nicht an Dir liegen (facework)	84
19. Mach` deutlich, dass es Dir andere schwer machen Dich zu verändern	29
20. Nenne `gute Gründe` für Dein problematisches Verhalten	55
3. Problembearbeitung/Abwendung	416
6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	365
21. Vermittle einen Einblick in Deine Lebensverhältnisse und die Deiner Bezugspersonen	30
22. Sei aufnahmebereit	20
23. Zeige, dass Du Dich und Deine Situation reflektierst	23
24. Bemühe Dich um Einsichten	179
25. Äußere Ziele und Wünsche	76
26. Gestalte die Therapie aktiv mit	37
7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen/Vermeide die Bearbeitung des Problems/Widerstand	51
27. Zeige, dass Du der Therapiesituation ablehnend gegenüberstehst	26
28. Vermeide die Auseinandersetzung mit Problemen	25

Tabelle 47: Differenzierte Aufschlüsselung der Planstruktur der Klientin der Therapie II

17. Muster Therapie I

17.1 Therapeut

	Häufigkeit	(%)	Cummulierte %	1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
1.	405	(11,74%)	11,74%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	324	(9,39%)	21,13%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	228	(6,61%)	27,74%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	107	(3,10%)	30,84%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	99	(2,87%)	33,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.	84	(2,43%)	36,14%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.	79	(2,29%)	38,43%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.	68	(1,97%)	40,41%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.	58	(1,68%)	42,09%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.	56	(1,62%)	43,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.	54	(1,57%)	45,28%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.	53	(1,54%)	46,81%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13.	46	(1,33%)	48,14%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14.	46	(1,33%)	49,48%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.	35	(1,01%)	50,49%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
16.	35	(1,01%)	51,51%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
17.	34	(0,99%)	52,49%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
18.	34	(0,99%)	53,48%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19.	31	(0,90%)	54,38%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
20.	31	(0,90%)	55,28%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21.	30	(0,87%)	56,14%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
22.	29	(0,84%)	56,99%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
23.	28	(0,81%)	57,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24.	28	(0,81%)	58,61%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
25.	28	(0,81%)	59,42%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26.	27	(0,78%)	60,20%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
27.	25	(0,72%)	60,93%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28.	25	(0,72%)	61,65%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
29.	23	(0,67%)	62,32%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30.	23	(0,67%)	62,99%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
31.	22	(0,64%)	63,62%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
32.	22	(0,64%)	64,26%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
33.	20	(0,58%)	64,84%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
34.	20	(0,58%)	65,42%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
35.	20	(0,58%)	66,00%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
36.	19	(0,55%)	66,55%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
37.	19	(0,55%)	67,10%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
38.	17	(0,49%)	67,59%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
39.	17	(0,49%)	68,09%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
40.	16	(0,46%)	68,55%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
41.	16	(0,46%)	69,01%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
42.	16	(0,46%)	69,48%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
43.	16	(0,46%)	69,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
44.	16	(0,46%)	70,41%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
45.	15	(0,43%)	70,84%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
46.	15	(0,43%)	71,28%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
47.	14	(0,41%)	71,68%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
48.	14	(0,41%)	72,09%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
49.	14	(0,41%)	72,49%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
50.	14	(0,41%)	72,90%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
51.	13	(0,38%)	73,28%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
52.	13	(0,38%)	73,65%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
53.	13	(0,38%)	74,03%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
54.	13	(0,38%)	74,41%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
55.	13	(0,38%)	74,78%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
56.	12	(0,35%)	75,13%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
57.	12	(0,35%)	75,48%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
58.	12	(0,35%)	75,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
59.	11	(0,32%)	76,14%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
60.	11	(0,32%)	76,46%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
61.	11	(0,32%)	76,78%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
62.	10	(0,29%)	77,07%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
63.	10	(0,29%)	77,36%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
64.	10	(0,29%)	77,65%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
65.	10	(0,29%)	77,94%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
66.	10	(0,29%)	78,23%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
67.	10	(0,29%)	78,52%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
68.	9	(0,26%)	78,78%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
69.	9	(0,26%)	79,04%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
70.	9	(0,26%)	79,30%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
71.	9	(0,26%)	79,57%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
72.	9	(0,26%)	79,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
73.	8	(0,23%)	80,06%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
74.	8	(0,23%)	80,29%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
75.	8	(0,23%)	80,52%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
76.	7	(0,20%)	80,72%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
77.	7	(0,20%)	80,93%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
78.	7	(0,20%)	81,13%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
79.	7	(0,20%)	81,33%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
80.	7	(0,20%)	81,54%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
81.	7	(0,20%)	81,74%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
82.	7	(0,20%)	81,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
83.	7	(0,20%)	82,14%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
84.	7	(0,20%)	82,35%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
85.	7	(0,20%)	82,55%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
86.	7	(0,20%)	82,75%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
87.	7	(0,20%)	82,96%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
88.	7	(0,20%)	83,16%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
89.	7	(0,20%)	83,36%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
90.	6	(0,17%)	83,54%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
91.	6	(0,17%)	83,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
92.	6	(0,17%)	83,88%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
93.	6	(0,17%)	84,06%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
94.	6	(0,17%)	84,23%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
95.	6	(0,17%)	84,41%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
96.	6	(0,17%)	84,58%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
97.	6	(0,17%)	84,75%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
98.	6	(0,17%)	84,93%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
99.	5	(0,14%)	85,07%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
100.	5	(0,14%)	85,22%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
101.	5	(0,14%)	85,36%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
102.	5	(0,14%)	85,51%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
103.	5	(0,14%)	85,65%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
104.	5	(0,14%)	85,80%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
105.	5	(0,14%)	85,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
106.	5	(0,14%)	86,09%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
107.	5	(0,14%)	86,23%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
108.	5	(0,14%)	86,38%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
109.	5	(0,14%)	86,52%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
110.	5	(0,14%)	86,67%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
111.	5	(0,14%)	86,81%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
112.	5	(0,14%)	86,96%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
113.	5	(0,14%)	87,10%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
114.	5	(0,14%)	87,25%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
115.	5	(0,14%)	87,39%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
116.	5	(0,14%)	87,54%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
117.	5	(0,14%)	87,68%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
118.	5	(0,14%)	87,83%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
119.	5	(0,14%)	87,97%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
120.	4	(0,12%)	88,09%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
121.	4	(0,12%)	88,20%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
122.	4	(0,12%)	88,32%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
123.	4	(0,12%)	88,43%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
124.	4	(0,12%)	88,55%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
125.	4	(0,12%)	88,67%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
126.	4	(0,12%)	88,78%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
127.	4	(0,12%)	88,90%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
128.	4	(0,12%)	89,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
129.	4	(0,12%)	89,13%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
130.	4	(0,12%)	89,25%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
131.	4	(0,12%)	89,36%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
132.	4	(0,12%)	89,48%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
133.	4	(0,12%)	89,59%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
134.	4	(0,12%)	89,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
135.	4	(0,12%)	89,83%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
136.	4	(0,12%)	89,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
137.	4	(0,12%)	90,06%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
138.	4	(0,12%)	90,17%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
139.	4	(0,12%)	90,29%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
140.	4	(0,12%)	90,41%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
141.	4	(0,12%)	90,52%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
142.	4	(0,12%)	90,64%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
143.	4	(0,12%)	90,75%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
144.	4	(0,12%)	90,87%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
145.	4	(0,12%)	90,99%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
146.	4	(0,12%)	91,10%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
147.	4	(0,12%)	91,22%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
148.	4	(0,12%)	91,33%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
149.	4	(0,12%)	91,45%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
150.	3	(0,09%)	91,54%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
151.	3	(0,09%)	91,62%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
152.	3	(0,09%)	91,71%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
153.	3	(0,09%)	91,80%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
154.	3	(0,09%)	91,88%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
155.	3	(0,09%)	91,97%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
156.	3	(0,09%)	92,06%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
157.	3	(0,09%)	92,15%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
158.	3	(0,09%)	92,23%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
159.	3	(0,09%)	92,32%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
160.	3	(0,09%)	92,41%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
161.	3	(0,09%)	92,49%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
162.	3	(0,09%)	92,58%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
163.	3	(0,09%)	92,67%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
164.	3	(0,09%)	92,75%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
165.	3	(0,09%)	92,84%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
166.	3	(0,09%)	92,93%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
167.	3	(0,09%)	93,01%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
168.	3	(0,09%)	93,10%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
169.	3	(0,09%)	93,19%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
170.	3	(0,09%)	93,28%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
171.	3	(0,09%)	93,36%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
172.	3	(0,09%)	93,45%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
173.	3	(0,09%)	93,54%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
174.	3	(0,09%)	93,62%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
175.	3	(0,09%)	93,71%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
176.	3	(0,09%)	93,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
177.	2	(0,06%)	93,86%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
178.	2	(0,06%)	93,91%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
179.	2	(0,06%)	93,97%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
180.	2	(0,06%)	94,03%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
181.	2	(0,06%)	94,09%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
182.	2	(0,06%)	94,15%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
183.	2	(0,06%)	94,20%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
184.	2	(0,06%)	94,26%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
185.	2	(0,06%)	94,32%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
186.	2	(0,06%)	94,38%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
187.	2	(0,06%)	94,43%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
188.	2	(0,06%)	94,49%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
189.	2	(0,06%)	94,55%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
190.	2	(0,06%)	94,61%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
191.	2	(0,06%)	94,67%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
192.	2	(0,06%)	94,72%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
193.	2	(0,06%)	94,78%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
194.	2	(0,06%)	94,84%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
195.	2	(0,06%)	94,90%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
196.	2	(0,06%)	94,96%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
197.	2	(0,06%)	95,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
198.	2	(0,06%)	95,07%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
199.	2	(0,06%)	95,13%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
200.	2	(0,06%)	95,19%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
201.	2	(0,06%)	95,25%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
202.	2	(0,06%)	95,30%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
203.	2	(0,06%)	95,36%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
204.	2	(0,06%)	95,42%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
205.	2	(0,06%)	95,48%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
206.	2	(0,06%)	95,54%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
207.	2	(0,06%)	95,59%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
208.	2	(0,06%)	95,65%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
209.	2	(0,06%)	95,71%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
210.	2	(0,06%)	95,77%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
211.	2	(0,06%)	95,83%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
212.	2	(0,06%)	95,88%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
213.	2	(0,06%)	95,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
214.	2	(0,06%)	96,00%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
215.	2	(0,06%)	96,06%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
216.	2	(0,06%)	96,12%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
217.	2	(0,06%)	96,17%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
218.	2	(0,06%)	96,23%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
219.	2	(0,06%)	96,29%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
220.	2	(0,06%)	96,35%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
221.	2	(0,06%)	96,41%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
222.	2	(0,06%)	96,46%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
223.	2	(0,06%)	96,52%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
224.	2	(0,06%)	96,58%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
225.	2	(0,06%)	96,64%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
226.	2	(0,06%)	96,70%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
227.	2	(0,06%)	96,75%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
228.	1	(0,03%)	96,78%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
229.	1	(0,03%)	96,81%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
230.	1	(0,03%)	96,84%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
231.	1	(0,03%)	96,87%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
232.	1	(0,03%)	96,90%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
233.	1	(0,03%)	96,93%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
234.	1	(0,03%)	96,96%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
235.	1	(0,03%)	96,99%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
236.	1	(0,03%)	97,01%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
237.	1	(0,03%)	97,04%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
238.	1	(0,03%)	97,07%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
239.	1	(0,03%)	97,10%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
240.	1	(0,03%)	97,13%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
241.	1	(0,03%)	97,16%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
242.	1	(0,03%)	97,19%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
243.	1	(0,03%)	97,22%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
244.	1	(0,03%)	97,25%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
245.	1	(0,03%)	97,28%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
246.	1	(0,03%)	97,30%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
247.	1	(0,03%)	97,33%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
248.	1	(0,03%)	97,36%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
249.	1	(0,03%)	97,39%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
250.	1	(0,03%)	97,42%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
251.	1	(0,03%)	97,45%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
252.	1	(0,03%)	97,48%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
253.	1	(0,03%)	97,51%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
254.	1	(0,03%)	97,54%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
255.	1	(0,03%)	97,57%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
256.	1	(0,03%)	97,59%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
257.	1	(0,03%)	97,62%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
258.	1	(0,03%)	97,65%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
259.	1	(0,03%)	97,68%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
260.	1	(0,03%)	97,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
261.	1	(0,03%)	97,74%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
262.	1	(0,03%)	97,77%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
263.	1	(0,03%)	97,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
264.	1	(0,03%)	97,83%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
265.	1	(0,03%)	97,86%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
266.	1	(0,03%)	97,88%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
267.	1	(0,03%)	97,91%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
268.	1	(0,03%)	97,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
269.	1	(0,03%)	97,97%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
270.	1	(0,03%)	98,00%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
271.	1	(0,03%)	98,03%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
272.	1	(0,03%)	98,06%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
273.	1	(0,03%)	98,09%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
274.	1	(0,03%)	98,12%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
275.	1	(0,03%)	98,14%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
276.	1	(0,03%)	98,17%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
277.	1	(0,03%)	98,20%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
278.	1	(0,03%)	98,23%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
279.	1	(0,03%)	98,26%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
280.	1	(0,03%)	98,29%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
281.	1	(0,03%)	98,32%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
282.	1	(0,03%)	98,35%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
283.	1	(0,03%)	98,38%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
284.	1	(0,03%)	98,41%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
285.	1	(0,03%)	98,43%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
286.	1	(0,03%)	98,46%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
287.	1	(0,03%)	98,49%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
288.	1	(0,03%)	98,52%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
289.	1	(0,03%)	98,55%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
290.	1	(0,03%)	98,58%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
291.	1	(0,03%)	98,61%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
292.	1	(0,03%)	98,64%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
293.	1	(0,03%)	98,67%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
294.	1	(0,03%)	98,70%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
295.	1	(0,03%)	98,72%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
296.	1	(0,03%)	98,75%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
297.	1	(0,03%)	98,78%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
298.	1	(0,03%)	98,81%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
299.	1	(0,03%)	98,84%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
300.	1	(0,03%)	98,87%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
301.	1	(0,03%)	98,90%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
302.	1	(0,03%)	98,93%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
303.	1	(0,03%)	98,96%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
304.	1	(0,03%)	98,99%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
305.	1	(0,03%)	99,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
306.	1	(0,03%)	99,04%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
307.	1	(0,03%)	99,07%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
308.	1	(0,03%)	99,10%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
309.	1	(0,03%)	99,13%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
310.	1	(0,03%)	99,16%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
311.	1	(0,03%)	99,19%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
312.	1	(0,03%)	99,22%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
313.	1	(0,03%)	99,25%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
314.	1	(0,03%)	99,28%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
315.	1	(0,03%)	99,30%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
316.	1	(0,03%)	99,33%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
317.	1	(0,03%)	99,36%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
318.	1	(0,03%)	99,39%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
319.	1	(0,03%)	99,42%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
320.	1	(0,03%)	99,45%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
321.	1	(0,03%)	99,48%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
322.	1	(0,03%)	99,51%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
323.	1	(0,03%)	99,54%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
324.	1	(0,03%)	99,57%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
325.	1	(0,03%)	99,59%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
326.	1	(0,03%)	99,62%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
327.	1	(0,03%)	99,65%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
328.	1	(0,03%)	99,68%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
329.	1	(0,03%)	99,71%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
330.	1	(0,03%)	99,74%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
331.	1	(0,03%)	99,77%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
332.	1	(0,03%)	99,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
333.	1	(0,03%)	99,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
334.	1	(0,03%)	99,85%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
335.	1	(0,03%)	99,88%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
336.	1	(0,03%)	99,91%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
337.	1	(0,03%)	99,94%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
338.	1	(0,03%)	99,97%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
339.	1	(0,03%)	100,00%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Tabelle 48: Realisierte Plankonstellationen des Therapeuten in Therapie I

17.2 Klientin

	Häufigkeit	(%)	Cummulierte %	1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen	2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast	3. Sei eine gute Klientin / schaffe eine gute Beziehung zum Therapeuten	4. Zeige, dass Dein Leiden stark außenbeeinflusst ist	5. Fordere Hilfe vom Therapeuten	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen
1.	418	(12,12%)	12,12%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	353	(10,23%)	22,35%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	230	(6,67%)	29,01%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
4.	175	(5,07%)	34,09%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
5.	170	(4,93%)	39,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.	153	(4,43%)	43,45%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.	152	(4,41%)	47,86%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.	148	(4,29%)	52,14%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
9.	121	(3,51%)	55,65%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
10.	113	(3,28%)	58,93%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
11.	109	(3,16%)	62,09%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
12.	96	(2,78%)	64,87%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
13.	96	(2,78%)	67,65%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
14.	92	(2,67%)	70,32%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
15.	89	(2,58%)	72,90%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
16.	86	(2,49%)	75,39%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
17.	79	(2,29%)	77,68%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
18.	76	(2,20%)	79,88%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
19.	63	(1,83%)	81,71%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
20.	49	(1,42%)	83,13%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
21.	48	(1,39%)	84,52%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
22.	48	(1,39%)	85,91%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
23.	44	(1,28%)	87,19%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
24.	37	(1,07%)	88,26%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen	2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast	3. Sei eine gute Klientin / schaffe eine gute Beziehung zum Therapeuten	4. Zeige, dass Dein Leiden stark außenbeeinflusst ist	5. Fordere Hilfe vom Therapeuten	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen
25.	32	(0,93%)	89,19%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
26.	31	(0,90%)	90,09%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
27.	29	(0,84%)	90,93%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
28.	28	(0,81%)	91,74%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
29.	24	(0,70%)	92,43%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
30.	22	(0,64%)	93,07%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
31.	22	(0,64%)	93,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
32.	21	(0,61%)	94,32%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
33.	19	(0,55%)	94,87%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
34.	18	(0,52%)	95,39%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35.	13	(0,38%)	95,77%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
36.	13	(0,38%)	96,14%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
37.	12	(0,35%)	96,49%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
38.	10	(0,29%)	96,78%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
39.	9	(0,26%)	97,04%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
40.	9	(0,26%)	97,30%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
41.	6	(0,17%)	97,48%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
42.	6	(0,17%)	97,65%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
43.	5	(0,14%)	97,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
44.	5	(0,14%)	97,94%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
45.	4	(0,12%)	98,06%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
46.	4	(0,12%)	98,17%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
47.	4	(0,12%)	98,29%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
48.	4	(0,12%)	98,41%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
49.	4	(0,12%)	98,52%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
50.	4	(0,12%)	98,64%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
51.	3	(0,09%)	98,72%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Demonstriere Stärken und Kompetenzen	2. Mache deutlich, dass Du es schwer hattest / hast	3. Sei eine gute Klientin / schaffe eine gute Beziehung zum Therapeuten	4. Zeige, dass Dein Leiden stark außenbeeinflusst ist	5. Fordere Hilfe vom Therapeuten	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen
52.	3	(0,09%)	98,81%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
53.	3	(0,09%)	98,90%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
54.	3	(0,09%)	98,99%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
55.	3	(0,09%)	99,07%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
56.	3	(0,09%)	99,16%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
57.	3	(0,09%)	99,25%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
58.	3	(0,09%)	99,33%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
59.	2	(0,06%)	99,39%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
60.	2	(0,06%)	99,45%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
61.	2	(0,06%)	99,51%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
62.	2	(0,06%)	99,57%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
63.	2	(0,06%)	99,62%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
64.	2	(0,06%)	99,68%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
65.	1	(0,03%)	99,71%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
66.	1	(0,03%)	99,74%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
67.	1	(0,03%)	99,77%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
68.	1	(0,03%)	99,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
69.	1	(0,03%)	99,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
70.	1	(0,03%)	99,86%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
71.	1	(0,03%)	99,88%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
72.	1	(0,03%)	99,91%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
73.	1	(0,03%)	99,94%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
74.	1	(0,03%)	99,97%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
75.	1	(0,03%)	100,00%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tabelle 49: Realisierte Plankonstellationen der Klientin in Therapie I

18. Muster Therapie II

18.1 Therapeut

	Häufigkeit	(%)	Cummierte %	1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
1.	306	(15,07%)	15,07%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	222	(10,94%)	26,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	169	(8,33%)	34,33%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	125	(6,16%)	40,49%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	96	(4,73%)	45,22%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.	86	(4,24%)	49,46%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.	57	(2,81%)	52,27%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
8.	54	(2,66%)	54,93%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.	40	(1,97%)	56,90%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.	39	(1,92%)	58,82%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.	35	(1,72%)	60,54%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.	32	(1,58%)	62,12%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
13.	30	(1,48%)	63,60%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14.	29	(1,43%)	65,02%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.	28	(1,38%)	66,40%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16.	24	(1,18%)	67,59%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17.	23	(1,13%)	68,72%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
18.	21	(1,03%)	69,75%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
19.	21	(1,03%)	70,79%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
20.	21	(1,03%)	71,82%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21.	20	(0,99%)	72,81%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22.	20	(0,99%)	73,79%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23.	18	(0,89%)	74,68%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24.	14	(0,69%)	75,37%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
25.	13	(0,64%)	76,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
26.	12	(0,59%)	76,60%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
27.	12	(0,59%)	77,19%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28.	12	(0,59%)	77,78%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
29.	12	(0,59%)	78,37%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30.	11	(0,54%)	78,92%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
31.	11	(0,54%)	79,46%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
32.	10	(0,49%)	79,95%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
33.	10	(0,49%)	80,44%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
34.	10	(0,49%)	80,94%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35.	10	(0,49%)	81,43%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
36.	9	(0,44%)	81,87%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
37.	9	(0,44%)	82,32%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
38.	9	(0,44%)	82,76%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
39.	8	(0,39%)	83,15%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
40.	8	(0,39%)	83,55%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
41.	8	(0,39%)	83,94%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
42.	7	(0,34%)	84,29%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
43.	7	(0,34%)	84,63%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
44.	7	(0,34%)	84,98%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
45.	7	(0,34%)	85,32%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
46.	7	(0,34%)	85,67%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
47.	7	(0,34%)	86,01%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
48.	7	(0,34%)	86,35%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
49.	6	(0,30%)	86,65%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
50.	6	(0,30%)	86,95%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
51.	6	(0,30%)	87,24%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
52.	6	(0,30%)	87,54%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
53.	6	(0,30%)	87,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
54.	6	(0,30%)	88,13%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
55.	6	(0,30%)	88,42%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
56.	6	(0,30%)	88,72%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
57.	5	(0,25%)	88,97%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
58.	5	(0,25%)	89,21%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
59.	5	(0,25%)	89,46%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
60.	5	(0,25%)	89,70%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
61.	5	(0,25%)	89,95%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
62.	5	(0,25%)	90,20%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
63.	5	(0,25%)	90,44%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
64.	5	(0,25%)	90,69%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
65.	4	(0,20%)	90,89%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
66.	4	(0,20%)	91,08%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
67.	4	(0,20%)	91,28%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
68.	4	(0,20%)	91,48%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
69.	4	(0,20%)	91,67%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
70.	4	(0,20%)	91,87%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
71.	4	(0,20%)	92,07%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
72.	4	(0,20%)	92,27%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
73.	4	(0,20%)	92,46%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
74.	3	(0,15%)	92,61%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
75.	3	(0,15%)	92,76%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
76.	3	(0,15%)	92,91%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
77.	3	(0,15%)	93,05%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
78.	3	(0,15%)	93,20%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
79.	3	(0,15%)	93,35%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
80.	3	(0,15%)	93,50%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
81.	3	(0,15%)	93,65%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
82.	3	(0,15%)	93,79%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
83.	3	(0,15%)	93,94%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
84.	3	(0,15%)	94,09%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
85.	3	(0,15%)	94,24%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
86.	3	(0,15%)	94,38%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
87.	3	(0,15%)	94,53%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
88.	3	(0,15%)	94,68%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
89.	3	(0,15%)	94,83%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
90.	3	(0,15%)	94,98%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
91.	3	(0,15%)	95,12%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
92.	3	(0,15%)	95,27%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
93.	2	(0,10%)	95,37%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
94.	2	(0,10%)	95,47%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
95.	2	(0,10%)	95,57%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
96.	2	(0,10%)	95,66%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
97.	2	(0,10%)	95,76%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
98.	2	(0,10%)	95,86%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
99.	2	(0,10%)	95,96%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
100.	2	(0,10%)	96,06%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
101.	2	(0,10%)	96,16%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
102.	2	(0,10%)	96,26%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
103.	2	(0,10%)	96,35%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
104.	2	(0,10%)	96,45%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
105.	2	(0,10%)	96,55%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
106.	2	(0,10%)	96,65%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
107.	2	(0,10%)	96,75%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
108.	2	(0,10%)	96,85%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
109.	2	(0,10%)	96,95%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
110.	2	(0,10%)	97,04%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
111.	2	(0,10%)	97,14%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
112.	2	(0,10%)	97,24%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
113.	2	(0,10%)	97,34%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
114.	2	(0,10%)	97,44%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
115.	2	(0,10%)	97,54%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
116.	2	(0,10%)	97,64%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
117.	2	(0,10%)	97,73%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
118.	1	(0,05%)	97,78%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
119.	1	(0,05%)	97,83%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
120.	1	(0,05%)	97,88%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
121.	1	(0,05%)	97,93%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
122.	1	(0,05%)	97,98%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
123.	1	(0,05%)	98,03%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
124.	1	(0,05%)	98,08%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
125.	1	(0,05%)	98,13%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
126.	1	(0,05%)	98,18%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
127.	1	(0,05%)	98,23%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
128.	1	(0,05%)	98,28%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
129.	1	(0,05%)	98,32%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
130.	1	(0,05%)	98,37%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
131.	1	(0,05%)	98,42%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
132.	1	(0,05%)	98,47%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
133.	1	(0,05%)	98,52%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
134.	1	(0,05%)	98,57%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
135.	1	(0,05%)	98,62%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
136.	1	(0,05%)	98,67%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
137.	1	(0,05%)	98,72%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
138.	1	(0,05%)	98,77%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
139.	1	(0,05%)	98,82%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
140.	1	(0,05%)	98,87%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
141.	1	(0,05%)	98,92%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
142.	1	(0,05%)	98,97%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
143.	1	(0,05%)	99,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
144.	1	(0,05%)	99,06%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Zeige Kompetenz	2. Erzeuge eine vertrauensvolle Beziehung	3. Zeige Dich einfühlsam	4. Motiviere sie	5. Veranlasse sie dazu, ihre Denkmuster zu reflektieren	6. Konfrontiere sie mit ihren Fehlern	7. Aktiviere sie	8. Zeige, dass sie für sich selbst verantwortlich ist	9. Lenke ihre Aufmerksamkeit	10. Gib ihr Struktur
145.	1	(0,05%)	99,11%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
146.	1	(0,05%)	99,16%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
147.	1	(0,05%)	99,21%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
148.	1	(0,05%)	99,26%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
149.	1	(0,05%)	99,31%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
150.	1	(0,05%)	99,36%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
151.	1	(0,05%)	99,41%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
152.	1	(0,05%)	99,46%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
153.	1	(0,05%)	99,51%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
154.	1	(0,05%)	99,56%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
155.	1	(0,05%)	99,61%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
156.	1	(0,05%)	99,66%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
157.	1	(0,05%)	99,70%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
158.	1	(0,05%)	99,75%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
159.	1	(0,05%)	99,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
160.	1	(0,05%)	99,85%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
161.	1	(0,05%)	99,90%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
162.	1	(0,05%)	99,95%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
163.	1	(0,05%)	100,00%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tabelle 50: Realisierte Plankonstellationen des Therapeuten in Therapie II

18.2 Klientin

	Häufigkeit	(%)	Cummulierte %	1. Demonstriere Stärke und Kompetenzen (self-promotion)	2. Zeige Dich als sympathisch, als gute Klientin (ingratiation)	3. Zeige Deine menschlichen Qualitäten/Zeige, dass Du ein guter Mensch bist, vorbildlich in ethischer Hinsicht (exemplification)	4. Demonstriere Hilfslosigkeit/Bemühe Dich um Mitleid/Unterstützung (supplication)	5. Erkläre Probleme/ Mache deutlich, dass mangelnde Fortschritte nicht an Dir liegen (facework)	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems/Widerstand
1.	647	(31,87%)	31,87%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.	245	(12,07%)	43,94%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3.	214	(10,54%)	54,48%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
4.	170	(8,37%)	62,86%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5.	123	(6,06%)	68,92%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
6.	84	(4,14%)	73,05%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.	51	(2,51%)	75,57%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
8.	46	(2,27%)	77,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
9.	44	(2,17%)	80,00%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10.	43	(2,12%)	82,12%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11.	37	(1,82%)	83,94%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.	33	(1,63%)	85,57%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
13.	25	(1,23%)	86,80%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
14.	21	(1,03%)	87,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
15.	21	(1,03%)	88,87%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
16.	20	(0,99%)	89,85%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
17.	20	(0,99%)	90,84%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
18.	19	(0,94%)	91,77%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
19.	11	(0,54%)	92,32%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
20.	10	(0,49%)	92,81%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
21.	8	(0,39%)	93,20%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
22.	8	(0,39%)	93,60%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23.	8	(0,39%)	93,99%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

				1. Demonstrieren Stärke und Kompetenzen (self-promotion)	2. Zeige Dich als sympathisch, als gute Klientin (ingratiation)	3. Zeige Deine menschlichen Qualitäten/Zeige, dass Du ein guter Mensch bist, vorbildlich in ethischer Hinsicht (exemplification)	4. Demonstrieren Hilfslosigkeit/Bemühe Dich um Mitleid/Unterstützung (supplication)	5. Erkläre Probleme/ Mache deutlich, dass mangelnde Fortschritte nicht an Dir liegen (facework)	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems/Widerstand
24.	8	(0,39%)	94,38%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25.	8	(0,39%)	94,78%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26.	7	(0,34%)	95,12%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
27.	6	(0,30%)	95,42%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
28.	6	(0,30%)	95,71%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
29.	6	(0,30%)	96,01%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30.	5	(0,25%)	96,26%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
31.	5	(0,25%)	96,50%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
32.	5	(0,25%)	96,75%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
33.	4	(0,20%)	96,95%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
34.	4	(0,20%)	97,14%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35.	4	(0,20%)	97,34%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
36.	4	(0,20%)	97,54%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
37.	3	(0,15%)	97,68%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
38.	3	(0,15%)	97,83%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
39.	3	(0,15%)	97,98%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
40.	3	(0,15%)	98,13%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
41.	3	(0,15%)	98,28%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
42.	2	(0,10%)	98,37%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
43.	2	(0,10%)	98,47%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
44.	2	(0,10%)	98,57%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
45.	2	(0,10%)	98,67%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
46.	2	(0,10%)	98,77%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
47.	2	(0,10%)	98,87%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
48.	2	(0,10%)	98,97%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
49.	2	(0,10%)	99,06%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

				1. Demonstriere Stärke und Kompetenzen (self-promotion)	2. Zeige Dich als sympathisch, als gute Klientin (ingratiation)	3. Zeige Deine menschlichen Qualitäten/Zeige, dass Du ein guter Mensch bist, vorbildlich in ethischer Hinsicht (exemplification)	4. Demonstriere Hilfsigkeit/Bemühe Dich um Mitleid/Unterstützung (supplication)	5. Erkläre Probleme/ Mache deutlich, dass mangelnde Fortschritte nicht an Dir liegen (facework)	6. Zeige Interesse und Bereitschaft an der Lösung Deines Problems	7. Schütze Dich vor bedrohlichen Veränderungen / Vermeide die Bearbeitung des Problems/Widerstand
50.	2	(0,10%)	99,16%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
51.	1	(0,05%)	99,21%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
52.	1	(0,05%)	99,26%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
53.	1	(0,05%)	99,31%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
54.	1	(0,05%)	99,36%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
55.	1	(0,05%)	99,41%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
56.	1	(0,05%)	99,46%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
57.	1	(0,05%)	99,51%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
58.	1	(0,05%)	99,56%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
59.	1	(0,05%)	99,61%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
60.	1	(0,05%)	99,66%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
61.	1	(0,05%)	99,70%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
62.	1	(0,05%)	99,75%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
63.	1	(0,05%)	99,80%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
64.	1	(0,05%)	99,85%	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
65.	1	(0,05%)	99,90%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
66.	1	(0,05%)	99,95%	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
67.	1	(0,05%)	100,00%	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Tabelle 51: Realisierte Plankonstellationen der Klientin in Therapie II

Strunk, Guido

geb. 1968 in Dorsten (Westfalen), Studium der Psychologie und anschließende Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Klinische Psychologie und Diagnostik an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

1996 Gründungsmitglied des Forschungsinstitutes für Systemwissenschaften (FIS) in München. Ebenfalls 1996, Verleihung des wissenschaftlichen Förderpreises der Systemischen Gesellschaft (Deutscher Verband für systemische Forschung, Therapie, Supervision und Beratung e.V.) für besondere Forschungsleistungen.

Seit 1997 Mitarbeit an verschiedenen Forschungsprojekten in Wien und München, wie z.B.

Qualitätssicherung und Evaluation:

- von Hilfen der Wiener Ämter für Jugend und Familie,
- im Rahmen der Verkehrssicherheit nachgeschulter alkoholauffälliger Kraftfahrer,
- in Bezug auf die Gefährlichkeitsprognose sexualdelinquenter Straftäter,
- Wissenschaftliche Stellungnahme zur Theorie und Praxis der Systemischen Therapie, die 1998 zur Anerkennung der Systemischen Therapie als Richtlinienverfahren beim Berufsverband Deutscher Psychologen führte.

Entwicklung standardisierter Erhebungsinstrumente:

- z.B. zur Kundenzufriedenheit im Bereich der Jugendwohlfahrt,
- zur Analyse komplexer Systeme.

Fortbildungs- und Vortragstätigkeit:

- in Bezug auf Qualitätssicherung,
- Organisationsstrukturen im Bereich der Jugendwohlfahrt,
- Umgang mit komplexen Systemen,
- Nutzung der Chaosforschung in psychosozialen Anwendungsfeldern,
- Kommunikation und Gesprächsführungstechniken,
- Schreiben wissenschaftlicher Arbeiten.

Guido Strunk war von 1999 bis 2001 Vorstandsmitglied der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Systemische Therapie und Systemische Studien (ÖAS). Er ist Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der Zeitschrift Systeme (Interdisziplinäre Zeitschrift für systemisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften) und Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik.

Zusammen mit Eva Reznicek und Stefanie Friedlmayer wurde ihm 2000 erneut der wissenschaftliche Förderpreis der Systemischen Gesellschaft (Deutscher Verband für systemische Forschung, Therapie, Supervision und Beratung e.V.) für besondere Forschungsleistungen verliehen.

Guido Strunk arbeitet seit Mai 1999 als Vertragsassistent an der Interdisziplinären Abteilung für Verhaltenswissenschaftlich Orientiertes Management (IVM) der Wirtschaftsuniversität Wien.

Seit Oktober 2000 ist er an der selben Abteilung zudem als Projektassistent im Rahmen des Vienna Career Panel Project (ViCaPP) tätig.