



HABILITATION

Extended Value Chain Management -
ein Konzept zur Koordination
von Wertschöpfungsnetzen

eingereicht von:

Dr. rer. pol. Tobias Teich,
Dipl.-Inform., Dipl.-Wirt.-Inform., Magister Artium
geb. am 29. Dezember 1966 in Zwickau,
zur Erlangung des akademischen Grades
eines habilitierten Doktors der Wirtschaftswissenschaften
(Dr. rer. pol. habil.)

Chemnitz, im September 2002

„*Es ist nicht das Auslaufen aus dem Hafen, sondern die Heimkehr, die den Erfolg einer Reise bestimmt.*“

Henry Ward Beechers

Vorwort

Zum Gelingen dieser Arbeit haben viele Personen beigetragen, denen ich an dieser Stelle herzlich danken möchte.

Herr Prof. Dr. J. Käschel ist mir immer ein engagierter Diskussionspartner gewesen und gab viele wichtige Inspirationen zur Realisierung meiner Arbeit. Sein fachlicher Rat trug erheblich zum klaren Verständnis des Themas bei. Mein freundschaftliches Verhältnis zu ihm bestärkte mich vor allem in den Zeiten, in denen sich der Arbeitsfortschritt demotivierend darstellte. Vor allem die Erkenntnis, dass wissenschaftliche Arbeit nicht wirklich administriert werden kann, hat Prof. Käschel mir als mein akademischer Lehrer für die Zukunft mit auf den Weg gegeben.

Den Herren Prof. Dr. K. Richter und Prof. Dr. G. Sommerer danke ich für ihre zahlreichen konstruktiven Ratschläge während der Anfertigung der wissenschaftlichen Arbeit und ihre Bereitschaft zur Übernahme der Gutachten. Dies gilt ebenso für Herrn Prof. Dr. B. Stöckert, mit dem ich in der letzten Dekade viele wegweisende, fachliche Diskussion führen durfte. Auch einer ganzen Reihe von Professoren unserer Fakultät sei für die vielen fruchtbaren Diskussionen innerhalb und außerhalb des Sonderforschungsbereiches *Hierarchielose Regionale Produktionsnetze* gedankt. Oftmals gaben sie fachübergreifend wichtige Impulse zur weiteren wissenschaftlichen Arbeit in Teilbereichen der Netzwerke.

Dank sei meinen Arbeitskollegen Herrn Dipl.-Kfm. Marco Fischer und Herrn Dipl.-Kfm. Hendrik Jähn für ihre ständige Diskussionsbereitschaft, konstruktive Kritik und sorgfältige Durchsicht des Manuskripts. Auch den studentischen Hilfskräften im Arbeitskreis *Logistische Informationssysteme* sei an dieser Stelle für ihre Mitwirkung an aktuellen Forschungsthemen gedankt. Vor allem Lars Zschorn, Alexander Heuke, Dirk Grossmann, Jens Fischer, Andre Vogel und Nico Brünler haben in den letzten beiden Jahren durch besonders enge Zusammenarbeit bei Diplomarbeiten und gemeinsamen wissenschaftlichen Publikationen wesentlich zum Gelingen der intellektuellen Arbeit an der Professur im Allgemeinen und innerhalb des Sonderforschungsbereiches im Speziellen beigetragen. Mein besonderer Dank gilt auch meinem ehema-

ligen Diplomanden und Freund Dipl.-Kfm. Markus Schwarz für seine immer währende Diskussionsbereitschaft und seiner fachlichen Unterstützung im Bereich der *SAP*-Integration.

Außerhalb der Universität erhielt ich ebenfalls wertvolle Unterstützung zur Entwicklung des EVCM-Konzeptes. An dieser Stelle gilt der Dank Herrn Dipl.-Ing. Ullrich Trommler, der als Geschäftsführer der CBS GmbH dieses Konzept in wesentlichen Inhalten innerhalb von *Navision Axapta* umsetzte. Es soll als Pilotprojekt in einem großen mittelständischen Unternehmen der Region erstmals eingesetzt werden. Auf diese Weise konnten die Mängel dieses Konzeptes beseitigt und Stärken weiter ausgebaut werden. Auf zahlreichen Veranstaltungen mit namhaften Industriepartnern wurden immer wieder wichtige Inspirationen zur wissenschaftlichen Arbeit in Bezug auf die Anwendung von Methoden und Strategien gewonnen. Einer der Höhepunkte dieser Zusammenarbeit war der Gewinn mehrerer erster Plätze bei Businessplanwettbewerben mit dem EVCM-Konzept.

Letztlich und an *erster Stelle* möchte ich mich bei meiner Frau Cornelia, meinem Sohn Linus und meiner Tochter Lilly, meinen Eltern Heidrun und Wolfgang sowie Schwiegereltern Brigitte und Jürgen für deren Verständnis bedanken. Deren Nerven und Geduld wurden durch meine seltene Anwesenheit über Gebühren strapaziert. Selbst wenn ich anwesend war, so war ich es doch nicht. Ihre moralische Unterstützung sowie die Übernahme vieler gewöhnlicher Arbeiten in Haus und Garten erleichterte mir das Verfassen einer solchen Schrift erheblich.

Ich widme diese Arbeit meiner lieben Familie.

Chemnitz, im September 2002

Tobias Teich

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	xi
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	xix
1 Motivation	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Einordnung der Thematik in die Betriebswirtschaftslehre . . .	4
1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	8
2 Vom Manufacturing Ressource Planning zum SCM	11
2.1 Die Evolution der Produktion	12
2.2 Planungskonzepte	17
2.2.1 Begriffe und Klassen von Planungskonzepten	17
2.2.2 Probleme in der Produktionswirtschaft	25
2.3 MRP-Konzepte	28
2.3.1 Closed Loop MRP	29
2.3.2 MRP II-Konzept	32
2.3.3 Kritik am Schrifttum	34
2.3.4 Lösungsansätze durch das MRP II-Konzept	37
2.3.5 Implementierung	38
2.3.6 Fertigungssteuerung als wichtiger Bestandteil	40
2.4 ERP-Konzept	42

2.4.1	Die Motivation für die Fortsetzung der Evolution . . .	43
2.4.2	Anforderung an ERP	44
2.5	SCM-Konzept	48
2.5.1	Das SCOR-Modell	51
2.5.1.1	Die SCOR-Prozesse	53
2.5.1.2	Die SCOR-Prozessebenen	55
2.5.1.3	Messgrößen	57
2.5.2	Struktur von SCM-Systemen	59
2.5.2.1	Strategische Planung	60
2.5.2.2	Taktische Planung	61
2.5.2.3	Operative Planung	65
2.5.3	Lösungsansätze durch das ERP/SCM-Konzept	72
2.5.4	Implementierung des ERP/SCM-Konzeptes	73
2.6	Zusammenfassung	78
2.6.1	Wichtige Aspekte der verschiedenen Konzepte	79
2.6.2	Konzeptionelle Defizite derzeitiger Systeme	80
3	Netzwerke und Managementkonzepte	87
3.1	Auf der Suche nach Ordnung	91
3.1.1	Kategorisierung von Netzwerken	93
3.1.2	Systemische Ansätze	97
3.1.2.1	Der konstruktivistisch-technomorphe Ansatz .	102
3.1.2.2	Der systemtheoretisch-kybernetische Ansatz .	103
3.1.3	Grundsätzliche Auffassungen zu Netzwerken und Management-Philosophien	107
3.2	Das Unternehmensnetzwerk	118
3.2.1	Leistungskoordination	123
3.2.1.1	Markt und Hierarchie	123
3.2.1.2	Relevante Theorien und Forschungsansätze . .	126
3.2.1.3	Vergleich der Ansätze	134
3.2.2	Die Facette Vertrauen im Netzwerk	135

3.2.3	Lebenszyklus	137
3.2.4	Der Nutzen der Mitwirkung an Netzwerken	139
3.2.4.1	Vorteile	139
3.2.4.2	Nachteile	140
3.3	Virtualität	142
3.3.1	Organisatorische Ausprägungen	145
3.3.1.1	Die Virtuelle Organisation	146
3.3.1.2	Das Virtuelle Unternehmen	150
3.3.1.3	Verwandte Organisationsformen	158
3.3.2	Harmonisierung der Begriffe und Bezeichnungen	161
3.4	Zusammenfassung - Grenzen eines grenzenlosen Konzeptes	163
4	Das Extended Value Chain Management	167
4.1	Die Zielgruppe des Konzeptes	167
4.1.1	Die Rolle der KMU	168
4.1.1.1	Globalisierung	169
4.1.1.2	Dynamisierung	170
4.1.1.3	Vernetzung	171
4.1.1.4	Kundenanforderungen	172
4.1.2	Vertikale Kooperation als Wettbewerbsfaktor	174
4.2	Herausbildung von Kompetenznetzen	177
4.2.1	Auflösungserscheinung von Unternehmen	178
4.2.1.1	Das Unternehmen	178
4.2.1.2	Modularisierung von Unternehmen	179
4.2.1.3	Auflösung von Unternehmensgrenzen	180
4.2.1.4	Bildung virtueller Netzwerke	181
4.2.2	Kompetenzzellen	182
4.2.2.1	Nomen est Omen - Der Begriff der Kompetenzzelle	182
4.2.2.2	Struktur	186
4.2.2.3	Aussagen zur Größe einer Kompetenzzelle	188

4.2.3	Kompetenzzellennetz	209
4.2.3.1	Ressourcenpool als statisches Netzwerk	209
4.2.3.2	Das dynamische Netzwerk	211
4.2.3.3	Statik und Dynamik in einer Vision	214
4.3	Das Konzept des Extended Value Chain Managements	217
4.3.1	Vorbemerkungen	217
4.3.1.1	Theorie	217
4.3.1.2	Modell	219
4.3.1.3	Methode	220
4.3.1.4	Instrument	220
4.3.1.5	Synthese der Kategorien	221
4.3.2	Ablauforganisation	223
4.3.3	Aufbauorganisation	228
4.3.4	Der abgeleitete konzeptuelle Rahmen	231
4.4	Zusammenfassung	232
4.4.1	Offene juristische Probleme	233
4.4.2	Netzwerk-Controlling	235
5	Auf der Suche nach der richtigen Kompetenz	237
5.1	Funktionale Dekomposition	237
5.1.1	Ausgangssituation	238
5.1.2	Ableitung der Vektoren für Angebot und Nachfrage	240
5.1.2.1	Gestaltungsebenen der Arbeitsplanung	243
5.1.2.2	Beschreibung der Stücklistenpositionen	247
5.1.2.3	Ressourcenorientierte Beschreibung der KPZ	249
5.1.3	Bewertung von Prozessvarianten	252
5.1.3.1	Kosten	252
5.1.3.2	Zeiten	256
5.1.3.3	Ökologie	263
5.1.3.4	Multikriterielle Bewertung	263
5.2	Suche nach Kompetenzzellen	273

5.2.1	Der informationstechnische Modellkern (IMK)	273
5.2.2	Organisation der Suche	277
5.3	Zusammenfassung	285
6	KPZ–interne Ablaufplanung	287
6.1	Ablaufplanung	288
6.1.1	Gegenstand der Planung	288
6.1.2	Ziele der Ablauforganisation	290
6.1.2.1	Zeitziele	290
6.1.2.2	Zielbeziehungen	293
6.1.3	Durchlaufzeit	295
6.1.3.1	Beeinflussbare Bestandteile	295
6.1.3.2	Durchlaufdiagramm	296
6.2	Feinplanung in der KPZ	298
6.2.1	Formale Problembeschreibung	299
6.2.1.1	Maschinencharakteristika	300
6.2.1.2	Auftragscharakteristika	301
6.2.1.3	Optimalitätskriterien	303
6.2.2	Job Shop Scheduling	306
6.2.2.1	Sequencing	309
6.2.2.2	Scheduling	311
6.2.2.3	Arten von Ablaufplänen	312
6.2.3	Komplexitätstheoretische Betrachtungen	317
6.3	Heuristiken für die Feinplanung der KPZ	319
6.3.1	Modelle, Algorithmen und Heuristiken	321
6.3.1.1	Nachbarschaft	321
6.3.1.2	Exakte Verfahren	322
6.3.1.3	Heuristiken	323
6.3.1.4	Algorithmen	325
6.3.2	Lokale Suchverfahren	327
6.3.2.1	Tabu Search (TS)	327

6.3.2.2	Simulated Annealing (SA)	329
6.3.2.3	Threshold Accepting (TA)	333
6.3.2.4	Flood Method (FM)	336
6.3.3	Evolutionäre Verfahren	338
6.3.3.1	Historie und Begriffe	338
6.3.3.2	Genetische Algorithmen (GA)	343
6.4	KPZ-spezifische Erweiterungen der Ablaufplanung	358
6.4.1	Betriebskalender und Schichtplan	359
6.4.2	Kapazitätstypen	363
6.4.3	Kapazitätsarten	368
6.4.4	Rüstzeiten	370
6.5	Zusammenfassung	371
7	Angebotserstellung	375
7.1	Grundlagen für die automatische Angebotserstellung	375
7.1.1	Im Angebot enthaltene Informationen	376
7.1.2	Die Verfügbarkeitsprüfung	379
7.1.2.1	Ziele der Verfügbarkeitsprüfung	380
7.1.2.2	Der Begriff des Available-to-Promise	381
7.1.2.3	Die Grenzen der klassischen Ansätze	386
7.1.3	Die Lieferwahrscheinlichkeit	391
7.2	Ermittlung von Liefermenge und Lieferwahrscheinlichkeit	393
7.2.1	Die Verwendung der Fuzzy-Logik	393
7.2.2	Die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit der ATP-Menge	396
7.2.3	Die Ermittlung der Lieferwahrscheinlichkeit der CTP-Menge	410
7.2.4	Anpassung und Auswirkungen der Lieferwahrscheinlichkeiten auf die Verhandlungen	415
7.3	Probleme bei Verhandlungen	420
7.3.1	Motivation	420
7.3.2	Theoretische Betrachtungen	421

7.3.2.1	Das Grundproblem asymmetrischer Informationen	422
7.3.2.2	Kosten- und Nutzenbetrachtungen	426
7.3.3	Anreizsysteme und verdeckte Handlungen	427
7.3.3.1	Das einfache Grundmodell	427
7.3.3.2	Bindung mehrerer KPZ	432
7.3.4	Offenbarungsstrategien und verdeckte Eigenschaften	434
7.3.4.1	Signalling	435
7.3.4.2	Screening	437
7.4	Zusammenfassung	440
8	Integration von Soft-facts	443
8.1	Anforderungen	444
8.1.1	Soft-facts im Kompetenzzellennetzwerk	445
8.1.2	Analysemethoden für Netzwerke	445
8.1.2.1	Ansätze aus soziologischer Perspektive	446
8.1.2.2	Bewertung der Kooperationsfähigkeit	450
8.1.2.3	Structural Hole Theory	458
8.1.3	Die Idee einer ganzheitlichen Analyse	459
8.2	Repertory Grid	460
8.2.1	Einleitende Bemerkungen	460
8.2.1.1	Ausgangspunkt: Die Theorie <i>Kellys</i>	461
8.2.1.2	Inhaltliches Anliegen des Repertory Grids	462
8.2.1.3	Anwendungsbereich des Repertory Grids	463
8.2.2	Planung und Durchführung von Repertory Grid-Untersuchungen	465
8.2.2.1	Wahl des Untersuchungsgegenstandes	465
8.2.2.2	Bestimmung der Elemente und Konstrukte	467
8.2.2.3	Durchführung einer Untersuchung	470
8.2.3	Auswertung des Grids	472
8.2.3.1	Die gängigsten Verfahren	473

8.2.3.2	Auswertung im Kontext des KPZN	477
8.3	Polyedrale Analyse	478
8.3.1	Modell zur Polyedralen Analyse	478
8.3.1.1	Formale Beschreibung des Modells	479
8.3.1.2	Ein Beispiel	479
8.3.2	Kenngößen des Modells zur Netzwerkbeurteilung . . .	482
8.3.2.1	Konnektivität und Exzentrizität	482
8.3.2.2	Hohlräume oder was in K fehlt	484
8.3.2.3	Beeinflussung des Verhaltens innerhalb des Komplexes	485
8.3.3	Wertung des Ansatzes	487
8.4	Zusammenfassung	487
9	Auswahl der Kompetenzzellen und Bewertung im Netzwerk	491
9.1	Problemstellung	491
9.2	Modellierung und Auswahl	497
9.2.1	Ant Colony Optimization - Eine Einführung	499
9.2.1.1	Das Ant System	502
9.2.1.2	Das Ant Colony System	505
9.2.1.3	Erweiterungen des Ant Colony Systems . . .	507
9.2.2	Umsetzung der KPZ-Auswahl mit ACO	509
9.3	Bewertung und Erfolgsverteilung	513
9.3.1	Controlling zur Sicherung der Rationalität	513
9.3.2	Informationsbedarf und Notwendigkeit eines kostenori- entierten Netzwerkcontrollings	515
9.3.3	Kosten- und Leistungsrechnung innerhalb des Control- lings	519
9.3.4	Anforderungen an eine Netzwerkkostenrechnung	521
9.3.5	Kosten im Netzwerk	523
9.3.6	Verrechnungspreise und Budgets	524
9.3.7	Kostenrechnung im Netzwerk	525
9.3.7.1	Verfahren für die Auftragskalkulation	527

9.3.7.2	Netzwerk-Gemeinkosten	529
9.3.7.3	Auftragskalkulation	530
9.3.7.4	Kalkulationsschema	532
9.3.7.5	Erfolgsverteilungsrechnung	533
9.4	Zusammenfassung	534
10	Informationsinfrastrukturkonzept	537
10.1	Application Service Providing	538
10.1.1	Historie	538
10.1.2	Inhaltliche Aspekte des ASP-Konzeptes	543
10.1.2.1	Der Begriff des ASP	543
10.1.2.2	Abgrenzung zum Outsourcing	546
10.1.2.3	Abrechnungsmodelle	550
10.1.3	Informationstechnische Merkmale	554
10.1.3.1	Systemarchitektur	555
10.1.3.2	Application Server	557
10.1.3.3	Web-Centric Anwendungen	559
10.2	Aspekte einer informationstechnischen Realisierung	563
10.2.1	EVCM als verteilte Applikation	563
10.2.2	Corba, J2EE und .NET	566
10.2.3	Java 2 Enterprise Edition (J2EE)	568
10.2.3.1	J2EE Technologien	569
10.2.3.2	Multi-Tier-Architektur	570
10.2.3.3	J2EE Komponenten	571
10.2.3.4	J2EE Container	572
10.2.4	Enterprise JavaBeans (EJB)	578
10.2.4.1	Bestandteile einer EJB	579
10.2.4.2	Session Beans	582
10.2.4.3	Entity Beans	583
10.2.4.4	Message Driven Beans	588
10.2.5	Kommunikation im EVCM	589

10.2.5.1	Asynchrone Kommunikation mit JMS	593
10.2.5.2	Datenaustausch mit XML	595
10.2.6	Eine J2EE-basierte Architektur für das EVCM	596
10.2.6.1	Clienten und deren Anbindung	597
10.2.6.2	Architektur der Serverseite	599
10.3	ERP–Anbindung	604
10.3.1	SAP	605
10.3.1.1	Der Fertigungsauftrag als Integrationsobjekt	606
10.3.1.2	Die Implementierung der Schnittstellen	610
10.3.1.3	Testergebnisse	617
10.3.2	Axapta	617
10.4	Zusammenfassung	623
11	Fazit	625
	Literaturverzeichnis	627
	Indexverzeichnis	693

Abbildungsverzeichnis

1.1	Zuordnung der Thematik zu betrieblichen Funktionen	7
1.2	Inhaltliche Gliederung der Arbeit	9
2.1	Entwicklung der Produktion	13
2.2	Entwicklung des sozialen Systems in der Produktion	14
2.3	Kennziffern des Produktionsmanagements	15
2.4	Organisationstrends der Geschäftsprozesse	16
2.5	Hauptprozess der Auftragsbearbeitung	18
2.6	Einordnung der Planung in den Führungsprozess	21
2.7	Merkmale von Planungskonzepten	22
2.8	Sukzessiv- und Simultanplanung der Grundressourcen	25
2.9	Dilemma und Ziele in der Produktionswirtschaft	27
2.10	Fristen bei der Entwicklung des Closed Loop MRP	30
2.11	Schema des Closed Loop MRP	31
2.12	Erweiterung des Closed Loop MRP zum MRP II-Konzept	34
2.13	Unterschiedliche Begriffe für das gleiche Konzept	36
2.14	Grundablauf Logistik	39
2.15	Die Evolution zum ERP	43
2.16	Aufbau eines ERP-Systems	46
2.17	Supply Chain Netzwerk	49
2.18	Der Bullwhip-Effekt	50
2.19	Die SCOR-Prozesse	53
2.20	Die SCOR-Ebenen	56

2.21	Prozesskategorien aus dem SCOR Configuration Toolkit	57
2.22	Level 1 Performance Metrics	58
2.23	Funktionen eines SCM-Systems	59
2.24	Zeitlicher Bezug der SCM-Funktionen	70
2.25	Übersicht der SAP APO Funktionen	74
2.26	Das ATP-Prüfverfahren	76
2.27	Technologische Basis des SAP APO	77
2.28	Zusammenarbeit von APO und R/3	78
3.1	Typen von Netzwerken	93
3.2	Ordnungsbildung in sozialen Systemen	101
3.3	Managementkonzepte	108
3.4	Vergleich verschiedener Managementkonzepte	117
3.5	Unternehmensnetzwerke als spezielle Form der Kooperation	119
3.6	Spektrum des vertikalen Integrationsgrades	125
3.7	Effizienzvergleich von Markt und Hierarchie	130
3.8	Vertrauensdilemma bei zunehmender Dezentralisierung	136
3.9	Lebenszyklusphasen in dynamischen Netzwerken	138
3.10	Bedeutungen des Begriffs „virtuell“	144
3.11	Ausprägungsformen der Virtualität	146
3.12	Stärken und Schwächen Virtueller Organisationen	150
3.13	Modell eines Virtuellen Unternehmens	157
3.14	Harmonisierung der Begriffe	162
4.1	Wirtschaftliche Bedeutung der KMU in der Bundesrepublik Deutschland	168
4.2	Trends und Herausforderungen an KMU	174
4.3	Typologisierung von Netzwerken	181
4.4	Kompetenzen in einem Netzwerk	185
4.5	Sichten einer Kompetenzzelle	187
4.6	Partielle Betrachtung der Transaktionskosten im Netzwerk	197
4.7	Gesamtbetrachtung der Transaktionskosten im Netzwerk	198

4.8	Einfaches Vertragsschema	201
4.9	Kostentrends	203
4.10	Gegenüberstellung Markt-/Hierarchiekosten I	207
4.11	Gegenüberstellung Markt-/Hierarchiekosten II	208
4.12	Einordnung des Ressourcenpools als statisches Netzwerk	210
4.13	Einordnung des dynamischen Netzwerkes	212
4.14	Vision eines hierarchielosen Kompetenzzellennetzes	215
4.15	Synthese wissenschaftlicher Kategorien	222
4.16	EVCN–Ablaufmodell	225
4.17	Entscheidungsprozesse	227
4.18	EVCN–Schichtenmodell	229
4.19	Phasenmodell der KPZN	231
5.1	Phase „Dekomposition Wertschöpfungsnetz“	237
5.2	Erklärungsgegenstand Strukturstückliste	239
5.3	SCOR–Prozesse in der Arbeitsplanung	241
5.4	EVCN–Informationsebenen innerhalb der Arbeitsplanung	245
5.5	Abgleich von Stücklistenposition und KPZ–Ressourcen	250
5.6	Ableitung eines Nachfragevektors	251
5.7	Einteilung von Kosten aus Sicht der Arbeitsplanung	253
5.8	Kostenfunktionen bei Anpassung	257
5.9	Überlappung von Arbeitsvorgängen	259
5.10	Abstimmung der Teillosgroßen bei Überlappung	260
5.11	Splittung von Arbeitsvorgängen	262
5.12	Grundelemente der AHP-Methode	265
5.13	Hierarchische Zerlegung im AHP	266
5.14	Phase „KPZ Suche“	273
5.15	Algorithmus des Growing Neural Gas	281
5.16	Trainingsphasen eines GNG-Netzes	283
5.17	KPZ–Suche als Teilaufgabe des IMK	284
6.1	Phase „Ablaufplanung“	287

6.2	Abhängigkeiten zwischen Modellbestandteilen	293
6.3	Einfluss der Ablaufplanung auf die Durchlaufzeit	295
6.4	Durchlaufdiagramm	296
6.5	Zusammenhang von Durchlaufzeit, Leistung und Bestand . . .	297
6.6	Maschinenfolgegraph	309
6.7	Disjunktiver Graph	310
6.8	Ablaufgraph	311
6.9	Gantt-Diagramme	312
6.10	Algorithmus zur Generierung semiaktiver Ablaufpläne	313
6.11	Algorithmus zur Generierung eines aktiven Ablaufplanes . . .	314
6.12	Algorithmus zur Generierung eines aktiven Ablaufplanes aus einem bestehenden Ablaufplan	316
6.13	Venn-Diagramm für Ablaufpläne	316
6.14	3×3 -Problem	317
6.15	5×5 -Problem	317
6.16	8×8 -Problem	318
6.17	Übersicht zu Heuristiken	320
6.18	Nachbarschaften	322
6.20	Heuristik	325
6.19	Systematik von Algorithmen	326
6.21	Finite Algorithmen	327
6.22	Basisalgorithmus Tabu Search	328
6.23	Simulated Annealing	329
6.24	Basisalgorithmus Simulated Annealing	331
6.25	Threshold Accepting	333
6.26	Basisalgorithmus Threshold Accepting	334
6.27	Sintflut-Methode	336
6.28	Basisalgorithmus Sintflut-Methode	337
6.29	Terminologie von Biologie und Informatik	342
6.30	Basiszyklus eines Genetischen Algorithmus	344
6.31	Bestandteile eines Genetischen Algorithmus	345

6.32	Kodierung eines Ablaufplanes	348
6.33	Steady-State GA	351
6.34	Selektionsdruck unterschiedlicher Selektionsoperatoren	353
6.35	n-Punkt- und Uniform-Crossover	355
6.36	JSP-Lösungsevaluierung	357
6.37	Scheduling unter Beachtung von Unterbrechungen	361
6.38	Unterbrechungsszenarien von Arbeitsvorgängen	362
6.39	Einplanung mit Kapazitätstyp MULTI_JOB	364
6.40	Unverzögertes Scheduling mit Kapazitätstyp MULTI_JOB	366
6.41	Kodierungsbeispiele mit verzögerter Vorwärtsterminierung	368
6.42	Einplanung mit mehreren Kapazitätsarten	369
6.43	Scheduling mit mehreren Kapazitätsarten	370
6.44	Scheduling unter Beachtung von Rüstzeiten	371
6.45	Ablaufplanung im KPZN	372
6.46	GA-Gantt	373
6.47	PDA	373
7.1	Phase „Angebotsgenerierung“	375
7.2	Die Menge aller Produktionsmöglichkeiten	379
7.3	Anforderungen an die Informationslogistik zwischen Lieferanten und Kunden	380
7.4	Die Struktur des Lagerbestandes	383
7.5	Allgemeiner Zusammenhang von Lagerbestand und Zeit	384
7.6	Der mögliche Ablauf der Verfügbarkeitsprüfung	387
7.7	Puffer zwischen Lieferant und Kunde zur Überbrückung von Unsicherheiten	390
7.8	Der modifizierte Ablauf der Verfügbarkeitsprüfung	392
7.9	Ablaufplan zur ATP-Prüfung einer Lieferanfrage	398
7.10	Der Zugriff auf den Sicherheitsbestand zur Erfüllung einer Kundenanfrage	399
7.11	Die Abhängigkeit der nutzbaren Menge von der Zugriffswahrscheinlichkeit	400

7.12	Mengengrößen bei Zugriff auf Sicherheitsbestand	402
7.13	Zugehörigkeitsfunktionen der In- und Output-Variablen	405
7.14	Die resultierende Fuzzy-Ausgangsmenge	409
7.15	Die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit im Schritt $n + 1$.	412
7.16	Fuzzy-Logik-Modell zur Produktionsfähigkeitsermittlung	414
7.17	Zusammenhang von Lieferwahrscheinlichkeit und Menge	415
7.18	Zusammenhang zwischen den Kosten und der Lieferwahrscheinlichkeit	418
7.19	Suche nach dem besten Anreiz	431
7.20	Signalling	436
7.21	Screening	438
8.1	Phase „Soft–fact Integration“	443
8.2	Perspektiven der Netzwerkanalyse	446
8.3	Soziogramm der Kontakte in einem KPZN	448
8.4	Die Eckpfeiler der Kooperationsfähigkeit	451
8.5	Bewertungskriterien für die Kooperationsfähigkeit	451
8.6	Haupt- und Unterkriterien der Kooperationsfähigkeit	452
8.7	Fragebogen zum Bewertungsschema	453
8.8	Bewertungsschema in vier Stufen	454
8.9	Ergebnisse einer Bewertung im Radardiagramm	456
8.10	Radardiagramm für Kriterium Kommunikationsfähigkeit	457
8.11	Qualitative vs. quantitative Forschungsmethoden	463
8.12	Einordnung des Repertory Grid als Forschungsmethode	464
8.13	Leere Grid-Matrix	468
8.14	Offene Fragen auf dem Weg von Alltags-Problemen zu Grid-Elementen	469
8.15	Ausgefüllte Grid-Matrix	471
8.16	Umstellung eines Grids beim Handverfahren	473
8.17	Biplot eines Grids bei der Hauptkomponentenanalyse	475
8.18	Geometrische Interpretation von $K_Y(X;\lambda)$	481
8.19	Hohlraum und seine begrenzenden Simplexe	485

9.1	Phase „Kompetenzzellenauswahl“	491
9.2	Hierarchie der PVP	492
9.3	Angebotsvektor einer KPZ	493
9.4	Exzentrizitäten und Konnektivität eines Angebotes	495
9.5	Exemplarische Darstellung einer Problemstellung	498
9.6	Spektrum der Lösungssuche anhand des ft06-Problems	499
9.7	Futtersuche mit Hindernissen	500
9.8	Brückenexperiment	501
9.9	Entscheidungssituation	503
9.10	ACO Meta-Heuristik	507
9.11	ACO zur Suche einer optimalen Herstellungsvariante	511
9.12	Phase „Bewertung“	513
9.13	Anforderungen an die Netzwerkkostenrechnung	522
9.14	Kosten im Netzwerk	524
9.15	Kosteninformationsfluss im Netzwerk	526
9.16	Rechnungen im Netzwerk	527
9.17	Netzwerkgemeinkosten finanziert über Budgets	530
9.18	Kalkulationsschema eines KPZ-attribuierten PVP	533
9.19	Ergebnisverteilungsschema im Netzwerk	534
10.1	IS-Konzept	537
10.2	Entwicklung vom Mainframe zum Mobile Computing	541
10.3	Entwicklung des ASP in der Öffentlichkeit	542
10.4	Überblick zu ASP und IT-Outsourcing	549
10.5	Abrechnungsmodelle	550
10.6	ASP-Billing als Prozesskette	554
10.7	Architektur einer Dedicated Hosting Lösung	556
10.8	Architektur einer Shared Hosting Lösung	556
10.9	Application Server Markt – Überblick	559
10.10	Markteintritts-Barrieren für ASP-Applikationen	560
10.11	EVCM - Grober Architekturansatz	564

10.12	J2EE-Architektur	570
10.13	Multi-Tier-Architektur	571
10.14	Aufbau eines J2EE-Containers	573
10.15	Interposition	574
10.16	Clients interagieren mit dem EJB-Komponentensystem . . .	579
10.17	Übergang von der Geschäftslogik zur Datenschicht	586
10.18	Entity Bean Schema	587
10.19	Synchrone vs. Asynchrone Kommunikation	593
10.20	J2EE-basierte Architektur	596
10.21	Architekturkonzept für das EVCM	600
10.22	Entity Bean Schema für die Netzwerkgenese	602
10.23	Detaillierte Architektur der Serverseite	604
10.24	Lebenszyklus des Fertigungsauftrages	607
10.25	Datenmodell des FAUF im R/3	609
10.26	Einschätzung der Technologien bzgl. der Auswahlkriterien . .	612
10.27	Nummernschlüssel der Programme und Funktionen	613
10.28	Struktur des Programms Y_TT_D_IT_RFC_FAUF	614
10.29	Übersicht der Upload-Funktionen beim RFC	615
10.30	Struktur des Programms SAPLY_TT_SCHNITTSTELLE . . .	616
10.31	Struktur der Upload-Funktion beim RFC	616
10.32	Systemarchitektur von <i>Axapta</i>	618
10.33	EVCM-Monitor der Antwortgenerierung	621

Abkürzungsverzeichnis

ABAP	Advanced Business Application Programming Language
ACM	Association for Computing Machinery
ACO	Ant Colony Optimization
ACS	Ant Colony System
AG	Aktiengesellschaft
AHP	Analytical Hierarchy Process
AI	Artificial Intelligence
ALB	Anwenderzentrum Logistikorientierte Betriebswirtschaft
ALE	Application Link Enabling
AMR	Advanced Manufacturing Research
AOS	Axapta Object Server
APICS	American Production and Inventory Control Society
APO	Advanced Planner and Optimizer
APO-CIF	Advanced Planner and Optimizer Core Interface
APS	Advanced Planning and Scheduling
APX	Optimization Extension Workbench
ArbnErfG	Gesetz über Arbeitnehmererfindungen
ARIS	Architektur betrieblicher Informationssysteme
AS	Ant System
ASP	Application Service Providing Application Service Provider
ASPIC	ASP-Industry Consortium
ATP	Available to Promise
AV	Angebotsvektor
AVO	Arbeitsvorgang
AWF	Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung
BA	Berufsakademie
BAPI	Business Application Programming Interface
BBP	Business-to-Business Procurement
Bd.	Band

BDCDATA	Batch Determination Communication Daten-Tabelle
BDE	Betriebsdatenerfassung
BHO	Bundeshaushaltsordnung
BI	Batch-Input
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BOA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
BODTF	Business Object Domain Task Force
BOR	Business Object Repository
BPO	Business Process Outsourcing
B-Rep	Boundary Representation
Bsp.	Beispiel
bspw.	beispielsweise
BW	Business Warehouse
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
C++	Programmiersprache
CA	Cross-Application Functions
CACM	Communications of the ACM
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CATT	Computer Aided Test Tools
CGI	Common Gateway Interface
CIF	Core Interface
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CM	Content Management
CMR	California Management Review
CO	Controlling
COM	Component Object Model
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CPM	Critical Path Method
CPU	Central Processing Unit
CRM	Customer Relationship Management
CRP	Capacity Requirements Planning
	Continuous Replenishment Program
CSG	Constructive Solid Geometry
CT	Call Transaction
CTP	Capable To Promise
CWG	Chemnitzer Wirtschaftswissenschaftliche Gesellschaft
DAAAM	Danube Adria Association for Automation and Manufacturing

DAI	Distributed Artificial Intelligence
DAU	Data Access Unit
DB	Deckungsbeitrag
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DBW	Die Betriebswirtschaft
DCOM	Distributed Component Object Model
DF	Demand Fulfillment
DG-Bank	Deutsche Genossenschaftsbank
d. h.	das heißt
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DI	Direct-Input
DIN EN	Deutsches Institut für Normung e. V. Europäische Norm
DiP	Distribution Planning
DK	Dicesche Koeffizient
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DP	Demand Planning
DRP	Distribution Requirements Planning
DS	Detailed Scheduling
DTD	Document Type Definition
DV	Datenverarbeitung
DYNPRO	Dynamisches Programm
EAI	Enterprise Application Integration
ECRM	Entity-Category-Relationship-Modell
EDI	Electronic Data Interchange
Eds.	Editors
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EERM	Erweitertes Entity-Relationship-Modell
EJB	Enterprise JavaBeans
EK	Euklidischer Koeffizient
ERD	Entity Relationship Diagramm
ERP	Enterprise Resource Planning
ERM	Entity Relationship Model
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und so weiter)
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
e. V.	eingetragener Verein
EVCM	Extended Value Chain Management
evtl.	eventuell
f.	folgende
FA	Fertigungsauftrag

FAUF	Fertigungsauftrag
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
ff.	fortfolgende
FhG	Fraunhofer Gesellschaft
FHM	Fertigungshilfsmittel
FI	Financial Accounting
FIFO	First-In-First-Out
FK	Fachkompetenz
FMS	Flexible Manufacturing System
GA	Genetischer Algorithmus
GCS	Growing Cell Structures
ggf.	gegebenenfalls
GI	Gesellschaft für Informatik
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GNG	Growing Neural Gas
GOX	Generalized Order Crossover
GPBX	Generalized Position Based Crossover
GUC	Gesellschaft für Unternehmensrechnung und Control- ling
GUI	Graphical User Interface
H	Hierarchie
HBR	Harvard Business Review
HBM	Harvard Business Manager
HMD	Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung
HNI	Heinz-Nixdorf-Institut
HP	Hewlett Packard
HR	Human Resources
hrsg.	herausgegeben
Hrsg.	Herausgeber
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
i. A.	im Allgemeinen
IAO	Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
IBF	Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme
IBM	International Business Machines
IClx	Intelligent Cluster Index
ICT	Information and Communication Technologies
ID	Identifikator
IDC	International Data Corporation
IDoc	Intermediate Documents

i. d. R.	in der Regel
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
i. e. S.	im engeren Sinne
IFIP	International Federation for Information Processing
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis
IIOIP	Internet Inter-Orb Protocol
IJCAI	International Joint Conference on AI
IM	Investment Management
IMK	Informationstechnischer Modellkern
IMS	Intelligent Manufacturing System
IO	Industrielle Organisation
I/O	Input/Output
IP	Internet Protocol
IPA	Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IPDR	IP Detail Record
IRIDIA	Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle
IS	Industrial Solutions
ISI	Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
ISO	International Standards Organisation
ISV	Internet Service Provider
IT	Informationstechnologie
it.AV	Industrielle Informationstechnik/Arbeitsvorbereitung
IuK	Informations- und Kommunikations-Technologie
iwb	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissen- schaften
i. w. S.	im weiteren Sinne
iX	Magazin für professionelle Informationstechnik
J2EE	Java 2 Enterprise Edition
JDBC	Java Database Connectivity
Jg.	Jahrgang
JMI	Java Metadata Interchange
JMS	Java Message Service
JNDI	Java Naming and Directory Interface
JSP	Job Shop Scheduling Problem (auch JSSP) Java Server Page
JTA	Java Transaction Service
JVM	Java Virtual Machine
KAR	Kostenartenrechnung
KI	Künstliche Intelligenz
KLR	Kosten- und Leistungsrechnung

KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KNN	Künstliche Neuronale Netzwerke
KOZ	Kürzeste Operationszeit
KPZ	Kompetenzzelle
KPZN	Kompetenzzellennetz
KSR	Kostenstellenrechnung
KTR	Kostenträgerrechnung
KVP	Kostenverrechnungspreis
LAN	Local Area Network
LES	Logistics Execution System
LLZ	Lieferanten-Logistik-Zentrum
LNCS	Lecture Notes in Computer Science
LogIS	Logistische Informationssysteme
LOZ	Längste Operationszeit
LP	Lineare Programmierung
LSM	Legacy System Migration Workbench
LT	Liefertermin
Ltd.	Limited
M	Markt
MAS	Multiagentensystem
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MES	Manufacturing Execution System
MIP	Mixed Integer Programmierung
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MK	Methodenkompetenz
MM	Material Management
MOM	Message Oriented Middleware
MP	Program Planning
MPS	Master Production Scheduling
MQA	Mittlere quadratische Abweichung
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resources Planning
MVC	Model View Controller
ND	Network Design
NIÖ	Neue Institutionelle Ökonomie
NIPS	Neural Information Processing Systems
No.	Nummer
NP	Nicht-deterministisch polynomial
Nr.	Nummer bzw. number
NV	Nachfragevektor
NW	Netzwerk

o. g.	oben genannt(e)
OLTP	Online Transaction Processing
OMG	Object Management Group
OOA	objektorientierte Analyse
OOD	objektorientiertes Design
OOM	objektorientierte Modellierung
OR	Operations Research
ORB	Object Request Broker
OSS	Online Service System
OX	Order Crossover
QM	Quality Management
p.	Page
PA	Profitability Analysis
PAP	Programmablaufplan
PAT	Prinzipal-Agenten-Theorie
PatG	Patentgesetz
PAUF	Planauftrag
PBM	Position Based Mutation
PBX	Position Based Crossover
PC	Personalcomputer
PDA	Personal Digital Assistent
PDE	Produktionsdatenerfassung
PDM	Produktdatenmanagement
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PHA	Polyedrale Analyse
PM	Plant Maintenance
PN	Produktionsnetzwerk
POI	Produktionsoptimierunginterface
pp.	Pages
PP	Production Planning
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PP&S	Production Planning and Scheduling
Proc.	Proceedings
PROPHET	Production Planning using Hybrid Evolutionary Technics
PRTM	Pittiglio Rabin Todd & McGrath
PTP	Point-to-Point
Publ.	Publisher
PVP	Prozessvariantenplan
Q	Quelle
R/3	Realtimesystem Version 3

RDB	Remote Display Protocol
REFA	Reichsverband für Arbeitszeiterfassung
REM	Repetitive Manufacturing
RG	Repertory Grid
RFC	Remote Function Call
RKW	Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk
RMI	Remote Method Invocation
RWTH	Rheinisch Westfälische Technische Hochschule
s.	siehe
S	Senke
S.	Seite
SA	Simulated Annealing
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte
SAPGUI	SAP Graphical User Interface
SAT	Satisfiability Problem
SCC	Supply Chain Cockpit Supply Chain Council
SCE	Supply Chain Execution
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SCP	Supply Chain Planning
SD	Sales and Distribution
SDBS	semistrukturelles Datenbanksystem
SDK	Server Development Kit
SERM	Strukturiertes ERM
SFB	Sonderforschungsbereich
SIGMOD	Special Interest Group On Management Of Data
SIFL	Sintflut-Methode
SK	Sozialkompetenz
SLA	Service Level Agreement
SMK	Simple Matching Koeffizient
SNP	Supply Network Planning Strategische Netzwerkplanung
sog.	so genannte
SOHO	Small Offices and Home Offices
SOM	Self-Organizing Map
SOP	Sales and Operations Planning
SOPP	Selbstorganisierende Produktionsprozesse
Sp.	Sparte
SQL	Structured Query Language

SSL	Secure Socket Layer
SZ	Schlupfzeit
SzU	Schriften zur Unternehmensführung
TA	Threshold Accepting
TAK	Transaktionskosten
TCP	Transmission Control Protocol
TH	Technische Hochschule
TLB	Deployment and Transport Load Builder
TM	Trademark
TP	Transportation Planning
TQM	Total Quality Management
TS	Tabu Search
TSP	Travelling Salesman Problem
TU	Technische Universität
TÜV	Technischer Überwachungsverein
u. a.	und andere
UML	Unified Modeling Language
UNW	Unternehmensnetzwerk
URL	Uniform Resource Locator
usw.	und so weiter
u. U.	unter Umständen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VEB	Volkseigener Betrieb
vgl.	vergleiche
VKI	Verteilte Künstliche Intelligenz
VM	Virtual Machine
VMI	Vendor Managed Inventory
VO	Virtuelle Organisation
Vol.	Volume
VP	Verrechnungspreise
VPN	Virtual Private Network
VR	Virtual Reality
VRIO	Value, Rareness, Imperfect Imitability, Organizational Specificity
VS	Vehicle Scheduling
VSM	Viable System Model
VU	Virtuelles Unternehmen
WA	Warenausgang
WAL	Warenausgangslager
WAP	Wireless Application Protocol
WE	Wareneingang

WEL	Wareneingangslager
WF	Workflow
WG	Working Group
WI	Wirtschaftsinformatik
WiSt	Wirtschaftswissenschaftliches Studium
WISU	Das Wirtschaftsstudium
WORA	Write Once Run Anywhere
WSI	Wilhelm Schickard Institut
WWDP	Wirtschaftswissenschaftliches Diskussionspapier
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language
XRP	Extended Enterprise Resource Planning
z. B.	zum Beispiel
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfbF	Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung
ZfO	Zeitschrift für Organisation
ZP	Zwischenprodukt; Zeitschrift für Planung
z. T.	zum Teil
ZwF	Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb
z. Z.	zur Zeit

„Gewisse Bücher scheinen geschrieben zu sein, nicht damit man daraus lerne, sondern damit man wisse, dass der Verfasser etwas gewusst hat.“

Johann Wolfgang von Goethe

Kapitel 1

Motivation

In der heutigen Zeit, in der in jedem Unternehmen schnelles Reagieren und Überwinden von immer neuen Tagesproblemen im Vordergrund stehen, wird nach dem operativen Einsatz von Mitteln und Methoden gerufen, ist das Management der Produktion in erster Linie zur Effizienz- und Kostenfrage degradiert. Kostensenkungsprogramme im Produktionsbereich sind en vogue, da sie kurzfristige Wirkung zu zeitigen scheinen. Häufig stellen sie aber ein Kurieren an Symptomen dar, während die Zukunft des Unternehmens nur dadurch wirklich gesichert werden kann, indem die Produktionsfaktoren auf völlig neue strategische Herausforderungen ausgerichtet werden. Kurzfristige Rationalisierungsmaßnahmen sind sekundär, denn sie erzeugen im besten Fall kurzfristige und nur lokal wirksame Effekte, die aber häufig dem längerfristig entscheidenden Wandel von Strategien und Maßnahmen entgegenstehen. Die größeren und dauerhaften Erfolgspotenziale bieten nur die strategische Ausrichtung der Produktionsfaktoren auf die Erfordernisse der wirtschaftlichen Praxis und der Einsatz von Instrumenten, die diesen Erfordernissen gerecht werden.

Der Einsatz von computergestützten, integrierten Informationssystemen spielt dabei eine wesentliche Rolle. In den letzten Jahren wurden in zahlreichen Unternehmen derartige Systeme mit dem Ziel installiert, die Unternehmensaktivitäten aus vielerlei Sicht transparent darzustellen und diese Aktivitäten mit Unterstützung solcher Systeme gezielt zu steuern. Wichtige Teilbereiche sind der Vertrieb und die Fertigungssteuerung, die nahezu in jedem Unternehmen voneinander entkoppelt arbeiten. Bei dieser Vorgehensweise wurde bald die Einsicht gewonnen, dass trotz der hohen Anzahl von Softwareanbietern kaum ein Produkt in der Lage ist, die komplexe Pla-

nungssituation in der Produktion eines Unternehmens als auch die Abstimmung der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette befriedigend zu lösen. Trotz immer ausgefeilterer Algorithmen für das Advanced Planning and Scheduling wurde im Laufe der Zeit wieder dazu übergegangen, die Planung durch das verantwortliche Personal aufgrund seiner Erfahrung selbst durchführen zu lassen. Automatisch kann unternehmensübergreifend nur geplant werden, wenn eine starre Kopplung von Informations- und Entscheidungsunterstützungssystemen existiert. Das strategische Teilziel der computergeplanten Abstimmung der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette wurde nicht realisiert, obwohl gerade in diesem Bereich große Reserven für den Erfolg der Netzwerkpartner liegen, denn geringe Bestände, niedrige Durchlaufzeiten, hohe Termintreue und Transparenz sind neben der Produktqualität und dem Produktpreis heute die Wettbewerbsfaktoren schlechthin. Für viele Unternehmen stellt die Konkurrenz von Wertschöpfungsketten Herausforderung und Bedrohung gleichzeitig dar. Ein Defizit hierbei ist das Fehlen einer einheitlichen Theorie zur Betreibung solcher Netzwerke trotz des Überangebotes an Literatur im Bereich des eBusiness und des Supply Chain Managements. Die vorliegende Arbeit soll aus diesem Grunde einen Beitrag zum methodischen Vorgehen des Betriebens von Wertschöpfungsnetzen leisten. Der Begriff *Extended Value Chain Management (EVCM)* zielt hierbei auf die ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette ab, indem vom Kunde ausgehend in Abhängigkeit von der Situation in der Fertigung Produktions- und gleichermaßen Beschaffungsaufträge unter Einbeziehung der vorgelagerten Produktionsstufen generiert werden. Die isolierten Betrachtungen des Advanced Planning and Scheduling für die Fertigungssteuerung einerseits und des „Supply Chain Managements“ für die Beschaffungsplanung andererseits sollen im EVCM-Konzept zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise zusammengeführt werden.

1.1 Problemstellung

Ausgehend von den kurz angerissenen Defiziten bezüglich der Theorie im Bereich der nichthierarchischen Netzwerke stellt sich die Frage nach den Möglichkeiten einer Genese und eines Betriebens eben dieser Netzwerke.

Hierbei fällt vor allem ein anhaltender (zumindest propagierter) Trend zur Konzentration auf Kernkompetenzen und Dezentralisierung der Planung in den Wertschöpfungseinheiten auf, der von wissenschaftlichen Einrichtungen mit Schlagworten wie Business Process Reengineering, Lean Production, e-Strategien usw. begleitet wird. Es erfolgt die Bildung von Planungseinheiten

(Fraktale, Segmente, ...), die in eigener Verantwortung Teilaufgaben autonom lösen und auf planungstechnische Probleme in der Fertigung mit größter Flexibilität reagieren sollen sowie zugleich ihren Beitrag für die Effizienz einer Wertschöpfungskette liefern.

Eine solche Herangehensweise führt aber dazu, dass das Gesamtziel einer möglichst globalen Optimierung der Produktionsabläufe im Netz verloren geht oder nur unvollständig erreicht werden kann. Der Koordinations- und Kommunikationsaufwand der dezentralen Einheiten, der mit steigendem Grad von Dezentralisierung wächst, wird oft unterschätzt oder ganz vernachlässigt. Die meisten Informationssysteme sind gar nicht auf Dezentralisierung ausgerichtet und können somit auch nicht mit den veränderten Anforderungen in der Produktion Schritt halten.

Skalen- und Erfahrungskurveneffekte sowie Flexibilität lassen sich nicht ins Unermessliche steigern. Spätestens seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts begann die Produktions- und Reaktionsgeschwindigkeit eine wichtige Rolle zu spielen. Diese Bedeutung ist bis heute nicht nur erhalten geblieben, sondern hat sich verstärkt, wie die Diskussion um das *Drei-Tage-Auto* zeigt. Kreativität, Innovation und Selbstorganisation sind zu Inbegriffen heutigen Managementdenkens geworden. In immer kürzeren Zyklen entstehen neue Produkte mit neuen Technologien. Für große Unternehmen wird es zunehmend schwieriger, diese Änderungsgeschwindigkeit durch herkömmliche Organisationsstrukturen zu kontrollieren. Möglicherweise ist hierin ein Grund für die Tendenz zu neuen Unternehmensformen oder Strategien zu finden.

Die heutige Stufe der Produktion wird als vernetzt bezeichnet. Die Anfänge dieser Etappe liegen bereits in der Entwicklung des Supply Chain Managements der letzten Dekade. Derzeitige und zukünftige Lösungsansätze für das unternehmensübergreifende Abstimmen der Wertschöpfungskette und die zu deren Umsetzung notwendigen Methoden und Technologien stellen die Kundenorientierung, die Adaptions- und Lernfähigkeit und die Vernetzung von Unternehmen oder Unternehmensteilen in den Mittelpunkt der Betrachtung. Eine durchgängige theoretische Konzeption ist nicht bekannt. In der wissenschaftlichen Literatur werden nur isolierte Teilprobleme analysiert und einer Modellierung unterzogen. Erschwert wird dieser Tatbestand vermutlich dadurch, dass viele junge, wissenschaftliche Hoffnungsträger ihr Heil in einem der zahlreichen Unternehmen der *new-economy* suchten. Auf diesem Wege wurden die Denkzentren der Hochschullandschaft spürbar substanziiell geschwächt. In den Unternehmen hingegen dominiert das Tagesgeschäft. Alles, was konzipiert wird, muss innerhalb kürzester Zeit Ertrag in Aussicht stellen, um rechtzeitig Venture Capital akquirieren zu können. So blieb auf beiden Seiten kaum Raum für strategisches Denken. Das Dilemma ergibt sich

schließlich dadurch, dass auf der einen Seite eine riesige Menge an Internet-Technologien entwickelt wurde, andererseits im Bereich des Supply Chain Managements keine theoretisch fundierten betriebswirtschaftlichen Konzepte folgten. Zahlreiche Tagungsbände dokumentieren dieses Missverhältnis.

Ein weiteres Problem bei der Genese von Wertschöpfungsnetzen stellt die Suche nach den geeigneten Netzpartnern dar. In kleinem Umfang können Geschäftsbeziehungen durch face-to-face Kontakte in Gang gebracht werden. Bei fortschreitender Globalsierung und zunehmenden Internetaktivitäten wird diese Maßnahme allein nicht mehr ausreichen, um erfolgreich und der notwendigen Geschwindigkeit die richtigen Partner nicht ausschließlich nach ökonomischen Kriterien zu suchen und auszuwählen. Es sind derzeit keine Modelle bekannt, die während der Netzwerkgenese Soft-facts verarbeiten.

Die Informationstechnik und die Informatik schufen mit der Theorie der Verteilten Systeme und der Entwicklung von Client/Server-Architekturen die technischen Voraussetzungen für dezentral ausgerichtete Strukturen und Application Service Providing. Weiterhin liefern die Theorie der Agenten als ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz und naturanalog motivierte Heuristiken im Bereich des Scheduling viel versprechende Ansätze zur Lösung isolierter Problemstellungen. Es fehlt dennoch an einem übergeordneten integrativen Konzept zur Genese und zum Betreiben von Produktionsnetzwerken, welches zusätzlich Probleme lösen muss, die erst seit dem Entstehen der „Internetökonomie“ aufgebrochen sind.

1.2 Einordnung der Thematik in die Betriebswirtschaftslehre

Nach der einführend geschilderten Problematik, der sich die vorliegende Arbeit widmet, soll an dieser Stelle eine thematische Einordnung in die Betriebswirtschaftslehre erfolgen. Die Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft verweist als Erfahrungswissenschaft nicht ausschließlich auf einen fest umrissenen Bestand an Wissen und endgültigen Wahrheiten, sondern stellt sich vielmehr als fließend, eben als dynamischer Erkenntnisprozess dar. Hierbei ist besonders zu bemerken, dass das Ziel der Erkenntnis häufig „nur“ wahrscheinliche Annahmen über zukünftige Prozesse sind. Diese Annahmen sind systematisch zu ordnen und auf einen gemeinsamen Gegenstand, das Erkenntnisobjekt, zu beziehen und zu beweisen oder zu begründen. Das Untersuchungsgebiet der Betriebswirtschaftslehre ist die Wirtschaft, die die Knappheit der Güter im Verhältnis von Angebot und Nachfrage effizient gestalten soll, um

einen hohen Grad von menschlicher Bedürfnisbefriedigung zu erreichen. Diese Befriedigung der (möglicherweise unbegrenzten) Bedürfnisse verlangt nach einem Entscheidungsprozess über die Herstellung eben dieser Güter, die als Produktion bezeichnet wird.

Die Produktion als solche ist nicht nur auf materielle Gegenstände beschränkt, sondern auch für die Erstellung immaterieller Güter wie Dienstleistungen zu betrachten. Eine mengenmäßige Betrachtung nach dem Rationalitätsprinzip impliziert, dass mit einem gegebenen Einsatz an Produktionsfaktoren der Ertrag an Gütern maximiert, oder umgekehrt ein gegebener Ertrag bei minimalem Produktionsfaktoreinsatz ohne Beachtung der Motive für das ökonomische Handeln selbst erzielt werden soll. Der Prozess der Produktion und der damit verbundene Faktorverbrauch findet in wirtschaftlich organisierten Einheiten statt, die *Wöhe*¹ als Einzelwirtschaften bezeichnet. Die Auffassungen darüber, welche Einzelwirtschaften als Betriebe bzw. Unternehmen anzusehen sind, werden bis heute kontrovers diskutiert. Insofern kann das Erkenntnisobjekt der Betriebswirtschaftslehre im Allgemeinen nicht fest umrissen werden. Für die vorliegende Arbeit bietet dies jedoch den Vorteil, dass als Erkenntnisobjekt nicht Unternehmen als Organisationseinheit im Ganzen vorausgesetzt werden müssen, sondern der Fokus ohne Erklärungszwänge auf die später zu definierenden Kompetenzzellen als Teilmenge einer betrieblichen Organisation gelegt wird. Entsprechend einer Typologie von Einzelwirtschaften nach *Wöhe*² sind die Kompetenzzellen sinnvoll nach der Art der entsprechenden erstellten Leistung einzuordnen. In diesem Sinne sind die Kompetenzzellen den Sachleistungsbetrieben zuzuordnen, die vorwiegend in der Industrie angesiedelt sind und für die keine weitere Spezialisierung nach Fertigungsarten oder vorherrschenden Produktionsfaktor angegeben werden kann, da das Konzept des Extended Value Chain Managements allgemeingültig für Produktionsnetzwerke zu formulieren ist.

Die statischen und dynamischen Facetten des Erkenntnisobjektes selbst sowie dessen Beziehungen innerhalb von Netzwerken sind derart vielschichtig, dass sie nicht von einer einzigen wissenschaftlichen Disziplin abgehandelt werden können. Aus diesem Grunde beschäftigen sich ebenfalls die Volkswirtschaftslehre, die Soziologie, die Informatik, die Ingenieur- und die Rechtswissenschaften mit Teilbereichen des Erkenntnisobjektes. Konzentriert sich die Betriebswirtschaftslehre auf die Beschreibung des Handelns und die Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Einzelwirtschaften, so ist der Gegenstand der Volkswirtschaftslehre die Erforschung des gesamtwirtschaftlichen Prozesses, der durch die Beziehungen der Einzelwirtschaften über Märk-

¹Siehe [Wö90, S. 2 ff.].

²Siehe [Wö90, S. 14 ff.].

te (z. B. Beschaffung) gekennzeichnet ist. Mechanismen wie die Preisbildung der Produktionsfaktoren dienen in der Betriebswirtschaft als feste Eingangsgrößen. Umgekehrt finden die durch die Betriebswirtschaftslehre ermittelten Kostenverläufe der Einzelwirtschaften in die Volkswirtschaft Eingang, die dann als gegeben vorausgesetzt werden. Diese Einsicht prägte auch die Herangehensweise an die Thematik des Entwurfs einer Konzeption zur Koordination von Wertschöpfungsnetzen. Das Aufzeigen von Schnittstellen zu anderen Wissenschaftsdisziplinen wie der Volkswirtschaftslehre in den Abschnitten 3.2.1, 4.2.2.3 und 7.3, der Sozialwissenschaft in Kapitel 8 sowie der Ingenieurwissenschaft in Abschnitt 5.1 und das Andeuten möglicher Lösungsalternativen bzw. -bedarfe aus der Sicht der Wirtschaftswissenschaft soll diese Arbeit auch für angrenzende Disziplinen interessant gestalten. Lösungen selbst werden nur für die eigene Fachdisziplin entworfen.

Innerhalb der wissenschaftlichen Disziplin erfolgt nach Festlegung des Erkenntnisobjektes die Fixierung der Zielstellung für den Gegenstand des Handelns, eben den Entscheidungsprozess im Sinne der Produktion im Erkenntnisobjekt, der Kompetenzzone. Hierzu zählen vor allem Entscheidungen über den Produktionsfaktoreneinsatz. Produktionsfaktoren werden üblicherweise in Elementarfaktoren (ausführende Arbeit, Betriebsmittel, Werkstoffe, ...) und dispositive Faktoren unterteilt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit dem derivativen Anteil der dispositiven Produktionsfaktoren, welche direkt zu den Funktionen Planen, Organisieren und Überwachen führen. Insbesondere der Produktionsfaktor *Information* als elementare Einheit für entscheidungsrelevantes Wissen und zunehmend bedeutsam werdender Wettbewerbsfaktor ist zentraler Bestandteil des zu entwickelnden Konzeptes. Sowohl auf die Generierung als auch auf den Austausch von Informationen zu logistischen Prozessen bei der Genese und dem Betreiben von Netzwerken werden sich die Ausführungen der vorliegenden Arbeit konzentrieren. Die damit verbundene Organisation der Informationsprozesse erstreckt sich von der Feststellung des Informationsbedarfes über die Informationsübermittlung bis zur Verfügungstellung dieser. Die Verplanung der Elementarfaktoren wird untergeordnet betrachtet. Die notwendige Betrachtung der Informationstechnik in Kapitel 10 ist kein Folgeprodukt betriebswirtschaftlicher Philosophie, sondern steht in der Tradition von Logik, Mathematik, kybernetischer Systemtheorie und Informationstechnologie mit dem Ziel der Realisierung des EVCM-Konzeptes. Das geistige Vorgehen wird dabei durch die geregelte Strenge der Entwurf- und Programmiersprachen, die technologische Möglichkeitsbreite und die Präzisionsanforderungen der notwendigen Daten begrenzt. Spätestens an dieser Stelle wird der metawissenschaftliche Aufstieg des erkenntnistheoretischen Teils innerhalb dieser Arbeit gestoppt.

Innerhalb der Betriebswirtschaftslehre kann eine Einordnung der Thematik entweder nach verschiedenen Wirtschaftszweiglehen oder nach betrieblichen Funktionen erfolgen. Bei erster erfolgt die Gliederung der Gebiete nach den Besonderheiten der jeweiligen Wirtschaftszweige. Hierbei wird eine klare Zuordnung zur Industriebetriebslehre getroffen. Da jedoch die betrieblichen Abläufe und nicht die institutionellen Gegebenheiten im Mittelpunkt der Betrachtung stehen werden, scheint eine Zuordnung zu betrieblichen Funktionen, also nach Haupttätigkeiten in der Einzelwirtschaft eher zweckmäßig. Die Abbildung 1.1 zeigt die wichtigsten Funktionen.

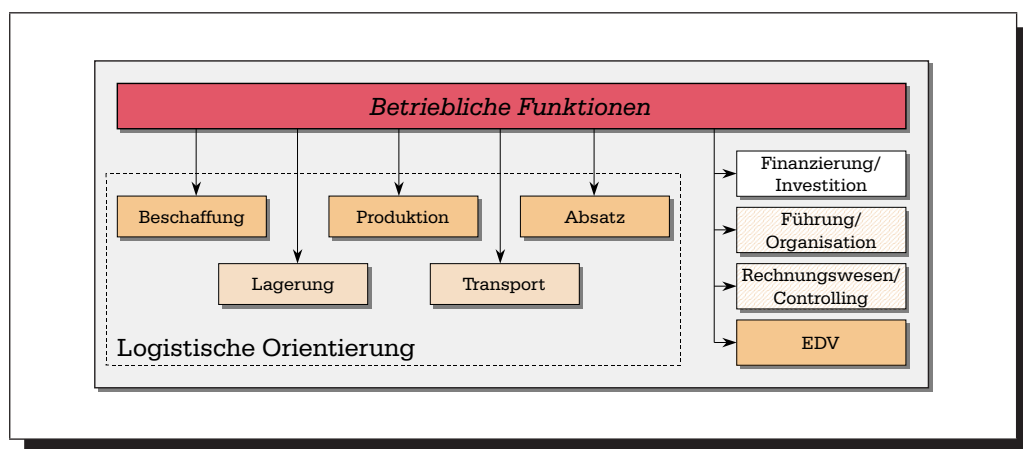


Abbildung 1.1: Zuordnung der Thematik zu betrieblichen Funktionen

Die vorliegende Arbeit ist vor allem logistisch assoziiert zu den betrieblichen Funktionen Beschaffung, Produktion und Absatz. Speziell für den Betrachtungsgegenstand der Kompetenzzone und ihre Integration in ein Produktionsnetzwerk werden Konzepte erarbeitet. Die Funktionen Lagerung und Transport sind eng mit den zuerst genannten Funktionen verknüpft, werden aber keiner gesonderten Betrachtung unterzogen. Für Organisation und Controlling (gelbe Schraffur) gilt das, was bereits für andere Wissenschaftsdisziplinen ausgeführt wurde. Diese Funktionen haben innerhalb der Betriebswirtschaftslehre keine direkte logistische Bedeutung, liefern jedoch wichtige Determinanten für Einzelwirtschaften und Netzwerke. Es werden ebenfalls, ausgehend vom Konzept des Extended Value Chain Managements, Schnittstellen zu logistikfremden Funktionen und damit verbundene Problemstellungen sowie teilweise Lösungskonzepte beschrieben, die jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Vielmehr sollen diese wiederum den Forschungsbedarf in anderen Teildisziplinen der Betriebswirtschaftslehre aufzeigen.

Der Schwerpunkt der Arbeit ist logistisch motiviert. Eine wichtige Stellung in diesem Zusammenhang nimmt die EDV-Funktion ein. Für diese soll abschließend untersucht werden, welche Möglichkeiten der Realisierung des Konzeptes in Betracht kommen. Somit wird dem Produktionsfaktor Information in hohem Maße Rechnung getragen.

1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist, ein allgemeines Konzept zur Genese und zum Betreiben von nichthierarchischen Produktionsnetzwerken zu erarbeiten. Innerhalb dieses Konzeptes sollen Modelle entwickelt werden, die innerhalb von Netzwerken Soft-facts quantitativ integrieren und Lieferantworten automatisch generieren können. Ein Phasenmodell soll die Konzeption abrunden und für ihre Bestandteile den Rahmen bilden.

Das Kapitel 2 führt den Leser zunächst in die Terminologie dieser Arbeit ein und gibt einen Überblick zur Evolution der ERP-Systeme. Resultat dieses Kapitels ist die Herausarbeitung von theoretischen Defiziten des SCM-Konzeptes. Das 3. Kapitel arbeitet die für diese Arbeit relevanten Entwicklungen in den Bereichen Netzwerke auf und setzt sich mit den Begrifflichkeiten und Abgrenzungen von entsprechenden Entwicklungen auseinander. Ergebnis dieses Kapitels ist ein Überblick über nutzbare Konzepte aus diesem Bereich.

Ausgehend von den Ergebnissen – sowohl Defizite als auch Nutzbares – aus den Kapiteln 2 und 3 wird im Kapitel 4 das Konzept des Extended Value Chain Managements in allgemeiner Form entwickelt und auf die Funktionalität der einzelnen Komponenten eingegangen. Dieses Kapitel stellt einen wesentlichen Teil der Ergebnisse des Autors im Sonderforschungsbereiches „Hierarchielose Regionale Produktionsnetze“ dar. Als wichtige Abschnitte werden die Elementarisierung der Kompetenzzellen unter Beachtung der Transaktionskostentheorie und das Betreibermodell behandelt.

In den folgenden Kapiteln 5 bis 9 werden anhand des Phasenmodells spezielle Aspekte des Extended Value Chain Managements herausgearbeitet. Das Kapitel 5 behandelt zunächst die arbeitsplanerischen Grundlagen der Netzwerkgenese zum Aufbau eines Prozessvariantenplanes und geht anschließend auf den Abgleich von nachgefragter und angebotener Kompetenz als Funktion eines informationstechnischen Modellkerns ein. Das Kapitel 6 bietet die Grundlagen zum Advanced Planning and Scheduling innerhalb der Kompetenzzellen.

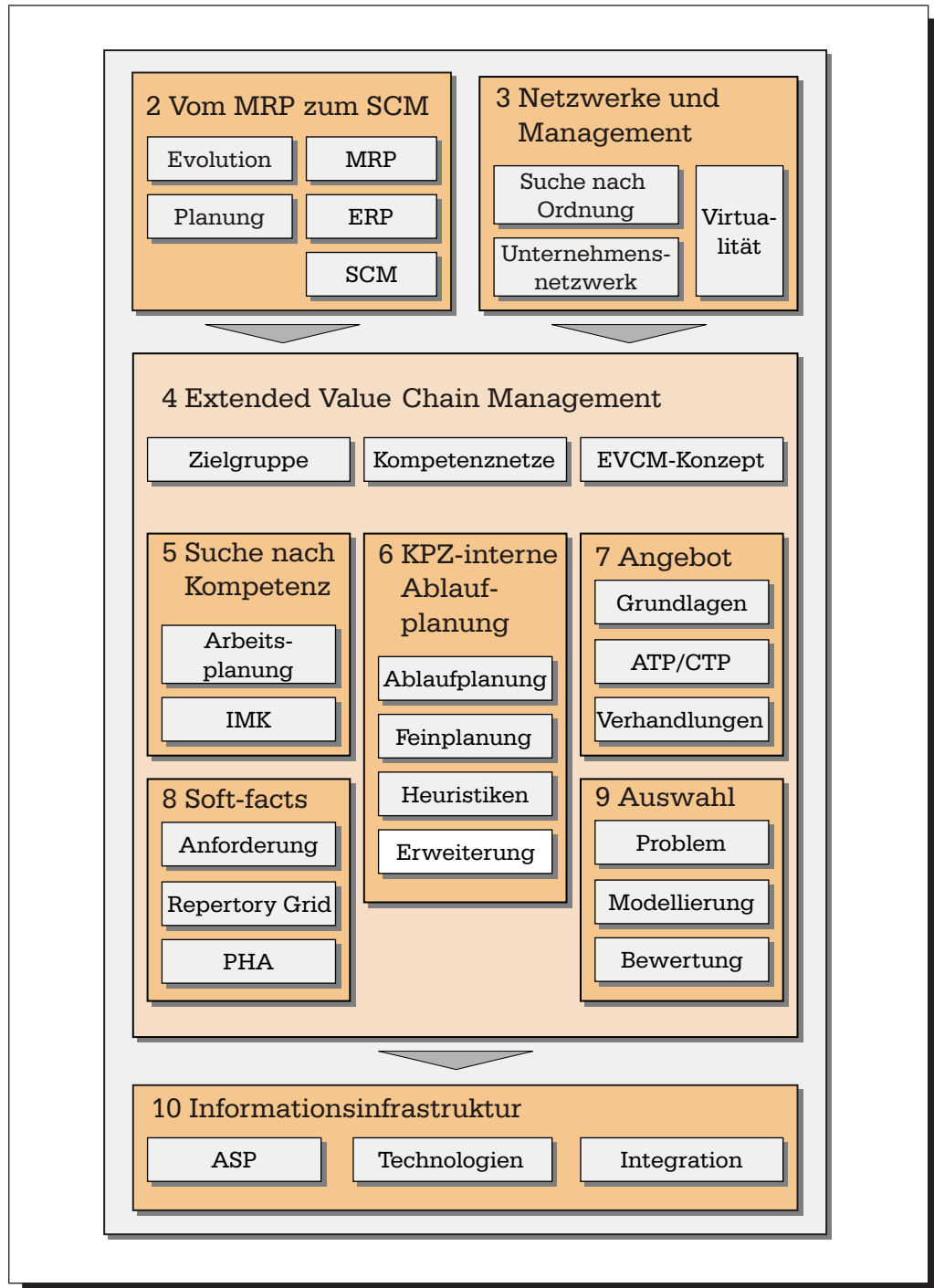


Abbildung 1.2: Inhaltliche Gliederung der Arbeit

Eine wesentliche Bereicherung theoretischer Konzepte innerhalb der Netzwerkforschung realisieren die Kapitel 7 und 8 zur Aggregation von Antworten auf Kundenanfragen und die Integration von Soft-facts über die Polyedrale Analyse. Besonders die Aggregation von Antworten zu Kundenanfragen liefert einen wichtigen Beitrag zu einer möglichen Verringerung des Bullwhip-Effektes. Das automatische Generieren einer Bandbreite von Antworten anstelle einer singulären Lösung macht den Charme dieses Konzeptes aus. Das Kapitel 9 verknüpft die bisherigen Erkenntnisse in einer gemeinsamen und vor allem kompetenzübergreifenden (Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz) Zielfunktion zur Netzwerkgenese und bildet den Abschluss des Phasenmodells.

Das Kapitel 10 greift die Konzepte aus den Kapiteln 4 bis 9 auf und entwirft für das Extended Value Chain Management ein Technologiekonzept. An dieser Stelle erfolgt auch die Hervorhebung des Nutzens des Konzeptes für einen einzelnen Netzwerkknoten. Eingegangen werden soll vor allem auf die Nutzbarkeit einer Message Oriented Middleware zur Unterstützung einer Client/Server-Architektur für ein Application Service Providing. Dieser Abschnitt zielt deutlich auf die Zielgruppe der kleinen und mittelständischen Unternehmen ab, die im Fokus der nichthierarchischen Produktionsnetzwerke stehen. Am Beispiel von *SAP R/3* und *Navision Axapta* werden aber auch Wege für die Integration des EVCM-Konzeptes in eine bestehende ERP/SCM-Landschaft aufgezeigt.

Die vorliegende Arbeit richtet sich vornehmlich an einen interessierten Leserkreis, der mit den Grundbegriffen der Wirtschaftsinformatik und der Betriebswirtschaftslehre, insbesondere der Produktionswirtschaft, vertraut ist. Aus diesem Grund werden nur die Begriffe erläutert, die nicht unmittelbar vorausgesetzt werden können bzw. die in der Literatur inhaltlich nicht eindeutig benutzt werden.

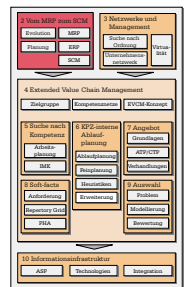
In der Abbildung 1.2 ist die logische Struktur der vorliegenden Arbeit illustriert. Zur besseren Orientierung beim Lesen dieser Arbeit wird eine Verkleinerung dieser Abbildung auf den Marginalien der entsprechenden Seite gezeigt, auf dem der aktuelle Abschnitt beginnt. Dieser wird farblich hervorgehoben.

„Wir ertrinken in Informationen, aber wir hungern nach Wissen.“

John Naisbitt

Kapitel 2

Vom Manufacturing Resource Planning zum SCM



Unternehmen, die nicht nur auf die Zeichen der Zeit reagieren, sondern auch die Zukunft antizipieren und damit agieren wollen, sehen sich mit einer Vielzahl von strategischen Entscheidungsalternativen konfrontiert. Berater, Organisatoren, Wissenschaftler, Fachleute und Verbände überhäufen die Unternehmen mit Ratschlägen. So soll die Konzentration auf Kernkompetenzen angestrebt, In- und Outsourcing betrieben, eine Geschäftsprozessoptimierung durchgeführt und kundenorientiert gearbeitet werden. Trotz der wechselhaften und z. T. modischen Trends existieren Konzepte, die über Jahrzehnte hinweg kontinuierlich verbessert wurden. Ein Beispiel dafür ist die ständige Weiterentwicklung der EDV-gestützten Planungsmodelle im Unternehmen, die aufgrund des rasanten Fortschritts der Rechentechnik eine immer komplexere Struktur annehmen und weiterhin annehmen werden. Aus diesem Grunde wird sich dieses Kapitel zunächst mit der Evolution der ERP-Systeme auseinandersetzen. Sie stellen grundsätzlich die informationstechnische Abbildung der Knoten von Unternehmensnetzwerken dar. Auf diesen selbst oder auf generierten Sichten über ERP-Systemen aufbauend etablieren sich Netzwerke der Wertschöpfung.

Durch die zunehmende Globalisierung und die damit verbundene Erhöhung der Komplexität der geschäftlichen Beziehungen fällt es Unternehmen immer schwerer, sich im internationalen Wettbewerb zu behaupten. Eines der größten Indizien für die anstehenden Probleme im Unternehmen ist die sehr hohe Break-Even-Schwelle, die in vielen Unternehmen anzutreffen ist. Eine Ursache dafür, dass die später näher spezifizierten Ziele im Unternehmen nicht im Sinne einer niedrigen Break-Even-Schwelle gemeinsam erreicht werden können, ist die Tatsache, dass viele Aufgaben durchgeführt werden, die

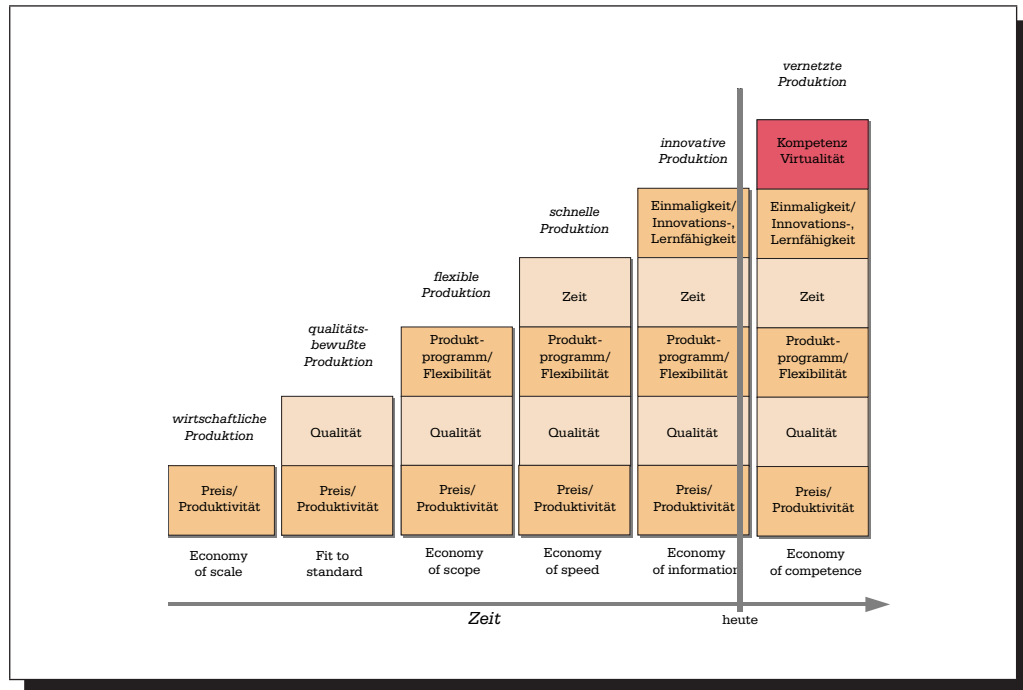


Abbildung 2.1: Entwicklung der Produktion

den anonymen Markt in wenigen Varianten. Kundenspezifische Wünsche fanden geringe Berücksichtigung. Massendegressionseffekte (economy of scale) auf der Basis eines hohen Grades an Spezialisierung definierten das dominierende wirtschaftliche Ziel dieser Zeit.

Mit einer beginnenden Sättigung des Marktes erwachte der zusätzliche Wunsch des Kunden nach Qualität der Ware. Eine allgemeine Qualitätsphilosophie (fit to standard) setzte sich durch. Die Bereiche der Qualitätssicherung und der Qualitätskontrolle etablierten sich in vielen Unternehmen. Die dadurch zusätzlich entstehenden Kosten mussten durch die *fehlerfreie Produktion* kompensiert werden.

Eine steigende Qualität brachte eine zunehmende Individualisierung der Kundenwünsche mit sich. Die Kundenorientierung (economy of scope) nahm damit an Bedeutung zu. Speziell in der Produktionswirtschaft sind die Auswirkungen dieses Wandels verschärft in den letzten Jahren zu spüren. Ergebnis dieser Entwicklung waren veränderte Wettbewerbsfaktoren, wie z. B. die Forderung nach verkürzten Durchlaufzeiten und niedrigen Beständen, hohe Termintreue und Flexibilität⁴. Gleichzeitig vergrößerte sich der Variantenreichtum der hergestellten Produkte explosionsartig. Das Schlagwort jener

⁴Vgl. [Hab92, S. 36].

Zeit war die flexible Produktion. Skalen- und Erfahrungskurveneffekte sowie Flexibilität lassen sich jedoch nicht ins Unermessliche steigern. Spätestens seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts begann die Produktionsgeschwindigkeit (economy of speed) eine wichtige Rolle zu spielen. Es wurde deutlich, dass das Prinzip des Taylorismus⁵ in seiner Anwendung nicht mehr in der Lage war, die bestehenden Probleme der sich schnell verändernden betrieblichen Praxis zu lösen. Auch das soziale System in der Produktion entwickelte sich (Abbildung 2.2)⁶.

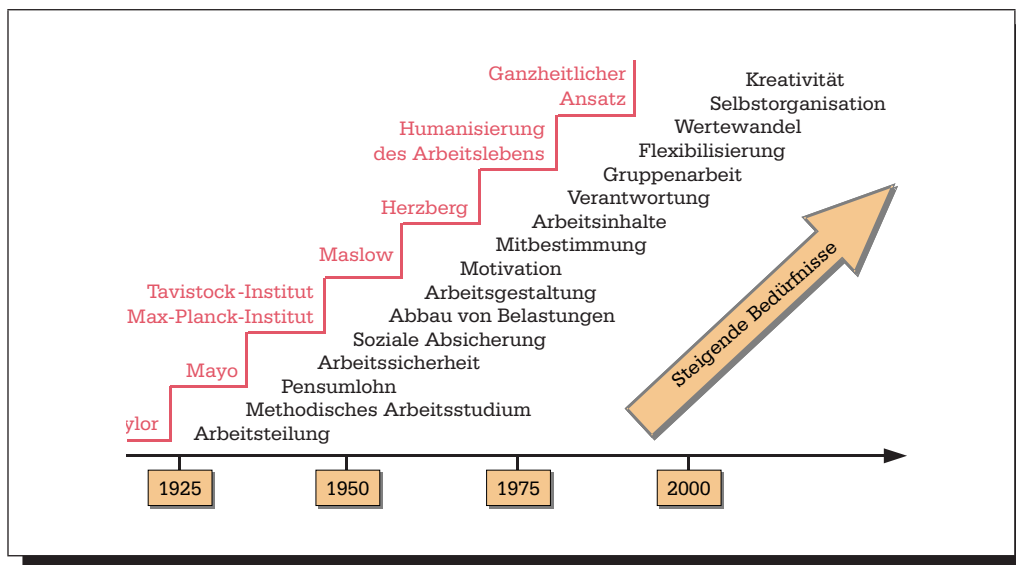


Abbildung 2.2: Entwicklung des sozialen Systems in der Produktion

Ohne genauer auf die verschiedenen Stufen einzugehen, soll verdeutlicht werden, dass auch die Bereiche Soziologie und Psychologie auf die Produktion reflektieren. Insbesondere die steigenden Ansprüche bei der Ausgestaltung der Erwerbstätigkeit trugen sehr zur Humanisierung des Arbeitslebens bei. Am Ende der Zeitskala sind die Begriffe Kreativität und Selbstorganisation eingeordnet. Jene sind der Ausgangspunkt für die letzte Stufe der Abbildung 2.1. Dennoch sind keine Planungssysteme bekannt, die bei der Planung und Optimierung des Wertschöpfungsprozesses diese bedeutsame Facette quantitativ berücksichtigen.

Die heutige Stufe der Produktion ist geprägt durch Innovation und Lernfähigkeit. In immer kürzeren Zyklen entstehen neue Produkte mit neuen Technologien. Für große Unternehmen wird es zunehmend schwieriger, diese Ände-

⁵Darunter wird die Teilung der Arbeit in kleinste Einheiten verstanden, zu deren Ausführung keine oder geringe Denkvorgänge notwendig sind [Fre94, Sp. 3242].

⁶Vgl. [War94, S. 339].

rungsgeschwindigkeit durch herkömmliche Organisationsstrukturen zu kontrollieren⁷. Möglicherweise ist hierin ein Grund für die Tendenz zu neuen Unternehmensformen oder Strategien zu finden.

Die nächste Stufe der Produktion⁸ wird als vernetzt bezeichnet. Die Anfänge dieser Etappe liegen bereits in der Entwicklung des Supply Chain Managements der letzten Dekade. Derzeitige und zukünftige Lösungsansätze für das unternehmensübergreifende Abstimmen der Wertschöpfungskette und die zu deren Umsetzung notwendigen Methoden und Technologien stellen die Kundenorientierung, die Adaptions- und Lernfähigkeit und die Vernetzung von Unternehmen oder Unternehmensteilen in den Mittelpunkt der Konzeption. Diese veränderten Bedingungen erfordern eine neue Herangehensweise. Herkömmliche PPS/ERP-Systeme genügen allein nicht mehr den sich daraus ergebenden Anforderungen⁹. Aus dieser Betrachtungsweise heraus ist es verwunderlich, dass Umfragen innerhalb des Managements den wachsenden Druck des Marktes auf die Produktionsstrukturen nicht reflektieren. Die folgende Statistik (Abbildung 2.3) zeigt, dass die Kostensicht dominiert. An letzter Stelle der als wichtig angesehen Kennziffern steht die Flexibilität. Diese Abbildung zeigt deutlich das Missverhältnis von Planung und Realität.

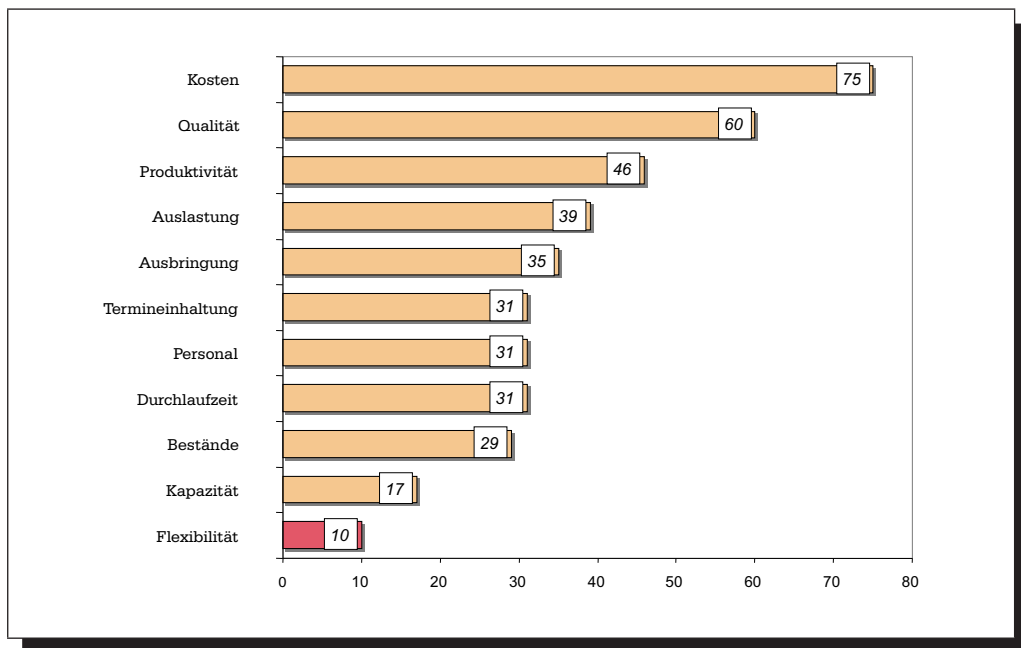


Abbildung 2.3: Kennziffern des Produktionsmanagements

⁷Warnecke vergleicht ein schwerfälliges Schlachtschiff mit einer Flottille.

⁸Hierbei sei darauf hingewiesen, dass die Übergänge zwischen den Stufen fließend sind. Die Stufen selbst sind nicht eindeutig gegeneinander abgrenzbar.

⁹Siehe [Sim92, S. 10].

Am Anfang stand also die tayloristische funktionsorientierte Aufgabenteilung, bei der einzelne Abteilungen der Betrachtungsbereich waren und Kundeninteressen für die Ausrichtung der Organisation eher uninteressant schienen. Die nächste Stufe der Entwicklung, die heute hauptsächlich in den Unternehmen anzutreffen ist, war die Ausrichtung der Organisation an Geschäftsprozessen, bei der die Kundenorientierung stieg, aber auf das eigene Unternehmen begrenzt war. In virtuellen Unternehmen gilt es, den Blick nochmals zu erweitern. Betrachtet werden dabei alle Leistungen des Gütererstellungsprozesses über die Unternehmensgrenzen hinweg. Die Abbildung 2.4 veranschaulicht diese Entwicklung.

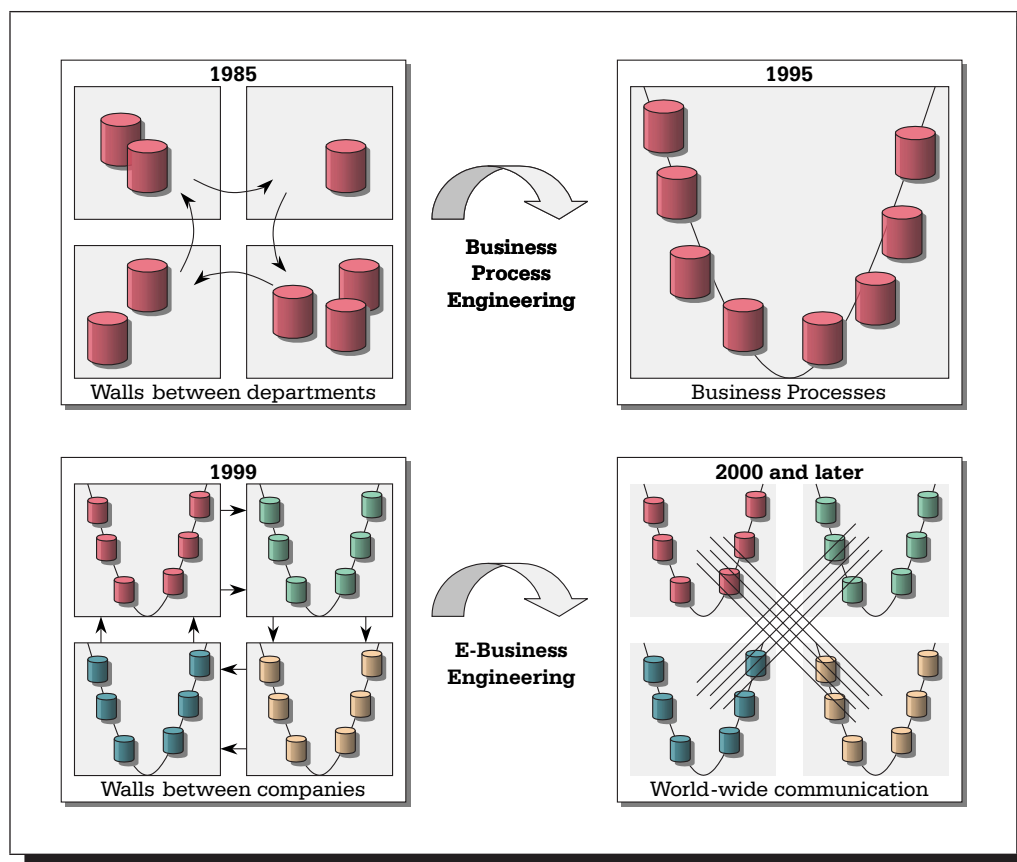


Abbildung 2.4: Organisationstrends der Geschäftsprozesse¹⁰

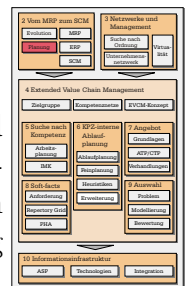
In einem Netzwerk nehmen die Probleme in der Planung und Steuerung ganz neue Dimensionen an, wodurch die Komplexität der wechselseitigen

¹⁰In modifizierter Form übernommen aus [Sch99a, Folie 3] und [Kel96, S. 98].

Abhängigkeiten zunimmt. Eine Voraussetzung für die Etablierung eines Netzwerkes ist das Vorhandensein einer an den Informationsbedarf angepassten Informationsinfrastruktur. Dabei kann die Betrachtung nicht beim ERP enden, sondern auch neuere Entwicklungen wie das Supply Chain Management müssen bezüglich ihrer Tauglichkeit für Wertschöpfungsnetze analysiert werden. In den folgenden beiden Abschnitten soll der Frage nachgegangen werden, inwieweit die Nutzung des jeweiligen Konzeptes hilft, Potenziale zur Minderung des Dilemmas der Produktionswirtschaft zu erschließen und damit zu einer besseren Umsetzung der Unternehmensziele führt. Doch beginnen soll die Betrachtung mit grundlegenden Begriffen, die in den folgenden Abschnitten genutzt werden.

2.2 Planungskonzepte

Eine ganze Reihe von Begriffen, die zur Beschreibung von planungs- und produktionstechnischen Sachverhalten Verwendung finden, werden von Vertretern der Praxis und auch in der Literatur oft in einem unterschiedlichen Sinne benutzt. Deshalb erscheint es an dieser Stelle sinnvoll, in Anlehnung an *Teich*¹¹ die für diese Arbeit gültige Bedeutung festzuschreiben.



2.2.1 Begriffe und Klassen von Planungskonzepten

Produktionsplanung: Wird unterstellt, dass das kurzfristige Produktionsprogramm bereits festgelegt wurde, unterteilt sich die Produktionsplanung¹² im Wesentlichen in die Bereiche *Ablaufplanung* (Losgrößenbestimmung, Arbeitsfolgeplanung, Termingrobplanung) und *Bedarfsplanung* (Personal-, Betriebsmittel- und Materialbedarfsplanung)¹³. Die Ergebnisse der Produktionsplanung werden innerhalb der *Fertigungssteuerung* aufgegriffen, um im kurzfristigen Planungshorizont¹⁴ und auf der untersten Ebene der Fertigung Entscheidungen für den jeweiligen Arbeitszeitabschnitt ableiten zu können.

Fertigungssteuerung: Zur Definition des Begriffes soll zunächst die Stellung der Fertigungssteuerung im Rahmen der Geschäftsprozesse eines Unternehmens dargestellt werden. Interessant für diese Arbeit ist dabei nur

¹¹Siehe [Tei98b, S. 5 ff.].

¹²Die Begriffe Produktion und Fertigung werden in der Literatur als auch in der Praxis häufig synonym benutzt.

¹³Siehe [Sch92b, S. 637 ff.], [Gü94a, S. 276 ff.].

¹⁴In der Regel beträgt der kurzfristige Planungshorizont nicht mehr als zehn Arbeitstage.

die Abgrenzung der Fertigungssteuerung innerhalb des Hauptprozesses Auftragsbearbeitung. Die betriebswirtschaftliche Literatur ist bedauerlicherweise nur wenig geeignet, eine klare Abgrenzung der Fertigungssteuerung von anderen Funktionen im Prozess der Auftragsbearbeitung herauszuarbeiten. In Abbildung 2.5 wurde daher eine Darstellung der zeitlichen Abfolge der Tätigkeiten bei der Bearbeitung von Kundenaufträgen gewählt, die der Realität in vielen Unternehmen entspricht. Wichtige Aufgaben (z. B. die Materialbedarfsplanung) wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit bewusst weggelassen.

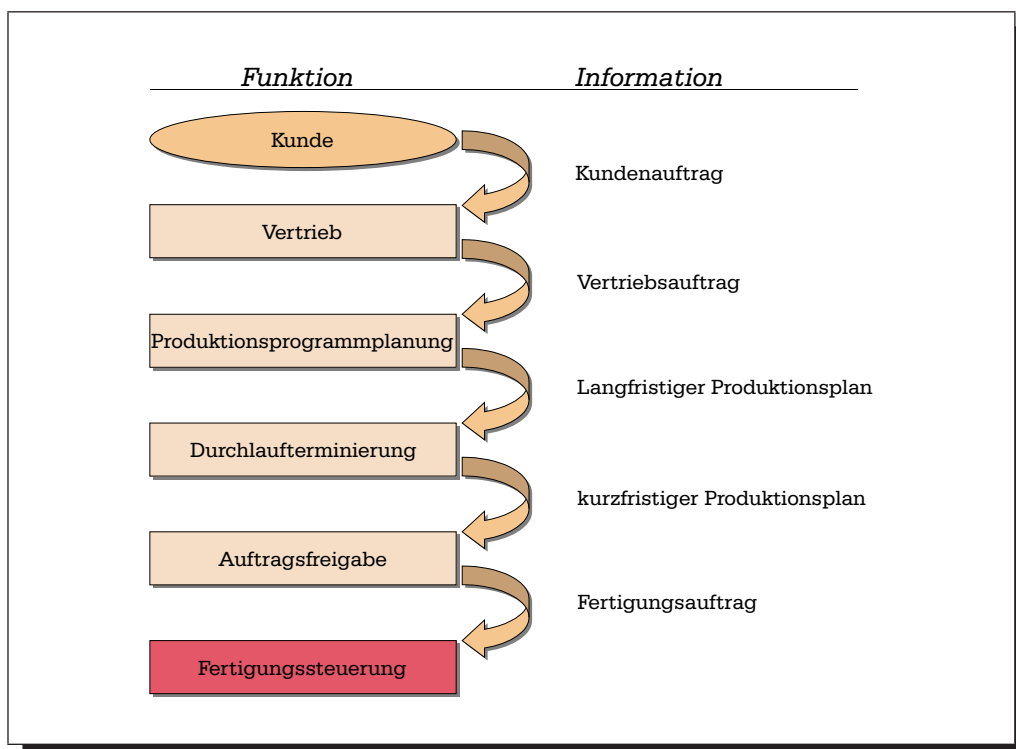


Abbildung 2.5: Hauptprozess der Auftragsbearbeitung

Die Auftragsfreigabe wird im Rahmen dieser Arbeit nicht als Teil der Fertigungssteuerung betrachtet, obwohl manche Autoren eine andere Auffassung vertreten¹⁵. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Zum einen wird die Freigabe von Fertigungsaufträgen in vielen Unternehmen von einer anderen Stelle durchgeführt als der mit der Fertigungssteuerung betrauten. Zum anderen kann die Freigabe durchaus als Anlage eines

¹⁵Vgl. [Wie87].

Arbeitsvorrates vor der Fertigung betrachtet werden, der als Grundlage der Feinterminierung dient.

Ähnliches gilt für die Durchlaufterminierung, die in der Regel von PPS-Systemen mit lediglich impliziter Berücksichtigung der Kapazitäten¹⁶ durchgeführt wird und hauptsächlich der Verifizierung eines möglichen Liefertermins dient. Die so errechneten Starttermine sind ebenso wie die Liefertermine Eckdaten für die Fertigungssteuerung, zu deren Aufgabenbereich diese Berechnung nicht gezählt werden kann¹⁷.

Unter dem Begriff Fertigungssteuerung sind alle Maßnahmen zur Bereitstellung der erforderlichen Güter (einschließlich Werkstattvorbereitung) sowie die Maßnahmen zur Lenkung der Fertigung (Terminsteuerung, Arbeitsverteilung, Fertigungsüberwachung) zu verstehen¹⁸. Synonym werden in diesem Zusammenhang häufig die Begriffe Fertigungsvorbereitung und Produktionsplanung benutzt. In dieser Arbeit wird der Begriff Fertigungssteuerung ausschließlich im Sinne von *Feinterminierung* in Verbindung mit *Reihenfolgeplanung* verwendet.

Feinterminierung: ¹⁹ Auf der Basis der in der Produktionsplanung ermittelten Ecktermine der einzelnen Aufträge werden in der Feinterminierung die endgültigen Beginn- und Endtermine der Arbeitsvorgänge an jedem Arbeitsplatz ermittelt. Als Ergebnis liegt ein Maschinenbelegungsplan vor, in welchem zeitlich detailliert die Betriebsmittelzuordnung für jeden Arbeitsgang determiniert ist.

Reihenfolgeplanung: Reihenfolgeprobleme verfolgen das Ziel, die Elemente einer endlichen Menge so zu ordnen, dass verschiedene Restriktionen erfüllt werden und eine festgelegte Zielfunktion einen maximalen bzw. minimalen Wert annimmt²⁰. In der Feinterminierung geht dieser Reihenfolgeplanung in der Regel eine Belegungsplanung voraus, die eine paarweise Relation zwischen den Elementen zweier Mengen (Menge der Maschinen und Menge der Arbeitsvorgänge) herstellt. Deshalb wird in der Produktionswirtschaft allgemein von einem Reihenfolgeproblem

¹⁶Zu den technologisch bedingten Übergangszeiten werden aus Erfahrungswerten gewonnene Zusatzzeiten addiert und in den entsprechenden Arbeitsgangdokumenten vermerkt.

¹⁷Eine explizite Berücksichtigung von Kapazitäten, z. B. durch die Durchführung einer Retrograden Terminierung, wäre besser als die implizite Methode, die auf Erfahrungswerten für Übergangszeiten zwischen den Arbeitsplätzen basiert und zum so genannten Durchlaufzeitsyndrom führt.

¹⁸Siehe [Sch92b, S. 653 ff.].

¹⁹Dieser Begriff wird auch häufig als Feinplanung oder im wissenschaftlichen Kontext als Scheduling bezeichnet. Vgl. [Gü94a, S. 225 ff.].

²⁰Siehe u. a. [Ric88, S. 54].

gesprochen, wenn die Elemente einer Menge in Bezug auf die Elemente einer anderen Menge unter Beachtung von Restriktionen in eine zielorientierte Ordnung zu bringen sind²¹. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht erfährt das Reihenfolgeproblem insbesondere Beachtung als Ablaufplanungsproblem²².

In der Praxis geht die Planung eines PPS-Systems in der Regel nicht über die Festlegung der Ecktermine der Arbeitsvorgänge bei gleichzeitiger Betriebsmittelzuordnung hinaus. Vor jedem Betriebsmittel entsteht somit eine Warteschlange von Arbeitsvorgängen, die der Arbeiter aufgrund seiner Erfahrung möglichst „optimal“, z. B. im Sinne der Minimierung der Zykluszeit, abarbeitet, ohne die geforderten Endtermine zu gefährden.

Nach der Einführung grundlegender Begriffe der Produktionswirtschaft soll ein Schema aufgebaut werden, mit dem unterschiedliche Planungskonzepte klassifiziert werden können. Die folgenden beiden Begriffsdefinitionen halten fest, was im Weiteren als Planung und Planungskonzept verstanden werden soll²³.

Planung: Planung ist das gedankliche Durchdringen zukünftiger Handlungen, um das zielgerichtete Agieren des Unternehmens im Sinne der Erreichung von Unternehmenszielen zu ermöglichen.²⁴

Planungskonzept: Durch ein Planungskonzept wird der institutionelle Rahmen und der Ablauf der Planung definiert.

In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus dabei u. a. auf den Möglichkeiten, die die Informationstechnik in diesem Umfeld bietet. Der Prozess der Planung lässt sich, wie in Abbildung 2.6²⁵ dargestellt, als betriebswirtschaftlichen Führungsprozess verstehen.

²¹Vgl. [Con67, S. 1], [MM70, S. 1], [Reh79, S. 28].

²²Siehe u. a. [Kra94, S.2]. Anstelle der Begriffe Reihenfolgeplanung und Ablaufplanung werden in der Literatur auch die Begriffe Werkstattbelegungsplanung, Fertigungsablaufplanung, Sequencing oder Maschinenbelegungsplanung benutzt. Vgl. z. B. [Reh79, S.29], [Zä82, S. 247 ff.], [Pau84, S. 9], [Zim92, S. 161 ff.]. In der vorliegenden Arbeit sollen die Begriffe Maschinenbelegungsplanung und Reihenfolgeplanung synonym benutzt werden.

²³Aus [Sch00e, S. 7 ff.] in teilweise überarbeiteter Form übernommen.

²⁴Vgl. [Wie97, S. 20] und in modifizierter Form [Sel88, Sp. 2135]. Anmerken lässt sich, dass das Gegenstück zur Planung die Improvisation ist.

²⁵Modifiziert entnommen aus [Wie97, S. 78] in Verbindung mit [Gö99, S. 9] und [Kü95, S. 60].

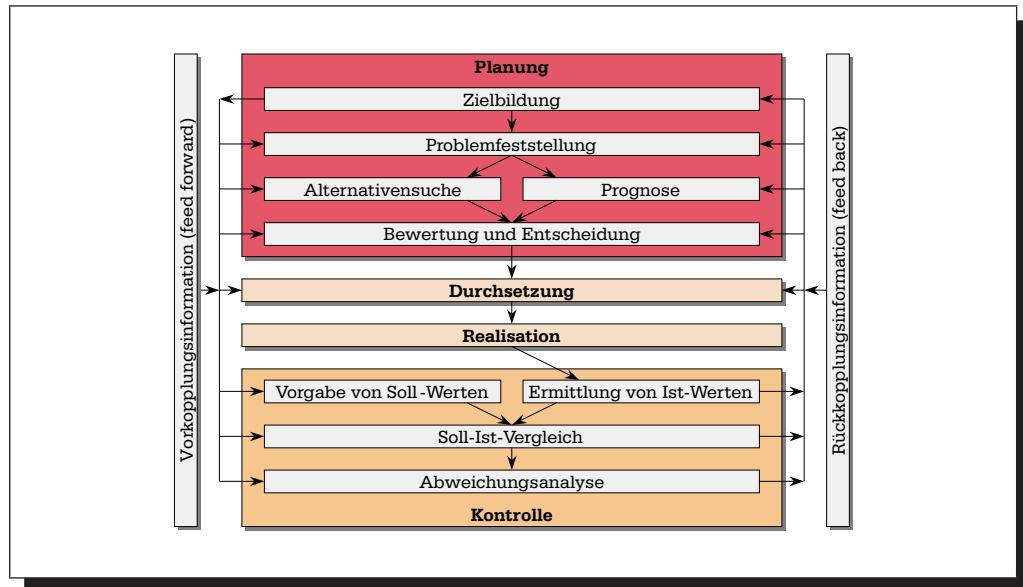


Abbildung 2.6: Einordnung der Planung in den Führungsprozess

Vor allem beim Planen in Netzwerken werden die Aspekte *feed forward*, *feed back*, *Alternativensuche* und *Bewertung* eine besondere Bedeutung gegenüber traditionellen Planungskonzepten erlangen. Darauf wird in einem späteren Abschnitt, vor allem bei der Integration von Soft-facts in eine IT-gestützte Planungsumgebung, einzugehen sein.

Konzepte, die nach einem solchen Vorgehen der Planung (Abbildung 2.6) erstellt werden, lassen sich nach den Planungsobjekten, der Planungsorganisation, den Planungsinstrumenten und sonstigen Merkmalen klassifizieren. Eine Übersicht möglicher Merkmale ist in Abbildung 2.7²⁶ enthalten.

Erstes Klassifizierungsmerkmal sind die *Planungsobjekte*. Bei diesen werden Aussagen über die *Planungsbestandteile* bzw. den *-gegenstand* (Aktionsplanung oder Budgetierung)²⁷, den *Detailliertheitsgrad* und den *Zeithorizont* (strategisch, taktisch oder operativ)²⁸ der Planung getroffen. Weiterhin ist die *inhaltliche Differenzierung* von großer Bedeutung. Bei der horizontalen Differenzierung wird auf einer Ebene, z. B. der Ebene eines Zeithorizonts, für

²⁶Diese Aufstellung wurde in Anlehnung an [Kü95, S. 63] entwickelt.

²⁷Vgl. im Weiteren [Men93, S. 820].

²⁸Über die Verwendung und Auslegung aller drei Zeithorizonte herrscht in der Literatur Uneinigkeit. So verwenden [Pre97, S. 81] und [Bau96, S. 57] nur die strategischen und operativen Planungshorizonte. [Wel92, S. 445] verwendet zusätzlich auch den taktischen Planungshorizont.

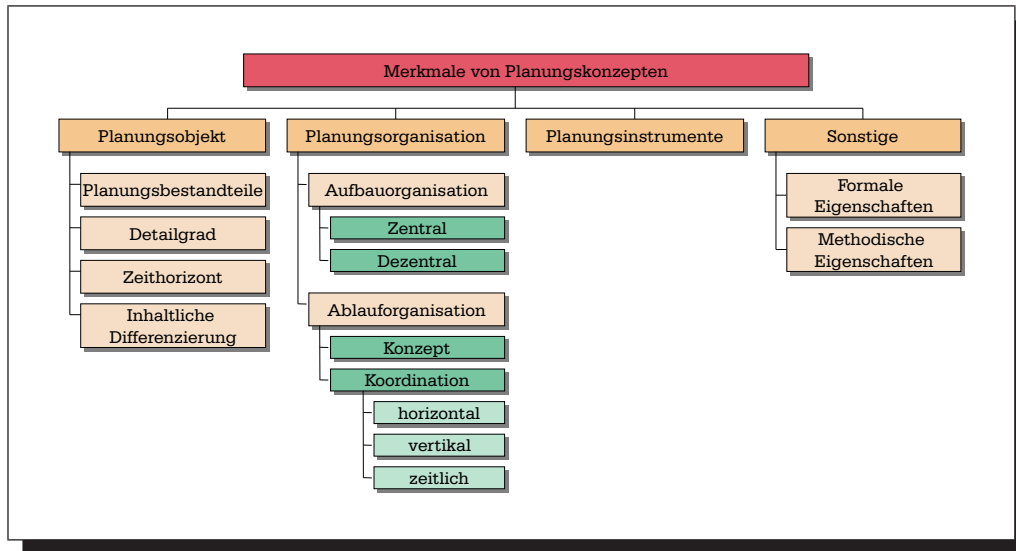


Abbildung 2.7: Merkmale von Planungskonzepten

verschiedene Unternehmensbereiche und bei der vertikalen Differenzierung auf verschiedenen Ebenen für einen Unternehmensbereich geplant. Die *Planungsorganisation* ist das nächste Klassifizierungsmerkmal. Konfiguriert wird bei der Planung die Aufbauorganisation, die u. a. regelt, welche Stelleninhaber mit welchen Funktionen am Planungsprozess teilnehmen. Hierbei wird eine Festlegung bzw. Gliederung der Planung vorgenommen.²⁹ Grundformen sind die *Funktional-*, *Matrix-* und *Prozessorganisation*. Bei einmaligen Aufgaben gehen diese Formen in eine *Projektorganisation* ein. Die Planung kann dabei in zwei Varianten organisiert werden. Eine

zentrale Planung verursacht einen geringen Koordinationsbedarf, die Manipulationsgefahr ist niedrig und die Zielkonformität ist hoch. Wohingegen eine

dezentrale Planung durch hohe Flexibilität, hohen Informationsbedarf und hohe Motivation gekennzeichnet ist.

Innerhalb der Aufbauorganisation gibt es weitere Kriterien, die festgelegt werden müssen. Vor allem sind hierbei die Formen der Erzeugnis- (Stücklisten) und Aufgabenstrukturen (Arbeitspläne) zu nennen³⁰. Insgesamt wird die Aufbauorganisation auch als Bestandsphänomen eines Unternehmens bezeichnet, das grundlegende Strukturen und den institutionellen Rahmen langfristig schafft.

²⁹Vgl. [Wie97, S. 16].

³⁰Siehe hierzu [Tei98b, S. 14 ff.].

Neben der Aufbauorganisation muss die *Ablauforganisation* definiert werden, die festlegt, wie der Planungsprozess abläuft. In ihr wird die grundsätzliche Verfahrensweise bei normalen Geschäftsvorfällen geregelt, um ein einheitliches Vorgehen zu gewährleisten³¹. Die Festlegungen erfolgen dabei in folgenden Bereichen:³²

Konzeptionelle Festlegung: Eine Planung ist durch *inkrementelles* oder *synoptisches* Vorgehen gekennzeichnet, d. h., die Planung erfolgt durch „Probieren“ (inkrementell) oder durch rationales Handeln (synoptisch). In Abhängigkeit von der Anpassung an Veränderungen der Umwelt kann eine Planung *starr* oder *flexibel* sein. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, die Planung *dialektisch* durchzuführen, wobei Thesen, Antithesen und die daraus entstehende Synthese betrachtet werden.

Horizontale Koordination: Die Abstimmung verschiedener Unternehmen oder Unternehmensbereiche innerhalb einer Planungsebene, bspw. eines Zeithorizonts, erfolgt entweder *simultan* oder *sukzessiv*. Diese Art der Planung steht für Produktionsnetze im Mittelpunkt des Interesses. Die Unternehmen befinden sich zwar auf unterschiedlichen Stufen innerhalb der Wertschöpfung³³, dennoch gibt es keine vertikalen Weisungs- oder Abhängigkeitsverhältnisse. Dieser Aspekt wird zu einer wichtigen Voraussetzung für das Betreibermodell des Extended Value Chain Managements.

Vertikale Koordination: Die Koordination der zeitlichen Planungsebenen strategisch, taktisch und operativ ermöglicht ebenfalls die simultane oder sukzessive Planung. Bei der Abstimmung aller Hierarchieebenen kann *top-down-*, *bottom-up-* oder im *Gegenstrom-Verfahren* vorgegangen werden.³⁴

Zeitliche Koordination: Bei der Planung kann aus Komplexitätsgründen die Zerlegung einzelner Planungsebenen in bestimmte Zeiteinheiten (Monate, Jahre usw.) sinnvoll sein. In diesem Zusammenhang muss definiert werden, wie die Planung zeitlich fortzuführen ist. Dabei gibt es als Möglichkeiten die *Anschlussplanung*, *rollende*, *rollierende* oder *revolvierende Planung*³⁵.

³¹Vgl. [Wie97, S. 16].

³²Zu den Begriffen siehe u. a. [Bau96, S. 67] und [Mar74, S. 1032]. Weiterhin ist anzumerken, dass die Übersicht nicht disjunkt ist, weshalb die Begriffe simultan und sukzessiv mehrfach verwendet werden, deren Inhalt aber im jeweiligen Kontext anders zu interpretieren ist.

³³Entsprechend einer Stückliste, die nach Fertigungsstufen gegliedert ist.

³⁴Folgende Synonyme existieren für diese Begriffe: top-down = retrograd, bottom-up = progressiv und Gegenstrom = zirkulär bzw. down-up.

³⁵Zur Abgrenzung der Begriffe siehe [Bau96, S. 67].

Zusätzlich können die unterschiedlichen Zeiteinheiten untereinander sukzessiv oder simultan betrachtet werden. In Abhängigkeit von der Regelmäßigkeit und Häufigkeit einer Planung erfolgt sie *periodisch* oder *aperiodisch*.

Das dritte Klassifizierungsmerkmal sind die *Planungsinstrumente*. Gemäß der Prozesse innerhalb der Planung existieren eine Reihe verschiedener Methoden und Modelle. Nachfolgend werden exemplarisch einige Instrumente der strategischen Planung aufgezählt und den einzelnen Ebenen der strategischen Planung zugeordnet³⁶:

- Zielbildung: Nutzwertanalyse, Erfahrungskurvenkonzept,
- Problemanalyse: Lebenszyklusanalyse,
- Alternativensuche: Kreativitätstechniken, Target Costing,
- Prognose: Erfahrungskurvenkonzept, Delphi-Methode und
- Bewertung und Entscheidung: Szenario-Technik.

Das letzte Klassifizierungsmerkmal kann unter dem Punkt *Sonstiges* subsumiert werden. Planungskonzepte lassen sich durch die *formalen* (Standardisierung, Dokumentation) und *methodischen* (Vorgehensweise, EDV-Unterstützung, Modelle) Eigenschaften einordnen. Im Mittelpunkt dieser Arbeit soll eine Kombination zweier Merkmale stehen. Das sind zum einen aus dem Bereich der Ablauforganisation die Simultan- und Sukzessivplanung und zum anderen aus dem Bereich der sonstigen Merkmale die EDV-Unterstützung der Planung.

Sukzessivplanung Die Sukzessivplanung bedeutet, dass im ersten Schritt eine Orientierung am Engpass stattfindet, und dass die Ergebnisse dieser ersten Berechnung für die nachgelagerten Ebenen als Datum fungieren³⁷.

Simultanplanung Bei der Simultanplanung werden wechselseitige Abhängigkeiten gleichzeitig gelöst, d. h., Interdependenzen werden in einem Schritt berücksichtigt³⁸.

In Abbildung 2.8 werden beide Planungsmöglichkeiten illustriert.

³⁶Die strategische Planung einschließlich der einzelnen Ebenen wird umfangreich in [Gö99, S. 50 ff.] dargestellt.

³⁷Siehe [Sel88, Sp. 1832].

³⁸Siehe [Sel88, Sp. 1483].

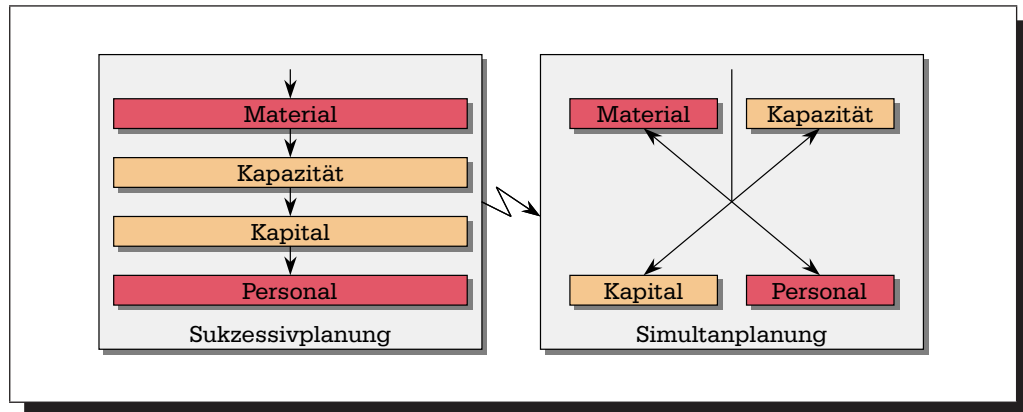


Abbildung 2.8: Sukzessiv- und Simultanplanung am Beispiel der betrieblichen Grundressourcen³⁹

Abschließend soll kurz erwähnt werden, welche klassischen Probleme in der Produktionswirtschaft existieren, die den Einsatz von simultanen oder sukzessiven EDV-gestützten Planungskonzepten notwendig machen.

2.2.2 Probleme in der Produktionswirtschaft

Nach der Darstellung der grundlegenden Konzepte für die Lösung von Planungsproblemen steht die Frage nach den zunächst innerhalb der Fertigungssteuerung eines Unternehmens zu lösenden Problemen. Es existieren folgende vier grundlegenden Ziele, deren Wechselwirkung als *Dilemma der Produktionswirtschaft*⁴⁰ bekannt sind:

Hohe Termintreue und Lieferbereitschaft: Zur kurzfristigen Reaktion auf die Bedarfsdynamik ist die Veränderung von vorhandenen Aufträgen oder die Einsteuerung neuer Aufträge erforderlich. Dabei ist die Bereitstellung zusätzlicher Kapazitätsangebote oder zeitwirtschaftlicher Reserven notwendig. Ist der verfügbare Reaktionszeitraum kleiner als der technologische Durchlaufzeitraum, so ist innerhalb künftiger Planungszeiträume mit Bestandsaufbau der Erzeugnisse zu planen. Innerhalb von Wertschöpfungsnetzen werden diese Ziele um die Facette der Transparenz in der Lieferkette erweitert. Es wird festzustellen sein, dass insbesondere in diesem Punkt klassische Systeme keine Lösungskonzepte bieten.

³⁹Abbildung entnommen aus [Str99b, S. 261].

⁴⁰Vgl. [Wie90, S. 408].

Vermeidung von Lagerbeständen: Durch die Minimierung der Lagerbestände können zusätzliche Kosten durch die Kapitalbindung vermieden werden. Allerdings kann ein Industrieunternehmen nur mit geringer Flexibilität auf die Bedarfsdynamik des Marktes und auf kurzfristige Änderungen der Planungssituation reagieren. Damit verringern sich die Termintreue und Lieferbereitschaft.

Hohe Kapazitätsauslastung: Die verfügbaren, aber zeitweilig nicht genutzten Arbeitsplätze verursachen überwiegend hohe Fixkosten. Kann ein Unternehmen mit hohen Auftragslosen produzieren, verringern sich die stückbezogenen Fixkosten und somit ihr Anteil an den Gesamtkosten. Die Maximierung der Kapazitätsauslastung kann durch die Planung von hohen Auftragsmengen erreicht werden. Diese Vorgehensweise erhöht jedoch den Lagerbestand und die technologische Durchlaufzeit.

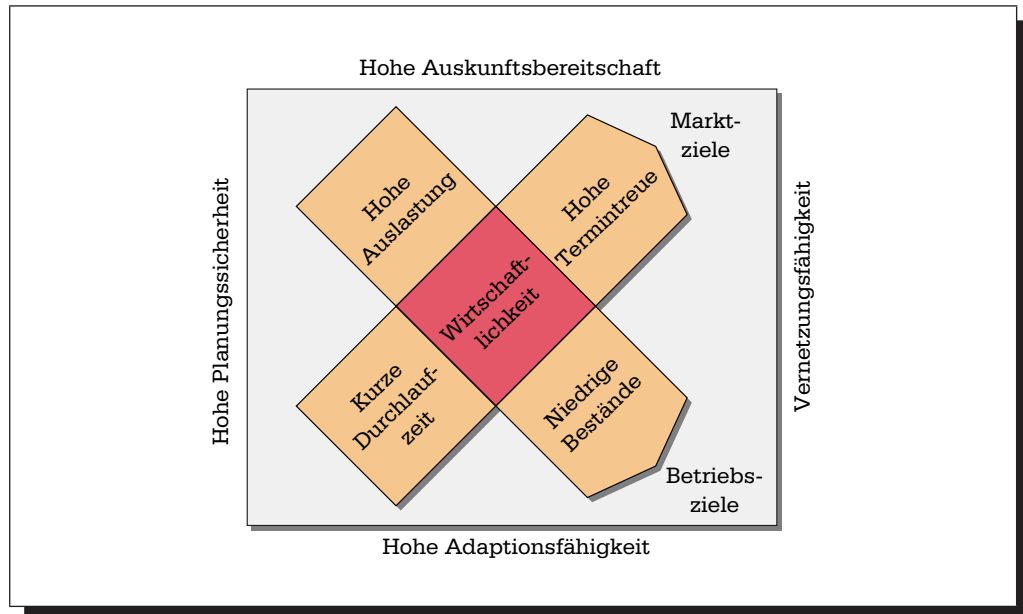
Kurze Durchlaufzeiten und Wiederbeschaffungszeiten: Ein Ergebnis kurzer Durchlaufzeiten ist die Minimierung der Lagerbestände und damit der Fertigungskosten. Andererseits kann die Minimierung der technologischen Durchlaufzeit nur erreicht werden, wenn hohe Termintreue und interne Lieferbereitschaft sichergestellt werden.

Es ist offensichtlich, dass die Realisierung eines dieser Ziele sofort zur Vernachlässigung der anderen Ziele führt. Die vier Grundziele sind somit *konfliktär*. Dieser Zustand wird deshalb als Dilemma der Produktionswirtschaft bezeichnet. Die Ziele der Produktionswirtschaft sind Bestandteile der Zielhierarchie des Unternehmens und sind in diesem Kontext als Bereichsziele zu bezeichnen. Dabei darf aber die funktionale Trennung in Bereichsziele nicht überbewertet werden, da bereichsübergreifende Interdependenzen existieren. So beeinflussen alle Unternehmensbereiche die Planungssituation. Wenn der Vertrieb bspw. einen Auftrag annimmt, obwohl die Kapazitäten bereits voll ausgelastet sind, dann kann er genauso für die hohen Terminüberschreitungen verantwortlich sein wie der Produktionsbereich oder der Einkauf.

Neben diesen klassischen Zielen, die in Abbildung 2.9 dargestellt sind, spielen folgende Herausforderungen im Bereich der Produktionswirtschaft eine immer größere Rolle.⁴¹

- ein zunehmend *volatiler* werdender *Geschäftsverlauf* der Unternehmen führt zu einer sinkenden Planungssicherheit und
- die *Informationsbeschaffung* nimmt stetig zu, um bspw. eine hohe Auskunftsbereitschaft sicherstellen zu können,

⁴¹Vgl. [Rob99, S. 137].

Abbildung 2.9: Dilemma und Ziele in der Produktionswirtschaft⁴²

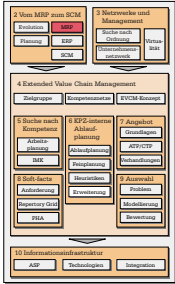
- die *Vernetzungsfähigkeit* innerhalb des Unternehmens und zwischen den Unternehmen nimmt ständig zu und damit auch die Abhängigkeit und Störanfälligkeit,
- eine hohe *Adaptionfähigkeit* ist nötig, um die steigende Komplexität in allen Unternehmensbereichen, die u. a. aus der Globalisierung resultiert, zu kontrollieren,
- die rentable Fertigung mit *Losgrößen im einstelligen Bereich* bei wachsender *Variantenzahl* und *steigenden Rüstzeiten* stellt eine der größten Herausforderungen dar und
- durch lange *Planungs- und Entwicklungszyklen*, einem *schrumpfendem Marktzyklus* und steigenden *Vorbereitungskosten* stellt sich immer mehr die Frage der korrekten strategischen Einschätzung von Geschäftsfeldern.⁴³

In den folgenden Abschnitten soll u. a. untersucht werden, welche Möglichkeiten die EDV-gestützten Planungskonzepte zur Lösung dieses Dilemmas und im Hinblick auf die neuen Herausforderungen bieten.

⁴²Abbildung entnommen aus [Wie99, S. 208].

⁴³Der Effekt, der dabei eintritt, wird auch als Zeitfalle bezeichnet. Ein Unternehmen, das sich in dieser Situation befindet, wird mit dem „Magischen Dreieck“ konfrontiert [Pfe94, S. 278 f.]. Entscheidungsalternativen können bspw. das Verfolgen einer First- oder Follower-Strategie sein [Pfe94, S. 282 f.].

2.3 MRP-Konzepte



Die klassischen Planungs- und Steuerungssysteme, die in der Praxis zum Einsatz kommen, besitzen in der Regel den gleichen strukturellen Aufbau⁴⁴. Es erfolgt eine Sukzessivplanung nach hierarchischen Planungsstufen, welche sich in der Regel in die drei Ebenen⁴⁵ Produktionsprogrammplanung, Bereitstellungsplanung und Prozess- bzw. Ablaufplanung gliedern. Die Ressourcen werden mit zunehmenden Detaillierungsgrad und abnehmenden Planungshorizont von übergeordneten zu untergeordneten Stufen verplant.

Diese traditionelle Vorgehensweise in der PPS fand ihren Ursprung in den fünfziger Jahren und beinhaltete den Wandel von der verbrauchs- zur bedarfsorientierten Materialdisposition. Sie erhielt die Bezeichnung *MRP* für *Material Requirements Planning*. Darunter wird im Allgemeinen⁴⁶ ein materialwirtschaftliches Planungsinstrument zur Stücklistenauflösung verstanden⁴⁷, welches eine Teilkomponente eines PPS-Systems ohne Rückkopplung zu höheren Planungsebenen darstellt.

Mitte der sechziger Jahre entstand das *MRP I*-Konzept, welches erstmals auch die Produktionskapazitäten betrachtete und in die Planung einbezog. Wird die Planung zu einer Rahmenplanung erweitert, die alle für die Fertigung relevanten Ressourcen einbezieht⁴⁸ oder gar darüber hinausgeht, so wird von einem *MRP II*-System gesprochen, wobei dieses MRP für *Manufacturing Resources Planning*⁴⁹ steht.

Das in den achtziger Jahren entwickelte Konzept geht auf Oliver Wight zurück und bettet die Planungs- und Steuerungsproblematik in den Zusammenhang der Logistikkette ein. Im Vergleich zu MRP wird im MRP II von einer integrierten Betrachtungsweise der verschiedenen Planungsstufen ausgegangen, wobei der Informationsfluss in beide Richtungen gezielt gesteuert wird. Diese Konzeption folgt damit den Tatbeständen, wie sie auch in Deutschland seit vielen Jahren vertreten werden⁵⁰. *Oliver Wight* sah den Be-

⁴⁴Vgl. [Bus87, S. 49] sowie [Tei98b, S. 27 ff.] und [Sch00e, S. 15 ff.] als teilweise überarbeitete Grundlage für diesen Abschnitt.

⁴⁵Siehe u. a. [Gut83], [Gü94b, S. 894 ff.], [Sch95a, S. 522], [Swi89, S. 3 f.], [Dom93, S. 8], [Geo95, S. 54].

⁴⁶Abweichende Auffassungen zählen auch den Kapazitätsausgleich hinzu [Obe91, S. 47] oder unterscheiden gar nicht zwischen *MRP* und *MRP II* [Hil92, S. 104 ff.]. Es gibt auch Autoren, die auf eine klare Beschreibung oder ganz auf diese Begriffe verzichten.

⁴⁷Siehe [Kis90, S. 219].

⁴⁸Siehe [Hil92, S. 105].

⁴⁹Die Abkürzung steht in der Literatur häufig auch für *Management Resources Planning*, ohne den inhaltlichen Unterschied hervorzuheben (z. B. [Zä94, S. 733]).

⁵⁰Siehe u. a. [Sch83, S. 138 ff.].

griff des MRP II-Konzeptes als:

„MRP II is not a new 'theory' on industrial behavior; it is all fact. MRP II is what's happening today in a number of companies.“⁵¹

Das MRP II-Konzept ist nicht aus der Theorie heraus entstanden, sondern durch Anforderungen und Realisierungen der Praxis. Gerade diese Tatsache zeigt, dass die EDV-gestützten Planungskonzepte, die vorher verwendet wurden, für die tägliche Arbeit nicht ausreichten. Was waren das für Konzepte, die vor der Nutzung des MRP II-Konzeptes eingesetzt wurden und deren Leistungsfähigkeit zu gering war?

„Material requirement planning evolved into the closed loop MRP system which then evolved into manufacturing resource planning. Technically, MRP II includes the financial planning as well as planning in units; it also includes a simulation capability. From a management point of view, MRP II means that the tools are being used for planning the activities of all functions of a manufacturing company.“⁵²

In der Evolution zum MRP II-Konzept waren die vier wichtigsten Schritte:⁵³

1. *a Better Ordering Method – Stock control software,*
2. *Priority Planning – MRP,*
3. *Closed Loop MRP* und
4. *Manufacturing Resource Planning – MRP II.*

Jede dieser Entwicklungsstufen beinhaltet die Ansätze der vorgelagerten Methoden. Aus diesem Grund soll nur auf das Closed Loop MRP und das Ergebnis der Evolution – das MRP II-Konzept – eingegangen werden.

2.3.1 Closed Loop MRP

Ausgangspunkt der Erweiterung des ursprünglichen Konzeptes der Materialbedarfsplanung (MRP), das von *Orlicki*⁵⁴ entwickelt und definiert wurde, war die Betrachtung unterschiedlicher Fristen, wie sie in Abbildung 2.10 dargestellt sind. Diese drei Fristen unterscheiden sich im *Planungsvorlauf* und *Pla-*

⁵¹MRP II bedeutet Manufacturing Resource Planning. Siehe hierzu die ursprüngliche Quelle von *Wight* [Wig84a, S. XV].

⁵²Siehe [Wig84a, S. 449].

⁵³Vgl. [Wig84a, S. 43].

⁵⁴Die Beschreibung des ursprünglichen Ansatzes der Materialbedarfsplanung ist in [Orl75] zu finden.

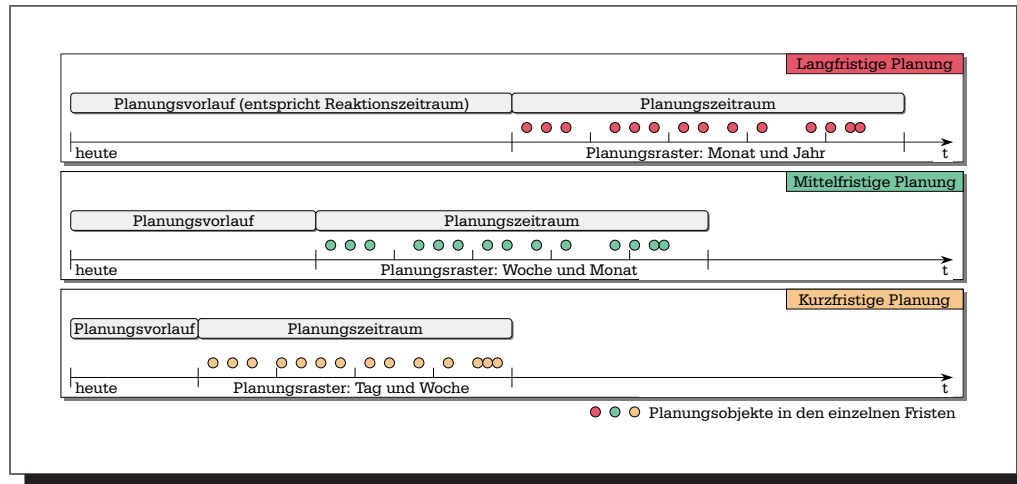


Abbildung 2.10: Fristen als Basis der Entwicklung des Closed Loop MRP

Planungszeitraum, wobei die Aufteilung in jedem Unternehmen unterschiedlich vorgenommen wird. Aus der Betrachtung unterschiedlicher Fristen entstanden die zusätzlichen Planungsebenen *Absatz- und Produktionsplanung* (SOP) in der langen Frist und die *Programmplanung* (MPS) in der mittleren Frist. Die MRP wurde somit um eine mittel- und langfristige Betrachtung erweitert. Motivation für die Ausdehnung des Planungshorizontes war die dadurch erzielte bessere Steuerbarkeit des Unternehmens im Sinne eines Agierens und weniger eines Reagierens. Die Ebenen stehen in ständiger Wechselbeziehung zueinander. Informationen werden sowohl top-down als auch bottom-up ausgetauscht, es entstanden *Regelkreise*. Das gesamte erweiterte Konzept wird deshalb als *Closed Loop MRP* bezeichnet. In der Abbildung 2.11⁵⁵ wird veranschaulicht, welche Ebenen unterschieden werden und wie sie interagieren. Weiterhin entwickelte sich eine „neue“ Engpassressource – die Kapazität. Konnten mit der Einführung der MRP die Bestände dramatisch verringert werden und damit implizit die Kosten gesenkt werden, so rückte jetzt die Kapazität als Ansatzpunkt für Rationalisierungspotenziale in den Mittelpunkt.

Unter Closed Loop MRP versteht *Oliver Wight*: „A term used to describe a system built around material requirements planning that also includes sales & operations planning, master scheduling, capacity planning, means for executing the capacity plans such as the input/output report for monitoring it, means for executing the material plans such as the dispatch list and the ven-

⁵⁵Vgl. [Wig93, S. 5].

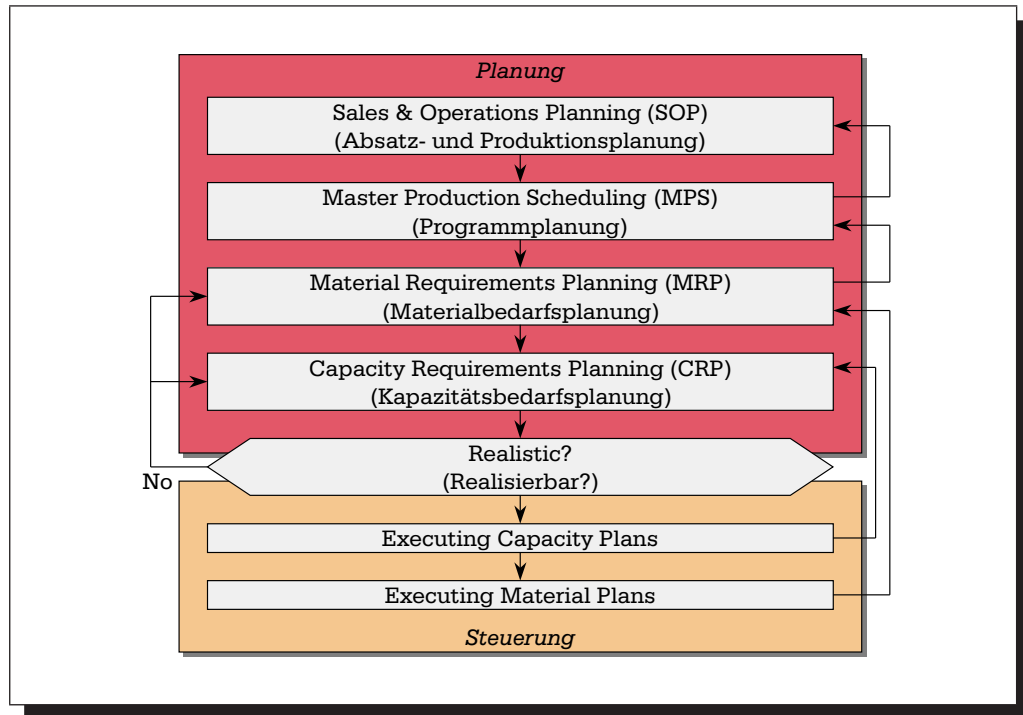


Abbildung 2.11: Schema des Closed Loop MRP

*... schedules. Implicit in the concept of a closed loop system is the feedback from the vendors and the shop floor using the input/output report and the anticipated delay report.*⁵⁷

Die Planung in der langen Frist erfolgt in der Absatz- und Produktionsplanung. Die Planung in dieser Planungsebene basiert auf der Betrachtung von *Produktgruppen*.⁵⁸ Der Grund für dieses Vorgehen ist der Zeitraum, der in der SOP betrachtet wird. Da dieser Zeitraum mehrere Jahre umfassen kann, ist es sinnvoll, die einzelnen Produkte aggregiert zu planen. Dadurch kommt es zu einer Glättung, die bei den Unsicherheiten der Planung der Absatzzahlen für ein einzelnes Produkt über mehrere Jahre hinweg zu verlässlicheren Zahlen führt. Auf einer höheren Aggregationsebene ist die Qualität der Planung besser, da es innerhalb von Produktgruppen Ausgleichseffekte gibt. Weiterhin lassen sich die Absatzchancen für Produktgruppen einfacher ermitteln.

⁵⁷Siehe [Wig84a, S. 442].

⁵⁸Im Original von [Wig84a] wird die SOP ausschließlich auf Enderzeugnisebene durchgeführt. In [Zäp96, S. 117] wird aber der Sinn der Planung auf Produktgruppenebene erklärt.

In der SOP werden im ersten Schritt die Absatzzahlen geplant. Diese Absatzplanung kann bspw. durch eine Prognose erfolgen. Basierend auf dem geplanten Absatz werden die dafür notwendigen Produktionszahlen ermittelt. Aus diesen langfristigen Planzahlen können *längerfristige Kapazitätsengpässe* abgeleitet werden. Damit bleibt genug Zeit für das Durchführen geeigneter Maßnahmen zur Glättung von Kapazitätsangebot und -nachfrage.

Aus der SOP werden die Zahlen an die Programmplanung weitergegeben. In der *Programmplanung* (MPS) werden die einzelnen Erzeugnisse geplant, was durch die Auflösung der Produktgruppenplanung in eine Produktplanung erfolgt. Die Primärbedarfe der Programmplanung sind die Basis für die Materialbedarfsplanung.

In der MRP entstehen *Beschaffungsaufträge* für den Einkauf oder direkt für die Fertigung. Während für die Fremdbeschaffung über Bestellungen ausschließlich Termine ermittelt werden, erfolgt für die Eigenbeschaffung über *Fertigungsaufträge* zusätzlich die Berechnung der Kapazitätsbedarfe. Diese sind die Basis für die Kapazitätsplanung. Ist die Fertigung realisierbar, wird die Planung umgesetzt, d. h., die Bestellungen werden an die Lieferanten übermittelt und die Fertigung wird durchgeführt. Ist die Fertigung aufgrund einer erhöhten Ressourcenbelastung nicht durchführbar, werden die Fertigungsaufträge in einem sukzessiven Prozess solange verschoben, bis die Fertigung realisierbar ist. Große Kapazitätsprobleme werden durch einen längerfristigen Kapazitätsabgleich in der SOP weitestgehend vermieden. Nach dem Eingang der Bestellungen und dem Durchführen der Fertigung erfolgt über den Informationsaustausch von „unten“ an die übergeordneten Planungsebenen die *Validierung* der Planungsbasis. Das bedeutet die Berücksichtigung der Änderungen der Lieferzeiten, der Preise usw. in der zukünftigen Planung.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die Kapazitätsplanung im Closed Loop MRP erstmals eine Überprüfung der Planung auf Realisierbarkeit ermöglicht. Zusätzlich führte der Einsatz von Regelkreisen zu einer permanenten Verfeinerung und Validierung der zukünftigen Planung. Ein Nebeneffekt war, dass die Flexibilität der Planung im Bereich der Fertigung erhöht wurde – eine erste wichtige Voraussetzung dieses Konzeptes zur späteren Planung in Netzwerken.

2.3.2 MRP II–Konzept

Mit dem Closed Loop MRP erreichte die Evolution der Planungssysteme in der Produktion ein sehr hohes Niveau. Auch in anderen Teilen eines Unternehmens entwickelten sich die Planungssysteme ständig weiter. Aber all

diese Systeme erfüllten nur Planungsfunktionen innerhalb der einzelnen Abteilungen. Das ist auch nicht verwunderlich, da das Organisationsprinzip wie bereits erwähnt stark tayloristisch orientiert war. Jede Abteilung hatte eine bestimmte Funktion zu erfüllen. Dabei war es weit verbreitet, das Tun anderer Abteilungen als uninteressant, nicht selten sogar als feindlich zu bewerten. Dieses Defizit beseitigt das MRP II-Konzept. Es bildet einen *konzeptionellen Rahmen* um alle Planungssysteme in einem Unternehmen und betrachtet alle Abläufe ganzheitlich. Das MRP II-Konzept im Ganzen wurde erstmalig als Buchform im Jahre 1984⁵⁹ vorgestellt.

Der entscheidende Schritt vom Closed Loop MRP hin zum MRP II-Konzept war die Vereinigung von *mengenbezogenen* und *wertbezogenen* Planungssystemen. Das betrifft hauptsächlich die Produktionsplanung und -steuerung und das Rechnungswesen. Vor der Zusammenführung beider Planungssysteme arbeiteten sie separat mit den gleichen Planungsobjekten nur mit dem Unterschied, dass unterschiedliche Dimensionen geplant wurden. Mit der Integration beider Planungssysteme führen Änderungen in der Planung des einen Systems unmittelbar zu Änderungen der Planungssituation des anderen Systems. Am Ende dieses Integrationsprozesses ist MRP II: „*a system that includes manufacturing, finance, marketing, engineering, purchasing, distribution – and certainly changes a lot of things for the data processing people.*“

Das MRP II-Konzept lässt sich wie folgt charakterisieren:

1. Das Produktionsplanungs- und -steuerungssystem und das Finanzsystem werden als ein System betrachtet. Sie nutzen dieselben Transaktionen und dieselben Zahlen. Die finanzwirtschaftlichen Zahlen sind nur eine Erweiterung der Zahlen des PPS-Systems.
2. Ein gutes System stellt grundsätzlich eine Simulation der Realität dar. Es kann dazu genutzt werden, die Ergebnisse bestimmter Entscheidungen zu simulieren.
3. Es ist ein unternehmensweites System, das alle Facetten des Geschäftes umfasst.⁶⁰

Technisch gesehen unterscheidet sich das MRP II-Konzept kaum vom Closed Loop MRP wie auch in der Abbildung 2.12 erkennbar ist. Die Erweiterungen beinhalten die Betrachtung der *Finanzwirtschaft* und die Einbeziehung der *Simulationskomponente*. Die entscheidende Änderung, die zu einer neuen

⁵⁹Das ist das Erscheinungsjahr der ersten Auflage von [Wig84b].

⁶⁰Vgl. [Wig84a, S. 53].

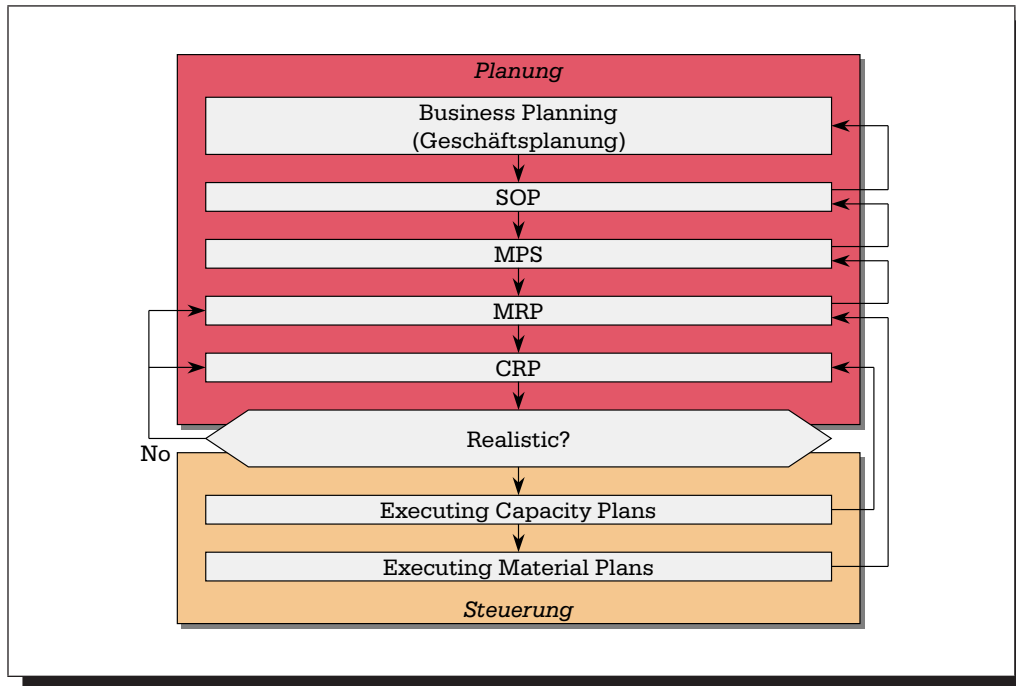


Abbildung 2.12: Erweiterung des Closed Loop MRP zum MRP II-Konzept⁶¹

Qualität der Planung führt, ist die *ganzheitliche Betrachtung* des Unternehmens. Diese kann aber nur mit einer Veränderung der Organisationsstrukturen des Unternehmens einhergehen. Denn bei einer ganzheitlichen Planung muss sich eine Abteilung für die Belange der anderen Abteilung interessieren. Die Planungssituation im Unternehmen verbessert sich durch die integrierte Betrachtung des Unternehmens erheblich. Die Planung ist durchgängig und unternehmensweit konsistent. Redundanzen innerhalb der Planung können vermieden werden.

2.3.3 Kritik am Schrifttum

Im Schrifttum werden die Begriffe MRP und MRP II sehr unterschiedlich definiert, was aufgrund der Originalliteratur sehr verwunderlich ist. Eine sehr enge Definition verwenden *Kistner* und *Steven*, die in MRP ein „*materialwirtschaftliches Planungsinstrument zur Stücklistenauflösung*“ sehen.⁶² Für *Zim-*

⁶¹Vgl. [Wig84a, S. 54].

⁶²Siehe [Kis93, S. 219].

mermann dient MRP zur „reinen Materialdisposition“. ⁶³ Beide Definitionen beschreiben das MRP als einzelne Planungsebene. *Obermeier* erweitert die Funktionen dieser Planungsebene um den Kapazitätsabgleich. ⁶⁴ Einen noch größeren funktionalen Umfang versteht *Hildebrand* unter MRP. Für ihn ist MRP mit dem funktionellen Umfang eines PPS-Systems gleichzusetzen. ⁶⁵ In *Vahlens Logistikklexikon* werden die MRP-Konzepte ebenfalls als *Basis* für die meisten in der Praxis verwendeten *PPS-Systeme* betrachtet. ⁶⁶ Beide Autoren meinen mit „ihrem“ MRP das Closed Loop MRP, denn im Sinne von *Oliver Wight* enthält ein PPS-System einige bzw. alle Planungsebenen des Closed Loop MRP.

Die meisten Autoren nehmen eine Trennung zwischen MRP und MRP II vor. Das MRP II wird als Rückkopplungssystem zwischen Materialdisposition und Kapazitätsplanung verstanden, in dem auch Rückkopplungen aus der Werkstattsteuerung bis hin zur Produktionsprogrammplanung möglich sind. ⁶⁷ Einige Autoren gehen hier etwas weiter und verstehen unter MRP II die „gesamte logistische Kette vom Vertrieb bis zur Beschaffung“. ⁶⁸ Als vollständige Bezeichnung für MRP II verwenden die meisten Autoren „*Manufacturing Resources Planning*“ ⁶⁹ oder „*Manufacturing Resource Planning*“ ⁷⁰. In einigen Literaturquellen werden die Begriffe MRP, MRP I und MRP II verwendet, aber unterschiedlich definiert. Zum einen wird MRP II als stufenweises PPS-System und MRP I als Materialbedarfs- und Bestellplanung definiert, wobei MRP II eine Weiterentwicklung des MRP I ist. ⁷¹ Unter dem MRP II-Konzept wird in den meisten Quellen ein Planungssystem für die Produktion verstanden, was dieses Konzept aber zu eng charakterisiert.

Die Darstellungen von *Much* ⁷² und *Teich* ⁷³ kommen dem MRP II-Konzept im Sinne von *Wight* am nächsten. Aus dem Text ist erkennbar, dass mit MRP I das Closed Loop MRP gemeint ist, und dass das Management Resources Planning die Einbeziehung anderer Planungssysteme des Unternehmens beschreibt. Die Struktur der Planung ist ebenfalls äquivalent zur Darstellung des MRP II-Konzeptes im Sinne von *Wight*. In den weiteren Ausführungen

⁶³Siehe [Zim89, S. 182].

⁶⁴Vgl. [Obe91, S. 47].

⁶⁵Vgl. [Mer93].

⁶⁶Vgl. [Blo97, S. 732].

⁶⁷Vgl. hierzu [Sch88, S. 275] und [Cor92, S. 438].

⁶⁸Siehe [Hei89, S. 112].

⁶⁹Siehe [Sch95a, S. 522].

⁷⁰Siehe [Blo97, S. 732].

⁷¹Vgl. [Blo97, S. 733].

⁷²Siehe [Muc95, S. 175].

⁷³Siehe [Tei98b, S. 27 ff.].

wird MRP I synonym für Closed Loop MRP verwendet. In Abbildung 2.13 werden die Planungsbestandteile mit den anderen Akronymen dargestellt.

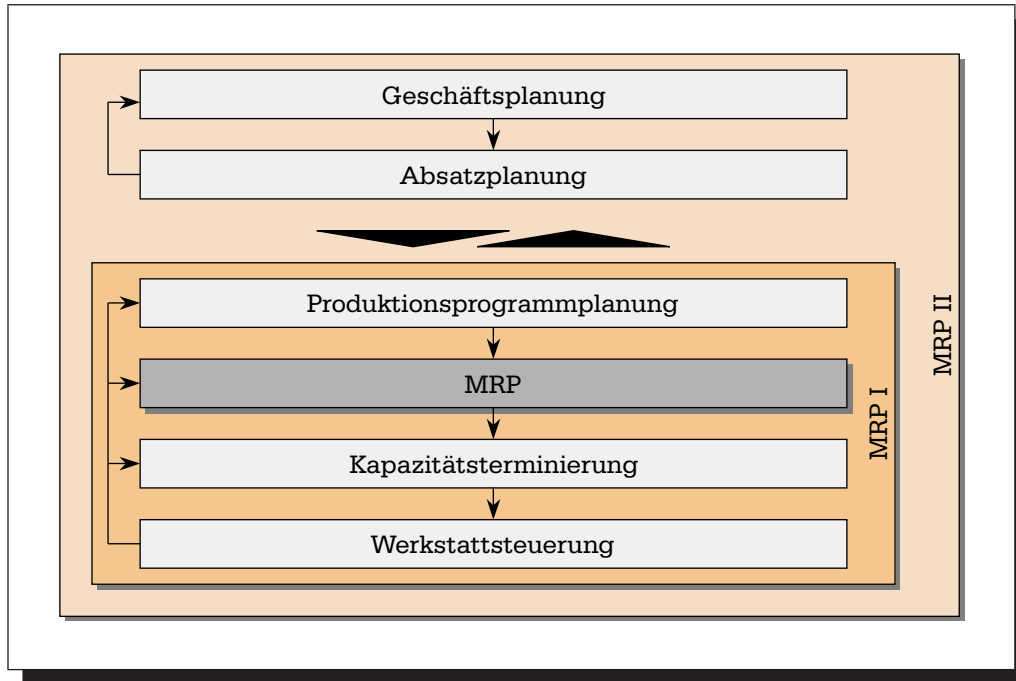


Abbildung 2.13: Unterschiedliche Begriffe für das gleiche Konzept

Das von *Mertens* vorgestellte Konzept der „Integrierten Informationsverarbeitung“⁷⁴ ist vom Ansatz her dem MRP II-Konzept ebenfalls sehr ähnlich. Es ist erkennbar, dass es eine Reihe von unterschiedlichen Definitionen für MRP-Konzepte gibt. Ursache dieser Definitionsprobleme könnte die nicht eindeutige Verwendung der Begriffe in der Primärliteratur sein:

*„In normal conversation, we speak of New York without defining whether we are referring to Manhattan, the greater New York City area, or New York State. The context of the conversation usually conveys the meaning clearly. So the term 'MRP' will be used without defining whether it is Material Requirements Planning, Closed Loop MRP, or MRP II; unless that is required to clarify the meaning of the text.“*⁷⁵

⁷⁴Vgl. dazu [Mer93].

⁷⁵Siehe [Wig84a, S. XVII].

2.3.4 Lösungsansätze durch das MRP II-Konzept

Im MRP II-Konzept ist dato das wichtigste Werkzeug zur Lösung des Dilemmas der Produktionswirtschaft die Simulation. Eine Simulation wird angewendet, wenn die Lösung eines exakten mathematischen Modells einen unverhältnismäßig hohen Rechenaufwand verursacht.⁷⁶ Andere Methoden werden im MRP II-Konzept nicht erwähnt. *Wight* schreibt sogar über die „*automatic creation of some computer decision rules*“:

„Some theoreticians have suggested that the sales forecast, ... etc., could be fed in a computer algorithm that would create an 'optimized' master schedule automatically. ... There is no way to delegate anything this important to a computer.“⁷⁷

In diesem Fall bezieht er sich ausschließlich auf die Programmplanung. Diese Quelle zeigt aber die grundlegende Einstellung von *Wight* zur Optimierung. In keiner Ebene des MRP II-Konzeptes werden durch ihn Möglichkeiten der computerbasierten, automatischen Generierung von Vorschlägen beschrieben. Damit wird klar, dass dieses Konzept ungeeignet als Baustein einer wertschöpfungsübergreifenden Planung ist. Das Closed Loop MRP beschreibt nur einen Rahmen, in dem die Planung und Steuerung ablaufen sollen. Dieser Rahmen ist sukzessive angelegt, wodurch die Komplexität der Produktionsplanung und -steuerung reduziert wird. Durch die notwendige Zerlegung in Planungsebenen kann jede Ebene isoliert betrachtet werden, was die Planung vereinfacht. Das führt aber auch zur Einschränkung der Freiheitsgrade in der Planung unterer Planungsebenen. Durch das Anlegen einer Planungsarchitektur in den MRP-Konzepten werden die anfallenden Daten *strukturiert* und *verwaltet*. Sie helfen also, Entscheidungen leichter zu treffen, da alle relevanten Daten abrufbar sind. Das nützt bei hochkomplexen Problemen aber nicht viel, weil dabei *keine Entscheidungsvorschläge* ermittelt werden. Auch die Möglichkeit der Simulation hilft an dieser Stelle nicht, da diese selbst unstrukturiert und nur willkürlich erfolgt. Größter zu übender Kritikpunkt ist ein Effekt, der in den 80er Jahren zu einer Verschlechterung im Sinne der Ziele der Produktionswirtschaft sorgte – das Durchlaufzeiten-syndrom⁷⁸. Die Arbeitsvorbereitung plante alle Arbeitsvorgänge mit Pufferzeiten. Im PPS-System wurden zusätzliche Puffer- und Sicherheitszeiten aufgeschlagen, wodurch die Durchlaufzeit, deren Streuung und damit der Bestand stiegen. Die Arbeiter schafften es nicht mehr planmäßig zu fertigen, wodurch in der nächsten Planung mehr Pufferzeiten eingeräumt wurden usw.

⁷⁶Vgl. [Sel88, Sp. 1481 f.].

⁷⁷Siehe [Wig84a, S. 152].

⁷⁸Vgl. [Wie97, S. 253 f.].

Dieser Effekt wird auch Fehlerkreis der Produktionssteuerung genannt.

Trotz aller theoretischen und praktischen Kritik an diesem Planungskonzept bildete und bildet es das Rückgrat der EDV-gestützten Planung im Unternehmen.

2.3.5 Implementierung

Diese Arbeit versteht sich nicht als Marktüberblick zu bestehender Software oder Anbieter dieser. Dennoch erscheint es an einigen Stellen sinnvoll, den Stand der Praxis aufzuzeigen. Als repräsentativer Vertreter solcher Systeme dient das *SAP/R3*-System. Aufgrund der Marktstellung und der enormen Entwicklungskapazitäten von *SAP* im Bereich von ERP und SCM erscheint diese Wahl als durchaus gerechtfertigt.

Schon die Beschreibung einzelner Funktionalitäten des *SAP R/3*-Systems würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es soll ausschließlich gezeigt werden, inwieweit im *R/3*-System das MRP II-Konzept implementiert ist. Dabei ist schon am *Grundablauf der Logistik*, der in Abbildung 2.14 dargestellt wird, zu erkennen, dass sich die Implementierung an den Aufbau des MRP II-Konzeptes anlehnt.

In der Pyramide laufen die Planungsprozesse ab. Sie beginnen bei der Absatz- und Produktionsgrobplanung, gehen dann über die Produktionsplanung bis hin zur Materialbedarfsplanung. An die Materialbedarfsplanung schließen sich die Ebenen der Steuerung an. Das sind zum einen die Fertigungssteuerung und zum anderen die Kapazitätsplanung, die den Übergang zwischen Planung und Steuerung kennzeichnen. Diese Ebenen sind im *R/3*-System Bestandteile des Moduls Produktionsplanung (PP). Die externe Beschaffung erfolgt in der Materialwirtschaft. Diese Planungs- und Steuerungsebenen entsprechen den Ebenen des Closed Loop MRP. Das *SAP R/3*-System kann als MRP II konform bezeichnet werden, was sich vor allem durch die integrierte Betrachtung von Mengen- und Werteflüssen begründen lässt. Für Unterschiede, die durch die Implementierung entstanden, sei auf die Literatur verwiesen.⁷⁹

Die Grundidee des MRP II-Konzeptes ist im *R/3*-System umfassend implementiert. Dabei wurde der Grundablauf der Logistik, der grundsätzlich

⁷⁹Eine sehr umfangreiche Darstellung der Konformität des *SAP R/3*-Systems mit dem MRP II-Konzept ist in [Sch98g, Sch00e] enthalten. Darüber hinaus sind zu einzelnen Teilbereichen auch in [Gro97] und [Gro95] Analysen enthalten. Zusätzlich bestätigt diese Aussage der PPS-Marktüberblick in [Fan97].

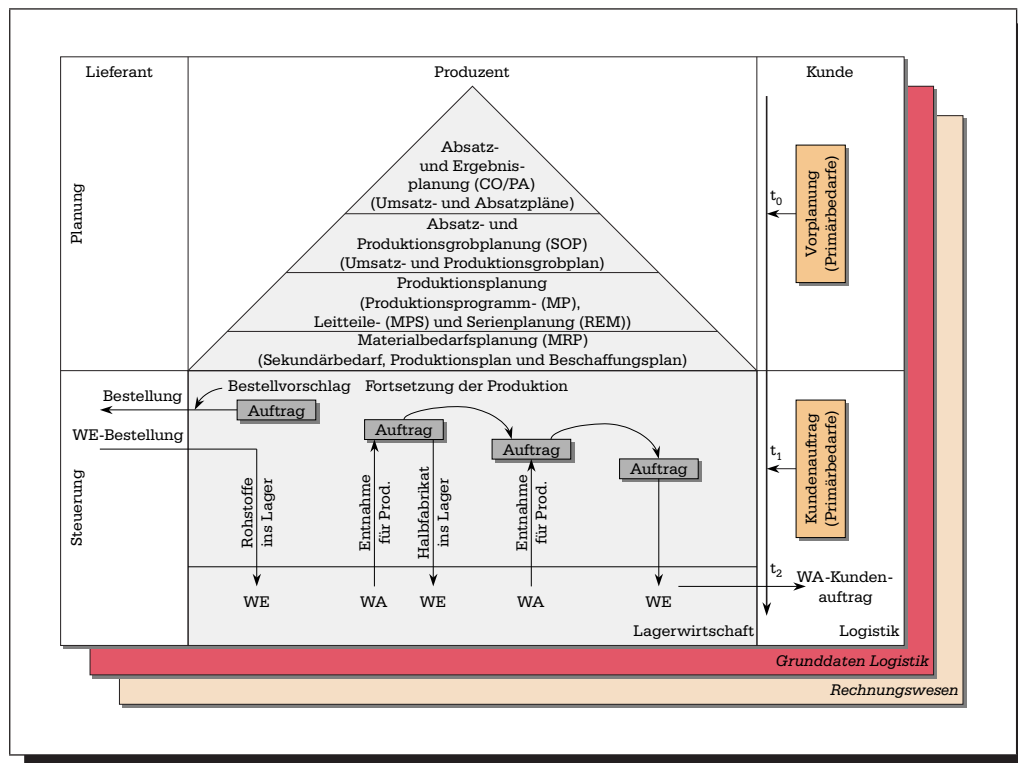


Abbildung 2.14: Grundablauf Logistik

die Module MM, PP und SD berührt, im Sinne des closed loop MRP abgebildet. Die Ergebnisse einer Planungsebene sind die Ausgangsbasis für die nächste Planungsebene, es wird somit sukzessive vorgegangen. Die Planungsdaten werden in erster Linie top-down verarbeitet, wobei die Beeinflussung „höherer“ Planungsebenen durch „niedere“ Planungsebenen möglich ist. Bei der Planung werden die Planer durch Simulationsfunktionen unterstützt, die auch wichtige Bestandteile des MRP II-Konzeptes sind. Dadurch ist es frühzeitig möglich, Verfügbarkeitsprobleme zu erkennen und zu bearbeiten. Die Abbildung des Grundablaufes der Logistik ist allerdings nur ein Teil des R/3-Systems, mit dessen Hilfe alle Planungs- und Steuerungsprozesse eines Unternehmens abgedeckt werden können.

Das R/3-System ist eine ganzheitliche, unternehmensweite betriebswirtschaftliche Standardsoftware, dessen Funktionalität den Anforderungen des MRP II-Konzeptes entspricht. Die Vorteile der Planung mit Hilfe des R/3-Systems entsprechen dabei den Vorteilen, die bei der Nutzung des MRP II-Konzeptes entstehen. Gleiches gilt für die Nachteile.

2.3.6 Fertigungssteuerung als wichtiger Bestandteil

Die Prozessplanung⁸⁰ als wichtiger relevanter Teil in einer Netzwerkplanung wird ebenso als *Ablaufplanung* bezeichnet und beinhaltet im weiteren Sinne die Losgrößenplanung, die Terminplanung und die Reihenfolgeplanung. Diese durchzuführenden Aufgaben werden aufgrund der diesen Problemen innewohnenden Komplexität in MRP-II-konzipierten Systemen sukzessiv durchführt, obwohl eine Simultanplanung angebracht wäre.

Innerhalb dieses operativen Planungsschrittes erfolgt die zeitliche Koordination des Produktionsprozesses, insbesondere die Zuordnung von Bearbeitungsvorgängen zu Maschinen und die Bestimmung von Reihenfolgen. An dieser Stelle der Planung beziehen sich PPS-Systeme nur noch auf die Aufträge innerhalb des Produktionsprogramms, die bereits in die Fertigung gegeben werden müssen, um die Liefertermine fristgerecht erfüllen zu können⁸¹. Bei Erfüllung der Bedingung, dass alles notwendige Material für die Aufträge zur Verfügung steht, erfolgt die *Auftragsfreigabe*. Diese kann als eigentliche Schnittstelle zur Feinsteuerung angesehen werden. Herkömmliche Leitstände oder Werkstattmeister selbst erhalten die Information über den aktuellen Arbeitsvorrat, der aus diesen freigegebenen Aufträgen besteht, in der Regel aus dem PPS-System und führen danach selbstständig ihre Feinterminierung durch, deren Aufgaben kurz dargestellt werden sollen.

Losgrößenplanung: Unter Berücksichtigung vorgegebener Zielsetzungen wird entschieden, ob eine Zusammenfassung von Losen oder die Hintereinanderabfertigung bestimmter Aufträge zweckmäßig ist.

Terminplanung: Die Terminplanung umfasst zwei Teilaufgaben: die Durchlauf- und die Kapazitätsterminierung.

Die *Durchlaufterminierung* ermittelt für jeden Auftrag früheste und späteste Start- und Endtermine der Arbeitsgänge sowie deren Pufferzeiten. Sie benutzt verschiedene Verfahren der Netzplantechnik (CPM, PERT)⁸² und konzentriert sich dabei nur auf zeitliche Aspekte ohne Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitäten. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt keine Optimierung der Reihenfolge der Arbeitsgänge auf den

⁸⁰Synonym werden folgende Begriffe benutzt: Ablaufplanung, Durchführungsplanung, Feinplanung, Feinterminierung.

⁸¹Das sind in der Regel die Aufträge, deren spätester Starttermin innerhalb des Planungshorizontes liegt oder welche besondere Prioritätskennzeichen tragen.

⁸²Siehe u. a. [Sch92b, S. 649 ff.].

Betriebsmitteln. Die Information über technologische Arbeitsgangreihenfolgen, die zu berücksichtigenden Zeiten und die zu produzierende Menge wird den aktuellen Arbeitsplänen entnommen.

Die terminliche Bestimmung der auftragsfixen Zeitanteile stellt in der Praxis ein besonderes Problem dar. Da die Durchlaufzeit abhängig vom derzeitigen Maschinenstatus ist und sowohl die Belegungs- als auch die Reihenfolgeplanung noch nicht vollzogen sind, d. h. bisher nur auf Maschinengruppenniveau geplant wurde, muss mit einer neutralen Rüstzeit gerechnet werden. Die exakte Rüstzeit kann erst nach dem Vorliegen des Belegungsplans ermittelt werden⁸³.

Die *Kapazitätsterminierung* führt ausgehend von den ermittelten Ergebnissen der Durchlaufterminierung einen operativen Kapazitätsabgleich, d. h. einen Abgleich zwischen Kapazitätsangebot und -bedarf, durch. Dazu werden zuerst die Zeitanteile sämtlicher Arbeitsgänge an gleichen Betriebsmitteln periodengerecht zugeordnet und aufsummiert. Als Ergebnis entsteht für jedes Betriebsmittel ein Belastungsprofil über der Zeit, bei dem eine partielle Überlastung bei gleichzeitiger Unterbeschäftigung feststellbar sein könnte⁸⁴. Die Kapazitätsterminierung versucht, solche Bedarfsspitzen temporär auszugleichen, indem innerhalb der vorgegebenen Pufferzeiten die Arbeitsgänge zeitlich in Richtung geringerer Auslastung verschoben werden. Sind die Pufferzeiten zu klein, um eine Harmonisierung der Beschäftigung herbeizuführen, werden Kriterien wie Vertragsstrafen oder Bedeutung eines Kunden für das Unternehmen in die Betrachtung einbezogen. Diese Vorgehensweise lässt sich in der Praxis häufig nicht von der Reihenfolgeplanung unterscheiden. Ein bekanntes Verfahren ist die *Retrograde Terminierung mit Kapazitätsabgleich*⁸⁵.

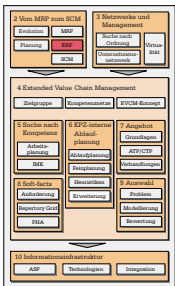
Reihenfolgeplanung: Nach Durchführung der Auftragsfreigabe (bei praktisch gleichzeitiger Zuordnung von Arbeitsgängen zu den Betriebsmitteln durch ein PPS-System) muss der Meister vor Ort festlegen, in welcher Reihenfolge der Arbeitsvorrat je Betriebsmittel abzuarbeiten ist. Diese Tätigkeit wird als Ablaufplanung im engeren Sinne bezeichnet oder auch als *Klassische Ablaufplanung*. Das Festlegen der Reihenfolge ist in der betriebswirtschaftlichen Terminologie auch als *Sequencing* bekannt.

⁸³Siehe [Wil87, S. 26].

⁸⁴Ist eine generelle Überlastung gegeben, liegt ein Mangel bei der ordnungsgemäßen Durchführung der Bereitstellungsplanung für Betriebsmittel vor.

⁸⁵Zum Verfahren der Retrograden Terminierung siehe u. a. [Ada92, S. 245 ff.] und [Kä02a, S. 302 ff.].

Nach Festlegung der Reihenfolge kann eine exakte zeitliche Verteilung der Arbeitsgänge auf der konkreten Maschine vorgenommen werden. Beide Tätigkeiten zusammen werden auch als *Maschinenbelegungsplanung* oder *Scheduling* bezeichnet⁸⁶. Art und Schwierigkeitsgrad der zu lösenden Probleme werden maßgeblich durch die Produktionsform⁸⁷ beeinflusst⁸⁸. Speziell bei Einzel- und Kleinserienfertigung innerhalb der Werkstattfertigung besitzen Reihenfolgeprobleme ihre größte Komplexität.



2.4 ERP-Konzept

Das Ziel dieses Abschnittes soll sein, die konventionellen Planungs- und Steuerungskonzepte des Enterprise Resource Planning (ERP) zu untersuchen, die einerseits theoretisch existieren und andererseits in der Praxis Anwendung finden. Dabei werden neben etablierten Ansätzen auch neuere Entwicklungen, wie das Supply Chain Management, auf ihre Eignung zur Bewältigung der Probleme der Produktionswirtschaft untersucht. Es sollen sowohl die Unterschiede als auch die Gemeinsamkeiten beider Konzepte herausgearbeitet werden, wobei die Herkunft der Konzepte beide Ansätze miteinander verbindet. Beginnen soll die Untersuchung mit einem kurzen Überblick zu ERP-Systemen⁸⁹. In Abbildung 2.15 wird die Evolution zum ERP mit den wichtigsten Stadien im Zeitverlauf dargestellt.

Interessanterweise hält es seit Mitte der 90er Jahre kein Hersteller bzw. Vertrieber von betriebswirtschaftlicher Standardsoftware mehr für vorteilhaft, mit der MRP II-Konformität zu werben. Die Ursache dafür ist, dass der Markt mit dem neuen Paradigma ERP konfrontiert wurde. Es wird sich zeigen, dass ERP im Ganzen eine konsequente Weiterentwicklung klassischer MRP-Ansätze und dass mit ERP noch lange nicht das Ende der Evolution erreicht ist.⁹¹ Zusätzlich soll untersucht werden, ob das Akronym ERP im Speziellen ein grundlegend neuer Ansatz, eine Weiterentwicklung oder gar nur eine Umdeklarierung ist.

⁸⁶Siehe [Dom93, S. 16 ff.].

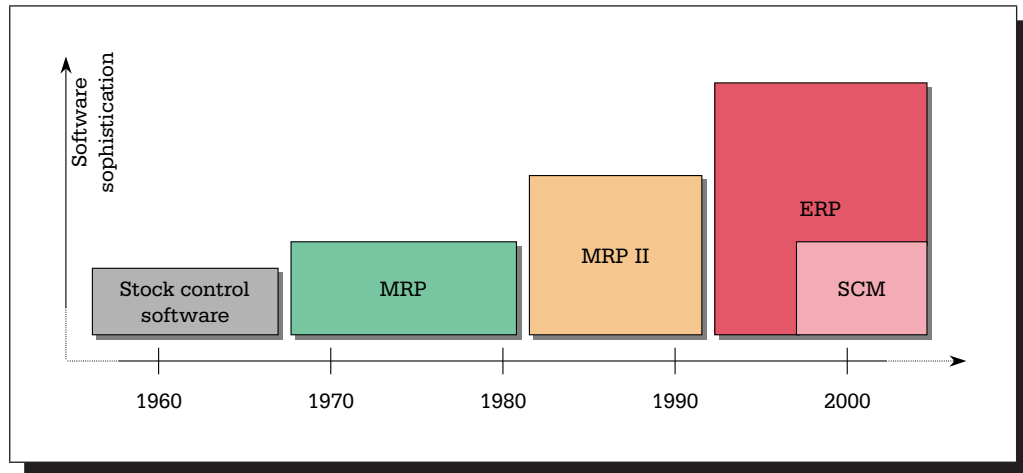
⁸⁷Z. B. Anordnungstyp oder Repetitionstyp.

⁸⁸Siehe [Kra94, S. 11 ff.].

⁸⁹Der Abschnitt entstand in Zusammenarbeit mit *Schwarz*. Siehe u. a. [Sch00e].

⁹⁰Übernommen aus [Qua99, S. 2].

⁹¹Eine sehr detaillierte Darstellung der Entwicklung der Informationssysteme in der Produktionsplanung und -steuerung ist in [Plo95] im Kapitel 1 enthalten. Der Autor beginnt die Darstellung der Evolution bereits mit der Erwähnung erster Ansätze im Jahr 1915.

Abbildung 2.15: Die Evolution zum ERP⁹⁰

2.4.1 Die Motivation für die Fortsetzung der Evolution

„The industry we now know as Enterprise Resource Planning, or ERP, was born in the early 1960s from a collaborative effort between two innovators: J. I. Case, ... and its partner IBM, Several of the innovators from IBM, Joe Orlicky, George Plossl and Ollie Wright, were intent on creating a structured methodology for planning and scheduling materials for complex manufactured products.“⁹²

Wie diese und auch andere Quellen zeigen, ist die Enterprise Resource Planning (ERP) die Fortsetzung der in Abbildung 2.15 dargestellten Evolution. Was sind die neuen Inhalte dieser Entwicklung? Obwohl im MRP II-Konzept alle Planungsfelder bzw. Ressourcen eines Unternehmens integriert wurden, existierten eine Reihe von Schwachstellen⁹³, die an dieser Stelle kurz enumeriert werden:

1. MRP im MRP II-Konzept hat eine zu große Priorität, so werden zuerst die Materialien geplant und danach die verbleibenden Ressourcen. Die Annahme ist, dass die Materialien die primäre Ursache für die Engpässe darstellen. Das Problem liegt somit an der Art der Integration der MRP in die anderen Planungssysteme, was im MRP II-Konzept hierarchisch ist und nicht vernetzt.⁹⁴

⁹²Zitat aus [Cus98] entnommen.

⁹³Vgl. [Yao99].

⁹⁴Vgl. [Fle98, S. 52].

2. Bei der Planung innerhalb der MRP wird sukzessiv vorgegangen, obwohl in der Realität die sukzessiv geplanten Ebenen eine Reihe Interdependenzen aufweisen.⁹⁵
3. Durchlaufzeiten sind im MRP-Modell fix und deterministisch (was vor allem zum Durchlaufzeitensyndrom führt), wohingegen die Durchlaufzeiten in der Realität variabel und stochastischer Natur sind.⁹⁶
4. Bei der MRP-Modellierung von *Orlicky* sind keine Lieferantenrestriktionen, Distributionsrestriktionen und Handlingrestriktionen enthalten, wodurch es passieren kann, dass auf Lager produziert wird, ohne dass ausreichend Lagervolumen vorhanden ist (vgl. auch Punkt 1).⁹⁷
5. MRP-Läufe berücksichtigen keine Kapazitätsrestriktionen, d. h., unbegrenzte Kapazitäten werden unterstellt.⁹⁸
6. Geschäftsprozesse werden nur unternehmensweit betrachtet, aber nicht unternehmensübergreifend.
7. Der Fertigungssektor wird zu stark betont, obwohl sich aktuell der Wandel zu einer Dienstleistungsgesellschaft vollzieht.
8. Fehlende Integration neuartiger Technologien wie Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing, Computer Integrated Manufacturing und anderer CAx-Techniken.

Aufgrund der dargestellten konzeptuellen Schwächen wurde Anfang der 90er Jahre⁹⁹ eine Erweiterung vorgestellt – das Enterprise Resource Planning.

2.4.2 Anforderung an ERP

Damit ein ERP-System überhaupt das Potenzial hat, die Schwachpunkte des MRP II-Konzeptes zu beseitigen, muss es folgende Charakteristika besitzen:¹⁰⁰

⁹⁵Siehe Kapitel 3.2.3 [Sch98g, S. 38]. Hier ist zu erkennen, dass innerhalb des MRP bspw. die Losgrößenplanung nur einstufig möglich ist.

⁹⁶Vgl. [Wed99, S. 14].

⁹⁷Vgl. dazu [Fle98, S. 54].

⁹⁸Vgl. [Tut99].

⁹⁹Vgl. [Yao99].

¹⁰⁰Eine Auswahl aus [Tut99].

Flexibel: Da die Unternehmensumwelt sehr viele Chancen und Risiken beinhaltet, muss ein Unternehmen schnell reagieren können, um Chancen zu nutzen und Risiken zu vermeiden. Genauso flexibel wie das Unternehmen muss auch das Planungssystem sein.

Modular und offen: ERP-Systeme benötigen eine offene Systemarchitektur. Damit muss u. a. ein Einsatz auf unterschiedlichen Hardwareplattformen möglich sein. Zusätzlich müssen die Komponenten von ERP-Systemen austauschbar sein. Das liegt zum einen an der geforderten Flexibilität und zum anderen auch an der Branchenneutralität, die angepasste Module für unterschiedliche Geschäftsbereiche verlangt.

Umfassend: ERP-Systeme müssen die Vielseitigkeit von Prozessen und Organisationsformen im Unternehmen abbilden können. D. h., alle Aktivitäten eines Unternehmens sind in einem Planungssystem integriert.

Unternehmensübergreifend: Der Betrachtungsbereich sollte nicht an den Unternehmensgrenzen enden. Damit muss die Planungssituation anderer Unternehmen ins ERP-System des eigenen Unternehmens integriert werden.¹⁰¹

Die Architektur des neu entwickelten Konzeptes setzt sich aus den Bestandteilen, die in Abbildung 2.16(a) dargestellt werden, zusammen.¹⁰²

Die bestehenden MRP II-Komponenten wurden somit anfänglich ausschließlich um neue EDV-Komponenten erweitert. Diese Architektur zeigt aber nur die funktionale Seite des Planungskonzeptes. Die Hauptprozesse, die abgedeckt werden, sind in Abbildung 2.16(b)¹⁰³ enthalten.

Größter Unterschied zum MRP II-Konzept ist die Ausdehnung der Unternehmensfokussierung. Während MRP II hauptsächlich von produzierenden Unternehmen anwendbar ist, lässt es sich mit zum Teil erheblichen Modifikationen auch in anderen Branchen nutzen. Dort deckt es in produzierenden Unternehmen auch nur einen Teil der Geschäftsprozesse ab. ERP hingegen ist ein *branchenunabhängiges* Konzept, das im MRP II-Teil auch durch andere Konzepte ersetzt werden kann.

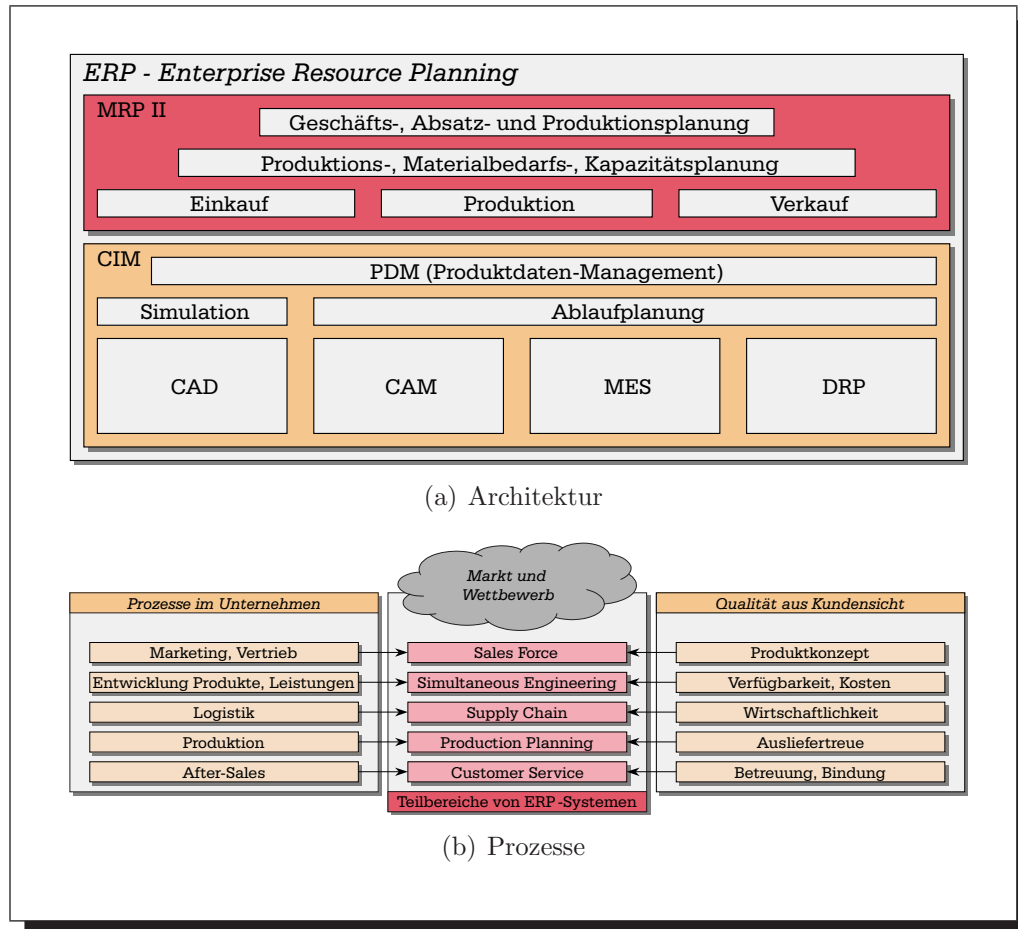
Da aber das ERP in diesem Stadium der Evolution im Kern immer noch aus dem MRP II-Konzept besteht, existieren weiterhin die Probleme 1) bis 6).¹⁰⁴ Nur die Probleme 7) und 8) wurden durch die neue Architektur gelöst.

¹⁰¹Diese Anforderung war in diesem Stadium der Evolution noch nicht interessant. Bedeutung bekommt sie erst in einem späteren Stadium der Evolution.

¹⁰²Dabei ist anzumerken, dass diese Bestandteile aufgrund der Modularität, Offenheit und Flexibilität durchaus anders definiert werden können.

¹⁰³Die Abbildung wurde modifiziert aus [Uni99] übernommen. Vgl. außerdem [Jun99b, S. 60].

¹⁰⁴Vgl. [o.V99].

Abbildung 2.16: Aufbau eines ERP-Systems¹⁰³

Um auch die verbleibenden Kritikpunkte am MRP II-Konzept zu beseitigen, ist eine Abkehr von der bisherigen Denkweise nötig. Die gesamten Planungsfunktionen innerhalb des ERP, die auf der Denkweise der MRP-Konzepte basieren, müssen konzeptionell verändert werden. Selbst die stärksten Verfechter des „MRP II-Evangeliums“¹⁰⁵, die Mitglieder der American Production and Inventory Control Society (APICS), beginnen damit, neue Ansätze in der Produktionsplanung und -steuerung zu akzeptieren.¹⁰⁶ Mit

¹⁰⁵Diese Bezeichnung entstammt einer mit spitzer Feder geführten Kritik [Sch99b, S. 17] an den Vertretern der APICS's und deren Dogma des MRP II, die gemeinsam mit O. Wight der „automatic creation of some computer decision rules“ über Jahre keine Chance auf einen praktischen Einsatz gaben.

¹⁰⁶Vgl. [Sch99b, S. 17].

den „neuen“¹⁰⁷ Ansätzen sind Verfahren des Operations Research gemeint, also bspw. die klassische lineare Optimierung oder die Ablaufplanung mit beschränkten Kapazitäten. Weiterhin sind die so genannten *Advanced Planning and Scheduling* Systeme (APS)¹⁰⁸ zu den MRP inkompatiblen Planungssystemen zu zählen. Damit vollzieht sich ein Wandel von der sukzessiven Denkweise zu einer *simultanen Sicht* der Probleme *im gesamten Unternehmen*. Die Änderung der Sichtweise führt aber nicht zwingend zu einer Lösung. So können zwar aufgrund der rasanten Entwicklung der Rechentechnik und der Verbesserung der Lösungsalgorithmen für bestimmte Probleme immer komplexere Aufgaben gelöst werden, doch trotz dieser Fortschritte ist die simultane Planung des gesamten Unternehmens nach wie vor eine Vision.¹⁰⁹ Aus diesem Grund wird es in Zukunft eine *Kombination* aus sukzessiven und simultanen Ansätzen geben. Diese könnten im einfachsten Fall derart aufgebaut sein, dass als Rahmenkonzept einer ersten Ausbaustufe weiterhin das MRP II-Konzept fungiert, auf den einzelnen Ebenen aber simultan geplant wird. So könnten innerhalb der Materialbedarfsplanung bspw. Modelle zum dynamischen Mehrproduktlosgrößenproblem¹¹⁰ eingesetzt werden.

Durch den Einsatz neuer Planungsmethoden, die nicht mehr ausschließlich auf einer Sukzessivplanung basieren, lässt sich ERP wie folgt definieren:

Enterprise Resource Planning: Das Enterprise Resource Planning ist ein unternehmensübergreifendes, branchenneutrales sowie modulares Konzept, das die Planung und Steuerung aller betrieblichen Ressourcen ermöglicht. Dazu bedient es sich in Abhängigkeit von der praktischen Einsetzbarkeit sowohl sukzessiver als auch simultaner Ansätze.

Durch die Aufgabe des sukzessiven Paradigmas und die sehr allgemein gefasste Definition hat ERP zumindest theoretisch das Potenzial, die Probleme 1) bis 5) zu lösen. Inwieweit die Probleme in der konkreten Implementierung der einzelnen Hersteller von ERP-Lösungen auch tatsächlich berücksichtigt werden, kann nicht abschließend beurteilt werden. Das liegt zum großen Teil an der sehr weiten Definition von ERP, die sehr große Spielräume bzgl. der Implementierung zulässt. Erfahrungen, die in der Literatur dokumentiert sind¹¹¹, zeigen, dass eine theoretische Untermauerung des ERP-Konzeptes mit Methoden zur Simultanplanung großflächig fehlen. Das Defizit von ERP-Systemen zur unternehmensübergreifenden Planung der Wertschöpfungskette stützt diese These.

¹⁰⁷Der Autor möchte an dieser Stelle nur anmerken, dass der überwiegende Teil der Verfahren des Operations Research seinen Ursprung in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts hatten.

¹⁰⁸Vergleiche zum Begriff des APS [Wol99, S. 157], [Bec99, S. 169] und [Jen99, S. 33].

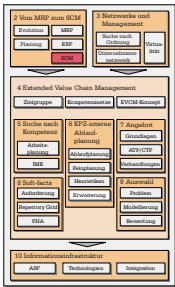
¹⁰⁹Vgl. [Fle98, S. 56].

¹¹⁰Vgl. [Tem99, S. 138 ff.].

¹¹¹Siehe u. a. [Wil00].

Im Folgenden soll auf eine Erweiterung des ERP-Konzeptes näher eingegangen werden, die sich stark von traditionellen EDV-gestützten Planungskonzepten unterscheiden. Der nachfolgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem *Supply Chain Management* (SCM), einem Schlagwort, dem in Zukunft eine große Bedeutung bei der Planung und Kontrolle der unternehmensübergreifenden Logistik zugesprochen wird.¹¹² Im Rahmen dieser Ausführungen wird das offene Problem – Nummer 6) – betrachtet.

2.5 SCM-Konzept



Die Definition des Begriffs SCM ist sehr problematisch, da allein *Bechtel*¹¹³ 17 verschiedene Begriffsdefinitionen aufführt. Der Autor verwendet aus den vielen möglichen Definitionen die Folgende, da sie die Meinung der Mehrheit anderer Autoren widerspiegelt.

Supply Chain Management: SCM ist die ganzheitliche, kundenorientierte Betrachtung von Geschäftsprozessen von den ursprünglichen Zulieferern bis zum Endkunden. Es umfasst dabei alle strategischen und operativen Maßnahmen zur effizienten und effektiven Koordination aller inter- und intraorganisatorischen Material- und Warenflüsse.¹¹⁴

SCM beschäftigt sich mit der Koordination des innerbetrieblichen Auftragsdurchlaufs und der überbetrieblichen *Lieferkette* und geht damit über die unternehmensbezogene Betrachtungsweise hinaus, welche vor allem in den MRP-Konzepten im Mittelpunkt stand. Der Begriff Lieferkette ist dabei von *Logistikkette* abzugrenzen, denn wenn die Rede von Supply Chain Management ist, dann ist eine geschäftsprozessübergreifende Behandlung der einzelnen Schritte der Lieferkette gemeint.¹¹⁵ Der Begriff der Supply Chain vermittelt ein falsches Bild der Situation, mit der sich beim SCM beschäftigt wird. Die damit suggerierte Bedeutung der Linearität ist in der Praxis nicht anzutreffen. Aus diesem Grund wären als Bezeichnungen *Supply Chain Network* oder *Supply Web*¹¹⁶ zutreffender.¹¹⁷

¹¹²Für SCM-Software wird gelegentlich auch das Akronym XRP für Extended Enterprise Resource Planning genutzt (vgl. [Kno00, S. 22]).

¹¹³Siehe [Bec97].

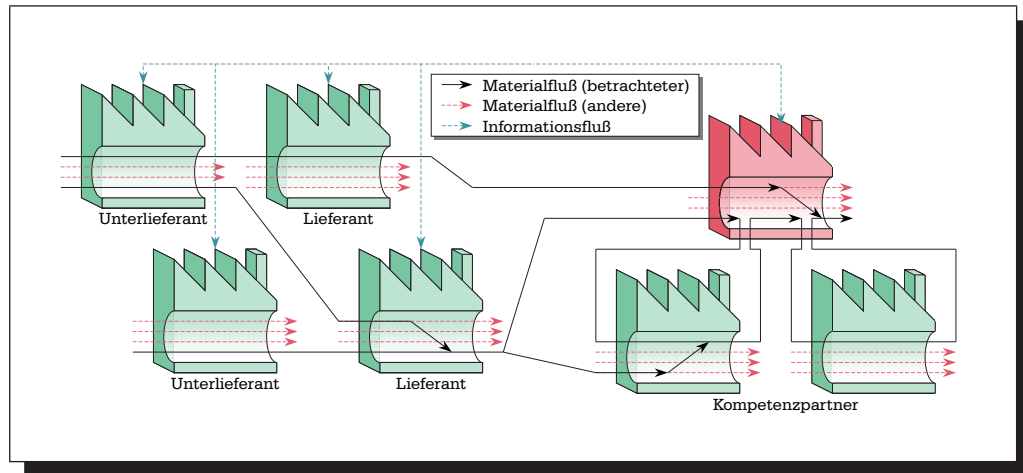
¹¹⁴Eine zusätzliche Basis für die gewählte Definition ist [Jen98] und [Kü99, S. 28].

¹¹⁵Vgl. [Kur99, S. 347].

¹¹⁶Vgl. [Kno00, S. 2].

¹¹⁷Vgl. dazu die Abbildung 2.17.

¹¹⁸In modifizierter Form übernommen aus [Was99, S. 86].

Abbildung 2.17: Supply Chain Netzwerk¹¹⁸

Für Supply Chain Management wurden die folgenden zehn zentralen Prinzipien formuliert, die zitiert wiedergegeben werden, um eine übersetzungsbedingte Verfälschung¹¹⁹ zu vermeiden¹²⁰.

1. „The prime objective for the supply chain is to maximize the value to customers and to the businesses themselves by providing the required level of service at the lowest total cost.“
2. „Cost and service optimizing should be undertaken across the integrated supply chain and includes suppliers and customers.“
3. „Significant cost in the supply chain is associated with non-value-added activities and the root causes must be understood and eliminated.“
4. „Excessively sophisticated management solutions to supply chain problems frequently add still more cost.“
5. „Demand information and service requirements should be shared upstream with minimum distortion.“
6. „Synchronizing supply and demand is critical to the service and cost objectives – both in the medium term, to synchronize capacity with market

¹¹⁹Der Autor vermutet, dass eine derartige Verfälschung die Ursache für die Verwirrung um die Begriffe der MRP-Konzepte war (siehe Abschnitt 2.3.3).

¹²⁰Vgl. [Kno00, S. 6].

plans, and in the short term, to drive supply chain activity on the basis of end consumer demand.“

7. *„Reliable and flexible operations are critical to supply chain synchronization.“*
8. *„Integrate with suppliers.“*
9. *„Supply chain capacity must be managed strategically; decoupling the supply from demand should be immediately downstream of critical capacity constraints and before significant product differentiation.“*
10. *„New product development and new product introduction processes are critical to the performance of the supply chain.“*

Doch warum sollen Lieferanten und Kunden bereit sein, Informationen über deren Planungssituation auszutauschen? Eine Notwendigkeit für die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette ist der so genannte „Bullwhip-Effekt“.¹²¹

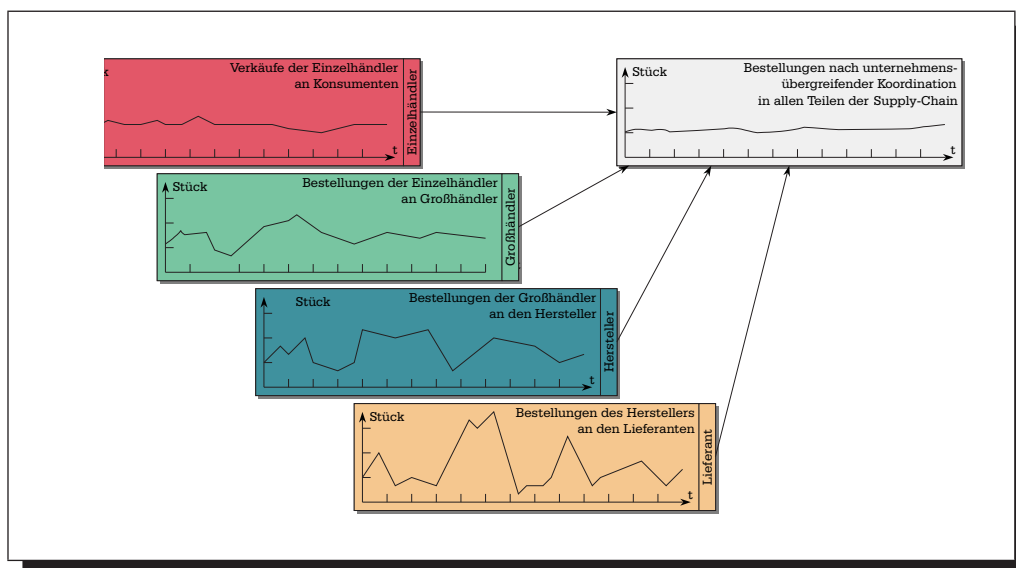


Abbildung 2.18: Der Bullwhip-Effekt¹²²

¹²¹Vgl. [For61, S. 24], [Tei01b, S. 307], [Sta00c, S. 23] und [Kno00, S. 6 f.].

¹²²Modifiziert entnommen aus [Kno00, S. 7] bzw. [Sch99a, Folie 4].

Peitschen-Effekt: Der Peitschen-Effekt beschreibt eine Situation, in der sich schon kleinste Änderungen der tatsächlichen von der geplanten Nachfrage während der Lieferkette zu hohen Abweichungen verstärken, was in Abbildung 2.18 dargestellt wird. Ursachen für diesen Effekt sind vor allem die Änderung von Bedarfsvorhersagen, die Optimierung von Bestellmengen und Preisfluktuationen.

Diesem Effekt kann ähnlich wie beim *Just-In-Time* dadurch begegnet werden, dass die Unternehmen die Zusammenarbeit intensivieren. Eine mögliche Zusammenarbeit wäre bspw. die gemeinsame Nutzung von Lagerkapazitäten und Verwendung einer einheitlichen IT-Infrastruktur.¹²³ Unter diesem Gesichtspunkt spielen die im Abschnitt 2.2.2 angeführten erweiterten Ziele der Produktionswirtschaft eine immer größere Rolle. Maßgebend für eine gemeinsame Abstimmung ist jedoch eine einheitliche Vorgehensweise bei der Planung. Der erste Schritt hierzu ist die Betrachtung der Prozesse.

2.5.1 Das SCOR-Modell

Geschäftsprozesse stehen im Mittelpunkt des Interesses bei der Behandlung von Supply Chains. Ihre Gestaltung beeinflusst maßgeblich die Effizienz der beteiligten Unternehmen innerhalb einer Kette bzw. eines Netzwerkes. Die Durchgängigkeit einer solchen Kette, angefangen von der Beschaffung, über Produktion und Distribution bis hin zum Absatz sollte planungs- und informationstechnisch möglichst konsistent und medienbruchfrei sein. Bevor mit einer Optimierung einer Supply Chain begonnen werden kann, müssen die Geschäftsprozesse aufeinander abgestimmt werden. Aus dieser Erkenntnis heraus entstand 1996 das SCOR-Modell. Das *Supply Chain Operations Reference (SCOR)*-Modell ist ein Werkzeug zur Repräsentation, Analyse und Konfiguration von Prozessen innerhalb einer Supply Chain¹²⁴:

SCOR-Modell: „*The Supply-Chain Operations Reference-model (SCOR) ... is more than a tool for charting supply processes or activities. It is a business process reference model that links process description and definition with metrics, best practice, and technology. While remarkably*

¹²³Das Zusammenrücken der Unternehmen spiegelt sich in neuen Sourcing-Strategien wider (vgl. dazu [Gö99, S. 207 ff.]).

¹²⁴Siehe hierzu [Cou02c], [Mey00a, S. 36 ff.] und [Gei01, S. 115]. Wichtig ist zu bemerken, dass das SCOR-Modell keine Methoden zur Optimierung bereitstellt. Es dient nur zur Beschreibung der Prozesse einer Supply Chain und nicht der Optimierung dieser.

*simple, it has proven to be a powerful and robust tool set for describing, analyzing, and improving the supply chain.*¹²⁵

Diese Entwicklung wurde von 69 Unternehmen getragen, die von der Unternehmensberatung *Pittiglio Rabin Todd & McGrath (PRTM)* und dem Softwareberatungsunternehmen *Advanced Manufacturing Research (AMR)* initiiert wurde. Ausgangspunkt war die Schwierigkeit der Unternehmen, eine geeignete Anwendungssoftware für eine unternehmensübergreifende Gestaltung der Wertschöpfungskette zu finden und zu implementieren. Als Grund hierfür galt das Fehlen einer einheitlichen Sprache zur Beschreibung der Prozesse. Nach intensiven Workshops wurde in Kooperation am 1. November 1996 das SCOR-Modell der Version 1 vorgestellt. Knapp fünf Jahre später, am 25. September 2001 erscheint bereits die Version 5.0¹²⁶. Zur Weiterentwicklung des Modells wurde das *Supply Chain Council (SCC)* gegründet¹²⁷. Dieser unabhängige, „not-for-profit“ Verein hat etwa 600 Mitgliedsunternehmen, die das SCOR-Modell weiterentwickeln und es praktisch validieren. Er ist offen für alle Unternehmen und Organisationen, die an der Anwendung und Weiterentwicklung von Supply Chain Management Systemen arbeiten oder interessiert sind. Mittlerweile haben sich weltweit zahlreiche Interessengruppen aus dem SCC abgespalten, so in Europa und Japan.

Das Referenz-Modell integriert die bekannten Konzepte des Business Process Reengineering (Ist-Konzept aufnehmen und Soll-Konzept ableiten), des Benchmarking (die Leistung eines Unternehmens anhand interner Ziele operationalisieren, quantifizieren und mit den „best-in-class“ Resultaten vergleichen) und der Best Practices Analyse (Charakterisieren der Managementpraktiken und Softwarelösungen, welche zu den „best-in-class“ Ergebnissen führten). Es geht davon aus, dass die Grenzen von jedem Prozessmodell eines Unternehmens zum Lieferanten und zum Kunden sorgfältig definiert werden. SCOR definiert eine Beschreibungsmethode, die zur Dokumentation der komplexen Supply Chain Prozesse, Informations- und Materialflüsse erforderlich sind. Damit lassen sich die einzelnen Prozessschritte sowie die übergreifenden Informations- und Materialflüsse jeweils mit ihren Quellen und Senken darstellen¹²⁸. Die Prozesshierarchie besitzt vier Ebenen der Betrachtung. Jede Ebene ist eine Detaillierung der vorangegangenen Ebene und beschreibt einzelne, eng abgegrenzte Zusammenhänge. Damit lassen sich unterschiedliche Aufgabenstellungen mit den verschiedenen Ebenen in variierenden Detaillierungsgrad beschreiben. Allerdings muss bezweifelt werden, dass dieses

¹²⁵Ebenda.

¹²⁶Siehe [Cou02a].

¹²⁷Siehe [Cou02b].

¹²⁸Siehe hierzu auch [Gei01, S. 119].

Vorgehen bei einer dynamischen Genese von Netzwerken praktikabel ist. Insbesondere bei der Suche von Partnern über anonyme Marktplätze kommt ein Abstimmen der Lieferketten über das SCOR nicht in Frage. Da der spätere Ansatz des Extended Value Chain Managements diese Möglichkeit der Partnersuche einschließt, wird auf die Modellierung mit SCOR bewusst verzichtet. Aus Gründen der Vollständigkeit der Ausführungen sollen jedoch die wichtigsten Bestandteile des SCOR-Modells kurz beschrieben werden.

2.5.1.1 Die SCOR-Prozesse

Eine der wichtigen Innovationen des SCOR-Modells war die Einführung drei unterschiedlicher Prozesstypen: *Planning*, *Execution* und *Enable*. Alle Prozesse lassen sich einem dieser genannten drei Typen zuordnen. Das Prozessmodell (Abbildung 2.19) selbst besteht aus den fünf eigenständigen Haupt(Management)prozessen Planen (Plan), Beschaffen (Source), Herstellen (Make), Liefern (Deliver) und Zurückgeben (Return).

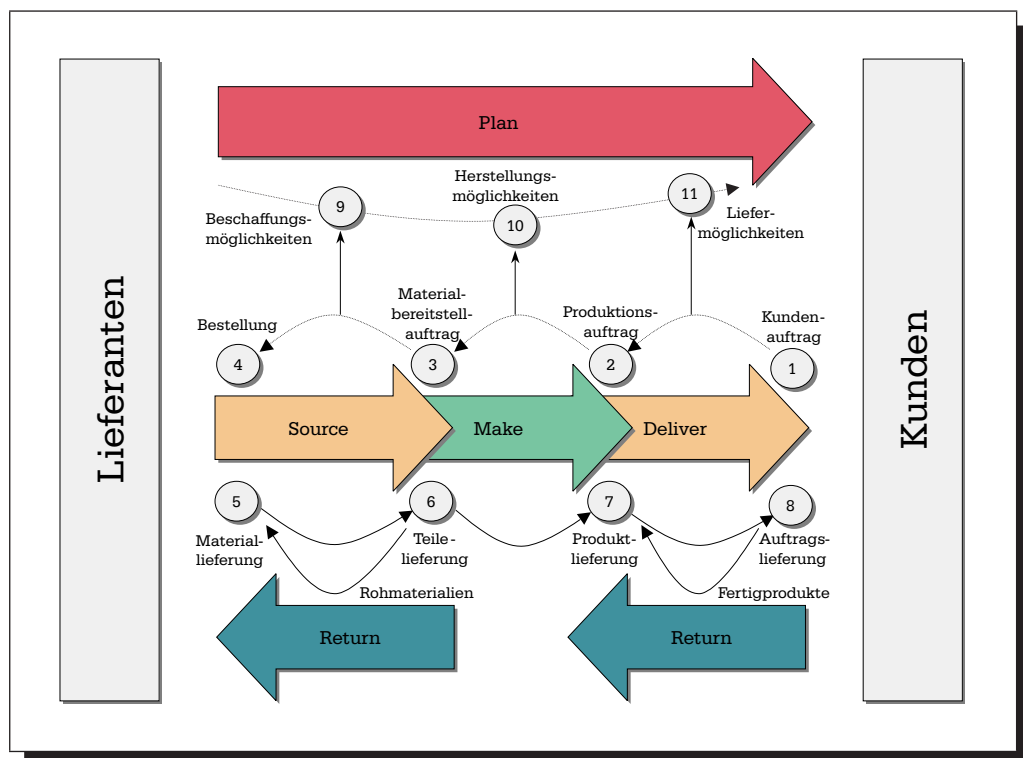


Abbildung 2.19: Die SCOR-Prozesse¹²⁹

Der *Planungsprozess* ist dem Prozesstyp Planning zugeordnet. Er legt zunächst die Planungshorizonte fest und stellt durch regelmäßige, in Intervallen stattfindenden Planungsläufen weiterhin ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage von Gütern für jedes Unternehmen her und kommuniziert Pläne für die Prozesse Return, Source, Make und Deliver innerhalb der Supply Chain. Innerhalb des Lebenszyklusmodells erfolgt über Messungen die Reaktionsfähigkeit der Supply Chain und somit die Sicherung der Konkurrenzfähigkeit. Es werden Geschäftsregeln, Performancemessung, Datensammlung und -speicherung, Transportlogistik usw. verbindlich festgelegt. Diese Maßnahmen sichern auf der einen Seite einen reibungslosen Ablauf zwischen den involvierten Unternehmen. Andererseits wird auf diese Weise keinerlei Dynamik in der Modifikation von Netzwerkknoten ermöglicht. Alles muss im Vorherein konfiguriert werden.

Die verbleibenden vier Prozesse sind vom Typ Execution. Der Prozess *Source* bildet folgende Probleme der Beschaffung ab: Sourcing Stocked (Zukaufmaterial für Lager), Make-to-Order (auftragsbezogene Beschaffung von Gütern) und Engineer-to-Order (auftragsbezogene Konstruktion von Teilen). Dazu gehören die Aktivitäten Lieferpläne erstellen, prüfen und transportieren der Güter sowie Überwachung und Autorisierung bei Zahlungsvorgängen. Aus der Planung werden Möglichkeiten von Zulieferern aufgegriffen und entsprechend der vereinbarten Geschäftsregeln determiniert.

Innerhalb des *Make*-Prozesses erfolgt die Abbildung der Teilprozesse zur Herstellung von Gütern. Es werden die Probleme Make-to-Stock (auf Lager produzieren), Make-to-Order (auftragsbezogene Fertigung) und Engineer-to-Order (auftragsbezogene Konstruktion) unterschieden und modelliert. Zu den Aktivitäten gehören die Maschinenbelegungsplanung, die Sicherstellung des Vorhandenseins von Ressourcen wie Fertigungshilfsmittel und Personal sowie die Behandlung von Problemen der Lagerhaltung, des Transportes, des Warenumschlages usw.

Der Prozess *Deliver* beinhaltet die Abbildung der Teilprozesse des Auftragsmanagements, der Schritte des Warenüberganges zum Kunden (Transport, Warehouse, Lager, Installation usw.). Hierbei sind ebenfalls die aufgestellten Geschäftsregeln maßgebend für die Abwicklung der Prozesse. Aus der Planung resultieren die Alternativen möglicher Transporteure, Kunden, Banken, Versicherungen usw.

Der Prozess *Return* beinhaltet alle Formen von Rücksendung von Gütern. Das kann auf der Kundenseite das Ausliefern von fehlerhaften Produkten bedeuten, aber auch das Recycling von Waren, die am Ende ihres Produkt-

¹²⁹Siehe [Cou02a, S. 4 ff.] und [Gei01, S. 125].

lebenszyklus stehen. Auf der Lieferantenseite können unverbrauchte Materialien (bspw. aus Konsignationslägern) zurückgehen oder lediglich als solche verbucht werden. Dieser Prozess war in den älteren Versionen des SCOR-Modells nicht enthalten. Auf diese Weise wurde der rasanten Entwicklung der Bedeutung des Recycling Rechnung getragen¹³⁰. Vor allem die effiziente Zerlegung von Produkten in ihre Bestandteile nach ihrem Gebrauch wird von vielen Herstellern thematisiert und fand auf diesem Wege Eingang in das SCOR-Modell.

Dem dritten Prozesstyp *Enable* lässt sich keiner dieser fünf Prozesse zuordnen. Er dient für Maßnahmen zur Sicherstellung dieser Prozesse. Hierzu gehört vor allem die Schaffung einer IT-Infrastruktur wie das Aufbereiten von Daten zu Informationen sowie das Management dieser.

2.5.1.2 Die SCOR-Prozessebenen

Das SCOR-Modell ist in vier Ebenen hierarchisiert, innerhalb welcher unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Die oberste Ebene grenzt die Elemente der Supply Chain voneinander ab und dokumentiert den Fokus der Betrachtung. Ebene zwei untersetzt die Schritte aus Ebene eins, hat aber dabei noch immer die gesamte Kette strategisch im Blickfeld. Die unteren beiden Ebenen dienen der Detaillierung einzelner Teilaspekte. Abbildung 2.20 zeigt in einer Übersicht die vier Ebenen und deren Zusammenhang.

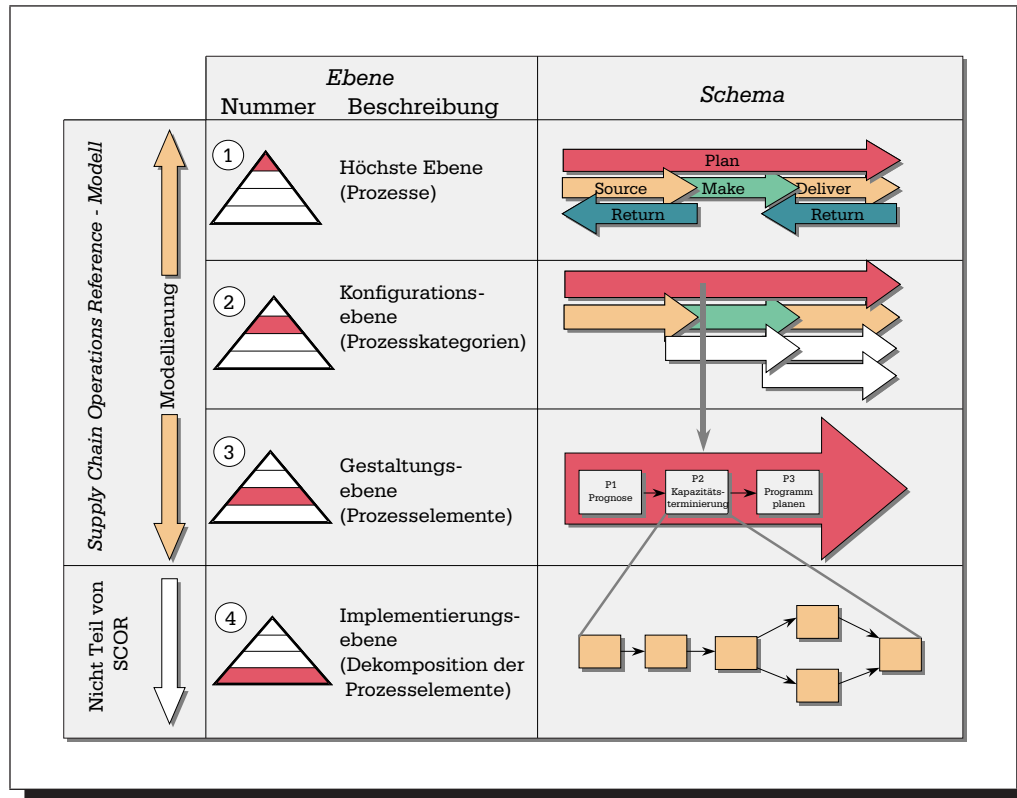
Die Ebene eins definiert die beteiligten Unternehmen der Kette und deren Standorte. Die Beschreibung der Aktivitäten ist auf die fünf Hauptprozesse Plan, Source, Make, Deliver und Return beschränkt. Somit ist die Dimension der Supply Chain aufgespannt und die Verknüpfung der Hauptprozesse (siehe die Kreise in der Abbildung 2.19.) der beteiligten Unternehmen kann erfolgen. Auf dieser Ebene erfolgt bereits eine Einschränkung der Modellierung von A-Lieferanten und Lieferanten mit langer Lieferzeit auf der einen und mit A-Kunden auf der anderen Seite¹³². Die Supply Chain wird segmentiert. Die SCOR-Prozesse selbst sind die logistischen Überprozesse der Auftragsabwicklung (Punkte 1-8) und werden an dieser Stelle mit ihren Inhalten als bekannt vorausgesetzt. Interessant sind ebenfalls die Punkte 9-11 zur Konfiguration der Supply Chain. Allerdings werden hierzu vom SCC¹³³ keine Aussagen zur Realisierung getroffen. Diese Aspekte sind bei der Genese eines hierarchiearmen Produktionsnetzwerkes von entscheidender Bedeutung.

¹³⁰Siehe [Wer01, S. 77], [Dut94, S. 221 ff.], [Sch95b, S. 309 ff.] und [Ric96b, S. 281 ff.].

¹³¹Siehe [Cou02a, S. 6 ff.].

¹³²Siehe [Gei01, S. 124].

¹³³Siehe [Cou02a].

Abbildung 2.20: Die SCOR-Ebenen¹³¹

In der zweiten Ebene werden Prozesskategorien eingeführt. Es schließt sich der Kreis von Prozesstypen, SCOR-Prozessen und Prozesskategorien zu einem Werkzeug mit auswählbaren, konkreten Prozessbestandteilen. Damit erfolgt zuerst die Darstellung der gesamten Supply Chain und anschließend die Modellierung von Teilprozessen beginnend beim Lieferanten und endend beim Kunden. Die Prozesskategorien unterscheiden sich bei den Ausführungsprozessen (Execution) nach der oben bereits beschriebenen Auftragsart und die Planungsprozesse (Planning) nach den Ausführungsprozessen (siehe Abbildung 2.21.).

Die Prozesskategorien werden durch den Anfangsbuchstaben des Hauptprozesses und eine Zahl ausgezeichnet. Die Abbildung ist somit selbsterklärend. Beispielsweise stehen für M1-M3 die Aktivitäten Make-to-Stock, Make-to-Order und Engineer-to-Order. R1 kann mit Return-Defective-Product belegt sein. Die wichtigste Aufgabe dieser Ebene zwei ist die Detaillierung der Gesamtkonfiguration der Supply Chain. Insgesamt gibt es derzeit 30 verschiedene Prozesskategorien.

¹³⁴Siehe [Cou02a, S. 7].

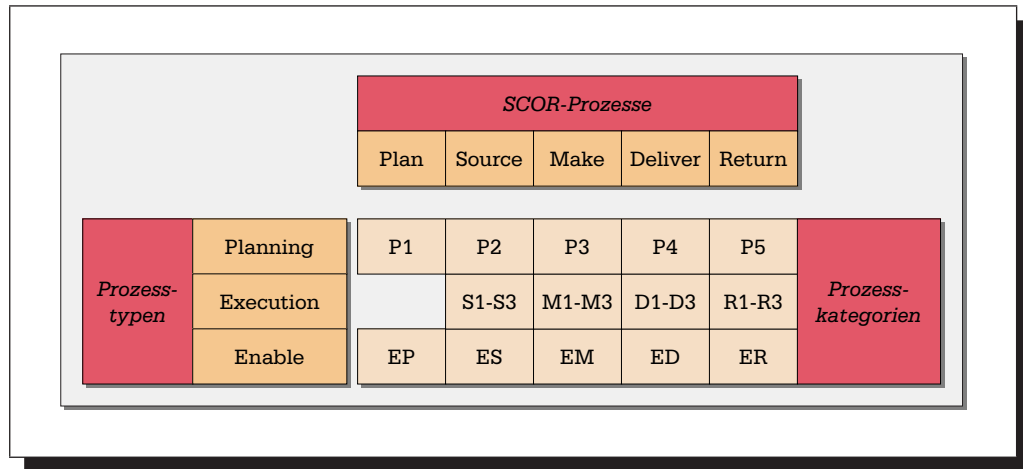


Abbildung 2.21: Prozesskategorien aus dem SCOR Configuration Toolkit¹³⁴

In der dritten Ebene wird jede Prozesskategorie aus Ebene zwei durch Prozesselemente unteretzt, indem die Prozessschritte, deren Reihenfolge sowie die Eingangs- und Ausgangsinformationen getrennt modelliert werden. Dieses Vorgehen ist ähnlich dem Modellieren von Sequenz-Diagrammen in *UML* oder Prozessketten in *ARIS* und soll aus diesem Grunde nicht weiter unteretzt werden.

Für die ersten drei Ebenen schuf SCOR branchenübergreifend ein Konzept der Modellierung einer Supply Chain. Die unterste Ebene vier liegt außerhalb des Modells. In ihr ist die Implementierung stark unternehmensabhängiger Managementpraktiken vorgesehen. Aus diesem Grund ist eine Standardisierung nicht realisierbar. Gerade hier ist jedoch der Ansatzpunkt für unternehmensübergreifende Optimierungsmethoden im Sinne der gesamten Supply Chain zu suchen. Das Fehlen dieser Ebene im SCOR-Modell ist der zweite Grund für die Nichtbenutzung zur Modellierung für das Extended Value Chain Management-Konzept.

2.5.1.3 Messgrößen

Für die verschiedenen Ebenen des SCOR-Modells gibt verschiedene Arten der Verifikation und des Benchmarkings. Bekannt ist das Modell für sein umfangreiches Kennzahlensystem, das für eine Bewertung der Effizienz einer Supply Chain unerlässlich ist. Die Struktur dieses Kennzahlensystems trägt den unterschiedlichen Steuerungs- und Informationsbedürfnissen innerhalb der einzelnen Ebenen Rechnung.

In der obersten Ebene der Hierarchie ist das Management der gesamten Supply Chain einer Bewertung unterworfen. Die folgende Abbildung 2.22 zeigt die wichtigsten Messgrößen in Bezug auf produktions- und finanzwirtschaftliche Kennziffern.

Performance Attribute	Customer-Facing			Internal-Facing	
	Reliability	Responsiveness	Flexibility	Cost	Asset
1. Delivery performance	√				
2. Fill Rate	√				
3. Perfect order fulfillment	√				
4. Order fulfillment lead time		√			
5. Supply chain response time			√		
6. Production flexibility			√		
7. Supply Chain management costs				√	
8. Cost of goods sold				√	
9. Value-added productivity				√	
10. Warranty cost or returns processing costs				√	
11. Cash-to-Cash cycle time					√
12. Inventory days of supply					√
13. Asset turns					√

Abbildung 2.22: Level 1 Performance Metrics¹³⁵

Insbesondere die Kriterien bezüglich Antwortzeitverhalten und Flexibilität werden zur Bewertung des Ansatzes des Extended Value Chain Managements von Bedeutung sein, da speziell bei der Generierung von Antworten zu Lieferanfragen ein wichtiger Beitrag zur Minimierung des Bullwhip-Effektes geleistet werden soll. Beachtenswert ist die Tatsache, dass das Finden von Netzwerkpartnern anhand von Performanceattributen nicht unterstützt wird. Auch hier soll auf strategischer Ebene ein Neuheitswert geschaffen werden.

Diese Kriterien werden durch die Ebenen zwei und drei weitergereicht und detailliert. Beispielsweise werden die Attribute *Reliability* und *Flexibility* im Prozesselement *S1.1 Schedule Product Deliveries* untersetzt durch die Maße *Anzahl der generierten und/oder geänderten Ablaufpläne des Lieferanten während der Durchlaufzeit*. Ergänzt werden diese Attribute jeweils noch durch *Best Practices*. Beispielsweise wird angegeben, welche Schnittstellen durch das Scheduling benutzt werden sollten (z. B. EDI interface 830 transactions). Auf diese Weise entsteht eine Vergleichbarkeit der Supply Chains. Kritik aus Sicht des Autors besteht bei der Modellierung von neuen Methoden und Technologien, da in SCOR nur auf bereits Vorhandenes zurückgegriffen wird. Auch aus diesem Grunde wurde auf die Modellierung mit dem SCOR-Modell verzichtet und UML als semantisch reichhaltigere Beschreibungsspra-

¹³⁵Siehe [Cou02a, S. 8].

che gewählt.

2.5.2 Struktur von SCM-Systemen

Das SCOR-Modell dient zwar zur Modellierung von Supply Chains, allerdings lassen sich daraus nur bedingt Rückschlüsse auf die Struktur eines SCM-Systems ziehen. Im weitesten Sinne dienen die Prozessschritte des SCOR-Modells zur Ableitung wichtiger Funktionen eines solchen Systems. Diese sind in Abbildung 2.23 dargestellt und werden im Folgenden erläutert¹³⁶. Beim Aufzeigen der Schwachstellen bestehender SCM-Systeme in den folgenden Abschnitten wird auf diese Abbildung Bezug genommen.

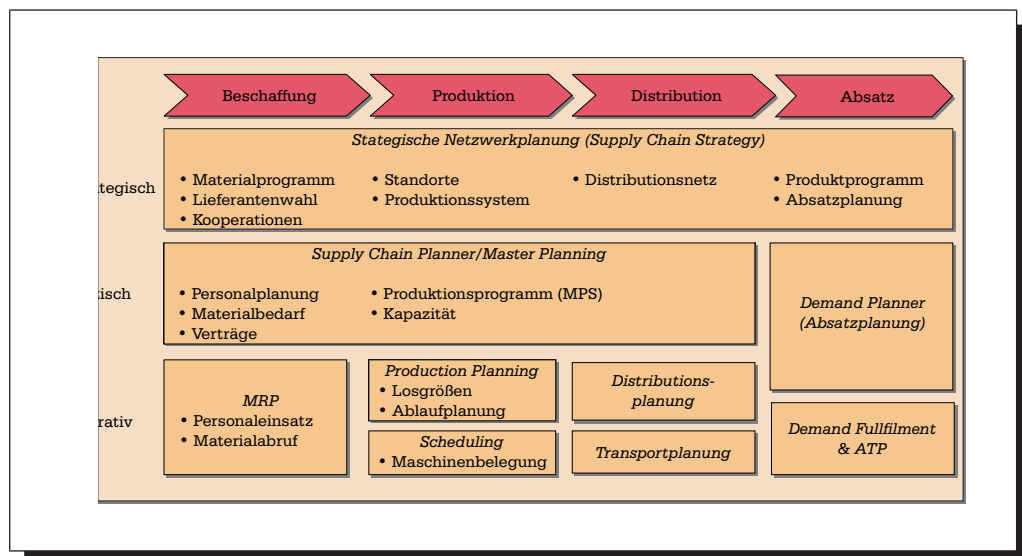


Abbildung 2.23: Funktionen eines SCM-Systems¹³⁷

Entlang der Supply Chain werden pro Tag tausende von Entscheidungen getroffen – globale und individuelle –, die zwischen den beteiligten Unternehmen mit mehr oder weniger großem Aufwand koordiniert werden müssen. Es sind Entscheidungen wie die Reihenfolgeplanung auf einer Maschine, aber auch wie die Errichtung von neuen Standorten für Produktionsstätten oder Lager. Je nach Entscheidungssituation (Komplexität, Entscheidungshorizont,

¹³⁶Siehe hierzu auch [Fle00b, S. 57 ff.] und [Fle01b, S. 15].

¹³⁷Abbildung 1 und 2 kombiniert übernommen aus [Hel98, S. 89 f.].

...) verlangen diese Aufgaben mehr oder weniger Vorbereitung in der Planung. *Domschke* und *Scholl*¹³⁸ unterteilen die Durchführung der Planung in die fünf Phasen Analyse, Zielbildung, Prognose, Lösungsalternativenfindung und Entscheidung.

Beim Entwerfen eines Modell ist es nicht sinnvoll, für jede Aufgabe Prozessschritte bis ins Detail zu planen. Aus diesem Grunde gilt das Modellieren auch als „Königsdisziplin“ im Softwareentwicklungsprozess. Ein Modell muss so einfach wie möglich gehalten werden und dennoch dürfen keine signifikanten Merkmale der Realität vergessen werden. Der Grad der Detailliertheit eines Teilprozesses hängt u. a. von seinem zeitlichen Horizont ab. Bereits *Anthony*¹³⁹ teilte die Phasen der Planung in drei Ebenen ein: strategisch, taktisch und operativ. Dieser Einteilung folgt auch die Struktur von SCM-Systemen aus der Abbildung 2.23 und wird in den folgenden Abschnitten kurz untersetzt.

2.5.2.1 Strategische Planung

Der Planungshorizont in dieser Ebene umfasst mehrere Jahre¹⁴⁰. In der Literatur wird derzeit die Meinung vertreten, dass die Aufgabe der Strategischen Netzwerkplanung (SNP) alle quantitativen Aspekte einer Supply Chain umfasst¹⁴¹. Bei dieser Betrachtung fällt sofort auf, dass die qualitativen Facetten eines Netzwerkes wie Vertrauen unbeachtet bleiben, obwohl deren Bedeutung in der eher sozial geprägten betriebswirtschaftlichen Literatur als wesentlich zur Netzwerkbildung herausgearbeitet wurden¹⁴². Vielmehr stehen die Möglichkeiten des Netzdesigns auf der Basis von Kapazitätsbelegungen (Produktions-, Lager- und Beschaffungsstandorte) usw. im Brennpunkt der Analyse und der Modellierung, indem die Güterflüsse zwischen den Netzwerkknoten (Standorten) „optimiert“ werden. Globale Ziele sind in der Regel die Optimierung von Kosten, Erträgen, Zeiten und ähnlichen betriebswirtschaftlichen Kennziffern, die durch ERP/SCM-Systeme erfassbar sind. Weiter reicht die Betrachtung aus methodischer Sicht nicht. Modelle, die den Rahmen von Standard-LP/MIP-Verfahren verlassen, können praktisch mit diesen Systemen nicht gelöst werden. Ein unternehmensübergreifender Ansatz zur Optimierung einer Wertschöpfungskette ist damit nicht ernsthaft

¹³⁸Siehe [Dom00, S. 29].

¹³⁹Siehe [Ant65].

¹⁴⁰Siehe zu SNP [Goe00, S. 79 ff.].

¹⁴¹Vgl. u. a. [Fle01b, S. 21] und Broschüren von Herstellern von ERP-, SCM- und APS-Systemen.

¹⁴²Siehe hierzu Kapitel 8.

verfolgt worden, obwohl der Bedarf hierfür besteht¹⁴³. Die Planungsaufgabe des Knotendesigns in APS-Systemen ist in bisher bekannten Ansätzen und Systemen weitestgehend unbeachtet¹⁴⁴.

Auf der Seite der *Beschaffung* befasst sich die strategische Planung mit dem Materialprogramm, der Lieferantenwahl und den Kooperationen. Es werden Antworten auf die Frage „*Wer kann dem Unternehmen welches Material liefern und welche Form der Kooperation soll dafür eingegangen werden?*“ gesucht. Zur Bewertung von Lieferanten gibt es Benchmarking-Systeme sowie ein Customer Relationship Management. Die Bewertung einer Kunden-Lieferanten-Beziehung ist nur zweidimensional (Punkt-zu-Punkt) ausgeprägt und lediglich von Hard-facts dominiert wie das Registrieren von Lieferverspätungen. Für den Aufbau strategischer Netzwerke unter Benutzung von Modellen zur Integration von Hard- und Soft-facts gibt es bislang keine Aussagen. Aus diesem Grunde wird die vorliegende Arbeit als einen wissenschaftlichen Teil u. a. ein Modell zur Integration von Soft-facts vorstellen. Ähnliche Aussagen gelten für den Bereich des *Absatzes*, d. h. für die Beziehung zum vorhergehenden Glied der Supply Chain. Im Absatz werden aufgrund von Prognosen zusätzlich Entscheidungen zum Produktprogramm getroffen.

Die Bereiche *Produktion* und *Distribution* reduzieren sich i. d. R. auf logistische Aspekte des Netzwerkes. Während sich letzterer im Wesentlichen mit der Verteilung von Gütern über Transport- und Lagerbeziehungen unter kapazitiven und zeitlichen Aspekten beschäftigt, erfährt die Produktion die größte Beachtung der Wertschöpfung. Innerhalb der strategischen Planung werden u. a. inner- und außerbetriebliche Standortentscheidungen gefällt sowie das jeweilige Produktionssystem in Abhängigkeit vom Repetitions- und Organisationstyp ausgewählt.

2.5.2.2 Taktische Planung

Die taktische Planungsebene umfasst einen Zeithorizont von einem halben Jahr bis zu zwei Jahren, um gerade noch saisonale Aspekte der unterschiedlichen Bereiche erfassen zu können. Innerhalb eines SCM-Systems sind das die Aufgaben *Master Planning* und *Demand Planning*.

¹⁴³Stattdessen wird auf Szenario-Techniken zurückgegriffen, die in einer Simulation Alternativen durchspielt. Allerdings findet hierbei nur eine Transformation des Problems statt. Die Konfiguration einer Simulation durch Parametereinstellungen ist kombinatorisch mindestens genau so anspruchsvoll.

¹⁴⁴Siehe hierzu [Tem92b].

Das Master Planning¹⁴⁵ besitzt im Rahmen der strategischen Vorgaben die Hauptaufgabe der Güterflussplanung der gesamten Supply Chain im mittelfristigen Zeithorizont. Die gegebene Netzwerkstruktur soll möglichst effizient genutzt werden. Innerhalb der Produktion sind die *Produktionsprogrammplanung* (Master Production Schedule) und die *Kapazitätsterminierung* die wichtigsten Aufgaben.

Aufgrund der Ermittlung der Primärbedarfe der zukünftig zu fertigenden Produkte (Endprodukte und Ersatzteile) sowie mit der Bestimmung der innerbetrieblichen Auftragsgrößen wird als Ergebnis dieser *langfristigen* Planungsstufe ein Produktionsplan vorliegen, der hinsichtlich seiner Absetzbarkeit und Realisierbarkeit abgestimmt ist und verbindlich festlegt, welche Leistungen in welchen Mengen in welchen Zeiträumen produziert werden sollen. Die Fertigung kann dabei markt anonym oder auftragsgebunden stattfinden¹⁴⁶. Im Rahmen der Produktionsprogrammplanung lassen sich die Methoden des Operations Research, insbesondere der linearen Planungsrechnung, einsetzen. Wird ein Produktionsprozess mit einer linear-limitationalen Produktionsfunktion¹⁴⁷ unterstellt, so kann für m Betriebsmittel ($i = 1, \dots, m$) mit den Kapazitätsbeschränkungen k_i sowie n zu produzierende Produkte x_j ($j = 1, \dots, n$) mit den Deckungsbeiträgen d_j , den Faktorverbräuchen a_{ij} des Produktes j auf dem Betriebsmittel i und den Bedarfen b_j folgendes Optimierungsmodell zur Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrages DB formuliert werden:

Zielfunktion:

$$DB(x) = \sum_{j=1}^n d_j \cdot x_j \longrightarrow MAX \quad (2.1)$$

Nebenbedingungen:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\leq k_i \quad \forall i = 1, \dots, m \\ x_j &\leq b_j \quad \forall j = 1, \dots, n \\ x_j &\geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.2)$$

Wird unterstellt, dass die Produkte beliebig teilbar sind, handelt es sich um ein lineares Optimierungsproblem mit reellwertigen Variablen, für das effiziente Lösungsverfahren, die in leistungsfähige Software umgesetzt wurden,

¹⁴⁵Siehe hierzu [Roh00, S. 117 ff.].

¹⁴⁶Siehe [Tei98b, S. 29 f.].

¹⁴⁷Zum Begriff siehe [Kah96, S. 14 ff.].

existieren. Bei Unterstellung von Ganzzahligkeit der Variablen x_j ergibt sich im allgemeinen Fall ein ungleich schwierigeres Problem¹⁴⁸.

Zur Reduzierung von Umfang und Komplexität der Produktionsprogrammplanung werden Erzeugnisse zu Erzeugnisgruppen verdichtet und Kapazitäten zu Kapazitätsgruppen zusammengefasst bzw. nur die Engpässe betrachtet. Da zum Planungszeitpunkt in der Regel nicht alle zur Berechnung relevanten Daten vorliegen, wird mit den Kennzahlen eines Repräsentanten¹⁴⁹ einer Produktfamilie gerechnet. Es ist nicht ungewöhnlich, dass Daten vollständig geschätzt werden müssen. Praktikable Verfahren zur Durchführung dieser Planung sind u. a. Repräsentativverfahren, Referenzverfahren und Belastungsprofile¹⁵⁰.

Die *Kapazitätsterminierung* im mittelfristigen Bereich umfasst zwei Teilaufgaben: die Grobdurchlauf- und die Kapazitätsterminierung. Die Grobdurchlaufterminierung ermittelt für jedes Produkt früheste und späteste Start- und Endtermine sowie deren Pufferzeiten. Sie benutzt verschiedene Verfahren der Netzplantechnik (CPM, PERT)¹⁵¹ und konzentriert sich dabei nur auf zeitliche Aspekte ohne Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitäten. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt keine Optimierung des Arbeitsvorrates auf den Betriebsmitteln. Die *Kapazitätsterminierung* führt ausgehend von den ermittelten Ergebnissen der Durchlaufterminierung einen taktischen Kapazitätsabgleich, d. h. einen Abgleich zwischen Kapazitätsangebot und -bedarf, durch. Dazu werden zuerst die Zeitanteile sämtlicher Produkte an gleichen Betriebsmitteln periodengerecht zugeordnet und aufsummiert. Als Ergebnis entsteht für jedes Betriebsmittel ein Belastungsprofil über der Zeit, bei dem Abweichungen von Angebot und Nachfrage festgestellt werden können. Ein bekanntes Verfahren ist die *Retrograde Terminierung mit Kapazitätsabgleich*¹⁵².

Die *Beschaffungsplanung* schließt sich an die Kapazitätsterminierung an und betrachtet nunmehr auch die personellen Ressourcen entsprechend des Produktionsprogrammes sowie die Materialbedarfe. Die Personalplanung kann als mittel- bis langfristig eingestuft werden¹⁵³. Kurzfristige Veränderungen der Personalkapazität sind in der Regel nur durch zeitliche Anpassung (Überstunden) oder Umverteilung von Personal möglich. Alle anderen Maßnahmen liegen im längerfristigen Bereich der Beschaffungsplanung.

¹⁴⁸Siehe [Dom93, S. 11].

¹⁴⁹Hierfür wird auch der Begriff Typenvertreter verwendet.

¹⁵⁰Siehe hierzu [Hac89, S. 89 ff.].

¹⁵¹Siehe u. a. [Sch92b, S. 649 ff.].

¹⁵²Zum Verfahren der Retrograden Terminierung siehe u. a. [Ada92, S. 245 ff.] und [Kä02a].

¹⁵³Siehe [Dom93, S. 11].

Die *Materialbedarfsplanung* bestimmt ausgehend von den Primärbedarfen die Sekundärbedarfe an Teilen und Rohstoffen unter Benutzung von verbrauchs- und/oder bedarfsorientierten Planungsverfahren. Die *verbrauchorientierte* Planung beruht auf Verfahren, die Zeitreihen extrapolieren. Diese Zeitreihen bestehen aus Beobachtungswerten, welche in gleichen, diskreten Zeitabständen ermittelt wurden. Für ein zukünftiges Prognoseintervall werden die zu erwartenden Ereignisse vorhergesagt. Nachdem das Verhalten einer Zeitreihe analysiert wurde, werden ihre systematischen Veränderungen durch ein Modell beschrieben. Dabei wird in jedem Fall vorausgesetzt, dass die die Zeitreihe determinierenden Gesetzmäßigkeiten im Zeitablauf unveränderlich bleiben (Zeitstabilitätshypothese). Innerhalb des Modells soll ein „Prozess“ ablaufen, in dessen Ergebnis die Zufallsvariablen Wertzuweisungen erhalten. Die wichtigsten Modelle sind Modelle für Zeitreihen ohne Periodizität (Exponentielle Glättung verschiedener Ordnung) und Modelle für Zeitreihen mit Periodizität als Erweiterung der ersteren Modelle durch Überlagerung mit zyklischen Schwankungen¹⁵⁴.

Die *bedarfsorientierte* Planung¹⁵⁵ leitet aus den im Produktionsprogramm festgelegten Produktionsmengen über die Erzeugnisstruktur den Sekundärbedarf ab. Die Erzeugnisstruktur wird in Form von Stücklisten abgebildet. Eine Stückliste gibt die Mengen aller Baugruppen, Teile und Rohstoffe an, die für die Fertigung eines Produktes erforderlich sind. Neben der technischen Zeichnung ist sie der wichtigste Informationsträger in einem Unternehmen und gleichzeitig Ausgangspunkt für die Erstellung der Arbeitspläne. Da Stücklisten die Grundlage für die Materialbedarfsplanung sind, besitzen sie eine große Bedeutung für PPS-Systeme. Es gibt drei Grundformen: Mengenübersichtsstückliste, Strukturstückliste und Baukastenstückliste. Als Verfahren für die programmgesteuerte Materialbedarfsplanung sind das *Dispositionstufen-* und das *Gozintoverfahren* zu nennen¹⁵⁶. Programmgesteuerte Verfahren verursachen einen zum Teil erheblich größeren Aufwand bei ihrer Durchführung als verbrauchsgesteuerte, sind dafür aber exakt in den Ergebnissen. Die Entscheidung darüber, ob ein programm- oder verbrauchsgesteuertes Verfahren anzuwenden ist, wird vor allem durch die Bedeutung eines Werkstoffes im Produktionsablauf bestimmt. Diese hängt von verschiedenen Faktoren, wie monetärer Wert, zu produzierende Menge oder Wiederbeschaffbarkeit, ab. Um die Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren rechtfertigen zu können, wird in der Praxis häufig die *ABC-Analyse* ange-

¹⁵⁴Eine gute Übersicht zu Modellen und Verfahren gibt u. a. [Mer94b].

¹⁵⁵Häufig auch als programmgesteuerte Materialbedarfsplanung bezeichnet.

¹⁵⁶Siehe [Tem92a, S. 125 ff.].

wendet¹⁵⁷.

Der zweite wichtige Planungsprozess innerhalb der taktischen Ebene ist das Demand Planning (DP) zur Prognose der Menge und Zeitpunkte der Nachfrage von Erzeugnissen¹⁵⁸. Aus der Sicht eines Produzenten ist die Schnittstelle zwischen marktanonymer und auftragsbezogener Fertigung der so genannte Entkopplungspunkt in den Lagern eines i. d. R. mehrstufigen Distributionsystems angesiedelt¹⁵⁹. Die Lage dieses Entkopplungspunktes hat entscheidenden Einfluss auf die Planung der Supply Chain, da die eingehenden Aufträge direkt aus dem verfügbaren Bestand (siehe Abschnitt 7.1.2.2) bedient werden müssen. Bei einem Nachfrageüberschuss kommt es zwangsläufig zu Zuteilungsproblemen. Mit Ausnahme dieser Güterverteilung an den Kunden sind alle sonstigen Prozesse von Nachfrageprognosen getrieben. Zur Minimierung von Störungen aufgrund von Prognosefehlern werden an den Entkopplungspunkten Sicherheitsbestände vorgehalten. Aus diesem Grund werden Sicherheitsbestandsplanung und Prognoseplanung in der Funktion Demand Planning zusammengefasst. Module zur Planung der Höhe und der Lokation von Sicherheitsbeständen sind in DP-Funktionen nicht zu finden¹⁶⁰. Dagegen sind ausgefeilte Prognosemodelle im Überfluss vorhanden. Oftmals sind derartige Modelle auch zum Schätzen kurzfristiger Nachfragen notwendig und sinnvoll. Aus diesem Grunde reicht die Funktionalität des Demand Planners bis in die operative Ebene. Da innerhalb des Extended Value Chain Managements Prognosemodelle keine Bedeutung besitzen, soll dieser Punkt nicht weiter verfolgt werden.

2.5.2.3 Operative Planung

Die unterste Ebene der Planung erfordert den höchsten Grad der Detaillierung der auszuführenden Aktivitäten. Der Planungshorizont erstreckt sich auf wenige Monate, meist nur wenige Wochen oder Tage. Die Planung wird restringiert durch die Annahmen und Festlegungen der oberen Planungsebenen. Die Performance der Module dieser unteren Ebene ist maßgebend für die Performance (vor allem der Geschwindigkeit zu Aussagen zur Lieferfähigkeit zu gelangen) der Supply Chain. In SCM-Systemen gibt es sechs operative Funktionen: MRP, Produktionsplanung, Scheduling, Distribution- und Transportplanung sowie das ATP. Das MRP soll an dieser Stelle nicht noch einmal erklärt werden. Es wurde bereits im Abschnitt 2.3 ausgeführt.

¹⁵⁷Siehe u. a. [Gü94a, S. 167 ff.].

¹⁵⁸Siehe hierzu [Wag00, S. 97 ff.].

¹⁵⁹Siehe [Fle01b, S. 17 ff.].

¹⁶⁰Siehe [Fle01b, S. 22].

Die *Produktionsplanung*¹⁶¹ ist im Gegensatz zum Master Planning, das die Supply Chain als Ganzes betrachtet, eine vorwiegend unternehmensinterne Planung vorliegender Aufträge unter Berücksichtigung von Material- und Ressourcenrestriktionen. Für alle Ressourcen innerhalb einer Produktionsstätte werden detaillierte (möglicherweise minutengenaue) Ablaufpläne erstellt.

Diese Planung¹⁶² beinhaltet im weiteren Sinne die Losgrößenplanung, die Terminplanung (Ablaufplanung i. e. S.) und die Reihenfolgeplanung. Diese durchzuführenden Aufgaben werden in der Praxis aufgrund der diesen Problemen innewohnenden Komplexität sukzessiv durchführt, obwohl eine Simultanplanung angebracht wäre. Innerhalb dieses operativen Planungsschrittes erfolgt die zeitliche Koordination des Produktionsprozesses, insbesondere die Zuordnung von Bearbeitungsvorgängen zu Maschinen und die Bestimmung von Reihenfolgen. An dieser Stelle der Planung beziehen sich PPS/ERP/SCM-Systeme nur noch auf die Aufträge innerhalb des Produktionsprogramms, die bereits in die Fertigung gegebenen werden müssen, um die Liefertermine fristgerecht erfüllen zu können¹⁶³. Bei Erfüllung der Bedingung, dass alles notwendige Material für die Aufträge zur Verfügung steht (MRP), erfolgt die *Auftragsfreigabe*. Diese kann als eigentliche Schnittstelle zur Feinsteuerung angesehen werden. Herkömmliche Leitstände oder Werkstattmeister selbst erhalten die Information über den aktuellen Arbeitsvorrat, der aus diesen freigegebenen Aufträgen besteht, in der Regel aus dem PPS/ERP/SCM-System und führen danach selbstständig ihre Feinterminierung durch, deren Aufgaben kurz dargestellt werden sollen.

Losgrößenplanung: Eine Losgröße¹⁶⁴ ist die Menge einer Produktart, die in Form einer vorher geplanten und somit festgelegten Mengengröße als geschlossene Einheit von außen bezogen oder vom Unternehmen selbst gefertigt wird¹⁶⁵. In dieser Arbeit wird der Begriff Losgröße¹⁶⁶ nur im Zusammenhang mit der Fertigung benutzt. Das Ziel der Bildung von Losgrößen besteht in der Bestimmung wirtschaftlicher Mengengrößen, bei der die Kosten je Erzeugniseinheit am geringsten sind, d. h. die

¹⁶¹Siehe auch [Sta00b, S. 149 ff.].

¹⁶²Synonym werden folgende Begriffe benutzt: Durchführungsplanung, Feinplanung, Feinterminierung.

¹⁶³Das sind in der Regel die Aufträge, deren spätestester Starttermin innerhalb des Planungshorizontes liegt oder welche besondere Prioritätskennzeichen tragen.

¹⁶⁴Siehe zum Begriff [Ada75, Sp. 2549 ff.], [Gut58, Sp. 4897], [Zwe79, Sp. 1163 ff.].

¹⁶⁵Vgl. hierzu [Fan94, S. 156], [Hec91, S. 15].

¹⁶⁶In der Literatur sind für den Begriff Losgröße die Synonyma Serie, Partie, Auflage usw. bekannt (siehe u. a. [Kil73, S. 383]).

gegenläufigen Kosten von Rüsten, Fehlmengen und Lagerung sind so abzugleichen, dass die Gesamtkosten über die betrachtete Periode minimal werden.

Gegenstand von APS-Systemen ist jedoch nicht allein eine Optimierung der Losgrößen im oben beschriebenen Sinne. Es geht vielmehr darum, einen aus der *Reihenfolgeplanung* resultierenden Maschinenbelegungsplan daraufhin zu untersuchen, ob durch eine andere Abarbeitungsfolge des Arbeitsvorrats auf einem bestimmten Betriebsmittel die Summe der Rüstzeiten reduzierbar ist. Das ist zum einen durch Loszusammenfassung und zum anderen durch Hintereinanderausführung ähnlicher Arbeitsgänge, die kein vollständiges Umrüsten implizieren, möglich.

Terminplanung: Die Terminplanung umfasst zwei Teilaufgaben: die kurzfristige Durchlauf- und die Kapazitätsterminierung.

Die *Durchlaufterminierung* ermittelt für jeden Auftrag früheste und späteste Start- und Endtermine der Arbeitsvorgänge sowie deren Pufferzeiten. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt ebenfalls wie bei der mittelfristigen Durchlaufterminierung noch keine Optimierung der Reihenfolge der Arbeitsgänge auf den Betriebsmitteln. Die Information über technologische Arbeitsgangreihenfolgen, die zu berücksichtigenden Zeiten und die zu produzierende Menge wird den aktuellen Arbeitsplänen entnommen. Die terminliche Bestimmung der auftragsfixen Zeitanteile stellt in der Praxis ein besonderes Problem dar. Da die Durchlaufzeit abhängig vom aktuellen Maschinenstatus ist und sowohl die Belegungs- als auch die Reihenfolgeplanung noch nicht vollzogen sind, d. h. bisher nur auf Maschinengruppenniveau geplant wurde, muss mit einer neutralen Rüstzeit gerechnet werden. Die exakte Rüstzeit kann erst nach dem Vorliegen des Belegungsplans ermittelt werden¹⁶⁷.

Die *Kapazitätsterminierung* führt ausgehend von den ermittelten Ergebnissen der kurzfristigen Durchlaufterminierung einen operativen Kapazitätsabgleich, d. h. einen Abgleich zwischen Kapazitätsangebot und -bedarf durch. Dazu werden zuerst die Zeitanteile sämtlicher Arbeitsvorgänge an gleichen Betriebsmitteln periodengerecht zugeordnet und aufsummiert. Als Ergebnis entsteht für jedes Betriebsmittel ein Belastungsprofil über der Zeit, bei dem eine partielle Überlastung bei gleichzeitiger Unterbeschäftigung feststellbar sein könnte¹⁶⁸. Die Kapazitätsterminierung versucht, solche Bedarfsspitzen temporär auszuglei-

¹⁶⁷Siehe [Wil87, S. 26].

¹⁶⁸Ist eine generelle Überlastung gegeben, liegt ein Mangel bei der ordnungsgemäßen Durchführung der Bereitstellungsplanung für Betriebsmittel vor.

chen, indem innerhalb der vorgegebenen Pufferzeiten die Arbeitsgänge zeitlich in Richtung geringerer Auslastung verschoben werden. Sind die Pufferzeiten zu klein, um eine Harmonisierung der Beschäftigung herbeizuführen, werden Kriterien wie Vertragsstrafen oder Bedeutung eines Kunden für das Unternehmen in die Betrachtung einbezogen. Diese Vorgehensweise lässt sich in der Praxis häufig nicht von der Reihenfolgeplanung unterscheiden.

Reihenfolgeplanung: Nach Durchführung der Auftragsfreigabe (bei praktisch gleichzeitiger Zuordnung von Arbeitsvorgängen zu den Betriebsmitteln durch ein PPS-System) muss der Meister vor Ort festlegen, in welcher Reihenfolge der Arbeitsvorrat je Betriebsmittel abzuarbeiten ist. Das Festlegen der Reihenfolge ist in der betriebswirtschaftlichen Terminologie auch als *Sequencing* bekannt. Nach Festlegung der Reihenfolge kann eine exakte zeitliche Verteilung der Arbeitsvorgänge auf der konkreten Maschine vorgenommen werden. Beide Tätigkeiten zusammen werden auch als *Maschinenbelegungsplanung, Scheduling*¹⁶⁹ oder *Feinterminierung*¹⁷⁰ bezeichnet. Art und Schwierigkeitsgrad der zu lösenden Probleme werden maßgeblich durch die Produktionsform¹⁷¹ beeinflusst¹⁷². Speziell bei Einzel- und Kleinserienfertigung innerhalb der Werkstattfertigung besitzen Reihenfolgeprobleme ihre größte Komplexität. Auf der Basis der in der Produktionsplanung ermittelten Ecktermine der einzelnen Aufträge werden in der Feinterminierung die endgültigen Beginn- und Endtermine der Arbeitsvorgänge an jedem Arbeitsplatz ermittelt. Als Ergebnis liegt ein Maschinenbelegungsplan vor, in welchem zeitlich detailliert die Betriebsmittel- und Personalzuordnung für jeden Arbeitsgang determiniert ist. Ziel der Feinterminierung ist in der Regel die Minimierung der *Zykluszeit* bei gleichzeitiger Beachtung der entstehenden Rüstkosten. Obwohl die Losgrößenproblematik bereits in der Produktionsplanung Beachtung findet, kommt ihr auch in der Feinterminierung eine wichtige Rolle zu. Minimale Durchlaufzeiten können unter anderem durch Losaufteilung (Splittung oder Überlappung) oder Loszusammenfassung erzielt werden. Die Entscheidung über solche Maßnahmen trifft der Meister einer Werkstatt oft erst ad hoc vor Ort, ohne dass er die Auswirkungen auf nachfolgende Struktureinheiten antizipiert.

¹⁶⁹Siehe [Dom93, S. 16 ff.].

¹⁷⁰Dieser Begriff wird auch häufig als Feinplanung bezeichnet. Vgl. [Gü94a, S. 225 ff.].

¹⁷¹Z. B. Anordnungstyp oder Repetitionstyp.

¹⁷²Siehe [Kra94, S. 11 ff.].

Production Planning und Scheduling werden zusammen kurz als PP&S bezeichnet. Advanced Planning and Scheduling (APS) Systeme haben eben diesen Funktionsumfang im Visier. Ein Mangel bestehender PPS/ERP-Systeme ist die sequenzielle, teilweise ohne Rückkopplung durchgeführte Organisation der Optimierungsaufgaben. *Drexel et al.*¹⁷³ schlugen als Reaktion auf die mangelnde Planungsfunktionalität dieser Systeme ein mehrstufiges, kapazitätsorientiertes, hierarchisches Konzept vor, das die spezifischen Eigenheiten unterschiedlicher Fertigungstypen berücksichtigt. Dies sollte als konzeptionelle Grundlage für APS-Systeme dienen¹⁷⁴. Für die Fließfertigung werden u. a. Methoden zur simultanen Losgrößen- und Reihenfolgeplanung gefordert¹⁷⁵. Bei Werkstattfertigung scheint diese Forderung aufgrund der Komplexität der Planungsvorgänge im Moment nicht erfüllbar, obwohl zahlreiche Ansätze zur Optimierung mit naturanalogen Heuristiken existieren¹⁷⁶. Vor allem im Bereich der KMU gibt es praktisch keine Planungsmethoden, die unternehmensübergreifend einen konzeptuellen Beitrag zur operativen Planung für SCM-Systeme leisten. Für diesen Bereich soll das Extended Value Chain Management ebenfalls einen Ansatz bieten.

APS-Systeme ersetzen ERP/SCM-Systeme nicht, sondern sie ergänzen sie nur in ihrer PP&S-Funktionalität. Sie integrieren ERP-Daten in ein übergeordnetes Planungskonzept zur interaktiven Kontrolle und Steuerung der Supply Chain – zumindest vom Anspruch her. APS ist Bestandteil von Software-Suites, die Collaboration-, E-Business- und SCP-Software enthält (z. B. als *i2 Five.Two* und *TradeMatrix OCN* von *i2 Technologies* oder als *Advanced Planner and Optimizer* innerhalb von *mySAP SCM Suite*). Allerdings sind die angebotenen Funktionalitäten lückenhaft, wie der Abschnitt 2.5.4 zeigen wird.

Als weitere Funktionalitäten im operativen Bereich sind die Distributionsplanung (DiP) und die Transportplanung (TP) zu nennen¹⁷⁷. Die *Distributionsplanung* ermittelt die Lieferkombinationen zur Nachfragebefriedigung unter Nutzung optimierender Verfahren. Die *Transportplanung* erzeugt Transportaufträge für Lieferungen ebenfalls unter Nutzung optimierender Verfahren. Beide sind unterhalb des Master Planning angesiedelt und erhalten Vorgaben über die Logistikstrukturen aus dem SNP sowie die aggregierten Mengen für die Relationen der Netzwerkknoten aus dem Masterplan. Das TP beinhaltet u. a. die (tägliche) Freigabe von Transportaufträgen in Bezug auf die Distri-

¹⁷³Siehe [Dre94, S. 1022 ff.].

¹⁷⁴Siehe [Fle01b, S. 24].

¹⁷⁵Siehe [Mey99].

¹⁷⁶Siehe hierzu [Bla96], [Tei98b] und [Tei00b, S. 111 ff.].

¹⁷⁷Siehe [Fle00a, S. 167 ff.].

butionsmengen. Das DiP hingegen besitzt einen etwas längeren Zeithorizont und beschäftigt sich bspw. mit Transportfrequenzen, Liefersammelgebieten und Distributionsmodi. Es ist allerdings in vorhandenen System nur sehr schwach ausgeprägt.

Die letzten beiden Funktionalitäten sind *Demand Fulfillment* (DF) und das *Available to Promise* (ATP) zur Ermittlung von möglichen Lieferterminen und -mengen für Kundenanfragen¹⁷⁸. Während das DP die Absatzfunktion behandelt, solange noch keine Kundenaufträge im System vorliegen (vor dem Entkopplungspunkt), so realisiert das DF Planungsaufgaben, die den Eingang und die Abwicklung von Kundenaufträgen zum Inhalt haben (hinter dem Entkopplungspunkt). Am Entkopplungspunkt selbst entstehende disponible Bestände, die noch keinen Kundenaufträgen fest zugeordnet wurden, werden als ATP bezeichnet. Der Abschnitt 7.1.2.2 wird dies inhaltlich ausführlicher behandeln.

Die folgende Abbildung zeigt die oben beschriebenen Funktionalitäten in ihrem zeitlichen Zusammenhang.

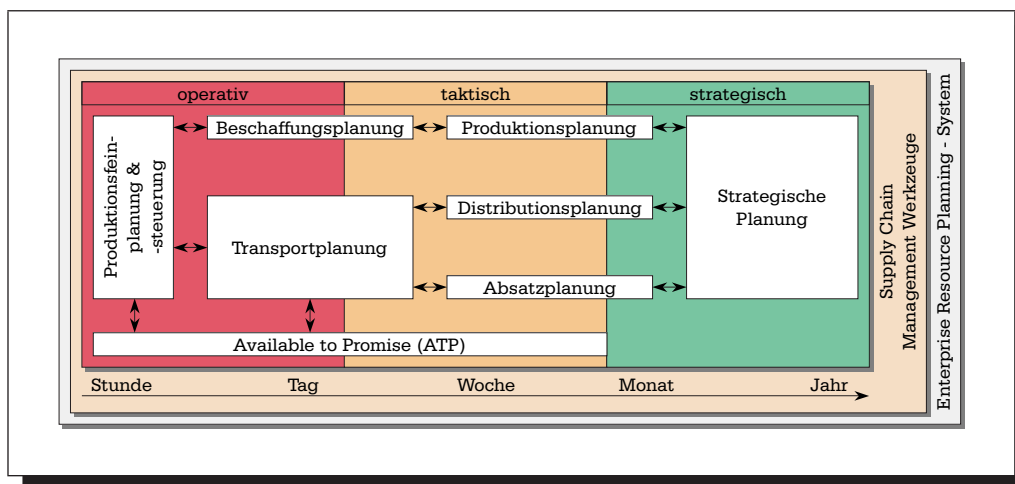


Abbildung 2.24: Zeitlicher Bezug der SCM-Funktionen¹⁷⁹

In allen dem Autor zur Verfügung stehenden Quellen, beinhaltet das SCM eine *Optimierung* der Aktivitäten entlang der Lieferkette. Das in den Prinzipien genannte Ziel, den Nutzen der Kunden zu maximieren, darf in diesem Zusammenhang als nicht operabel bezeichnet werden. Wenn eine Optimierung im Rahmen des SCM durchgeführt wird, so entsprechen die dabei ver-

¹⁷⁸Siehe auch [Kil00, S. 135 ff.].

¹⁷⁹Abbildung 1 und 2 kombiniert übernommen aus [Hel98, S. 89 f.].

folgten Ziele den in Abschnitt 2.2.2 genannten, wobei der Termintreue im Sinne des Kundennutzens eine besondere Bedeutung zukommt. Grundsätzlich muss sich ein SCM-System in die Zielhierarchie des Unternehmens einordnen, dabei ist wiederholt auf die Einordnung der SCM-Systeme als ein mögliches Teilsystem von ERP-Systemen hinzuweisen.¹⁸⁰

¹⁸⁰Dieser Nachsatz ist notwendig, da einige Autoren von einer Unabhängigkeit beider Systeme schreiben (vgl. [Wol99, S. 157]). Dagegen schreiben [Tie99, S. 100 f.] und [Jun99b, S. 60], dass SCM ein Add-On von ERP-Software bzw. ein Teil davon ist. Diese Meinung teilt auch der Autor.

2.5.3 Lösungsansätze durch das ERP/SCM-Konzept

Für ERP-Systeme, die im Kern auf den MRP-Konzepten beruhen, gelten die in Abschnitt 2.3.4 getroffenen Aussagen. Für Systeme, die sich konzeptionell von *Orlicky's* Materialbedarfsplanung getrennt haben, können keine speziellen Aussagen getroffen werden, da der mögliche Spielraum bei der Implementierung zu groß ist. Wichtig ist aber die Anmerkung, dass ERP ein in der Praxis entstandenes Planungskonzept ist, bei dem einige Autoren sogar soweit gehen, dass innerhalb des ERP's *keine Planung* durchgeführt und deshalb keine Verbesserung im Sinne der o. g. Ziele erreicht werden kann.¹⁸¹ Dieser Argumentation kann der Autor aber nicht folgen, da dieser Quelle andere Definitionen von ERP und MRP zugrunde liegen.

Grundsätzlich ist ERP die Abkehr vom klassischen sukzessiven Verfahren, das seit über 20 Jahren Verwendung findet, hin zur Integration simultaner Ansätze. Damit soll nicht gesagt werden, dass simultane Ansätze, sofern sie überhaupt existieren, eine höhere Qualität der Planungsergebnisse erzielen. Aufgrund der hohen Interdependenzen im Unternehmen mit einer Reihe von Rückkopplungen bilden simultane Ansätze die Situation im Unternehmen jedoch realistischer ab, als es mit sukzessiven Ansätzen möglich ist. Simultane Planung könnte bedeuten, dass alle Prozesse im Unternehmen simultan geplant werden. Mit diesem hohen Anspruch sind aber alle heutigen Computer überfordert. Durch diese technische Einschränkung der heutigen EDV und vor allem durch den mangelhaften Stand der Methoden lässt sich eine unternehmensweite Betrachtung aller Wechselwirkungen nicht realisieren. Deshalb sollte zumindest in den Teilbereichen, in denen eine Vielzahl von Interdependenzen auftreten, versucht werden, diese zu erfassen. Das trifft i. d. R. auf die Prozesse innerhalb einer Planungsebene zu, also bspw. auf die Ablaufplanung innerhalb der Fertigungssteuerung.

Abschließend soll angemerkt werden, dass die von den Marketingabteilungen geschürte Hoffnung der Unternehmen auf *die* Lösung aller Probleme im Unternehmen nicht überbewertet werden darf. Eine Vielzahl von Einzelproblemen konnte zwar modelltheoretisch erfasst werden, eine Lösung ist aber nicht in allen Fällen möglich.

¹⁸¹Vgl. [Fle98, S. 52].

2.5.4 Implementierung des ERP/SCM-Konzeptes

Aufgrund der aktuellen dynamischen Entwicklung im Bereich des ERP/SCM sollen die Ausführungen in diesem Abschnitt ausführlicher als in Abschnitt 2.3.5 sein. Ziel dieses Abschnitts ist es nicht, möglichst viele Produkte zu beschreiben. Die Darstellung der Möglichkeiten wird sich auf Kernpunkte konzentrieren, wobei ein Überblick über die Supply Chain Management-Initiative der SAP (aus den weiter vorn genannten Gründen) gegeben werden soll. Die Inhalte der Produkte anderer Anbieter wie *i2 Technologies*¹⁸² und *J. D. Edwards*¹⁸³ sehen grundsätzlich ähnlich aus¹⁸⁴.

Ein Kennzeichen für die ERP-Strategie der SAP ist das Anbieten von sog. *Industry Solutions*. Diese tragen den Spezifika der jeweiligen Branche Rechnung, bestehen aber im Kern aus derselben Software. Allerdings basiert das R/3-Grundsystem weiterhin auf der Denkweise des MRP II-Konzeptes. Mit der SCM-Initiative der SAP hat sich das grundlegend geändert. So werden mit diesem Produkt erstmalig in großem Umfang Methoden des Operations Research in einem Produkt der SAP implementiert. Die SCM-Initiative besteht zusätzlich zu PP, MM, SD und BW aus den folgenden drei Bereichen, wobei der Bereich des APO den vorhergehenden Ausführungen zum Aufbau von SCM-Systemen entspricht und vertieft werden soll:¹⁸⁵

- Advanced Planner and Optimizer (APO),
- Enterprise Buyer (früher SAP Business-to-Business Procurement; SAP BBP) und
- Logistics Execution System (LES).

Durch die Nutzung des APO (in der aktuellen Version 3.1) bietet sich den Unternehmen die Möglichkeit, eine *betriebsinterne* und *betriebsübergreifende* Planung und Steuerung der Lieferkette durchzuführen. Die Grundfunktionen des APO Paketes sind in Abbildung 2.25 dargestellt und werden im Folgenden kurz erläutert.¹⁸⁶

1. *Network Design (ND)*: Das frühere *Supply Chain Cockpit* ermöglichte bereits das grafische Modellieren, Navigieren, Planen und Steuern

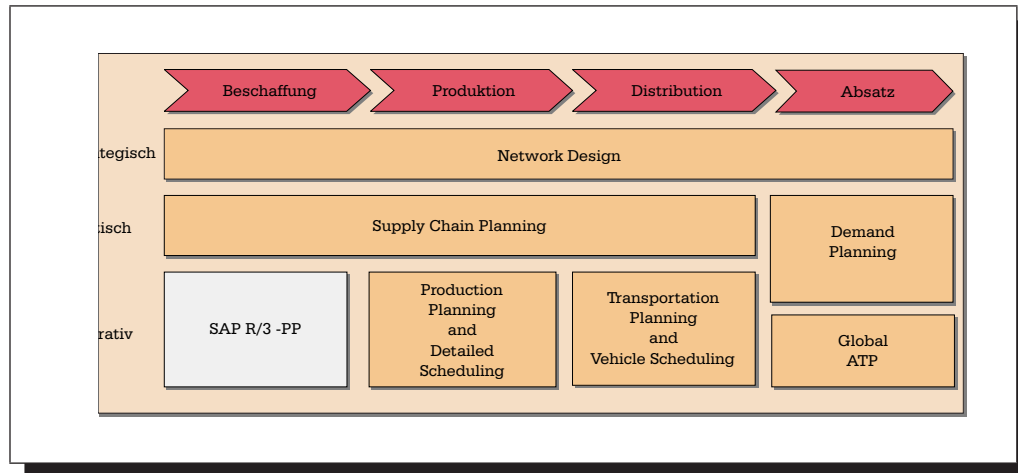
¹⁸²Siehe hierzu *i2 Five.Two* und *TradeMatrix OCN* unter [iT02].

¹⁸³Siehe die *OneWorld* (das frühere *Numetrix/3*) unter [Edw02].

¹⁸⁴Siehe hierzu [Mey00b, S. 241 ff.].

¹⁸⁵Vgl. [SAP02a].

¹⁸⁶Diese folgenden Erläuterungen sind im Zusammenhang mit Abschnitt 2.5 zu sehen. Vgl. zusätzlich [Kno00, S. 105].

Abbildung 2.25: Übersicht der SAP APO Funktionen¹⁸⁷

von Lieferketten. Mit dem *Network Design* hat sich der Funktionsumfang erweitert. Es ist ein Entscheidungsunterstützungswerkzeug, mit welchem der Nutzer strategische Probleme der Netzwerkplanung im logistischen Bereich unter Benutzung von Szenariotechniken auf einer aggregierten Ebene durchführen kann.

2. *Demand Planning (DP)*: Durchführen der Bedarfsplanung, basierend auf statistischen Prognosemethoden. Die dabei verwendeten Daten resultieren zum einen aus Vergangenheitsdaten, es können zum anderen auch Daten externer Marktforschungsinstitute in die Vorhersage einbezogen werden. Ein sehr wichtiger Aspekt ist, dass dieser Teil des APO's eine gemeinsame Bedarfsvorhersage verschiedener Unternehmen ermöglicht, womit der Peitscheneffekt vermindert werden soll.
3. *Supply Network Planning (SNP)*: Hierbei werden auf taktischer Ebene, d. h. bei mittlerer Genauigkeit, ganze Lieferketten geplant. In den Broschüren zu SAP/APO-SNP wurden ähnliche Aussagen getroffen wie zum SNP im allgemeinen SCM-Modell. SNP soll deshalb nicht weiter vertieft werden.
4. *Transportation Planning (TP)* und *Vehicle Scheduling (VS)*: Diese Funktion ist ein Werkzeug zur Planung von Distributionsnetzen und Optimierung des Einsatzes von Transportmitteln. Es können Fahr- und

¹⁸⁷Modifiziert übernommen aus [SAP02a].

Routenpläne mit optimalen Zulademöglichkeiten und den notwendigen Transporteuren generiert werden. Das Vehicle Scheduling Modul löst Abhol- und Lieferprobleme wie Rundreisen und multi-pick and drop-Management. Es betrachtet Restriktionen wie time window constraints, vehicle capacity constraints, handling capacity constraints for loading/unloading. Es ist in der Lage, Auftragsreihenfolgen zu generieren, die abhängig von verschiedenen Transportrouten sind. Das Transportation Planning Modul findet für einen Transport die besten Routen durch ein Netzwerk von Straßen, Schienen, Flug- oder Schifflinien bezüglich Weg- oder Zeitminimalität.

5. *Produktionsplanung (PP)* und *Detailed Scheduling (DS)*: Während SNP als Planungsperiode Wochen oder Tage nutzt und die Auftragsreihenfolge unberücksichtigt bleibt, können mit PP/DS Aufträge bis zu einer Genauigkeit von Sekunden terminiert werden. Diese Pläne sind ausführbar. Dabei stellt die PP Optimierungstechniken zur kurzfristigen Material- und Fertigungsplanung bereit, wobei Kapazitätsrestriktionen berücksichtigt werden. Nach der PP erfolgt im DS die Zuordnung der Produktionsressourcen und die Reihenfolgeplanung.
6. *Global Available to Promise (ATP)*: Ist eine mehrstufige, regelbasierte Methode, mit der die Möglichkeit, ein Lieferversprechen zu geben, überprüft wird.¹⁸⁸ Auch in dieser Funktionalität kann eine unternehmensübergreifende Prüfung durchgeführt werden, was als Global ATP bezeichnet wird.

Weiterhin erfolgt mit dem Verfahren Available to Promise die Ermittlung, inwieweit eine Anfrage zugesichert werden kann. Dabei kann der *Prüfzeitraum* auf die *Gesamtwiederbeschaffungszeit* begrenzt werden. Da es alternativ zur ATP-Prüfung die Möglichkeit der Verfügbarkeitsprüfung gegen die Planprimärbedarfe gibt, bleiben diese innerhalb der ATP-Prüfung unberücksichtigt (siehe Abbildung 2.26¹⁸⁹).

Die Funktionen 3. bis 5. werden von der SAP unter dem Begriff „Advanced Planning and Scheduling“ (APS) subsumiert.¹⁹⁰

¹⁸⁸Dabei gibt es eine Reihe von Einstellungsmöglichkeiten. So ist fraglich, ob schon getroffene Zusagen zugunsten eines wichtigeren Kunden umreserviert werden können oder ob nur die physischen Bestände oder alle Zu- und Abgangelemente einbezogen werden. Vgl. dazu [Kno00, S. 132].

¹⁸⁹Entnommen aus [SAP96, S. 5/18].

¹⁹⁰Vgl. dazu den Abschnitt 2.4.2, in dem APS als neue Entwicklungsrichtung der EDV-gestützten Planungssysteme charakterisiert wird. Auf Details der einzelnen Planungsebenen soll verzichtet werden, da diese in [Kno00] und [SAP02a] detailliert erklärt werden.

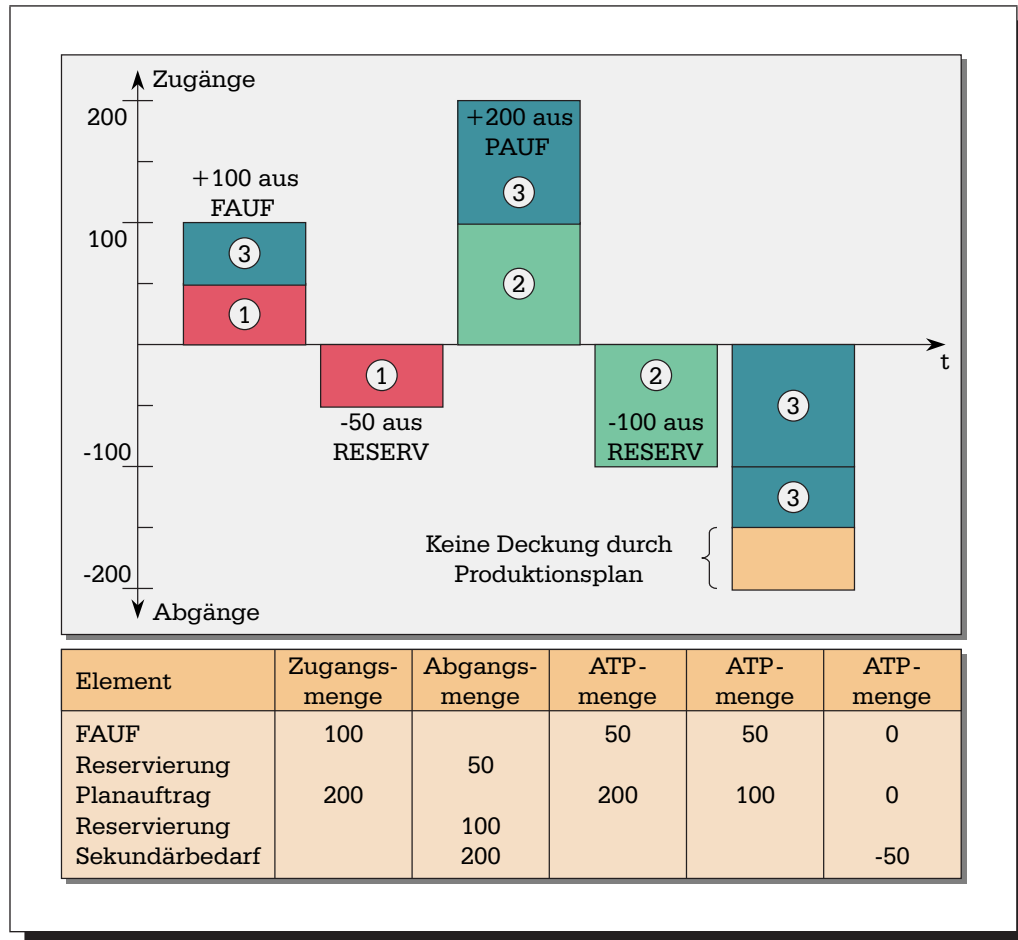


Abbildung 2.26: Das ATP-Prüfverfahren

Die technologische Basis des APO wird in Abbildung 2.27¹⁹¹ dargestellt. Dieser Aspekt ist vor allem in Bezug auf die zu verwendenden Technologien für das Extended Value Chain Management von Interesse. Dabei sind bezüglich der vorliegenden Arbeit vor allem die im rechten Teil dargestellten Technologien *Optimization Extension Workbench*, *Core Interface* und *BAPI* interessant, mit denen die Ankopplung anderer Systeme realisiert wird.¹⁹²

Core Interface (APO-CIF): Diese Funktion gewährleistet die Integration zwischen den verschiedenen New Dimension Products der SAP. Da zum

¹⁹¹Die Abbildung entstammt aus der Werbebroschüre zu APO in [SAP01, S. 1].

¹⁹²Zu den restlichen Technologien sei wiederum auf [Kno00] und [SAP01] verwiesen.

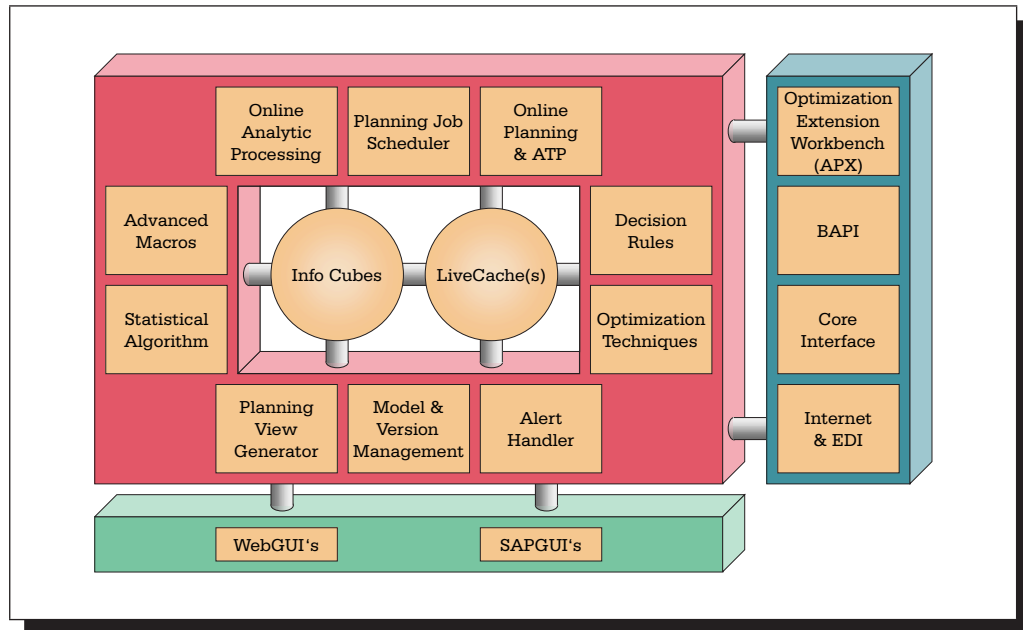


Abbildung 2.27: Technologische Basis des SAP APO

aktuellen Zeitpunkt in jedem New Dimension Product diese Funktionalität redundant enthalten ist, sollen in späteren Releases diese Funktionen in einem eigenen produktübergreifenden Plug-In enthalten sein.¹⁹⁴

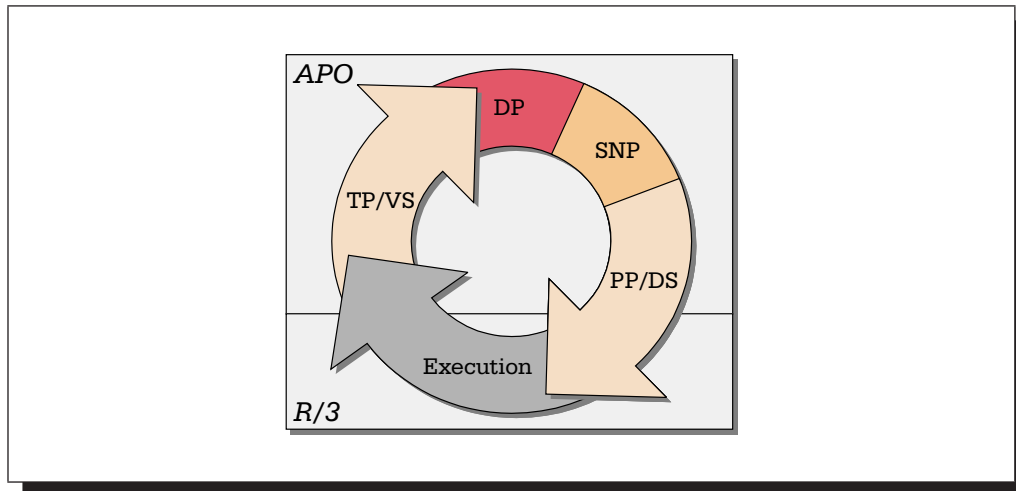
Optimization Extension Workbench (APX): Über die APX wird die Möglichkeit unterstützt, externe Optimierungstools in die APO-Umgebung zu integrieren. Damit sind Unternehmen in der Lage, schon vor der Einführung von APO genutzte Optimierungswerkzeuge weiterhin zu betreiben. Die Nutzung erfolgt dabei integriert in die APO-Umgebung.¹⁹⁵ Zur Integration werden von der SAP entsprechende Libraries bspw. für C++ geliefert. Von der SAP wird empfohlen, die Daten zentral im APO zu halten. Die primäre Kommunikationsmöglichkeit ist der Zugriff über die standardisierte BAPI-Schnittstelle.

Die Zusammenarbeit zwischen APO und dem R/3-System soll wie in Abbildung 2.28 dargestellt, erfolgen. Diese Sicht bedeutet langfristig das Ersetzen des Moduls PP durch APO!¹⁹⁶

¹⁹⁴Vgl. [SAP99b, S. 28].

¹⁹⁵Vgl. [Sch99d].

¹⁹⁶Vgl. [Kno00, S. 119].

Abbildung 2.28: Zusammenarbeit von APO und R/3¹⁹⁷

Wie durch die Ausführungen ersichtlich wird, entwickelt der größte Anbieter von ERP-Produkten¹⁹⁸ Lösungen, die propagiert das Potenzial haben, die Planung und Steuerung im Unternehmen in einer Weise zu gestalten, mit der dem Dilemma der Produktionswirtschaft begegnet werden soll. Da die vorgestellten Produkte sehr jung sind, wird sich erst in der Zukunft zeigen, ob das in den Broschüren Deklarierte tatsächlich methodisch enthalten ist und nachfolgend die Potenziale auch genutzt werden. Allerdings lässt die Preisstrategie der SAP kaum erwarten, dass APO bei KMU Einzug halten wird. Diese Aussage gilt gleichsam für die anderen großen Hersteller für SCM-Lösungen wie *i2 Technologies*, *J. D. Edwards* usw. Deren Zielgruppe sind finanzkräftige Unternehmen, die Kauf und Einführung dieser Produkte wirtschaftlich tragen können.

2.6 Zusammenfassung

Das Ziel von SCM-Systemen ist die aktive und permanente Gestaltung der Wertschöpfungskette zur Sicherung und Steigerung des Nutzens der beteiligten Unternehmen. Dabei verbinden SCM-Systeme „neue“ Informationssysteme zur integrierten Planung zumindest eines Ausschnitts der Kette¹⁹⁹.

¹⁹⁷Abbildung wurde aus [Sie00] entnommen.

¹⁹⁸In [Bra99, S. 219 ff.] sind eine Reihe von Installations- und Beschäftigtenzahlen enthalten, die eine derartige Aussage zulassen.

¹⁹⁹Siehe [Fle01a, S. 119].

Abschließend sollen die vorgestellten Konzepte der MRP, ERP und speziell des SCM zusammengefasst werden. Zunächst erfolgt eine kurze Würdigung der wichtigsten Punkte der vorangehenden Abschnitte. Im Anschluss daran sollen die wichtigsten Defizite der heutigen Konzepte herausgehoben werden.

2.6.1 Wichtige Aspekte der verschiedenen Konzepte

Das MRP II-Konzept als Manufacturing Resource Planning ist ein ganzheitliches, sukzessives Konzept zur unternehmensweiten Planung und Steuerung. Es integriert alle bis dato getrennten Planungssysteme des Rechnungswesens und der Logistik und damit alle wichtigen Planungsobjekte im Unternehmen.²⁰⁰

Im Kern ist es ein zentrales Planungskonzept, das aber in Teilbereichen um dezentrale Komponenten erweitert werden kann.²⁰¹ Wichtiger Bestandteil und Basis für die Entwicklung des MRP II-Konzeptes ist das Closed Loop MRP. Dieses sieht eine Sukzessivplanung mit hierarchischem Aufbau vor. Von den übergeordneten zu den untergeordneten Ebenen werden die Planungsobjekte mit zunehmendem Detaillierungsgrad und abnehmendem Planungshorizont betrachtet. Mit Hilfe eines Rückkopplungssystems erfolgt die Validierung und gegebenenfalls eine Änderung der Planung. Die Nutzung des MRP II-Konzeptes ist nicht ausschließlich eine rein technische Frage, sondern hängt auch sehr stark davon ab, ob das Unternehmen als Gesamtheit betrachtet wird. Das fängt bei der Organisationsstruktur an und hört bei der Informations- und Kommunikationstechnik auf. Das MRP II-Konzept kann somit auch als ein prozessorientierter Ansatz zur Unternehmensführung interpretiert werden. Dabei muss ein implementiertes MRP II-Konzept die Eigenschaft einer integrierten Datenhaltung aufweisen. Das MRP II-Konzept ist weiterhin aufgrund seines integrierten Rückkopplungssystems, der Betrachtung des Unternehmens als Gesamtheit und der damit verbundenen Integration aller betrieblichen Planungssysteme sehr flexibel.

Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass sich trotz aller Erweiterungen durch *Wight* im Kern nichts an der prinzipiellen Herangehensweise geändert hat. Er verfolgte somit keine konzeptionelle Neuausrichtung, sondern eine Verfeinerung einer sich bis dato bewährten Technik. Zusätzlich bleibt festzuhalten, dass der Anwendungsfokus dieses Konzeptes weiterhin die fertigende Industrie ist, worauf bspw. die Bezeichnung hindeutet.

²⁰⁰Siehe dazu die in Abbildung 2.8 dargestellten Grundressourcen.

²⁰¹Es kann bspw. im Bereich der Werkstattsteuerung ohne Weiteres zusammen mit Kanban eingesetzt werden. Vgl. dazu [Kar90, S. 86].

ERP-Systeme sind EDV-gestützte Planungssysteme, die Geschäftsprozesse sowohl innerbetrieblich als auch unternehmensübergreifend abbilden. Dabei ist das ERP eine Fortführung der MRP-Konzepte. Die Weiterentwicklung bestand im ersten Schritt in der *Erweiterung* der bisherigen *Planungsfunktion*, z. B. der Integration neuer Komponenten wie die Computer-Aided-Techniken. Der zweite Schritt der Weiterentwicklung stellte einen *Bruch mit den MRP-Konzepten* dar. So wurde erkannt, dass mit ihnen relevante Bestandteile der Planung nicht abbildbar sind. Aus diesem Grund bietet das ERP-Konzept den *Rahmen*, um bspw. optimierende Verfahren in das Planungskonzept einzubauen. Das ermöglicht erstmalig, simultane Planungsansätze in ein Gesamtkonzept der betrieblichen Informationsverarbeitung zu integrieren. Mit dem Supply Chain Management als Bestandteil eines ERP-Systems ändert sich der Betrachtungsbereich der Planung von einer unternehmensbezogenen zu einer gegenstandsbezogenen Betrachtung, die im Ansatz *unternehmensübergreifend* ist. Allerdings ist die Euphorie, mit der das SCM vom Markt aufgegriffen wurde, zu relativieren. Denn in der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass gerade der Bereich des Managements starken modischen Einflüssen unterworfen ist. So sei an die CIM-Euphorie vor knapp 20 Jahren erinnert, von der heute zwar Kernelemente in den Unternehmen anzutreffen sind, die aber die Erwartungen nicht erfüllen konnte.²⁰² Das SCM muss in den nächsten Jahren beweisen, dass es nicht nur gute Ergebnisse liefern kann, sondern auch von den Nutzern akzeptiert wird. Das Herstellen von Transparenz bzgl. Lösung und Lösungsweg ist nach der Meinung des Autors die größte Herausforderung für die Entwickler von SCM-Systemen.

2.6.2 Konzeptionelle Defizite derzeitiger Systeme

Dem betriebswirtschaftlichen Nutzen, der in zahlreichen Beiträgen zum SCM proklamiert wurde, stehen neue Herausforderungen in der Koordination und Steuerung von Netzwerken gegenüber. Auf diese neuen Aufgaben führen *Kling et al.*²⁰³ auch das Scheitern anderer, vielversprechender Ansätze (wie eben das CIM²⁰⁴) zurück, die insbesondere auf Problemen der Datenintegration²⁰⁵ und der organisatorischen und kulturellen Organisation²⁰⁶ beruhen. Nach *Fleisch*²⁰⁷ ergeben sich als derzeit wichtigste Koordinationsprobleme die folgenden:

²⁰²Vgl. [Str99a, S. 20].

²⁰³Siehe [Kli99, S. 5 f.].

²⁰⁴Siehe [Bec93].

²⁰⁵Siehe [Bec91].

²⁰⁶Siehe [She92, S. 29 ff.].

²⁰⁷Siehe hierzu [Fle01a, S. 121 ff.].

Reziprozität des Nutzens: Netzwerkweite Planung verlangt nach netzwerkweiter Transparenz der Informationen zu einer Supply Chain und die Bereitschaft zu Investitionen in nicht-vertragliche Leistungen²⁰⁸. Investitionen in ein derartiges Netzwerk, ob materiell oder immateriell, setzen Vertrauen und eine von allen Netzwerkpartnern geteilte Vision voraus. Ersteres ist ein Faktor, der in den Sozialwissenschaften unter dem Begriff der Soft-facts subsumiert wird. Letzteres setzt eine Konzeption für ein Netzwerkcontrolling voraus, da die Vision eine angemessene Aufteilung von Erfolg und Misserfolg unter den Netzwerkpartnern verlangt. Beides ist in der theoretischen SCM-Konzeption nicht enthalten und wird auch praktisch von keinem System auch nur ansatzweise unterstützt.

Prozessintegration: Laut *Fraunhofer*²⁰⁹ werden 90% der Arbeitszeit an PPS- oder ERP-Systemen mit dem Planen und Abwickeln von Standardprozessen zugebracht. Eine wichtige Forderung an SCM ist, diese Prozesse weitestgehend zu automatisieren und zu dynamisieren. Bestehende SCM-Systeme bilden im Falle von starren Lieferketten die erste Forderung in Teilfunktionen wie Materialbestellungen ab. Zum Teil erfolgt auch eine Art Collaborative Planning für gemeinsame Bedarfsvorhersagen. Eine dynamische Genese von Netzwerken wird theoretisch und praktisch nicht unterstützt. Die Entwicklung von elektronischen Marktplätzen und die Einbindung in SCM-Systeme (bspw. *mySAP Exchanges*)²¹⁰ ist ein erster Schritt, dieses Problem zu lösen.

Datenintegration: Dieses Problem ist durch die kaum realisierte semantische Integration häufig das Schwerwiegendste²¹¹. Das Ziel der Integration

²⁰⁸Vergleiche hierzu [Bak93b, S. 301 ff.].

²⁰⁹Siehe [Fra99, S. 21].

²¹⁰Siehe [SAP99a]. *mySAP Exchanges* verbindet das Unternehmen mit ausgewählten Partnern, um ihre Geschäftsprozesse wie Beschaffung, Einbindung von Lieferanten bis zum Verkauf so zu integrieren und zu automatisieren, dass eine schnelle, kosteneffiziente Zusammenarbeit während des gesamten Auftragsdurchlaufs gewährleistet ist. Lieferanten stehen beispielsweise umfassende Auftragsverwaltungsfunktionen zur Verfügung, einschließlich der Möglichkeit, Inhalte aus mehreren Katalogen zu vereinigen, eigene Angebote dem Katalog des Marktplatzes hinzuzufügen und Marktplatzdienste Dritter zu integrieren. Indem das Eigentümerunternehmen die Teilnahme am Marktplatz für seine Lieferanten und andere Geschäftspartner so einfach und kostengünstig wie möglich gestaltet, erhält es sofort eine klare Sicht auf die Nachfragesituation innerhalb des gesamten Geschäftsumfeldes. Dadurch ist das Unternehmen in der Lage, sowohl die Einführung von E-Business-Prozessen bei seinen Lieferanten zu beschleunigen als auch Unsicherheiten in seiner Logistikkette zu verringern. Allerdings können dynamisch keine Partner gebunden werden. Für die Aggregation von mehreren Angeboten gibt es derzeit keine Methoden.

²¹¹Vgl. [Öst00, S. 124].

auf der semantischen Ebene²¹² ist das Sicherstellen der richtigen Bedeutung der zu übertragenden Information²¹³. Dies bedeutet, dass „Reden“ und „Zuhören“ zwar notwendige Bedingung sind, aber keine hinreichende, denn „Verstehen“ bringt erst den versprochenen Nutzen. In diesem Bereich sind die Systeme zur *Enterprise Application Integration (EAI)* angesiedelt. SCM-Systeme werden sich in Zukunft verstärkt dieser bedienen, um die Datenintegration zu realisieren. Bei der Entwicklung des Extended Value Chain Managements wird ebenfalls von der Existenz dieser EAI-Systeme ausgegangen. *Ring et al.*²¹⁴ beschreiben detailliert und umfassend die Konzeption zum EAI.

Systemintegration: Systemintegration bedeutet die Einbeziehung aller nutzversprechenden Informationssysteme aller Knoten der Supply Chain. Hierzu gehören PPS-Systeme, die nicht in ERP-Systeme eingebunden wurden, genauso wie Produktions- oder Betriebsdatenerfassungsgeräte. Hierzu sei bemerkt, dass fokale Unternehmen²¹⁵ die Beherrschung der Komplexität einer Supply Chain vor allem in Bezug auf die Vielfalt der zu planenden Aufgaben in den Mittelpunkt ihrer Betrachtung und Argumentation stellen. Die Flexibilität und die Reaktionsfähigkeit wird jedoch „auf dem Rücken“ der KMU ausgetragen. Deshalb favorisieren sie, wenn überhaupt, effiziente Methoden zur Fertigungssteuerung. Die Integration beider wurde von SCM-Systemen bisher nicht methodisch vollzogen.

Ausnahmeregelungen: Regeln dieser Art werden in Anspruch genommen, wenn keine Standardprozesse für die auftretende Ausnahme implementiert sind. In diesem Falle stellt sich die Frage nach der Verantwortlichkeit und der Verfahrensweise. Vermutlich wird kein System in der Lage sein, Ausnahmen umfassend und zufriedenstellend zu beherrschen. Im Sinne einer Transparenzverbesserung muss es jedoch rechtzeitig bestimmte Typen (z. B. Lieferverzug, Ausfall von Netzwerkknoten usw.) von Problemen erkennen können. Auch hierzu sind SCM-Systeme kaum in der Lage.

Insgesamt hat das SCM in jüngster Zeit durch die breite Diskussion vor allem in der Praxis einen deutlichen Auftrieb erhalten. Inhaltlich gesehene erfüllte

²¹²Siehe zu den Ebenen der Integration die Einteilung von *Reichwald* in [Rei93] und [Pic96, S. 67].

²¹³Siehe hierzu [Fle01a, S. 125].

²¹⁴Siehe [Rin99].

²¹⁵Dieser oft zitierte Begriff bringt nach Meinung des Autors versteckt die Starrheit der Systeme in ihrer Konzeption zu Ausdruck.

das SCM die Erwartungen durch eine dominante (und sehr einseitige) DV-Sicht und die Konzentration auf Methoden für operative Problemstellungen aus Sicht des Autors nicht. Vermutlich ist diese Entwicklung in den zahlreichen Start-up's der New-Economy zu begründen, in welcher fast ausschließlich informatiklastige IT-Konzepte in einer unüberschaubaren Vielfalt entwickelt wurden. Der theoretisch begründete betriebswirtschaftliche Nutzen wird häufig vergeblich gesucht. Vermutlich ist dies eine wesentliche Ursache für die Konsolidierung dieses Marktsegments in den letzten beiden Jahren. Aus diesem Grunde gibt es auch keine „echten“ Netzwerkkonzepte, bspw. für die Genese von Supply Webs. In der Hauptsache beschränken sich Kooperationen auf stabile Binärrelationen zwischen rechtlich verbundenen Unternehmen. Es existieren offenkundig gravierende Modellierungs- und Implementierungshürden des SCM-Konzeptes für Kooperationen, die dynamisch sind und an welcher mehr als nur zwei Partner miteinander verbunden sind²¹⁶, obwohl zahlreiche Beiträge über Erfolge berichten, deren Basis die SCM-Implementierung ist²¹⁷. *Wohlgemuth et al.*²¹⁸ stellen jedoch völlig zu Recht fest, dass bei genauer Betrachtung die Mehrzahl der Projekte entweder die Beziehungsgestaltung zwischen internen Standorten größerer internationaler Unternehmen bzw. deren Tochtergesellschaften oder aber die Optimierung von Zweierbeziehungen zum Gegenstand haben²¹⁹.

Für die Auseinandersetzung mit den strategischen Aufgaben eines Netzwerkes lassen sich in der Literatur, wie dieses Kapitel deutlich gezeigt hat, zwei Hauptrichtungen der Betrachtung ausmachen. Der eine, eher konzeptionell geprägte Teil beschäftigt sich mit den organisatorischen Voraussetzungen für die Implementierung des Ansatzes, wobei Modellierung und Gestaltung überbetrieblicher Prozessketten sowie durchgängige, medienbruchfreie Informationssysteme dominieren. Typischer Vertreter ist das SCC mit seinem SCOR-Modell. Methoden zur Behandlung entstandener Lieferketten werden nicht betrachtet. Die andere Gruppe stellt die Funktionalitäten von SCM-Systemen in den Vordergrund, die bestehende Systeme heute besitzen. Der Einsatz konventioneller OR-Methoden wird forciert, aber gleichzeitig findet kein „Nachvorndenken“ statt. Deren Beiträge in der Literatur bestehen i. d. R. in umfassenden Überblicken zum Stand der Technik von Tools zum strategischen SCM. Diese Tools lassen sich wiederum in zwei Gruppen teilen: Anbieter von SCP-Systemen und Anbieter von SCE-Systemen.

²¹⁶Siehe hierzu auch [Woh01, S. 69].

²¹⁷Siehe hierzu stellvertretend [Kno00] und [Kuh98a, S. 7 ff.].

²¹⁸Siehe [Woh01, S. 69 f.].

²¹⁹Siehe auch [Kot00b, S. 21 ff.]. *Franke et al.* [Fra00, S. 54 ff.] hingegen zeigen Ansätze für das SCM mit mehr als zwei Unternehmen auf.

Letztere sind im operativen Bereich des SCM angesiedelt und beinhalten Funktionen zum Unterstützen der operativen Geschäftstätigkeiten. Strategische Managementaufgaben werden nicht unterstützt. SCP-Systeme waren anfangs nur Weiterentwicklungen gestandener ERP-Systeme, die nach der MRP II-Philosophie implementiert wurden. Erst in den letzten fünf Jahren etablierten sich erste Lösungen wie SAP APO, die eine unternehmensübergreifende Planung konzeptionell im Visier hatten. Zum gegenwärtigen Stand weisen diese, wie oben gezeigt, wesentliche Mängel zur Bildung von dynamischen Netzwerken auf.

Die vorliegende Arbeit wird sich konzeptionell mit den Punkten beschäftigen, für die einerseits das SCM keine unternehmensübergreifenden Methoden bereitstellt (siehe u. a. SCOR-Modell und periphere Modellentwicklungen), die auch als strategische Lücken bezeichnet werden können, und für die andererseits Unternehmen wie *SAP*, *i2 Technologies* usw. in ihren Produkten keine Hinweise zu deren Behandlung geben. Aus diesem Kapitel geht hervor, dass es sich dabei um die folgenden Aspekte handelt:

- eine Netzwerkgenese zur dynamischen Suche von Netzwerkknoten und anschließende Bildung von Wertschöpfungsnetzen,
- die Aggregation von Lieferantworten aus einer Schar von konjunktiven und disjunktiven Stücklistenposition sowie
- das Finden von Netzwerkpartnern durch Soft-fact-Integration, das in der normativ-strategischen Ebene eines Netzwerkkonzepts situiert ist.

Bei aller technologischer Signifikanz der gestellten Anforderungen an SCM-Modelle hat sich ein offenkundiger Nachholbedarf im verhaltensorientierten Bereich des Netzwerkmanagements gezeigt. Insbesondere der Begriff des Vertrauens wird in der Literatur zunehmend frequentiert. Es sind allerdings keine Ansätze zur quantitativen Modellierung derartiger Soft-facts bekannt geworden. Der Aufbau und die Einbeziehung einer Datenbasis mit Wissen über die Beziehungen der Netzwerkpartner wird in der Zukunft unerlässlich bleiben. Aus diesem Grund wird sich die vorliegende Arbeit bei der Modellierung des Konzeptes zum Extended Value Chain Management insbesondere mit dieser Facette eines Netzwerkes auseinander setzen und einen interessanten Ansatz liefern. Jedoch hat die Einsicht in die Notwendigkeit einer derartigen Funktion für die Netzwerkgenese beim Autor auch zahlreicher Diskussionen mit Sozialwissenschaftlern innerhalb des Sonderforschungsbereiches „Hierarchie-lose Regionale Produktionsnetze“ bedurft²²⁰.

²²⁰An dieser Stelle sei die Zusammenarbeit mit *Lang*, *Aderhold* und *Meyer* von der TU Chemnitz und *Walter* von der FH Zwickau hervorgehoben, die einen wichtigen Einfluss

Begleitend zur Entwicklung des ERP- und des SCM-Konzeptes etablierten sich in den letzten Jahren mehr oder weniger potente Modelle zur Strukturierung und Betreuung von Netzwerken zur Beherrschung von unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten. Das nächste Kapitel widmet sich dieser Entwicklung.

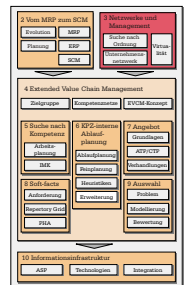
auf den sozialwissenschaftlichen Teil des Konzeptes innerhalb von EVCM hatte.

„ ... cybernetics is the science of control, management is the profession of control.“

Stafford Beer

Kapitel 3

Netzwerke und Managementkonzepte



In den vergangenen Jahren hat sich in der Wirtschaftswelt ein tiefgreifender Wandel von einem vorwiegend stabil und national geprägtem Umfeld hin zum globalen Wettbewerb vollzogen. Auch im binnen- und außenwirtschaftlichen Unternehmensumfeld¹ sowie aus politischer und rechtlicher Sicht haben sich grundlegende Veränderungen ergeben. Erinnerung sei z. B. an die Erweiterung der Europäischen Union und an die Einführung des EURO. Zusätzlich wurden grundlegend neue technische Entwicklungen eingeführt, beispielsweise in der Informations- und Kommunikationstechnologie in den Bereichen des E-Business und des m-Commerce.

Durch Anwendung dieser neuen Technologien ergab sich die Möglichkeit, völlig neue Märkte erschließen zu können. Dies führte zu einer zunehmenden Globalisierung der Märkte, welche durch eine Zunahme an potenziellen Konkurrenten geprägt ist. Um mit dieser immer schneller werdenden Entwicklung Schritt halten zu können, sind neue Konzepte notwendig, die in der Lage sind, betriebswirtschaftliche Ziele wie Kostenminimierung, Flexibilität und Effizienz, zu realisieren. Auch in der Arbeitswelt und in der Gesellschaft² vollzog sich ein tiefgreifender Wandel. Ein verstärktes ökologisches Bewusstsein, ein verändertes Verhältnis zu Arbeit und Freizeit aber auch der Wunsch, eine anspruchsvolle Tätigkeit mit individuellem Handlungsspielraum zu vollbringen, führen zu einer verstärkten ablehnenden Haltung gegenüber hierarchischen Strukturen. Aus diesen Gründen werden in der betriebswirtschaftlichen Forschung seit einiger Zeit neue Konzepte der Unternehmensorganisation und

¹Vgl. [Sch00a, S. 311].

²Vgl. [Pic01, S. 4].

-kooperation diskutiert, denn eben für kleine und mittlere Unternehmen, die kaum Skaleneffekte erzielen oder sich keine Stabsabteilungen leisten können³, kann Kooperation zu einem wettbewerbsentscheidenden Faktor werden. Der Weg hin zu erfolgreicher Kooperation kann beschwerlich sein, da mangelndes Vertrauen, fehlende Weitsicht oder individuelle Eitelkeiten oftmals einer erfolgreichen Partnerschaft im Wege stehen. Unternehmenskooperationen versprechen eine Menge Vorteile wie Senkung von Produktionskosten durch Konzentration auf Kernkompetenzen, Erschließung neuer Märkte, bessere Kapazitätsauslastung, kostengünstiges Benchmarking oder gemeinsames Sourcing⁴. Die Mitnahme dieser Vorteile ist jedoch an Voraussetzungen geknüpft.

Bislang sind verschiedene Kooperationsformen von Unternehmen kategorisiert worden. Weit verbreitet ist die Einteilung in drei⁵ verschiedene Formen: Joint Venture⁶, Strategische Allianzen⁷ und Unternehmensnetzwerke. Spezielle Arten von Unternehmensnetzwerken werden oftmals auch als Virtuelle Unternehmen bezeichnet, jedoch existiert dazu noch keine einheitliche wissenschaftliche Meinung bezüglich verschiedener Unterscheidungsmerkmale. Ausgehend von der Reinform unterscheiden sich Joint Ventures und Unternehmensnetzwerke durch die Art ihres Zusammenschlusses⁸. Während bei Joint Ventures durch die langfristig angelegte Zusammenarbeit eine Unternehmensneugründung angestrebt wird, genügen beim Unternehmensnetzwerk in der Regel lose Vereinbarungen und Rahmenabsprachen ohne das Ziel einer Unternehmensgründung. Ebenfalls auf längere Zeit sind strategische Allianzen angelegt. Wesentlich mehr Regelungen treten bei Kooperationsformen wie Konsortien oder Arbeitsgemeinschaften auf, die jedoch nach außen hin kein einheitliches Erscheinungsbild aufweisen. Von allen bisher erwähnten unternehmensübergreifenden Kooperationsmöglichkeiten stellt das Unternehmensnetzwerk bzw. das Virtuelle Unternehmen die neueste Form dar. Die vorliegende Arbeit fokussiert aus dem Grund der Abbildbarkeit einer hohen Dynamik und großen Flexibilität eines Wertschöpfungsnetzwerkes ausschließlich Unternehmensnetzwerke.

Bereits 1984 beschäftigten sich *Miles* und *Snow*⁹ mit der Idee zeitlich befristeter unternehmensübergreifender Kooperationsformen, welche sie als „Dy-

³Vgl. [Hir98, S. 135].

⁴In Anlehnung an [Hir98, S. 136 ff.].

⁵Siehe hierzu [Hes99a, S. 225] und [Sch98b, S. 19].

⁶Siehe [Sch96c, S. 20 ff.].

⁷Näheres dazu bei [Fre98, S. 23 ff.].

⁸Vgl. [Sch98b, S. 19].

⁹Vgl. [Mil84, S. 26].

amic Networks“¹⁰ bezeichneten. 1986 erwähnte *Mowshowitz*¹¹ das Konzept der „Virtual Organization“. Damit war jedoch mehr die intraorganisationale Variante, also das automatisierte Büro gemeint, ein Konzept, welches aus der gestiegenen Bedeutung der EDV hervorging. Eine erste ausführliche Abhandlung legten *Davidow* und *Malone*¹² im Jahre 1992 vor. In ihrem Buch „*Das Virtuelle Unternehmen*“ wird euphorisch die Vision eines Unternehmens des 21. Jahrhunderts beschrieben, in der die verschiedensten Problemfelder auf völlig neue und ebenso andere, eben virtuelle, Weise bewältigt werden. Als negativ zu werten ist, aber signifikant für das literarische Umfeld dieses Gebietes, dass im gesamten Buch keine genaue Definition des Begriffs eines Virtuellen Unternehmens gegeben wird¹³.

Kurze Zeit später (1993) erscheint ein vielzitiertes Artikel von *Byrne*¹⁴, in dem der Verfasser das Virtuelle Unternehmen als zeitlich befristetes Netzwerk von Unternehmen definiert. In dieser Zeit werden auch die ersten ausführlicheren deutschen Abhandlungen zu diesem Thema veröffentlicht. Erwähnenswert ist das Buch „*Die Fraktale Fabrik*“¹⁵ von *Warnecke*. Der Verfasser versteht unter einem Fraktal eine selbstständig agierende Unternehmenseinheit, deren Ziele und Leistung eindeutig beschreibbar sind¹⁶. Der Begriff Fraktal hat sich jedoch im Laufe der Zeit nicht entscheidend durchgesetzt, wengleich die Idee in vielen später erschienenen Konzepten wieder aufgegriffen und weiterentwickelt wurde.

Zur gleichen Zeit veröffentlichte *Sydow*¹⁷ sein Buch „*Strategische Netzwerke*“, in welchem eine Reihe von grundsätzlichen Ansätzen und Gedanken zum Thema Netzwerkmanagement zusammengefasst sind. Es stellt somit eine Art Grundlagenwerk dar, denn in vielen darauffolgenden Veröffentlichungen zum Thema Netzwerkmanagement wird dieses Buch als Basis verwendet.

In der Folgezeit entwickelt sich die Netzwerkforschung und das Virtuelle Unternehmen zu einem Modethema, zu dem eine Vielzahl von Büchern und Artikeln in Zeitschriften veröffentlicht wurde¹⁸. Mit wenigen Ausnahmen sind

¹⁰Vertiefend analysiert bei [Mil86].

¹¹Vgl. [Mow86, S. 389].

¹²Vgl. die deutsche Ausgabe von 1993 [Dav93].

¹³Vgl. [Sch96c, S. 26 ff.].

¹⁴Vgl. [Byr93, S. 37 ff.].

¹⁵Siehe [War93].

¹⁶Vgl. [War93, S. 152 f.].

¹⁷Vgl. [Syd92].

¹⁸Für den deutschsprachigen Raum seien stellvertretend die bekannteren Veröffentlichungen von *Klein* [Kle94], *Arnold et al.* [Arn95], *Mertens/Faisst* [Mer95, Mer96], *Wildemann* [Wil97], *Wüthrich/Philipp* [Wüt98a, Wüt98c, Wüt98b] und *Griese/Sieber* [Gri00] genannt. Auch ein gesamtes Ergänzungsheft der Zeitschrift für Betriebswirtschaft¹⁹ ist

die Bücher jedoch lediglich Aufsatzsammlungen, die zwar wertvolle Ansätze liefern, aber in methodischer und didaktischer Perspektive Wünsche offen lassen. Die wissenschaftliche Bearbeitung der Thematik selbst setzte erst Mitte der neunziger Jahre ein. Die hierzu bereits veröffentlichte Literatur ist daher noch auf wenige, wenn auch im Sinne der Thematik wertvolle Grundlagen und ausgewählte Teilaspekte beschränkt. Wie aus den verschiedensten Titeln der Aufsätze, Artikel und Bücher ersichtlich wird, sind Begriffe wie Unternehmensnetzwerk, Fraktale Fabrik oder Virtuelle Organisation noch nicht einheitlich definiert. Im folgenden Abschnitt sollen die verschiedenen, am häufigsten vorkommenden Begriffe erklärt, definiert und kategorisiert werden.

Für die bisherige Umsetzung der Konzepte lässt sich grundsätzlich feststellen, dass die Initiierung virtueller Unternehmen und die Entwicklung von Vernetzungen in der Praxis zwar schon Anwendung findet, dies aber eher in Zeiten wirtschaftlicher Schwierigkeiten von Unternehmen und Regionen und auch nicht unbedingt, wie die Literatur zeigt, auf theoretisch abgesicherter Basis. *Kinkel/Lay*²⁰ untersuchten anhand von Unternehmensbefragungen das regionale Kooperationsverhalten (innerhalb 50 km) der deutschen Investitionsgüterindustrie. 32% der Befragten betreiben Kooperationen, beschränken sich aber auf einzelne Unternehmensbereiche. Symptomatisch ist die „Kooperation aus Schwäche“, d. h. Unternehmen suchen Kooperationspartner erst in wirtschaftlich schlechter Situation. *Schiller*²¹ präsentiert Ergebnisse einer weiteren empirischen Studie zum Kooperationsverhalten kleiner und mittlerer Unternehmen, die 1996 durchgeführt wurde.

Zur Herausarbeitung der Erfolgsfaktoren von Netzwerken erfolgt zunächst die Betrachtung der Konzepte nach der Beschreibung durch sozio-kulturelle Systeme, die Herausbildung von Systemelementen und deren Vernetzung, deren Beschreibung schon seit längerer Zeit im Mittelpunkt der Betrachtung zahlreicher Publikationen steht²².

dem Thema Virtuelle Unternehmen gewidmet. Aus der Vielzahl der Buchveröffentlichungen zu den Themen Unternehmensnetzwerke und Virtuelles Unternehmen seien in diesem Rahmen u. a. die Werke von *Kaluza/Blecker* [Kal00a], *Teich* [Tei01m], *Hofmann* [Hof01b], *Pagé/Ehring* [Pag01], *Zerdick et al.* [Zer99], *Rhode et al.* [Rho01], *Wildemann* [Wil96a], *Picot/Reichwald/Wigand* [Pic01] oder von *Nagel/Erben/Piller* [Nag99] genannt.

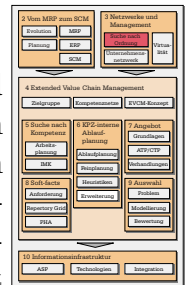
²⁰Siehe [Kin00].

²¹Siehe [Sch98a, S. 77 ff.].

²²Vergleiche hierzu [Bau00, S. 11].

3.1 Auf der Suche nach Ordnung

In der Literatur wird der Ausgangspunkt der Entwicklung von Netzwerk- und Managementkonzepten durchgängig auf die geänderten Marktanforderungen (hauptsächlich der häufig bemühte Wechsel zur Kundenorientierung) und den damit erforderlichen Veränderungen, vor allem dem wachsenden Flexibilisierungsdruck, gesetzt. Diese Auseinandersetzung mit der Netzwerkproblematik, die etwa seit den 80er Jahren quantitativ wie qualitativ expandiert, zeigt deutlich, dass sie längst zu einem Leitthema sowohl im wissenschaftlichen Diskurs als auch in der Wirtschaftspraxis avanciert ist. Netzwerk bzw. virtuelle Organisation sind die modernen Schlagworte sowohl in populärer als auch in wissenschaftlicher Literatur. Von diesen Organisationsformen bzw. -strukturen geht die Hoffnung aus, dass sich durch ihre Realisierung in der Wirtschaft zukünftig realisierbare Erfolge einstellen werden²³. *Aderhold* und *Meyer*²⁴ resümieren, dass sich insbesondere bei Betrachtung der Vielfalt und Variabilität der wirtschaftlichen Praxis mit etwas Abstand einige verallgemeinerbare Trends moderner Organisationsentwicklung zeigen.



1. Während früher verstärkt auf Optimierung interner Prozesse und Ausgestaltung materiell-technischer Ressourcen als Schlüsselkriterien des wirtschaftlichen Erfolges gesetzt wurde, sehen Wissenschaft und Praxis nun in der Gestaltung immaterieller Produktions- und Wettbewerbsfaktoren erfolgsträchtige Perspektiven. Problematisiert werden u. a. Aspekte der Personalentwicklung oder des Beziehungsmanagements (Formen von Kooperationen, Beziehungen und Kontakten). Semantisch finden die veränderten Schwerpunktsetzungen ihren Ausdruck in immer neu aufgelegten Wortschöpfungen. Managementkonzepte heißen heute nicht mehr Reengineering oder TQM, sondern lernende Organisation, Supply Chain Management und Netzwerkmanagement²⁵. Wichtig erscheint jedoch auch an dieser Stelle²⁶ wiederum die Betonung der Beziehungen, insbesondere die Ausprägungen Vertrauen und ähnliche Soft-facts. Allerdings besteht ein Mangel dieser Fachdisziplin im Fehlen einer Modellierung und Operationalisierung der gewünschten Integration dieser wichtigen Merkmale eines Netzwerkes.
2. Externe Auslöser wie die bereits oben beschriebene Kundenorientierung werden für die Veränderung der Organisation verantwortlich gemacht.

²³Siehe hierzu [Pic01], [Rei00c] und [Hes01].

²⁴Siehe hierzu die im Wesentlichen übernommenen Ausführungen in [Ade01, S. 131 ff.].

²⁵Siehe hierzu [Kie96, S. 21 ff.].

²⁶Vergleiche hierzu die Ausführungen zu Soft-facts im Abschnitt 2.6.2.

Globalisierung, stärkerer Wettbewerb und gewachsene Ansprüche der Kunden zwingen wirtschaftliche Organisationen in ein Umfeld, das geprägt ist durch erhöhte Komplexität, Unsicherheit und Dynamik. Die steigenden Flexibilitätsanforderungen gehen einher mit einer Bedeutungsverlagerung von der Aufbau- über die Ablauf- hin zur dynamischen Prozessorganisation²⁷. Schlagworte, wie *form follows function* erfahren eine konzeptionelle Renaissance.

3. Andere Betrachtungswinkel stellen die bislang gesetzten Grenzen von Einheitsorganisationen in Frage²⁸. In einer Vielzahl wissenschaftlicher und praxiologischer Konzepte wird der Fokus von Veränderungsprojekten in Wirtschafts- und Verwaltungseinrichtungen nicht mehr nur auf das einzelne Gestaltungsobjekt einer Organisation gesetzt. Ansätze werden formuliert, die gerade in der Bearbeitung der Organisationsgrenzen Potenziale sehen, um angemessene Antworten auf gegenwärtige und zukünftige Aufgaben in Wirtschaft und Gesellschaft geben zu können. Wird dieser Diskussion noch ein Stück gefolgt, könnte der Schluss nahe liegen, dass vorzugsweise die Bildung von Netzwerken als „Königsweg“ stilisiert wird, der Wachstum und Überleben von Organisationen garantiert. Dies ist auch eine These innerhalb des SFB 457 zur hierarchielosen Organisation der Genese und des Betriebens von kompetenzzellenbasierten Produktionsnetzen.

Vielfältige empirische Befunde und Fallbeschreibungen sowie abstrakte Überlegungen scheinen diese These zu bestätigen, die Netzwerkorganisation als das Erfolgskonzept der Zukunft ansehen²⁹. Beschrieben wird, welche Faktoren wann, wo, in welchem Umfang und in welchem Verhältnis auf das Leben von Organisationen Einfluss haben. Eine häufig formulierte Annahme oder Aussage ist, dass sich die Organisationsform Netzwerk in besonderer Weise dazu eignet, angestrebte Organisationsziele wie Wachstum, Innovationstätigkeit und wirtschaftlichen Erfolg zu erreichen.

Die Wege trennen sich jedoch bei der Darstellung der daraus resultierenden Managementkonzepte und der anzuwendenden Methoden. Der folgende Abschnitt soll zunächst in einem kurzen Überblick die verschiedenen Auffassungen und Herangehensweisen zur Problematik der Netzwerke aufzeigen, um anschließend kritisch die Verbesserungspotenziale herausarbeiten zu können.

²⁷Vgl. [Ham93].

²⁸Siehe die Ausführungen in [Mü97d, 23 ff.] und [Wir99, S. 25 ff.].

²⁹Vergleiche hierzu die Beiträge [Hak89], [Syd92], [Ebe97, S. 3 ff.] und [Mü97b, S. 1 ff.].

3.1.1 Kategorisierung von Netzwerken

Aderhold und *Meyer*³⁰ stellen fest, dass die sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Netzwerkforschung weit davon entfernt ist, einen geschlossenen theoretischen Rahmen zur Beschreibung und Erklärung von Netzwerken und deren Einzelphänomenen bereitstellen zu können. Zudem ist festzuhalten, dass der Netzwerkbegriff vielfach in einem metaphorischen Sinne gebraucht wird³¹. Ein an den vielfältig und komplex angelegten empirischen Verhältnissen orientiertes Verständnis über Struktur, Dynamik und Funktionsweise von Netzwerken ist genau genommen bisher nicht ausgearbeitet worden. Ein Bewusstsein über Komplexität und Mächtigkeit des Netzwerkphänomens ist durchaus vorhanden, das aber nicht mit einem tiefgründigen Verständnis verwechselt werden sollte. Schließlich ist es bisher nur ansatzweise gelungen, dessen Möglichkeiten und Wirkprinzipien in einer angemessenen Weise zu erfassen. Die Lage verkompliziert sich noch, sobald sich das Feld disziplinär öffnet³².

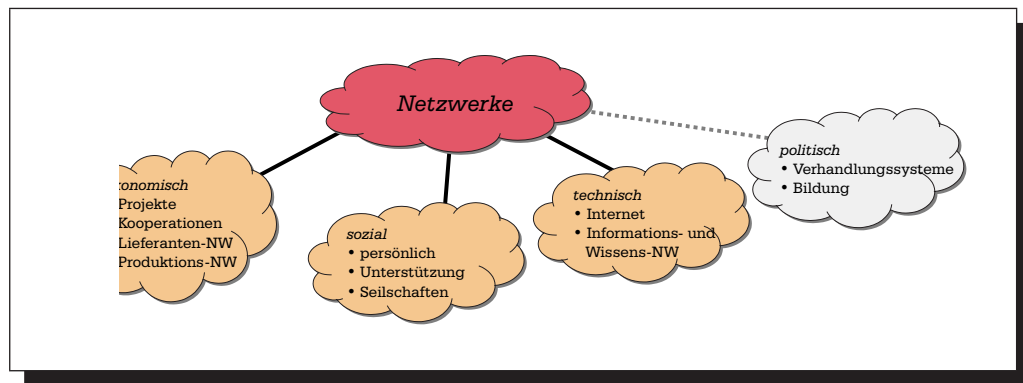


Abbildung 3.1: Typen von Netzwerken

Prinzipiell lassen sich Netzwerke aus technischer, ökonomischer, sozialer und politischer Perspektive betrachten (Abbildung 3.1), wobei letztere für die-

³⁰Vergleiche den Abschnitt 6.2 in [Ade01, S. 133 ff.].

³¹Der Leser ahnt beim Durchmustern sozialwissenschaftlich geprägter Literatur ungefähr, wovon die Rede ist.

³²Innerhalb des SFB 457 ist die Verständigung zwischen Ingenieuren, Betriebswirtschaftlern und Informatikern allein durch die semantische Reichhaltigkeit des Begriffes Netzwerk ein Problem. Verstärkt wird dieser Fakt häufig dadurch, dass aus Unwissenheit über die Forschungsinhalte anderer Fachdisziplinen geglaubt wird, die eigene Wissenschaft sei die wichtigste im Zusammenhang mit Netzwerken. Auf diese Weise vollzog sich auch in der Literatur eine Trennung in qualitative und quantitative (operationalisierende) Forschung.

se Arbeit keine Bedeutung besitzt und aus diesem Grunde auch nicht weiter verfolgt wird. Entsprechend der Ausdifferenzierung kontextverschiedener Netzwerke ist von unterschiedlichen Beobachterstandorten und -perspektiven auszugehen, die unterschiedliche Verständnisse und Schwerpunktsetzungen in der Strukturierung nach sich ziehen.

Das *technisch geprägte Netzwerk* hat seinen Ursprung in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts und steht im Zusammenhang mit Topologien der Verkabelung und Infrastrukturen zum Verbinden von Computern zum Zweck eines schnellen Nachrichtenaustausches. Computernetzwerke von heute bestehen aus Hardware- und Softwarekomponenten, die in unterschiedlichen Ebenen verschiedenste Dienste zur Kommunikation und Koordination anbieten. Die verbundenen Rechner sind jeweiligen Organisationen angegliedert, die sich durch Adressierung (IP-Adresse) eindeutig zuordnen lassen. Diese technische Seite des Netzwerkes wird in dieser Arbeit im Kapitel 10 näher betrachtet. Insbesondere Konzepte zum Nachrichtenaustausch und zur Modellierung der zu verteilenden Informationen sind zum einen für die Effizienz der Genese und des Betriebes eines Netzwerkes und zum anderen aus Akzeptanzgründen in Bezug auf die zu erwartenden Investitionen der jeweiligen Netzwerkpartner von Interesse. Weiterhin soll der informationstechnische Modellkern des Extended Value Chain Management-Konzeptes die Bindung und Verschmelzung von technischem und sozialem Netzwerk realisieren und somit erstmals eine operationalisierbare Integration von Soft-facts innerhalb eines IT-geprägten Modells eines Produktionsnetzwerkes konzipieren.

Von großem Interesse in der Netzwerk-Theorie ist der *soziale Kontext*. Der Fokus dieser Arbeit liegt, wie bereits erwähnt wurde, auf Unternehmensnetzwerken. Hierbei sind nicht nur wirtschaftliche, sondern vor allem soziale Aspekte näher zu beleuchten, wie aus der Analyse der Defizite des SCM-Konzeptes herausgearbeitet wurde. In der sozialwissenschaftlichen Perspektive lassen sich soziale Netzwerke allgemein als ein Geflecht sozialer Beziehungen zwischen Akteuren auffassen³³. Netzwerke grenzen sich sowohl von alltäglich stattfindenden Interaktionen als auch von formalen Organisationen ab und haben den Vorteil, die Möglichkeiten der Ordnungsformen von Markt und Hierarchie durch das für Märkte typische Vorhandensein einer Vielzahl von autonom Handelnden und die für Hierarchien typische Fähigkeit, gewählte Ziele durch koordiniertes Handeln zu verfolgen, miteinander zu verknüpfen. Das jeweilige soziale Netz der Kontakte und Verbindungen kann hierbei unterschiedliche Funktionen übernehmen: Informationen liefern, Unterstützung leisten, eine emotionale Einbindung einzelner Personen ermöglichen oder soziale Verpflichtungen signalisieren. Soziale Netzwerke sind zudem

³³Siehe [Kap00, S. 25 ff.].

fähig, die Grenzen von Familien, Gruppen oder Organisationen zu überschreiten. Auf der Basis personeller Verflechtungen lassen sich die Grenzen dieser Sozialsysteme nicht nur durchdringen, sondern eine vernetzende Verkopplung erscheint mit allen positiven und negativen Vorzeichen möglich. Der Unterschied von Netzwerken bzw. Strukturen von Netzwerken lässt sich am Erleben und Handeln der Beteiligten erkennen. Ein operationalisierbares Kriterium zur Bestimmung und Unterscheidung von Netzwerken lässt sich am ehesten am Verhalten der Beteiligten ablesen. Zum einen wird ihr Verhalten von der Strukturtypik des Netzwerkes und zum anderen von den Beziehungen im Netzwerkgeflecht beeinflusst. Für letzteres wird in Kapitel 8 ein mathematisches Modell zur Beschreibung und Analyse der Netzwerkstruktur vorgestellt. Die Polyedrale Analyse stellt in diesem Kontext ein völlig neues Verfahren dar, um Exzentrizität der Akteure und die Konnektivität des Netzwerkes zu messen und mittels algebraischer Gruppen Aussagen zur Strukturverbesserung dessen zu generieren.

Im *ökonomischen Kontext* findet sich ein auf Unternehmensaspekte zugeschnittenes Begriffsverständnis. Insbesondere wird die Auseinandersetzung mit der Vernetzungs- und Kooperationsproblematik vom institutionenökonomischen Ansatz dominiert, der Netzwerke von Unternehmen als eine auf die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen zielende, polyzentrische, von einer oder mehreren Unternehmen strategisch geführte Organisationsform ökonomischer Aktivitäten zwischen Markt und Hierarchie beschreibt, die durch komplex-reziproke, eher kooperative denn kompetitive und relativ stabile Beziehungen zwischen rechtlich selbstständigen, wirtschaftlich jedoch meist abhängigen Unternehmen charakterisiert sind³⁴. Aus diesem Grunde wird sich der Abschnitt 4.2.2.3 eingehend mit der optimalen Größe von Kompetenzzellen innerhalb des Extended Value Chain Management-Konzeptes auseinandersetzen.

Die Koordinationsmechanismen von Markt und Hierarchie (Organisation) sind in intelligenter Weise miteinander kombiniert und es entsteht eine neue, eine hybride Organisationsform, die als Netzwerk bezeichnet wird³⁵. Kerngedanken und Bezugsprobleme der ökonomischen Betrachtungsweise können wie folgt deklariert sowie notwendige Konzeptionen für das EVCM impliziert werden.

- Netzwerke stellen eine Organisationsform dar, welche dem Zweck der Optimierung ökonomischer Austauschbeziehungen bzw. Transaktionen zuarbeiten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Advan-

³⁴Siehe [Syd92].

³⁵Vgl. [Syd96b, S. 191 ff.].

ced Planning and Scheduling zur unternehmensübergreifenden Planung des Wertschöpfungsnetzes im operativen und taktischen Bereich sowie die Aggregation von Lieferantworten innerhalb der ATP- und CTP-Methoden zur Transparenzverstärkung der Liefertermineinhaltung.

- Die miteinander in Kontakt stehenden Akteure arbeiten in kooperativer Weise zusammen, was eine vertrauensvolle, auf den Gesamtnutzen orientierte Arbeitsweise der Unternehmen voraussetzt. Im Bereich der Soft-fact-Integration soll über die Methoden des Repertory Grid und der Polyedralen Analyse die sozialen Attribute wie Vertrauen in der Weise berücksichtigt werden, dass die Akteure gemeinsame Visionen operationalisieren können.
- Die bestehende Zusammenarbeit geht meistens über eine einmalige Austauschbeziehung (Markt) hinaus. Das Kunden-Lieferantenverhältnis bleibt über die Austauschbeziehung hinaus bestehen. Der informationstechnische Modellkern des EVCM muss demnach über Komponenten verfügen, welche a-posteriori Information zu Netzwerkbeziehungen pflegt und diese im Genese-Vorgang aktiviert.

Aus diesen Sichten leitet sich für das Extended Value Chain Management ein Sichtenkonzept ab, welches in Abschnitt 4.3.3 beschrieben wird. Gemäß dieser Erklärung besteht ein Netzwerk aus Organisationen, welche nicht nur aus juristischer Sicht als eigenständige Einheiten zu betrachten sind. Aus ökonomischer Sicht gibt es viele Möglichkeiten, die Verflechtungen hervorrufen können. Personelle Verflechtungen sind in dieser umfassenden wie allgemeinen Definition nicht ausdrücklich berücksichtigt, spielen aber aus Sicht des Autors eine fundamental-entscheidende Rolle. Während der sozialwissenschaftliche Zugang zu allgemein auf den Akteur bzw. auf soziale Beziehungsstrukturen abhebt, ist der institutionenökonomische Netzwerkansatz zu eng an den Kosten implizierenden Zusammenhang opportunistisch agierender Individuen und angepasster oder nicht angepasster Institutionen der Transaktion angelehnt. Um sich die Materie weiter zu erschließen, bedarf es einer präziseren Definition oder eines weiteren Blickwinkels. Aus systemtheoretischer Sicht bilden die über Netzwerkstrukturen zusammenarbeitenden Organisationen für sich gesehen eigenständige Einheiten. Darüber hinaus existiert aber auch ein übergeordnetes gemeinsames Verständnis der Mitglieder auf der Ebene des Netzwerkes. Mitglieder einzelner Organisationen identifizieren sich nicht nur mit der direkten Trägerorganisation, sondern sie stellen auch einen engen Bezug zu anderen Netzwerkorganisationen her, d. h. sie unterscheiden ihre Umwelt in eine netzwerk-interne und eine netzwerk-externe Außenwelt.

Im Gegensatz zu Organisationen sind die Grenzen eines Netzwerkes häufig unscharf definiert. Und gerade darin liegt eine Schwierigkeit, das Netzwerk als System oder Organisationsform klar zu beschreiben. Für die weitere Arbeit soll auf der Basis der oben beschriebenen Einsichten und Facetten der Problematik die folgende Definition eines (Produktions-)Netzwerkes gelten:

Netzwerke: sind Beziehungsgeflechte, die ein gemeinsames, zumeist ökonomisches Basisinteresse der beteiligten Akteure voraussetzen, wobei erst aktuelle Anlässe das Signal zur Genese im Sinne von Beziehungsaufbau und -nutzung geben. Die Beteiligten treten im Namen der eigenen Sache als Beziehungsunternehmer auf und bemühen zwingend eine informationstechnische Infrastruktur zur Nutzung der Funktionalitäten zur Planung und Koordination der gemeinsamen Aufgaben³⁶.

3.1.2 Systemische Ansätze

In zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten dient ein Verweis auf die große Komplexität des zu behandelnden Problems als Rechtfertigung reduktionistischer Forschungsstrategien. Weniger häufig werden Sachverhalte tatsächlich unter Einbeziehung ihrer vollen Komplexität bearbeitet³⁷. Der Begriff der Komplexität bringt eine gewisse Ohnmacht des Menschen gegenüber Problemen zum Ausdruck, d. h. das Unvermögen, die Dinge zu erfassen, zu verstehen und zu beeinflussen. Es besteht ein Gefühl des Unbehagens und Aktionen zeigen mangels Fundierung oft nicht die gewünschten Ergebnisse.

Ein beherrschendes Denkmotiv in unternehmerischen Führungsebenen ist das Streben nach Optimalität bzw. die Beurteilung vorhandener Lösungen mittels Optimalitätskriterien. Die Idee der Optimalität, z. B. von unternehmensübergreifenden Abläufen, ist faszinierend und scheint in einem ökonomischen Kontext auch rational zu sein. Nicht zuletzt dieser Tatsache sind die vielfältigen Bemühungen auf dem Gebiet des Advanced Planning and Scheduling innerhalb von SCM-Systemen geschuldet. Genauso unüberschaubar wie die Zahl der Detailprobleme, die diese Funktionen bereithalten, ist die Zahl der Vorschläge und Verfahren für die Lösung der theoretischen Probleme und (schon deutlich weniger) für den tatsächlichen Einsatz in der betrieblichen

³⁶In Anlehnung an *Boos et al.* in [Boo92, S. 59].

³⁷Es gehört in einem gewissen Sinne zu einem „guten“ wissenschaftlichen Zeitgeist, die Behauptung an den Beginn einer Arbeit zu stellen, der zu untersuchende Sachverhalt sei sehr komplex. „Wir haben es hier mit einem komplexen Phänomen zu tun, daher nehmen wir der Einfachheit halber an, dass ...“ Siehe [Mal96, S. 185].

Praxis. Wesentliche Grundlage für die Klärung der Frage, ob ein Netzwerkmodell mit bestimmten Verfahren erfolgversprechend in einem vernünftigen Zeitrahmen zu planen und später auszuführen ist oder nicht, ist die Untersuchung dessen Eigenschaften wie Komplexität bzgl. Kommunikation, Koordination und Berechnung. Die Erfahrung – wie auch die Komplexitätstheorie – zeigt, dass manche berechenbare Probleme einfacher lösbar sind als andere.

SCM-Systeme werden in der Regel als zentrale Instrumente der Planung und Steuerung (geführt vom fokalen Unternehmen) von primär produktionswirtschaftlichen Aufgaben konzipiert und realisiert und stoßen dabei zwangsläufig an immanente Grenzen der betrieblichen Praxis, die u. a. durch die Problemlkomplexitäten determiniert werden. *Ashby* stellt fest³⁸, dass das Kernproblem eines jeden „Organismus“ darin besteht, die für sein Überleben relevante Komplexität³⁹, seine eigene und die der auf ihn einwirkenden Umwelt, unter Kontrolle zu bringen. Dabei ist er permanent mit der Aufgabe konfrontiert, sich mit der sich ständig modifizierenden Umwelt auseinanderzusetzen, um seine Funktionsweise und seine Identität erhalten zu können. Die Art und Anzahl der dazu eingesetzten Hilfsmittel sind so mannigfaltig und groß, dass der Blick für generelle Zusammenhänge und das grundlegende Problem getrübt wird⁴⁰.

Nicht allein die Komplexität der zu bewältigenden Aufgaben ist Ursache für die Unzufriedenheit bezüglich der angebotenen Theorien⁴¹ im Bereich der unternehmensübergreifenden Planung der Wertschöpfungskette. Auch die Unfähigkeit, auf unvorhergesehene Störungen adäquat zu reagieren, stellt bei genauer Betrachtung ein großes Problem dar. Zum einen erfolgt die Reaktion unsystematisch⁴². Zum anderen wird sie nicht aus den Spezifika der jeweils vorliegenden Störung abgeleitet⁴³, d. h. anders als bei einer störungsspezifischen Anpassungsplanung werden bei einer Neuplanung die störungsauslösenden Kriterien nicht berücksichtigt. Folgerichtig stellen sich die alten

³⁸Siehe [Ash70, S. 195 ff.].

³⁹Die Tatsache, dass bei der Lösung komplexer Aufgaben dem Wissen des Menschen Grenzen gesetzt sind, sollte nicht zu der Annahme verleiten, dass es sich bei den Bereichen, die sich mit solchen Problemen auseinandersetzen, um unterentwickelte oder unpräzise Wissenschaften handelt. Vielmehr kann der Erklärung von *Hayek* gefolgt werden: „Wir haben in der Tat in vielen Gebieten genug gelernt, um zu wissen, dass wir nicht alles wissen können, was wir wissen müssten ...“ [Hay67, S. 40].

⁴⁰Vergleiche hierzu [Mal96, S.170].

⁴¹... und letztlich auch Softwaresysteme.

⁴²Meistens stehen dem Planer beim Auftreten solcher Störungen keine methodischen Planungshilfsmittel zur Verfügung. Aufgrund der zeitlichen Dringlichkeit fallen Entscheidungen ad hoc und ohne Beachtung der Auswirkungen auf folgende Einheiten des Netzwerkes.

⁴³Vergleiche [Zel93, S. 1].

Probleme erneut ein⁴⁴.

Aufgrund der oben genannten Gründe erlangten dezentrale Steuerungskonzepte – verbunden mit der Hoffnung einer besseren Bewältigung komplexer Problemstellungen – in den letzten Jahren immer größere Bedeutung. Zahlreiche wissenschaftliche Beiträge⁴⁵ tragen dieser Entwicklung Rechnung. Einen grundlegenden Ansatz zur dezentralen Koordination von Produktionsprozessen⁴⁶ stellt das Konzept des Verteilten Problemlösens dar. Die zunehmende Verteilung der Produktionsprozesse führte in der Wissenschaft im gleichem Atemzug zum Überdenken von Organisationsstrukturen und -prozessen und ist derzeit beliebtes Betätigungsfeld zahlreicher unternehmensberatender Berufszweige. Die angestrebten organisatorischen Modifikationen verfolgen das Ziel eines kontinuierlichen Prozesses der Verbesserung, der über einen einmaligen Innovationsvorsprung weit hinaus geht. Organisationskonzepte wie Lean Management, Business Process Reengineering und Gruppenarbeit haben die Unternehmensstrukturen und -prozesse in den letzten Jahren grundlegend verändert⁴⁷. Letztlich führte dies zumindest auf dem Papier zu „lernenden Unternehmen“ mit weitreichenden Forderungen an das Informationsmanagement, die durch derzeitige SCM-Systeme nicht befriedigend abgedeckt werden.

Die nach der Einführung des MRP II-Konzeptes zunächst bestehende Euphorie⁴⁸ wich inzwischen der tiefgreifenden Ernüchterung, dass die Systeme⁴⁹, die auf Methoden und Algorithmen der 70er und 80er Jahre basieren, den gestiegenen, aus der vernetzten Produktion resultierenden Ansprüchen der industriellen Praxis nicht mehr gewachsen sind. Konventionelle Planungskonzepte sind im Umfeld zentralistischer und tayloristischer Produktionsstrukturen entstanden und wurden für eine ebenso zentralistische EDV-Infrastruktur konzipiert sowie den wachsenden Anforderungen der Nutzer ständig hinter-

⁴⁴Diese Aussage gilt für systematische Fehler, die aus der Steuerung resultieren, z. B. die Vergeudung von Pufferzeiten aufgrund der Verringerung von Stillstandszeiten als untergeordnetes Ziel.

⁴⁵Siehe hierzu vor allem die Beiträge mit Übersichtscharakter: [Dav83, S. 63 ff.], [Zel86, S. 1222 ff.], [Bon88, S. 3 ff.], [Mer89, S. 839 ff.], [Hei91, S. 681 ff.], [Mül93, S. 157 ff.], [Ish94, S. 61 ff.], [Ish95, S. 416 ff.], [Ahr96] und [Woo96].

⁴⁶Auf dem Gebiet der Produktionswirtschaft entstanden in den letzten Jahren zahlreiche Arbeiten, die das Verteilte Problemlösen zum Inhalt haben. Erwähnenswert sind hierbei vor allem die Arbeiten von *Shaw* [Sha84], [Sha87a] und [Sha87b] und von *Van Dyke Parunak* [Par87], [Par88] und [Par90]. Weitere prägnante Arbeiten zu Anwendungen finden sich u. a. bei [Zel91], [Kot91], [Kra91] und [Wei94]. Darüber hinaus lagen noch zahlreiche andere Beiträge vor. Für eine umfangreiche Literatursammlung siehe [Zel93, S. 2 ff.].

⁴⁷Vgl. [Aug96, S. 352].

⁴⁸Siehe u. a. [Bol89, S. 107 ff.].

⁴⁹Siehe dazu [Ker94].

her entwickelt, bis die Grenzen der Benutzerfreundlichkeit und der Erledigung komplexer Aufgaben erreicht wurden. Die Leistungsfähigkeit zentraler Systeme für alle Bereiche eines Unternehmens ist in Frage gestellt⁵⁰.

Die langanhaltende stabile, aber nunmehr depressive Wirtschaftslage führte auf der Suche nach Optimalität allgemein zu einer Überanpassung der Organisationsstrukturen. Das Produktionsmanagement fixierte immer mehr systembeeinflussende Variablen der Produktionssysteme, Produktionsverfahren, Lagerhaltungspolitiken, Vertriebssysteme bis hin zum Salärssystem. Jede beeinflussbare, dispositionsverursachende Variable wurde durch vertragliche Bindungen, Besitzstandsdenken und Lobbyismus entschärft. Viele Systeme verloren systematisch ihre Flexibilität. Wie verwundbar derartige Systeme werden können, hat die Internationalisierung der globalen Wirtschaft gezeigt. Die Inflexibilität der bestehenden Systeme konnte die massiven Änderungen nicht absorbieren. Die Insolvenzstatistik in den letzten beiden Jahren beweist dies ungetrübt. Die Organisationsstruktur passte sich den verändernden Bedingungen z. T. schneller an, als die in den Unternehmen vorherrschende Informationsinfrastruktur. Allerdings stellt das Konzept eines Netzwerkmanagements für dynamische Produktionsnetzwerke Anforderungen sowohl an die Organisation als auch an die IT-Infrastruktur, wofür bisher kein konzeptueller Rahmen zu finden ist.

Netzwerke, insbesondere die in dieser Arbeit betrachteten Produktionsnetzwerke, sind Organisationen sozialer Systeme, in denen menschliche Aktivitäten, Aufgaben und Verantwortlichkeiten wahrgenommen und geregelt sowie für eine Zielerreichung bestimmte Beziehungen notwendig werden. Sie stellen den derzeitigen Gegenpol zum Konstruktivismus dar, aus welchem die starren Systeme des ERP und SCM zumindest vom Denkansatz her entlehnt sind. *Probst*⁵¹ teilt die sozialen Systeme nach organisierten und spontan entstandenen Ordnungen ein (siehe Abbildung 3.2).

Organisation und Selbstorganisation sind komplementäre und sich reflexiv beeinflussende Prozesse der Ordnungsbildung. Weder die polarisierende Sicht einer totalen Regulierung innerhalb einer starren Organisation noch das „laissez faire“ einer zügellosen Selbstorganisation werden langfristig die Lebensfähigkeit eines Netzwerkes sichern. Die Aufgabe eines Netzwerkmanagements in der Genese und beim Betreiben eines solchen ist das Finden eines geeigneten Gleichgewichts zwischen beiden Herangehensweisen im Spannungsfeld der Potenziale beider, welches über die Zeit differieren kann. Zunächst kann auf der symbolischen bzw. subsymbolischen Ebene das Gestalten des Sy-

⁵⁰Vgl. [Mer81, S. 744 ff.].

⁵¹Siehe [Pro94, S. 480 ff.].

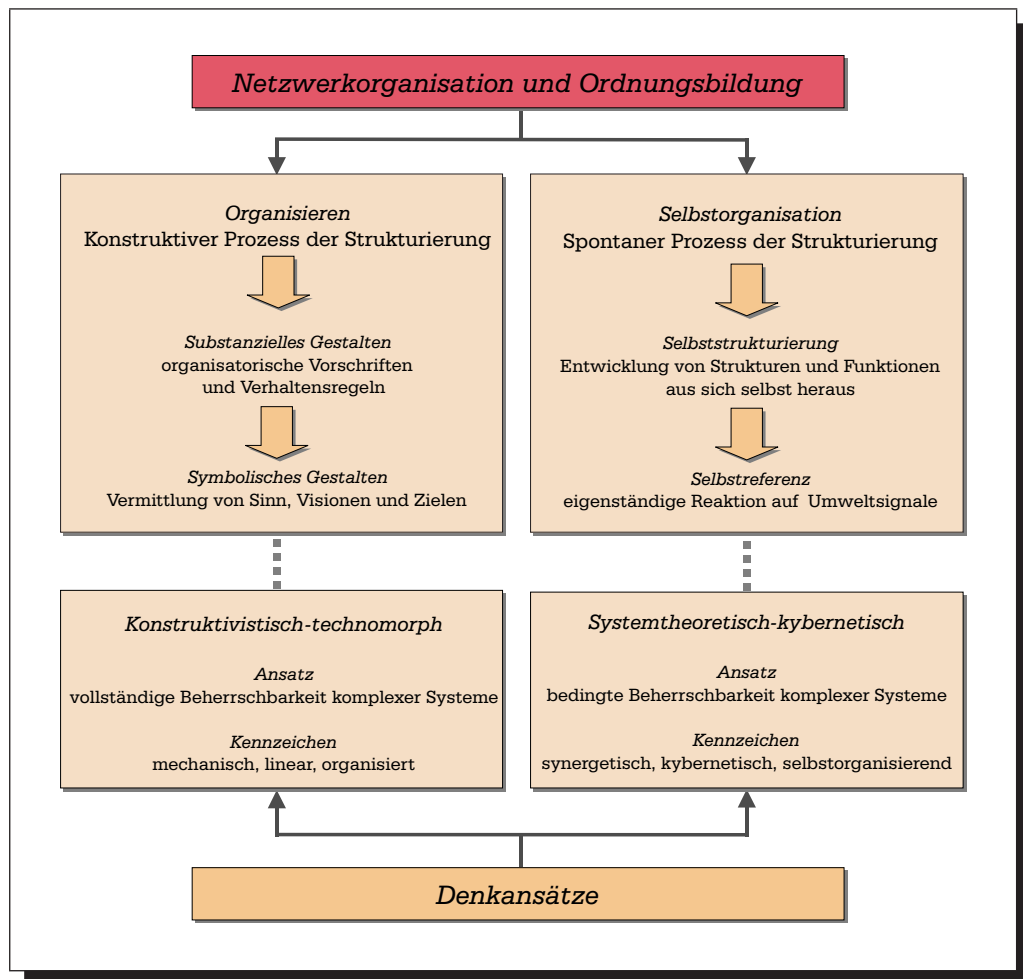


Abbildung 3.2: Ordnungsbildung in sozialen Systemen

stems stattfinden, in denen konkrete Ziele vereinbart und Visionen mitgeteilt werden. Zudem können auf hohem abstrakten Niveau organisatorische Vorschriften und Regelwerke substantiell ausgestaltet werden, ohne das System erstarren zu lassen und genügend Freiraum zu besitzen für Selbstkoordinationsmechanismen. Für diese umfassenden Managementaufgaben haben sich in der Theorie zwei grundlegende Ansätze (bzw. Herangehensweisen) manifestiert: der konstruktivistisch-technomorphe und der systemtheoretisch-kybernetische⁵².

Beide Ansätze unterscheiden sich fundamental voneinander in der Auffassung

⁵²Siehe u. a. [Mac93] und [Mal96, S. 36 ff.].

darüber, welche logischen und empirischen Merkmale Management charakterisieren und wie innerhalb einer Managementtheorie die Problemstellungen, Lösungen und Handlungsmöglichkeiten ausgeprägt sind. *Malik* kommt zu dem Schluss, dass sich Management in erster Linie als Management von Wirtschaftseinheiten versteht und es inhaltlich die Aufgaben des Gestaltens und des Lenkens von soziotechnischen Systemen ausfüllt. Es geht letztlich um die Beherrschung der Komplexität, die den Planungsproblemen innewohnt. Je größer die Anzahl der Systemelemente, desto größer ist i. d. R. die Anzahl der möglichen Systemzustände und die daraus resultierende Problemkomplexität. Die beiden Paradigmen des Managements versuchen auf unterschiedliche Art dieses Problem anzugehen.

3.1.2.1 Der konstruktivistisch–technomorphe Ansatz

Der *konstruktivistisch–technomorphe* Ansatz geht von der vollständigen Beherrschbarkeit der Komplexität aus. *Malik* bringt den Vergleich zur Maschine in der klassischen Mechanik. Anders als in der modernen Wissenschaft, die die Maschine als kybernetisches Objekt⁵³ betrachtet, funktioniert diese nach dem Prinzip des physikalischen Determinismus. Sie wird nach einem Plan entsprechend einer vorgefassten Zwecksetzung konstruiert. Ihre Funktion und Effizienz ist eigens abhängig von den Eigenschaften ihrer Einzelteile, die nach exakten, bis ins Detail ausgearbeiteten Plänen konstruiert und in einer vorausberechneten Art und Weise zusammengesetzt werden. Somit ist vollständiges Wissen über alle Teile und deren Zusammenwirken elementare Voraussetzung dieses Ansatzes. Zumindest bis zur Hälfte des letzten Jahrhunderts zeitigte die konstruktivistisch–technomorphe Herangehensweise des Problemlösens große Erfolge, die den Glaube an eine Verallgemeinerungsfähigkeit und Übertragbarkeit auf eine Management–Theorie nährte.

Komplexitätsbeherrschung bedeutet die Herstellung einer an bestimmten, im voraus festzulegenden Zielstellungen zu beurteilenden als rational geltenden Ordnung durch planvolles (menschliches) Handeln derart, dass das Resultat des Handelns kausal vorher bestimmbar ist⁵⁴. Daraus folgt aber auch, dass ohne Absicht oder Zweck nichts Sinnvolles entstehen kann. Werden andere naturanaloge Prinzipien wie beispielsweise die Evolution⁵⁵ betrachtet, so kommt diese Auffassung sehr bald an ihre Grenzen. Aus dieser Beschränktheit heraus bildet sich der zweite Ansatz einer Management-Theorie.

⁵³ ... welches die Maschine der klassischen Mechanik als Spezialfall enthält.

⁵⁴ Vergleiche die Aussagen u. a. von [Kie93]. Mit einer mechanistischen Vorgehensweise und der Anwendung von Analyse, Logik und Vorhersage sollten alle Probleme lösbar sein. Vermutlich deshalb wird dieser Ansatz in der SCM–Theorie vergeblich gesucht!

⁵⁵ ... die als stochastischer, aber zielgerichteter Prozess gilt.

3.1.2.2 Der systemtheoretisch–kybernetische Ansatz

Der *systemtheoretisch–kybernetische* Ansatz geht von völlig anderen Grundvorstellungen aus. Dessen Paradigma ist die spontane, sich selbst generierende Ordnung und benutzt den Organismus als Gleichnis⁵⁶. *Hayek* weist bereits 1979 darauf hin⁵⁷, dass sich der Begriff der Selbstorganisation in den Systemwissenschaften als treffend und erfolgsversprechend erweisen wird. Spontane Ordnungen im Kontext sozialer Wissenschaft⁵⁸ in Bezug auf Netzwerke entstehen zwar als Resultat menschlichen Handelns, aber nicht entsprechend der kausalen Zielsetzungen. Das Resultat ist nicht in seiner Vielfalt durch Pläne und Absichtserklärungen vorhersagbar.

Dass heute die Evolutionstheorie eine wichtige Säule in den Erklärungsmodellen von Netzwerken ist, liegt vermutlich daran, dass in der Vergangenheit und Gegenwart alternative Modelle größere Probleme mit der Beschreibung von komplexen Wirkzusammenhängen haben. Die *Theorie der spontanen, selbst-generierenden Ordnungen* besagt, dass das heutige Ergebnis von Kultur und Zivilisation nicht von Menschenhand geplant geschaffen wurde⁵⁹. Nicht die menschliche Vernunft hat absichtsvoll soziale Institutionen hervorgebracht, sondern menschliche Vernunft ist das Ergebnis der Evolution sozialer Institutionen⁶⁰. Aus diesen beiden Ansätzen heraus lässt sich leicht nachvollziehen, warum gemeinsame Anstrengungen von Sozialwissenschaftlern und Ingenieuren zur Integration von Soft-facts in Netzwerken bisher nicht zu gemeinsamen Forschungsansätzen führten. Wissenschaftlicher Pragmatismus (oder Naivität) und fachliche Egozentrik sind vermutlich wesentliche Ursachen für die strategische Lücke innerhalb des SCM-Modells und Etablierung der sozial-deskriptiven und der logistisch-optimierenden Fronten. Der Autor versucht aus diesem Grunde im Kapitel 8 eine Verbindung beider Ansätze über das Repertory Grid und die Polyedrale Analyse herzustellen.

Für den konstruktivistischen Teil der Wissenschaft ist es unvorstellbar, dass im Forschungsgebiet der Netzwerke etwas Sinnvolles und Zweckmäßiges entstehen kann, ohne dass auf die Planung, Konstruktion und Schaffung gerichtetes menschliches Handeln im Spiel gewesen wäre. Und noch viel unverständ-

⁵⁶Diese Annahme ist dadurch naheliegend, dass Organismen der biologischen Evolution unterliegen und von niemanden „gemacht“ werden, zumindest noch nicht.

⁵⁷Siehe [Hay79].

⁵⁸Die Wirtschaftswissenschaft kann als eben solche betrachtet werden.

⁵⁹... wie die Maschinen nach dem konstruktivistisch-technomorphen Ansatz oben beschrieben.

⁶⁰Vgl. [Mal96, S. 39]. *Malik* schreibt überspitzt sinngemäß: Der Mensch ist nicht ein Kulturwesen, weil er Vernunft hat, sondern er hat umgekehrt Vernunft, weil er ein Kulturwesen ist.

licher scheint es, dass auf selbstorganisatorische Weise zweckrationale Systeme entstanden sein könnten, sondern dass sie nur deshalb so entstanden sein können, da die Systeme selbst viel zu komplex sind, als dass sie vom konstruktivistischen Geist als Ganzes begreifbar und planbar sind⁶¹. Die Entstehung zweckrationaler Ordnungen wird im Rahmen des systemisch-evolutionären Paradigmas darauf zurückgeführt, dass der Mensch nicht nur ein von Zielen geleitetes soziales Subjekt ist, sondern dass sein Verhalten ebenso von Regeln geleitet wird, die unabhängig von der konkreten Zielsetzung die Art und Weise seines Verhaltens und damit des Netzwerkes bestimmen⁶². Die ökonomisch geprägte und auf Effizienz ausgerichtete Managementtheorie betrachtet fast ausschließlich die Ziele menschlichen Verhaltens. Die verhaltensdeterminierenden Regeln werden vernachlässigt. Somit gilt es, ein Modell innerhalb der Management- bzw. Netzwerktheorie zu finden, das ebenfalls auf die Verhaltensregeln reflektiert.

Die Kenntnis beziehungsweise die Modellierbarkeit der Verhaltensregeln ist elementar in Bezug auf die Komplexitätsbeherrschung. Da die Regeln durch ihren negativen Charakter zumeist handlungsraumbegrenzende Wirkung durch Angabe von zu vermeidenden Aktionen besitzen sind sie besonders nützlich, wenn kein Wissen über die Kausalität von Ereignissen (positive Wirkung) vorrätig ist. Der systemisch-evolutionäre Ansatz geht aus diesem Grund von Ordnungen aus, in denen die Systemelemente Regeln befolgen, die sie in dem Sinne nicht kennen, dass sie genannt oder beschrieben werden könnten. Er ermöglicht die Orientierung bei Unbestimmtheit sowie Unberechenbarkeit und lässt die Koordination einer beliebig großen Anzahl von Systemelementen zu. Diese Orientierungsleistung stellt das Wesen dieser Ordnung dar. Im Prozess der Evolution werden sich die Regelsysteme tendenziell weiterentwickeln, die nicht zur Desorientierung der Individuen und langfristig zur Auflösung eines Ordnungssystems führen. Durch die Konkurrenz verschiedener Gruppen zeigen sich vor allem die Regelsysteme als überlegen, die eine effektivere Orientierung und Koordination entsprechend bestimmter Zielsetzungen erlaubt. Der Begriff des „Sozialdarwinismus“ scheint jedoch unangebracht, da die Ordnungen nicht in direkter Konkurrenz zueinander stehen müssen.

Sicher wäre es an dieser Stelle von Interesse, weitere Detaillierungen zu Regelsystemen, Verhaltensweisen und Kontrollierbarkeit vorzunehmen. Dies führte jedoch zu weit vom Thema dieser Arbeit weg. Aus diesem Grunde

⁶¹Obwohl in der Literatur die Konstruktivisten auch des öfteren evolutionäre Ansätze im Zusammenhang mit der Selbstorganisation bemühen, so ist dies doch eher dem Zeitgeist als der inneren Überzeugung zuzuschreiben. Die Inhalte machen es deutlich.

⁶²Siehe hierzu [Mal96, S. 40 ff.].

sollen abschließend zum systemisch-evolutionären Ansatz einige wesentliche Forschungsrichtungen kurz erläutert werden. Von besonderem Interesse sind hierbei der (bio)kybernetische und der evolutionstheoretische Ansatz⁶³. Beide bedingen sich, werden in der Literatur allerdings gesondert behandelt.

Kybernetischer Ansatz: Dieser Ansatz ist in der modernen Managementtheorie zweifellos der Bedeutendste. Hervorgebracht wurde er von *Stafford Beer*, dem wohl bekanntesten Vordenker der Managementlehre des 20. Jahrhunderts. Das nachhaltigste Modell zur Beschreibung eines sozio-kulturellen Systems, das *Beer* liefert, ist das *Modell lebensfähiger Systeme (VSM)*⁶⁴. Eines der wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit und der Kybernetik überhaupt ist die Hypothese, dass alle lebensfähigen Systeme eine invariante Struktur aufweisen, die im VSM in fünf Subsysteme mit unterschiedlichen Lenkungsfunktionen gegliedert ist, welche wiederum über definierte Kommunikationsbeziehungen verfügen. Das Modell basiert auf den Gestaltungsprinzipien der Rekursion⁶⁵, der Autonomie⁶⁶ und der Viabilität⁶⁷. Jedes lebensfähige System weist die fünf Managementebenen auf und kann damit mit Anpassung bei gleichzeitiger Wahrung der Identität auf Änderungen der Umwelt reagieren. Die kybernetisch relevanten Eigenschaften sind nicht im System lokalisiert sondern Ausdruck der Organisation des Systems selbst und können auch nur ihm als Ganzes zugeschrieben werden.

Evolutionstheoretischer Ansatz: Diese Art der Betrachtung ist verwandt mit *Maliks* systemtheoretischen Ansichten⁶⁸. Neben *Hayeks* kritischem Rationalismus⁶⁹ und dem oben beschriebenen kybernetischen Modellen

⁶³Als weiterer Ansatz wird die Chaostheorie genannt, die häufig mit Organisationsforschung gleichgesetzt wird (siehe [Bau00, S. 16]) und überlineare dynamische Systeme zum Untersuchungsgegenstand hat (vgl. [Des97]). Wesentlichste Erkenntnis dieser Theorie ist, dass natürlich gewachsene Systeme aus vielen kleinen vernetzten, fraktalen Ordnungseinheiten bestehen, die sich selbstähnlich sind und einer Selbstorganisation gehorchen. Siehe zu ausführlichen Hinweisen u. a. [Pei92, Sch94c, Ber96]. Dieser Ansatz hat sich allerdings als wenig erfolgversprechend erwiesen.

⁶⁴Obwohl theoretisch sehr wertvoll, soll dieses Modell an dieser Stelle nicht erläutert werden. Umfangreiche Beschreibungen hierzu sind u. a. zu finden in [Bee73, Bee85, Bee89, Bee94] und [Mal96, S. 80 ff.]. Die Ausführungen sollen sich lediglich auf einige wichtige Schlussfolgerungen *Beers* beschränken.

⁶⁵Jedes Subsystem weist unabhängig von seiner Ebene die gleiche Struktur auf.

⁶⁶Jedes Subsystem besitzt einen eigenen Verantwortungsbereich mit entsprechenden Handlungs- und Entscheidungsspielräumen.

⁶⁷= systemische Lebensfähigkeit. Ein System kann eine bestimmte Zustandskonfiguration auf unbestimmte Zeit aufrecht erhalten.

⁶⁸Siehe [Mac93].

⁶⁹Siehe [Hay75].

werden auch biologische Theorien in die Systembeschreibung einbezogen. Die Veränderung findet in kleinen Schritten generations weise statt. Die üblichen biologischen Operatoren der Variation (Rekombination und Mutation) sowie der Selektion sind Hauptbestandteil der Theorie. Zusätzlich findet eine Betrachtung der Genese statt.

*Riedl*⁷⁰ überträgt die evolutionstheoretischen Bestandteile auf sozio-kulturelle Systeme. Als *Genese* bezeichnet er die Fähigkeit oder Eigenschaft, Probleme zu erkennen und Lösungen anzubieten. Ob die Genese tatsächlich nur durch Weitergabe des Erlernten erfolgen kann, sei dahingestellt. Wichtig erscheint vielmehr das Verständnis, dass Kompetenz durch erfolgreiches Verhalten aufgebaut wird und die Summe der Erfahrung des Systems (z. B. des Netzwerkes) repräsentiert.

Die *Selektion* wird im bisher bekanntem Sinne der Auslese, also der Richtungsermittlung der evolutorischen Optimierung benutzt. *Riedl* sieht hier zusätzlich die wichtige Aufgabe des vernetzten Denkens zur Alternativengenerierung einschließlich einer Fitnessbewertung. An dieser Stelle sind teilweise konstruktivistische Gedanken erkennbar, da eine Bewertung einer Alternative die Kenntnis des kausalen Zusammenhangs voraussetzt.

Der Prozess der *Rekombination* wird getrieben von Kreativität und Intuition in einem sozio-kulturellen System. Der Übergang zur *Mutation* ist fließend und entspringt einer bewusst eingeleiteten Innovation. An dieser Stelle wird deutlich, dass die Begriffe der Biologie nicht stringent nach ihrer ursprünglichen Semantik benutzt werden und so an vielen Stellen unschlüssig bleiben. Allerdings schmälert dies nicht die Einsicht des Ansatzes zur Beschreibung der Ordnungsbildung.

Abschließend können einige produktionsnetzwerk-relevante Prämissen der beiden Theorietypen gegenübergestellt werden⁷¹. Management ...

konstruktivistisch-technomorph

... ist Führung Weniger.
 ... ist Aufgabe Weniger.
 ... ist auf Optimierung gerichtet.
 ... hat ausreichend Information.
 ... hat Ziel der Gewinnmaximierung.

systemisch-evolutionär

... ist Führung Vieler.
 ... ist Aufgabe Weniger.
 ... ist auf Steuerbarkeit gerichtet.
 ... hat nie ausreichend Information.
 ... hat Ziel der Lebensfähigkeit.

⁷⁰Siehe [Rie81].

⁷¹Siehe [Mal96, S. 49].

3.1.3 Grundsätzliche Auffassungen zu Netzwerken und Management-Philosophien

Der Weg zu effektiveren Informationssystemen zur Beherrschung der unternehmensübergreifenden Optimierung der Wertschöpfungskette führt vermutlich über neue Organisationsstrukturen der beteiligten Unternehmen und zweifelsfrei über effiziente Kooperationsmodelle. Zahlreiche Studien⁷² nennen hierfür als wesentliche Entwicklungstrends⁷³

- Konzentration auf Kernkompetenzen,
- Anwendung neuer IuK-Technologien,
- hierarchiearme Organisations- und Führungsstrukturen und
- Genese von virtuellen Netzwerken durch Kompetenz-Vernetzung.

Diese Trends sind bezeichnend für Kompetenznetze, die vorläufig den aktuellen Stand in der Netzwerkforschung verkörpern. Die Evolution von Organisationsformen und Managementkonzepten vollzog sich jedoch über einen längeren Zeitraum⁷⁴, wie Abbildung 3.3 illustriert. Viele aktuelle Forschungsansätze bauen auf diesen Konzepten auf und beinhalten diese gänzlich. Die Anfänge der *Economies of Competence* liegen bereits in der Entwicklung des Supply Chain Managements. Derzeitige und zukünftige Lösungsansätze für das unternehmensübergreifende Abstimmen der Wertschöpfungskette und die zu deren Umsetzung notwendigen Methoden und Technologien stellen aus systemtheoretisch-evolutionärer Perspektive die Adaptions- und Lernfähigkeit sowie die Vernetzung von Unternehmen oder Unternehmensteilen in den Mittelpunkt der Konzeption. Als wichtigste Ansätze erwiesen sich die:⁷⁵

- bionischen⁷⁶, lernenden⁷⁷, vitalen⁷⁸ und atmende⁷⁹ Unternehmen,
- fraktale⁸⁰, holonische⁸¹, modulare⁸² und segmentierte⁸³ Fabrik,

⁷²Als Beispiel seien an dieser Stelle nur [Del98] und [Jun99a] erwähnt.

⁷³Siehe hierzu auch [Wir01b, S. 12 ff.].

⁷⁴Vergleiche Abschnitt 2.1.

⁷⁵Siehe die Ausführungen von [Bau00, S. 20 ff.],[Wir01b, S. 66 ff.] und [Wir01a, S. 2 ff.].

⁷⁶Siehe [Eng90].

⁷⁷Siehe [Wil95].

⁷⁸Siehe [AWF96].

⁷⁹Siehe [Har95].

⁸⁰Siehe [War92].

⁸¹Siehe [Hö94].

⁸²Siehe [Wil94].

⁸³Siehe [Wil95, Wir98].

- flexible Produktionsstrukturen⁸⁴, robuste Produktionsprozesse⁸⁵ und
- virtuelle Unternehmen⁸⁶, wandelbare⁸⁷ und hierarchielose⁸⁸ Produktionsnetze.

Die folgende Abbildung zeigt Managementkonzepte, die besondere Beachtung in der Literatur fanden. Die wichtigsten von ihnen werden kurz erläutert. Dieser Abschnitt hat das Anliegen, dem Leser einen kurzen Überblick zur aktuellen Literatur zu vermitteln. Dabei kommt es in diesem Abschnitt primär nicht darauf an, die Konzepte im Detail wiederzugeben, sondern vielmehr zu zeigen, welche Schwerpunktsetzungen die verschiedenen Autoren vollzogen.

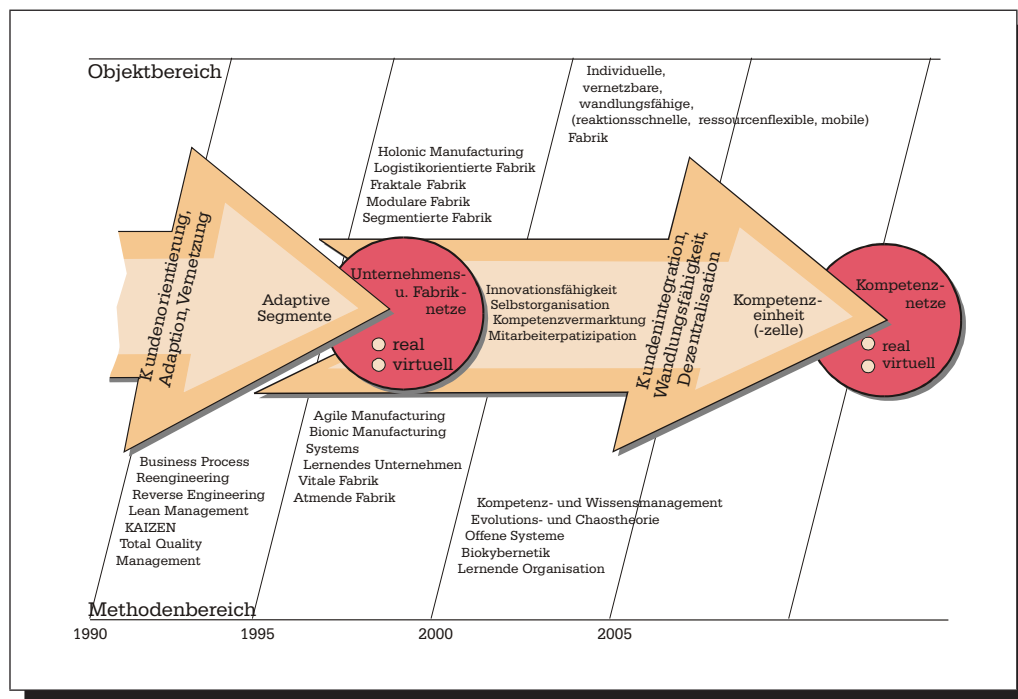


Abbildung 3.3: Managementkonzepte

Bei diesen Konzepten wurde in der Vergangenheit deutlich, dass sie entsprechend unterschiedlicher Denkweisen ebenso unterschiedliche Führungsstile implizieren. Der systemtheoretisch-evolutionäre Ansatz favorisiert Kooperation und Partizipation unter Einbeziehung der Mitarbeit. Die Konzeption des

⁸⁴Siehe [Wes96].

⁸⁵Siehe [Bla92].

⁸⁶Siehe [Mer94a, Sch98e].

⁸⁷Siehe [Wie96].

⁸⁸Siehe [Wir01b, Tei01j].

Management-Systems ist wichtiges Anliegen. Managementphilosophien wie Lean Production und Total Quality Management bereinigten zunächst historisch gewachsene Strukturen und richteten sie neu aus. Die Reaktionsfähigkeit verbesserte sich und die Produktivität stieg durch die Konzentration auf den wertschöpfenden Prozess und die Entflechtung von Abläufen an. Tayloristische Prinzipien wurden zugunsten produktorientierter Organisationseinheiten aufgegeben, d. h. die Produktion wurde segmentiert⁸⁹.

*Lean Production*⁹⁰ ist geprägt durch ständige Verbesserung der Abläufe und „Verschlankung“ des Unternehmens durch Konzentration auf Kernkompetenzen⁹¹. Prozessdenken und Vernetzung der Kernprozesse von Produktion und Marketing stehen im Mittelpunkt des Konzeptes. Das Konzept dient durch ein Belassen der Organisationsstruktur nicht einer strategischen Anpassung des Unternehmens an seine dynamische Umwelt⁹². Eine Mitarbeiterereinbeziehung bei der Umsetzung dieses Konzeptes ist ausgeschlossen.

Total Quality Management (TQM) ist ein ganzheitlich integrativer Ansatz, der ein durchgängiges, ins Management implementiertes Qualitätsdenken und -handeln eröffnet⁹³. Der Fokus liegt hierbei nicht nur auf Erzeugnissen, sondern auf dem gesamten Unternehmen mit seinen organisatorischen Abläufen. Analysen im Zusammenhang mit diesem Konzept haben gezeigt, dass der überwiegende Anteil aller Fehler bereits in den planenden Phasen vor Fertigungsbeginn entsteht, aber erst viel später im Produktionsprozess aufgedeckt wird⁹⁴. Aus diesem Grunde wird mit TQM die Verbesserung der Qualität der Produkte und Dienstleistungen erhöht.

Die Betrachtung von Einzelarbeitsplätzen mit isolierten Arbeitsgängen und deren verrichtungsorientierte Zusammenfassung wurde durch ein anderes Organisationsprinzip, die Segmentierung (*Segmentierte Fabrik*), abgelöst⁹⁵. Die Segmente selbst erhalten ein Eigenleben bezüglich der Planung und Steuerung des Gesamtprozesses. Sie bekommen Zielvorgaben und müssen diese selbstständig realisieren. Die Begriffe Dezentralisierung, Teamarbeit, Fertigungsinsel und flache Hierarchien gewannen in diesem Zusammenhang in-

⁸⁹Siehe hierzu u. a. [Ber93, S. 103].

⁹⁰Auch: Lean Management.

⁹¹Siehe [Bog92] und die Ausführungen von Lean Management in Bezug auf Produktionsnetzwerke in [Bot96, S. 169 ff.].

⁹²Siehe [Jü92].

⁹³Siehe [Bau00, S. 21].

⁹⁴Vgl. hierzu die umfassenden Ausführungen in [Fre93].

⁹⁵Aus dieser Bemerkung kann nicht geschlossen werden, dass dieser Prozess auch tatsächlich in jedem Unternehmen so vollzogen wurde. Im Gegenteil - viele Unternehmen beginnen gerade erst damit, sich gedanklich mit dem Prozess der Restrukturierung auseinanderzusetzen.

haltlich an Bedeutung. Basierend auf den organisatorischen Veränderungen der jüngeren Vergangenheit ergaben sich Anforderungen an Informationssysteme, die konventionelle SCM/ERP-Systeme nicht mehr erfüllen können⁹⁶.

*Reinhart*⁹⁷ und *Milberg* behandeln vorwiegend die Prozessoptimierung im bestehenden Unternehmen mittels bekannter Konzepte wie Business Process Reengineering oder Produkt- und Prozessinnovation sowie Methoden wie Gruppenarbeit. Das Konzept des *Business Process Reengineering* führt betriebliche Abläufe zu ganzheitlichen Unternehmensprozessen zusammen, ohne auf den Ist-Zustand der Ablauf- und Aufbauorganisation einzugehen. Die betrachteten Prozesse sind strategischer Natur und sollen zu einer Veränderung des Unternehmens und verstärkter Kundenorientierung führen. Auch bei der Umsetzung dieses Konzeptes sind die Mitarbeiter nicht beteiligt⁹⁸. Boshaft kann dieses Konzept auch als Downsizing über Personalabbau bezeichnet werden, für welches der Mitarbeiter tendenziell ungern sein Wissen preisgeben wird. Dieses Konzept führte in Unternehmen zum Verlust kritischer Informationen, wertvollen Erfahrungen und Know-how⁹⁹. *Dangel*¹⁰⁰ nennt als weiteres Defizit die Aufrechterhaltung der Hierarchien und der damit verbundenen Ignorierung der Erkenntnisse aus der Organisationsentwicklung und der partizipativen Systemgestaltung. Eine Evolution ist somit ausgeschlossen.

Weiterführende Ansätze wie die Modulare Fabrik von *Wildemann*¹⁰¹ werden im Zusammenhang mit der Realisierung von Unternehmenspotenzialen erläutert. Ähnlich geht *Vogel*¹⁰² vor, der Managementkonzepte wie Total Quality Management, Business Reengineering, Lean Production und das Konzept der Fraktalen Fabrik vorstellt und sich anschließend schwerpunktmäßig auf die Produktentwicklung in einer virtuellen Fabrik konzentriert. Bei *Zahn*¹⁰³ wird im Zusammenhang mit den geänderten Wettbewerbsbedingungen ebenfalls eine unternehmensinterne strategische Reorganisation anhand des Konzeptes Lean Enterprise dargestellt. Parallelen zum Netzwerk lassen sich jedoch insofern ziehen, indem dieses Konzept auf kritische Erfolgsfaktoren wie Zeit, Kosten, integrierte statt isolierte Prozesse, Vernetzung von Bereichen usw. abstellt. Unternehmen werden hier als Portfolio von Kernkompetenzen gesehen.

⁹⁶Siehe Abschnitt 2.6.2.

⁹⁷Siehe [Rei95].

⁹⁸Vgl. [Ham94].

⁹⁹Siehe hierzu auch [Hop01, S. 286].

¹⁰⁰Siehe [Dan94].

¹⁰¹Siehe hierzu ausführlich [Wil94].

¹⁰²Siehe [Vog00].

¹⁰³Siehe [Zah92].

Warnecke¹⁰⁴ entwickelt dagegen sein Konzept der *Fraktalen Fabrik*, bei welchem die Fraktale selbstständig agierende Unternehmenseinheiten darstellen. Es ermöglicht, veränderten Zielsetzungen und Umweltbedingungen in der industriellen Produktion Rechnung zu tragen¹⁰⁵. Prägendes Element dieses Konzeptes ist der Wandel von Produktionszielen hin zu Geschwindigkeitszielen, wie zum Beispiel die Minimierung der Durchlaufzeit. Proklamierte Merkmale einer Fraktalen Fabrik stellen in diesem Rahmen die folgenden Punkte dar¹⁰⁶:

- Selbstähnlichkeit,
- Selbstorganisation,
- Selbstoptimierung,
- Zielorientierung,
- Dynamik und Vitalität,
- das Beziehungsgefüge zwischen den Fraktalen,
- Fraktale leisten Dienste,
- Fraktale unterliegen einem permanenten Wandlungsprozess, sind also dynamisch strukturiert und
- Fraktale behaupten sich in turbulenter Umwelt und sind in den Zielfindungsprozess eingebunden.

Als besondere Charakteristika¹⁰⁷ der Fraktalen Fabrik sind Dezentralisierung, Prozess- und Mitarbeiterorientierung zu nennen. Trotz dieser besonderen Merkmale wird weiterhin von einer hierarchischen Organisationsform ausgegangen. Der Anwendungsbereich des Konzeptes der Fraktale liegt im Wesentlichen im Bereich der produzierenden Industriebetriebe, was die Verwendung des Begriffes Fabrik bereits andeutet. Allerdings ist dem Autor keine Realisierung dieses Konzeptes bekannt geworden. Um ein fraktales Unternehmen realisieren zu können, müssen besondere Voraussetzungen erfüllt

¹⁰⁴Siehe [War93, S. 152 ff.].

¹⁰⁵Vgl. dazu [Kü93, S. 66].

¹⁰⁶Siehe [Kü97a, S. 111], welcher sich auf [War93, S. 169 ff.] bezieht.

¹⁰⁷Siehe dazu [Sch94a, S. 43].

sein. Eine Voraussetzung ist die Existenz eines kooperativen Standortverbundes¹⁰⁸. Darunter wird die räumliche Konzentration sämtlicher beteiligter Unternehmen unter einem gemeinsamen Leitmotiv verstanden¹⁰⁹. Auch eine leistungsfähige Informations- und Kommunikationstechnologie sowie motivierte Mitarbeiter sind Erfolgsgaranten. Die Idee der Fraktale ist im Allgemeinen zu den intraorganisationalen¹¹⁰ Kooperationsformen zu zählen, sie hat jedoch auch für interorganisationale Kooperationen eine erhebliche Relevanz. Dies wird später noch im Zusammenhang mit der Einführung der Kompetenzzelle deutlich.

Das Konzept des *Holonic Manufacturing*¹¹¹ basiert auf Modellierungsvorschriften eines systemtheoretisch–evolutionären Ansatzes zur Abbildung biologischer und sozialer Systemeigenschaften. Er soll eine Basis zur Komplexitätsbeherrschung bilden. Das *Holon* ist die kleinste Einheit des Systems, welches als wesentliche Attribute Offenheit und Autonomie besitzt. Es plant und agiert entsprechend selbst gesetzter Ziele im eigenen Ermessen. Holone sind als Knoten eines Netzwerkes organisiert. Wird der attraktive Begriff des Holons etwas verblasst, bleibt methodisch im Kern nicht viel Neues. Auch dieses Konzept wird nicht durch die Mitarbeiter eines Unternehmens getragen. Ebenso weist die Idee des *Bionic Manufacturing* keine Neuheiten gegenüber den Ideen von *Beer* und *Malik* auf. Allerdings liegt der Schwerpunkt dieses Konzeptes auf der informationstechnischen Vernetzung der biologisch motiviert gebildeten Segmente. Wiederum wird die Rolle des Mitarbeiters bei der Umsetzung vernachlässigt.

Das *Virtuelle Unternehmen* ist das Konzept, welches in der Literatur (und auch in der Praxis) die größte Verbreitung gefunden hat. Aus diesem Grunde wird sich der Abschnitt 3.3 gesondert mit den Inhalten dieses Konzeptes auseinandersetzen. Es strebt die kooperative Form einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit an und stellt auf die Kompetenz der Netzknoten zur Selbstorganisation ab. Ziel ist die Überwindung von räumlichen und zeitlichen Restriktionen sowie der Zentralisation als Organisationsprinzip. Von allen Konzepten ist dies das weitreichendste bzgl. eines systemtheoretisch–evolutionären Ansatzes.

Als Reaktion auf die genannten Veränderungen zeigen *Picot et al.*¹¹² verschiedene Wege für ein bestehendes Unternehmen auf: Auflösung von Hierarchi-

¹⁰⁸Vgl. [Kä94, S. 47 ff.].

¹⁰⁹Siehe [Kä94, S. 50].

¹¹⁰In [Bun00, S. 344] stellt die fraktale Fabrik ein intraorganisationales Modularisierungskonzept und in [Sch98e, S. 21] ein intraorganisationales Netzwerk dar.

¹¹¹Siehe [Eng90].

¹¹²Siehe [Pic01].

en, Kooperationen, Beteiligung an bzw. Bildung von virtuellen Unternehmen oder Netzwerken. Grundlegende Gedanken zum Wechsel von einer „mechanischen“ Organisation hin zum Begreifen einer Organisation als lebendes System bietet *Scholz*¹¹³. Ausgehend von der Darstellung verschiedener Organisationsansätze (Systemhierarchie, Konstruktivismus, evolutorischer Gigatrend usw.) und deren Formen (eindimensionale Struktur, Matrix, Holding, Netzwerk) leitet *Scholz* über zur „organischen“ Organisation¹¹⁴. Diese stellt die Weiterentwicklung des mechanischen Bildes (nur Betrachtung von Systembausteinen und ihren Verknüpfungen) zum lebenden System dar. Es werden entsprechende Regelkreise zur Lenkung des Systems anhand impliziter (darin enthalten die Transaktionskostentheorie) und expliziter Theorien erläutert. Es wird festgestellt, dass es keinen allgemeingültigen Ansatz geben kann, sondern Ansätze bei jeder Organisation auf Stimmigkeit zu prüfen sind, da jede Organisation ihre Besonderheiten und eine eigene Umwelt aufweist. Stimmigkeiten und Techniken zu deren Prüfung wie Scoring, Bewertungsmatrizen u. a. werden vorgestellt.

Einführend finden sich bei *Nolte*¹¹⁵ Definitionen und allgemeine Betrachtungen bezüglich Kooperationen. Der Schwerpunkt liegt auf den bei Kooperationen entstehenden Transaktionskosten, die im Detail auch beschrieben werden. In diesem Zusammenhang erfolgt eine Einordnung virtueller Unternehmen in die Koordination wirtschaftlicher Transaktionen mittels dreier Organisationsformen: Markt, Hierarchie und Unternehmensnetzwerk und damit eine Abgrenzung virtueller Organisationen zu den traditionellen Formen. Um dem gestiegenen Flexibilisierungsdruck begegnen zu können, schlagen *Schuh et al.*¹¹⁶ das Konzept der *Virtuellen Fabrik* vor. Ausgehend von allgemeinen Betrachtungen zu Netzwerken als intra- oder interorganisationaler Virtualisierung erfolgt eine Einführung zum Virtualitätsbegriff. Darauf aufbauend wird zum virtuellen Unternehmen mit seinen beiden Hauptkomponenten¹¹⁷ übergeleitet. Als Erfolgsvoraussetzung wird auch hier die Konzentration der vorhandenen Ressourcen auf Kernkompetenzen genannt. Die Virtuelle Fabrik wird als Produktionsnetzwerk verstanden, das in zwei Hauptrichtungen orientiert ist: Ausgleich von Kapazitätsschwankungen bei den beteiligten Partnern und Ausgleich sich ändernder Leistungsanforderungen durch Kompetenzma-

¹¹³Siehe [Sch00b].

¹¹⁴Siehe hierzu auch die Arbeit von *Thiem* in [Thi98a], der für ein integriertes Fertigungsleitsystem die fünf Ebenen des Modells lebensfähiger Systeme überträgt und ein Entwurfskonzept vorstellt.

¹¹⁵Siehe [Nol99].

¹¹⁶Siehe [Sch98e].

¹¹⁷Statisches (Gesamt-)Beziehungsnetzwerk und daraus je nach Anforderung das für den jeweiligen Auftrag extrahierte dynamische Netzwerk.

nagement. In den weiteren Ausführungen stellen *Schuh et al.* das Konzept der Virtuellen Fabrik als überbetriebliches Flexibilisierungsinstrument anhand von vier Grundbausteinen (Kooperationsnetzwerk, Kooperationsprinzipien, Vermarktung der Virtuellen Fabrik und Produktion im Netzwerk) dar. Eingehender werden die Hintergründe und Probleme im Zusammenhang mit der erforderlichen Vertrauensbildung erläutert sowie Rollen und Aufgaben im Netzwerk definiert.

In Ergänzung hierzu werden die Begriffe „Virtualität“ und „virtuelle Organisation“ bei *Krystek et al.*¹¹⁸ ausführlich anhand umfangreicher Literaturstellen diskutiert. Ausgangspunkt der Diskussion ist ein evolutionärer Ansatz mit der Festlegung der virtuellen Organisation als (vorläufigen) Endpunkt eines evolutionären Prozesses. Es wird der Wandel von einer streng ökonomisch orientierten zu einer systemorientierten wissenschaftlichen Betrachtung des Managementverständnisses dargestellt. Ein Unternehmen muss für Bezugsgruppen Nutzen bereitstellen (stakeholder management). Bezogen sich die vorstehend genannten Publikationen eher auf einen weitgefassten Virtualitätsbegriff, so beleuchten *Sydow/Winand*¹¹⁹ diesen Begriff im Zusammenhang mit kleinen und mittleren Unternehmen.

Betrachtungen mehr allgemeiner Natur zum Thema Netzwerke sind in *Hippe*¹²⁰ und *Bellmann/Hippe*¹²¹ zu finden. Es erfolgt zunächst eine Einordnung von Unternehmensnetzwerken in den Kontext von Theorie und Pragmatik innerhalb der Systemtheorie. Unterschiede zwischen Netzwerken und Systemansätzen werden herausgearbeitet. Es wird ein Überblick über den Stand der Netzwerkforschung aus sozialer Sicht (Sozialanthropologie, -psychologie und Soziologie) gegeben und festgestellt, dass gegenwärtig kein allgemein akzeptiertes Netzwerkmodell und keine einheitlichen Begriffsbestimmungen existieren.

Aufbauend auf den fraktalen Ansatz von *Warnecke*¹²² erfolgt durch *Warnecke/Braun*¹²³ die Einarbeitung weiterer Erkenntnisse in ein Gestaltungsmodell. Aufbauend auf kurzen Betrachtungen zu Handlungsebenen in Netzwerken werden Gestaltungsfelder für Produktionsnetzwerke (Strukturen, Menschen und Technologien) aufgezeigt. Als notwendig für Netzwerke werden Eigenschaften wie Kernkompetenz, Strukturflexibilität und Kooperationsfähigkeit herausgearbeitet. Weiterhin wird auf die Rolle des Menschen im

¹¹⁸Siehe [Kry97b].

¹¹⁹Siehe [Syd98, S. 11 ff.].

¹²⁰Siehe [Hip97].

¹²¹Siehe [Bel96a].

¹²²Siehe [War95].

¹²³Siehe [War99].

Produktionsnetzwerk sowie auf die Anforderungen der IuK-Technologien im Netzwerk eingegangen.

In der gesamten recherchierten Literatur zeigt sich, dass der Begriff des virtuellen Unternehmens nicht mehr nur ein weiteres neues Buzzword darstellt. Vielmehr wird damit ein Konzept beschrieben, das einen Wechsel vom bisher vorherrschenden, auf *Taylor* basierenden Determinismus zu einer weit komplexeren Struktur darstellt. Diese ist im Grunde nicht mehr ganzheitlich erfassbar. Grundlegende Ausführungen hierfür liefern wie oben bereits beschrieben *Beer* und *Malik. Krystek et al.*¹²⁴ zeigen auf, dass die klassischen systemtheoretischen Ansätze mit klaren Abgrenzungen zur Umwelt hier nicht mehr greifen können, sondern ein dynamisches Gleichgewicht zwischen System und Umwelt (auch mittels Änderungen der Umwelt durch das System) die Grundlage bildet. Einen weiteren Ansatzpunkt bieten *Bellmann/ Mildemberger*¹²⁵, die die Beschreibung von Unternehmensnetzwerken durch verschiedene Erklärungstheorien diskutieren: Evolutions-, System-, Informations- und Komplexitätstheorie. *Uhlmann/Schröder*¹²⁶ dagegen beschränken sich nicht auf eine regional begrenzte Sichtweise, sondern betrachten die Bewältigung von globalen Veränderungen durch Netzwerke. Die virtuelle Fabrik wird hier außerdem nicht als eigenständiges Konzept aufgefasst, sondern ist das Ergebnis der Anwendung des Business Process Reengineering. Es wird daher das interne Business Process Reengineering unter Betrachtung der Anforderungen an die Ressource Personal beschrieben und keine Zielformulierung für Unternehmensnetzwerke vorgenommen, sondern allgemein auf Unternehmenskultur, Ziel- und Wertvorstellungen des Unternehmens und der hierfür bei den Mitarbeitern zu schaffenden Akzeptanz eingegangen.

Im Rahmen der strategischen Organisation beschäftigt sich *Scholz*¹²⁷ eingehend mit dem Begriff der virtuellen Organisation und legt dar, dass aufgrund des genannten Wandels des Marktes und der daraus resultierenden kundenspezifischen Anforderungen organisatorische Grenzen zunehmend zu virtuellen Organisationen verschwimmen. Verschiedene Virtualisierungsformen werden dargestellt (virtuelles Einzelunternehmen, virtuelles Büro, virtuelle Verbände usw.), nachdem eine umfassende Beschreibung der Entwicklung des Virtualitätsbegriffs gegeben wurde. Wie in der anderen hier dargestellten Literatur wird das Erfordernis nach neuen Organisationsformen auch von *Reichwald*¹²⁸ ausgehend vom Wandel in Wettbewerb, Werten und

¹²⁴Siehe [Kry97a].

¹²⁵Siehe [Bel96b].

¹²⁶Siehe [Uhl98].

¹²⁷Siehe [Sch00b].

¹²⁸Siehe [Rei97a].

IuK-Technik hergeleitet. Gefordert werden neue Strategien zur Aufteilung und Absicherung von Risiken, wobei strikt getrennt wird zwischen Kooperationen/Netzwerken (im Sinne des Sonderforschungsbereiches 457) einerseits und virtuellen Organisationen andererseits. Diese Strategien müssen statt Produktivitätssteigerung nur durch starre Arbeitsteilung neue Leitbilder wie Flexibilität und Innovationsfähigkeit enthalten. Dies erfordert die Abflachung bzw. Beseitigung von Hierarchien sowie die Fähigkeit zur Kooperation nach innen und außen. *Wildemann*¹²⁹ sowie *Sydow/Winand*¹³⁰ ordnen Netzwerke (bezugnehmend auf Vertragsformen und Kontrollinstrumente) innerhalb der beiden Extrema Markt und Hierarchie ein und stellen verschiedene Netzwerktypen vor. Das Ziel eines Netzwerkes wird bei *Wildemann* in einer systemorientierten Gesamtoptimierung der Wertschöpfungskette gesehen. *Sydow/Winand* legen den Schwerpunkt ihrer Betrachtungen auf kleine und mittlere Unternehmen und zeigen, dass Kooperationen durch KMU hauptsächlich zur Erzielung von Vorteilen wie leichteren Marktzutritt, besserer Ressourcennutzung und geringerer Koordinationskosten eingegangen werden. Letzterer Vorteil ist diskussionswürdig, da gerade in Netzwerken eine umfassende Koordinierung erforderlich ist, die zu höheren Kosten gerade auf diesem Gebiet führen können.

Zusammenfassend lassen sich die gegenwärtig existierenden zwei Positionen zur Netzwerkforschung gegenüberstellen. Auf der einen Seite befindet sich das Netzwerk intermediär im Kontinuum zwischen Markt und Hierarchie, dem Transaktionskostenansatz und einer sozialwissenschaftlich erweiterten Netzwerktheorie. Auf der anderen Seite gilt das Netzwerk als eigenständige Organisationsform mit der Kooperation als Koordinationsmuster und dem systemtheoretischen Netzwerkansatz. Der zu entwickelnde Ansatz des Extended Value Chain Managements wird beide Ansätze vereinen. Er enthält auf der einen Seite die Voraussetzungen der notwendigen Koordinationsmuster eines systemtheoretischen Ansatzes und wird zudem ergänzt durch eine sozialwissenschaftlich erweiterte Netzwerktheorie zur Integration von Soft-facts als Selbstlernfunktion des Produktionsnetzwerkes.

*Baumann*¹³¹ bringt einen tabellarischen Vergleich der wichtigsten Konzepte. Dessen Übersicht wird als abschließender Vergleich im Wesentlichen übernommen. Zur Bewertung dienen die Gestaltungsfelder Mensch, Technik und Organisation¹³².

Der Autor vertritt eine etwas andere Auffassung zu den Eigenschaften des Virtuellen Unternehmens. Zweifellos besitzen die Strukturen innerhalb und

¹²⁹Siehe [Wil96a].

¹³⁰Siehe [Syd98].

¹³¹Siehe [Bau00, S. 26].

¹³²Siehe [Hac86].

Kriterien	Konzepte						
	TQM	Lean Prod.	BPR	Holonic Manu.	Bionic Manu.	Fraktale Fabrik	VU
Organisation							
Zielebene							
• strategisch	✓		✓	✓	✓	✓	
• operativ		✓					✓
Auswirkungen auf das Unternehmen							
• ganzheitlich	✓	✓	✓		✓	✓	✓
• punktuell				✓			
Konzentration auf Kernkompetenzen	✓	✓				✓	✓
Strukturen							
• vernetzt	✓			✓	✓	✓	✓
• dynamisch/adaptiv				✓	✓	✓	✓
• flach	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Parallelisierung von Abläufen	✓	✓	✓	✓		✓	
Dezentralisierung/Desintegration				✓	✓	✓	✓
Bildung autonomer Einheiten				✓	✓	✓	✓
Prozessverbesserung	✓	✓					✓
Verbesserung in kleinen Schritten	✓	✓					✓
Kooperation				✓	✓	✓	✓
Vertrauen als Basis						✓	✓
Kundenproblemorientierung	✓	✓	✓			✓	✓
Technik							
IuK Technologien	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Redundanzen im Unternehmen					✓	✓	✓
Personal							
Teamarbeit	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Mitarbeiter als wichtigstes Potenzial	✓	✓				✓	
Mitarbeiterintegration	✓					✓	
Selbstkontrolle/Selbstorganisation				✓	✓	✓	
Flexible Arbeitszeit		✓				✓	✓
Leistungsbezogene Entgeltregelung		✓				✓	
Kontinuierlicher Lernprozess	✓	✓			✓	✓	✓
Kooperativer Führungsstil					✓	✓	✓
neue Unternehmensphilosophie						✓	✓

Abbildung 3.4: Vergleich verschiedener Managementkonzepte

außerhalb eines Unternehmens einen vernetzten Charakter. Durch einen Selbstlernerneffekt über eine a-posteriori Analyse von Soft-facts wird im Extended Value Chain Management-Konzept der Beweis erbracht, dass die Strukturen weiterhin dynamisch und adaptiv sind und die Veränderungen evolutionär in mehreren kleinen Schritten ablaufen können. Das ist eine wichtige Voraussetzung zur Minimierung des Bullwhip-Effektes. Diese drei Eigenschaften sind durch einen roten Haken hervorgehoben.

Im Folgenden werden die beiden Begriffe Unternehmensnetzwerk und Virtualität für die spätere Konzeption des Extended Value Chain Management-Modells einer gesonderten, tieferen Betrachtung unterzogen.

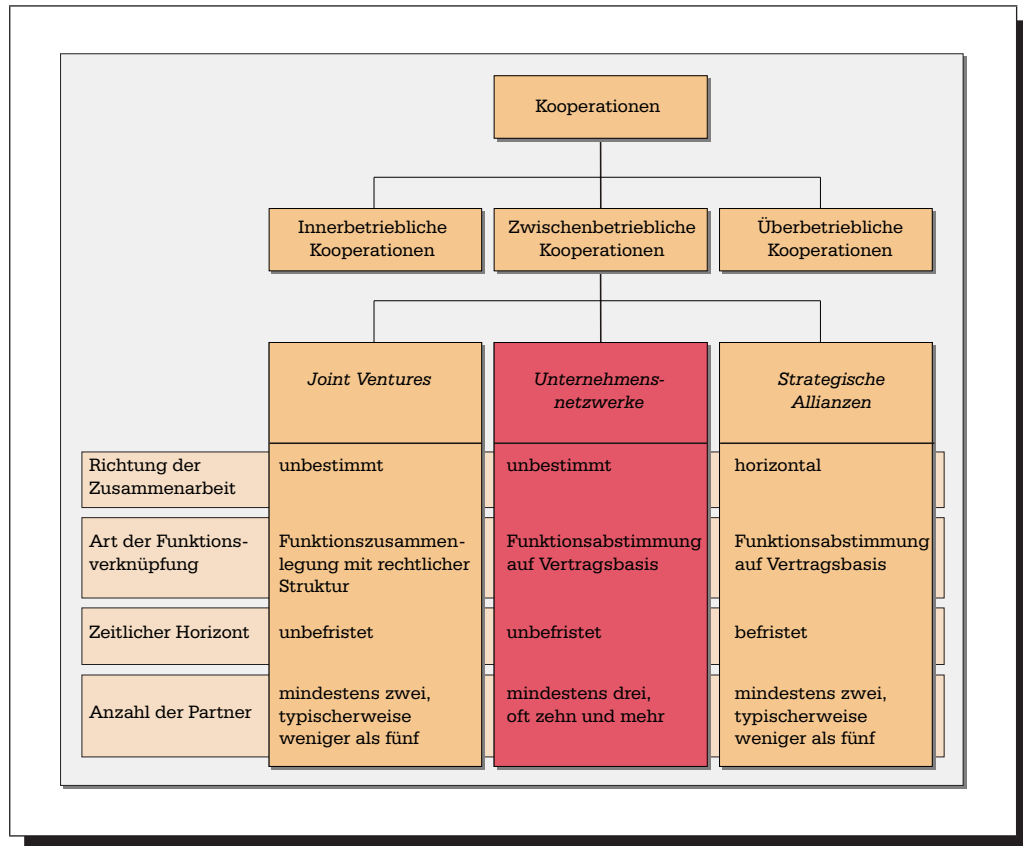


Abbildung 3.5: Unternehmensnetzwerke als spezielle Form der Kooperation

soll eine Definition für Unternehmensnetzwerke allgemeiner Art die inhaltliche Bedeutung dieser festlegen.

Allgemeines Unternehmensnetzwerk: ist eine Organisationsform ökonomischer Aktivitäten, die auf die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen zielt und oft von einem oder mehreren Unternehmen strategisch geführt wird. Sie ist außerdem gekennzeichnet durch Komplexität, mehr Kooperation als Konkurrenz mit relativ stabilen Beziehungen zwischen rechtlich selbstständigen, wirtschaftlich aber meist abhängigen Unternehmen.

Diese Definition lässt hinsichtlich der Typisierung genügend Freiraum. Die in der Literatur zu findenden Typen von Netzwerken gehen bei der Einordnung meist von verschiedenen Dimensionen aus. Nach *Sydow*¹⁴¹ lassen sich

¹⁴¹Vgl. [Syd95a, S. 1626], [Syd95b, S. 630] und [Syd97, S. 23 ff.].

regionale, strategische und projektbezogene Netzwerke über die Dimensionen Stabilität der Mitgliedschaft und der Steuerungsform abgrenzen.

- *Strategische Netzwerke*: besitzen ein fokales Unternehmen, das den zu bearbeitenden Markt, die zu verwendenden Strategien und Technologien sowie die Ausgestaltung der Netzwerk-Organisation definiert. Diese Organisationsform ist statischer Natur und sehr träge. Ein strategisch geführtes Unternehmensnetzwerk wird in der Regel auf lange Sicht angelegt und hierarchisch strukturiert. Als Beispiel sind die japanischen Keiretsu¹⁴² zu nennen.
- *Regionale Netzwerke*: bestehen aus KMU und sind durch regionale Zugehörigkeit charakterisiert. Somit werden Kooperationen von Unternehmen, die räumlich nahe beieinander liegen und gemeinsam an der Wertschöpfung beteiligt sind, als regionale¹⁴³ Unternehmensnetzwerke bezeichnet. Sie entbehren einer strategischen Führerschaft. Die Steuerungsform ist dabei polyzentrisch bzw. heterarchisch und erfordert eine stabile Mitgliedschaft im Netzwerk. Es erfolgt eine aufgabenspezifische Kooperation.

Beispielhaft hierfür ist das Netzwerk der Textilunternehmen in der *Emilia Romagna* (Italien)¹⁴⁴ zu nennen. Die am Netzwerk mitwirkenden Unternehmen zeichnet eine stabile Mitgliedschaft aus, ohne jedoch zwangsläufig an jedem Projekt mitwirken zu müssen. *Wildemann*¹⁴⁵ unterscheidet nach ähnlichen Kriterien. Das strategische Netzwerk bezeichnet er jedoch als hierarchisch-pyramidal und das regionale Netzwerk als polyzentrisch.

- *Projektnetzwerke*: sind zeitlich befristet und können sowohl hierarchisch als auch heterarchisch gesteuert werden.

*Hess*¹⁴⁶ arbeitet in Anlehnung an *Sydow/Winand*¹⁴⁷ vier Grundtypen von Unternehmensnetzwerken heraus, die sich aus Organisation und Lebensdauer ergeben:

- Projektnetzwerk (fokal/instabil),

¹⁴²Ein ausführliche Beschreibung hierzu findet sich in [Syd92, S. 38].

¹⁴³Vgl. [Por98] und [Por99].

¹⁴⁴Siehe dazu [Syd92, S. 47].

¹⁴⁵Vgl. [Wil97, S. 423 ff.].

¹⁴⁶Vgl. [Hes99a, S. 226].

¹⁴⁷Siehe [Syd98, S. 16].

- strategisches Netzwerk (fokal/stabil),
- Verbundnetzwerk (polyzentrisch/stabil) und
- Virtuelles Unternehmen (polyzentrisch/instabil).

Diese Einteilung basiert im Wesentlichen auf der oben bereits erwähnten nach *Sydow, Friemuth/von Wrede*¹⁴⁸ unterteilen Netzwerke nach ihrer Funktionsweise wie Netzwerkführung, Organisationsstruktur oder Stabilität und arbeiten die folgenden vier Typen heraus:

- strategisches Netzwerk (werden durch ein Unternehmen geführt und sind relativ stabil),
- Virtuelles Unternehmen (projektorientierte Kooperation unabhängiger Unternehmen),
- operatives Netzwerk (Nutzung freier Kapazitäten der Partner) und
- regionales Netzwerk (räumliche Nähe der Kooperationspartner).

Diese Einteilung ist ähnlich der Einteilung von *Hess* bzw. *Sydow/Winand*. Ein weiterer Systematisierungsansatz von *Friemuth/von Wrede* berücksichtigt die Kooperationsrichtung und unterscheidet in horizontale, vertikale und laterale Netzwerke. Auch nach der Art der zu bewältigenden Aufgabe lassen sich nach *Friemuth/von Wrede* Netzwerke kategorisieren und in Beschaffungnetzwerke, Produktionsnetzwerke und Logistiknetzwerke unterscheiden.

Nach *Göransson/Schuh*¹⁴⁹ kann jede Kooperation von mindestens zwei Unternehmen als (Unternehmens-)Netzwerk bezeichnet werden. Innerhalb dieses Definitionsrahmens wird u. a. in stabile und dynamische Netzwerke unterschieden. Das stabile Netzwerk¹⁵⁰, welches auf längere Dauer und nicht nur zur Erfüllung eines einzigen Auftrages gebildet wird, stellt hierbei die Voraussetzung für ein daraus resultierendes temporäres Netzwerk (dynamisches Netzwerk)¹⁵¹ dar, welches für kurze Zeit und für die Erbringung einer Leistung aus dem stabilen Netzwerk heraus gebildet wird. Dieses stabile Netzwerk besteht aus allen potenziell teilnehmenden Unternehmen (oder Unternehmensteilen) an einem dynamischen Netzwerk. Das dynamische Netzwerk

¹⁴⁸Vgl. [Fri98, S. 92].

¹⁴⁹Siehe [Gör97, S. 64 ff.].

¹⁵⁰Vgl. [Die99, S. 45]. Stabile Netzwerke sind nach *Sydow* strategische Netzwerke.

¹⁵¹Vgl. [Die99, S. 50]. Dynamische Netzwerke werden in jüngerer Zeit als Virtuelles Unternehmen bezeichnet. Vermutlich erstmals wurde der Begriff *dynamic network* erwähnt bei [Mil84, S. 26 ff.].

selbst vereinigt alle an einem bestimmten Projekt teilnehmenden Unternehmen. Das Projekt kann z. B. ein Wertschöpfungsprozess sein. Nach dieser Ansicht sind also alle Unternehmen eines dynamischen Netzwerkes automatisch auch Teilnehmer am vorgelagerten stabilen Netzwerk.

Aus aktueller Perspektive ist noch keine einheitliche Begriffswelt feststellbar, teilweise überschneiden oder widersprechen sich einzelne Bezeichnungen. Eine Aufzählung anderer Systematisierungsansätze ist an dieser Stelle nicht zielführend. Vielmehr soll aus den bisherigen Erkenntnissen eine weitere Eingrenzung des Begriffs Unternehmensnetzwerk vollzogen werden.

Unternehmensnetzwerk: ist eine Form zwischenbetrieblicher Kooperation, die durch stabile auftragsunabhängige Beziehungen der Unternehmen in Form eines Kompetenzpools charakterisiert sind. Für einen konkreten Auftrag werden entsprechend der benötigten Leistungen die Netzwerkpartner in Form von Virtuellen Unternehmen über ihre Kernkompetenzen konfiguriert.

Diese Unternehmensnetzwerke können nach wie vor als intermediäre Organisationsform ökonomischer Aktivitäten zwischen Markt und Hierarchie¹⁵² eingeordnet werden. Dabei sind die im Netzwerk organisierten Akteure loser gekoppelt als in einer idealtypischen Hierarchie, jedoch fester als in einem idealtypischen Markt¹⁵³. Die Hierarchie kann auch als Bürokratie bezeichnet werden und stellt in der Praxis das Unternehmen dar. Das Unternehmensnetzwerk kann jedoch auch als eine eigenständige Organisationsform¹⁵⁴ angesehen werden und stellt zusätzlich zu Markt und Hierarchie eine dritte idealtypische Form der Austauschorganisation dar. Welches die „richtige“ Ansicht ist, kann (noch) nicht gesagt werden. Die herrschende Lehrmeinung favorisiert den Ansatz der intermediären Organisationsform. Diese Auffassung soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden.

Der Trend zu Netzwerken kleiner Unternehmen wird von *Chesbrough/Teece*¹⁵⁵ kritisch betrachtet. Es wird angenommen, dass Produktinnovationen nur bei einer ausreichenden Unternehmensgröße realisierbar sind. *Kaluza/Blecker*¹⁵⁶ widersprechen dieser Ansicht indem sie betonen, dass gerade Produktionsnetzwerke zu einer Steigerung der Innovationsfähigkeit führen,

¹⁵²Vgl. [Kre97, S. 325 f.].

¹⁵³Siehe dazu die Ausführungen bei [Syd95b].

¹⁵⁴Siehe [Kre97, S. 330 f.].

¹⁵⁵Siehe [Che96, S. 68 f.].

¹⁵⁶Siehe [Kal99, S. 275].

weil durch die Vernetzung die nicht ausreichende Ressourcenbasis kleiner Unternehmen überwunden werden kann. Allen Ansätzen ist jedoch gemein, dass sie keine durchgängigen Aussagen zur Genese und zum Betreiben von Netzwerken liefern, sondern auf einer Organisationssicht verharren. Diese Grenze soll die vorliegende Arbeit überwinden und einen entsprechenden Ansatz liefern. Zuvor erfolgt noch eine kurze Betrachtung ausgewählter wichtiger Aspekte eines Netzwerkes.

3.2.1 Leistungskoordination

Unternehmensnetzwerke als eine dritte Form der Austauschorganisation¹⁵⁷ anzusehen, welche in ihrer idealtypischen Form nicht zwischen Markt und Hierarchie eingeordnet werden kann, sondern als eigenständiges Koordinationsmuster (der Kooperation) gilt, werden vorwiegend mit dem Transaktionskostenansatz in Verbindung gebracht. Diese Sicht einer selbstständigen Organisationsform basiert auf der Forderung, dass zur Beschreibung von Netzwerken mehrdimensionale Modelle¹⁵⁸ notwendig sind. Ein Argument für die Einordnung als selbstständige Organisationsform stellt die Kooperation als eigenständige Koordinationsform in den Vordergrund¹⁵⁹. Dieser Forschungsansatz ist bisher noch nicht eingehend weiterverfolgt worden und es werden weitere Untersuchungen notwendig sein, um diesem Konzept Tragfähigkeit zu verleihen. Daher soll in den folgenden Abschnitten der Markt, die Hierarchie und das Kontinuum zwischen diesen beiden Extrempunkten näher erläutert werden.

3.2.1.1 Markt und Hierarchie

Beim Versuch der Definition des Begriffs *Markt* treten automatisch Schwierigkeiten in Abhängigkeit von Sichtweise und Vorstellungen einzelner Theorien auf, da die Ansichten nicht zwangsläufig einander entsprechen. Nach der neoklassischen Markttheorie oder dem Ansatz der institutionellen Ökonomie stellt der Markt „eine Organisationsform ökonomischer Aktivitäten, in der beliebige Marktteilnehmer ... eine genau spezifizierte Leistung austauschen“¹⁶⁰ dar. Die Marktakteure handeln hierbei rational und opportunistisch, sind gleichberechtigt und unabhängig in ihren Handlungen. Die über

¹⁵⁷Vgl. [Kre97, S. 331].

¹⁵⁸Vgl. [Wir99, S. 22].

¹⁵⁹Vgl. [Kre97, S. 330].

¹⁶⁰Vgl. [Syd92, S. 98].

den Markt abgewickelten Transfers von Geld bzw. Gütern oder Dienstleistungen sind von kurzfristiger Natur, bei denen die Koordination in der Regel über die Preise als transaktionsrelevante Information erfolgt. Der Preis ist der ökonomische Koordinationsmechanismus des Marktes¹⁶¹. Als preisliche Ausprägungsformen kommen Planpreise, Verrechnungspreise oder Marktpreise in Frage.

Grundlage für die Existenz einer *Hierarchie* ist eine Organisation. In einer Unternehmenshierarchie erfolgt die Koordination durch Weisungen und Anordnungen von der Unternehmensleitung gegenüber einer normalerweise begrenzten Anzahl von Organisationsmitgliedern¹⁶². Die Vorgaben können in Form von Planvorgaben, Weisungen oder generellen Regelungen auftreten¹⁶³. In einer Hierarchie ist jegliche marktliche Koordination durch hierarchische Koordination ersetzt. Ein weiterer Unterschied zum Markt besteht in der Dauer der Beziehungen. Während diese im Markt kurzfristig, auf bestimmte Transaktionen ausgelegt sind, ist die Hierarchie im Allgemeinen und das Unternehmen im Speziellen auf Dauer angelegt.

Eine hierarchische Organisationsform ist insbesondere dann anzutreffen, wenn sie als Unternehmen instanziiert wurde, obgleich noch weitere organisatorische Mechanismen wie technokratische und personale Koordinationsinstrumente sowie Planungs- und Kontrollsysteme, Personalführung oder Organisationskultur ihre organisierende Wirkung ergänzen¹⁶⁴. In der Literatur wird die Hierarchie auch als Bürokratie bezeichnet.

In der betriebswirtschaftlichen Forschung dominiert, wie bereits erwähnt, die Einordnung von Unternehmensnetzwerken in ein Spektrum zwischen Markt und Hierarchie als Idealformen der Organisation¹⁶⁵. Die Begründung liegt in der Existenz sowohl marktlicher (Preise, Verträge) als auch hierarchischer (Anweisung, Kontrolle) Koordinationsmechanismen, d. h. der Kombination¹⁶⁶ beider Pole in Unternehmensnetzwerken. Sie stellen somit eine hybride Koordinationsform dar, bei der die Koordination durch Kooperation im Vordergrund steht. Ein wichtiges Analyseinstrument stellt der Transaktionskostenansatz dar, der klären soll, wann marktliche und wann hierarchische Koordinationsformen entstehen.

Das Modell eines hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes stellt gewissermaßen einen Problemfall im Kontext bisher aufgezählter Koordinations-

¹⁶¹Vgl. [Ste99b, S. 255].

¹⁶²Vgl. [Syd92, S. 98].

¹⁶³Vgl. [Ste99b, S. 255].

¹⁶⁴Vgl. [Syd92, S. 98].

¹⁶⁵Vgl. [Wir99, S. 22].

¹⁶⁶Ebenda.

mechanismen dar. Obgleich es nicht als eigenständige neue Organisationsform angesehen werden kann oder soll, lässt es sich nicht ohne Weiteres in ein Kontinuum zwischen Markt und Hierarchie eingliedern. Hauptargument dagegen ist die Forderung nach Hierarchielosigkeit. Dies lässt auf eine Einordnung in die Extremposition des Marktes schließen, bei der die Kompetenzen und Ressourcen des Netzes durch Selbstorganisation und Autonomie gekennzeichnet sind¹⁶⁷ und eine Kooperation ohne formale hierarchische Struktur erfolgen soll¹⁶⁸. Durch diese Einschränkung hebt sich das hierarchielose regionale Produktionsnetz vom interorganisationalen Netzwerk ab und führt zu einer eigenen Definition. Eine Koordination muss grundsätzlich durch Kooperation erfolgen, welche jedoch im Regelfall über den Markt und nicht durch Hierarchie gesteuert wird. Diese hierarchiefreie Koordination setzt einen hervorragend funktionierenden Marktmechanismus voraus, um einen hierarchiefreien Ablauf der zur Leistungserstellung notwendigen Transaktionen garantieren zu können. Dies impliziert wiederum eine funktionierende Informations- und Kommunikationstechnologie.

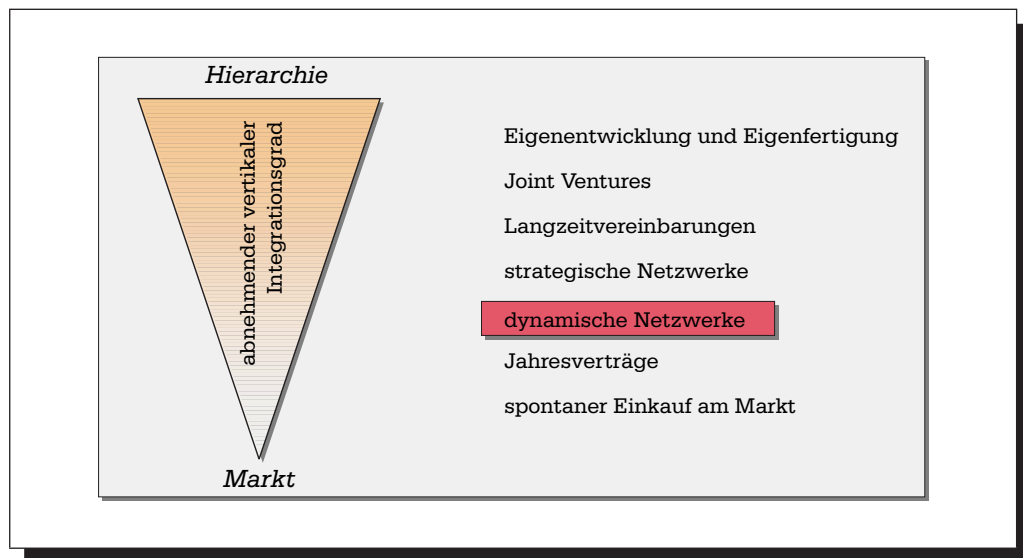


Abbildung 3.6: Spektrum des vertikalen Integrationsgrades

Gemäß Abbildung 3.6¹⁶⁹, in der die beiden Extremformen sowie mögliche Hybridformen der Organisation ökonomischer Aktivitäten dargestellt sind,

¹⁶⁷Vgl. [Wir99, S. 23].

¹⁶⁸Ebenda.

¹⁶⁹In Anlehnung an [Syd92, S. 104], [Pic91, S. 340], [Pic96, S. 46] und [Pic97, S. 79].

muss in einem hierarchiefreien Raum die Koordination über den Markt erfolgen. Dies setzt jedoch eine fast vollständige Externalisierung der Hierarchie zugunsten des Marktes voraus. Dagegen sollten Marktelemente kaum oder besser überhaupt nicht internalisiert sein. Fragwürdig erscheint in diesem Zusammenhang die Tatsache, ob von einem Netzwerk gesprochen werden darf, wenn die Koordination ausschließlich über den Markt, also hierarchielos, erfolgt. Allgemeine ökonomische Koordinationsmechanismen stellen gemeinsame Ziele, Verhandlungen, fallweise Regelungen, Entscheidungsspielraum, Organizational Slack, Motivation und Sanktionen in Frage¹⁷⁰.

Bisher wurden ausschließlich hybride Formen zwischen Markt und Hierarchie als Netzwerk bezeichnet. Dies geht auch aus Abbildung 3.6 hervor, bei der das dynamische Netzwerk neben Jahresverträgen sehr nahe am Markt eingeordnet wird. Kompetenzzellen vereinigen diesbezüglich nur eine geringe Leistungstiefe¹⁷¹. Als Kompromiss dieses vermeintlichen Widerspruchs zwischen hierarchieloser Koordination und Netzwerkbegriff könnte in Anlehnung zu obiger Abbildung von einem hierarchiearmen Produktionsnetz gesprochen werden, welches tendenziell zu Hierarchielosigkeit neigt.

3.2.1.2 Relevante Theorien und Forschungsansätze

In diesem Abschnitt soll der Rahmen bezüglich des Teils der anzuwendenden wissenschaftlichen Forschungsansätze abgesteckt und erläutert werden, der sich auf die Koordination bezieht. Mit den zu schildernden Ansätzen wird im Kapitel 4.2.2.3 das Konstrukt des hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes analysiert, um eventuelle Erfolgsfaktoren dieses Koordinationsmodells aufzudecken.

3.2.1.2.1 Neue Institutionelle Ökonomie

Aus der Vielzahl vorhandener Entwicklungslinien der Organisationstheorie¹⁷² soll aus dem Bereich der modernen Organisationstheorien die organisatorische Entscheidungsforschung als Analyseinstrument eingesetzt werden. Ein Zweig dieses Bereichs stellt die so genannte mikroökonomische Organisationsanalyse oder Neue Institutionenökonomik dar¹⁷³. In diesem erst Anfang der 70er Jahre verstärkt erforschten Bereich finden sich sowohl Beiträge von volkswirtschaftlichen als auch von betriebswirtschaftlichen Autoren. Dabei

¹⁷⁰Vgl. [Ste99b, S. 255].

¹⁷¹Vgl. [Pic96, S. 46].

¹⁷²Vgl. [Sch99e, S. 27 ff.].

¹⁷³Vgl. [Sch99e, S. 72 ff.].

wird besonders die Bedeutung von Information und Kommunikation für die Koordination wirtschaftlicher Tätigkeit behandelt¹⁷⁴.

Im Zentrum der Untersuchungen stehen Organisationen und deren Institutionen (z. B. Verträge, Organisationsstrukturen, Sprache, Geld) und die Frage, in welcher Weise diese Institutionen im Rahmen der Informations- und Kommunikationsprozesse optimiert werden können. Das Unternehmen wird bei der Neuen Institutionellen Ökonomie als ein eigenständiges Handlungssystem betrachtet, dessen Strukturen genauer analysiert werden müssen. In den nun folgenden Abschnitten werden drei Ansätze der Neuen Institutionenökonomie ausführlich dargestellt. Alle drei Ansätze haben unterschiedliche Wurzeln, sind jedoch in wesentlichen Punkten miteinander verwandt. In den folgenden Unterabschnitten werden die Hauptelemente der Transaktionskostentheorie geschildert, danach die Prinzipal-Agenten-Theorie und die Theorie der Verfügungsrechte kurz vorgestellt.

Alle drei Ansätze basieren auf den Hauptannahmen, dass sämtliche Akteure individuelle Nutzenmaximierung ohne „moralische Skrupel“¹⁷⁵ anstreben, eine unvollkommene Informationssituation herrscht und alle möglichen Handlungsalternativen in ihrer Wirkung abschätzbar sind. In diesem Rahmen soll die Entstehung und Konfiguration von Organisationen, besonders aber von Unternehmen, untersucht werden. Ziel ist, ein stabiles System zu schaffen, welches mit effizienten, d. h. zum Beispiel mit kostenminimalen Austauschbeziehungen längerfristig existieren kann.

Die institutionenökonomische Theorie berücksichtigt ausschließlich die Effizienz von Organisationen. Im Rahmen dieser Arbeit stellt das hierarchielose regionale Produktionsnetz bestehend aus Kompetenzzellen die zu untersuchende Organisationsform dar. Als Ziel gilt, die Informations- und Kommunikationssysteme so zu konfigurieren, dass innerhalb dieser Organisationsform ein möglichst kostenminimaler und redundanzfreier Wertschöpfungsprozess vollzogen werden kann. Insbesondere durch Anwendung des Transaktionskostenansatzes soll geklärt werden, ob Netzwerkorganisationen diesbezüglich erfolgversprechend sind und welche Größe optimal für Kompetenzzellen sein könnte.

3.2.1.2.2 Die Transaktionskostentheorie

Die Transaktionskostentheorie (Transaction Cost Economics) versucht die grundlegende Frage zu beantworten, warum es nicht nur Einpersonenunternehmen, sondern auch Unternehmen bestehend aus mehreren Personen in der

¹⁷⁴Vgl. [Pic96, S. 34].

¹⁷⁵Vgl. [Sch99e, S. 72].

Praxis gibt¹⁷⁶. Dazu soll zuerst der Begriff *Transaktionskosten* erklärt werden. Aus volkswirtschaftlicher Perspektive formuliert *Mankiw*¹⁷⁷ kurz und knapp, dass Transaktionskosten die Kosten der Vertragspartner aus dem Abschluss und der Durchführung von Geschäften darstellen.

Die erste bedeutende Veröffentlichung zur Frage nach dem Grund des Entstehens von Unternehmen erschien bereits 1937 von *Coase* mit dem Titel „The Nature of the Firm“¹⁷⁸. Er beschäftigte sich mit der Frage „... why ... are there any market transactions at all? Why is not all production carried on by one big firm?“¹⁷⁹. In seiner Analyse fand *Coase* heraus, dass Marktbenutzungskosten ursächlich sind. So begründen Transaktionskostensparnisse die Unternehmung als dauerhafte ökonomische Institution¹⁸⁰. Eine Erweiterung erfährt die Analyse der Transaktionskosten 1960, als abermals *Coase* einen Artikel mit dem Titel „The Problem of social cost“¹⁸¹ veröffentlichte. *Coase* betrachtet im Rahmen der Wohlfahrtsökonomik die Frage nach den Kosten, die aus vertraglichen Beziehungen entstehen. Dabei werden ökonomische Auswirkungen rechtlicher Regelungen und Entscheidungen analysiert. Bis in die 70er Jahre fanden lediglich verhaltene Diskussionen zu diesem Thema statt. Erst als sich *Williamson* ausführlich dieser Problematik widmete, indem er die Annahmen präziserte, Grundlagen herausarbeitete und den Begriff „transaction cost“ einführte, wurde das Konzept auf ein festes Fundament gestellt.

Williamson bezeichnet den Transaktionskostenansatz als einen kombinierten Ansatz von Volkswirtschaft und Organisationstheorie, mit dem Unternehmen und Märkte untersucht werden können¹⁸². In Deutschland leistete *Picot* mit seinen Veröffentlichungen von 1982¹⁸³ und 1990¹⁸⁴ Pionierarbeit. In beiden Artikeln wurde der Ansatz weiter präzisiert und verschiedene spezielle Fachbegriffe in deutscher Sprache eingeführt.

Um Transaktionskosten definieren zu können, muss der Begriff Transaktion näher beschrieben werden. *De Pay* bezeichnet Transaktionen als Prozesse der Beschaffung und Verarbeitung von Informationen, die unterschiedlichster Art sein können, z. B. rechtlicher, ökonomischer oder technologischer

¹⁷⁶Vgl. [Sta99, S. 421].

¹⁷⁷Siehe [Man99, S. 320].

¹⁷⁸Vgl. [Coa37].

¹⁷⁹Ebenda.

¹⁸⁰Vgl. [Hel92, S. 322].

¹⁸¹Vgl. [Coa60, Coa78].

¹⁸²Vgl. [Wil96b, S. 135]. Im Original: „...transaction cost economics uses a combined economics and organization approach to the study of firms and markets.“

¹⁸³Vgl. [Pic82].

¹⁸⁴Vgl. [Pic90].

Art¹⁸⁵. Transaktionskosten stellen also den zentralen Betrachtungsmaßstab der Transaktionskostentheorie dar. Manchmal werden Transaktionskosten auch als Koordinationskosten oder Informationskosten bezeichnet.

Picot präzisiert diese Kosten als Kosten des Produktionsfaktors Organisation¹⁸⁶, die in der Produktionstheorie in der Regel unberücksichtigt bleiben. Transaktionskosten, die „alle Opfer und Nachteile, die von den Tauschpartnern zur Verwirklichung des Leistungsaustausches zu tragen sind“¹⁸⁷ darstellen, können in Anlehnung an die einzelnen Phasen einer Transaktion in verschiedene Transaktionskostenarten eingeteilt werden¹⁸⁸:

- Anbahnungskosten (z. B. Kosten für Reisen, Kommunikation, Beratung sowie bestimmte Gemeinkosten von Einkauf, Vertrieb, Entwicklung und Fertigungsvorbereitung),
- Vereinbarungskosten (z. B. Kosten für Verhandlungen, Rechtsberatung, Kosten der Abstimmung und Planung zwischen Vertrieb, Entwicklung, Fertigung und Einkauf),
- Abwicklungskosten (z. B. Kosten der Steuerung des Tauschprozesses oder Managementkosten der Führung und Koordination),
- Kontrollkosten (z. B. Kosten der Qualitäts- und Terminüberwachung, Einkaufsrichtwertbestimmung) und
- Anpassungskosten (z. B. Zusatzkosten aufgrund nachträglicher, qualitativer, mengenmäßiger, preismäßiger oder terminlicher Änderungen).

Das Ziel besteht darin, diese Transaktionskosten zu minimieren bzw. den transaktionskostenminimalen Koordinationstypus zu wählen¹⁸⁹. Im Rahmen der Transaktionskostentheorie werden die Grundtypen Markt, Hierarchie und hybride Formen als Grundtypen institutioneller Arrangements identifiziert¹⁹⁰. Aus diesem Blickwinkel lässt sich ein Effizienzvergleich von Markt und Hierarchie unter Berücksichtigung des Spezifitäts- und des Unsicherheits- bzw. Komplexitätsgrades einer Transaktion ziehen.

Unter Spezifität kann die Wertdifferenz zwischen der beabsichtigten Verwendung und der zweitbesten Verwendung der entsprechenden Ressource

¹⁸⁵Vgl. [Pay97].

¹⁸⁶Vgl. [Pic82, S. 270].

¹⁸⁷Vgl. [Pic91, S. 344] und [Pic97, S. 66].

¹⁸⁸Vgl. [Pic97, S. 66].

¹⁸⁹Vgl. [Sch99e, S. 73].

¹⁹⁰Vgl. [Hes99a, S. 228-229].

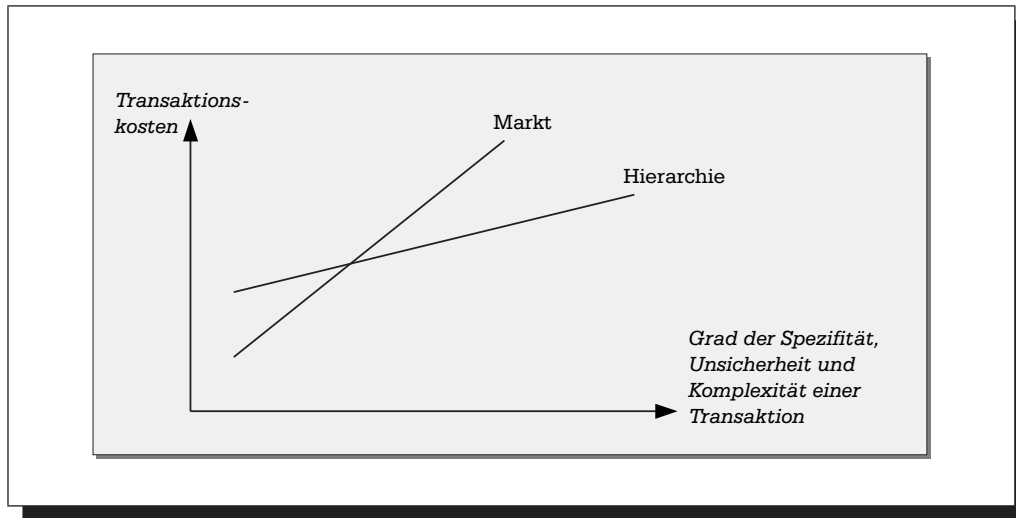


Abbildung 3.7: Effizienzvergleich von Markt und Hierarchie

verstanden werden. Je größer diese Differenz ist, desto höher ist die Spezifität¹⁹¹. Die Unsicherheit/Komplexität bezeichnet ein Maß der Vorhersehbarkeit und der Anzahl notwendiger Änderungen der Leistungsvereinbarung während einer Transaktion¹⁹². Spezifität und Unsicherheit werden auch als Umweltmerkmale zusammenfassend beschrieben. Als wichtigste Verhaltensannahmen werden den Akteuren bei Anwendung der Transaktionskostentheorie begrenzte Rationalität und Opportunismus unterstellt¹⁹³.

Aus Abbildung 3.7¹⁹⁴ wird ersichtlich, dass die Hierarchie als Gegenpol zum Markt besonders bei einem höherem Spezifitäts-, Unsicherheits- und Komplexitätsgrad geringere Transaktionskosten als der Markt aufweist und als vorteilhafte Koordinationsform erscheint. Demnach ist der Grad der vertikalen Integration (Eigenfertigungsquote) ebenfalls von diesen Umweltfaktoren abhängig. Unsicherheiten bei unvollkommenen Märkten führen zu Transaktionskosten¹⁹⁵. Transaktionskosten haben also Einfluss auf die Verteilung der Leistungen, die notwendig zur Erfüllung einer Gesamtaufgabe sind, hinsichtlich einer unternehmensinternen oder unternehmensexternen Abwicklung¹⁹⁶.

Soll das Modell eines hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes mittels

¹⁹¹Vgl. [Pic97, S. 69].

¹⁹²Vgl. [Pic97, S. 68].

¹⁹³Ebenda.

¹⁹⁴Vgl. [Pic90, S. 181].

¹⁹⁵Vgl. [Ste99b, S. 259].

¹⁹⁶Vgl. [Zäp89, S. 135].

der Transaktionskostentheorie untersucht werden, empfiehlt sich eine mikroanalytische Vorgehensweise. Mittels der Analyseeinheit Transaktion erfolgt ein komparativ-statistischer Vergleich diskreter Strukturalternativen hinsichtlich bestimmter Variablen¹⁹⁷. Die Einordnung des Unternehmensnetzwerkes als eine Organisationsform zwischen Markt und Hierarchie stellt dabei die Basisidee dar. Aus der bereits erwähnten Forderung nach Hierarchielosigkeit ergibt sich eine besondere Nähe zum marktlichen Koordinationsmechanismus. Dabei soll herausgestellt werden, unter welchen Bedingungen die entsprechenden Transaktionskosten gering sind, um eine marktähnliche Organisation vorteilhaft erscheinen zu lassen. Eine genauere Betrachtung erfolgt in Abschnitt 4.2.2.3.

3.2.1.2.3 Prinzipal-Agenten-Theorie

Die Prinzipal-Agenten-Theorie (Principal-Agency-Theory) stellt eine Erweiterung der ökonomischen Theorie der Neoklassik dar¹⁹⁸. Basisannahme ist das reibungslose Funktionieren der Märkte. Bei diesem Ansatz wird das Problem ungleich verteilter Information als Organisationsproblem interpretiert¹⁹⁹. Mit der Prinzipal-Agenten-Theorie erfolgt eine Analyse der Beziehungen zwischen Auftraggeber (Prinzipal) und Auftragnehmer (Agent). Der Prinzipal delegiert zum Zwecke einer Auftragserfüllung dem Agenten eine Aufgabe, welcher bei Erledigung dafür entlohnt wird. Der Agent trifft dabei Entscheidungen, die nicht nur das eigene, sondern auch das Wohlergehen des Prinzipals betreffen²⁰⁰. Die Untersuchung konzentriert sich auf die vertragliche Ausgestaltung dieser Auftragsbeziehungen, die durch Interessenkonflikte und asymmetrisch verteilte Information gekennzeichnet sind²⁰¹.

Das Problem der Beziehung zwischen Prinzipal und Agent liegt in der Neigung des Agenten zum Opportunismus. Sein Handeln ist für den Prinzipal nicht vollständig kalkulierbar. Er muss davon ausgehen, dass der Agent in eigenem Interesse bzw. zu seinem eigenen Vorteil handelt. Das Problem der asymmetrisch verteilten Information in Verbindung mit dem Auftreten von Agenturkosten (agency costs) sowie Unsicherheit bezüglich der Umweltentwicklungen²⁰² kann zu suboptimalen Ergebnissen führen. Insbesondere bei ungleich verteilter Information besteht das Problem der „hidden information“, d. h. der Prinzipal kann die Handlung des Agenten nicht genau

¹⁹⁷Vgl. [Kre97, S. 338].

¹⁹⁸Vgl. [Ter97, S. 34].

¹⁹⁹Vgl. [Sch99e, S. 82].

²⁰⁰Vgl. [Wen88, S. 506].

²⁰¹Vgl. [Gil00, S. 347].

²⁰²Vgl. [Ste99b, S. 259].

einschätzen. Beim Problem der „hidden action“ wird die Tatsache, dass der Prinzipal den Agenten nicht vollständig überwachen kann, näher beschrieben²⁰³. Dadurch erlangt der Agent die Möglichkeit, die Abhängigkeitssituation auszunutzen (*moral hazard*) oder durch Fehlinformation den Prinzipal zu einer falschen Entscheidung zu bringen (*adverse selection*)²⁰⁴. Die Informationsasymmetrie kann Agency-Costs verursachen²⁰⁵, die es zu erkennen und zu minimieren gilt. So kann zum Beispiel ein Vertrauensverhältnis zwischen Prinzipal und Agent zu relativ geringen Agenturkosten führen²⁰⁶.

Kritikpunkte für die Anwendung der Prinzipal-Agenten-Theorie sind, dass dieser Ansatz zum einen noch relativ neu ist und einer Reifephase bedarf²⁰⁷ und zum anderen ein stereotypes Menschenbild des Opportunisten und Egoisten zu Grunde gelegt wird, welches durch Regelungen und Sanktionsandrohung zu manifestieren ist²⁰⁸.

3.2.1.2.4 Theorie der Verfügungsrechte

Die Theorie der Verfügungsrechte (Property-Rights-Theory) ist ebenfalls als Erweiterung der neoklassischen Theorie anzusehen²⁰⁹. Bei diesem Ansatz wird das Ziel verfolgt, die Wirkung unterschiedlich ausgestalteter Verfügungsrechte zu analysieren und die Entstehung unterschiedlicher Verfügungsrechte zu erklären²¹⁰. Schon *Coase*²¹¹ thematisierte 1960 das Problem externer Kosten und versuchte zu analysieren, welche Allokationswirkungen aus verschiedenen rechtlichen Bestimmungen folgen, wenn eine (wirtschaftliche) Handlung einer Person einer anderen Person Schaden zufügt²¹² (Externalitäten).

Grundlage der Theorie der Verfügungsrechte stellt wiederum ein auf seinen eigenen Nutzen fixierter, opportunistisch handelnder Akteur dar. Dieser möchte alle Verfügungsrechte uneingeschränkt erlangen bzw. den gesamten Nutzen daraus ziehen. Die Kosten der Fixierung, Übertragung und Durchsetzung dieser Verfügungsrechte sollen dabei minimiert werden²¹³. Verfügungsrechte sind in vier verschiedene Ausprägungen einzuordnen²¹⁴:

²⁰³Ebenda.

²⁰⁴Vgl. [Sch99e, S. 82].

²⁰⁵Vgl. [Ter97, S. 31 f.].

²⁰⁶Vgl. [Kry97b, S. 373].

²⁰⁷Vgl. [Syd92, S. 172].

²⁰⁸Ebenda.

²⁰⁹Vgl. [Pic96, S. 38].

²¹⁰Vgl. [Sch97c, S. 178].

²¹¹Vgl. [Coa60].

²¹²Vgl. [Hel00, S. 2].

²¹³Vgl. [Sch97c, S. 178].

²¹⁴Vgl. [Sta99, S. 423].

- Nutzungsrecht an einem Gut (usus),
- Recht auf Veränderung von Form und Substanz eines Gutes (abusus),
- Recht auf Aneignung des Erfolges (Gewinn, Residualeinkommen) (usus fructus) und
- Recht auf Veräußerung des Gutes.

In der Praxis können diese Rechte sowohl einer Person als auch mehreren Personen zugeordnet sein. Zur Beurteilung unterschiedlicher Verfügungsrechteverteilungen können Transaktionskosten beitragen, die jedoch nicht mit den Transaktionskosten der Transaktionskostentheorie verwechselt werden dürfen. Diese Kosten entstehen bei der Herausbildung, Zuordnung, Übertragung und Durchsetzung von Verfügungsrechten²¹⁵. Besitzt ein Akteur nicht alle Verfügungsrechte, können die oben erwähnten Externalitäten sowohl in positiver als auch in negativer Form auftreten. Werden diese externen Effekte für einen Akteur prohibitiv groß, versucht er, diese Effekte zu internalisieren. Dabei müssen die Kosten der Internalisierung seinen Nutzen unterschreiten. Eine Internalisierung kann z. B. durch Leistung einer Entschädigung oder Steuer²¹⁶ erfolgen. Das Ziel der Gewinnmaximierung verbunden mit der Internalisierung externer Effekte legt den Grundstein zur Bildung eines Unternehmens²¹⁷.

Eine optimale (kostenminimale oder wohlstandsmaximale) Allokation dieser Verfügungsrechte wird durch Anwendung der Theorie der Verfügungsrechte zur Untersuchung von Organisationsstrukturen angestrebt. Diese Effizienz der Endallokation²¹⁸ ist dann unabhängig von der anfänglichen Verteilung der Verfügungsrechte, wenn Verhandlungen zur Übertragung von Verfügungsrechten mit entsprechender Kompensationszahlung ohne Transaktionskosten geführt werden können²¹⁹.

Kritikpunkte für diese Theorie sind ähnlich zur Prinzipal-Agenten-Theorie das vorausgesetzte Menschenbild sowie die schwach ausgeprägte Operationalisierung im Hinblick auf die Vielfalt möglicher Eigentumsformen und Koordinationsmechanismen.

²¹⁵Vgl. [Pic96, S. 39].

²¹⁶Vgl. [Han94, S. 100 f.].

²¹⁷Vgl. [Sch97c, S. 178 f.].

²¹⁸Vgl. [Coa60].

²¹⁹Vgl. [Sch97c, S. 179].

3.2.1.2.5 Ressourcenbasierter Ansatz

Der Ressourcenbasierte Ansatz (Resource Dependence Approach) ist nicht der Neuen Institutionellen Ökonomie zuzuordnen. Er gehört jedoch neben dem Transaktionskostenansatz zu den am häufigsten im Zusammenhang mit der Analyse netzwerkartiger Beziehungen rezipierten Interorganisationstheorien²²⁰. Dieser Ansatz ist der sozialen Austauschtheorie zuzuordnen²²¹ und nimmt teilweise eine Gegenposition zur Industrieökonomik ein, die externe Größen betont. Beim Ressourcenbasierten Ansatz werden interne Ressourcen von Unternehmen als Grundlage für den langfristigen Erfolg angesehen²²². Aus den Ressourcen eines Unternehmens oder Unternehmensbereichs können Kernkompetenzen entstehen, die dann selbst wieder als Ressourcen und damit als Erfolgssicherungspotential²²³ gesehen werden können²²⁴. Innerhalb eines Netzwerkes kann hierbei auch von „economies of skill“ gesprochen werden²²⁵.

3.2.1.3 Vergleich der Ansätze

Transaktionstheorie, Prinzipal-Agenten-Theorie und Verfügungsrechtetheorie als Teiltheorien der Neuen Institutionellen Ökonomie sind dazu geeignet, einen Erklärungsbeitrag zur Organisationstheorie zu leisten²²⁶. Die Verfügungsrechtetheorie stellt dabei neben der Transaktionskostentheorie das zweite Standbein der Neuen Institutionellen Ökonomie dar²²⁷. Es werden jedoch unterschiedliche Perspektiven eingenommen. Eine vergleichende Übersicht der einzelnen Theorien ist bei *Scholz* oder *Picot*²²⁸ zu finden.

Alle drei Ansätze der Neuen Institutionellen Ökonomie sind komplementär und die Anwendung ist situationsabhängig. Gehen opportunistisch handelnde und mit begrenzter Rationalität ausgestattete Akteure spezifische Austauschbeziehungen ein, dann sollte der Transaktionskostenansatz angewendet werden. Spielt die Risikoneigung einzelner Akteure eine wichtige Rolle und liegen Informationsasymmetrien vor, kann die Prinzipal-Agenten-Theorie hinzugezogen werden²²⁹. Der Ressourcenbasierte Ansatz kann als Alternative

²²⁰Vgl. [Syd92, S. 196].

²²¹Vgl. [Sch96c, S. 53].

²²²Vgl. [Bam96, S. 130].

²²³Vgl. [Mü97c, S. 17].

²²⁴Vgl. [Bel96a, S. 70].

²²⁵Ebenda.

²²⁶Vgl. [Sch97c, S. 181].

²²⁷Vgl. [Hel00].

²²⁸In Anlehnung an [Sch97c, S. 181] und [Pic97, S. 93].

²²⁹Vgl. [Pic97, S. 94].

Anwendung finden, wenn die Ressourcen in Organisationen (z. B. Kernkompetenzen) eine wichtige Rolle spielen.

In Abschnitt 4.2.2.3 soll das Modell des hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes als ein dynamisches Netzwerk mit dem Transaktionskostenansatz (siehe Kapitel 4) näher untersucht werden. Es erfolgt die Analyse möglicher Organisationsvariationen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können als Grundbaustein für weiterführende Analysen genutzt werden. Im Abschnitt 7.1.2.2 wird bei der Strategiebildung von Angebotsprozessen auf die Principal-Agenten-Theorie zurückgegriffen.

3.2.2 Die Facette Vertrauen im Netzwerk

Für den Aufbau und das Betreiben von Unternehmensnetzwerken sind nicht nur technische Probleme zu bewältigen. Mindestens genauso bedeutsam wie aufeinander abgestimmte Informations- und Kommunikationssysteme ist die Überwindung konventioneller Geisteshaltungen. Dabei ist besonders die Schaffung eines stabilen Vertrauensverhältnisses zwischen den einzelnen im Netz beteiligten Partnern von essenzieller Bedeutung. Es muss als eines der wichtigsten und gleichzeitig selbsttätig im Hintergrund arbeitenden Koordinationsinstrumente bei der Netzwerksteuerung betrachtet werden. Ein geringes Maß an vertraglicher Sicherheit und lockere Partnerbindung lassen diesbezüglich ebenso wenig eine Wahl, wie die Verschiebung und Auflösung organisatorischer Grenzen²³⁰. Als einzige denkbare Alternative zum Vertrauensprinzip käme eine übergeordnete Kontrollstruktur in Betracht²³¹, die konträr dem Grundgedanken der Hierarchielosigkeit gegenübersteht.

Unternehmensnetzwerke befinden sich in einem Vertrauensdilemma. Auf der einen Seite sind sie ohne Vertrauen nicht denkbar, andererseits erschwert ihre organisatorische Struktur die Herausbildung desselben nicht zuletzt deshalb, weil sich die Verletzlichkeit der beteiligten Parteien in Bezug auf inakzeptable Aktionen der Netzwerkpartner in durchaus relevanten Größenordnungen bewegt. Auch der starke Rückgriff auf moderne IuK ist in diesem Kontext ein zweischneidiges Schwert. Er ermöglicht nicht nur den offenen und effizienten Datenaustausch, sondern birgt auch die Gefahr eines einseitig medialen und dadurch relativ anonymen Miteinanders²³². Aufgrund des dem Virtuellen Unternehmen (siehe Abschnitt 3.3) zugrunde gelegten Menschenbildes und der damit verbundenen Vertrauensproblematik gibt es auch

²³⁰Vgl. [Pic99b, S. 141] und [Ost00, S. 95 ff.].

²³¹Vgl. hierzu das SCOR-Modell für SCM-Systeme.

²³²Vgl. [Syd96a, S. 11 f.].

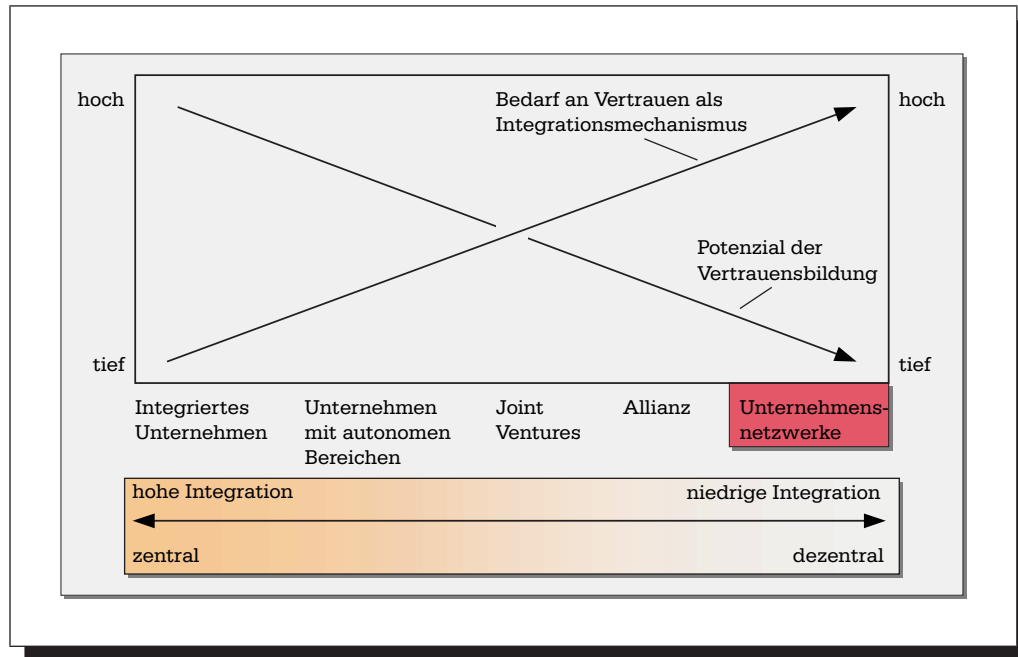


Abbildung 3.8: Vertrauensdilemma bei zunehmender Dezentralisierung

kritische Stimmen, welche die dauerhafte Tragfähigkeit hierarchieloser Netzwerkorganisationen prinzipiell in Frage stellen²³³. Zu derartig vorschnellem Pessimismus besteht allerdings kein Grund. Vielmehr kommt es auf die Operationalisierung und Implementierung vertrauensbildender Maßnahmen an. Wird die Genese eines kooperativen Netzwerkes als Regelkreis aufgefasst, so sind nach *Helm et al.* vier Phasen unterscheidbar: eine Konzeptions-, eine Planungs-, eine Durchführungs- und eine Kontrollphase²³⁴. In allen Stadien stehen tragfähige Ansatzpunkte zur Vertrauensbildung zur Verfügung. Auch wenn sich die genannten Betrachtungen vordergründig auf bilaterale Beziehungen beschränken, so sind sie trotz allem auch auf multilaterale Netzwerke übertragbar.

In der Stufe der Netzwerkkonzeption kommt es vordergründig auf die Wahl geeigneter Partner an. Dies ist besonders dann gegeben, wenn die potenziellen Vorteile einer konstruktiven und offenen Zusammenarbeit die Gefahr eines opportunistischen Verhaltens zu kompensieren in der Lage sind. In Anlehnung an das populäre Gefangenendilemma der Spieltheorie könnten die beteiligten Parteien versucht sein, ihren jeweiligen Gegenüber zum eigenen

²³³Vgl. [Sch00a, S. 312 f.].

²³⁴Vgl. [Hel96, S. 78 ff.].

Vorteil „auszuhorchen“, ohne selbst entscheidende Informationen preis zu geben. Genau dies gilt es zu überwinden. Die offene Zusammenarbeit im Netzwerk muss als eindeutiger Vorteil erkannt werden. War dieser Schritt erfolgreich, so steht in der Planungsphase die Erarbeitung der strategischen und der operativen Kooperationsziele an. Dazu ist auch die partielle Offenlegung sensibler Daten (finanzielle Lage, interne Kostenstruktur, Beziehungen zu anderen Wirtschaftssubjekten) teilweise notwendig. Ein Austausch dieser Informationen Zug um Zug ist beides: ein Test für die Tragfähigkeit der Kooperations- und der Vertrauensbereitschaft und ein geeignetes Instrument zu deren Vertiefung. Die Vertrauensbasis der Durchführungsphase fördert die ausschließliche Konzentration aller Beteiligten auf ihre Kernkompetenzen. Eine entsprechende Informationspolitik gewährleistet unmittelbares Reagieren auf eventuell auftretende Probleme. Bei der letzten der vier Phasen, der Kontrolle, handelt es sich um eine alle anderen Stadien begleitende Funktion, die Soll-Ist-Abweichungen permanent aufdeckt und deren Ursachen verdeutlicht. Transparenz in allen entscheidenden Bereichen ist dazu unerlässlich. In letzter Konsequenz müssen auch Sanktionsmaßnahmen, bspw. Ausschluss aus dem Netzwerk, verfügbar sein. Ziel ist jedoch letztendlich eine vertrauensbasierte, freiwillige Selbstkontrolle der beteiligten Partner. Hier tritt abermals das bereits erwähnte Vertrauensdilemma hervor: Vertrauen ist nicht nur Folge, sondern gleichzeitig Voraussetzung für die erforderliche Transparenz. Die konkrete Implementierung eines entsprechenden hierarchielosen Analysesystems ist in der Praxis bei weitem noch nicht zufriedenstellend geklärt²³⁵. Das Kapitel 8 wird sich eingehend damit beschäftigen und ein Soft-fact-Integrationsmodell vorstellen.

3.2.3 Lebenszyklus

Ähnlich wie bei Produkten gibt es auch in Unternehmensnetzwerken verschiedene Lebenszyklusphasen, die eng mit dem Auftragsdurchlauf in Verbindung stehen. Das bedeutet, dass an dieser Stelle der temporäre Zusammenschluss bestimmter Partner aus dem strategischen Pool zu einem Virtuellen Unternehmen betrachtet wird und nicht der Lebenszyklus des Pools an sich. Innerhalb des Prozesses Auftragsdurchlauf lassen sich nach *Mertens et al.*²³⁶ vier Phasen unterscheiden:

1. *Anbahnungsphase*: Ausgehend von einem eingegangenen Auftrag bzw. einer entdeckten Marktlücke wird ein Anforderungsprofil der benötig-

²³⁵Mehr zu Vertrauen und Kontrolle [Sch99c, S. 172 ff.], [Gil99a, S. 30 ff.].

²³⁶Vgl. [Mer98, S. 95 ff.].

ten Kompetenzen erstellt und Partnersuche, -bewertung und -auswahl veranlasst.

2. *Vereinbarungsphase*: In dieser Phase werden die Kooperationspartner fixiert und die Aufgaben zugeteilt.
3. *Operative Phase*: Die Erstellung der Leistung erfolgt in der dritten Phase durch die beteiligten Partner.
4. *Auflösungsphase*: Die Mission ist mit der letzten Phase erfüllt, in der die Ergebnisse aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Neben dem Vier-Phasen-Modell von *Mertens et al.* existieren noch andere Modelle von *Hess*²³⁷ oder von *Kocian et al.*²³⁸, die sich aber im Grunde lediglich durch eine Verfeinerung bzw. andere Phasenbezeichnung unterscheiden. Abbildung 3.9 zeigt die Überschneidungen.

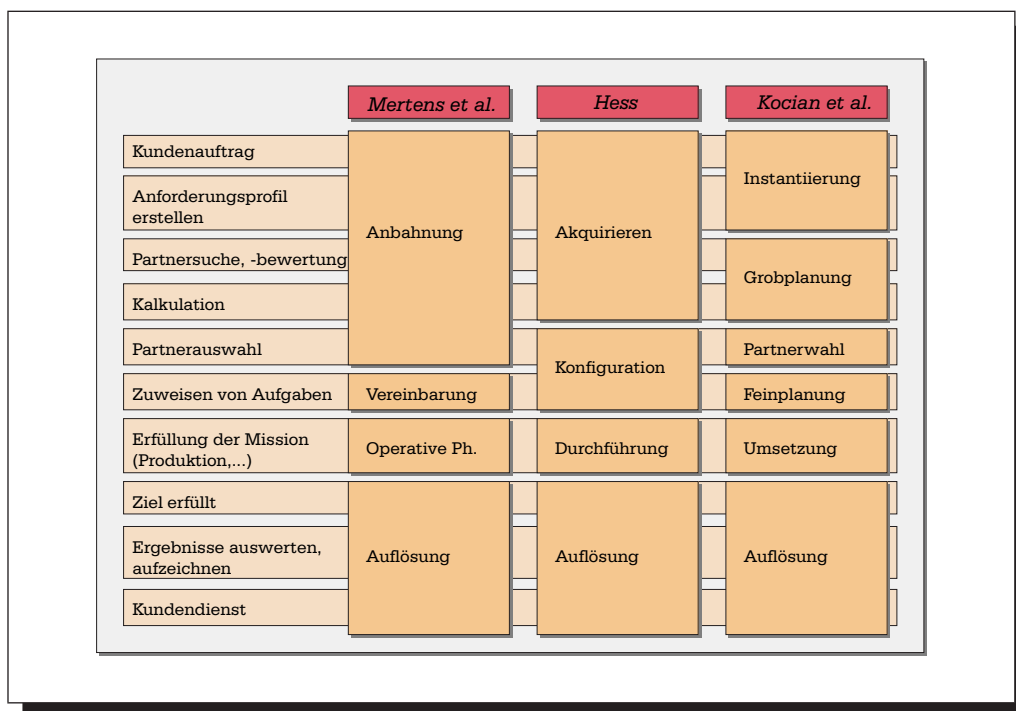


Abbildung 3.9: Lebenszyklusphasen in dynamischen Netzwerken

²³⁷Vgl. [Hes98, S. 20].

²³⁸Vgl. [Koc97, S. 62 f.].

Das Vier-Phasen-Modell wird bei der Entwicklung des Extended Value Chain Management Konzeptes (Abschnitt 4.3.3) für die Genese und das Betreiben von Netzwerken aufgegriffen und im Detail weiterentwickelt.

3.2.4 Der Nutzen der Mitwirkung an Netzwerken

Durch den Verbund von Unternehmen in Netzwerken ergeben sich entscheidende Vorteile und gleichermaßen Nachteile für die beteiligten Partner,²³⁹ die im Folgenden kurz genannt werden.

3.2.4.1 Vorteile

Die Fokussierung auf und Stärkung von Kernkompetenzen zur Erlangung eines Wettbewerbsvorsprunges durch intensive Weiterentwicklung des eigenen Know-how²⁴⁰ ist vermutlich der größte Vorteil, den eine Beteiligung am Netzwerk mit sich bringen kann. Der Zugriff auf erforderliche Fertigkeiten und „Best Practices“, die nicht den eigenen Kernkompetenzen angehören und nicht im eigenen Hause vorhanden sind und die damit verbundene Senkung der Betriebskosten durch möglichen Abbau von Überkapazitäten sind konform zu dieser Erkenntnis.

Hohe Flexibilität im Vergleich zu institutionellen Kooperationsformen fördert Reaktionsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit und verkürzt Gesamtdurchlaufzeiten der Aufträge²⁴¹. Varianten- und Mengenvorteile (Win/Win) für alle beteiligten Unternehmen gestatten ein effizientes Bestandsmanagement mit einer Verringerung und Optimierung von Material- und Produktlagern. Somit erfolgt ebenfalls eine Senkung des Risikos einer Fehlplanung. Durch die Konzentration auf die eigenen Kompetenzen führt die Nutzung freier Restkapazitäten zu zusätzlichen Deckungsbeiträgen²⁴². Die gezielte Optimierung von Maschinen- und Personalauslastung durch Kapazitäts- und Kompetenzmanagement führt zu Skalenerträgen durch multiplikative Nutzung der Unternehmenskompetenzen²⁴³.

Falls es gelingt, für das Netzwerk effiziente IuK-Technologien zur Auftragsabwicklung durchzusetzen, führt eine Kunden- und Auftragsakquise auf neuen Märkten fast zwangsläufig zur Vergrößerung der Kontakte und birgt die

²³⁹Vgl. [Mer97, S. 114 ff.], [Syd97, S. 18 ff.], [Sih98, S. 10], [Tsc00, S. 81], [Win00a, S. 43], [Kö96, S. 81] und [Wal99, S. 9].

²⁴⁰Vgl. [Hei99, S. 6 f.].

²⁴¹Vgl. [Loo97, S. 92 ff.].

²⁴²Vgl. [Sch98f, S. 46 ff.].

²⁴³Vgl. [Sch98f, S. 145 ff.].

Möglichkeit der Durchführung großvolumiger Aufträge über die Einbindung einer großen Zahl von Unternehmen.

Nicht nur für die leistungserstellenden Unternehmen ergeben sich Vorteile, auch für die Kunden sind diese offensichtlich. Entscheidende Vorteile, welche sich von Unternehmensnetzwerken erhofft werden, sind niedrigere Preise und hohe Qualität²⁴⁴. Eine Verbesserung des Service-Levels resultiert aus der klaren Aufgabenzuordnung im Netzwerk. Kunden können zudem auf eine breitere Produktpalette von einem Zulieferer(network) zugreifen und senken damit den Verwaltungs- und Abstimmungsaufwand im Einkauf und somit entscheidende Transaktionskosten. Über den Zugriff auf eine große Anzahl von Ressourcen ergeben sich Vorteile bezüglich Verfügbarkeit von Produkten²⁴⁵. Durch die unterschiedlichen Kernkompetenzen im Netzwerk ergeben sich weitreichende Diversifikationsmöglichkeiten, die in Form von Zusatznutzen für den Kunden zu erheblichen Wettbewerbsvorteilen führen.

Die positiven Effekte auf die Netzwerkakteure beeinflussen in gleichem Maße das Umfeld (Volkswirtschaft), in dem sie agieren. Die unternehmensübergreifende Optimierung der Güterflüsse insbesondere der Transporte zwischen den Unternehmen schonen volkswirtschaftliche Ressourcen und Umwelt. Resultierend aus der Senkung der Produktionskosten ist es möglich, bei gleichbleibenden Budgets andere Investitionen durchzuführen und das Nutzenniveau zu erhöhen. Die Senkung des Kapitalbedarfes durch den Rückgriff auf vorhandene Ressourcen im Netzwerk führt zu einer Erhöhung der Konkurrenzfähigkeit auch der Volkswirtschaft. Weiterhin unterstützt das Konzept von Unternehmensnetzwerken durch den Blick über die Unternehmensgrenzen hinaus interorganistionales Lernen und ein Know-how-Transfer zwischen den Partnern.

3.2.4.2 Nachteile

Auch die Organisationsform der Unternehmensnetzwerke besitzt nicht nur die im vorigen Unterabschnitt genannten positiven Aspekte. Diesen steht eine Reihe von Problem gegenüber, welche sich teilweise direkt aus den Argumenten der Vorteile ableiten lassen.

Vertrauen im Netzwerk ist ein wesentlicher Faktor. Vertrauen zwischen den Partnern benötigt aber eine gewisse Zeit, die per Definition (Kurzlebigkeit der Kooperation) nicht vorhanden ist. Misstrauen der Beteiligten kann sich

²⁴⁴Vgl. [Hei99, S. 7].

²⁴⁵Vgl. [Rei00b, S. 39].

auch durch die nicht bis ins Detail festgelegten Handlungsrahmen der Akteure herausbilden²⁴⁶.

Durch das Outsourcen entsteht die Angst vor Verlust von Know-how oder Eigenständigkeit der Unternehmung²⁴⁷. Dies wird unterstützt durch die mangelnde Kenntnis eigener Kernkompetenzen und der damit verbundenen Gefahr, Kernkompetenzen, die nicht als solche erkannt wurden, auszugliedern²⁴⁸. Die Etablierung eines Knowledge Managements zum einen, sowie die funktionale Abbildung von Kernkompetenzen muss in diesem Zusammenhang gefordert werden.

Gegen das Argument Flexibilität lässt sich einwenden, dass ein Partner mit getätigten und gebundenen Investitionen für das Netzwerk alles versuchen wird, in diesem zu bleiben. Geben Unternehmen wettbewerbsrelevante Informationen (bspw. Preise) bekannt, sinkt ebenfalls die Bereitschaft auszuschcheiden. Mit dem Eintritt ins Netzwerk resultiert außerdem eine Verminderung der eigenen Flexibilität und Ressourcen werden gebunden²⁴⁹.

Eine gemeinsame Kostenplanung setzt voraus, dass alle Kosteninformationen offenliegen. Dies wiederum hängt maßgeblich von den Wettbewerbsbeziehungen zwischen den Partnern ab, da sie auch als „normale“ Unternehmen auf dem Markt agieren. Die gesamtheitliche Ergebnisplanung wird durch unterschiedliche Methoden und Rechnungsverfahren zusätzlich erschwert. Dafür notwendige Maßnahmen zur Steuerung sowie Controllingsysteme sind bisher kaum präzisiert²⁵⁰.

Ein weiteres großes Problem ist die Beherrschung der Komplexität, die sich aus dem Zusammenspiel der Ressourcen und der mangelnden Transparenz für den Einzelnen ergibt. Zum einen ist das Netzwerk als solches mit seinen Prozessen zu optimieren. Andererseits können Mitarbeiter durch ständig wechselnde Partner oder Software überfordert werden²⁵¹. Es gibt im methodischen Bereich, wie im vorangegangenen Kapitel aufgezeigt, keine Unterstützungen zur Planung dynamischer Netzwerke. Durch die Möglichkeiten der schnellen Reaktion auf Marktveränderungen besteht zudem die Gefahr, den Fokus ausschließlich auf kurzfristige Gewinnmaximierung zu legen, was zu Lasten von Weiterentwicklungen und langfristigen Marktanteilen geht. Im Extremfall können die Partner ihre strategische Autonomie verlieren²⁵².

²⁴⁶Vgl. [Wal99, S. 4] und [Fri98, S. 93].

²⁴⁷Vgl. [Mer97, S. 118 ff.].

²⁴⁸Vgl. [Rud99, S. 1-10].

²⁴⁹Vgl. [Wal99, S. 10].

²⁵⁰Vgl. [Wal99, S. 21].

²⁵¹Vgl. [Zäp98, S. 52 f.] und [Mer97, S. 118 ff.].

²⁵²Vgl. [Mer98, S. 128].

Der erste Zugang bezieht sich auf die geschichtliche Entwicklung des Wortes „virtuell“. Das lateinische Wort „virtus“ bedeutet soviel wie Tüchtigkeit bzw. Mannhaftigkeit. Der *Duden*²⁵⁹ beschreibt virtuell als etwas, was möglich oder künstlich ist, das wirkt „als ob“ oder was der Kraft oder der Möglichkeit nach vorhanden oder scheinbar ist. Im *American Heritage Dictionary* wird virtuell als „existing in the mind, especially as a product of imagination“ beschrieben.

Ein weiterer Ansatz zur Virtualität entstammt der Informatik²⁶⁰. In früheren Zeiten knapper und deswegen teurer Speicher in EDV-Anlagen wurden zur Minimierung des benötigten Speicherplatzes Informationsblöcke vom Primärspeicher temporär auf den Sekundärspeicher ausgelagert. Dieser wird als virtual memory bezeichnet, da der zusätzliche Speicherplatz eigentlich nicht vorhanden ist. Virtualisierung ist aus dieser Sichtweise ein Architekturprinzip, welches als organisatorisches Konzept der Leistungssteigerung verstanden wird²⁶¹.

Die dritte Sichtweise eines Virtualitätsverständnisses wird durch eine Unterscheidung von wirklich und möglich geschaffen. Virtualität wird hierbei nicht als eigenständiger Begriff, sondern nur in Verbindung mit einem Objekt bestimmbar. Reale Objekte können nur unter besonderen Voraussetzungen virtualisiert werden. Vor diesem Hintergrund kommt *Scholz*²⁶² zu folgender Definition: „Als virtuell wird die Eigenschaft einer Sache bezeichnet, die zwar nicht real ist, aber doch in der Möglichkeit existiert; Virtualität spezifiziert also ein konkretes Objekt über Eigenschaften, die nicht physisch, aber doch der Möglichkeit nach vorhanden sind“. Dies bedeutet, dass Virtualität ohne eine Verbindung zu einem konkreten Objekt nicht existiert, sondern nur dieses beschreiben kann. So stellt *Stockmann*²⁶³ in ähnlicher Weise fest: „Als virtuell ist es also dann zu bezeichnen, wenn es nach außen hin Eigenschaften zeigt, ohne dass diese auch unbedingt eine physische/physikalische Entsprechung finden müssen.“

Abbildung 3.10²⁶⁴ stellt die drei unterschiedlichen Bedeutungen des Begriffs *virtuell* gegenüber. Im Fokus der weiteren Betrachtung der Produktionsnetzwerke soll virtuell als etwas nach außen hin Sichtbares verstanden werden, ohne dass dieses auch unbedingt eine physische/physikalische Entsprechung haben muss. Virtuelle Objekte können letztlich über vier Merkmale der Vir-

²⁵⁹Siehe [Dro96, S. 779].

²⁶⁰Siehe hierzu bspw. [Tur97, S. 38 ff.], [Kle94] oder [Wüt98c].

²⁶¹Vgl. [Pic96, S. 394].

²⁶²Vgl. [Sch96b, S. 204].

²⁶³Siehe [Sto98, S. 273].

²⁶⁴Vgl. [Sto98, S. 274].

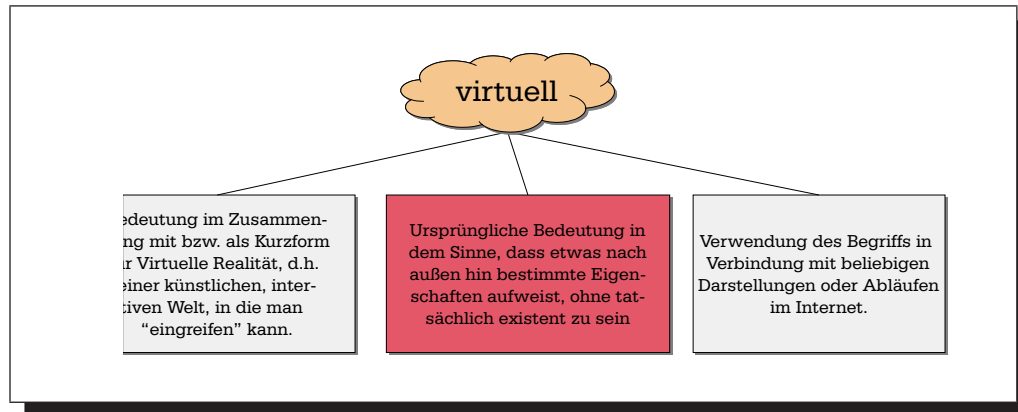


Abbildung 3.10: Bedeutungen des Begriffs „virtuell“

tualität, die mehr oder weniger aus den oben beschriebenen Sichten hervorgehen, definiert werden²⁶⁵:

- konstituierende Charakteristika, die sowohl das ursprüngliche, als auch das virtualisierte Objekt aufweisen,
- physikalische Attribute, die üblicherweise mit dem ursprünglichen Objekt assoziiert sind, beim virtualisierten Objekt aber nicht mehr vorhanden sind,
- spezielle Zusatzspezifikationen, die als Lösungsweg für die virtuelle Realisierung notwendig sind und
- Nutzeneffekte als Vorteil, die sich durch den Wegfall der physikalischen Attribute ergeben.

Bereits 1992 erwähnten *Davidow/Malone*²⁶⁶ eine Definition für virtuell als etwas, das die Eigenschaften anderer Dinge besitzt, oder eine Sache die zwar nicht real, aber doch in der Möglichkeit existiert; es bezeichnet eine Als-Ob-Realität. Die Definitionen von *Davidow/Malone* und *Scholz* widersprechen sich demnach nicht. Auch *Wüthrich/Philipp(/Frentz)*²⁶⁷ schließen sich weitestgehend dieser Ansicht an, ergänzen jedoch, dass „die Bedeutung des Begriffs virtuell ... nicht missverstanden werden (darf), dass das scheinbar vorhandene ... tatsächlich inexistent ist. Die Täuschung besteht lediglich

²⁶⁵Ebenda.

²⁶⁶Siehe [Dav93, S. 13].

²⁶⁷Vgl. [Wüt98c, S. 13] sowie [Wüt97, S. 44].

in der Form der Existenz“. *Zimmermann*²⁶⁸ versteht unter dem Begriff virtuell ebenfalls etwas scheinbar Vorhandenes, trotz des Fehlens wesensbestimmender Merkmale. Auf diese Weise argumentieren auch *Bultje/van Wijk*²⁶⁹, indem sie vier Bedeutungen für das Wort virtuell herausarbeiten:

- unreal, looking real,
- immaterial, supported by ICT,
- potentially present und
- existing, but changing.

Speziell für die Verwendung des Begriffes Virtualität im Zusammenhang mit Fragestellungen im Bereich der Wirtschaftswissenschaften haben *Venkatraman/Henderson* ein Modell mit drei Dimensionen der Virtualität entwickelt²⁷⁰. Die erste Dimension (Customer Interaction) sieht vor, Kunden in die eigenen Geschäftsprozesse einzubeziehen. Dies kann z. B. durch passende Internetangebote oder Einzelfertigung erfolgen. Die zweite Dimension (Asset Configuration) widmet sich dem Ressourcenmanagement, d. h. dem bewussten Einsatz von Ressourcen für Geschäftsprozesse. Schließlich behandelt die dritte Dimension (Knowledge-Leverage) das Wissensmanagement. Dieses umfassende Beschreibungsmodell lässt die weitreichenden Auswirkungen der Virtualität erahnen, sodass sie sogar als Kernkompetenz in Unternehmensnetzwerken²⁷¹ angesehen werden kann.

3.3.1 Organisatorische Ausprägungen

Bevor der Begriff virtuell in den nächsten Abschnitten in den betriebswirtschaftlichen Kontext eingeführt wird, soll betont werden, dass Virtualität aus informationstechnischer Sicht hier nicht relevant ist²⁷², sondern nur die Virtualisierung von Organisationen und insbesondere von Unternehmen näher untersucht werden soll.

Die informationstechnische Weiterentwicklung des Ansatzes der Virtualität ist die bewusste und wahrgenommene Abbildung von realen Objekten in einem virtuellen Raum, repräsentiert durch Computer und Internet, um einerseits Realität erlebbar zu machen und andererseits ortsunabhängig zu sein.

²⁶⁸Vgl. [Zim97, S. 3].

²⁶⁹Siehe [Bul98, S. 8].

²⁷⁰Siehe [Ven98] und [Gri00, S. 79 ff.].

²⁷¹Vgl. [Gri00, S. 75 ff.].

²⁷²Vgl. [Wüt98c, S. 14] oder [Wüt97, S. 46].

Mit anderen Worten ist *Virtual Reality (VR)* „eine im Computer simulierte Wirklichkeit (Cyberspace), die bspw. Personen [...] in eine künstliche Welt versetzt und interaktiv in diese einbindet“²⁷³. Die Verwendung der Begriffe Virtualität und VR scheint teilweise überstrapaziert. So wird bspw. ein Einkauf im Internet schon als virtuelles Shopping erachtet oder eine einfache Homepage eines Unternehmens als VR bezeichnet, obwohl diese Seite lediglich einen informellen Charakter für die Besucher hat. Das liegt an der Eigenschaft derartiger Begriffe, als Modewörter zu gelten.

3.3.1.1 Die Virtuelle Organisation

Bevor näher auf die Virtualisierung von Organisation eingegangen wird, soll in Abbildung 3.11²⁷⁴ eine grobe Einordnung der verschiedenen benutzten Begriffe gegeben werden.

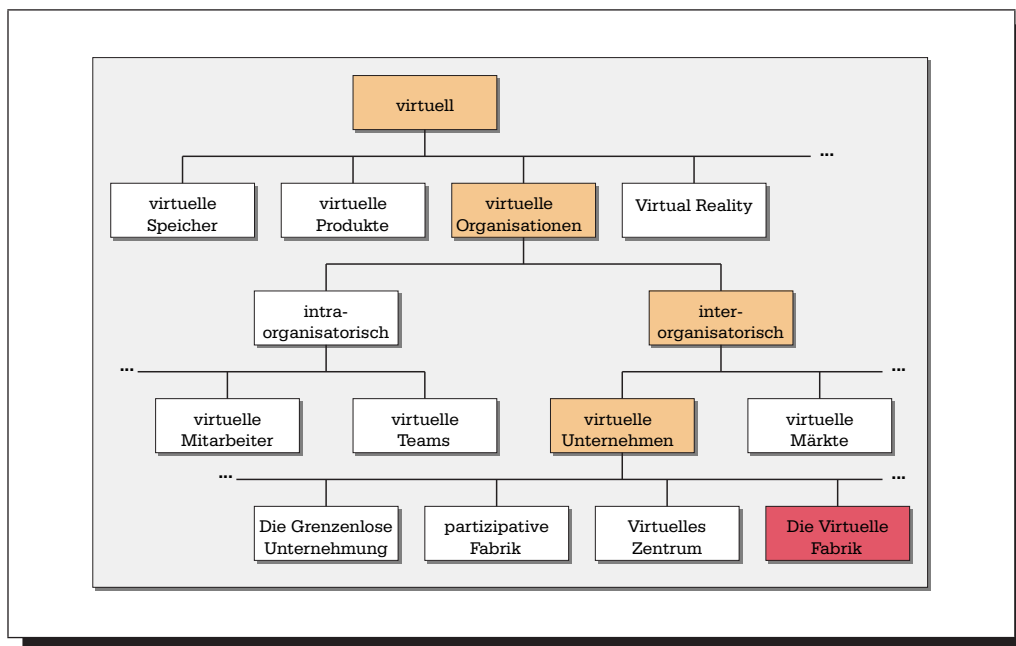


Abbildung 3.11: Ausprägungsformen der Virtualität

Virtualität kann die Existenz virtueller Objekte neben dem gewohnten Erscheinungsbild eines realen Objektes erklären. Virtuelle Objekte können in

²⁷³Vgl. [Kö00, S. 9].

²⁷⁴In Anlehnung an [Sch96b, S. 206] oder [Sch00b, S. 321].

vielerlei Ausprägungen auftreten. Die Erscheinungsform des Virtuellen Unternehmens soll in diesem Abschnitt durch verschiedene Definitionen erklärt werden.

Wenn der Begriff Virtuelle Organisation (VO) in dieser Arbeit erwähnt wird, so ist er in Zusammenhang mit Abbildung 3.11 zu verstehen. In der Literatur kommt es häufig vor, dass Verfasser die Begriffe des Virtuellen Unternehmens und der Virtuellen Organisation synonym verwenden²⁷⁵, was nur richtig ist, wenn das Unternehmen als eine Variante der Organisation interpretiert wird.

Die Entwicklung der Virtuellen Organisation lässt sich besonders gut nachvollziehen, wenn ein Evolutionsschema²⁷⁶ eingeführt wird. Die Entwicklung der Virtuellen Organisation wurde vor allem dadurch begünstigt, dass traditionelle Organisationsformen im Wettbewerb Schnelligkeits- und Flexibilitätsschwächen aufweisen. Virtuelle Organisationsstrukturen lassen sich schneller aufbauen, erfüllen ebenfalls Koordinationsfunktionen wie das klassische Unternehmen, verursachen jedoch durch die Virtualität kaum Aufbaukosten²⁷⁷. Somit ergibt sich eine Konsistenz²⁷⁸ der Virtuellen Organisation mit anderen Organisationsentwicklungskonzepten, da diese Organisationsausprägung keine spezielle Steuerungsstruktur erfordert oder bestimmte funktionellen Elemente voraussetzt.

Wenn von einer Virtuellen Organisation die Rede ist, dann muss betont werden, dass es *die* Virtuelle Organisation nicht gibt. Es existieren eine ganze Reihe von möglichen Ausprägungsformen, die oftmals nur eine Variation von traditionellen Organisationsmodellen darstellen. Bei *Appel/Behr*²⁷⁹ werden eine Reihe spezieller Charakteristika für diese Organisationsform genannt. Einige wichtige Merkmale für die vorliegende Arbeit sind:

- die VO ist eine Kooperation von Unternehmen, die ihre rechtliche und wirtschaftliche Selbständigkeit behalten,
- Zweck einer VO ist die Optimierung von Geschäftsprozessen,
- VO sind nicht hierarchisch strukturiert,
- Vertrauen stellt das Bindeglied dar und
- IuK-Technologien werden massiv genutzt.

²⁷⁵Siehe z. B. [Vri98a, S. 56].

²⁷⁶in Anlehnung an [Sch96b, S. 205].

²⁷⁷In Anlehnung an [Sch96b, S. 205].

²⁷⁸Siehe [Mow97, S. 36].

²⁷⁹Siehe [App98, S. 21 f.].

Wenn Organisationsformen nicht alle der genannten Merkmale erfüllen, muss von Fall zu Fall entschieden werden, inwieweit dann die Bezeichnung „Virtuelle Organisation“ zutrifft. Betrachtungsgegenstand soll im Folgenden nicht eine virtuelle Intra-Unternehmensorganisation²⁸⁰ sein, sondern die Organisationsstruktur mit externen Organisationseinheiten über Schnittstellen der Unternehmen. Folgende Definition erweist sich in diesem Zusammenhang als zweckmäßig:

Virtuelle Organisation: ist eine innovative, die traditionellen Grenzen überschreitende Organisationsform, in der variabel vernetzte Organisationseinheiten in funktionaler Arbeitsteilung entsprechend ihrer Kernkompetenzen unterschiedliche Arbeitsaufgaben bewältigen und Teile der Wertschöpfungskette bearbeiten. Dabei können die Organisationseinheiten aus verschiedenen rechtlich selbstständigen Unternehmen, freien Mitarbeitern, Abteilungen oder Teams eines Unternehmens bestehen.

Der Vollständigkeit halber seien nachfolgend einige weitere Facetten des Begriffs der Virtuellen Organisation in chronologischer Reihenfolge genannt. *Klein*²⁸¹ betrachtet die Virtuelle Organisation einerseits als Organisationsprinzip und andererseits als ein Netzwerk von Unternehmen. Während die erstgenannte Sichtweise die funktionale Perspektive in den Vordergrund stellt und dabei die (intra-)organisatorische Gestaltung innerhalb eines Unternehmens behandelt, wird aus institutioneller Perspektive die Virtuelle Organisation als ein – häufig kooperatives und flexibles – Netzwerk rechtlich selbstständiger Unternehmen, die Ressourcen gemeinsam nutzen und in die gemeinsame Organisation ihre jeweiligen Stärken einbringen²⁸², bezeichnet. Die gleiche Sichtweise vertreten auch *Weber/Walsh*²⁸³, wenn sie wie folgt definieren: „Die Virtuelle Organisation ist zunächst ein auf Zeit angelegtes Netzwerk, um Fähigkeiten und Kompetenzen gemeinsam zu nutzen. Die Flexibilität und Lernfähigkeit der jeweiligen Teilnehmer ist Voraussetzung für den Erfolg. Dabei hat die Virtuelle Organisation die Möglichkeiten und das Potenzial einer traditionellen Organisation, ohne jedoch über einen vergleichbaren institutionellen und strukturellen Rahmen zu verfügen“.

Etwas weiter in die Organisationstheorie vertieft sich *Wicher*²⁸⁴, wenn er die virtuelle Organisation als eine kooperative Strukturform zwischen hierarchischer Steuerung und Marktorganisation einordnet. Damit würde eine

²⁸⁰Vgl. [Mow86].

²⁸¹Vgl. [Kle94, S. 309].

²⁸²Ebenda.

²⁸³Vgl. [Web94, S. 25].

²⁸⁴Vgl. [Wic96, S. 541].

Virtuelle Organisation in die Nähe der Netzwerkorganisation rücken. Auf emotionalere Weise versucht *Hilb*²⁸⁵ die Virtuelle Organisation zu erklären. Er bezeichnet sie als eine Konföderation von Partnern, die sich auszeichnet durch „a cool head, a warm heart and active hands“, die sich so verhalten, als ob ihnen nicht nur ihr virtuelles Zelt, sondern auch die ganze Konföderation aller Virtuellen Unternehmen selbst gehört.

Beim Vergleich der genannten (und auch weiterer) Ansichten mit den erwähnten Charakteristika ergibt sich ein relativ einheitliches Erscheinungsbild der Virtuellen Organisation. Teilweise könnte die gegebene Definition auch direkt dem Virtuellen Unternehmen zugeordnet werden.

Auf eine ganz andere Weise argumentieren *Brütsch/Frigo-Mosca*²⁸⁶, indem sie die Virtuelle Organisation in zwei Hauptelemente einteilen. Während das erste Element, das so genannte Netzwerk, eine langfristige Bindung ohne Leistungserstellung, nur durch Vertrauenskultur begründet, darstellt, wird das zweite Hauptelement, das so genannte Virtuelle Unternehmen, bei Bedarf aus den einzelnen Netzwerkteilnehmern (nicht zwingend aus allen) instanziiert. Umfangreicher sind die Ausführungen bei *Bultje/van Wijk*²⁸⁷ bevor eine Arbeitsdefinition präsentiert wird. Auch in diesem Artikel ist keine konsequente Trennung von Virtueller Organisation und Virtuellem Unternehmen feststellbar. Da jedoch der Titel „Taxonomy of virtual organizations, based on definitions, characteristics and typology“ von virtuellen Organisationen handelt und kein offener Widerspruch zum Konzept des Virtuellen Unternehmens festzustellen ist, sollen die entsprechenden Ausführungen bereits in diesem Abschnitt dargestellt werden. *Bultje/van Wijk* haben aus holländischer und amerikanischer Literatur 27 Charakteristika für Virtuelle Unternehmen herausgearbeitet. Diese decken sich größtenteils mit den bisher erwähnten Merkmalen. Aus diesen 27 Charakteristika wurden Primärcharakteristika (wie Auftragsüberlappung basierend auf Kernkompetenzen, geographische Trennung) und Sekundärcharakteristika (wie eigene Identität basierend auf Vertrauen und IuK-Technologien) abgeleitet.

Gleichzeitig erkennen die Autoren jedoch, dass keines ihrer betrachteten Praxisbeispiele alle aufgezählten Charakteristika gleichzeitig erfüllen konnte. Zusätzlich zur Virtuellen Organisation wurden noch assoziierte Typologien eingeführt. So werden beispielsweise eine *internal virtual organization* ähnlich des intraorganisationalen Netzwerkes, eine *stable virtual organization* und eine *dynamic virtual organization* vergleichbar mit strategischen und dynamischen Netzwerk identifiziert. Schließlich wird die *web-company*

²⁸⁵Vgl. [Hil97, S. 86].

²⁸⁶Vgl. [Brü96, S. 33].

²⁸⁷Vgl. [Bul98, S. 7 ff.].

erwähnt, eine agile Organisation, die zeitlich befristet spezialisierte Unternehmen hauptsächlich über das Internet zusammenbringt.

Reiss²⁸⁸ schildert kurz und knapp, dass Virtuelle Organisationen „mit einem Minimum an Organisation ein Maximum an Kompetenz“ erreichen. Etwas ausführlicher können Stärken und Schwächen in verschiedenen Dimensionen identifiziert werden²⁸⁹. Die folgende Abbildung 3.12 gibt hierzu einen abschließenden Überblick.

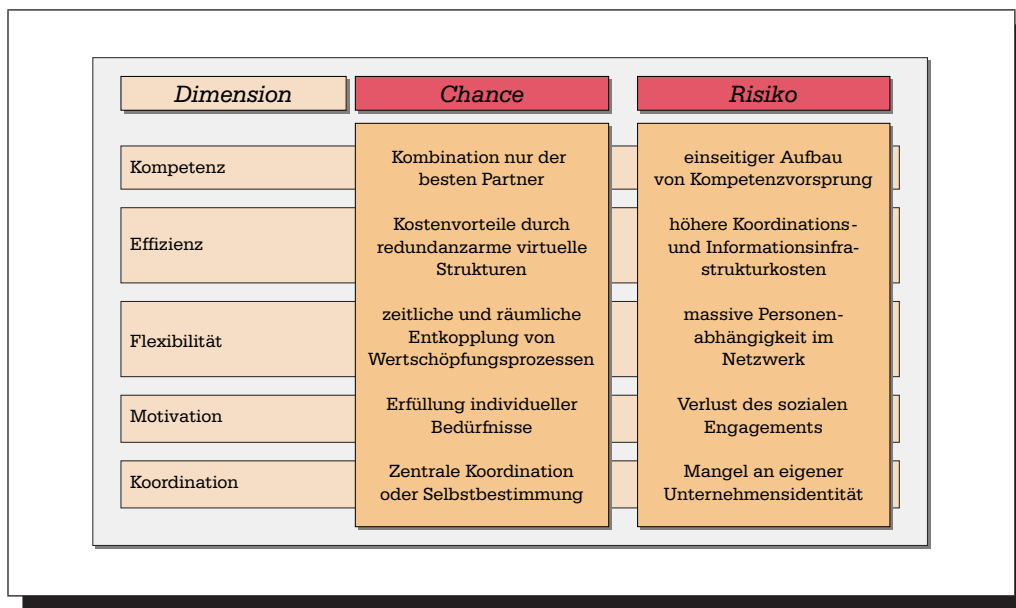


Abbildung 3.12: Stärken und Schwächen Virtueller Organisationen

Ogleich vieler Übereinstimmungen zwischen Virtueller Organisation und Virtuellem Unternehmen als Spezialform soll im nun folgenden Abschnitt das Virtuelle Unternehmen näher betrachtet werden.

3.3.1.2 Das Virtuelle Unternehmen

Um auf dem Markt komparative Vorteile erzielen zu können, wurde schon vor relativ langer Zeit die Idee der Vernetzung von Unternehmen aufgeworfen. Im Hinblick auf immer kürzer werdende Produktlebenszyklen und daraus resultierender gewachsener Bedeutung der *economies of speed* (siehe Abbildung

²⁸⁸Vgl. [Rei97c, S. 25].

²⁸⁹Vgl. [Rei96b, S. 195 ff.].

2.1)²⁹⁰, wurde die Anpassungsfähigkeit an sich neu ergebende Situationen zu einem nicht zu unterschätzenden Erfolgsfaktor.

Eine wichtige Rolle spielt hierbei die verstärkte Nutzung von so genannten interorganisationalen Informationssystemen mittels standardisierter Datenübertragungswege wie EDI. Der massive Einsatz unternehmensübergreifender Informationssysteme²⁹¹ und die sich daraus ergebende Möglichkeit zur Datenübertragung ohne nennenswerte Zeitverzögerung ermöglicht die Herausbildung eines ganz speziellen Netzwerktypes, den des dynamischen Netzwerkes. Dieser Kooperationsform wird das Potenzial einer Organisationsform ökonomischer Aktivitäten²⁹² zugeschrieben. In der Literatur wird das dynamische Netzwerk oftmals auch als Virtuelles Unternehmen (VU) bezeichnet. Es handelt sich beim VU um eine Gestaltungsform der unternehmensübergreifenden Kooperation²⁹³, welche als Weiterentwicklung hybrider Kooperationsformen im Spektrum zwischen Markt und Hierarchie auf der Basis veränderter rechtlicher und technologischer Rahmenbedingungen mit der Orientierung auf Kernkompetenzen verstanden werden²⁹⁴ kann. Bei der Definition des Begriffes Virtuelles Unternehmen ist in der Literatur weitestgehend Einigkeit festzustellen²⁹⁵. Die wohl am häufigsten zitierte ist die von *Mertens*²⁹⁶, die für die vorliegende Arbeit übernommen wird.

Virtuelles Unternehmen: ist eine Kooperationsform rechtlich unabhängiger Unternehmen, Institutionen und/oder Einzelpersonen, die eine Leistung auf der Basis eines gemeinsamen Geschäftsverständnisses erbringen. Die kooperierenden Einheiten beteiligen sich an der Zusammenarbeit vorrangig mit ihren Kernkompetenzen und wirken bei der Leistungserstellung gegenüber Dritten wie ein einheitliches Unternehmen. Dabei wird auf Institutionalisierung zentraler Managementfunktionen zur Gestaltung, Lenkung und Weiterentwicklung des VU weitgehend verzichtet und der notwendige Koordinations- und Abstimmungsbedarf durch geeignete Informations- und Kommunikationssysteme gedeckt. Das VU ist an eine Mission gebunden und endet mit dieser.

Einen ersten Ansatz für ein dynamisches Netzwerk legten *Miles/Snow* im

²⁹⁰Der Begriff wurde bei [Büs99, S. 787] erwähnt.

²⁹¹Siehe hierzu [Sch96a].

²⁹²Vgl. [Sta99, S. 747].

²⁹³Vgl. [Olb94, S. 29].

²⁹⁴Vgl. [Pic96, S. 393].

²⁹⁵Vgl. [Dav93], [Hof95, S. 3 f.], [Gri99, S. 121], [Sch96a, S. 222], [Sch98d, S. 23] und [Sch98f, S. 29].

²⁹⁶Siehe [Mer98, S. 3], [Mer97, S. 102].

Jahre 1984²⁹⁷ vor. Sie bezeichnen eine spezielle Ausprägung möglicher flexibler Allianzen von Unternehmen als *dynamic network* und fokussieren damit eine Art „ausgehöhlt“ Unternehmen, in dem das eigentliche Unternehmen nur noch als Broker (Koordinationsinstanz) agiert. Schon 1984 schätzen *Miles/Snow* zeitlich begrenzte Verbünde von Unternehmen als ein zukunftsweisendes Konstrukt²⁹⁸ ein. Ausführlicher propagieren *Davidow/Malone*²⁹⁹ 1992 die Virtuelle Unternehmung als eine Art Wunderwaffe für alle vorhandenen wirtschaftlichen Probleme. Ein ebenfalls sehr häufig zitierter Artikel erschien am 08.02.1993 in der *International Business Week*³⁰⁰. *Byrne* stellt das Virtuelle Unternehmen (virtual corporation) als ein zeitlich beschränktes Netzwerk unabhängiger Unternehmen vor, in dem, durch Informationsversorgungstechnologie verbunden, Kosten und Fähigkeiten geteilt und fremde Märkte erschlossen werden. Damit war eine der ersten Arbeitsdefinitionen für das Virtuelle Unternehmen gegeben. Ab Mitte der 90er Jahre setzte eine Flut von Veröffentlichungen zu diesem Thema ein, zuerst in Form von Artikeln in Fachzeitschriften und später auch als Monographien³⁰¹. Anfänglich variierten die Ansichten und Definitionen ganz erheblich.

Zunächst soll auf mögliche Entwicklungsbereiche und Abgrenzungsmöglichkeiten zu anderen Kooperationsformen eingegangen werden. Die Idee, Unternehmen flexibler zu gestalten und die Außengrenzen aufzulösen, hat einige Entwicklungsstufen erfordert. Bereits *Williamson* hat im Zuge der Betrachtung der Außengrenzen von Unternehmen und der Unterscheidung zwischen Markt und Hierarchie und der daraus resultierenden Transaktionskostentheorie die aktive Grenzgestaltung im Rahmen hybrider Unternehmensformen thematisiert³⁰². Während anfangs ein Virtuelles Unternehmen noch sehr unscharf definiert wurde, sind inzwischen drei Tendenzen³⁰³ festzustellen, die auf eine fundierte wissenschaftliche Basis schließen lassen:

- weitgehende Einigkeit über charakterisierende Merkmale,
- Existenz einer Vielzahl von Fallstudien mit Praxiserfahrungen und
- Entwicklung von Verbindungen zu wissenschaftlichen Forschungslinien

²⁹⁷Vgl. [Mil84], vertiefend behandelt in [Mil86] und [Mil92].

²⁹⁸Vgl. [Mil84, S. 26 f.], zitiert bei [Sch96c, S. 23].

²⁹⁹„The virtual corporation“ in [Dav93].

³⁰⁰Vgl. [Byr93].

³⁰¹Eine Sammelrezension zu themenrelevanten Büchern ab 1996 findet sich in [Kor99, S. 664 ff.].

³⁰²Vgl. [Vri98b, S. 5].

³⁰³Vgl. [Sch00c, S. 202].

(Neue Institutionenökonomik (Transaktionskostentheorie), verhaltensorientierte Organisationstheorie, Informatik).

Somit lassen sich Forschungstendenzen zum Thema Virtuelles Unternehmen genauer bestimmen. Nach *Schliffenbacher/Rudorfer*³⁰⁴ werden drei verschiedene Formen Virtueller Unternehmen unterschieden:

- statischer Verbund: Beziehungsgeflecht und Art der Aufträge stehen vorher fest,
- Unternehmensnetzwerk: Kooperation, die durch eine zentrale Instanz (Broker) geleitet wird und
- dezentraler dynamischer Verbund: offene variable Gruppe von Unternehmen.

Nach dieser strengen Unterscheidung entspricht jedoch nur die letztgenannte Form einem Virtuellen Unternehmen. Die beiden anderen Formen sind eher dem statischen Netzwerk zuzuordnen. Die Grundlage eines Virtuellen Unternehmens stellt in der Regel ein funktionsfähiges Unternehmensnetzwerk dar, welches auch als stabiles Netzwerk bezeichnet werden kann. Auf diese Weise wird der Kreis potenzieller Teilnehmer an einem Virtuellen Unternehmen auf besonders kompetente und vertrauenswürdige Unternehmen eingeeengt³⁰⁵. Dabei sollte der Vertrauensfrage zu anderen Kooperationspartnern und anderen Soft-facts besonders große Aufmerksamkeit geschenkt werden, da diese als kritische Erfolgsfaktoren gelten³⁰⁶. Um die Flexibilität wahren zu können, ist der größtmögliche Verzicht auf vertragliche Bindungen und Regelungen erforderlich.

Da es sich beim Virtuellen Unternehmen um ein dynamisches Netzwerk handelt, also um eine Kooperation mit zeitlicher Befristung, lassen sich verschiedene Lebensphasen identifizieren. *Mertens/Faisst*³⁰⁷ führen ein Vier-Phasen-Modell³⁰⁸ zur Beschreibung der einzelnen Lebensphasen ein:

1. Anbahnung und Partnersuche: der Versuch, über verschiedene Medien geeignete Kooperationspartner zu finden,

³⁰⁴Vgl. [Sch98b, S. 19 f.].

³⁰⁵Vgl. dazu [Sch00a, S. 312] oder [Hec99].

³⁰⁶Vgl. [Kon99, S. 103 ff.].

³⁰⁷Siehe [Mer95, S. 65 f.].

³⁰⁸Siehe auch [Ste99b, S. 249 f.] und [Zim97, S. 5 ff.]. *Zimmermann* führt in der vierten Phase zur Auflösung die Rekonfiguration ein und entwickelt daraus ein Kreislaufmodell.

2. Vereinbarung: Zusammenkunft der Kooperationspartner,
3. Durchführung: Angleichung durch Verschmelzung der Informationssysteme und
4. Auflösung: Beendigung der Partnerschaft und Ergebnis- bzw. Erfahrungsanalyse.

Etwas ausführlicher schlagen *Kocian/Nunes Correa/Scheer*³⁰⁹ einen modellbasierten Lebenszyklus in Form eines Kreislaufmodells für VU vor³¹⁰:

1. Instanziierung: Anbahnung durch Kundenauftrag oder durch strategische Gründe,
2. Grobplanung: grobe Strukturen der Aufbau- und Ablauforganisation,
3. Partnerwahl: Auswahl geeigneter Partner aus dem Netzwerk oder Neuaufnahme,
4. Feinplanung: Modellierung aller Prozesse auf Detailebene,
5. Umsetzung: Durchführung der Wertschöpfung und
6. Auflösung: Archivierung der realisierten Projekte und Ergebnisanalyse.

Nach der kurzen Schilderung zweier Lebenszyklusmodelle wird im Folgenden der Aufbau eines VU näher untersucht. Der Aufbau eines Virtuellen Unternehmens kann auf verschiedene Weise gestaltet sein³¹¹. Das Spektrum reicht von vollständiger Hierarchielosigkeit bis hin zu hierarchischer Ausrichtung mit Fokalunternehmen. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Dauer der Zusammenarbeit innerhalb eines Virtuellen Unternehmens. In der Regel ist das VU durch eine kurzfristige Kooperation zur Erbringung einer ganz bestimmten Leistung geprägt. Längerfristige Kooperationen werden eher als strategische Allianzen bezeichnet. Es ist noch nicht klar, ob und wo eine zeitliche Begrenzung festgelegt werden kann³¹².

³⁰⁹Vgl. [Koc97, S. 62].

³¹⁰Es ist zu bemerken, dass bei diesem Modell eine Aufbau- und Ablauforganisation vorgesehen wird, während dies in anderen Modellen aus Flexibilitätsgründen als entbehrlich bewertet wird.

³¹¹Vgl. [Ste99b, S. 248].

³¹²Vgl. [Mer95, S. 62] oder [Arn95, S. 10].

Desweiteren können Virtuelle Unternehmen lokal³¹³ oder global³¹⁴ orientiert sein. Ein grundsätzliches Problem wirft *Behrens* auf, indem er behauptet³¹⁵, dass begründet durch die Vielzahl an Fallbeispielen und der in der Literatur auftretenden Widersprüche (z. B. in Definitionen) das Modell des Virtuellen Unternehmens weniger ein Organisationsmodell darstellt, sondern eher einem Leitbild entspricht. Tatsächlich hat fast jeder Wissenschaftler oder jedes Forschungsteam bzw. Forschungsprojekt eine eigene Arbeitsdefinition entwickelt. Nachfolgend werden die wichtigsten Definitionen und ihre Vertreter genannt und anschließend die Charakteristika und Eigenschaften Virtueller Unternehmen herausgearbeitet.

Die Definition von *Byrne*³¹⁶ wurde bereits erwähnt, ergänzend sei hier noch hinzugefügt, dass die an einem Virtuellen Unternehmen teilnehmenden Organisationen jeweils nur ihre Kernkompetenzen³¹⁷ einbringen. *Behme*³¹⁸ erläutert kurz, dass das VU ein Netzwerk unabhängiger Unternehmen darstellt, welche sich kurzfristig und für eine begrenzte Zeit zum Zwecke einer gemeinsamen Zielerreichung zusammenschließen. Auf ähnliche Weise argumentieren *Mertens/Faisst*³¹⁹, wenn das Virtuelle Unternehmen als Konstrukt beschrieben wird, welches auf einem Unternehmensnetzwerk basiert. *Sydow*³²⁰ sieht das VU ebenfalls als dynamisches Netzwerk an, welches in einen größeren Netzwerkzusammenhang (statisches Netzwerk) eingebettet ist und daraus gebildet wird. Jedoch handelt es sich nach Ansicht von *Sydow* dabei um einen Grenzfall der Vernetzung. Außerdem wirft er die Frage auf, ob es sich beim Virtuellen Unternehmen überhaupt um eine Organisation handeln kann.

*Wüthrich/Philip(/Frentz)*³²¹ betonen die Vielfalt der möglichen Ausprägungen und kommen zu folgender Definition: „Das Virtuelle Unternehmen ist eine freiwillige, temporäre Koordinationsform mehrerer, i. d. R. unabhängiger Partner ..., die Dank optimierter Wertschöpfung einen hohen Kundennutzen stiften. Auf der Basis eines gemeinsamen Geschäftsverständnisses und ausgeprägter Vertrauenskultur stellen die Kooperationspartner ihre Kernkompetenzen in Form von Ressourcen und Fähigkeiten zur Verfügung, mit dem Ziel, besser, billiger, schneller, flexibler und international wettbewerbsfähiger zu

³¹³Siehe [Por99] oder [Kin98].

³¹⁴Siehe [Eve98] oder [Die99].

³¹⁵Vgl. [Beh00, S. 159].

³¹⁶Vgl. [Byr93, S. 37].

³¹⁷Siehe [Pra90].

³¹⁸Vgl. [Beh95, S. 297].

³¹⁹Vgl. [Mer95, Mer96] oder [Mer98, S. 3].

³²⁰Siehe [Syd95b, S. 629 ff.] und [Syd96a, S. 10 ff.].

³²¹Zur Thematik vgl. bspw. [Wüt98d] oder [Wüt97, S. 96].

werden. Aus Kundensicht tritt das dynamische Netzwerk wie ein einheitliches Unternehmen auf und nutzt die Möglichkeiten modernster IuK-Technik.“ In dieser Definition, die sich mit den bisherigen Definitionen weitgehend deckt, wird das Virtuelle Unternehmen wiederum als dynamisches Netzwerk bezeichnet.

In einem Artikel von *Weibler/Deeg*³²² wird, ähnlich wie bei *Sydow*, darauf hingewiesen, dass VU als Grenzfall eines Unternehmensnetzwerkes anzusehen sind. Ergänzend wird die Unterscheidung in eine funktionale und in eine institutionelle Sichtweise erwähnt. Aus funktionaler Perspektive ist die intra-organisatorische Sichtweise adressiert, aus institutioneller Sichtweise wird ein Netzwerk von Unternehmen analysiert. *Brütsch/Frigo-Mosca*³²³ sehen, abweichend zu anderen Meinungen, im stabilen Netzwerk bereits eine Virtuelle Organisation, die aus den beiden Hauptelementen Netzwerk (langfristige Kooperation, keine Leistungserstellung, nur Aufbau einer Vertrauenskultur) und Virtuelles Unternehmen (wird bei Bedarf gebildet) besteht. Ähnlich beschreiben *Boekhoff/Erbe*³²⁴ den Sachverhalt, indem sie folgendermaßen definieren: „Virtuelle Unternehmen entstehen aus einem zwischen einzelnen Unternehmen vorhandenen Beziehungspotential (Netzwerk) als auftragsspezifisch aktiviertes Netzwerk auf Zeit für bestimmte Aufgaben.“

Bei *Schuh/Millarg/Göransson*³²⁵ wird ebenfalls zwischen stabilem und dynamischem Netzwerk unterschieden und auch *Siestrup*³²⁶ definiert temporäre Netzwerke als Virtuelle Unternehmen. Abschließend sei noch die Definition nach *Schröder*³²⁷ zitiert: „Eine Virtuelle Unternehmung ist ein virtuelles, heterarchisches, zunächst auf die Ausnutzung einer temporären Marktchance gerichtetes Unternehmungsnetzwerk, das selbst alle Unternehmungseigenschaften aufweist.“

Zur besseren Übersicht und zur Zusammenfassung der Definitionen auch im Einklang mit weiteren, ähnlichen Definitionen werden in Abbildung 3.13³²⁸ nochmals die Zusammenhänge der einzelnen Elemente dargestellt.

Während das Spektrum der Definitionen für VU in der Literatur relativ weitläufig ist, lassen sich die Charakteristika für Virtuelle Unternehmen wie folgt zusammenfassen³²⁹:

³²²Vgl. [Wei98, S. 109].

³²³Vgl. [Brü96, S. 33].

³²⁴Vgl. [Boe99, S. 73].

³²⁵Vgl. [Sch98e, S. 21].

³²⁶Vgl. [Sie99, S. 33].

³²⁷Vgl. [Sch96c, S. 36].

³²⁸In Anlehnung an [Ste99b, S. 248].

³²⁹In Anlehnung an [Pio98, S. 43], [Wei98, S. 110] und [Sch98b, S. 18 f.].

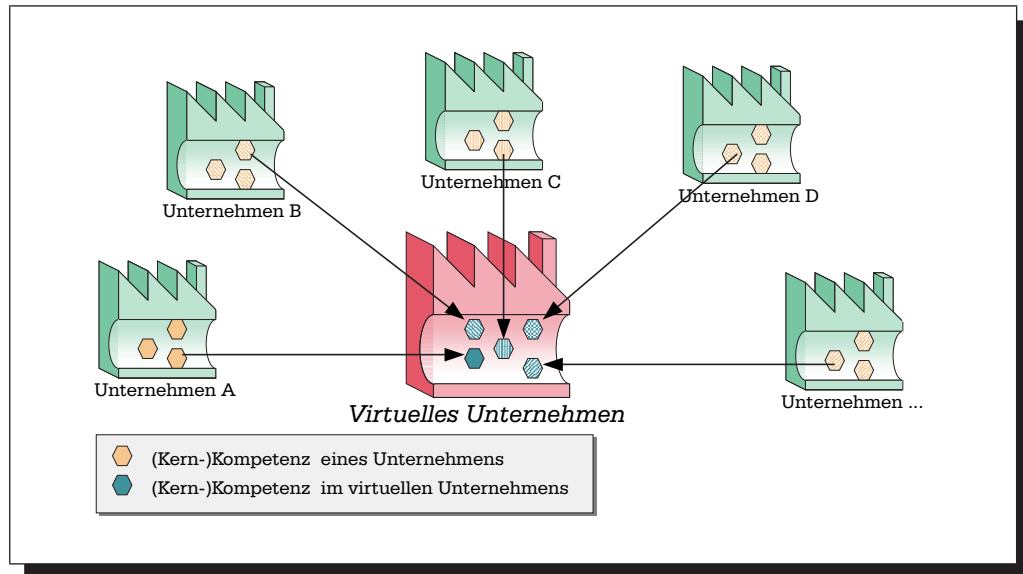


Abbildung 3.13: Modell eines Virtuellen Unternehmens

- Kernkompetenzorientierung,
- neue Formen der Leistungserstellung und Kundenorientierung,
- massiver Einsatz von IuK-Technologien,
- netzwerkartige Partnerschaften mit losen Kopplungen und kurzfristiger Genese,
- prozessuale Komponente: Business Process Reengineering,
- kulturelle Komponente: Vertrauen und
- Auflösung des VU nach Auftragsabwicklung.

Da keine dieser Komponenten in der Organisationslehre neu ist, liegt offensichtlich auch keine neue Unternehmensform vor. Das VU stellt lediglich einen speziellen Typus unternehmensübergreifender Kooperation dar³³⁰. Dies ist eine wesentliche Erkenntnis, da häufig die Frage nach dem Entstehen neuer Unternehmensformen aufgeworfen wird. *Kemmner*³³¹ ergänzt, dass das Virtuelle Unternehmen über kein eigenes juristisches Dach verfügt. Vertragswerke werden i. d. R. lose abgeschlossen. Eine ähnliche Aufzählung der Merkmale

³³⁰Vgl. [Bul95, S. 18 f.].

³³¹Vgl. [Kem98, S. 280].

von VU, angereichert mit einigen neuen Ideen, ist bei *Kaluza/Blecker*³³² zu finden. Zu den Erweiterungen sind u. a. die Forderung nach Zielkongruenz der Akteure und hohem gegenseitigem Vertrauen zu zählen.

Bei einer vergleichenden Untersuchung aller Angaben ist festzustellen, dass durch die Vielzahl von Eigenschaften und Charakteristika eine breite Palette bestimmter Ausprägungen in der Praxis möglich ist. *Das Virtuelle Unternehmen* gibt es nicht. Die jeweilige Situation bestimmt die Umsetzung der Organisationsform eines VU in die Praxis. Deshalb werden im folgenden Abschnitt einige ähnliche Konzeptionen im Zusammenhang mit den Virtuellen Unternehmen näher betrachtet.

3.3.1.3 Verwandte Organisationsformen

Neben den inzwischen gebräuchlichen Begriffen Virtuelle Organisation, Virtuelles Unternehmen und Unternehmensnetzwerk tauchen in der Literatur hin und wieder neue Begriffe auf, die jedoch oftmals den bisher erläuterten Begriffen in ihrer Bedeutung nahe stehen oder direkt von ihnen abgeleitet werden können. Manchmal existieren aber auch fundamentale Unterschiede. Auf einige der am meisten verwendeten Begriffe in der Literatur wird in diesem Abschnitt näher eingegangen.

3.3.1.3.1 Das virtuelle Zentrum

Für die Entstehung und das Management Virtueller Unternehmen haben *Kocian/Nunes/Correa/Scheer*³³³ das Konzept des virtuellen Zentrums eingeführt. Es handelt sich hierbei um ein Kooperationsmodell speziell für kleine und mittlere Unternehmen. Mittelfristig steht die Schaffung eines Kooperationsrahmens als wichtigstes Ziel fest. Damit ist das Virtuelle Zentrum auch mit dem bereits erwähnten stabilen Netzwerk vergleichbar, aus welchem sich, analog zum Virtuellen Zentrum, die temporären Virtuellen Unternehmen herausbilden. Die Grundlagen für das Virtuelle Zentrum sind Vertrauenskultur, Kompetenzkultur und IuK-Kultur. Die Vertrauenskultur wird begünstigt durch eine Vertrauensbasis von Partnern aus bereits durchgeführten Projekten. Persönliche langanhaltende Kontakte sind ebenfalls von Nutzen. Wissen und Können sind die Eckpfeiler für Kernkompetenzen, welche zur Kompetenzkultur gehören. Für die Aufnahme bzw. Teilnahme an Projekten ist es für die einzelnen Unternehmen vorteilhaft, wenn sie einen signifikanten Nutzen beisteuern, der sich gegenüber der Konkurrenz abhebt, gegenüber Imitation

³³²Vgl. [Kal00b, S. 139].

³³³Vgl. [Koc97, S. 59 ff.].

und Substitution resistent ist und ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten in Form einzelner Unternehmensleistungen bietet³³⁴. Eine optimal abgestimmte IuK-Technologie bildet die Voraussetzung der IuK-Kultur. Dabei kommt den standardisierten Nachrichten- und Informationssystemen eine besondere Bedeutung zu. Von ihnen ist im Wesentlichen abhängig, ob die Zeitvorteile im Virtuellen Unternehmen effizient genutzt werden können.

3.3.1.3.2 Die Virtuelle Fabrik

Als *Upton/McAfee*³³⁵ 1996 einen Artikel über *The real virtual factory* veröffentlichten, lag die Betonung nicht so sehr auf *factory*, sondern auf *virtual* und dem scheinbaren Widerspruch zur *virtual reality*. Der Begriff *factory* kann in diesem Zusammenhang auch als Unternehmen übersetzt werden.

Bei *Schuh/Göransson*³³⁶ stellt die Virtuelle Fabrik dagegen eine Spezialform eines Virtuellen Unternehmens dar. Nach *Griese/Sieber*³³⁷ ist eine Fabrik ein produzierender Industriebetrieb. Eine Virtuelle Fabrik ist demnach ein virtueller produzierender Industriebetrieb, wobei, da *virtuell*, dieser Industriebetrieb von der Struktur her ein Virtuelles Unternehmen (dynamisches Netzwerk)³³⁸ darstellt. Anders als beim Virtuellen Unternehmen gehören jedoch bei *Schuh/Millarg/Göransson* zur Virtuellen Fabrik als dynamisches Netzwerk sowohl die auftragsspezifische Virtuelle Fabrik (aktiviertes Netzwerk), als auch das Kooperationsnetzwerk (Beziehungspotenzial/statisches Netzwerk) mit dazu³³⁹.

Bezüglich der Vorteile, Nachteile, Merkmale und Charakteristika unterscheidet sich die Virtuelle Fabrik nur in wenigen Punkten (siehe oben) vom Virtuellen Unternehmen. Aus der Praxis werden besonders zwei Projekte in der Literatur erwähnt. Im Großraum Augsburg läuft seit August 1997 das Pilotprojekt „virtueller Markt“³⁴⁰ unter Führung des *iwb Anwenderzentrums* in Augsburg. Dieses als Virtuelle Fabrik initiierte Projekt versucht die Erkenntnisse aus der Forschung nach intelligenter Konfiguration³⁴¹ Virtueller Fabriken in der Praxis anzuwenden. Vermehrt stellt die Teilnahme an ei-

³³⁴Vgl. [Koc97].

³³⁵Vgl. [Upt96, S. 123 ff.].

³³⁶Vgl. [Sch98e].

³³⁷Vgl. [Gri96, S. 17].

³³⁸Vgl. [Sch98e, S. 63] und [Sch99g, S. 216 ff.].

³³⁹Siehe [Sch98e, S. 63 ff.]. Zum Thema Netzwerkmanagement in der Virtuellen Fabrik siehe [Gör97, S. 61 ff.].

³⁴⁰Vgl. [Rei97b].

³⁴¹Vgl. [Sch98b].

ner Virtuellen Fabrik eine große Chance für produzierende Betriebe³⁴² dar, weiterhin am Standort Deutschland konkurrenzfähig produzieren zu können.

Ein weiteres Pilotprojekt ist am Bodensee angesiedelt. In der „Virtuellen Fabrik Euregio Bodensee“ sind seit Mitte der 90er Jahre Unternehmen aus Deutschland, Liechtenstein, Österreich und der Schweiz³⁴³ lose zusammengeschlossen, um in auftragsspezifischen Verbänden Aufträge zu realisieren, die für einzelne kleine Unternehmen zu umfangreich sind. Damit kommt dem E-Commerce³⁴⁴, also der intensiven Nutzung der modernen IuK-Technologien, eine tragende Rolle zu.

Der Begriff der *fluiden Organisation*³⁴⁵ wird als Beschreibungswerkzeug Virtueller Unternehmen verwendet. Virtuelle Fabriken zum Beispiel entsprechen einer fluiden Organisations- und Kooperationsform. Das Virtuelle Zentrum kann ebenfalls diesem Begriff zugeordnet werden. Die fluide Organisation stellt daher keine neue Kooperationsform für Unternehmen dar, sondern kann lediglich als Synonym für die Virtuelle Organisation verwendet werden.

3.3.1.3.3 Die partizipative Fabrik

Ein weiterer Ansatz für Kooperationsmöglichkeiten von KMU ist das Konzept der partizipativen Fabrik³⁴⁶. Als Definition wird angegeben: „Die partizipative Fabrik bezeichnet einen Verbund rechtlich selbstständiger Unternehmen in einer gemeinsamen Fabrik“³⁴⁷. Anders als bei der Virtuellen Fabrik ist die Zusammenarbeit also nicht auftragsspezifisch, sondern auf längere Dauer angelegt, ähnlich wie in einem stabilen Netzwerk. Es wäre jedoch denkbar, auch aus diesem Verbund ein dynamisches auftragsspezifisches Netzwerk herauszubilden. Ziel der partizipativen Fabrik ist, durch Einteilung von Ressourcen Skaleneffekte (Mengenvorteile) zu erzielen und zu nutzen sowie hochautomatisierte Anlagen wirtschaftlich zu betreiben. In wesentlichen Merkmalen ähnelt dieses Modell der Virtuellen Fabrik.

3.3.1.3.4 Die grenzenlose Unternehmung

Neue Kooperations- und Organisationsformen, deren Auftreten durch Nutzung der modernen IuK-Technologien begünstigt werden, können zu Vir-

³⁴²Vgl. [Rei96a].

³⁴³Vgl. [Elm96] für eine Liste der teilnehmenden Unternehmen (1996), sowie [Sch97d] über erste Erfolgsmeldungen der virtuellen Fabrik.

³⁴⁴Vgl. hierzu [Sch99f].

³⁴⁵Vgl. [Kry97a, S. 12 ff.].

³⁴⁶Vgl. dazu das Konzept bei [Kuh98b, S. 87 ff.].

³⁴⁷Ebenda.

tuellen Organisationen führen. Daraus resultiert ein Verschwimmen von (Unternehmens-)Grenzen³⁴⁸. Der Begriff der grenzenlosen Unternehmung spiegelt also nur in „geflügelter“ Form die Idee wider, die durch die Virtualisierung von Organisationen realisiert wurde. Während das klassische Unternehmen durch Unternehmensgrenzen begrenzt ist, so hat das Virtuelle Unternehmen als intermediäre Organisationsform keine klassische Außengrenze mehr.

Beim grenzenlosen Unternehmen handelt es sich also eher um einen Oberbegriff, statt um eine neue Organisationsform³⁴⁹. Der Begriff *Business Network*, wie er bei *Schuh/Eisen/Friedl*³⁵⁰ verwendet wird, stellt in diesem Zusammenhang nichts anderes als eine Oberbezeichnung für alle Kooperationsbeziehungen durch Ausnutzung virtueller Strukturen dar. Besonders Netzwerkorganisationen (statische und dynamische) werden als Business Networks bezeichnet. Eine neuartige Organisationsform ist damit nicht gemeint.

3.3.1.3.5 E-Lance Economy

Der Begriff E-Lance-Economy stammt aus den USA. *Malone/Laubacher*³⁵¹ verstehen unter E-Lance-Economy eine Alternative zur allgemeinen Fusionswelle. Um Geschäfte flexibler und effektiver abwickeln zu können, vereinigen sich Freischaffende und Kleinstunternehmen für eine bestimmte Dauer, ähnlich dem dynamischen Netzwerk. Die beteiligten Organisationen sind über IuK-Technologien vernetzt und erledigen die jeweils zugeteilten Aufgaben.

Eine Analogie zum Virtuellen Unternehmen ist unverkennbar, mit dem Unterschied jedoch, dass nicht die Unternehmen ihre Kernkompetenzen in das dynamische Netzwerk einbringen, sondern einzelne Personen im Verbund spezielle Aufgaben erledigen. Sind viele Organisationen derartig vernetzt, so kann eine so genannte E-Lance-Ökonomie entstehen.

3.3.2 Harmonisierung der Begriffe und Bezeichnungen

Nachfolgend sollen einige der gebräuchlichsten Begriffe aufeinander abgestimmt und zueinander in Beziehung gebracht werden. In Abbildung 3.14 sind noch einmal die synonymen Netzwerkbezeichnungen zusammengefasst dargestellt.

³⁴⁸Siehe [Ste95, S. 27].

³⁴⁹Zu den Grenzen der grenzenlosen Unternehmung siehe [Rei96b, S. 195 ff.] und allgemein [Pic96].

³⁵⁰Vgl. [Sch98f, S. 25 ff.].

³⁵¹Vgl. [Mal98, S. 145 ff.] und [Mal99, S. 28 ff.].

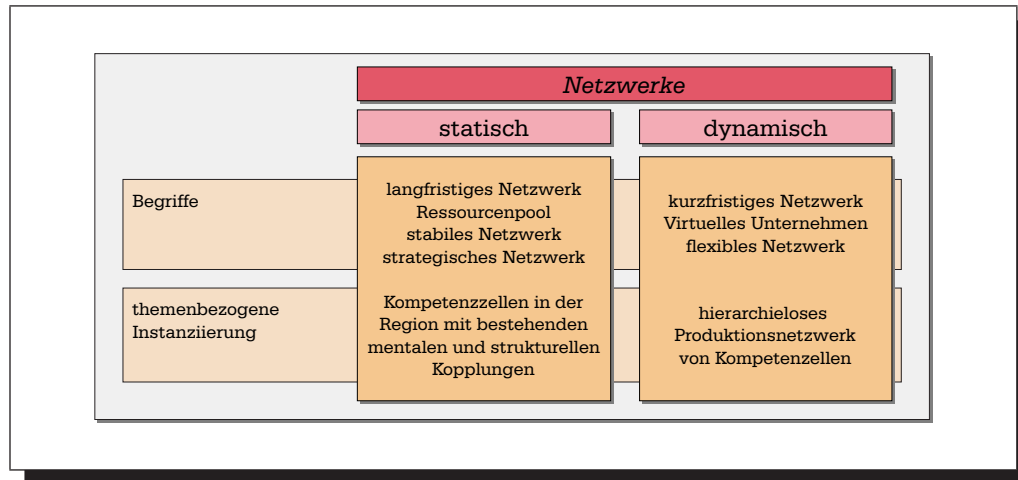


Abbildung 3.14: Harmonisierung der Begriffe

Das statische Netzwerk als übergeordnete langfristige Organisation kann auch als strategisches Netzwerk, stabiles Netzwerk, langfristiges Netzwerk oder Ressourcenpool bezeichnet werden. Das dynamische Netzwerk als zeitlich begrenzte Organisation ist gleichbedeutend mit kurzfristigem Netzwerk und Virtuellem Unternehmen. Das langfristige und das kurzfristige Netzwerk sind im Virtuellen Zentrum vereint.

Gleichbedeutend können auch Virtuelle Organisation und Virtuelles Unternehmen verwendet werden, da nach *Luhmannscher* soziologischer Systemtheorie³⁵² auch ein Unternehmen eine Organisation darstellt. Unternehmen sind „Organisationen, die auf das Wirtschaftssystem angesetzt sind und sich dadurch auszeichnen, dass sie ihre eigene Zukunftsvorsorge mit Hilfe von Kapital erledigen ...“³⁵³.

Eng mit dem Virtuellen Unternehmen ist die Virtuelle Fabrik verwandt, Fabrik wird jedoch in der Regel einschränkend für einen produzierenden Industriebetrieb verwendet.

Der Begriff des Netzwerkes im Allgemeinen kann sowohl das stabile als auch das dynamische Netzwerk umfassen und findet immer dann Anwendung, wenn eine interorganisationale Kooperation von Unternehmen beschrieben wird. Formen der intraorganisationalen Kooperation, wie zum Beispiel Telearbeit, sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden.

³⁵²Ausführlich bei [Vri98a, S. 56].

³⁵³Ebenda.

3.4 Zusammenfassung - Grenzen eines grenzenlosen Konzeptes

In den vergangenen Jahren hat sich das Wort *virtuell* zu einem Buzzwort entwickelt. Begriffe wie *Virtuelle Organisation* oder *Virtuelles Unternehmen* wurden zum Allheilmittel für aktuelle Probleme im Bereich der Organisation hochstilisiert. Vor allem aus zwei³⁵⁴ Gründen erscheint die Virtualisierung von Unternehmensaktivitäten in Form von Unternehmensnetzwerken vielversprechend: erstens wird durch eine gestiegene Flexibilität bei relativ geringen Kosten eine höhere Wettbewerbsfähigkeit angestrebt, was den Unternehmenserfolg steigert, und zweitens schließt die Idee einer Virtualisierung an aktuelle Trends wie die weltweite Vernetzung und Globalisierung der Märkte an. Es besteht jedoch die Gefahr (und die aufgeführte Literatur zeigte dies), dass seriös und ernsthaft geführte Diskussion über Erfolgsaussichten Virtueller Organisationen in einen emotional geführten Meinungs austausch abdriften.

Es erscheint nützlicher, die Chancen und Risiken virtualisierter Unternehmen sachlich und mit gebotener Neutralität zu erforschen und zu bewerten. Geradezu folgerichtig ergibt sich die These, dass auch für die Virtualität eine (wirtschaftliche) Grenze existiert. Es muss der Frage nachgegangen werden, wie viel Virtualität überhaupt sinnvoll ist³⁵⁵. Dies ist vor allem vom Einsatzgebiet abhängig. So erscheint die Virtualisierung von kleineren Organisationen anfänglich einfacher, als große Projekte virtuell abzuwickeln. Generell kann jedoch nicht von einer Erfolgsgarantie durch Konzentration auf Kernkompetenzen und Virtuellen Unternehmen ausgegangen werden. Das folgende Kapitel wird sich daher mit dem Problem einer „sinnvollen“ Unternehmensgröße beschäftigen müssen.

In den allermeisten Fällen der Analyse der Erfolgsaussichten Virtueller Unternehmen wird ein Menschenbild zugrundegelegt, welches als idealisiert bezeichnet werden muss. Der Mensch stellt einen Bestandteil des Virtuellen Unternehmens bzw. des Netzwerkes dar. Er kann dabei als Ein-Mann-Unternehmen oder auch innerhalb eines Unternehmens gemeinsam mit anderen Beschäftigten agieren. Die Teilnahme an einem VU verlangt dem Akteur jedoch besondere Fähigkeiten ab, die teilweise als nicht ganz erfüllbar erscheinen. Es wird rationales Handeln vorausgesetzt. Der Mitarbeiter hat sich voll und ganz auf seine Aufgabe zu konzentrieren, um zum Erfolg seines Unternehmens beizutragen. Als Schwierigkeit könnte sich dabei herausstellen, dass

³⁵⁴Vgl. [Wei98, S. 107].

³⁵⁵Vgl. [Sch98e, S. 161 f.].

für den Erfolg eine Identifikation mit dem (Virtuellen) Unternehmen nützlich erscheint, kurzfristige Netze durch ihre zeitliche Beschränktheit jedoch nicht die notwendige Zeit zur Entfaltung einer eigenen Kultur³⁵⁶ besitzen. Das Fehlen einer eigenen Identität kann unter Umständen zu Motivationsproblemen³⁵⁷ führen, da der einzelne Akteur nicht genau weiß, für wen oder was er seine Leistung erbringt.

Die Kurzlebigkeit dynamischer Netzwerke und die damit verbundene kurzfristige Verschiebung von Grenzen kann außerdem zum unerwarteten Ausschluss aus dem VU führen, was ebenfalls zu mangelnder Motivation führen könnte. Dieser Mangel an materieller Sicherheit in der virtuellen Organisationsumgebung³⁵⁸ resultiert auch aus der Verantwortung jedes einzelnen Akteurs für den Erfolg. Das Modell der Virtuellen Unternehmung gefährdet dabei die Grundbedürfnisse des Menschen nach materieller und sozialer Sicherheit (in Anlehnung an die *Maslow*-Pyramide der Bedürfnishierarchie). Die Mitglieder von virtuellen Strukturen müssen dabei oftmals auf das Gefühl der sozialen Einbindung und sozialen Unterstützung³⁵⁹ verzichten. Eine ausgeprägte Fähigkeit zur Flexibilität muss ebenso vorhanden sein, wie die Fähigkeit, an verschiedenen Projekten nacheinander oder an mehreren Projekten gleichzeitig³⁶⁰ mitarbeiten zu können.

Als eine Grundvoraussetzung für den Erfolg Virtueller Unternehmen wird ein stark ausgeprägtes Vertrauensverhältnis der Netzwerkteilnehmer untereinander betont. Das Vertrauensklima soll bspw. in der Lage sein, Konflikte weitgehend zu verhindern oder zumindest zu minimieren³⁶¹. Doch ist ein nahezu unbegrenztes Vertrauen überhaupt realisierbar? Ein Vertrauensverhältnis aufzubauen erfordert Zeit³⁶². Zeit ist jedoch aus Flexibilitätsgründen knapp und wechselnde Partner erfordern öfters den neuen Vertrauensaufbau. Aus diesem Grund wird dem dynamischen Netzwerk das statische Netzwerk „vorgeschaltet“, in dem bereits alle potenziellen Teilnehmer an einem dynamischen Netzwerk vereint sind. In diesem Rahmen kann sich ein Vertrauensklima bereits über einen längeren Zeitraum aufbauen. Dies allein wird jedoch nicht ausreichen. So genannte *Soft-facts* müssen operationalisiert und einer methodisch abgesicherten Analyse unterzogen worden. Bei der Forderung nach dem massiven Einsatz von IuK-Technologien reicht es nicht mehr aus, nur über Vertrauen zu sprechen. Bereits im vorangegangenen Kapitel wurde herausgear-

³⁵⁶Vgl. [Rei96b, S. 202].

³⁵⁷Vgl. [Lin97, S. 22].

³⁵⁸Vgl. [Rei96c, S. 12].

³⁵⁹Vgl. [Rei96d, S. 270].

³⁶⁰Vgl. [Rei96c, S. 12].

³⁶¹Vgl. [Jö00, S. 82].

³⁶²Vgl. [Kry97b, S. 412 f.].

beitet, dass hierzu ein theoretisches Defizit existiert. Aus diesem Grunde soll ein Ansatz erarbeitet werden, der diese Lücke schließt.

Als problematisch erweist sich auch die Tatsache, dass Mitarbeiter in Virtuellen Unternehmen konkurrieren können, beispielsweise um die Berücksichtigung im nächsten Projekt³⁶³. Auch die angestrebte Gleichrangigkeit³⁶⁴ der einzelnen Teilnehmer erscheint in diesem Zusammenhang nur theoretisch möglich, da Informationsasymmetrien verbunden mit Machtbestrebungen und Konfliktpotenzial in der Praxis nicht ausgeschlossen werden können. So kann sich blindes Vertrauen in das Vertrauen als Erfolgsfaktor für VU schnell als Misserfolgswortfaktor herausstellen.

Eine weitere fundamentale Voraussetzung für die Virtualisierung von Unternehmen stellt der mehrfach geforderte massive Einsatz der IuK-Technologie dar. Doch auch in diesem Zusammenhang ergeben sich mehr oder minder bedeutende Probleme für die Virtualisierungskonzepte. Das Sicherheitsproblem kann zu mangelndem Vertrauen und Informationsmissbrauch führen. Ein ausgeklügeltes System zur Steuerung des Zugangs zu den relevanten Informationen für die entsprechenden Mitarbeiter ist notwendig. Ein anderes Problem ergibt sich aus dem fehlenden Zusammenhang zwischen Einsatz moderner IuK-Technologien und höherer Flexibilität³⁶⁵ in der Wahl der Kooperationspartner. Nicht standardisierte IuK-Systeme können z. B. den Zugang zu wichtigen Informationen verhindern und somit Flexibilität und Schnelligkeit in Frage stellen. Allerdings sind derzeitige Systeme noch gar nicht in der Lage, dynamische Netzwerke abzubilden.

Die beiden Beispiele (gegenseitiges Vertrauen und intensive Nutzung der IuK-Technologien) zeigten schon Problemfelder bezüglich der Virtualisierung von Organisationen auf. Als weitere³⁶⁶ Schwierigkeiten bzw. Vorurteile beim Aufbau und Betrieb Virtueller Unternehmen können im Wesentlichen folgende Faktoren genannt werden:

- fehlende Klarheit über die Rechtsform des VU,
- fehlende Akzeptanz bei den Banken (Kreditwürdigkeit),
- unausgereifte Kontrollinstrumente (Frühwarnsysteme),
- die kurzfristige Gewinnorientierung kann die Kooperation gefährden,

³⁶³Vgl. [Jö00, S. 82].

³⁶⁴Ebenda.

³⁶⁵Vgl. [Büs99, S. 787 f.].

³⁶⁶Vgl. [Wic96, S. 542] und [Kon99, S. 104 f.].

- trotz Hierarchiearmut besteht eine Tendenz zu hierarchischen Führungsansprüchen einzelner Partner,
- Vertrauen wird nicht über IuK-Technologien sondern persönlich aufgebaut,
- Misserfolge durch Konkurrenz von Netzwerkpartnern und
- durch ständige Rekonfiguration des dynamischen Netzwerkes ist die Entstehung einer *corporate identity* nicht möglich.

Obwohl das Konzept des Virtuellen Unternehmens schon seit einigen Jahren diskutiert wird, existieren erst relativ wenig funktionierende Praxisbeispiele³⁶⁷. Oftmals handelt es sich dabei überhaupt nicht um ein VU im eigentlichen Sinn oder aber der Erfolg ist nicht zwangsläufig auf die Virtualität zurückzuführen. Den Vorteilen einer flexiblen, zukunftsweisenden Organisationsform stehen die Nachteile einiger realitätsfremder Annahmen³⁶⁸ entgegen. Die kooperative Zusammenarbeit ohne Tendenz zur Maximierung des eigenen Nutzens kann als idealtypisch, aber nicht als praxisnah eingestuft werden. Auch der Missbrauch von Macht oder Sicherheitsmängel bei IuK-Systemen können sich nachteilig auf den Erfolg Virtueller Organisationen auswirken.

Trotzdem ist das Konzept des Virtuellen Unternehmens ein vielversprechender Ansatz zur Bewältigung zukünftiger Probleme resultierend aus einer rasanten Entwicklung der IuK-Technologien und bei sorgfältiger Realisierung unter Beachtung der Problemfelder können derartige Organisationsformen in der Zukunft eine echte Alternative zum klassischen Unternehmen darstellen. Das hierarchielose bzw. -arme Produktionsnetz ist eine solche Alternative, die als Virtuelles Unternehmen angesehen werden kann. Allerdings gibt es zur Genese und zum Betreiben derartiger Netzwerke keine konsistenten Methoden. Die folgenden Kapitel werden sich diesem Problem stellen.

³⁶⁷Vgl. [Wei98, S. 119].

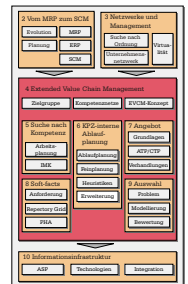
³⁶⁸Vgl. [Jö00, S. 84].

„Die Klage über die Schärfe des Wettbewerbes ist in Wirklichkeit meist nur eine Klage über den Mangel an Einfällen.“

Walther Rathenau

Kapitel 4

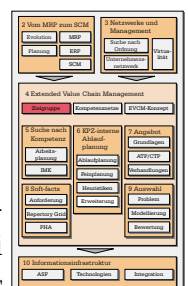
Das Extended Value Chain Management



Unternehmen sehen sich einem verstärkten Wettbewerbsdruck gegenüber und müssen geeignete Anpassungen ihrerseits durchführen. Nicht nur die „Big Player“ stehen vor dieser Aufgabe. Auch KMU können sich diesen Anforderungen nicht entziehen. Das Denkmodell eines auf Kompetenzen basierenden Produktionsnetzes ist als eine Modifikation der Idee der Vernetzung von Unternehmen anzusehen¹. Die Vorteile einer intensiven Kooperation von Unternehmen sollen dabei konsequent ausgenutzt werden. Die Basis für die Entstehung eines dynamischen Unternehmensnetzes stellt, wie bereits erwähnt, ein stabiles Unternehmensnetzwerk dar. In diesem langfristigen Netzwerk sind alle potenziellen Teilnehmer zumeist informell miteinander verbunden, allerdings in Form einer sehr losen Kopplung auf der Basis des Wissens eines zu entwickelnden informationstechnischen Modellkerns. Zunächst gilt es jedoch zu klären, wer die Adressaten des Konzeptes sind und welche Vorteile daraus erwachsen sollen.

4.1 Die Zielgruppe des Konzeptes

Bisher wurde in der Literatur der Schwerpunkt der Betrachtungen auf Kooperationen von Unternehmen in Form von Virtuellen Unternehmen gesetzt. Bei der Forderung nach Konzentration auf Kernkompetenzen fällt schnell auf, das



¹Dieses Kapitel basiert auf folgenden eigenen [Kä99c, Kä00a, Kä00b, Tei01f, Tei01b, Tei01a, Tei01c, Tei01e, Tei01g, Tei01d, Tei01h, Tei02b] und kooperativen [Tei01u, Tei01l, Dü01b, Mei01, Gö02b, Jä00, Fis01, Tei02e] Arbeiten zum Sonderforschungsbereich 457, aus denen die Inhalte wörtlich und in überarbeiteter Form übernommen wurden.

ein Unternehmen mehrere von diesen besitzen kann, aber nicht alle in ein VU eingehen. Aus diesem Grunde stellt sich die Frage nach einer atomaren Organisationseinheit dieses Konzeptes, die aufgrund juristischer Implikationen in Bezug auf eine Marktteilnahme in den organisatorischen Kontext von existierenden Unternehmen eingebunden sein muss. Das typische Unternehmen gibt es nicht. Zwar kooperiert rechtlich gesehen das gesamte Unternehmen, es bringt jedoch im Sinne der Kompetenzorientierung nur einen Teil seiner potenziellen Leistungsfähigkeit in das Netzwerk ein. In diesem Zusammenhang bilden die kleinen und mittleren Unternehmen den konzeptuellen Boden der Modellelemente und bedürfen einer Herausstellung ihrer außerordentlichen Bedeutung für die Wirtschaft unserer Gesellschaft.

4.1.1 Die Rolle der KMU

Dass KMU eine bedeutende Rolle in der Volkswirtschaft der Bundesrepublik Deutschland spielen und vermutlich in der Zukunft spielen werden, zeigt der folgende kurze Überblick.

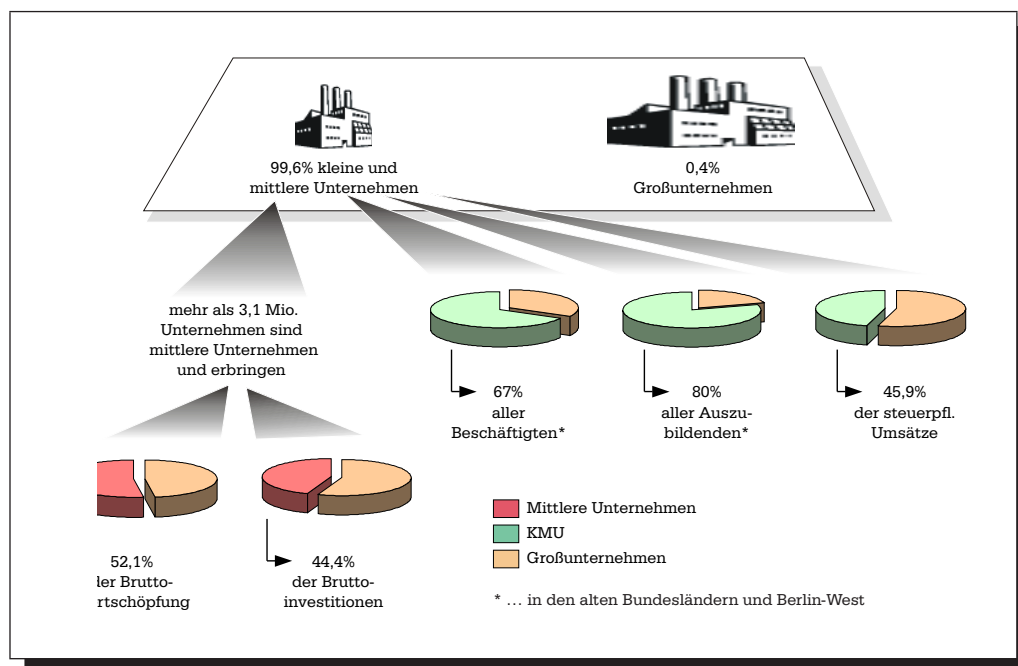


Abbildung 4.1: Wirtschaftliche Bedeutung der KMU in der Bundesrepublik Deutschland

Obwohl viele der Unternehmen sehr klein sind und daher wenige bis gar keine

abhängig Beschäftigten haben, vereinen die KMU doch 67% aller Beschäftigten. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch beim Beitrag zur Bruttowertschöpfung mit 52,1% und bei den Bruttoinvestitionen mit 44,4%.² Insbesondere vor dem Hintergrund der anteiligen Beschäftigungszahlen und dem großen Anteil der Wertschöpfung erwächst die Aufgabe, die Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen zu erhalten und möglichst zu steigern, denn KMU werden ohne entsprechende Anpassungen an das dynamische Umfeld den größeren Wettbewerbern wenig entgegen zu setzen haben. Dies wird in den folgenden Unterabschnitten deutlich. KMU werden mit einer Reihe externer Einflüsse aus verschiedenen Sichten konfrontiert.

4.1.1.1 Globalisierung

Zu den Triebkräften der Globalisierung gehören unter anderem die Deregulierungs- und Liberalisierungsmaßnahmen von staatlicher Seite³. So werden staatliche Monopole aufgehoben (bspw. Telekom AG, Post AG) und Voraussetzungen für den freien und grenzüberschreitenden Wirtschaftsverkehr geschaffen. Durch die weltweit verfügbaren Informationen, auch von Konkurrenten und Zulieferern, verschwinden zunehmend lokale Marktgrenzen, was zu Internationalisierungs- und Globalisierungseffekten führt. Durch die Verbesserung der Transport- und Kommunikationsmöglichkeiten sind lokale Geschäfte einem globalen Umfeld ausgesetzt. Material kann durch Global-Sourcing mit niedrigen Kosten und in gewünschter Qualität beschafft werden. Eine Produktionssteigerung, trotz stagnierender Märkte, lässt sich durch Ausweitung des Absatzraumes in neue Märkte erreichen⁴. Ein schneller Marktzugang erhöht einerseits den Wettbewerb durch globale Anbieter und bietet gleichzeitig die Chance, diese Märkte zu erschließen. Die durch die IuK-Technologie erhöhte Preistransparenz vergrößert ihrerseits den Preisdruck, ermöglicht aber gleichzeitig auf der Supplier-Seite Kosteneinsparungen. Voraussetzung dafür ist der Aufbau entsprechender Infrastruktur. Dieser ist aber zunächst mit einem höheren Kapitaleinsatz verbunden.

Erhöhter Wettbewerbsdruck ergibt sich auch aus der Verkürzung der Produkt- und Entwicklungszyklen, der Verlagerung von Produktionsstätten an begünstigte Standorte und der höheren branchenübergreifenden Mobilität von Technologien. Dies muss zwangsläufig zur Beschleunigung der eigenen Innovations- und Leistungserstellungsprozesse führen. Die Innovationen

²Vgl. [BfW98].

³Vgl. [Mer97, S. 114].

⁴Vgl. [Ste99b, S. 245].

sind zügiger als bisher in marktfähige Produkte umzusetzen⁵. Nicht wenige Veränderungen resultieren aus den gestiegenen Kundenwünschen und den daraus resultierenden Anforderungen an logistische Leistungen, die mit traditionell orientierten Wettbewerbsstrukturen nicht abgedeckt werden können. Die Bildung von virtuellen Unternehmen führt zu neuen Formen des Wettbewerbs. Insbesondere bei logistischen Leistungen erzielen Unternehmen eindrucksvolle Kosten- und Qualitätsvorteile⁶.

KMU können sich den Outsourcingbestrebungen mit der Konzentration auf Kernkompetenzen und den Verschiebungen der Marktbedürfnisse nicht entziehen. Eine stärkere Verknüpfung externer Ressourcen und die Aufweichung traditioneller Unternehmensgrenzen in Verbindung mit einer konsequenten Kundenorientierung sind erste Anforderungen an die Unternehmen⁷.

4.1.1.2 Dynamisierung

Die Bedeutung des Faktors Zeit steigt. Kunden wollen nicht warten, sondern sofort beliefert werden. Flexibilität der Leistungserstellung wird von allen Seiten gefordert⁸. Dies hat weitreichende Konsequenzen auf die Bedürfnis- und Nachfragestrukturen. Ein Trend zur Multioptionsgesellschaft ist erkennbar. Es lassen sich nicht mehr einfache Cluster erstellen, nach denen Angebotspakete geschnürt werden. Vielmehr will der Kunde aus allem für ihn Relevanten wählen und dabei einen angemessenen Preis bezahlen, um damit seinen individuellen Nutzen zu vergrößern. Diese Aussage ist wichtig für die konzeptuellen Überlegungen einer neuartigen Angebotsstrategie in Abschnitt 7.1.2.2.

Das Bewusstsein wird zusätzlich tangiert von dem sich vollziehenden Wertewandel, in welcher die jüngere Businessgeneration die Ideale und Wertvorstellungen der älteren Generationen wie materielles Wohlergehen zugunsten von Individualität ablegt⁹. Durch Verkürzung der Produktlebens- und Entwicklungszyklen entsteht eine stärkere Beschleunigung des technischen Fortschrittes bei Produkten ebenso wie bei Produktionsverfahren. So steigt die technische Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit rapide. In den letzten 40 Jahren hat sich bspw. die Geschwindigkeit elektronischer Datenprozessoren alle 18 Monate verdoppelt (*Moores Gesetz*). Die damit eng verbundene IuK-Technologie lässt eine breite Verfügbarkeit von vorhandenem Wissen

⁵Z. B. durch Aufbau eines schnellen Marktzugangs, der Fertigung und der Distribution.

⁶Vgl. [Zäp98, S. 48].

⁷Vgl. [Bul99a, S. 38].

⁸Vgl. [Dav93, S. 33], [Kre00b, S. 61 ff.].

⁹Vgl. [Wag99, S. 7 ff.] und [Syd97, S. 12 f.].

und Informationen als Voraussetzung steigender Interaktionen zwischen den Marktteilnehmern zu. Es entsteht mehr Markttransparenz auf Anbieter- und Abnehmerseite. Gleichzeitig verstärken sich durch die hohe „Informiertheit“ der Marktteilnehmer die Turbulenzen auf den Märkten. Nur durch permanente Anpassungen kann dies kompensiert werden¹⁰. Aus den Veränderungen der IuK-Technologien eröffnen sich aber auch neue Gestaltungsoptionen auf strategischer und organisatorischer Ebene für KMU in Form von überbetrieblichen Kooperationen als flexible Organisationseinheiten¹¹. Wie wichtig Flexibilität für wirtschaftlichen Erfolg sein kann, zeigt die Studie von *Stalk/Hout*, bei der innovative Unternehmen (Wal-Mart, Atlas, Ralph Wilson Plastics, Thomasville, Citicorp) in Bezug auf den Zeitwettbewerb untersucht wurden. Das Ergebnis im Vergleich zum Branchendurchschnitt ist ein größerer Kundenanteil, vor allem attraktive Kunden (First Mover Effekt), gegenüber der Konkurrenz. Die Unternehmen gehörten zu den führenden Innovatoren in ihren Märkten und wuchsen schneller bei höheren Gewinnen¹².

4.1.1.3 Vernetzung

In den letzten Jahren hat die Entwicklung, vor allem der IuK-Technologie, einen maßgeblichen Beitrag zur schnelleren und effizienten Nutzung von Informationen beigetragen. Dies resultiert daraus, dass über neue Medien wie Internet und leistungsfähigere Hardware der Transport von Informationen schnell und billig zugleich angeboten werden kann. Die Informationsbereitstellung und die Informationsnachfrage können örtlich weit auseinander liegen, ohne erhebliche Zusatzkosten für den Transport entstehen zu lassen. Die Information wird zum lebensnotwendigen Produktionsfaktor. Den KMU eröffnen sich neue Möglichkeiten in der schnellen Reaktion auf Veränderungen des Umfeldes. Dieser verstärkte Informationsaustausch lässt den Vernetzungsgrad der Partner wachsen. Die Vernetzung unterstützt die Zunahme der Arbeitsteilung und damit die Orientierung am Kerngeschäft, eine Reduzierung der Kontroll- und Koordinierungskosten (bei hoher Automatisierung) und die Bündelung von Entwicklungs-, Produktions-, Vertriebs- und Managementressourcen¹³. Durch Vernetzung verfügbares Wissen und aktuelle Informationen als wesentliche Produktionsfaktoren werden deshalb den herkömmlichen Wettbewerb in einen wissensintensiven Wettbewerb verändern¹⁴.

¹⁰Vgl. [Wes00, S. 631], [Hei99, S. 7 f.].

¹¹Vgl. [Nag99, S. 9 f.].

¹²Vgl. [Dav93, S. 34 f.] und [Sta90, S. 12 ff.].

¹³Vgl. [Sih98, S. 11].

¹⁴Vgl. [Pic99b, S. 130], [Bel99, S. 197].

4.1.1.4 Kundenanforderungen

Die Bedürfnisse des Kunden verändern sich zunehmend in Richtung Individualität. Damit sinkt die Einschätzbarkeit des Marktes¹⁵ in Bezug auf das Produktangebot, und das Leistungsangebot steigt stark an. Dies wiederum erhöht die Wahlmöglichkeit des Kunden und erhöht gleichzeitig den Druck auf die Unternehmen, ihr Angebot exakter den Kundenbedürfnissen anzupassen. Zeit und Geschwindigkeit nehmen ebenso an Bedeutung für den Kunden zu, wie die Anzahl der nachgefragten Spezifikationen von Produkteigenschaften. Um diese Variantenvielfalt trotzdem kostengünstig herstellen zu können, sind flexible Fertigungsanlagen und komplexe Planungsverfahren notwendig¹⁶.

Die Fähigkeit Leistungen schnell und zuverlässig anzubieten sind in der nahen Zukunft für KMU gleichzeitig zentrale Herausforderung und Differenzierungsmerkmal. Der Aufbau neuer Kundenbeziehungen ist kostenintensiver, als die Pflege bestehender Kunden. Eine gezielte Entwicklung des Service für den Kunden, bspw. mit Hilfe externer Partner, bindet den Kunden länger und senkt die Akquisitionskosten. Dies führt zu einem Übergang von der Produktions- zur Dienstleistungsgesellschaft, in der nicht die Produkte als solche, sondern Leistungen zur Befriedigung der Bedürfnisse angeboten werden. Der Dienstleistungssektor drängt den klassischen Industriesektor immer stärker in den Hintergrund¹⁷. Die durch Deregulierung erleichterte Globalisierung schafft neue Kunden, aber auch gleichermaßen neue Konkurrenten. Die wachsende Komplexität schafft zudem beim Kunden den Wunsch, alles aus einer Hand zu erhalten und die Koordinierungsaufgaben bei der Zusammenstellung der Leistungen ebenfalls abzugeben¹⁸.

Die Flexibilisierung von Leistungserstellungsprozessen wird oft mit gesteigerten Transportaufwendungen erkaufte. Die begrenzten Naturressourcen werden nur zu einem geringen Teil der eigentlichen sozialen Kosten entschädigt. Ein zunehmendes Bewusstsein der Kunden für die Schonung der Umwelt und einer damit in Verbindung stehenden Umweltgerechtigkeit muss ebenso in den Fokus der aktuellen Betrachtung rücken¹⁹. Angeschlossene Entsorgungsmodelle²⁰ oder überbetriebliche Optimierung der Transporte im Netzwerk sind Möglichkeiten, diesem Bewusstsein Rechnung zu tragen.

¹⁵Vgl. [Rud99, S. 1-2].

¹⁶Vgl. [Ste99b, S. 245].

¹⁷Vgl. [Pic99b, S. 130].

¹⁸Vgl. [Hin98, S. 342].

¹⁹Vgl. [Ste99a, S. 15f.].

²⁰Siehe hierzu u. a. [Dob02, S. 47 ff.] und [Ric96a, Ric99].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine Veränderung von der Massenproduktion zur Individuallösung stattfindet und in diesem Prozess die KMU aufgrund ihrer Marktstellung eine entscheidende Rolle spielen. Waren früher für den Erfolg eine sehr hohe Fertigungstiefe, wenig lokal verteilte Lieferanten, kaum Konkurrenten und der lokale Vertrieb des Endproduktes in ungesättigten Märkten maßgebend, so stehen dem heute zumeist gesättigte Märkte, weltweite Konkurrenz und komplexe Produkte, die viele technische Disziplinen verlangen und nur mit einer Vielzahl beteiligter Unternehmen durchführbar sind, gegenüber.²¹ Die Kunden- und Wettbewerbsorientierung nach innen und außen bildet deshalb in mehrfacher Hinsicht eine aktuelle und bedeutsame Herausforderung.²²

KMU müssen ihre eigene unternehmerische Situation mit allen Geschäftsprozessen an das neue Umfeld anpassen und die volle Kundenorientierung innerhalb dieser Geschäftsprozesse integrieren. Dazu ist es notwendig, sämtliche Prozesse und Bestandteile der Wertschöpfungskette in Verbindung mit den technischen, organisatorischen und fachlichen Möglichkeiten aus einer kundenorientierten Sicht neu zu bewerten. Bei allen Aktivitäten ist dabei eine vernetzte und gesamtheitliche Denk- und Vorgehensweise notwendig. Die Kundenorientierung ist das zentrale Glied der Anstrengungen. Es reicht nicht mehr aus, ein Produkt für alle Kunden anzubieten, sondern es ist ein Paket aus vielen möglichen Varianten notwendig. Dieser *Value-Added-Service* sollte der Leitgedanke bei der Kundenbindung sein. Standardisierte Produkte können nur noch wenig Zufriedenheit schaffen. Damit stehen die KMU vor dem hochkomplexen Problem, den mehrdimensionalen Kundenansprüchen an seine Leistung in den Dimensionen Preis, Qualität, Zeit und Verfügbarkeit zu genügen. Dass ein KMU bei komplexen Produkten alle Kompetenzen abdeckt, ist eher unwahrscheinlich. Hier bietet aber das Virtuelle Unternehmen in Form eines hierarchielosen Produktionsnetzwerkes in Verbindung mit dem Extended Value Chain Management-Konzept Möglichkeiten an, um auf diese Erfordernisse zu reagieren. Für die erforderliche Reaktionsgeschwindigkeit stellt die moderne IuK-Technologie eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg dar.

Die Abbildung 4.2 fasst die Trends und die Herausforderung für die Zielgruppe der kleinen und mittleren Unternehmen zusammen. Im Anschluss daran muss einführend geklärt werden, welchen Wettbewerbsvorteil die Organisation als Produktionsnetzwerk der Zielgruppe bietet.

²¹Vgl. [Kö96, S. 73].

²²Vgl. [Web97, S. 348].

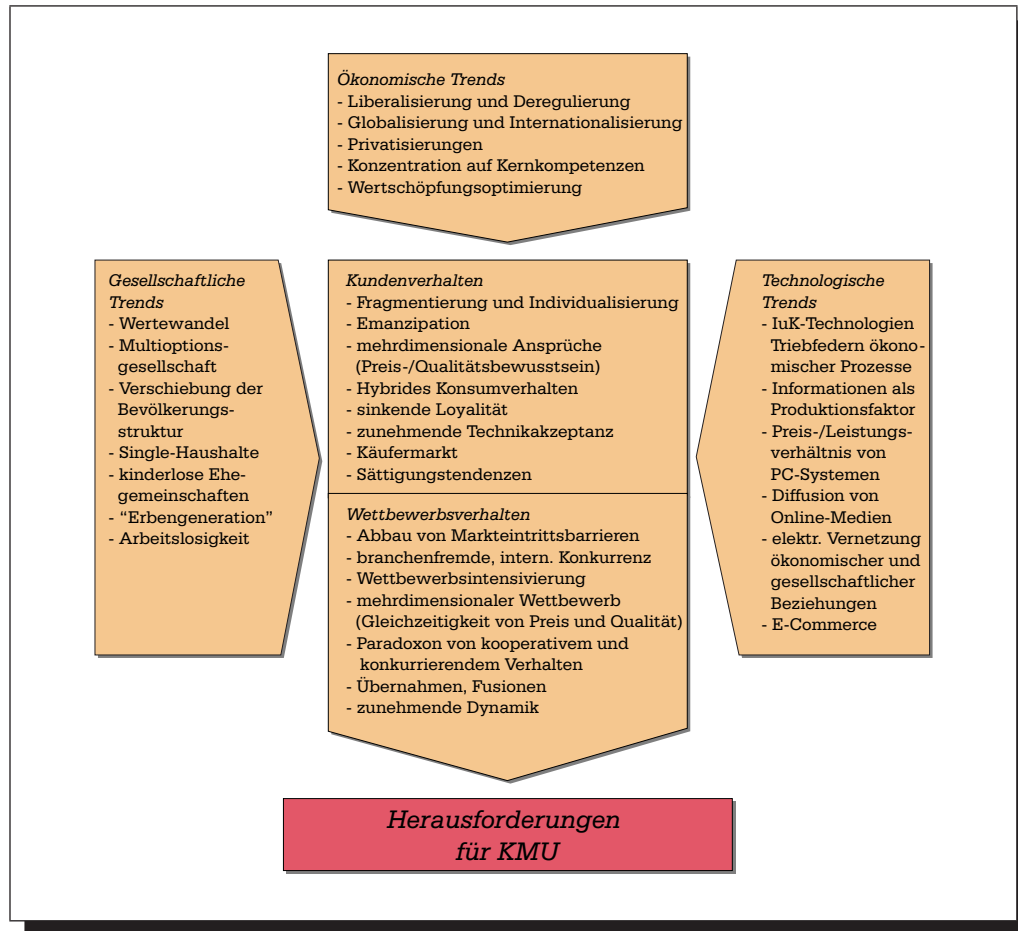


Abbildung 4.2: Trends und Herausforderungen an KMU

4.1.2 Vertikale Kooperation als Wettbewerbsfaktor

Die beschriebenen Entwicklungen können nicht ohne Auswirkungen auf bestehende Strukturen der Unternehmen und Märkte im Bereich von Organisation, Führung, Controlling und Kommunikation bleiben²³. Klassische Wettbewerbsstrategien und Instrumente der Steuerung und Koordination aus herkömmlichen Industriebetrieben, die im Wesentlichen immer noch auf hierarchische Führungsstrukturen einer Aufbauorganisation mit funktionaler Arbeitsteilung und Leistungserstellung innerhalb definierter, starr verknüpfter Unternehmens- und Standortgrenzen basieren, können die oben dargestellten Herausforderungen nicht bewältigen. Lediglich bei Produktionssegmen-

²³Vgl. [Pic99b, S. 131].

ten mit langen Lebenszyklen, stabilen Absatzmärkten und einer geringen Anzahl von Mitwettbewerbern können diese Strategien ihre Berechtigung finden. Schon heute sind solche stabilen Verhältnisse bei den meisten Produkt- und Marktsegmenten nicht mehr gegeben²⁴. Auf der einen Seite verfügen KMU zwar über die notwendige Anpassungsflexibilität, aber nicht über die Ressourcen und Kapazitäten für schnelles Handeln. Wegen des schnellen Wandels der Marktbedingungen und des nur temporären Bestehens der Kooperationen ist eine Festlegung von Beziehungen, wie sie das Supply Chain Management fordert, nicht möglich.²⁵ Da auf der anderen Seite aber kaum ein KMU in der Lage ist, alle Herausforderungen zur Bewältigung der Komplexität, Beschleunigung der Prozesse und Steigerung der Effizienz selbstständig zu bewältigen, müssen Aktivitäten innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette aufgeteilt und auf die am besten geeigneten Unternehmen verteilt werden²⁶. Für diese Konzentration auf Kernkompetenzen²⁷ treten als Kooperations- und Organisationsform Unternehmensnetzwerke in den Vordergrund²⁸. Unabhängige Unternehmen schließen sich über einen konkreten Zeitraum zusammen, um spezifische Aufträge umzusetzen. Jedes Unternehmen bringt dabei seine Kernkompetenzen und Fähigkeiten ein. Die Zusammenarbeit kann kurzfristig oder langfristig sein und die Netzwerkunternehmen verlieren nicht die Fähigkeit, selbstständig innerhalb eines bestimmten Netzes oder mit alternativen Partnern zu handeln. Teilnehmer an Kooperationen können eine sehr große Anzahl komplementärer Ressourcen ihrer Partner nutzen. Konzentration auf Kernkompetenzen führt zu größeren Erfahrungskurveneffekten und damit zur Erfüllung individueller Kundenbedürfnisse zu niedrigen Kosten.²⁹

Ein Vorteil, der sich im Vergleich zum herkömmlichen, auf ein Unternehmen bezogenen Wertschöpfungsprozess für die Beteiligten des Netzwerkes ergibt, beruht auf einer aufgabenspezifischen und abgestimmten Leistungserstellung. Diese erfolgt kooperationseffektiv, -effizient und qualitativ hochwertig. „Kooperationseffektivität („die richtigen Dinge tun“) ist Ausdruck für den zielführenden Einsatz von Ressourcen, gemessen an Globalgrößen wie Innovativität, Kundennutzen und Wachstum. Demgegenüber kennzeichnet Kooperationseffizienz den wirtschaftlichen Einsatz von Ressourcen in Ter-

²⁴Vgl. [Win00a, S. 42].

²⁵Vgl. [Die01a, S. 120].

²⁶Vgl. [Ste99b, S. 245], [Loo97, S. 84 ff.].

²⁷Vgl. [Hof95, S. 2 f.], [Gri99, S. 118], [Nag99, S. 23].

²⁸Der Gedanke einer erfolgreichen Vernetzung verschiedener Teile der Wertschöpfung ist nicht neu. Allerdings beruhen herkömmliche Konzepte (Lean Production, Total Quality Management, Business Process Reengineering, Knowledge Management) auf einer innerbetrieblichen Vernetzung. Vgl. hierzu [Syd97, S. 14 f.].

²⁹Vgl. [Kal00a, S. 534 ff.].

mini vorteilhafter Input-Output-Relationen (Produktivität), Kostenniveaus und -strukturen sowie Zeiteffizienz („die Dinge richtig tun“).³⁰ Durch Vernetzung der KMU und den Einsatz der IuK-Technologien (notwendige Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit im Netzwerk) können im Vergleich zu herkömmlichen marktorientierten Geschäftsbeziehungen insbesondere die Transaktionskosten für den Informationsaustausch zwischen den Partnern im Netzwerk gesenkt werden³¹. Die Mitarbeit in einem Netzwerk bietet KMU mehr Möglichkeiten, sich auf Teile der Wertschöpfung in Form von Kernkompetenzen zu konzentrieren, als ein Komplettanbieter. Dadurch kann der weitere Ausbau der Fähigkeiten stärker erfolgen und es entsteht ein Verbund der Besten mit hoher Flexibilität des Leistungsspektrums. Mit der Anzahl der integrierten Kompetenzen wächst auch das Potenzial, kundenspezifische Komplettlösungen anbieten zu können.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Möglichkeit, der externen Dynamik mit Netzwerkdynamik zu begegnen. Diese innere Dynamik wird durch das lose gekoppelte Netzwerk der Partner und den Optionen Ergänzung, Ersatz und Ausschluss von Partnern mit ihren Kernkompetenzen gewährleistet. Durch eine schnelle und unkomplizierte Austauschbarkeit ist auch ein höherer Leistungsanreiz für die Partner im Netzwerk vorhanden. Durch den breiten Informationsfluss in Unternehmensnetzwerken im Vergleich zum marktlichen Austausch besteht die Möglichkeit einer unternehmensübergreifenden Optimierung des Leistungserstellungsprozesses. Es können mehr Informationen genutzt und mehr Kostensenkungspotenziale erkannt werden. Nicht ausgeschöpfte Produktivitätspotenziale, die durch ineffiziente Arbeitsteilung und Spezialisierung in herkömmlichen Wertschöpfungsketten entstehen, und verspielte Produktivitätsgewinne durch ineffiziente Abstimmungs- und Tauschmechanismen können durch Netzwerkbeziehungen gemildert werden³². Durch den Pool an schnell verfügbaren Kompetenzen findet außerdem eine Risikominimierung durch Senkung der Markteintrittszeiten und Investitionen sowie eine Verringerung der Kapazitätsunterdeckung der Partner statt.

Die Potenziale sind eindeutig. Allerdings muss die Frage beantwortet werden, wie die Kompetenzen über IuK-Technologien auftragsabhängig gefunden und zu einem kompetenzbasierten Produktionsnetzwerk generiert werden. Eine Möglichkeit wird in Abschnitt 4.3.4 vorgestellt, die den Rahmen des EVCM-Konzeptes und damit der vorliegenden Arbeit aufspannen wird.

³⁰Vgl. [Bec98, S. 72].

³¹Vgl. [Fri98, S. 92], [Mer98, S. 128].

³²Vgl. [Pic99a, S. 1 ff.].

Es gibt die These, dass in der digitalen Ökonomie ein Teil der wirtschaftlichen Evolution rückgängig gemacht wird: nicht mehr das Unternehmen, sondern das Individuum wird zunehmend die Grundeinheit der Wirtschaft. Da evolutionäre Prozesse über einen bestimmten Zeitraum ablaufen, wird sich diese Grundeinheit in mehreren Phasen zurückbilden. Eine Entwicklungsstufe, die dabei durchlaufen wird, kann die Einheit sein, die im Folgenden als Kompetenzzelle bezeichnet wird. In diesem Abschnitt soll ausgehend vom klassischen Modell der Unternehmung der Weg hin zu Kompetenznetzen über die Zwischenstation des Ressourcenpools beschrieben werden. Als Ressourcenpool³³ soll im Rahmen dieser Arbeit das statische oder langfristige Netzwerk von Kompetenzzellen verstanden werden. Dies geschieht, indem dem hierarchischen Unternehmen das Hierarchiepotenzial entzogen und eine verstärkte Koordination über den Marktmechanismus angestrebt wird.

4.2.1 Auflösungerscheinung von Unternehmen

4.2.1.1 Das Unternehmen

Ausgangspunkt der Betrachtung ist das Unternehmen. In der Theorie der Unternehmung³⁴ ist das Unternehmen bzw. die Unternehmung eine Institution, in der die Menschen unter dem Verbrauch von Ressourcen (Input) ein Gut oder eine Dienstleistung (Output) herstellen. Diese Erkenntnis ist unabhängig von der Unternehmensgröße. Es ist also unerheblich, ob es sich um einen „Ein-Personen-Betrieb“ oder um einen weltweit agierenden Konzern handelt. Bei der Transformation von Input zu Output verursachen Inputs Kosten, die Outputs sorgen für (Umsatz-)Erlöse. In der Regel verhält sich der Unternehmer gewinnmaximierend, d. h. die Differenz zwischen Erlösen und Kosten wird maximiert. Nach der neoklassischen Theorie folgt aus diesem Verhalten eine optimale Allokation der Ressourcen und damit eine optimale gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt³⁵.

Das „klassische“, auf Langfristigkeit angelegte Unternehmen mit weitestgehend stabilen Beziehungen aller beteiligten Unternehmensteile hat jedoch in Bezug auf die Flexibilität und Innovativität Nachteile gegenüber dynamischen Netzwerken. Erfolgversprechend scheint die Idee der Modularisierung³⁶ von Unternehmen zu sein.

³³Dieser Begriff wird auch bei *Specht* [Spe00] verwendet, allerdings bei leicht veränderter Bedeutung.

³⁴Vgl. [Sta99, S. 420].

³⁵Vgl. [Sta99, S. 421].

³⁶Vgl. [Pic96, S. 199 ff.] und [Bun00].

4.2.1.2 Modularisierung von Unternehmen

Großunternehmen, häufig mit hierarchisch und funktional gegliederten Organisationsstrukturen³⁷ sowie mit schwerfälligem Verwaltungsapparat und Hierarchiestrukturen scheinen mangels dynamischer Eigenschaften zunehmend im Wettbewerb in Schwierigkeiten zu geraten. Modelle und Vorschläge zur Neu- und Andersorganisation der Wertschöpfungskette sind in der Literatur bereits veröffentlicht worden. So wird die Bildung von Modulen, Segmenten oder Fraktalen (Abschnitt 3.1.3) als Lösung verschiedenster Probleme empfohlen³⁸. Auch die aufgeworfene Idee der Kompetenzzellen ist in diesen Bereich einzuordnen. Nach *Picot*³⁹ bedeutet Modularisierung die „Restrukturierung der Unternehmensorganisation auf der Basis integrierter, kundenorientierter Prozesse in relativ kleine, überschaubare Einheiten (Module)“, die sich durch „dezentrale Entscheidungskompetenz und Ergebnisverantwortung“ auszeichnen. Die Koordination zwischen den Modulen erfolgt in der Regel durch nicht-hierarchische Koordinationsformen.

Durch Modularisierung wird die Erhöhung der Flexibilität bzgl. Marktwandel, Kundenorientiertheit und Reaktionsschnelligkeit auf Aktionen von Konkurrenten angestrebt. Die Modularisierung von Unternehmen kann verschiedene Konzepte⁴⁰ beinhalten. Eine denkbare Möglichkeit ist die Gliederung in rechtlich selbstständige Profit-Center. Die rein hierarchielose Struktur hat sich jedoch durch Koordinationsprobleme mangels methodischer und informationsinfrastruktureller Unterstützung in der Praxis noch nicht durchgesetzt. Eine weitere Möglichkeit der Modularisierung stellt die Ordnung nach Geschäftsbereichen und Produkten dar. Diese als Spartenorganisation bekannt gewordene Organisationsstruktur ist jedoch ebenfalls überwiegend hierarchisch geprägt. Auch die Modularisierung nach Kernkompetenzen oder nach Regionen bzw. nach lokalen Einzelmärkten ist nicht automatisch frei von hierarchischen Koordinationsstrukturen⁴¹.

Sinnvollerweise ist die Modularisierung auf der Ebene von Prozessketten anzusiedeln. Gerade die Prozessorientierung verspricht in vielen betriebswirtschaftlichen Teilbereichen neue Lösungsmuster. So gewinnt beispielsweise die Prozesskostenrechnung im Rahmen des Kostenmanagements enorm an Be-

³⁷Vgl. [Pic96, S. 201].

³⁸Theoretische Konzepte, aber auch in der Praxis erprobte Modelle tragen verschiedene Namen, oftmals sind sie jedoch der Modularisierung [Pic96, S. 224 ff.] zuzuordnen. Zu den Modellen gehören zum Beispiel Vertriebsinsel, teilautonome Gruppe, Fertigungsinsel, Fertigungssegment oder Unternehmenssegment.

³⁹Vgl. [Pic96, S. 201].

⁴⁰Vgl. [Pic96, S. 214 ff.].

⁴¹Vgl. [Pic96, S. 222 ff.].

deutung. Die Wertschöpfungskette stellt gewissermaßen eine große Prozesskette dar. Ein erster Schritt im Rahmen der Modularisierung besteht darin, die einzelnen Unternehmenssegmente, die am jeweiligen Wertschöpfungsprozess teilnehmen, mit mehr Eigenverantwortung auszustatten. Der damit verbundene Hierarchieabbau kann dann direkt zu hierarchielos gekoppelten Unternehmenssegmenten wie den Kompetenzzellen führen. Hier gilt es, durch methodische Maßnahmen einen Hierarchieabbau so weit voranzutreiben, um dem Idealbild eines hierarchielosen Netzes möglichst nahe zu kommen.

4.2.1.3 Auflösung von Unternehmensgrenzen

Neben der Auflösung von Hierarchien wird auch eine gezielte Auflösung von Unternehmensgrenzen⁴² zur Modellierung eines hierarchielosen regionalen Produktionsnetzes beitragen. Charakteristisch für eine Auflösung von festen Grenzen eines Unternehmens ist die Verwischung traditioneller Unternehmensstrukturen zugunsten von Verbindungen und Kooperationen mit externen, d. h. außerunternehmerischen Partnern⁴³. Um opportunistisches Verhalten der Kooperationspartner zu vermeiden, muss ein stabiles Vertrauensverhältnis etabliert werden.

Die Auflösung der Unternehmensgrenzen durch Einbeziehung externer Partner führt zu einer Verschiebung im Organisationskontinuum in Richtung Markt. Durch zunehmendes Outsourcing von Wertschöpfungsprozessen sind diese eher durch den Markt, als hierarchisch geprägt. Diese Entwicklung unterstützt und verstärkt somit den Prozess der Auflösung von Hierarchien. Für die Ursachen einer Auflösung von Unternehmensgrenzen existieren verschiedene Erklärungsansätze. Eine Möglichkeit stellt die Theorie der Kernkompetenzen⁴⁴ dar, nach der ein zunehmender Wettbewerbsdruck das Unternehmensmanagement dazu zwingt, Kosten zu optimieren und den zu hohen Verwaltungsaufwand bei großen Unternehmen zu verringern. Dies führt zu einer Fokussierung eines Unternehmens auf die Fähigkeiten, die am besten erbracht werden können. Ein weiterer Versuch zur Erklärung des „grenzenlosen Unternehmens“ wird mit der Transaktionskostentheorie erfolgen (Abschnitt 4.2.2.3).

Formen unternehmensübergreifender, d. h. interorganisationaler Zusammenarbeit sind jedoch in der Regel nicht auf bilaterale Beziehungen beschränkt. Erfolgt die Zusammenarbeit über mehrere Instanzen, kann dies als ein

⁴²Vgl. [Pic96, S. 261 ff.].

⁴³Vgl. [Pic96, S. 263].

⁴⁴Vgl. [Pic96, S. 264].

(Kooperations-)Netzwerk bezeichnet werden. Dieses Konzept der Unternehmensnetzwerke soll auch als Grundidee für ein hierarchieloses regionales Produktionsnetz dienen.

4.2.1.4 Bildung virtueller Netzwerke

Ein Kompetenznetz wird wie bereits erwähnt in der vorliegenden Arbeit als spezielle Form eines Virtuellen Unternehmens behandelt. Sinnvoll erscheint an dieser Stelle aufbauend auf Abschnitt 3.2 eine Einordnung der Kompetenznetze zunächst aus der Sicht eines Virtuellen Unternehmens. Die nach *Sydow/Winand*⁴⁵ unterschiedenen vier Netzwerkstypen lassen sich in einer Vier-Felder-Matrix illustrieren (Abbildung 4.3). Die Ordinate zeigt die Steuerungsform, was der Einteilung der Netzwerke in ein Spektrum zwischen Markt und Hierarchie entspricht. Die zweite Dimension betrachtet die zeitliche Stabilität.

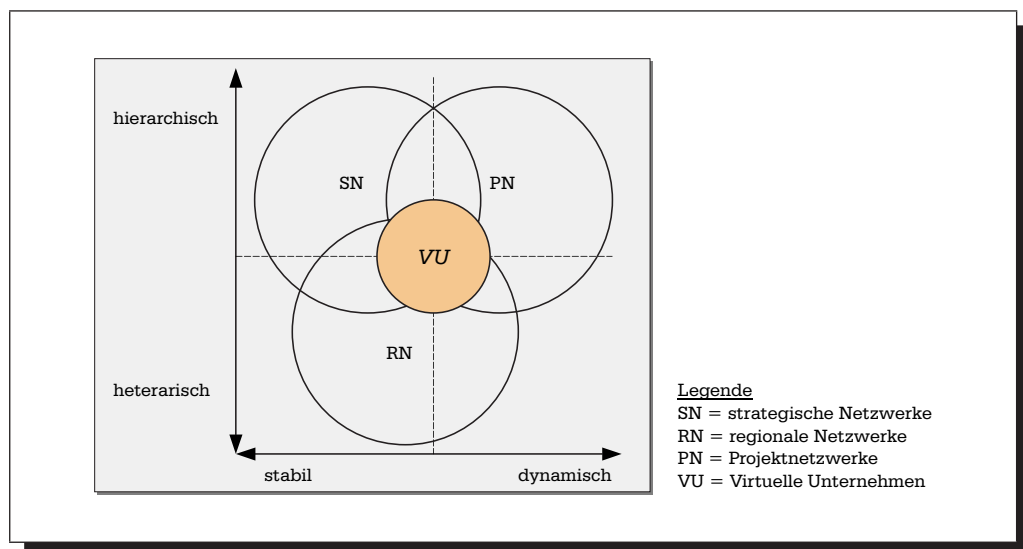


Abbildung 4.3: Typologisierung von Netzwerken

Bevor das Kompetenznetz mit seinen Facetten in diese Netzwerkstypologie übertragen wird, ist nochmals zu bemerken, dass in der bisherigen Forschung vernetzte Unternehmen untersucht wurden, während in dieser Arbeit ein Netzwerk aus Teilen von Unternehmen (Kompetenzzellen) im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Daher soll vor der Einordnung der Kompetenznetze

⁴⁵Vgl. [Syd98, S. 16].

in die Topologie zunächst geklärt werden, wie die bereits mehrfach erwähnten Kompetenzzellen definiert und strukturiert sind.

4.2.2 Kompetenzzellen

Die Kompetenzzelle (KPZ) ist der grundlegende Baustein eines hierarchielosen Produktionsnetzwerkes. Sie wird aus einer humanzentrierten Perspektive heraus modelliert. Kompetenz wird hierbei als psychologisches Phänomen betrachtet. Der Begriff Kompetenz umschreibt die kognitiven, konativen und expressiven Fähigkeiten eines Menschen, seine Aktivitäten zielgerichtet zu organisieren. Kompetenz ist eine notwendige Voraussetzung für jede virtuelle Unternehmenseinheit, die einen Geschäftsprozess realisiert. Bevor jedoch die Organisationseinheit, die die Bezeichnung Kompetenzzelle erhalten hat, eingeführt wird, sollen die für die Namensgebung benutzten Begriffe der Kompetenz (vgl. Begriff der Kernkompetenz in Abschnitt 2) und der Zelle einer genaueren Betrachtung unterzogen werden.

4.2.2.1 Nomen est Omen - Der Begriff der Kompetenzzelle

Wer weiß, was ein „Primary Strategic Human Resources Manager“ macht? Und wer kennt einen „Second Roadrunner for Public Marketing Detonation“? Kaum jemand, aber zahllose Namensgebungen in der Fachliteratur versprechen ähnlich rätselhafte Dinge, die oft zur intellektuellen Belustigung führen. Vielmehr sollte sich im Namen das Wesen dessen zeigen, der oder das ihn trägt. Kompetenzzelle sollte deshalb nicht ausschließlich als Vision, denn Visionen sind vielfach bewusst utopisch formulierte Traumbilder, die ihre Faszination nicht zuletzt aus der Unerreichbarkeit gewinnen, verstanden werden, sondern als elementarer Baustein eines praktikablen Konzeptes zur konzeptuellen Beherrschung der Modellierung von Wertschöpfungsnetzen. Dieser Unterabschnitt bringt dem Leser die Motivation zur Begriffsbildung näher.

Welche Fähigkeiten und Fertigkeiten ermöglichen den im Netzwerk handelnden Organisationseinheiten die notwendigen Aufgaben zu erfüllen und Netzwerk-Rollen zu übernehmen? *Picot et al.*⁴⁶ differenzieren (auch in Anlehnung an *Sydow*⁴⁷), die Fähigkeit zum Networking in die Dimensionen soziale und kommunikative Fähigkeiten, Integrationsfähigkeit, Verhandlungsgeschick sowie kognitive Fähigkeiten (z. B. Erkennen wesentlicher Zusammenhänge). Jede dieser Dimensionen beinhaltet auf der personalen und zu-

⁴⁶Siehe [Pic98, S. 436].

⁴⁷Siehe [Syd95a, Sp. 1622 ff.].

gleich auch auf der organisationalen Ebene sehr unterschiedliche Fähigkeitsaspekte, die in Abhängigkeit vom jeweiligen Kontext wie Art des Netzwerkes, Phase der Entwicklung, Anzahl der beteiligten Netzknoten, Schwierigkeit der Aufgabe etc. variieren können. Als Ordnungsrahmen für die Darstellung von Fähigkeiten wird der pädagogische Begriff der *Kompetenz* zugrunde gelegt, weil dabei von einer ganzheitlichen Sicht auf das Subjekt bzw. das Objekt ausgegangen und deren Fähigkeit zur Selbstorganisation eingeschlossen wird. Kompetenz umfasst diejenigen Fähigkeiten, Fertigkeiten, Wissensbestände und Erfahrungen einer Organisationseinheit (möglicherweise auch instanziiert), die ihr ermöglichen, die zunehmende Komplexität der Umwelt zu verstehen und durch zielgerichtetes und reflektiertes und verantwortliches Handeln zu gestalten⁴⁸. Unterschieden werden dabei vier wechselseitig miteinander verbundene Kompetenzbereiche: Fachkompetenz, Methodenkompetenz, soziale Kompetenz und Persönlichkeitskompetenz. Inhaltlich bestehen diese vier Bereiche der Handlungskompetenz aus den folgenden Aspekten⁴⁹.

Persönlichkeitskompetenz: beinhaltet sowohl verhaltensrelevante Persönlichkeitsmerkmale als auch Verhaltensdispositionen, die in unterschiedlichen sozialen Situationen den erfolgreichen Einsatz von Kenntnissen und Fähigkeiten erlauben. Die Persönlichkeitskompetenz ist assoziiert zu personellen Ressourcen und geht über die Modellierung der Prozessketten in die Fachkompetenz ein. Sie wird aus diesem Grunde nicht weiter betrachtet.

Fachkompetenz: subsumiert Kenntnisse und Erfahrungen in einem Fachgebiet (bspw. Marketing, Logistik, Informatik, Technik) und seinen Schnittstellen sowie die Fertigkeiten in der Anwendung des Wissens und der Verknüpfung seiner Elemente⁵⁰. *Bernien*⁵¹ schätzt ein, dass nur Fachkompetenz operationalisierbar und direkt messbar ist, da sie zu einem erheblichen Teil aus objektivierbaren und teilweise sogar funktional beschreibbaren Sachwissen besteht.

Methodenkompetenz: schließt situations- und fachübergreifende, flexibel einsetzbare kognitive Fähigkeiten ein. Dazu gehört die Fähigkeit, eine konzeptionelle Gesamtsicht (z. B. des Netzwerkes) zu entwickeln und setzt das Denken in strategischen Dimensionen voraus. Grundlage dafür sind

⁴⁸Vgl. hierzu [Son96, S. 56], [Ber97c, S. 28] und [Fre01a, S. 4].

⁴⁹Siehe hierzu [Mef92, S. 355 f.], [Erp96, S. 42 ff.], [Erp99, S. 159], [Ber97c, S. 33] und [Wal01, S. 134].

⁵⁰Siehe [Fre01a, S. 392].

⁵¹Siehe [Ber97c, S. 32].

Kenntnis und Beherrschung entsprechender Techniken, Methoden und Vorgehensweisen.

Sozialkompetenz: drückt sich in der Fähigkeit zur Wahrnehmung, Analyse und Beeinflussung sozialer Prozesse aus. Sie ist eine Voraussetzung, um in Interaktionssituationen bei unterschiedlichen Aufgaben eigene bzw. übergeordnete Ziele zu verfolgen, andere zu motivieren und Konflikte zu handhaben.

Methoden- und Sozialkompetenzen stellen implizites, verborgenes Wissen dar, welches nur schwer aus vorhandenen Informationen extrahiert werden kann⁵². Zudem ist es im Gegensatz zur Fachkompetenz ungleich schwieriger, diese Kompetenzen zu messen, zu bewerten und zu validieren. *Frieling et al.*⁵³ entwarfen mit dem *Kasseler Kompetenz-Raster* ein Instrument, welches sich an den vier Kompetenzbereichen orientiert und mehr oder weniger zur Analyse geeignet ist. Im begrifflichen Zusammenhang gibt *Freitag*⁵⁴ einen Überblick über verschiedene Netzwerkkompetenzen. Um die genannten Rollen und Aufgaben als Organisationseinheit in einem Netzwerk realisieren zu können, erlangen Methoden-, Sozial- und Fachkompetenz besondere Bedeutung. Welche Einzelfähigkeiten in den einzelnen Komponenten ganz konkret erforderlich sind, um bestimmte Anforderungen erfüllen zu können, hängt von der Spezifik des Netzwerkes und den Anforderungen der jeweiligen Situation ab.

In der betriebswirtschaftlichen Literatur wird der Begriff der Kompetenz seit einigen Jahren intensiv diskutiert⁵⁵. Für die Struktur einer Organisationseinheit ist die Unterscheidung von *Freitag*⁵⁶ in verfügbare Aktivposten (assets) und Fähigkeiten (capabilities) für die Kompetenz des koordinierenden Vermögens maßgebend. Von Kernkompetenz kann gesprochen werden, wenn die *VRIO*-Bedingungen *Value*, *Rareness*, *Imperfect Imitability* und *Organizational Specificity* erfüllt sind⁵⁷. *Duschek*⁵⁸ fordert zudem, dass Kernkompetenzen geschäftsprozessübergreifend⁵⁹ und synergetisch verzahnt sein müssen. Hierbei soll nicht stören, dass wechselweise von Kompetenzen

⁵²Hier ist auch der Ansatz für Wissensmanagement mit all seinen bekannten Methoden zu finden. Siehe auch [Fre01b, S. 129 ff.] und [Sch01c, S. 495 ff.].

⁵³Vgl. [Kau00, S. 38].

⁵⁴Siehe [Fre01a, S. 398 ff.].

⁵⁵Wie die bereits zitierte Literatur eindeutig belegt.

⁵⁶Siehe [Fre01a, S. 393].

⁵⁷Siehe hierzu [Ros00, S. 35].

⁵⁸Siehe [Dus98, S. 231].

⁵⁹Zwingend auch unternehmensübergreifend!

und Kernkompetenzen gesprochen wird. Für die vorliegende Arbeit ergab sich aus der eben aufgezeigten inhaltlichen Bedeutung der erste Wortteil der einzuführenden Organisationseinheit „*Kompetenzzelle*“.

Die Abbildung 4.4 soll am Beispiel eines Produktionsnetzwerks entsprechend der oben beschriebenen Kompetenzbereiche verdeutlichen, dass für die ganzheitliche, d. h. unternehmensübergreifende Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette vom ersten Lieferanten bis zum Kunden neben Fachkompetenzen insbesondere auch Methoden- und Sozialkompetenzen der in diesem Netzwerk handelnden Organisationseinheiten relevant werden.

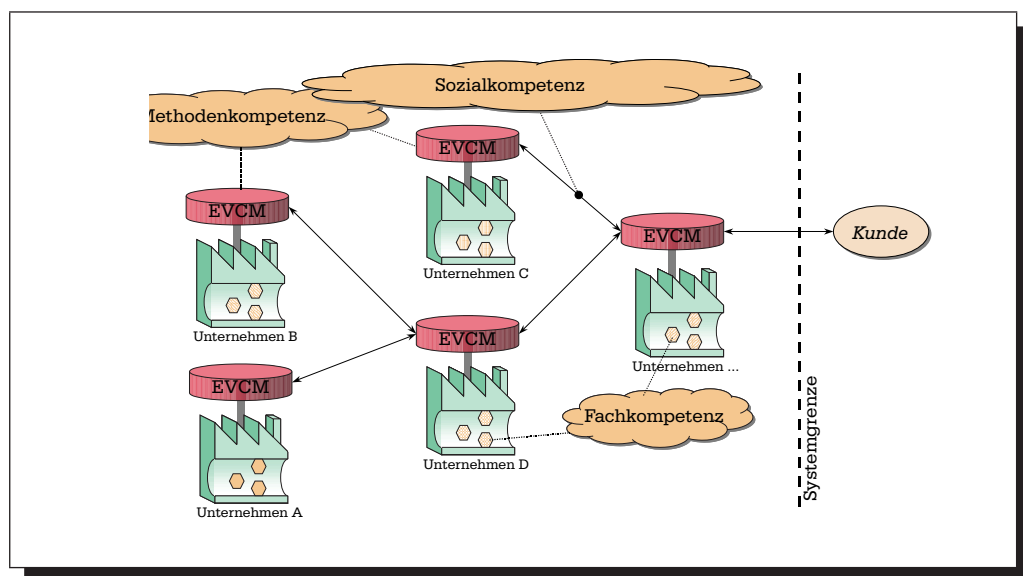


Abbildung 4.4: Kompetenzen in einem Netzwerk

Die Organisationseinheit „*Kompetenzzelle*“ ist in der vorliegenden Arbeit nur Mittel zum Zweck und soll deshalb im weiteren Verlauf nur ihrem Wesen nach beschrieben werden⁶⁰. Zweck ist, ein Managementkonzept zur unternehmensübergreifenden Abstimmung eines Wertschöpfungsnetzwerkes zu entwickeln. In der Abbildung 4.4 wird dieses Konzept durch die roten Scheiben oberhalb jedes Unternehmens repräsentiert. Diese Scheiben, die alle Teil des zu entwickelnden informationstechnischen Modellkerns sind, enthalten die Methoden zu Netzwerkgenese und -betrieb, die vom Kunden initiiert werden. Die Methodenkompetenz steht hierbei im Mittelpunkt des Interes-

⁶⁰Im Sonderforschungsbereich 457 gibt es spezielle Teilprojekte, die sich mit dieser Thematik ausführlich befassen. Siehe hierzu verschiedene Beiträge aus [Tei01m].

ses. Im Abschnitt 4.3 dienen die oben beschriebenen Kompetenzbereiche zur Entwicklung des Phasenmodells des Extended Value Chain Managements.

Der Begriff *Zelle* wird biologisch motiviert von *Wirth*⁶¹ eingeführt und referenziert die biologische Zelle als kleinste eigenständig lebensfähige Einheit aller Lebewesen⁶². Die Namensgebung weist explizit darauf hin, dass nicht die vorhandenen unternehmensinternen Leistungseinheiten (z. B. Segmente) miteinander kooperieren, sondern nur die Kompetenzen, die tatsächlich in der Prozesskette benötigt werden und nur diese. Damit wurde auf dem Forschungsgebiet der Produktionsnetzwerke ein internationales Alleinstellungsmerkmal etabliert.

4.2.2.2 Struktur

Allgemein kann das Konstrukt der Kompetenzzelle als eine Leistungserstellungseinheit verstanden werden, die hoch spezialisiert, kooperationsabhängig, aber autonom im rechtlichen und betriebswirtschaftlichen Sinn ist. Sie konstituiert sich aus einer Kombination von Produktionsfaktoren, um eine betriebswirtschaftlich relevante Leistung zu erbringen. Menschliche Arbeit ist dabei der Produktionsfaktor, welcher nahezu immer Bestandteil der Kombination ist, da nur einzelne Menschen oder Gruppen von Menschen Kompetenz tragen können⁶³. Der Begriff der Kompetenz wird als zentraler theoretischer Bezugspunkt in Abschnitt 4.3.3 nochmals aufgegriffen. Der Terminus „betriebswirtschaftlich relevant“ soll implizieren, dass die Zelle die Fähigkeit besitzt, auf der Basis ihrer erbrachten Leistungen zu existieren. Folgende Definition einer Kompetenzzelle (KPZ) soll für den Rahmen dieser Arbeit gelten:

Kompetenzzelle: ist die kleinste, nicht mehr sinnvoll teilbare Leistungseinheit der Wertschöpfung, die autonom lebensfähig in einem Netzwerk existieren kann. Die Kompetenzzelle vereinigt menschliche Kompetenzen⁶⁴ und ökonomische Ressourcen⁶⁵ und besitzt die Fähigkeit zur Selbstorganisation.

⁶¹Siehe [Wir99, S. 38 ff.].

⁶²Siehe [Bro99, S. 371].

⁶³Die Einschränkung auf „nahezu“ erfolgt, da nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, dass auch eine technische Komponente Kompetenz besitzen kann. In Bezug auf Entscheidungskompetenz besitzen heutzutage moderne Automaten in Echtzeitsituationen Autonomie bzgl. zu treffender Entscheidungen, da sie teilweise zuverlässiger arbeiten, als der Mensch.

⁶⁴Wissen, Anlagen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Bereitschaften, u. a.

⁶⁵Grundstücke und Gebäude, Arbeits- und Arbeitshilfsmittel, Material, Finanzmittel, u. a.

Die KPZ bilden sich aus bestehenden Unternehmen entsprechend der Kernkompetenzen. Ein Unternehmen kann somit eine oder mehrere KPZ besitzen. Eine KPZ gehört nicht notwendigerweise zu einem Unternehmen, denn sie könnte aus mehreren Unternehmen modellierungstechnisch hervorgehen. Diese Variante ist aber auch durch Kooperation von Kompetenzzellen, die jeweils nur mit einem Unternehmen assoziiert sind, abbildbar. Aus pragmatischen Gründen wie der Datenhoheit bei ERP-Systemen werden nur solche KPZ generiert, die einem Unternehmen zuordenbar sind.

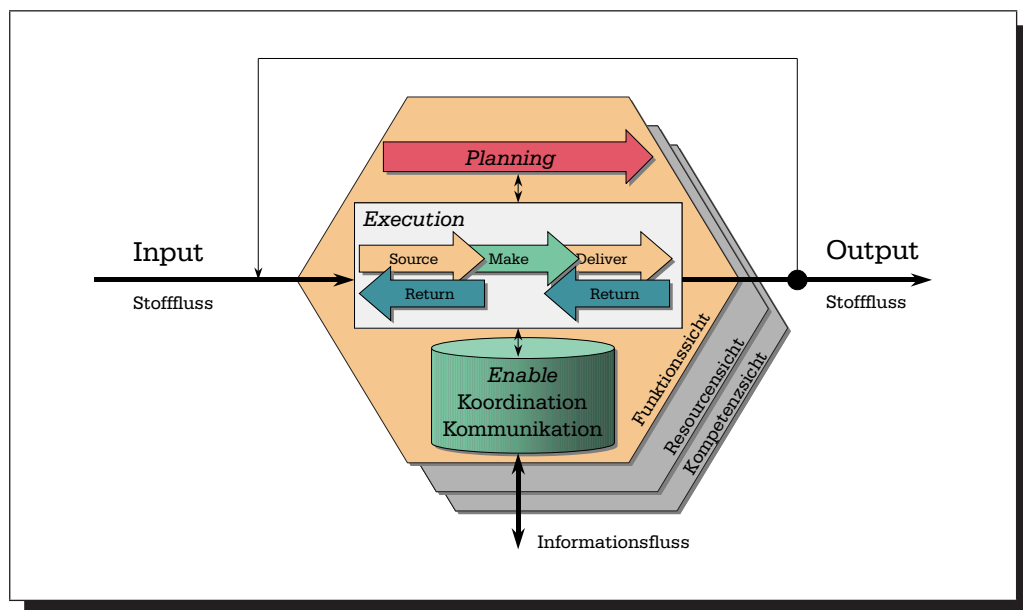


Abbildung 4.5: Sichten einer Kompetenzzelle

Die Abbildung 4.5 vermittelt einen ersten Eindruck zur Kompetenzzelle. Im Vordergrund der Betrachtung steht die funktionelle Beschreibung der Schritte von Geschäftsprozessen, die die Möglichkeit zur Erbringung einer Leistung beschreiben. Die Hauptprozesse *Planning*, *Execution* und *Enable* wurden bereits in Abschnitt 2.5.1.2 ausführlich erläutert⁶⁶. Eine Verfeinerung der Prozessebenen in Prozesskategorien ergibt sich aus den Anforderungen an die Prozessschritte selbst. Den nicht weiter sinnvoll teilbaren Prozessschritten werden Ressourcen zugeordnet⁶⁷.

⁶⁶Siehe hierzu die Abbildungen 2.20 und 2.21.

⁶⁷Die Vorgehensweise ist analog zur Modellierung der Sichten im *ARIS-Modell* von Scheer.

Die Autonomieeigenschaft einer KPZ ist erforderlich, um sie in die Lage zu versetzen, generelle Entscheidungen zu treffen. Diese Entscheidungen betreffen z. B. die Beteiligung an einer Kooperation oder die Akzeptanz des Gewinnanteils bzw. Verlustrisikos aus einer Kooperation. Desweiteren bildet die Entscheidungsfreiheit die Basis für eine Entwicklung der Zelle. Falls die KPZ nur eine Teilmenge der zur Lösung einer komplexen Aufgabe notwendigen Prozessschritte abdeckt, hat die Zelle zwei Optionen: entweder zu wachsen und die erforderlichen Kompetenzen zu entwickeln oder eine Kooperation einzugehen. Die erste Option erfordert Kompetenzerweiterung durch Lernen und okkupiert im Regelfall zusätzliche Ressourcen. Im Sinne des favorisierten systemischen Ansatzes ist diese Option aber notwendig, um die eigene Lebensfähigkeit durch Anpassung und Lernen sowie Selbstorganisation zu garantieren. Die zweite Option wird wahrgenommen, wenn die Anwendung der ersten Option nicht in einem sinnvollen Maße realisierbar ist. Die KPZ ist dann so stark auf eine spezielle Leistung fokussiert, dass eine Kooperation mit anderen Einheiten erforderlich ist, um Geschäftsprozesse abzudecken. Aber gerade diese Kooperationsfähigkeit von Spezialisten mit ihrer großen Flexibilität bildet die Chance, ein „Network of Excellence“ aufzubauen, fähig mit traditionellen Großunternehmen in Qualität, Herstellungspreis und -zeit zu konkurrieren und sie hinsichtlich der Befriedigung individueller Bedürfnisse und Anforderungen der Kunden sogar zu übertreffen.

Das Kompetenzprofil der KPZ, modelliert durch einen Angebotsvektor, definiert den Anwendungs- und Einsatzbereich der KPZ. Es bildet sich aus der Kombination der zur Ausführung erforderlichen Funktionen (Aktivitäten) und den dazu notwendigen Ressourcen. Es dient der Beschreibung der KPZ nach außen und damit zur Akquirierung von Aufträgen. In Kapitel 5 wird näher auf diesen Vektor eingegangen.

4.2.2.3 Aussagen zur Größe einer Kompetenzzelle

Bisher wurde noch nicht untersucht, ob es für eine Kompetenzzelle eine spezifische „Größe“ in Bezug auf die Menge der organisierten Kompetenzen gibt. Der Anspruch der Hierarchiearmut bzw. -losigkeit ließ in vorhergehenden Abschnitten bereits die Vermutung aufkommen, dass die KPZ im „Organisations“-Kontinuum eher marktnah angesiedelt ist. Dieser Abschnitt soll diese thesenhaft formulierte Vermutung unter Zuhilfenahme der Transaktionskostentheorie prüfen⁶⁸.

⁶⁸Siehe hierzu auch die Vorarbeiten in [Tei01a, Tei01c, Tei01e].

4.2.2.3.1 Nicht-Markt-Strukturen als Kostensparer

In heutigen Volkswirtschaften arbeiten die meisten Menschen in komplexen Wirtschaftsstrukturen. Hier findet der größte Teil der Wertschöpfung statt und die Effizienz des gesamten Wirtschaftssystems wird von diesen Organisationen beeinflusst. Ziel des erstmals 1937 veröffentlichten und lange Zeit wenig beachteten Essays „*The Nature of the Firm*“ ist die Präzisierung des Unternehmensbegriffes und die Aufdeckung des Grundes für die Existenz von hierarchischen Strukturen⁶⁹, einem Phänomen, welches eigentlich nicht so recht in die auch heute noch vorherrschende neoklassische Lehre der Volkswirtschaft passen will, nach der nur die Marktkräfte Garant für effizientes Wirtschaften sind. Viele Ökonomen fassen die Wirtschaftsordnung nicht als ein bewusst gesteuertes System, sondern als einen selbstständig arbeitenden Organismus auf. Die Verwendung und Verteilung der Ressourcen wird dabei direkt vom Preismechanismus bestimmt.

Die Realität jedoch ist eine vielfältigere. Neben den Preismechanismus treten mehr oder minder hierarchische Unternehmensstrukturen. Bei näherer Betrachtung besteht der gesamte Markt aus einer Vielzahl von Planungsinself. Die Ursache für deren Existenz sieht *Coase* in Reibungsverlusten, welche bei der Anbahnung und Abwicklung von Transaktionen auf dem Markt auftreten. Die Funktion eines zentralisierten, hierarchisch aufgebauten Unternehmens ist der bewusste Verzicht auf den Preismechanismus und eine dadurch erzielte Vermeidung von Kosten. Diese werden hauptsächlich durch zwei Faktoren bestimmt. Am offensichtlichsten treten dabei die Anstrengungen für die Beschaffung von Informationen über Höhe und Vergleichbarkeit aller relevanten Preise zu Tage. Der zweite wichtige Kostenpunkt betrifft die Aufwendungen für Vertragsverhandlungen oder Vertragsabschlüsse, die jedem Austausch auf dem freien Markt zugrunde liegen. Beide Kostenarten können durch auf dem Markt agierende Mittler zwar reduziert, jedoch nie vollständig beseitigt werden. Darüber hinaus wird die Bildung von Unternehmen noch durch andere Umstände begünstigt. Die unterschiedliche Behandlung von Marktbeziehungen und unternehmensinternen Vorgängen durch staatliche Stellen (erinnert sei hier nur an die Wirkung von Verkaufssteuern), gehört hier ebenso dazu wie die Reduktion von Planungsunsicherheiten und die Verringerung der Zahl der Vertragsschlüsse durch langfristige Bindungen. Die Gestaltung dieser Verbindungen ist für *Coase* das Hauptkriterium, um von einem Unternehmen zu sprechen.

Werden die Konditionen zwischen Abnehmer und Kunde langfristig festgelegt, so geschieht dies in aller Regel relativ allgemein. Bestimmt wird die

⁶⁹So erläuterte der Autor selbst in [Coa88, S. 5].

genaue Ausgestaltung dann erst im Laufe der Zeit durch den Käufer. Der Lieferant ist (im Rahmen des vertraglich Vereinbarten) an den Abnehmer und dessen Weisungen gebunden. Besonders gilt dies für Anbieter des Faktors Arbeit. Ein System aus derartigen Beziehungen, in dem die Ressourcen im Wesentlichen einseitig von einer einzelnen Person – dem Unternehmer – gesteuert werden bezeichnet *Coase* als Unternehmen⁷⁰. Diese Definition ist unter Vertretern des Transaktionskostenansatzes nicht unumstritten. Hauptargument ist, dass Ein-Personen-Betriebe von ihr nicht erfasst werden können. Dem ist allerdings entgegenzuhalten, dass das *Coase'sche* Unternehmen etwas inhaltlich anderes meint. Zur Verdeutlichung dieser Diskussion sei dazu stellvertretend auf *Hodgson*⁷¹ verwiesen. Das Augenmerk liegt hier weniger auf der Produktionseinheit. Diese kann durchaus aus einem einzelnen Handwerker oder Dienstleister bestehen. Der wesentliche Punkt ist hier der Ersatz von Marktstrukturen durch einseitige ökonomische Abhängigkeitsverhältnisse und hierarchische Entscheidungsstrukturen. Vor dem Hintergrund der bisherigen Argumentation stellt sich die Frage, warum der Markt nicht systematisch durch eine einheitliche Unternehmensstruktur verdrängt wird.

Zur Erklärung wird zunächst auf die Organisationskosten verwiesen. Diese steigen um so stärker, je mehr Transaktionen bereits internalisiert sind. Eine zweite Ursache liegt im menschlichen Versagen des Managements begründet. Dieses ist ab einer genügend großen Anzahl nicht mehr in der Lage, alle Prozesse zu überblicken und sämtliche Produktionsfaktoren ihrer erstbesten Verwendung zuzuführen. In beiden Fällen sinkt mit wachsender Größe die Effizienz der Unternehmensstruktur. Die Unternehmensgröße ist in diesem Zusammenhang nicht in Abhängigkeit von Umsatz oder Personalumfang zu sehen. Entscheidend ist hier vielmehr die Anzahl der internalisierten Transaktionen. Irgendwann wird ein Punkt erreicht, wo die internen Kosten die eingesparten Marktbenutzungsgebühren überschreiten. Bleibt die Anzahl der Transaktionen jedoch unter dieser Schwelle, so ist das Unternehmen in der Lage, Leistungen unter dem Marktpreis zu erstellen und anzubieten. Die optimale Unternehmensgröße wird von der Balance aus internen (d. h. Organisationskosten) und externen (d. h. Marktbenutzungskosten) Transaktionskosten bestimmt. Anderen Erklärungsversuchen für die optimale Unternehmensgröße, wie mittels Grenzerlösen, ist demnach eine Absage zu erteilen. Diese Ablehnung hat mehrere Ursachen. Die erste liegt in der Struktur jener Erklärungsmodelle. In ihnen werden oftmals Ein-Produkt-Unternehmen betrachtet. Diese Vereinfachung hält in (fast) allen Fällen jedoch nicht der Realität stand. *Coase* führt hier zurecht an, dass auch bei sinkenden Grenz-

⁷⁰Vgl. dazu [Coa37, S. 387 ff.].

⁷¹Siehe [Hod93].

erträgen ein weiteres Wachstum durchaus möglich ist. Dazu kann es schon genügen, die Produktpalette umzustellen oder zu erweitern. Der weitaus bedeutendere Grund liegt jedoch in der unterschiedlichen Interpretation des Begriffs „Größe“. Dabei geht es hier, wie bereits erwähnt, weniger um einen maximalen Output, als um Summe und Struktur der internalisierten Aktivitäten. Daraus folgt auch eine umfassendere volkswirtschaftliche Definition des Monopolbegriffs, die über die des Angebotsmonopols weit hinaus geht⁷².

Neben den bereits beschriebenen anweisungs- bzw. marktgesteuerten Wirtschaftsstrukturen existiert eine breite Spanne kooperativer Strukturen. Dazu gehören auch die Produktionsnetzwerke. In der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung existieren zu deren Einordnung unterschiedliche Ansichten. Während die vorherrschende Meinung sie als hybride Formen in einem Kontinuum mit den Endpunkten Markt und Hierarchie einordnet, besteht auch die Auffassung eines eigenständigen Koordinationsmusters⁷³. Diese Ansicht lässt sich nicht so ohne weiteres von der Hand weisen. Schließlich sollen die Netze auch über Merkmale wie Vertrauen und Kooperation verfügen. Vor diesem Hintergrund sind Bedenken über die hybride Natur von Netzwerken durchaus verständlich. Ebenso lassen sich Argumente finden, die die Existenz eines Markt-Hierarchie-Kontinuum prinzipiell hinterfragen. Bei einer Unternehmenshierarchie handelt es sich nicht einfach um das Gegenteil vom Markt, da sie auch durch andere Elemente als Anordnungsmechanismen geprägt ist. Verwiesen sei hier nur auf Unternehmenskultur und Corporate Identity. Ebenso ist bei einem Bezug von Leistungen über den Markt die Hierarchie aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht zwangsläufig verschwunden. Sie ist vielmehr einfach an einer anderen Stelle angesiedelt. Trotz der vorgebrachten Kritikpunkte soll hier der Kontinuumsgedanke weiterverfolgt werden. Auch dafür gibt es vernünftige Gründe. Das Netzwerkmodell beinhaltet sowohl Marktelemente wie Vertrag und Preismechanismus, als auch unternehmens-typische Kontrollmechanismen. Das entspricht sowohl den Grundannahmen des Transaktionskostenansatzes, als auch denen der Produktionsnetzwerke.

4.2.2.3.2 Der Transaktionskostenansatz

An dieser Stelle sollen die einführenden Gedanken zur Transaktionskostentheorie aus Abschnitt 3.2.1.2 vertieft werden. Der Transaktionskostenansatz ist, wie bereits beschrieben, unter dem Ansatz des Neuen Institutionalismus einzuordnen, der im zweiten Drittel des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde.

⁷²Siehe hierzu nicht nur das Original [Coa37, S. 401 ff.], sondern auch [Coa88, S. 64 ff.], wo wiederum eine nachträgliche Präzisierung vorgenommen wird.

⁷³So zum Beispiel zu finden in [Kre97, S. 325].

Ursache war das immer deutlichere Zutagetreten von Unzulänglichkeiten in der neoklassischen Lehre. Besonders die regelrechte Ausblendung real vorhandener institutioneller Gegebenheiten wurde als unbefriedigend empfunden. Die Schriften von *Coase* – und hier besonders der bereits erwähnte Artikel „*The Nature of the Firm*“, aber auch „*The Problem of Social Cost*“ – können zweifelsohne als Ursprung dieses neuen Zweiges der Volkswirtschaft bezeichnet werden. *Coase* muss dies wohl auch selbst so sehen, da er die meisten Arbeiten der Neoinstitutionalisten mehrfach und ausdrücklich als in seinem Geiste würdigt⁷⁴. Selbst gestellter Anspruch des Neuen Institutionalismus ist die explizite Berücksichtigung und Erklärung von *governance structures* sowie die Gestaltung des institutionellen Rahmens. Definiert wird das Wesen von Institutionen als ein auf bestimmte Ziele abgestelltes System von Normen. Zu ihnen gehören auch Überwachungs- und Garantieinstrumente zur Durchsetzung dieser Normen. Sie haben die Aufgabe einer zielgerichteten individuellen Verhaltenssteuerung. Gekennzeichnet werden die unterschiedlichen Ansätze des Neuen Institutionalismus durch eine Reihe gemeinsamer Grundannahmen.

Eigennutzstreben: Die Wirtschaftssubjekte haben stabile und konsistente individuelle Präferenzen und sind nur auf den eigenen Vorteil bedacht.

zweckrationales Verhalten: Die einzelnen Wirtschaftssubjekte verhalten sich zur Erreichung ihrer ökonomischen Ziele zweckgerichtet rational.

methodologischer Individualismus: Die zu untersuchenden Institutionen wie Unternehmen sind keine eigenständig handelnden Subjekte. Zur Erklärung ihres Verhaltens ist der Rückgriff auf einzelne Individuen nötig.

Tauschparadigma: Alle sozialen Beziehungen basieren auf Austauschbeziehungen. Freiwillige Bindungen (z. B. Familie) gelten ebenso als stillschweigender wirtschaftlicher Vertrag zwischen den beteiligten Parteien wie prinzipiell auch Zwangssysteme (wie Sklaverei).

Transaktionskosten: Eine Null-Transaktionskosten-Welt ist eine realitätsfremder Idealtyp. Transaktionskosten treten zwangsläufig bei der Anbahnung und der Aufrechterhaltung sozialer Beziehungen auf.

Effizienzstandard: Die Neue Institutionen Ökonomik geht von der Existenz einer First-Best-Solution aus, bei welcher der gesamtwirtschaftliche Wohlfahrtsverlust idealerweise Null ist. Ursache für die (immer

⁷⁴Vgl. [Coa84, S. 229 ff.].

spontane) Herausbildung von Institutionen ist dabei die effiziente Gestaltung von Transaktionen.

Diese kleine Aufzählung verdeutlicht, dass das Ziel des Neuen Institutionalismus bei aller vorgebrachten Kritik keineswegs die Abschaffung der Neoklassik ist. Vielmehr geht es um deren Weiterentwicklung und Erneuerung. Dies zeigt sich auch in der Verwendung des neoklassischen Erklärungsschemas als Analyseinstrument. Der Neoinstitutionalist *North* ging in seiner Behauptung so weit, das eine Aufgabe dieses logisch-analytischen Skelettes einer Aufgabe des wissenschaftlichen Anspruchs gleich kommt⁷⁵.

Vorangetrieben wurde der Transaktionskostenansatz vorrangig von *Williamson*. Er gilt noch heute als der Hauptvertreter dieser Theorie. In seinen Schriften wurde das gesamte Gerüst dieses Ansatzes entwickelt und ausgearbeitet. *Williamson* betrachtet, wie auch schon der amerikanische Altinstitutionalist *Commons*, die Transaktion als elementare Einheit des Wirtschaftens. Dabei handelt es sich definitionsgemäß um eine soziale Beziehung in Form des zweckbezogenen Austausches, bzw. des Übertrages von Verfügungsrechten. Die Rede ist dabei im Regelfall nicht vom eigentlichen physischen Tauschakt. Vielmehr geht es um die Festlegung von Rechten und Pflichten der beteiligten Parteien im Rahmen kollektiver Regeln. Genauer: Transaktionen bezeichnen sozioökonomische Leistungsbeziehungen, die sich immer auch als Vertragsproblem definieren lassen. Die bei Anbahnung und Abwicklung von Transaktionen unter bestimmten organisatorischen Rahmenbedingungen entstehenden Reibungsverluste werden hierbei als Transaktionskosten bezeichnet. Ihr Umfang geht jedoch über die enge Bedeutung des deutschen Kostenbegriffes weit hinaus. Sie umfassen ebenso Opportunitätskosten. So erstrecken sie sich auch auf Zeitverbrauch und aufgewandte Mühe sowie Nachteile durch verpasste Gelegenheiten. Diese sehr weitreichende Bedeutung verursacht jedoch enorme Erfassungsprobleme. In der Regel können sie nicht als genau mess- oder bestimmbar betrachtet werden. Vielmehr handelt es sich bei Ihnen eher um ein didaktisches Hilfsmittel. Folgerichtig endeten auch alle bisherigen Versuche der Messung des Kostenumfanges bei Ungefähr-Abschätzungen.

Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, können die eingeführten Kostenarten auf Seite 129 unter Beachtung des Einsatzes moderner IuK-Technologien und einer mittleren Faktorspezifität sowie mit Bezug auf Produktionsnetzwerke in Anlehnung an die Argumentation von *Appel*⁷⁶ in Ex-ante- sowie Ex-post-Kosten weiter untersetzt werden.

⁷⁵Siehe hierzu [Ter94, S. 82 ff.].

⁷⁶Siehe [App98]. Vgl. hierzu auch [Jä00, S. 120 ff.].

Ex-ante-Kosten:

- *Suchkosten:* Kosten für Partnersuche, Alternativhandlungen etc. Ein standardisiertes IuK-System kann in der Regel die Suchkosten verringern, da der Zugriff auf wichtige Informationen von potenziellen Kooperationspartnern in Form von anderen Kompetenzzellen erleichtert wird und zeitlich ungebunden erfolgen kann. Über das Internet ist eine weltweite Verfügbarkeit möglich. Ein abgestimmter Datenübertragungsstandard für alle Kompetenzzellen eines stabilen Netzwerkes verringert die Suchkosten abermals. Im Zuge der Selbstorganisation der Kompetenzzellen ist nach Beendigung der Tätigkeit in einem dynamischen Netzwerk eine schnelle und erfolgreiche Suche nach neuen Kooperationsmöglichkeiten möglich. Werden die Suchkosten auf die verschiedenen Kooperationsmöglichkeiten bezogen, so sind sie bei marktlicher Koordination besonders hoch, da Partner und Informationen in der Regel extern gesucht werden müssen. Für hybride Formen ist eine schnelle Abnahme der Kosten vorstellbar, da die statischen Netzwerke schon den Pool potenzieller Kooperationspartner beinhalten, aus denen dynamische Netze gebildet werden. Praktisch kaum Suchkosten entstehen in Hierarchien, da alle Kooperationen vorgegeben sind und organisationsintern realisiert werden.
- *Informationskosten:* Kosten für Informationsbeschaffung/-austausch. Informationskosten entstehen durch mangelnde Information vor oder während der Kooperation. Diese Kostenart entsteht u. a. durch Benutzung verschiedener Übertragungsstandards bzw. Dialekte beim Electronic Data Interchange. Informationskostensenkungspotenziale können dann realisiert werden, wenn jeder Netzwerkteilnehmer die Möglichkeit hat, auf Geschäftsdaten zeitgleich mit anderen Netzwerkteilnehmern zuzugreifen und die Anzahl der Medienbrüche minimiert wird. Die Analyse lässt wiederum auf relativ hohe Transaktionskosten bei marktlicher Koordination schließen. In diesem Fall liegt weder eine einheitliche Sprache (bei Global Playern) vor, noch ist derzeit ein harmonisiertes IuK-System zu erwarten. Vorteilhafter sind hybride Organisationsformen wie Netzwerke und Hierarchien (Unternehmen). Das harmonisierte IuK-System im Netzwerk lässt auf geringere Transaktionskosten ähnlich wie beim Unternehmen schließen. Bei hierarchischer Organisation können die Informationskosten durch veraltete Informationstechnik oder verschiedene Systeme unter Umständen sogar höher als im Netzwerk sein, welches eine moderne IuK-Technologie existenziell voraussetzt.

- *Entscheidungskosten:* Kosten für Kompromissfindung mehrerer Entscheidungsträger, inkorrekte Vertragsabschlüsse, falsche Entscheidungen etc. Diese Kostenart entsteht, wenn mehrere Akteure eine Entscheidung treffen müssen. Kompromisse zu finden kann eine sehr zeitaufwändige Angelegenheit sein, verbunden mit entsprechend hohen Kosten. Die Rolle der IuK-Technologie bei dieser Transaktionskostenart kann eher als untergeordnet bezeichnet werden, denn im Mittelpunkt stehen bei dieser Transaktion die Akteure, in der Regel also Menschen. Die Kosten einer Vertragsverletzung dürften am niedrigsten für dynamische Netzwerke ausfallen, da opportunistisches Verhalten im dynamischen Netzwerk keine Vorteile für die Akteure bringen kann. Der Anreiz, einen Vertrag zu brechen, ist beim Netzwerk geringer, als bei Markt oder Hierarchie.
- *Verhandlungskosten:* Kosten für Verhandlungsführung, für auftretende Missverständnisse, zeitliche Ausdehnung etc. Kosten während des Prozesses der Verhandlung werden als Verhandlungskosten bezeichnet und können Kosten für Anwälte, Unternehmensberater und Kosten für Reisen und Reisezeit beinhalten. Die Rolle der IuK-Technologie ist derzeit als untergeordnet anzusehen.
- *Abschreckungskosten:* Kosten für durch unklare Situation oder sonstige Unsicherheiten entgangene Transaktionen. Um Abschreckungskosten senken zu können, muss die Sicherheit der Informationsversorgungstechnologie einen hohen Standard aufweisen. Das bedeutet, dass opportunistisches Verhalten von Partnern oder anderen Akteuren von außerhalb des Netzwerkes keinen fruchtbaren Boden finden darf. Da jede beteiligte Kompetenzzone ihre Kernkompetenzen in das dynamische Netzwerk einbringt, muss sichergestellt werden, dass im Informationsversorgungssystem nur die Daten abgerufen werden können, die direkt mit dem Zweck der Virtuellen Organisation in Zusammenhang stehen.
- *Vereinbarungskosten:* Kosten für Einigung, Vertragsfixierung etc. Juristische Aspekte werden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt.

Ex-post-Kosten:

- *Kontrollkosten:* Kosten für Gewährleistung der Vereinbarung. Kontrollkosten fallen für die Anpassung und Überwachung von Ergebnissen aus Transaktionen an. Dazu gehören Kosten der Abwicklung von Lohnzahlungen, der Qualitätssicherung und der Beibehaltung und Überwachung des technischen Standards. Bei dieser Transaktionskostenart kann ein

effizientes IuK-System dazu beitragen, die Kosten zu senken. Insbesondere sorgen Tracking und Tracing Methoden für Transparenz im Produktionsnetz. Die Kontrollkosten liegen in der Hierarchie niedriger, als beim Markt. Dies ist auf den Einsatz effizienter Kontrollmechanismen der Hierarchie zurückzuführen. Bei marktlicher Koordination fällt die Kontrolle erheblich schwerer. Eine vollständige Kontrolle aller Marktteilnehmer erscheint unmöglich.

- *Handhabungskosten:* Kosten für die Koordination unterschiedlicher, gleichzeitig ablaufender Transaktionen. Als Handhabungskosten werden Kosten durch das Management von Kooperationsbeziehungen insbesondere Kosten für die menschliche Arbeitskraft und Kosten für die Definition von Geschäftsprozessen bezeichnet. Ermöglicht die IuK-Technologie eine störungsfreie und pausenlose Kommunikation der Teammitglieder ohne zeitliche Restriktionen, so sind erhebliche Kosteneinsparungspotenziale vorhanden. Eine Aussage bezüglich der Kostenentwicklung für die einzelnen Koordinationsmöglichkeiten ist schwierig, da die Operationalisierung dieser Kostenart Probleme bereitet. Es ist aufgrund der enormen Flexibilität durch Kompetenzvernetzung davon auszugehen, dass die Kosten im Produktionsnetz bei Einsatz einer effizienten IuK-Technologie am stärksten reduziert werden können.
- *Anpassungskosten:* Kosten für die nachträgliche Umgestaltung von bereits getroffenen Vereinbarungen. Zu den Anpassungskosten gehören Kosten, die durch Veränderungen der Transaktionsbedingungen entstehen. Dazu gehören insbesondere Kosten durch die Einführung neuer Gesetze, die Festlegung neuer Standards für die Informations- und Kommunikationstechnologie oder im operativen Bereich Kosten durch Ausfall und Ersatz von Kooperationspartnern. Um für die Virtuelle Organisation Kostenvorteile bei Anpassung zu erreichen, ist ein hoher Flexibilitätsgrad der IuK-Technologie notwendig. Dadurch wird eine schnelle Reaktion auf Veränderungen der Umwelt ermöglicht. Außerdem kann sich ein ständiger Kontakt zum Unternehmensumfeld als vorteilhaft erweisen, wenn potenzielle Störungen möglichst früh erkannt werden sollen. Die Argumente lassen auf Kostenvorteile für die Netzwerkorganisation besonders gegenüber der Hierarchie schließen.
- *Ausführungskosten:* Kosten durch verschleppte oder falsche Umsetzung. Ausführungskosten als Transaktionskostenart treten bei einer Anhäufung von Aktivitäten ein, die unmotiviert oder fehlerhaft durchgeführt werden. Dazu gehört zum Beispiel die Verschleppung von Vorgängen an einer bestimmten Stelle im Wertschöpfungsprozess.

- *Beendigungskosten*: Kosten für die Annullierung von Vereinbarungen. Auch dieser juristische Aspekte wird nicht weiter verfolgt.

In Abbildung 4.6 findet sich eine graphische Übersicht mit dem qualitativen Verlauf aller betrachteten Transaktionskostenarten für ein Produktionsnetzwerk (PN) im Kontinuum zwischen Markt (M) und Hierarchie (H).

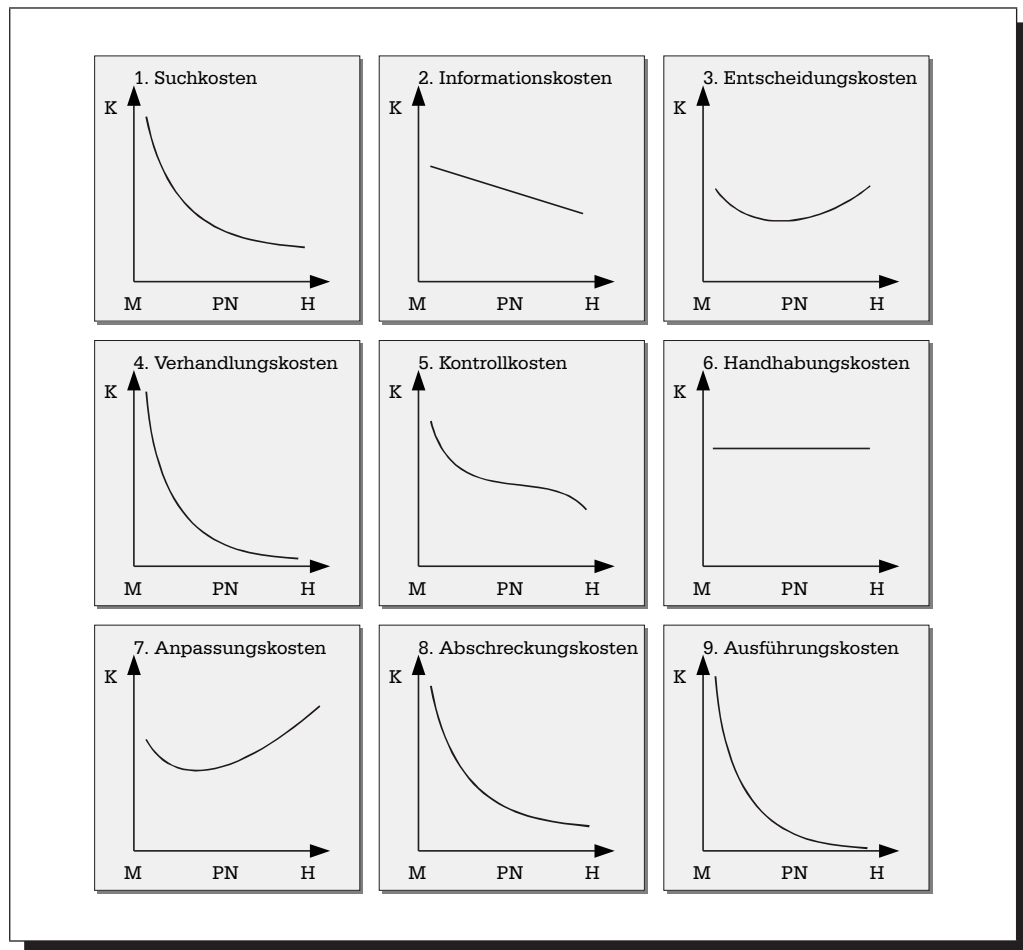


Abbildung 4.6: Partielle Betrachtung der Transaktionskosten im Netzwerk

Durch die qualitative Schätzung des Verlaufs der Kostenkurven kann keine theoretisch sinnvolle und begründbare Aussage über die Anstiege der Kosten im Definitionsbereich zwischen Markt und Hierarchie getroffen werden. Das Dilemma wird deutlich, wenn wie in der Abbildung 4.7 der Versuch einer Kostenaggregation unternommen wird.

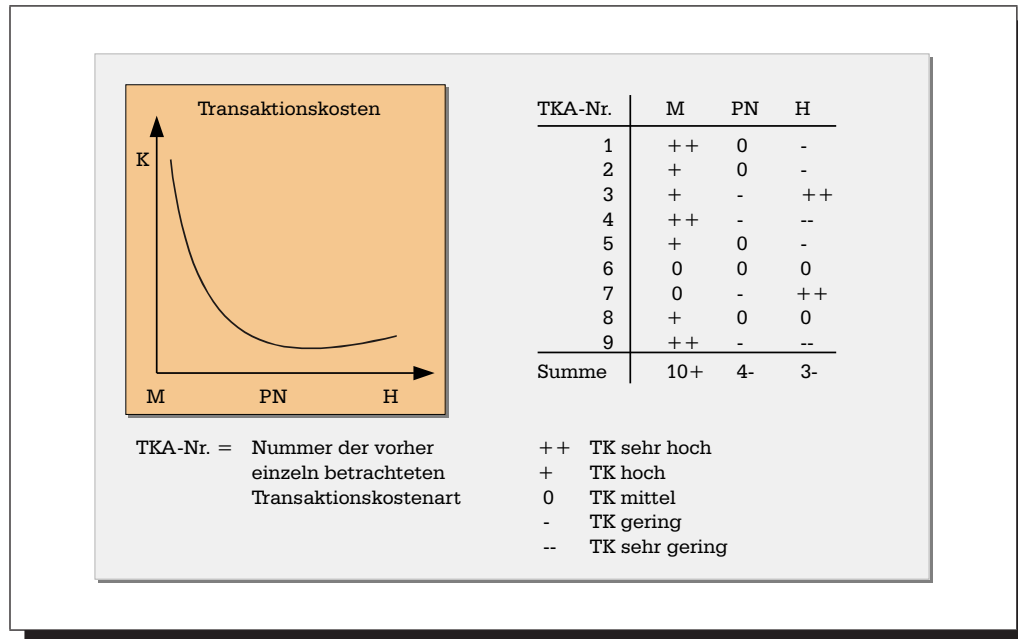


Abbildung 4.7: Gesamtbetrachtung der Transaktionskosten im Netzwerk

Aus Abbildung 4.7 kann mit der notwendigen Kreativität der Kurvenverlauf so gestaltet werden, dass die hybride Form eines Produktionsnetzwerkes Vorteile gegenüber der hierarchischen Organisation aufweist. Dies entspräche auch der Intuition. Allerdings lassen sich im *Churchill'schen* Sinne auch andere Resultate generieren. Insofern führt die Transaktionskostenaggregation zu keinem seriösen, wissenschaftlich verwertbaren Ergebnis.

Das Konzept des Extended Value Chain Managements soll ungeachtet dessen vor allem die Reduzierung der Kostenarten für Suche, Informationsbeschaffung, Ausführung und Handhabung maßgeblich unterstützen und die Vorteile vom Markt auf der einen Seite und Hierarchie auf der anderen innerhalb der hybriden Form des Produktionsnetzwerkes zusammenführen. Es ist zu vermuten, dass in diesem Falle das Produktionsnetzwerk eine Entwicklung zur priorisierten Organisationsform vollzieht.

Entscheidend für Transaktionsverlauf und anfallende Kosten ist die Art des Verhandlungsgegenstandes. Zur Beschreibung stehen mehrere Dimensionen zur Verfügung. Als Hauptkriterium kann hierbei die oben bereits erwähnte Faktorspezifität betrachtet werden. Es gilt: je größer die Quasi-Rente ist, um so spezifischer ist auch die Transaktion. Die Quasi-Rente beschreibt dabei die Kosten, die entstehen würden, wenn die eigens für eine Transaktion getätigten Investitionen nicht für diese, sondern die zweitbeste Möglichkeit einsetzen

würden. Eine hohe Faktorspezifität ist somit mit einer starken Bindung an den Transaktionspartner gleichzusetzen. Hier besteht keine Marktsituation mit einer Vielzahl von Anbietern mehr, sondern der Zustand eines bilateralen Angebotes. Diese Situation ist geeignet, einen Partnerwechsel zu verhindern, obwohl Transaktionen nur noch unter sehr hohen Kosten zustande kommen. Einfluss auf die Höhe der Faktorspezifität haben der Standort, das verwendete Sachkapital (hochspezifisch und/oder unspezifisch, aber für speziellen Einsatz beschafft) und der personelle Bildungs- und Erkenntnisstand, der direkt die Kompetenz des Netzwerkpartners determiniert.

Die zweite Dimension ist die Häufigkeit, genauer die Wechselwirkung aus Tauschwert und Zahl der Transaktionen. Besonders hohe Kosten wirken nur dann nicht abschreckend, wenn eine ausreichend hohe Zahl an Abschlüssen wahrscheinlich ist, da mit deren Zahl Erkenntnisgewinn und Spezialisierungsvorteile steigen. Die Unsicherheit bezeichnet sowohl das Verhalten des Partners, als auch äußere Einflüsse, die von keiner Vertragspartei beeinflusst und vorhergesagt werden können. Besonders bei hoher Faktorspezifität wird dieser Gesichtspunkt relevant, da Anpassungsmechanismen implementiert werden müssen⁷⁷. Als letztes wäre noch die Transaktionsatmosphäre zu nennen. Sie enthält das kulturell-gesellschaftliche und das technologische Umfeld der Verhandlungen. Von *Williamson* selbst wurde sie zwar nicht als eigenständige Dimension aufgefasst, jedoch mehrfach in ihrer herausragenden Bedeutung erwähnt. Da sie jedoch zur massiven Beeinflussung der Transaktionskosten geeignet ist, ist ihre Charakterisierung als vierte und gleichzeitig problematischste Dimension durchaus angebracht. Die Schwierigkeiten, die sich aus ihr ergeben, lassen sich schon daran ermesen, dass sie in den meisten Betrachtungen zum Transaktionskostenansatz (trotz immer wieder betonter Bedeutung) regelmäßig ausgeblendet wird. Die Ursachen dafür werden im Folgenden noch betrachtet⁷⁸.

4.2.2.3.3 Der institutionelle Rahmen zur Transaktionsabwicklung

Hauptaufgabe von Institutionen ist die Bereitstellung von Vertrags- und Kontrollsystemen, die einerseits der begrenzten Rationalität Rechnung tragen sollen und auf der anderen Seite die Gefahren opportunistischen Verhaltens mildern. Allerdings ergeben sich hier durchaus Probleme bei der genauen Klärung der Quelle institutioneller Systeme. Es lässt sich mit Sicherheit nicht jede gesellschaftlich relevante Institution unter Kostengesichtspunkten

⁷⁷Siehe hierzu [Wil90, S. 59 ff.].

⁷⁸Vgl. dazu auch [Die94, S.28] und [Dö98].

erschöpfend deuten und begründen, würde dies doch konsequent zu Ende gedacht bedeuten, dass auch Weltanschauungen und jede Form von Normen (ob gesetzlich oder moralisch) ihre Ursache in einer Transaktionskostenminimierung haben. Auch die umgekehrte Herangehensweise ist problematisch. Da das Prinzip der schwachen Auslese gilt, wird unterstellt, dass über längere Zeiträume gesehen die ineffizientesten Koordinationsformen untergehen. Völlig ausgeblendet wird dabei die Möglichkeit, dass reelle Machtverhältnisse, gesellschaftliche Wertesysteme oder die Notwendigkeit zu radikalem Umdenken die Implementierung wesentlich effizienterer Lösungen ebenso unterbinden können wie sehr hohe Abschreckungskosten. Es wird pauschal behauptet, dass die Wirtschaftssubjekte Effizienzüberlegungen nicht auf Dauer ignorieren können. Daraus wird in der Transaktionskostentheorie bisweilen die These hergeleitet, dass alle langfristig existierenden Organisationen unter Kostengesichtspunkten effizient sein müssen. Die Falsifikation einer einmal getroffenen Effizienzaussage ist letztlich nicht möglich, weil die Struktur der Transaktionskosten eine permanente Einführung von ex-post Variablen (d. h. bisher unerkannter Kostenfaktoren) zulässt. Da die Kosten in ihrer Höhe und Zusammensetzung nicht endgültig bestimmbar sind, können sie fast beliebig festgesetzt und gewichtet werden. Einige Kosten sind sogar überhaupt nicht bestimmbar (z. B. Opportunität durch Verluste entgangener Möglichkeiten). Dadurch besteht die „kreative“ Möglichkeit, ungünstige Ergebnisse nachzubessern: während ex-ante Aussagen zur Effizienz schwer gegeben werden können, lässt sich ex-post fast alles beweisen. Trotz dieser peinlichen Lage können in Abhängigkeit von den Transaktionsdimensionen verschiedene Grundtypen von Verträgen unterschieden werden. Diese sind institutionell unterschiedlich abgesichert, wie das nachfolgende einfache Vertragsschema in Abbildung 4.8 zeigt⁷⁹.

Punkt *A* beschreibt eine Leistungserstellung mittels Mehrzwecktechnologie. Das heißt die Faktorspezifität k ist Null. Eine Absicherung durch Überwachungssysteme ist nicht notwendig. Diese Transaktion findet somit in einer Wettbewerbswelt statt. In den Punkten *C* und *D* ist die Faktorspezifität k größer als Null. Vor den damit verbundenen Risiken sind die Vertragspartner jedoch durch ein System von Sicherungen s geschützt. Dazu stehen zwei Alternativen zur Verfügung. Die Transaktion kann in eine einheitliche Unternehmensstruktur integriert werden (Punkt *D*), oder aber sie wird durch ein marktfremdes System von Vereinbarungen gestützt, die für den Falle des Vertragsbruches abschreckende Sanktionsmassnahmen bereithalten⁸⁰. Ausschlaggebend für die Wahl eines der beiden Punkte sind Transak-

⁷⁹Siehe [Wil98, S. 38].

⁸⁰Zu beachten ist der feine aber bedeutende Unterschied zum Vertrauensprinzip hierar-

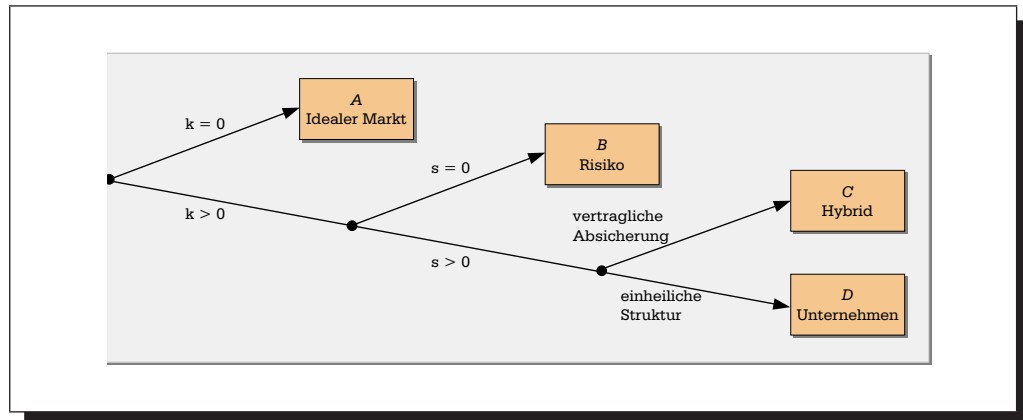


Abbildung 4.8: Einfaches Vertragsschema

tionshäufigkeit und Spezifität. Sind beide sehr hoch anzusetzen, so ist nach der Transaktionskostentheorie eine einheitliche hierarchische Struktur vorzuziehen. Punkt *B* schließlich beschreibt eine Situation in der ein potenzieller Anbieter zur Kompensation seines hohen Risikos (k größer Null) bei gleichzeitig fehlender Sicherheit (s gleich Null) einen erhöhten Preis fordern wird, der über dem von *A*, *C* oder *D* liegt. Um dennoch auch längerfristig bestehen zu können, besteht sowohl die Möglichkeit der Reduktion von k , um auf den freien Markt vorzudringen, als auch die Erhöhung von s durch institutionelle Absicherung.

Aus den bisherigen Aussagen folgt der Schluss, dass der natürliche Wirtschaftszustand eine Marktordnung ist. Ersetzt wird sie nur dort, wo es zur Kosteneinsparung dient⁸¹. Lange Zeit war das Wirtschaften nicht durch Preismechanismen, sondern hauptsächlich durch soziale Bindungen und weltanschauliche Werte geprägt. Frühe Sippen- und Dorfgemeinschaften illustrieren dies ebenso wie mittelalterliche Gilden oder Klöster. Erst mit zunehmender Spezialisierung und ansteigendem Handel erlangte die Idee des Marktes ihre heutige Gestalt und Bedeutung. Seine Funktion ist hauptsächlich eine Verbindung der einzelnen Wirtschaftssubjekte. Auch Märkte können als künstliche Institutionen interpretiert werden. Ihre Funktionsfähigkeit basiert auf gesellschaftlich akzeptierten Grundnormen und politischen Rahmenbedingungen. Staatliches Handeln kann Marktmechanismen demnach nicht nur außer

chieloser Netzwerke!

⁸¹Zu finden sind diesbezüglich jedoch auch andere Meinungen: der Markt als „Naturgesetz“ entspricht demnach zwar dem Zeitgeist, ist jedoch bei historischer Betrachtung auch mit Fragezeichen zu versehen.

Kraft setzen, wie *Coase* ursprünglich argumentierte, sondern ist vielmehr gleichzeitig Garant für deren effizientes Funktionieren⁸². Demnach wäre die im Transaktionskosten-Ansatz behauptete Eigenlogik aus dem Zusammenspiel von Tausch und Märkten nicht mehr gegeben. Beide Enden des Markt-Hierarchie-Kontinuums hätten somit den gleichen künstlichen Ursprung. Beide wären sie Instrumente zur situationsabhängigen Effizienzsteigerung.

4.2.2.3.4 Weitere Abschätzung des Kostenverlaufes

Aufgrund der komplexen Kostenstruktur sind, wie oben bereits kritisiert, lediglich grobe Abschätzungen zum prinzipiellen Kostenverlauf denkbar. Doch selbst dann ist noch nicht die Frage geklärt, wie sie untereinander zu gewichten sind. Folgerichtig werden im Transaktionskostenansatz auch nicht die Kosten selbst, sondern nur Kostentrends gegenüber gestellt. Dabei fallen folgende Grundtrends auf.

- (1) *Marktbenutzungskosten:*

Ein Anstieg der Faktorspezifität führt zu einem progressivem Anstieg der Transaktionskosten. Diese Annahme gründet sich auf zwei Argumente. Zum Ersten greifen wenig spezifische Problemlösungen in der Regel auf Bewährtes zurück. Sie erfordern einen geringeren Aufwand und sind leicht verfügbar. Dadurch treten einige Kostenarten wie Suchkosten de facto gar nicht oder nur in vernachlässigbarer Höhe auf. Bei steigender Spezifität treten zwangsläufig immer neue Kostenarten in Erscheinung, da ein Aufbau auf Lerneffekten und Bestehendem immer weniger möglich ist. Das zweite Argument ist die zunehmende Höhe der Kosten. Auch dies ist plausibel. Die notwendigen Aufwendungen werden steigen, je außergewöhnlicher, sprich spezifischer sich der Transaktionsgegenstand gestaltet.

- (2) *Kosten der Unternehmenshierarchie:*

Ein steigender Integrationsgrad erhöht nachhaltig die unternehmensinternen Transaktionskosten. Auch dafür bestehen mehrere Gründe. Wie bereits erwähnt nimmt bei steigender Transaktionszahl das Koordinationsproblem zu. Es wird schwieriger, den Überblick zu wahren und immer eine First-Best-Lösung zu finden. Desweiteren lässt sich eine zunehmende Integration auch als ansteigende Spezifität deuten. Es ist plausibel, dass die ersten Internalisierungen Bereiche betreffen, die einen sehr engen Bezug zu den Kernkompetenzen aufweisen, da es diese zu komplettieren und auszubauen gilt. Die Spezifität der neuen Bereiche

⁸²Vgl. [Dug96].

wird für das Unternehmen somit im Regelfall eher gering sein. Bei Entfernung vom Kerngeschäft wirkt eine vertikale Integration jedoch als Anstieg der Faktorspezifität. Dadurch steigen auch die Organisationskosten progressiv an.

- (3) *Zusammenhang zwischen den Kostentrends (1) und (2):*
Ein steigender Integrationsgrad reduziert die Anzahl der Markttransaktionen und damit auch die Marktbenutzungskosten. Dabei gilt das Prinzip des abnehmenden Grenznutzens. Da Nicht-Markt-Strukturen die Zielsetzung der Kostenreduktion zugeschrieben wird, werden sich diese zuerst zur Internalisierung hoch spezifischer Transaktionen konstituieren, da sich bei ihnen ein besonders hohes Einsparungspotenzial hinsichtlich der Kosten befindet. Unspezifische Produkte werden demnach tendenziell spät oder auch gar nicht integriert.

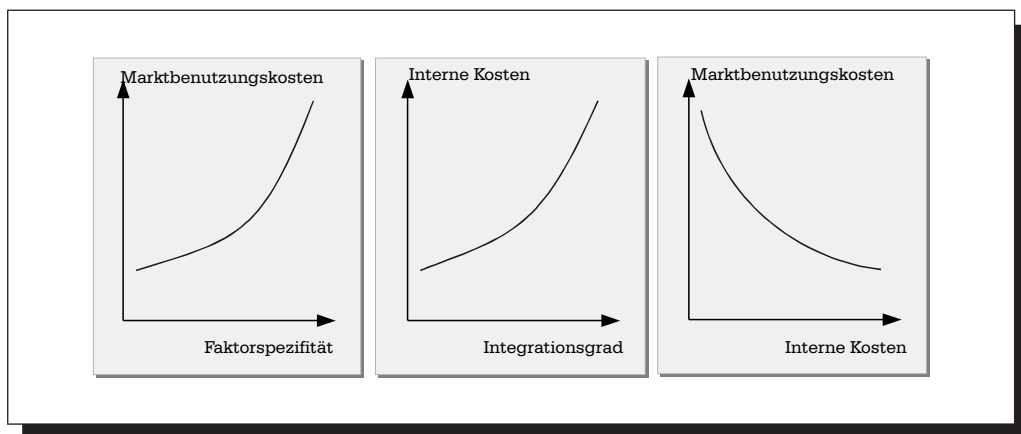


Abbildung 4.9: Kostentrends

Hinsichtlich Auswirkungen des Einsatzes moderner IuK-Technologien auf die Höhe und den Verlauf der Kosten sind in der Literatur drei grundverschiedene Argumentationsrichtungen zu finden⁸³. Die erste geht von einer Begünstigung von Marktstrukturen aus. Argumentiert wird hier vor allem, dass Informations- und Kommunikationskosten sinken. Damit einhergehend wird die Findung von Nutzungsalternativen und die Umstellung von Produktionstechnologien erleichtert, so dass deren Spezifität sinkt. Die zweite Argumentationsrichtung sieht durch die Möglichkeit intensiven Datenaustausches langfristige Transaktionsbeziehungen in Form strategischer Netzwerke

⁸³Vgl. [Bau98, S. 438 f.] und [Bak93a, S. 37 ff.].

begünstigt, die einerseits einem Hierarchieabbau Vorschub leisten und andererseits aber auch die Unverbindlichkeit reiner Marktbeziehungen ersetzen. Als dritte Denkrichtung ist die Stärkung hierarchischer Unternehmensstrukturen zu finden. Hier wird geschlussfolgert, dass es möglich wird, vorrangig die unternehmensinternen Koordinationskosten zu senken, Weisungsstrukturen zu verflachen und die Flexibilität zu erhöhen.

Obwohl sie sich gegenseitig ausschließen, sind doch alle drei Phänomene in der Praxis zu beobachten. Ob jedoch eines von ihnen in der Realität überwiegen wird und wie lange lässt sich ex-ante nur schwerlich feststellen. Selbst wenn moderne Technologien geeignet scheinen, die Steigung der ersten zwei beschriebenen Kostenverläufe zu beeinflussen, so ändern sie letztendlich nicht deren Grundtendenz. Da die Transaktionskostentheorie jedoch von vornherein nur diese Trends berücksichtigt, lassen sich generelle Vorzüge für bestimmte Organisationsformen, die aus modernen Technologien entstehen, mit den Instrumentarien dieses Ansatzes nicht unvoreingenommen und seriös begründen. Das Plus moderner IuK-Systeme liegt somit weniger in der einseitigen Transaktionskostensenkung zugunsten einer bestimmten Organisationsform. Sie dürften vielmehr das Aussehen aller denkbaren Strukturformen verändern. Ihre Hauptbedeutung liegt somit eher in der Ermöglichung der technischen Implementierung und Unterstützung neuer und alternativer Organisationsstrukturen, was auch für die hier betrachteten, tendenziell hierarchielosen Produktionsnetzwerke der Fall ist.

4.2.2.3.5 Opportunismus und begrenzte Rationalität als Verhaltensprinzipien

Das Menschenbild in der Transaktionskostentheorie ist von zwei entscheidenden Faktoren geprägt: einer begrenzten Rationalität und dem Opportunismus⁸⁴. Beide sind maßgeblich für die Existenz der beschriebenen Dimensionen und die Struktur der Transaktionen. Hier greift der bereits erwähnte methodologische Individualismus. Die Wirkungsweise von Institutionen kann nur über die menschlichen Charakterzüge verstanden werden.

Die erste Annahme bezieht sich auf die Rationalität der Wirtschaftssubjekte. Während in der Neoklassik eine maximale Rationalität vorausgesetzt wird, geht der Transaktionskostenansatz von der abgemilderten Form der beschränkten Rationalität aus. Damit wird der zu beobachtenden Tatsache Rechnung getragen, dass nichtrationales Verhalten in der Realität durchaus anzutreffen ist. Den handelnden Personen wird damit das permanent vorhandene Bemühen, sich rational zu verhalten, zugestanden, ohne daran zu

⁸⁴So auch ausdrücklich in [Wil90, S. 49 ff.] hervorgehoben.

glauben, dass sie dazu immer in der Lage sind. Als Hauptursache für diese Unzulänglichkeit gilt die beschränkte Fähigkeit zum Erkenntnisgewinn. Die Masse an vorhandenen Informationen kann vom Individuum weder in ihrer Gesamtheit erfasst werden, noch kann der aufgenommene Anteil an Informationen unbeschränkt verarbeitet werden. Dadurch sind besonders jene Transaktionen ungünstig zu handhaben, welche die Bewältigung großer Informationsmengen erfordern. Aufgrund der beschränkten Rationalität übersteigen die Transaktionsunsicherheiten oftmals die mentalen Erfassungsgrenzen der beteiligten Individuen. Auch die (wahrgenommene) Faktorspezifität hängt direkt vom angenommenen Grad der Rationalität ab. Aufgrund der Tatsache, dass Alternativen nicht wahrgenommen oder falsch eingeschätzt werden, kann die Spezifität enorm ansteigen. Viele weiter oben genannte Kostenarten würden bei maximaler Rationalität nicht existieren.

Die zweite zentrale Verhaltensannahme ist der Opportunismus. Im Gegensatz zur landläufigen Bedeutung geht dieser weit über die gesinnungsarme Vorteilssuche hinaus. Diese stärkste Form der Verfolgung des Eigeninteresses schließt auch die bewusste Zuhilfenahme von List und Betrug, die unvollständige und verzerrte Informationsweitergabe sowie die (zumindest teilweise) Verschleierung der wahren Absichten ein. Die Herbeiführung gezielter Informationsasymmetrien und der Versuch der Vorteilerlangung auf Kosten anderer gelten eher als Regel denn als Ausnahme. Die augenfälligsten Beispiele für opportunistisches Verhalten sind erstens die negative Risikoauslese (adverse selection) und zweitens das auch als *moral hazard* oder *shirking* bekannte moralische Risiko. Zusammenfassend lässt sich das Wesen opportunistischen Verhaltens immer durch die massive Produktion externer Effekte mit dem Ziel der individuellen Vorteilnahme charakterisieren. Selbst Personen, die weniger eigennützig sind, können sich dem Opportunismusproblem nicht entziehen. Da die „Charakterfestigkeit“ der potenziellen Netzwerkpartner nicht von vornherein feststeht, werden sie ex-ante versucht sein, diese zu erkennen und ex-post Absicherungen einzubauen. Das Funktionieren einer auf Vertrauen basierenden Partnerschaft wird somit praktisch ausgeschlossen.

Eine kooperative ökonomische Struktur wird durch die Möglichkeit der Übernahme durch unerkannt gebliebene Opportunisten von vornherein unmöglich⁸⁵. Somit gilt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Opportunismus einerseits und Art und Struktur der Kosten, Unsicherheit und Spezifität andererseits besteht. Die bisweilen zu findende These, dass Opportunismus und

⁸⁵Eine nachdrückliche Betonung dieser Unvereinbarkeit in [Wil90, S. 73 ff.]. Es besteht die permanente Gefahr eines „Raubüberfalls“ [Dö98, S. 38] durch Abdrängung in hochspezifische Transaktionssysteme!

Herausbildung einer Vertrauensbasis sich nicht zwangsläufig ausschließen, ist wenig überzeugend. Es wird auf spieltheoretische Untersuchungen verwiesen, die gerade wegen der gegenseitigen Opportunismusannahme auf Kooperation angewiesen sind. Dies ist immer dann gegeben, wenn eine wechselseitige Abhängigkeit besteht und sich somit keiner der Beteiligten eine Hintergehung seiner Partner leisten kann⁸⁶. Aus dieser Zusammenarbeit, so die Behauptung, entwickelt sich dann Schritt für Schritt ein Vertrauensverhältnis. Das ist jedoch ebenfalls wenig überzeugend, kommt doch die Zusammenarbeit nur dadurch zustande, dass sich alle im gegenseitigen „Würgegriff“ haben und ein hinreichend großes Bedrohungspotenzial entfalten können. Basis ist keineswegs die gemeinsame Zielverfolgung, sondern die Wahrung und Nichtgefährdung des Eigeninteresses. Hier scheint der Versuch, das bestehende Verhältnis durch andere Transaktionsbeziehungen zu substituieren, wahrscheinlicher, als deren Ausbau. Selbst wenn es zur Fortsetzung der Verbindung keine Alternative gibt, so wird diese durch Misstrauen und ein ausgefeiltes Sanktionssystem gekennzeichnet sein.

Vor dem Hintergrund des angenommenen Menschenbildes tritt auch die Problematik der Transaktionsatmosphäre deutlich hervor. Gesellschaftliche und kulturelle Rahmenbedingungen können das Ausmaß des Opportunismus beeinflussen und mit Hilfe der Informationstechnologie können die Erkenntnisfähigkeit verbessert und Rationalitätsgrenzen hinausgeschoben werden. Auf den ersten Blick scheint damit eine Anpassung des Transaktionskostenansatzes an das Menschenbild möglich, welches hierarchielosen Produktionsnetzwerken zugrunde liegt. Bei genauerer Betrachtung erweist sich dies jedoch als trügerische Illusion. Hier besteht vielmehr wiederum die Gefahr des voreingenommenen Zurechtbiegens dessen, was theoretisch zu einer Begründung führen sollte. Mittels extensiven Rückgriffes auf die Transaktionsatmosphäre lässt sich nahezu alles begründen. Sie ist geeignet, die festgehaltenen Verhaltensannahmen systematisch auszuhöhlen und damit auch die auf ihnen aufbauenden Transaktionsdimensionen in Frage zu stellen. Damit würde letztendlich dem gesamten Ansatz die Basis entzogen.

4.2.2.3.6 Bewertung der TAK für KPZ-Größenbestimmung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Transaktionskostenansatz für die Untersuchung von Netzwerkstrukturen von eher bescheidenem Erklärungswert ist. Er steht hierbei zwar nicht im Wege, allerdings liefert er auch keine wirklich durchschlagenden Erkenntnisse. Dabei soll jedoch nicht verdrängt werden, dass er wertvolle Denkanstöße für die Gestalt von Wirt-

⁸⁶Siehe u. a. [Die94, S. 100 ff.].

schaftsstrukturen bereitstellt. Als nicht zu vernachlässigendes Problem erweisen sich hierbei jedoch die unterschiedlichen Basisannahmen, die dem Netzwerkkonzept und dem TAK-Ansatz zugrunde liegen. Zwar sieht auch der Transaktionskostenansatz hybride Wirtschaftsstrukturen vor, diese fußen jedoch nicht auf den gleichen Grundlagen wie sie bei hierarchielosen Produktionsnetzen angenommen werden. Die ausschließlich an Kosteneffizienz ausgerichtete Betrachtung von Transaktionskosten steht hier einem wesentlich ganzheitlicherem Anspruch gegenüber. Neben diesen unterschiedlichen Ausgangspunkten ist besonders kritisch die Tatsache hervorzuheben, dass selbst die einseitige Fixierung des TAK-Ansatzes auf eine Transaktionskostenminimierung auf Grund der unscharfen Kostenstruktur nicht zu eindeutigen und überzeugenden ex-ante-Aussagen hinsichtlich der optimalen Organisationsstruktur führen kann. Auch dafür, dass der Einsatz von modernen IuK-Technologien die Transaktionskosten einseitig zugunsten eines bestimmten Endes des Markt-Hierarchie-Kontinuums verschiebt, stellt der Transaktionskostenansatz keine schlüssigen und unwiderlegbaren Erklärungsmuster bereit. Vielmehr lässt sich mit entsprechendem „kreativen“ Geschick jedes gewünschte Ergebnis mit den gleichen Werkzeugen beweisen, wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen.

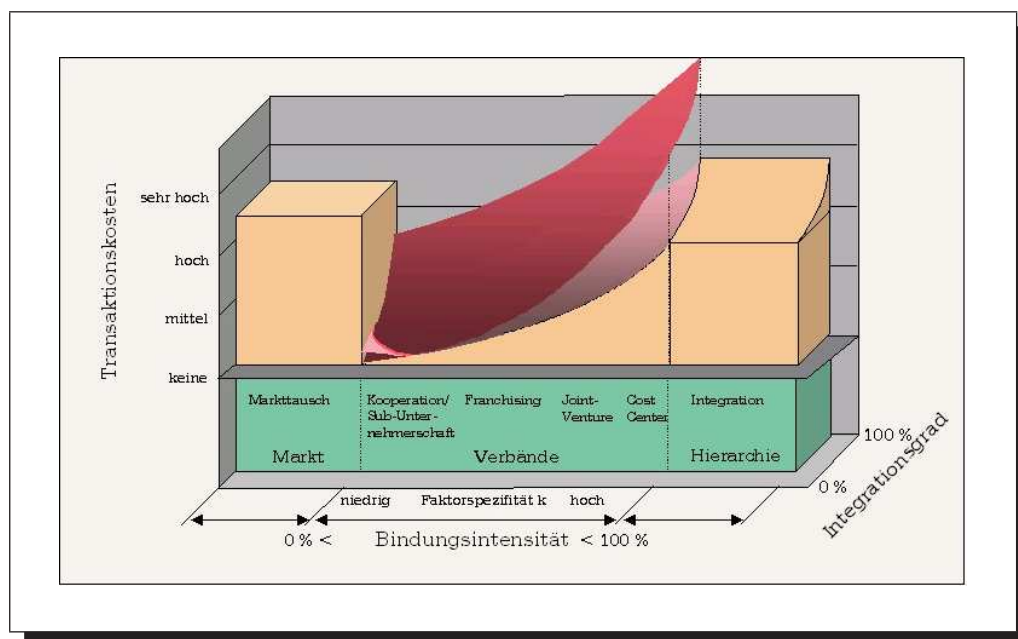


Abbildung 4.10: Gegenüberstellung Markt-/Hierarchiekosten I

Die rote Ebene aus der Abbildung 4.10 beschreibt dabei die Höhe der Transaktionskosten bei der Nutzung von Marktmechanismen, während die rosa Ebene die Transaktionskosten in hierarchischen Systemen kennzeichnet. Aufgespannt werden beide Ebenen durch die Spezifität k (mit der daraus abgeleiteten Bindungsintensität) und dem Integrationsgrad (d. h. dem Umfang internalisierter Aktivitäten). Beide Ebenen orientieren sich in ihrer räumlichen Lage streng an den in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Kostentrends und -verläufen. Es lässt sich zeigen, dass besonders bei geringem Integrationsgrad und niedriger Faktorspezifität die Marktbenutzungskosten niedriger sind, als die Kosten mit denen gleiche Leistungen in Unternehmenshierarchien zu erstellen sind. Aufgrund des geringeren Anstieges der unternehmensinternen Transaktionskosten schrumpft dieser Kostenvorteil jedoch mit wachsender Spezifität und einer wachsenden Anzahl an Transaktionen, um sich letztendlich ganz umzukehren. Wo jedoch diese Schwelle der Kostengleichheit von Markt und Hierarchie (in der Abbildung durch eine dicke rote Linie dargestellt) überschritten wird, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen. Konkrete Aussagen hierzu haben eher spekulativen Charakter. Dies wird auch in Abbildung 4.11 deutlich.

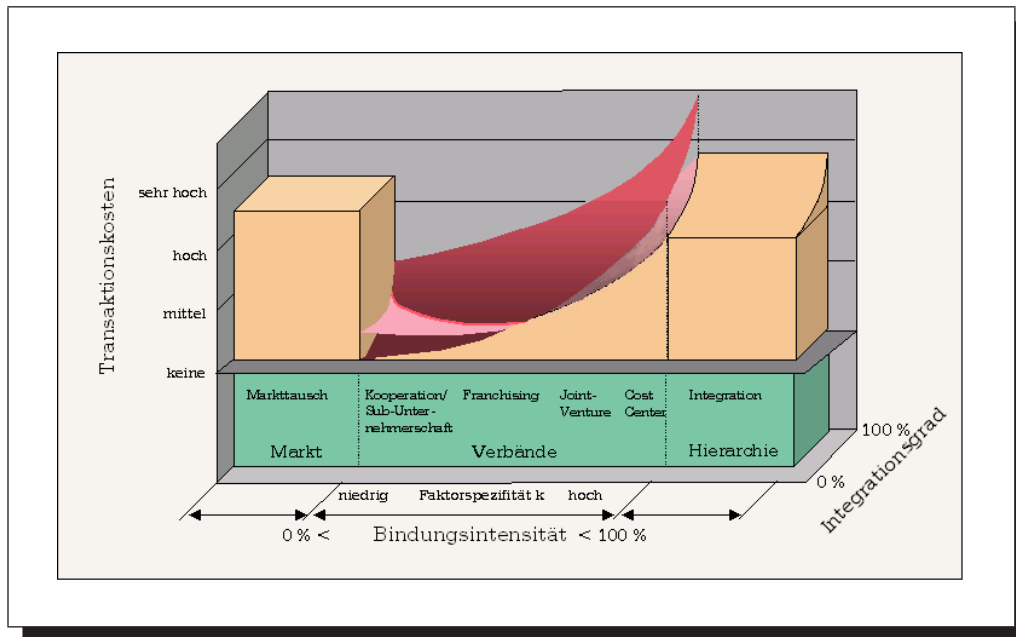


Abbildung 4.11: Gegenüberstellung Markt-/Hierarchiekosten II

Auch hier werden sämtliche bereits dargestellten Kostenverläufe und Trends beachtet. Dennoch sind ihre Ergebnisse grundverschieden. Durch den sehr

weitläufigen und nicht erschöpfend erfassbaren Aufbau der Kosten können problemlos unterschiedlich steile Verläufe konstruiert werden, ohne mit den Annahmen des Transaktionskostenansatzes in Konflikt zu geraten. Eine zuverlässige ex-ante Prognose, welche die Bevorzugung einer bestimmten Organisationsform aus dem Markt-Hierarchie-Kontinuum schlüssig begründet, lässt sich auf diese Weise nicht formulieren. Es zeigt sich einmal mehr: die Transaktionskosten erweisen sich zwar als gutes didaktisches Hilfsmittel, nicht jedoch als schlagkräftiges Analyseinstrument.

4.2.3 Kompetenzzellennetz

Nach Einführung der Kompetenzzellen im vorherigen Abschnitt, soll im weiteren Verlauf der Arbeit der Begriff Kompetenzzellennetz (KPZN) benutzt werden, um eine Abgrenzung zu anderen Forschungsansätzen und begriffliche Eindeutigkeit zu gewährleisten.

In diesem Abschnitt sollen statische und dynamische Elemente des Kompetenzzellennetzes herausgearbeitet und die grundsätzliche Idee von *Wirth* zu dieser Organisationsform, die im Jahr 2000 zu einem der vier Sonderforschungsbereiche zu Netzwerken in Deutschland führte, in teilweise überarbeiteter und erweiterter Form wiedergegeben werden. Das Grundverständnis hierzu ist notwendig, um im folgenden Abschnitt 4.3 das Managementkonzept zu Kompetenzzellennetzen vorstellen zu können.

4.2.3.1 Ressourcenpool als statisches Netzwerk

Die Kompetenzzellen einer Region (geographisch oder informationstechnisch) mit bestehenden mentalen und strukturellen Kopplungen stellen gewissermaßen ein strategisches Netzwerk mit besonderen Eigenschaften⁸⁷ oder einen so genannten Ressourcenpool dar. Der Ressourcenpool ist auf lange Sicht angelegt, also zeitlich relativ stabil. Gleichwohl sind die Elemente dezentral koordiniert. Die Aufnahme neuer sowie das Ausscheiden registrierter Kompetenzzellen erfolgt diskontinuierlich. Die Aufgabe des Ressourcenpools besteht in der Registration von Kompetenzzellen zur späteren Genese dynamischer Netzwerke zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe (informationstechnisch getriebene Auftragsbearbeitung). Er kann demnach nicht als Virtuelles Unternehmen oder Projektnetzwerk bezeichnet werden, da der dynamische Charakter nicht vorhanden ist. Abbildung 4.12 ordnet das statische Netzwerk von

⁸⁷Regional und strategisch.

Kompetenzzellen (Ressourcenpool) in das Raster verschiedener Netzwerktypologien als Schnittmenge ein.

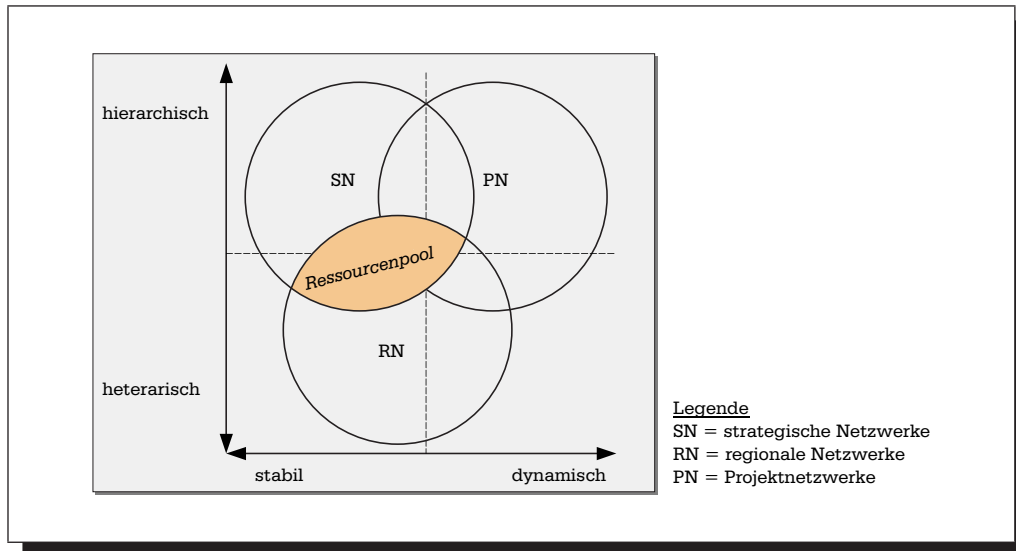


Abbildung 4.12: Einordnung des Ressourcenpools als statisches Netzwerk

Ein Ressourcenpool⁸⁸ ist für Kompetenzzellen in Abgrenzung zu Unternehmen die Grundlage zur Kooperation als eine wesentliche Unternehmensstrategie. An diese anknüpfend bildet die informationstechnisch gestützte Integration in Wertschöpfungsnetze die Hauptform der Leistungserstellung. Eine derartige Aufteilung in einen statischen und einen dynamischen Teil der Vernetzung ist allerdings, wie die aufgearbeitete Literatur aus Abschnitt 3.2 und weitere Arbeiten zur Morphologie der Kooperationen von *Schwarz*⁸⁹, *Fontanari*⁹⁰, *Staud*⁹¹ oder *Balling*⁹² zeigen, nicht neu. Der Verweis auf diese Publikationen ist zur richtigen Einordnung der latenten Beziehungen im

⁸⁸Der Ressourcenpool ist im Wesentlichen kompatibel zur Auffassung von *Baum/Dammann* in [Bau01, S. 56]. Sie bezeichnen diesen als Basisebene innerhalb des Konzeptes zur Zwei-Ebenen-Kooperation.

⁸⁹Siehe [Sch79]. Mit dem Ziel der Erweiterung der Strukturlehre von Organisationen schlägt *Schwarz* u. a. eine morphologische Matrix zur Gestaltsanalyse von Kooperationen vor.

⁹⁰Siehe [Fon96], wo Kooperationsbildung als Prozess erklärt und hermeneutisch eben dieses Phänomen für eine zukünftige Entscheidungsgrundlage für die richtige kontextsensitive Kooperation aufbereitet wird.

⁹¹Siehe zur Typisierung von Kooperationen aus architektonischem Blickwinkel [Sta92].

⁹²Siehe [Bal97] zu Kooperationsformen mit den Zielen einer besseren Operationalisierung und methodischen Analyse.

KPZN notwendig, da die vorliegende Arbeit deren Kenntnis voraussetzt, um die Konzentration auf die methodische Unterstützung der Genese und des Betriebens des dynamischen Teils der Netzwerke zu lenken. Zu vertiefenden Erkenntnissen zum statischen Netzwerk in KPZN sei an dieser Stelle auf die Arbeiten von *Baum/Dammann, Freitag, Bölt* und *Aderhold/Meyer* und die darin enthaltenen Referenzen auf jeweils eigene Beiträge verwiesen⁹³.

Das Bindeglied zum dynamischen Teil des KPZN ist die Beschreibung der Kompetenzzellen durch ein Kompetenzprofil, welches in Form eines Angebotsvektors dem Netzwerkmanagement zugänglich ist. Der Vektor ermöglicht während des Vorganges der Genese einen Abgleich von Angebot und Nachfrage von Prozessschritten innerhalb des Wertschöpfungsnetzes.

4.2.3.2 Das dynamische Netzwerk

Die Genese des eigentlichen KPZN kann durch unterschiedliche Ereignisse (z. B. Kundenauftrag, marktanonym disponierte Produktionsaufträge) ausgelöst werden. In diesem Falle schließen sich letztendlich die Kompetenzzellen aus dem statischen Netzwerk (Ressourcenpool) zusammen, die zur Erledigung dieses Auftrages beitragen können. Die zentrale Frage hierbei ist, welche KPZ für die Auftragsbearbeitung ausgewählt werden.

An der Bildung des Wertschöpfungsnetzes nehmen nur die KPZ teil, deren Kompetenzen und Fähigkeiten zur Erledigung des Auftrages wirklich benötigt werden. Diese Organisation kann auch als dynamisches Netzwerk⁹⁴ (da nur temporär existent) oder als Virtuelles Unternehmen bezeichnet werden. Der Begriff *temporäres Netzwerk* träfe am ehesten den Kern der Sache, hat sich aber in der Literatur nicht etabliert und soll aufgrund der Fülle an Begriffen auch nicht eingeführt werden. In Abbildung 4.13 wird das dynamische Netzwerk von Kompetenzzellen (als Teilmenge des statischen Netzwerkes)⁹⁵ in das Raster der verschiedenen Netzwerkstypologien eingeordnet.

Das Produktionsnetz stellt somit definitionsgemäß sowohl ein Virtuelles Unternehmen als auch ein regionales Netzwerk, das aus einem speziellen Produktionsauftrag als konkretes Projekt hervorgeht, dar. Innerhalb des dynamischen Netzwerkes wird eine hierarchielose Koordination, realisiert über marktähnliche Mechanismen bei gleichzeitiger tendenzieller Abkehr vom heutigen zentralstrukturierten Unternehmen⁹⁶, angestrebt.

⁹³Alle Beiträge enthalten in [Tei01m].

⁹⁴Vgl. [Mil84, S. 27 f.], [Mil92, S. 55 f.] und [Mil86, S. 62 f.].

⁹⁵Im Falle der Kooperation von statischen Netzwerken besteht diese Mengenbeziehung nicht.

⁹⁶Vgl. [Wir99, S. 41].

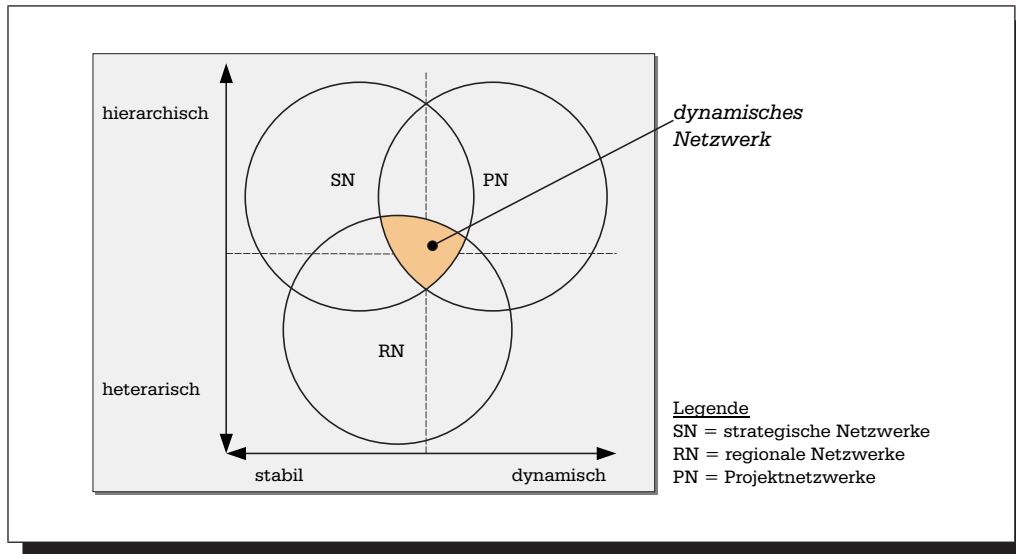


Abbildung 4.13: Einordnung des dynamischen Netzwerkes

Aus diesem Blickwinkel bietet sich eine (geschäfts)prozessorientierte Vernetzung der Kompetenzzellen an, die durch ein Informationssystem gestützt wird, welches notwendigerweise Funktionalität anbietet, die sonst im hierarchischen Überbau des Unternehmens (z. B. in der Verwaltung) angesiedelt ist. Beispielhaft dafür sei die Existenz von Stabstellen und Abteilungen für Kostenrechnung, Buchführung oder Controlling genannt. Nach der Internalisierung dieser Kompetenzen stellen Kompetenzzellen eine Art Unternehmen dar, welches in der üblichen Form abbildbar⁹⁷ ist. Aus diesem Grund liegt der Fokus der Arbeit auch nicht auf den Organisationseinheiten selbst, sondern auf der organisationseinheitenübergreifenden methodischen Behandlung von Wertschöpfungsnetzen.

Ähnlich problematisch wie die Organisation der internen Koordination im Unternehmen ist die Koordination der Kompetenzzellen im dynamischen Netzwerk anzusehen. Die Vorstellung einer Koordination ohne Führungs- oder Leitungsinstanz scheint in der Praxis nur schwierig realisierbar. Um eine hierarchielose Koordination zu ermöglichen, ist es zuerst notwendig, die verschiedenen Managementrollen⁹⁸ zu identifizieren, die durch verschiedene, in Netzwerken anzutreffende Dienstleistungsprofile gekennzeichnet sind und diese anschließend im Informationssystem zu operationalisieren⁹⁹. Einige we-

⁹⁷Siehe bspw. Modellierung mit *ARIS*.

⁹⁸Vgl. [Sch99g, S. 231 ff.].

⁹⁹Ebenda.

sentliche Rollen seien an dieser Stelle kurz erwähnt.

- *Netzwerk-Coach:*
 - Aufbau und Pflege der Infrastruktur,
 - Akquisition von Partnern und
 - Konfliktmanagement.
- *Manager In-/Outsourcing:*
 - Koordination und
 - Kommunikation mit dem Leistungskonfigurator.
- *Auftragsmanager:*
 - Akquisition von Aufträgen,
 - Vermarktung der Netzkompetenzen,
 - Abgleich von Angebot und Nachfrage und
 - Auftragsabwicklung.

Diese Managementrollen können sowohl im strategischen als auch im dynamischen Netzwerk auftreten. Wird die Forderung nach Hierarchielosigkeit des Netzwerks als Forderung sowohl für das dynamische als auch für das statische Netzwerk verstanden, verkompliziert sich die Aufgabe ganz beträchtlich, da sämtliche oben genannten potenziellen Leistungsprofile über marktliche Koordinationsmechanismen abgewickelt werden müssen. Sinnvoller und für diese Arbeit relevant ist die Annahme, dass nur das dynamische Netzwerk der Forderung nach hierarchieloser Koordination unterliegt. Dann müssen aus den Leistungsprofilen nur diejenigen über Marktmechanismen koordiniert werden, die auch direkt das dynamische Netzwerk betreffen. Diese Funktionen können vom informationstechnischen Modellkern übernommen werden, der nicht monolithisch existent ist.

*Miles/Snow*¹⁰⁰ stellen hierfür das Konzept des Brokers vor. Während alle Hauptfunktionen der Wertschöpfungskette über den Marktmechanismus koordiniert werden, vereinigt der Broker diejenigen Funktionen, die nicht in jeder einzelnen Organisation (Kompetenzzelle) vertreten sind. Der Broker selbst stellt ebenfalls eine Kompetenzzelle dar, die ihre Funktion als beigeordnete Instanz sehen kann. Für die Koordination der Kompetenzen des Brokers werden zahlreiche Konzepte vorgestellt. *Steven* schlägt ein System mit

¹⁰⁰Vgl. [Mil86, S. 64 f.].

Plan-, Verrechnungs- oder Marktpreisen als ökonomischen Koordinationsmechanismus vor¹⁰¹. Ein weiteres Modell, welches zum Modell von *Miles/Snow* gewisse Ähnlichkeiten aufweist, legen *Gerpott/Böhm*¹⁰² vor. In ihrem Modell wird davon ausgegangen, dass die Annahme der Selbstorganisation in der Praxis nicht ohne weiteres praktikabel ist. Deshalb muss ein neuartiger Unternehmenstypus identifiziert werden, der als unterstützendes Organ die Fähigkeit zur Bildung bzw. Integration und Koordination von dynamischen Netzwerken vereint. Dieser neue Unternehmungstypus könnte ebenfalls als Kompetenzzelle interpretiert werden, die ihrerseits wiederum idealerweise als gleichberechtigte Organisation zu den anderen Kompetenzzellen steht und deren Funktionen und Fähigkeiten über die Mechanismen des Marktes koordiniert werden. Auf den so genannten Integrator kommen im Rahmen der Organisation eines Wertschöpfungsnetzwerkes bei der Erledigung eines Auftrages innerhalb des Virtuellen Unternehmens (also während der Operationsphase) verschiedenartige Aufgaben wie Abstimmung der Termine und Optimierung der Durchlaufzeiten zu. Vor allem diese Aufgaben stehen im Mittelpunkt des Interesses des EVCM-Konzeptes.

Abschließend kann die Definition des Kompetenzzellennetzes auf der Basis der Erkenntnisse von Ressourcenpool und dynamischen Netzwerk erfolgen.

Kompetenzzellennetz (KPZN): ist ein Netzwerk im Sinne der Definition (siehe Seite 97), dessen Knoten aus Kompetenzzellen¹⁰³ bestehen und dessen wesentliche Unternehmensstrategie die Kooperation ist. Die informationstechnische Infrastruktur übernimmt Aufgaben zur Planung und Koordination der gemeinsamen Aufgaben und des Managements im Netzwerk.

4.2.3.3 Statik und Dynamik in einer Vision

Die Vision eines hierarchielosen Kompetenzzellennetzes basiert auf der Idee der Dekomposition der Prozessketten in Prozessschritte (sowie ihrer funktionalen Beschreibung) zur Herstellung eines Produktes und der anschließenden Suche nach Kompetenzzellen zur Realisierung dieser Schritte. Die folgende Abbildung 4.14 illustriert die grobe Idee dieser Vision in einer stark simplifizierten Form.

¹⁰¹Vgl. [Ste99b, S. 255].

¹⁰²Vgl. [Ger00, S. 13 ff.].

¹⁰³Siehe Definition Kompetenzzelle auf Seite 186.

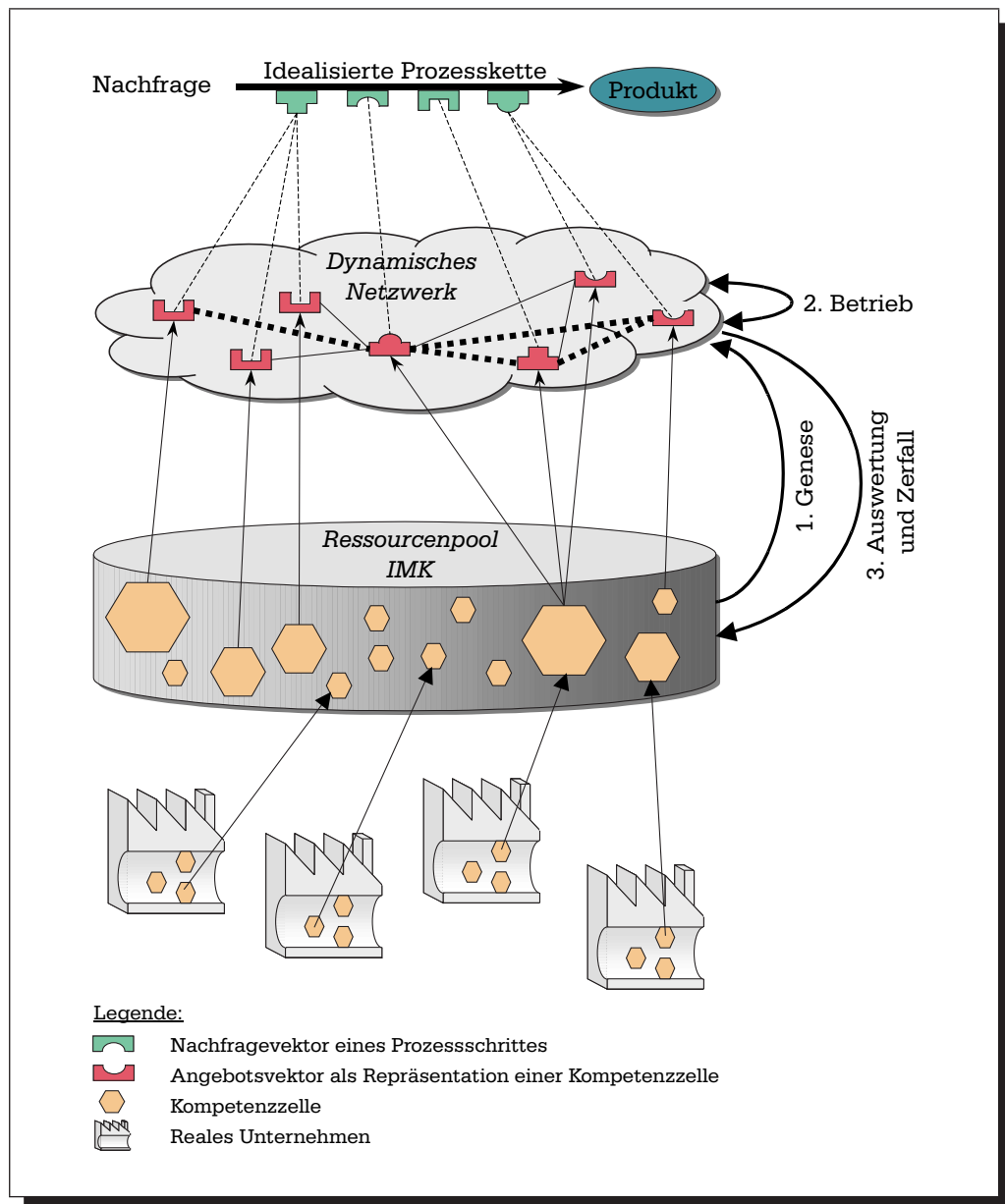


Abbildung 4.14: Vision eines hierarchielosen Kompetenzzellennetzes

Ausgehend von einem herzustellenden Produkt werden die dafür notwendigen Prozessketten auftragnehmerneutral abgeleitet. Dies bedeutet, dass die technologischen Kompetenzen innerhalb der Region hinreichend bekannt sein müssen. Auf dieser Basis erfolgt die Zerlegung des Produktes in der aus der Produktionswirtschaft bekannten Form der Baugruppen und Einzelteile mit

dem dafür notwendigen (und sinnvollen) Detaillierungsgrad. Es folgt für diese Teile die Arbeitsplangenerierung. Hierzu gehen die bekannten Technologien in die Erstellung von Prozessvariantenplänen ein. Aus den einzelnen Schritten der Prozessvariantenpläne werden die Nachfragevektoren (grüne Symbole in Abbildung 4.14.) erstellt. Aus diesen ist ersichtlich, welche Leistungsprofile für die zu erfüllenden Teilaufgaben notwendig sind.

Im informationstechnischen Modellkern beginnt anschließend die Suche nach Angebotsvektoren (rote Symbole in Abbildung 4.14.) von Kompetenzzellen, die den Nachfragevektoren in einem hohen Maße entsprechen. Hierbei ist es denkbar, dass mehrere Kompetenzzellen eine Aufgabe erfüllen können¹⁰⁴. Jeder Prozessschritt referenziert im Ergebnis eine Anzahl von KPZ, die die nachgefragten Aufgaben erfüllen können. Die automatische Abwicklung der Genese des KPZN ist für einen Knoten manuell zu erfüllen, falls keine Assoziation zwischen einem bestimmten Prozessschritt und einer KPZ besteht. Die Beschaffung der notwendigen Informationen erfolgt in diesem Falle mit konventionellen Mitteln (Telefon, Email, Post).

Nach Zuordnung der Kompetenzzellen zu den Prozessschritten wird entsprechend bestehender Restriktionen (zeitlich, kostenmäßig, ...) aus dem Prozessvariantenplan eine konkrete Alternative zur Herstellung des Produktes verbindlich festgelegt (gestrichelte Linien innerhalb des dynamischen Netzwerkes in Abbildung 4.14.). Innerhalb des Extended Value Chain Management-Konzeptes sind die wichtigsten Methoden für den ersten Schritt (Genese) enthalten, die in den Kapiteln 5 bis 9 ausführlich diskutiert werden.

Die Betreuung des KPZN entspricht dem zweiten Schritt aus der Abbildung 4.14. In dieser Phase erfolgt die Durchführung der Prozessschritte. Wichtige Aufgabe des EVCM-Konzeptes ist die Überwachung der Ist-Werte mit *Tracing and Tracking*-Methoden. Falls eine KPZ ausfällt, sind im Sinne einer Änderungsplanung die Schritte der Genese für den kritischen Bereich des Wertschöpfungsnetzwerkes zu wiederholen.

Nach Beendigung des Herstellungsprozesses können alle wichtigen Informationen a-posteriori im informationstechnischen Modellkern hinterlegt werden (dritter Schritt), um beim nächsten Geneseprozess entscheidungsrelevante Aussagen für die Beteiligung von Kompetenzzellen zu liefern. Anschließend terminiert das dynamische Netzwerk.

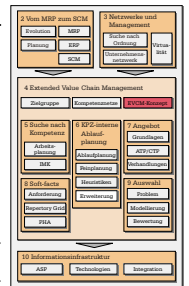
Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Phasen dieser Vision eines hierarchielosen Kompetenzzellennetzes in konzeptueller Form des Extended Value Chain Managements näher spezifiziert.

¹⁰⁴In Abbildung 4.14 verweist ein grünes Symbol auf mehrere rote Symbole.

4.3 Das Konzept des Extended Value Chain Managements

4.3.1 Vorbemerkungen

Bei der Bearbeitung von komplexen wissenschaftlichen Projekten sind vermehrt Begriffe wie Theorie, Modell, Konzept, Methode oder Instrument anzutreffen. Derartige Bezeichnungen finden häufig Verwendung, ohne dass eine präzise Unterscheidung mit den damit verbundenen Bedeutungen getroffen wird. Nachfolgend sollen die o. g. Begriffe genauer definiert und in einen Zusammenhang gebracht werden, um in den folgenden Abschnitten begriffliche Klarheit zu schaffen. Dazu erfolgt zuerst eine allgemeine Betrachtung und anschließend eine Übertragung auf die spezielle Problematik des KPZN. Es wird jedoch davon abgesehen, die Mechanismen zu erklären, wie derartige Konstrukte entwickelt werden können.



4.3.1.1 Theorie

Der Begriff Theorie hat sich abgeleitet aus dem griechischen Wort *theoria*. Aus historischer Sicht bedeutet dies Betrachtung oder das Zuschauen¹⁰⁵. Aus neuzeitlicher Sicht bezeichnet eine Theorie ein (im Allgemeinen hochkomplexes) sprachliches Gebilde. Dieses ordnet aus propositionaler oder begrifflicher Sicht die Phänomene eines bestimmten Sachbereichs. Ebenfalls beschreibt eine Theorie die wesentlichen Eigenschaften der zugehörigen Gegenstände sowie deren Beziehungen untereinander. Sie kann gleichfalls allgemeine Gesetze herleiten und Prognosen über das Auftreten bestimmter Phänomene innerhalb des betrachteten Bereichs treffen¹⁰⁶.

Der Begriff Theorie findet im aktuellen Sprachgebrauch eine vielfältige Verwendung. Eine mögliche praktische Einteilung unterscheidet wie folgt¹⁰⁷:

- die außerwissenschaftliche Verwendung,
- philosophische Verwendungsweisen,
- einzelwissenschaftliche Verwendungsweisen und
- wissenschaftstheoretische Verwendung.

¹⁰⁵Vgl. [Mit95, S. 1361].

¹⁰⁶Vgl. [Rat94, S. 260].

¹⁰⁷Ebenda.

Da in diesem Rahmen der Begriff Theorie aus Sicht der Verwendung in der Wissenschaft näher beleuchtet werden soll, sind die beiden letzten Punkte interessant, während die beiden ersten keine weitere Beachtung in diesem Zusammenhang erfahren sollen.

Aus Sicht einer einzelwissenschaftlichen Verwendung des Begriffes Theorie lassen sich zwei praxisbezogene, jedoch sehr unterschiedliche Bedeutungen unterteilen: die Theorie des Schachspiels und die so genannten Architektur-Theorien¹⁰⁸. Während aus erster Sichtweise theoretische Einsichten über Spielstellungen etc. gewonnen werden (spieltheoretische Sichtweise), ist die zweite Sichtweise hochgradig disziplinbezogen. Aus wissenschaftstheoretischer Sichtweise lassen sich in Abhängigkeit von den Grundeinstellungen der einzelnen Richtungen verschiedene Theoriebegriffe ableiten. Die Gemeinsamkeit ist in der Erkenntnis zu sehen, dass die Ziele der Aufstellung von Theorien darin bestehen, bestimmte Sachverhalte zu erklären oder zu prognostizieren. Somit kann eine Theorie als ein System wissenschaftlich begründeter Aussagen zur Erklärung bestimmter Tatsachen oder Erscheinungen und der ihnen zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten verstanden werden¹⁰⁹. Eine im Rahmen einer Untersuchung im Sinne der wissenschaftlichen Erklärung von Erfahrungen, Beobachtungen und Versuchen entworfene Theorie kann eine wissenschaftliche Grundlage für ein Wissensgebiet darstellen.

Der bekannte Wirtschaftswissenschaftler *Solow*¹¹⁰ behauptet, dass jede Theorie auf Annahmen beruht, die nicht völlig wahr sind, weil es sonst keine Theorie wäre. Die Kunst erfolgreicher theoretischer Untersuchungen sieht *Solow* darin, unumgängliche Vereinfachungen so vorzunehmen, dass die daraus resultierenden Ergebnisse nur in einem geringem Maße beeinträchtigt (oder verfälscht) werden. Eine entscheidende Annahme ist für ihn eine solche, von der die Folgerungen in entscheidendem Maße abhängig sind. Daher sollten Annahmen innerhalb vernünftiger Grenzen realistisch sein. Sollten jedoch die Ergebnisse einer Theorie im Wesentlichen auf einer speziellen Annahme beruhen, die in Zweifel gezogen werden kann, so ist auch das Ergebnis mit Vorsicht zu betrachten¹¹¹.

Im Rahmen des daraus resultierenden allgemeinen Theorieverständnisses ergibt sich für die vorliegende Arbeit nachfolgende Interpretation. Theorien bilden in der Hierarchie der wissenschaftlichen Mittel die oberste Stufe. Die Konzeption des EVCM bedient sich in erster Linie vorhandener Theorien, die entweder in eine sozialwissenschaftliche oder eine IT-gestützte, algorithmie-

¹⁰⁸Vgl. [Rat94, S. 263].

¹⁰⁹Vgl. [Mit95, S. 1361].

¹¹⁰Vgl. [Sol68, S. 67]

¹¹¹Ebenda.

rende Perspektive einzuordnen sind. Zur ersten Kategorie können die Transaktionskostentheorie (TAK), die Prinzipal-Agenten-Theorie (PAT) und die Netzwerktheorie gerechnet werden. In den zweiten Bereich können Gruppentheorie, Graphentheorie, Wahrscheinlichkeitstheorie, Mengentheorie und Bedientheorie eingeordnet werden. Den einzelnen Theorien werden verschiedene Modelle zugeordnet, wobei einzelne Modelle auch auf mehrere Theorien Bezug nehmen können.

4.3.1.2 Modell

Das Wort Modell stammt aus dem Lateinischen von *modellus*, was mit Maßstab übersetzt werden kann¹¹². Dieser Begriff findet auf vielfältige Art und Weise Verwendung. In der Wissenschaftssprache beschreibt ein Modell in der Regel (unübersichtliche oder abstrakte) Gegenstände oder Sachverhalte. Jedoch findet die Darstellung im Allgemeinen durch eine idealisierende Reduktion auf relevante Züge statt, die eine fassbare oder leichter realisierbare Darstellung dieser Gegenstände oder Sachverhalte zur Folge hat. Die Darstellung objekthafter Bestandteile tritt hierbei jedoch hinter die Darstellung der relational-funktionalen Beziehungen (=Struktur) zurück¹¹³. Im Allgemeinen sind Modelle nicht-sprachliche Entitäten, im Unterschied zu formalen Systemen oder Sprachen, die sie als Modell abzubilden versuchen. Eine Untersuchung von Modellen erfolgt in der Regel in einer mengentheoretischen Sprache¹¹⁴.

Der Begriff Modell aus einzelwissenschaftlicher Sichtweise ist nicht homogen, und es sind große Unterschiede zum mathematisch-logischen Sprachgebrauch festzustellen¹¹⁵. Aus naturwissenschaftlicher Sichtweise werden Modelle als verkleinerte Widerspiegelung der Realität (Natur) verstanden. Als mathematische Modelle bestimmter Prozesse werden aus Sicht der Einzelwissenschaften Simulationen in mathematischer Form verstanden, die reale Entwicklungen nach Auswahl relevant erscheinender Parameter darstellen.

Zusammenfassend ist unter einem Modell aus wissenschaftlicher Sichtweise eine vereinfachte Darstellung der Funktion eines Gegenstandes oder des Ablauf eines Sachverhaltes zu verstehen, welche eine Untersuchung oder Erforschung vereinfacht. In einem Modell sind wissenschaftliche Vorstellungen und/oder durchdachte Theorien von einem Themenkomplex hinterlegt¹¹⁶.

¹¹²Vgl. [Rat94, S. 910].

¹¹³Vgl. [Rat94, S. 911].

¹¹⁴Vgl. [Rat94, S. 912].

¹¹⁵Ebenda.

¹¹⁶Vgl. [Mit95, S. 904].

Für das EVCM-Konzept werden verschiedenste Modelle auf Basis einer oder mehrerer fundierter Theorien einerseits erforscht, untersucht und betrachtet; andererseits können neue Modelle formuliert und/oder bestehende Modelle präzisiert werden. Als neue Modelle sind Modelle zu verstehen, die so in der wissenschaftlichen Literatur noch nicht anzutreffen sind (z. B. Polyedrale Analyse). Bestehende Modelle können weiterentwickelt werden. Gewissermaßen als eine zusammenfassende Vorstufe zu Modellen können Konzepte angesiedelt werden. Konzepte in Form von Plänen, Programmen, Entwürfen und Skizzen stellen notwendige Grundideen und Modellideen zusammen¹¹⁷.

4.3.1.3 Methode

Der Begriff Methode stammt vom griechischen Wort *methodos* ab, was „Weg zu etwas hin“ bzw. „Weg oder Gang einer Untersuchung“ bedeutet¹¹⁸. Eine Methode bezeichnet ein nach Mittel und Zweck planmäßiges (=methodisches) Vorgehen, das zu technischer Fertigkeit bei der Lösung theoretischer und praktischer Aufgaben führt. Methodisches Vorgehen bzw. die Verwendung von Methoden gelten als Kennzeichen der Wissenschaften selbst, da diese als Charakteristikum für die wissenschaftlichen Verfahren angesehen werden können¹¹⁹. Eine Methode bezeichnet ein planmäßiges Vorgehen bzw. ein auf einem Regelsystem aufbauendes Verfahren für die Erlangung von (wissenschaftlichen) Erkenntnissen oder praktischen Ergebnissen¹²⁰. Durch Anwendung einer Methode als eine regelgeleitete Grundlage einer Vorgehensweise erwächst durch das festgelegte Regelsystem eines Verfahrens die Hoffnung, ein überprüfbares Ergebnis zur untersuchten Problematik zu gewinnen.

Im Rahmen dieser Arbeit bilden die Methoden einen wichtigen Ansatzpunkt zur Bearbeitung der erforschten Modelle. Durch den Einsatz verschiedenster Methoden sollen konkrete, überprüfbare Ergebnisse zu vorhandenen Problematiken geliefert werden. Heuristiken und verschiedene Algorithmen stellen einen Schwerpunkt der angewandten Methoden dar.

4.3.1.4 Instrument

Instrumente stellen Hilfsmittel zur Durchsetzung von Absichten dar¹²¹. Sie existieren in Form eines Geräts oder eines feinen Werkzeuges für das tech-

¹¹⁷Vgl. [o.V02].

¹¹⁸Vgl. [Rat94, S. 889].

¹¹⁹Vgl. [Mit95, S. 876].

¹²⁰Vgl. [Rat94, S. 889].

¹²¹Vgl. [o.V02].

nische oder wissenschaftliche Arbeiten¹²². Aus wissenschaftlicher Sichtweise können Instrumente den Modellen untergeordnet werden, aus denen diese hervorgehen.

Ein Instrumentarium hingegen ist die Gesamtheit aller benutzten Werkzeuge. Dies lässt zwei relevante Interpretationsmöglichkeiten zu: einerseits kann ein Instrumentarium als die Gesamtheit der als Ausrüstung zur Durchführung einer Tätigkeit zur Verfügung stehenden Instrumente gesehen werden, andererseits stellt es die Gesamtheit der für eine bestimmte Aufgabe, Tätigkeit, für die Erreichung eines bestimmten Zieles zur Verfügung stehenden Mittel, Möglichkeiten und Einrichtungen dar¹²³.

Für die Umsetzung des EVCM-Konzeptes bieten sich verschiedenste Instrumente an, die entwickelten Methoden umzusetzen. Die Instrumente sind entweder der sozialwissenschaftlichen Perspektive oder der IT-gestützten algorithmierenden Perspektive zuzuordnen. Zu relevanten Instrumenten gehören beispielsweise Programmiersprachen wie *C++* oder *Java* bzw. Beschreibungssprachen wie *UML* oder auch Tools wie *Visual Studio* oder *Rational Rose*.

4.3.1.5 Synthese der Kategorien

Aufbauend auf den verschiedensten wissenschaftlichen Theorien, die sich in der Forschung etabliert haben, können unterschiedliche Modelle abgeleitet werden. Dabei ist es möglich, dass ein Modell auch auf Basis von zwei oder mehreren Theorien begründet ist. Als ein möglicher, zusammenfassender Begriff mehrerer Modelle kommt die Bezeichnung Konzept in Frage. Ausgehend von einer Mehrzahl von Modellen, die teilweise bereits vorhanden sind, zum Teil jedoch auch neu entwickelt wurden, können verschiedene Methoden Anwendung finden. Die Methoden stellen durch die regelgeleitete Abfolge des Vorgehens einen Versuch zur Umsetzung von Modellen in die Praxis dar. Ausgehend von diesen Methoden werden schließlich verschiedene Instrumente eingesetzt, um die gewünschten Forschungsergebnisse, auch praxisrelevant, erzielen zu können. Auch bei den Methoden und Instrumentarien kann in neuentwickelte, weiterentwickelte oder bereits vorhandene Elemente unterschieden werden.

Die folgende Abbildung 4.15 zeigt die wesentlichen, in dieser Arbeit entwickelten oder benutzten Theorien, Modelle/Konzepte, Methoden und Instrumentarien in ihrem Zusammenhang. Die folgenden Kapitel untersetzen die „Worthülsen“.

¹²²Vgl. [Rat94, S. 641].

¹²³Ebenda.

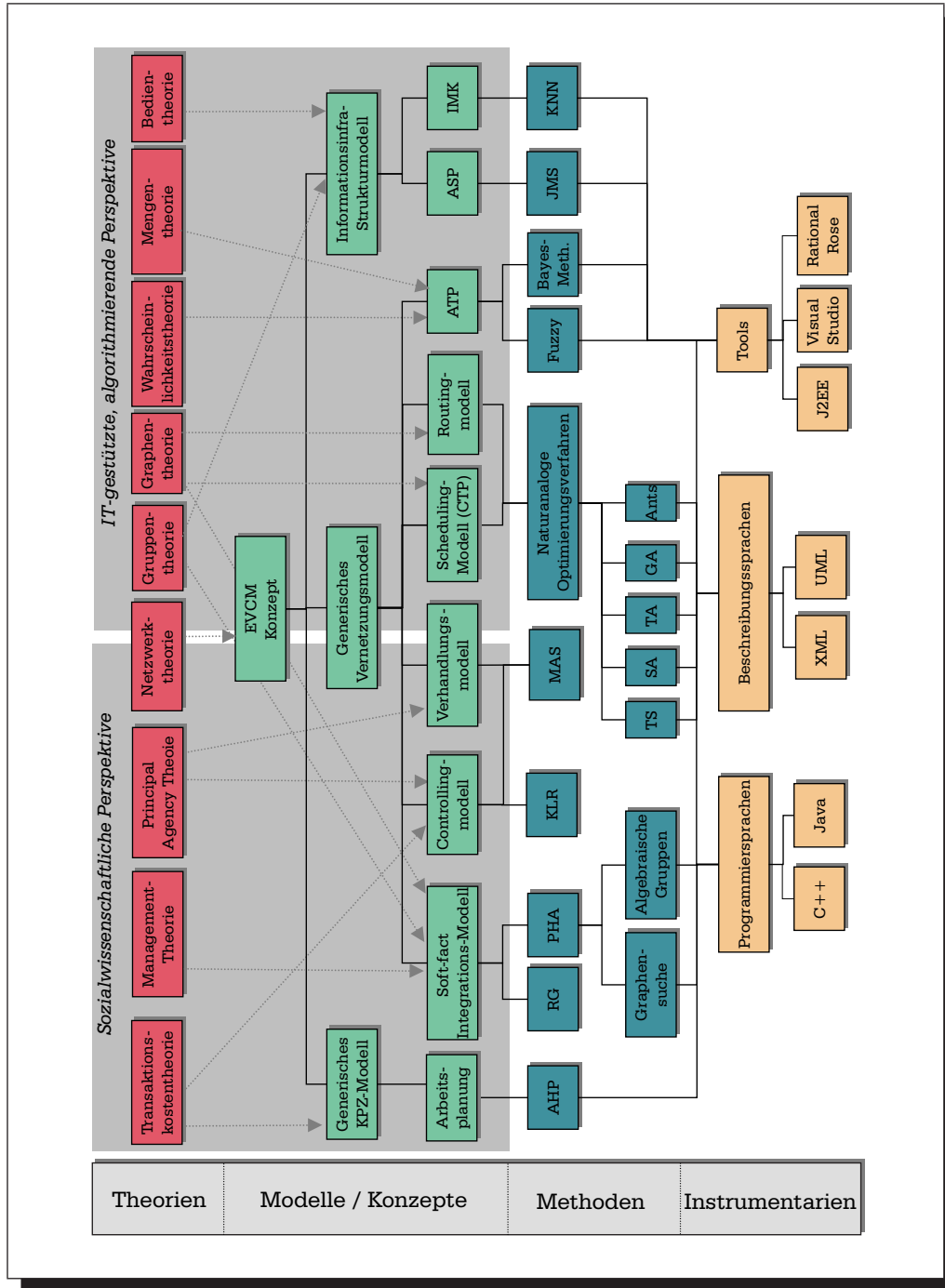


Abbildung 4.15: Synthese wissenschaftlicher Kategorien


4.3.2 Ablauforganisation


Um zu einem konzeptuellen Rahmen für den Entwurf des EVCM-Konzeptes zu gelangen, ist das grobe Verständnis von Ablauf- und Aufbauorganisation des KPZN, zunächst in schemenhafter Form, notwendig. Anhand der folgenden, simplifizierenden Abbildung soll dieses Verständnis geschaffen werden. Im Groben zerfällt die Dynamik des KPZN in zwei Abläufe: den Anfragevorgang (Ausrollprozess in Unterabbildung 4.16(a)) und in den Prozess der Antwortgenerierung (Einrollprozess in Unterabbildung 4.16(b)), die im Folgenden erklärt werden.

Der *erste Schritt* der Genese eines Kooperationsnetzwerkes „*Dekomposition Wertschöpfungsnetz*“, nach dem eine detaillierte und strukturierte Produktionsanfrage vorliegt, ist die Erstellung eines Funktionsmodells, welches die verteilte Konzeption und Konstruktion des Produktes in einem Netzwerk aus Kompetenzzellen gestattet und die Basis für eine simultane Grobplanung möglicher Fertigungsszenarien innerhalb der Kooperation bildet, die bis auf Prozessschritte heruntergebrochen werden. Diese Aufgabe wird von einer Kompetenzzelle aus dem Funktionsbereich *Arbeitsplanung* erfüllt. Es ist möglich, dass eine spezifische Fertigungskompetenzzelle mehrere Prozessschritte umsetzen kann. Ein verteilter Fertigungsvariantenplan wird deshalb, wenn alle durch das Netzwerk umsetzbaren und zugleich sinnvollen Herstellungsszenarien betrachtet werden, aus sehr vielen Herstellungsalternativen inklusive deren Variation und Permutation bestehen. Zwangsläufig muss die KPZ *Arbeitsplanung* Informationen über die vorhandenen bzw. nutzbaren Maschinen und deren technologischen Einsatzpotenziale vom informationstechnischen Modellkern (IMK) erhalten, der u. a. die Informationen zum strategischen (statischen) Netzwerk verwaltet. Das Resultat dieser Planungsphase ist der Prozessvariantenplan. Im Gegensatz zur konventionellen sequentiellen *Arbeitsplanung* in Unternehmen beschreibt die Kompetenzzelle *Arbeitsplanung* innerhalb der vernetzten Wertschöpfung die Reihenfolge der Prozessschritte in Form des oben genannten Nachfragevektors KPZ-neutral, d. h. eine Zuordnung von auszuführenden KPZ wird zu diesem Zeitpunkt noch nicht getroffen. Der Nachfragevektor setzt sich aus Produkt-, Prozess- und Auftragsdaten wie z. B. Informationen über das Fertigungsverfahren, Oberflächengüten, Tolerierungen, Werkstoff, Geometriedaten usw. zusammen.

Eine KPZ-gebundene, zeitliche Ressourcenplanung kann erst erfolgen, wenn entsprechende Fertigungskompetenzzellen mit ihren spezifischen Fertigungszeiten und Kapazitäten, welche im IMK in Form eines Angebotsvektors existieren, den erstellten Anforderungsvektoren zugeordnet werden. Dies ist Auf-

gabe des *zweiten Schrittes* bei der Bildung des dynamischen KPZN „*Suche nach Kompetenzzellen*“. Der Angebotsvektor widerspiegelt die technologischen Möglichkeiten einer Fertigungskompetenzzelle in analoger Ontologie des Anforderungsvektors. Nach der vollständigen Zuordnung von Beschreibungs- und Anforderungsvektoren entsteht aus dem bewerteten Prozessvariantenplan der verteilte (KPZ-attribuierte) Fertigungsvariantenplan. Da eine Dekomposition des Produktes nicht zu einem Zeitpunkt in vollem Umfang realisiert wird, kann dieses Vorgehen rekursiv in mehreren Phasen ablaufen (im oberen Teilbild der Abbildung 4.16 als Ausrollvorgang angedeutet).

Ein Kunde kann im Wesentlichen seinen Bedarf (durch  symbolisiert) auf drei Arten anmelden: zum ersten durch eine konventionelle Anfrage¹²⁴ an ein bekanntes Unternehmen, zum zweiten durch eine Anfrage über den IMK an das KPZN und zum dritten über einen der reichlich vorhandenen Marktplätze. In gewisser Weise kann der IMK auch als Marktplatz aufgefasst werden. Darauf wird näher in Abschnitt 5.2.1 eingegangen. Die erste und die letzte Möglichkeit zeichnen sich regelmäßig durch Medienbrüche und manuelle Vorgehensweisen innerhalb des gesamten Informationsverarbeitungsprozesses aus. Alle bekannten Lösungen bilden im besten Fall binäre Relationen zwischen Unternehmen ab (siehe Kritikpunkte in Abschnitt 2.6.2.). Diesen Mangel behebt die zweite Alternative, deren Verlauf im Folgenden weiter untersetzt wird.

Nach Ablauf der ersten beiden Schritte der KPZN-Genese und erfolgter Attribuierung der Prozessschritte mit KPZ, muss für diese im *dritten Schritt* entsprechend gebildeter Unteranfragen  eine interne Ablaufplanung erfolgen. Diese Unteranfragen resultieren i. d. R. aus einer Nettobedarfsauflösung mit Vorlaufverschiebung für die angefragten Produkte. Die zentrale Aufgabe der Materialbedarfsplanung ist die Sicherstellung der Materialverfügbarkeit. Es wird die Anzahl der Baugruppen, Einzelteile und Rohstoffe bestimmt, die zur Erfüllung des geplanten Produktionsprogrammes notwendig sind. Diese müssen zur richtigen Zeit in der richtigen Menge verfügbar sein. Das Ergebnis der Materialbedarfsplanung sind Beschaffungsvorschläge. Bei der Bedarfsplanung werden die Mengen und Termine festgelegt. Die geplanten Bedarfe werden mit den Lagerbeständen und geplanten Beständen, die zwar nicht jetzt, aber zum Bedarfszeitpunkt verfügbar sind, verrechnet. Eventuelle Unterdeckungen werden festgestellt. Dazu werden Daten über Lagerbewegungen, Fertigungszustände und geplante Aufträge benötigt. Danach erfolgt die Übergabe der Beschaffungsaufträge an die Produktion bzw. an den Einkauf.

¹²⁴Postweg, Telefon oder bereits EDI.

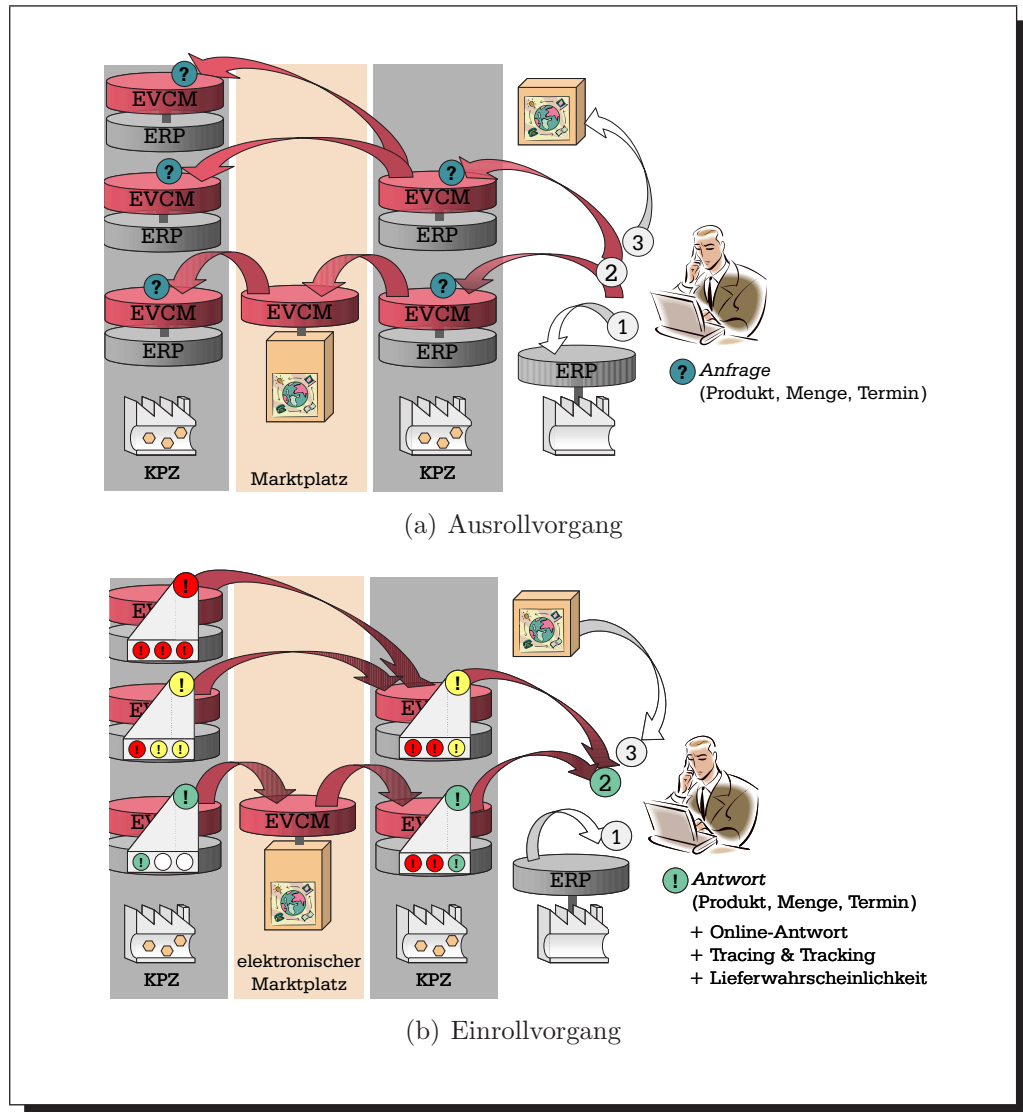






Abbildung 4.16: EVCM-Ablaufmodell

Beide Grundverfahren der Disposition, sowohl die *plangesteuerte Disposition* als auch die *verbrauchsgesteuerte Disposition*, laufen innerhalb der Materialbedarfsplanung ab¹²⁵.

Für eine Auswahl an Teilen muss also entschieden werden, ob diese in einem Lager bereitstehen (ATP – Available to Promise) oder rechtzeitig produziert werden können (CTP – Capable to Promise). Das CTP stellt

¹²⁵Für detaillierte Informationen zu diesem Verfahren siehe [Kä02a].

die Ablaufplanung i. e. S. dar. Effiziente Algorithmen geben Auskunft über die Möglichkeiten der durch begrenzte Ressourcen restriktierten Fertigung, ein bestimmtes Produkt zu einem bestimmten Termin liefern zu können. Die umfangreichen Facetten des CTP werden in Kapitel 6 erläutert.

Falls beide Möglichkeiten (ATP und CTP) keine befriedigenden Ergebnisse bzgl. Menge und Termin des nachgefragten Produktes liefern, werden weitere Anfragen im Sinne eines Outsourcing rekursiv generiert, bis die Blattknoten der Stückliste erreicht sind. Die Teilergebnisse von ATP, CTP und Outsourcing sind im Symbol  an entsprechender Stelle ihrer Ausführungsreihenfolge (links ATP, Mitte CTP, rechts Outsourcing) dokumentiert. Das grüne Symbol  zeigt an, dass das Produkt in der richtigen Menge pünktlich geliefert werden kann. In diesem Falle resultiert der Verzicht auf die Ausführung der nachfolgenden Methoden des CTP oder des Outsourcing. Das gelbe Symbol  weist darauf hin, dass bezüglich Menge und/oder Termin nicht dem Wunsch in vollem Maße entsprochen werden konnte. Es folgt der Aufruf der nächsten Methode. Das rote Symbol  zeigt generelle Lieferunfähigkeit an. Es erfolgt ebenfalls der Aufruf der nächsten Methode. Am Ende dieses Ausrollvorgangs wird als Ganzes das gleiche Netz generiert, wie es bei einem zentralen Aufplanungsansatz entstünde. Der Vorteil ist jedoch, dass die Schwierigkeit einer Gesamtplanung aufgrund der Dezentralisierung auf KPZ-Niveau reduziert wird.

Der untere Teil der Abbildung 4.16 illustriert den Vorgang des Einrollens. Für die generierten Anfragen werden in einem Zeitraum (möglichst nur wenige Minuten) entsprechende Antworten über Lieferfähigkeit, -termin, -menge und -wahrscheinlichkeit erwartet. Zu diesem Zweck erfolgt im *vierten Schritt* die „Angebotsgenerierung“ mittels Aggregation der weiterzuleitenden Antwort aus den erhaltenen Antworten auf die Unteranfragen. Diese Methode wird in Kapitel 7 vorgestellt. Der Vorgang der Angebotsgenerierung beendet die Rekursion auf jeder Stufe, indem der Kunde von seiner angefragten Instanz die entsprechenden Informationen zur möglichen Umsetzung durch das Netzwerk als Antwort erhält. Auf keiner Stufe der Rekursion werden endgültige Entscheidungen getroffen. Der Nutzer erhält vielmehr Antworttupel, die den Lösungsraum entsprechend einschränken. Bezüglich der Erhaltung möglicher Optima ist dieses Vorgehen im Hinblick auf eine schnelle Online-Generierung von realistischen Antworten auf Kundenfragen notwendig.

Bei existierenden Freiheitsgraden¹²⁶ bezüglich der Auswahl von Kompetenzzellen kann im *fünften Schritt* für das Netzwerk eine *Soft-fact-Integration* vollzogen werden. Darunter wird eine Analyse der Netzwerkstruktur unter

¹²⁶Falls nach technologischer Machbarkeit und ökonomischer Restriktion noch mehrere KPZ zur Erfüllung eines speziellen Prozessschrittes zur Verfügung stehen.

Beachtung von eher verhaltensorientierten Beziehungen zwischen Netzknoten verstanden. Es wird in Kapitel 8 ein Modell zur Operationalisierung derartiger Merkmale zur Strukturanalyse vorgestellt. Daran anschließend erfolgt im *sechsten Schritt* die „*KPZ-Auswahl*“ durch geeignete Verfahren. Damit ist die Genese des Kompetenzzellennetzes abgeschlossen. Die Schritte „*Netzbetrieb*“, „*Bewertung*“ und „*Netzauflösung*“ komplettieren den Zyklus.

In den bisherigen Ausführungen lag der Fokus der Betrachtung zunächst auf transaktionskostentheoretischen und ablauforganisatorischen Details des Konzeptes. Eine weitere wichtige Frage, die an dieser Stelle beantwortet werden soll, ist, welchen Nutzen das EVCM-Konzept bezüglich der herausgearbeiteten Kritikpunkte einem Unternehmen (in dem die Organisationseinheit der KPZ angesiedelt ist) oder einer Wertschöpfungskette stiftet? Ein großes Problem besteht in der unternehmerischen Praxis darin, dass Vertrieb und Fertigung bei der Beantwortung von Kundenanfragen voneinander entkoppelt arbeiten. Einer der Gründe hierfür ist darin zu sehen, dass die meisten ERP/SCM-Systeme erst mit dem Anlegen von Planaufträgen die Einbeziehung der Fertigung in die Planung realisieren können. Bei einer unverbindlichen Anfrage erfolgt jedoch keine Generierung eines Planauftrages. Somit ist eine simulative Einlastung des potenziellen Auftrages unter Beachtung der Kapazitätsrestriktionen nicht möglich. Zudem erfolgen die Abfragen zur Kapazitäts- und Lagersituation in der Regel manuell.

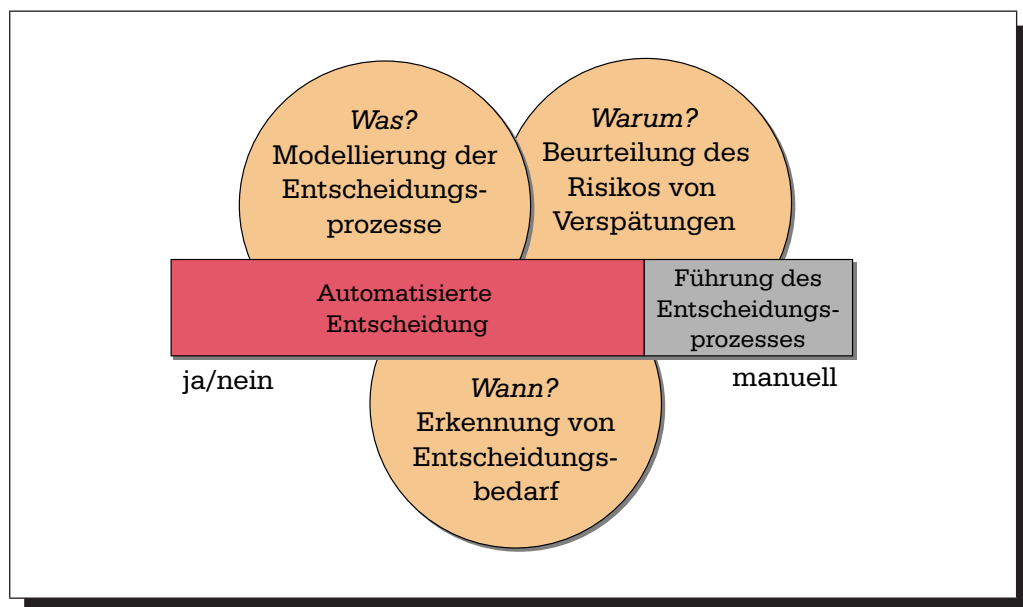


Abbildung 4.17: Entscheidungsprozesse

Abbildung 4.17 zeigt in einer Übersicht ein Entscheidungsproblem von Unternehmen. In der unternehmerischen Gegenwart gibt es kaum Entscheidungsprozesse, die automatisiert über mehrere Stufen der Wertschöpfung ablaufen. Das liegt zum einen daran, dass derartige Prozesse in ERP/SCM-Systemen nicht unterstützt und zum anderen nicht modelliert werden. Es können zwar Workflows (in riesigem Ausmaß) abgebildet werden, aber nicht in Verbindung mit der Automatisierung von unternehmensübergreifenden, generischen Zusammenhängen.

Das EVCM-Konzept bildet hierfür einen Rahmen, der in Abbildung 4.16 durch die roten Scheiben oberhalb der ERP-Funktionalität dargestellt wird. Bei einer Kundenanfrage wird von Fall zu Fall entschieden, wann der Nutzer in die Entscheidungsprozesse einbezogen werden muss. Dies ist in erster Linie davon abhängig, welche Qualität die Antwort aus dem Rückrollprozess bezüglich des zu erwartenden Risikos einer Terminabweichung besitzt. Falls eine ATP-Funktionalität eine 100%-Verfügbarkeit der gewünschten Menge zu einem bestimmten Zeitpunkt meldet, kann die Antwort 🟢 automatisch generiert werden. Muss bspw. der Sicherheitsbestand angegriffen werden, wird sich je nach Kundenpriorität, Auftragspriorität oder Unterschreitung des Sicherheitsbestandes ein Entscheidungsbedarf 🟡 des Nutzers ableiten. Falls mit Sicherheit aus einem ATP- oder CTP-Lauf feststeht, dass der Kunde nicht bedient werden kann, so resultiert automatisch eine Abweisung 🔴 der Anfrage. Aus durchgeführten Untersuchungen ergab sich ein hoher zu erwartender Automatisierungsgrad der Entscheidungsprozesse. Bei heutigen Antwortzeiten auf Kundenanfragen von Tagen und häufig Wochen ist bereits an dieser Stelle ein großes Nutzenspotenzial für die Unternehmen deutlich erkennbar.

4.3.3 Aufbauorganisation

In diesem Unterabschnitt soll angedeutet werden, was sich hinter den EVCM-Scheiben aus Abbildung 4.16 verbirgt. Da es sich beim KPZN um ein Vernetzungsmodell handelt, stellt sich die Frage, welche primäre Sicht auf die Kompetenzzelle zur Modellierung dieser Vernetzung benutzt werden soll. Zur Auswahl stehen eine funktions-, eine ressourcen- und eine kompetenzorientierte Sichtweise (siehe Abbildung 4.5). Der Begriff des Kompetenzzellennetzes legt nahe, die Modellierung ebenso kompetenzorientiert zu betrachten. Dieser sozialwissenschaftlich motivierte Ansatz zur Netzwerkgenese stellt in der quantitativen Netzwerkforschung ein Novum dar. Zwar finden sich (wie oben umfangreich dokumentiert) in der Literatur zahlreiche verhaltensorientierte Vernetzungsszenarien, jedoch wurde für keinen der Versuch unter-

nommen, ihn in operationalisierbarer Form in ein Informationssystem zu überführen. Andererseits sind bestehende Informationssysteme ausschließlich funktionsorientiert konzipiert (siehe Kapitel 2). Aus anderen Theorien (Fluss-System Theorie) sind ebenfalls ressourcenorientierte Ansätze bekannt, die nur technizitäre Ansätze verfolgen. Insofern bildet die in dieser Arbeit gewählte kompetenzorientierte Herangehensweise einen wissenschaftlich neuen Ansatz durch Integration verhaltensorientierter Merkmale von Netzwerken in Informationssysteme und trägt somit auch der Forderung nach einem systemisch-evolutionären Ansatz in vollem Maße Rechnung. Dieser Ansatz spiegelt sich in der Aufbauorganisation des EVCM-Konzeptes, repräsentiert in der Abbildung 4.18, wider.

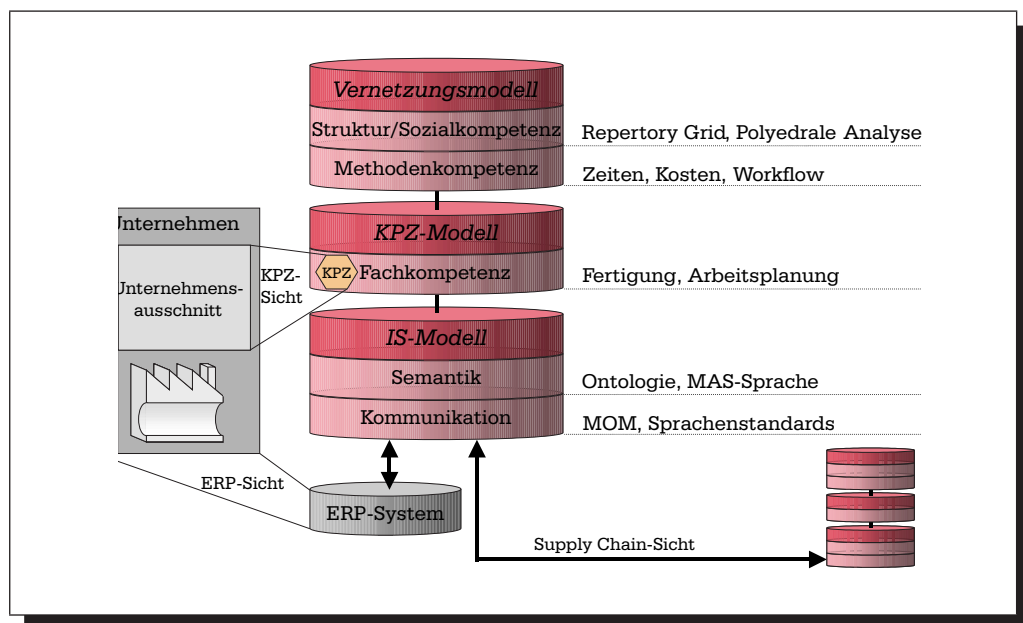


Abbildung 4.18: EVCM-Schichtenmodell

Das Schichtenmodell folgt stringent den inhaltlichen Ausführungen zur Ablauforganisation aus Abschnitt 4.3.2 und besteht aus drei Hauptteilen:

Informationsinfrastrukturmodell: dient zur Bereitstellung der programmtechnisch realisierten Methoden (Advanced Planning and Scheduling, Kostenrechnung, Angebotsgenerierung) für die KPZ unter informatonstechnischen Gesichtspunkten (kostengünstige hostbare Lösung) und zur Sicherstellung der Kommunikation (Standards für Protokolle und Sprachen wie CORBA oder JMI sowie eine gemeinsame Ontologie).

Die Gesamtheit der informationstechnisch notwendigen Voraussetzungen für die Umsetzung des EVCM-Konzeptes sind im informationstechnischen Modellkern (IMK) enthalten. Dieser arbeitet dezentral, was durch die einzelnen EVCM-Scheiben pro Kompetenzzeile zum Ausdruck gebracht werden soll.

Kompetenzzellenmodell: vereinigt alle fertigungs- und arbeitsplanungsrelevanten Modelle, welche als *Fachkompetenz* in die Modellierung eingehen. Entsprechend notwendige Daten können aus vorhandenen ERP-Systemen gewonnen werden. Darüber hinausgehende Informationen wie Angebotsvektoren enthält der IMK selbst¹²⁷.

Vernetzungsmodell: beinhaltet die Methoden zur Vernetzung von Wertschöpfungseinheiten. Diese unterscheiden sich nach *Methodenkompetenzen* zur Realisierung der Netzwerkfähigkeit der Organisationseinheiten im Netz (Advanced Planning and Scheduling) sowie nach *Sozialkompetenz*, die Aussagen über die Assoziation von Organisationseinheiten zulassen, d. h. Merkmale, die nicht einem Knoten selbst, sondern nur der Verbindung zwischen diesen zugeordnet werden kann (z. B. Vertrauen). Als Modell ist in diesem Zusammenhang die *Polyedrale Analyse* zu nennen. Da diese Assoziationen für die Strukturbildung von Netzwerken verantwortlich sind, könnte auch in einem gewissen Sinne von Strukturkompetenz gesprochen werden. Hierunter ließen sich demnach auch logistische Beziehungen zwischen den Organisationseinheiten subsumieren.

Wie aus anderen Schichtenmodellen¹²⁸ bekannt ist, kommunizieren die einzelnen Ebenen miteinander, indem die darunterliegenden Schichten durchlaufen werden müssen. Falls also die Polyedrale Analyse zu Strukturuntersuchungen des Netzwerkes benutzt wird, müssen die technologischen Rahmenbedingungen über die Schicht der Fachkompetenz und die ökonomischen Restriktionen über die Schicht der Methodenkompetenz abgearbeitet sein - und immer in der gleichen Reihenfolge! Die informationstechnische Schicht bildet immer die Basis der Kommunikation bzw. Koordination.

Gleichgültig, wie viele Organisationseinheiten am KPZN teilnehmen und welche Infrastruktur diese benutzen, ist eine Standardisierung der Kommunika-

¹²⁷Für das EVCM-Konzept hat die organisatorische Sicht der Netzwerkknoten keine nennenswerte Bedeutung. Es ist für den Vernetzungsansatz unerheblich, welche Organisationseinheiten (KPZ, Segmente oder Unternehmen) vernetzt werden sollten. Vielmehr ist entscheidend, wie dynamisch vernetzt wird.

¹²⁸Z. B. 7-Schichten-OSI-Referenzmodell.

tionsabläufe über eine derartige Schichtenarchitektur notwendige Voraussetzung zur Beherrschung der komplexen Aufgaben in Bezug auf die Koordination der Wertschöpfungsprozesse. Eine Schicht erbringt wohldefinierte Leistungen, die nur mit den unmittelbar angrenzenden Schichten über ebenfalls wohldefinierte Schnittstellen (Protokolle) ausgetauscht werden.

Entsprechend der *ARIS*-Konzeption von *Scheer*¹²⁹ ist für die Modellierung der einzelnen Schichten eine Unterscheidung in Fach-, DV- und Implementierungskonzept sinnvoll. In den Kapiteln 5 bis 9 erfolgt die Beschreibung der betriebswirtschaftlichen orientierten Fachkonzepte. Im Kapitel 10 wird bezüglich dieser Fachkonzepte eine mögliche Überführung in entsprechende DV-Konzepte vorgenommen und einige Implementierungsdetails diskutiert.

4.3.4 Der abgeleitete konzeptuelle Rahmen

In diesem Abschnitt erfolgt ausgehend von den theoretischen Konzeptionen zu Netzwerken und deren Phasenmodellen aus Abschnitt 3.2.3 sowie von der allgemeinen Deskription von der Aufbau- und der Ablauforganisation des KPZN deren Zusammenführung zu einem konzeptuellen Rahmen, in welchem die Genese eines KPZN abläuft. In Analogie zu Virtuellen Unternehmen allgemein wird dieser auch als Lebenszyklus des KPZN verstanden.

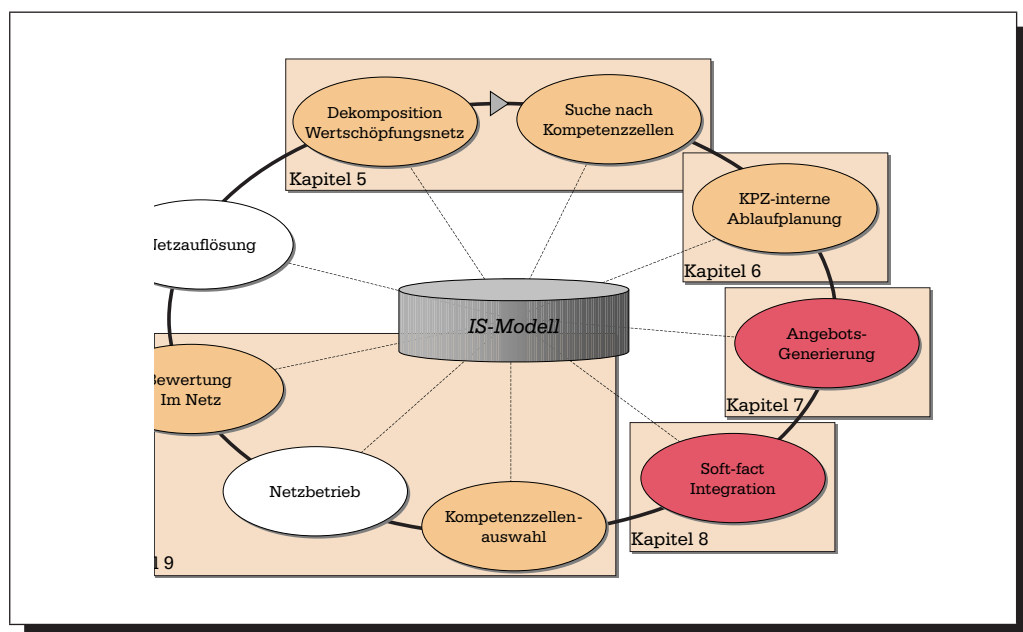


Abbildung 4.19: Phasenmodell der KPZN

¹²⁹Siehe [Sch95a, S. 17].

Aus der Abbildung 4.19 sind die in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen ablauforganisatorischen Schritte erkennbar und den einzelnen Phasen zugeordnet. Die hellen Ovale bedürfen entweder keiner theoretischen Betrachtung (Netzauflösung) oder sind bereits in anderen Phasen methodisch untersetzt (Netzbetrieb). Die roten Ovale zeigen die theoretische Neuartigkeit des Ansatzes an. Durch die entwickelten Methoden dieser beiden Phasen erfolgt eine Erweiterung der bisherigen Phasenmodelle nicht begrifflicher, sondern inhaltlicher Art. Während die Phase „Angebotserstellung“ zur Verbesserung betriebswirtschaftlicher Kenngrößen, die unter anderem durch den *Bullwhip-Effekt* offensichtlich hervortreten, ein methodisches Repertoire zur Verfügung stellt, schafft die Phase „Soft-fact Integration“ Möglichkeiten der Berücksichtigung verhaltenwissenschaftlicher Merkmale während der Netzwerkgenese. Die Rechtecke zeigen die Zuordnung der Phasen zu den sie behandelnden Kapiteln und begründen somit inhaltlich die Reihenfolge der Abarbeitung im weiteren Verlauf der Arbeit.

Abschließend wird auf der Grundlage der bisherigen konzeptuellen Überlegungen zum Management eines Kompetenzzellennetzwerkes folgende Definition des Extended Value Chain Managements gegeben:

Extended Value Chain Management: EVCM ist die ganzheitliche, kompetenzorientierte Betrachtung der Geschäftsprozesse eines Produktionsnetzwerkes über alle Produktionsstufen beginnend beim Kunden und endend bei elementaren Zulieferern. Es umfasst dabei alle strategischen, taktischen und operativen Maßnahmen zur effizienten Koordination aller inter- und intraorganisatorischen Geschäftsprozesse, die ihren Ursprung in der fachkompetenten Bildung von Prozessvariantenplänen haben und sich bis zur sozialkompetenten, operationalisierten Auswahl von Netzwerkpartnern erstrecken.

4.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Erkenntnisse zu ERP/SCM-Systemen aus Kapitel 2 und zu Netzwerken bzw. Managementkonzepten aus Kapitel 3 zusammengeführt und das Extended Value Chain Management-Konzept für Kompetenzzellennetze (KPZN) abgeleitet.

Hierzu erfolgte zunächst die Definition der Organisationseinheit „Kompetenzzelle“. Zur sinnvollen Größe einer KPZ konnten trotz der internationalen Brisanz des Themas keine theoretisch verwertbaren Ergebnisse gewonnen werden. Obwohl der hierbei benutzte Transaktionskostenansatz einige

Anlässe zu Spekulationen bot, sind dennoch viele kritische Anmerkungen zu formulieren. Der Begriff der Transaktionskosten ist zum einen recht unklar definiert. Daher lassen sich eine ganze Reihe wirtschaftlicher Phänomene erklären. Notfalls wird dieser Ansatz im Nachhinein so angepasst, dass die Argumentation schlüssig wirkt. Zum anderen erfolgt eine Beschränkung der Betrachtung ausschließlich auf die Kostendimension. Weitere Bestandteile einer intraorganisationalen Beziehung wie unternehmenspolitische Aspekte werden vernachlässigt.

Abschließend erfolgte die Einordnung der KPZN in die bestehende Theorie zu Netzwerken. Das in diesem Zusammenhang vorgestellte Rahmenkonzept zum EVCN bietet neue wissenschaftliche Ansätze in Bezug auf Soft–fact Integration und Angebotserstellung. Die Operationalisierung der Konzepte innerhalb eines Informationsinfrastrukturkonzeptes schließt die Lücke zwischen funktionsorientierten ERP/SCM–Konzepten auf der einen und „verbalen“ verhaltenorientierten Konzepten auf der anderen Seite.

4.4.1 Offene juristische Probleme

Mit dem Konzept der organisationsübergreifenden Kooperation in Form von Netzwerken und den daraus resultierenden Virtuellen Unternehmen als Zusammenschluss von Unternehmen, Unternehmensteilen oder Einzelpersonen zur Erbringung einer bestimmten nachgefragten Leistung hat sich ein völlig neues Anwendungsgebiet für die Rechtswissenschaft ergeben.

Nur angesprochen, aber nicht behandelt wurden juristische Probleme in Verbindung mit Produktionsnetzwerken. Dieses ergeben sich vor allem aus der Tatsache, dass die deutsche Rechtssituation (wie auch die Situation in anderen Ländern) äußerst unvorbereitet auf diese neue Art überbetrieblicher Kooperation ist. Wie beim klassischen Unternehmen muss auch in einem Virtuellen Unternehmen versucht werden, die Risiken der Akteure zu vermeiden und die Haftung zu begrenzen. Für drei Bereiche¹³⁰ sind dabei rechtliche Absicherungen zu treffen:

1. Es ist eine rechtliche Organisationsform für das stabile Netzwerk zu finden. Dieses langfristige Netzwerk als Plattform Virtueller Unternehmen könnte z. B. als Verein, Stiftung oder Genossenschaft geführt werden. Vertraglich sollten die Ziele und Regeln für alle Netzwerkteilnehmer festgelegt werden.

¹³⁰Vgl. [Sch97d, S. 11].

2. Auch die Virtuelle Organisation selbst benötigt eine Rechtsform. Da eine schnelle und flexible Leistungserstellung angestrebt wird, empfehlen sich bereits vorbereitete Musterverträge oder Vertragsmodule, um die Geschwindigkeitsvorteile auch ausnutzen zu können.
3. Das Verhältnis zwischen Kunde (Auftraggeber) und Virtuellem Unternehmen bedarf ebenfalls einer rechtlichen Grundlage. Eine Absicherung des Kunden wie beim realen Unternehmen ist anzustreben.

Insbesondere ein Virtuelles Unternehmen kann von typischen juristischen Problemen¹³¹ betroffen sein. Hierbei sind arbeitsrechtliche Fragestellungen (Arbeitsverträge, Gehaltsbezug) und kartellrechtliche Aspekte (da VU eine marktbeherrschende Stellung einnehmen könnten) zu betrachten. Auch Fragen des Datenschutzes¹³², des Haftungsrechts, des Patentrechts, des Urheberrechts, des Handels- und Steuerrechts sowie des Prozessrechts wären zu beachten.

Auch bei weiteren rechtlichen Fragestellungen könnten Probleme auftreten. So stellen z. B. Vertragsstörungen¹³³ Konfliktpotenzial dar. Im VU wird ein fertiges Produkt von einem Akteur an den Kunden ausgeliefert. Sollte am Produkt ein Mangel vorliegen, wird sich der Kunde zuerst an den Lieferanten wenden, obwohl vielleicht ein anderer Akteur in der Wertschöpfungskette dafür verantwortlich ist. Probleme könnten auch auftreten, falls das Virtuelle Unternehmen durch Forschungs- und Entwicklungstätigkeit patentreife Erfindungen erarbeitet. Da Patente nach §6 PatG (Patentgesetz) dem Erfinder zustehen, ist zu klären, wer die Rechte an der Erfindung hält. Nach dem Gesetz über Arbeitnehmererfindungen (ArbnErfG) können die Rechte an einer Erfindung an den Arbeitgeber übergehen. Daher ist die Frage zu klären, ob das teilnehmende Unternehmen oder das Virtuelle Unternehmen selbst der Arbeitgeber ist.

Im Gegensatz zum klassischen Unternehmenstypus ist das Virtuelle Unternehmen mit seiner Vielzahl an möglichen Ausprägungen nur schwer rechtlich strukturierbar und deshalb durch die geltenden Gesetze nur unzureichend abgedeckt. Die einzige Möglichkeit, diese komplexen Netzwerkstrukturen mit einem rechtlich schlüssigen Rahmen zu versehen, besteht im Abschluss von Vertragsbündeln¹³⁴. Nur ein umfangreiches spezifisches Vertragswerk könnte die Teilnehmer sowohl untereinander als auch im Verhältnis zu Dritten

¹³¹Vgl. [Sch97c, S. 368 f.].

¹³²Aufzählung in Anlehnung an [Mü95, S. 68]. Zusätzlich kann auch das Vertragsrecht nach [Som96, S. 23] mit einbezogen werden.

¹³³Vgl. [Som96, S. 23].

¹³⁴Vgl. [Lan98, S. 1171].

absichern. Diese Notwendigkeit steht jedoch scheinbar im Widerspruch zur angestrebten Flexibilität und Schnelligkeit als Erfolgsfaktoren Virtueller Organisationen.

Auf eine Bearbeitung dieser komplexen juristischen Materie wurde aus dem anders gesetzten inhaltlichen Fokus verzichtet, auch wenn es zweifelsohne einer intensiven Bearbeitung bedarf.

4.4.2 Netzwerk–Controlling

Neben wichtigen juristischen Fragestellungen wurde in der bisherigen Betrachtung ebenso das Netzwerk–Controlling ausgeblendet. Die Anforderungen an die Unternehmensführung sind in den letzten Jahren zunehmend komplexer und anspruchsvoller geworden. Gegenüber herkömmlichen kontinuierlichen und eher maßvollen Umweltveränderungen werden Unternehmen heute mit „einer Welt von Diskontinuitäten, deren Sicherheit das Fehlen von Sicherheiten und Orientierungspunkten“¹³⁵ ist, konfrontiert. Die Hauptaufgabe der Unternehmensleitung besteht damit in der permanenten Anpassung und Gestaltung des Unternehmens. Dies führt zu einem erhöhten Umfang an Integrations- und Koordinationsaufgaben, wofür eine aktuelle, zielgerichtete Informationsversorgung notwendig ist. Diese entscheidungsvorbereitenden Aufgaben werden zunehmend dem Controlling zugeordnet, obwohl wie auch in anderen betriebswirtschaftlichen Feldern kein einheitliches Grundverständnis in Bezug auf die Abgrenzung des Controllingbegriffs existiert.

Aus Sicht des KPZN ist zu diskutieren, welche Sichtweisen zum Controlling existieren und welche speziellen Controlling–Konzeptionen sinnvoll für Netzwerke angewendet werden können. Eine alleinige Betrachtung der Informationen reicht nicht aus. Für eine kundeneffiziente und netzwerkeffektive Wertschöpfung im Netzwerk müssen zusätzlich Planungs- und Kontrollmechanismen, auch wenn im Netzwerk nur eine Ergebniskontrolle möglich sein wird¹³⁶, mit den damit verbundenen Sanktionsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Auf der anderen Seite kann es nicht zu den Aufgaben der Netzwerkkorganisation gehören, über Personal und Organisationsstruktur der beteiligten Partnerunternehmen zu entscheiden.

Das arbeitsteilige unternehmensübergreifende Erstellen von Leistungen erfordert weiterhin eine kooperationszielbezogene Koordination der beteiligten Partner. Durch die Leistungsverflechtungen untereinander und dem resultierenden höheren Koordinierungsaufwand besteht ein erhöhter Informations-

¹³⁵Siehe [Wul95, S. 29].

¹³⁶Vgl. [Hes99b, S. 357].

bedarf, da die Partner in der Regel nicht über die erforderlichen Informationen anderer Netzwerkteilnehmer verfügen. Dies ist aber für die Abstimmung eigener und fremder Aktivitäten notwendig¹³⁷. Aus resultierenden Managementaufgaben in Netzwerken lassen sich Controlling-spezifische Merkmale ableiten, die wie in „herkömmlichen“ Unternehmen zwischen einer strategischen und einer operativen Ebene unterscheidbar sind.

Auf strategischer Ebene ist das Unternehmensnetzwerk unabhängig von konkreten Aufträgen zu gestalten. Aufgaben in diesem Bereich sind das Initiieren der Netzwerkkooperation, die Auswahl potenzieller Partner für den Kompetenzenpool, das Evaluieren des Netzwerkes, das Regulieren der Durchführung, das Analysieren der Umwelt und das Beenden der Kooperation. Auf operativer Ebene ergeben sich die Managementaufgaben entsprechend des oben beschriebenen Phasenmodells eines KPZN für jeden speziellen Auftrag.

Aus diesen Bemerkungen ist erkennbar, dass eine grundsätzliche Diskussion zum Thema Netz-Controlling als wichtig erachtet wird. Als geeigneter Platz einer solchen Diskussion innerhalb des Phasenmodells aus Abbildung 4.19 erscheint die Phase „Bewertung im Netz“. Aus diesem Grund wird in Kapitel 9 diese Thematik vertiefend behandelt.

Auch sonst gibt es beim Studieren der internationalen Literatur zum Thema Netzwerke in der Produktionswirtschaft zahlreiche weitere interessante Betätigungsfelder. Allerdings würde deren Betrachtung den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Aus diesem Grunde soll sich in den weiteren Kapiteln auf die „eingefärbten“ Teilprozesse innerhalb des Phasenmodells des KPZN aus der Abbildung 4.19 beschränkt werden.

¹³⁷Vgl. [Wil97, S. 422].

ten Produktes durch das KPZN. In Abbildung 5.1 ist der Schritt der Dekomposition innerhalb des Phasenmodells eines KPZN hervorgehoben.

5.1.1 Ausgangssituation

Eine schematisierte, teilespezifische Zuordnung der Organisationseinheiten im Rahmen der Strukturstückliste veranschaulicht zunächst, dass mit jeder unternehmensübergreifenden Wertschöpfung ein potenzieller Medienbruch entsteht (siehe Abbildung 5.2(a)). Dieser ist die logische Konsequenz nicht existierender oder inkompatibler Planungsinstrumente (ERP- und PDM-Systeme). Ebenfalls behindert ein fehlendes bzw. inkompatibles Konzept zum Interface- und Content-Management innerhalb einer ganzheitlichen Arbeitsplanung die Durchgängigkeit der Planung der Geschäftsprozesse und erhöht für jeden Leistungsersteller den Verwaltungs- und Koordinationsaufwand beträchtlich. Eine wichtige Erkenntnis dieser Darstellung ist, dass sowohl bei den horizontalen wie auch bei den vertikalen Kooperationspartnern entsprechend der schematisiert dargestellten Produktstruktur die o. g. Schwachstellen auftreten. Aktuelle SCM-Systeme stellen zumindest über die erste Kooperationsebene mit dem so genannten First Supplier eine konsistente und redundanzfreie, wenn auch statische Lösung zur Koordination des Wertschöpfungsprozesses dar.

Letztendlich fehlt beginnend bei der automatisierten Arbeitsplanung ein Instrument zur zeitpunktgenauen Darstellung des Informations- und Materialflusses, welches die KMU qualifiziert, den Wertschöpfungsprozess gezielt zu modifizieren, um bei Störungen oder nachträglichen Änderungswünschen des Kunden effizient zu reagieren. Ebenfalls werden mit der Einführung einer durchgängigen Abbildung der Wertschöpfung Planungsunsicherheiten reduziert und der verteilte Produktionsprozess transparenter. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob eine zentrale Instanz der Arbeitsplanung als Lösungsalternative gelten kann?

Bezogen auf die geschilderten Probleme liegt es nahe, eine innerhalb der vernetzten Wertschöpfung zentrale Produktentwicklungs- und Prozessplanungsinstanz zu installieren, um die Schnittstellen der verteilten Fertigungsprozesse zu minimieren. Als Folge dessen kann eine Durchgängigkeit der Informations- und Materialflüsse kooperierender KMU entstehen. Ebenfalls unterstützt dieser Ansatz die Möglichkeit, moderne Planungsmethodiken wie das Simultaneous Engineering anzuwenden². Diese Vorgehensweise nach dem Top-down-Prinzip zur anforderungsgerechten Vernetzung von KMU mindert jedoch die

²Siehe [Den99].

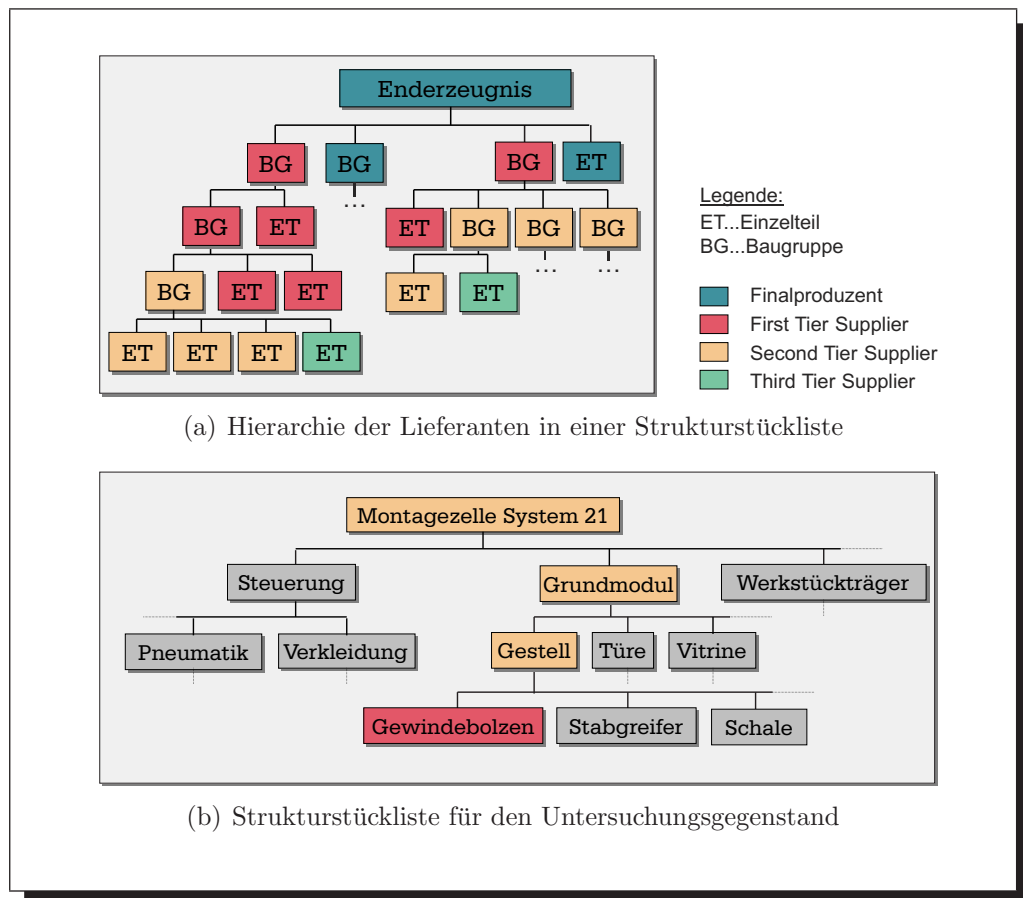


Abbildung 5.2: Erklärungsgegenstand Strukturstückliste

beabsichtigte Dynamik des KPZN. Dieser Weg zentraler Planungsinstanzen zum Erstellen verteilter Prozessketten wurde von *Neubert et al.*³ auf seine Umsetzbarkeit empirisch geprüft. Zur Validierung diente das Erzeugnis *Montagezelle System 21* (siehe Ausschnitt in Abbildung 5.2(b)) vom Finalproduzenten *USK*⁴, welches dem SFB 457 als Praxisbeispiel für Untersuchungszwecke zur Verfügung stand. Die Analyse des Teilespektrums der Montagezelle ergab die Zusammensetzung von mehr als 1100 Fremdbeschaffungs- und über 200 Eigenfertigungsteilen. Auf Grund der Anzahl an Fertigungsteilen und der sich für jedes Einzelteil ergebenden Herstellungsvarianten wachsen sowohl der Planungsaufwand als auch die Anzahl der zu berücksichtigten

³Siehe [Neu01a, S. 100 f.]. Hierzu wird angemerkt, dass Berechnung und Abbildung 3 (ebenda) offensichtlich nicht übereinstimmen. Deshalb wurde dieser Sachverhalt modifiziert übernommen.

⁴Zu Informationen zum Unternehmen siehe <http://www.usk-utz.de>.

Fertigungsszenarien exponentiell. Als obere Schranke kann die Berechnungsvorschrift

$$F = M^A \cdot PE^{(P \cdot PK)} \quad (5.1)$$

mit

F ... Fertigungsszenarien

M ... Maschinen pro Arbeitsgang

A ... Anzahl Arbeitsgänge

PE ... Prozesselemente

PK ... Prozesskategorien

P ... Prozesse

angesehen werden. Alle Variablen sind als Durchschnittswerte zu betrachten. Die durch eine zentrale Planungsinstanz für alle Teile des *System 21* zu erstellenden Fertigungsszenarien einschließlich der Betriebsmittelzuordnung beläuft sich nach Schätzung der Variablen⁵ ($M = 6$, $A = 7$, $PE = 2$, $P = 8$, $PK = 15$) auf etwa $3.7 \cdot 10^{41}$ Varianten. Diese Anzahl ist informationstechnisch nicht beherrschbar. Aus diesem Grund wurde ein zentraler Ansatz zur Arbeitsplanung abgelehnt⁶, was der eigenen Intuition entsprach.

5.1.2 Ableitung der Vektoren für Angebot und Nachfrage

Entsprechend der Erkenntnisse aus Abschnitt 2.5.1.1 erfolgt zunächst eine Darstellung der einführenden Bemerkungen zur Arbeitsplanung unter Benutzung der SCOR-Beschreibungsebenen. In Abbildung 5.3 sind die wesentlichen Zusammenhänge illustriert. Gegenüber den Ausführungen von *Neubert et al.* wird aufgrund einer angestrebten minimalen Kodierung⁷ auf die Benutzung einer obersten Ebene *Technologie-Strategie* verzichtet, da diese modellierungstechnisch in der Ebene *Prozesse* vollständig enthalten ist. Die Entwicklungen von *Dürr/Mehnert* sind insofern zu schwach formuliert, als

⁵Diese Schätzungen basieren auf Gesprächen mit Mitarbeitern von USK, Analysen von SFB-Mitarbeitern [Tei01k, S. 38 ff.], [Neu01a, S. 100 ff.], [Dü01a, S. 181 ff.], [Neu01c, S. 211 ff.] sowie auf eigenen umfangreiche Auswertungen von Arbeitsplänen mehrerer Maschinenbauunternehmen [Tei98b, S. 190 ff.].

⁶Ebenda.

⁷Das Modell enthält keine unnötigen oder redundanten Informationen.

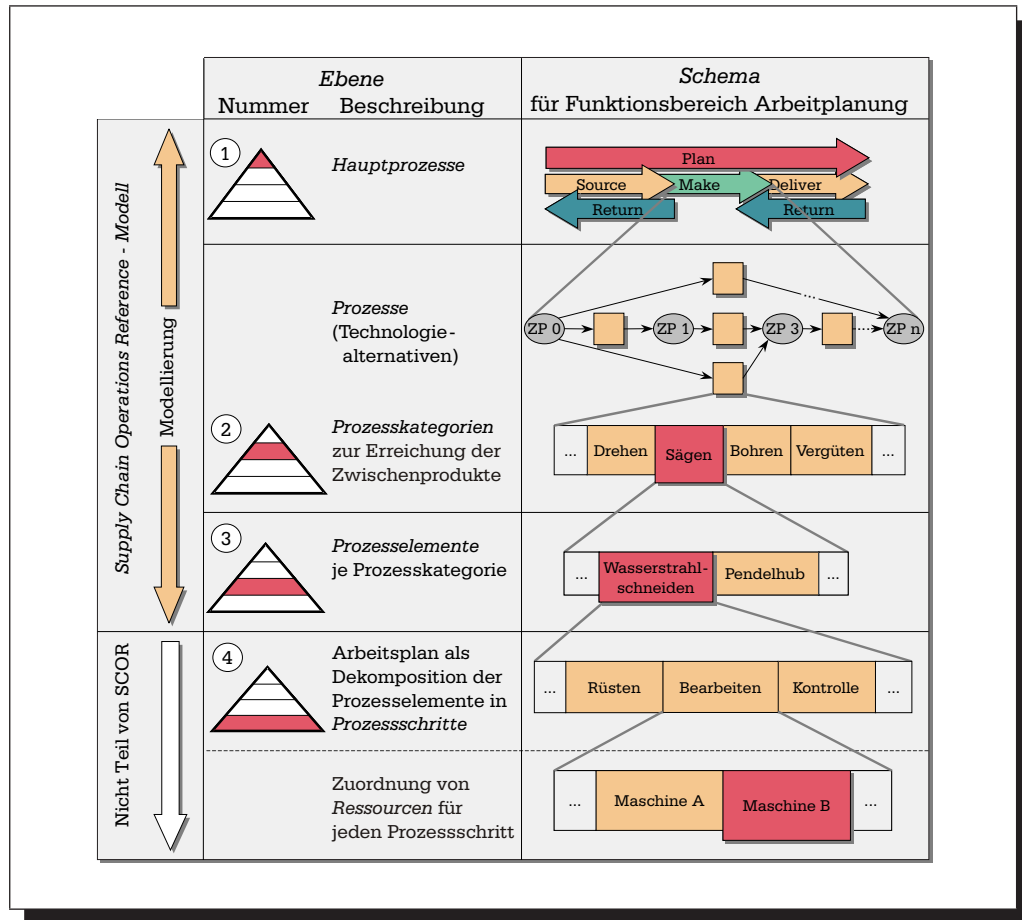


Abbildung 5.3: SCOR-Prozesse in der Arbeitsplanung

da Unteräquivalenzklassen zu deren Modell⁸ gebildet werden können, wie in Abbildung 5.3 ersichtlich ist. Aus diesem Grunde ergeben sich auch geringere kategoriale Aufwendungen innerhalb der Komplexitätsklasse, wie die Formel 5.1 zeigt. Der Aufwand der Betriebsmittelzuordnung lässt sich im mathematischen Sinne nur als Produkt verknüpfen und geht weder exponentiell noch polynomial über die Basis der Prozesselemente ein.

Für die Ableitung der Nachfrage- und Angebotsvektoren ist bei einer verteilten Arbeitsplanung die Gestaltung der Schnittstellen zwischen den Organisationseinheiten zu klären. In der Abbildung 5.3 besteht die zweite Ebene im oberen Teilbild aus Prozessen und einer Art Zustände, die als Zwischenprodukte *ZP* bezeichnet werden. Diese Abweichung in der Konzeption gegenüber

⁸Siehe [Neu01a, S. 100].

der von *Dürr/Mehnert* innerhalb des SFB 457, die sich an Zwischengeometrien orientiert, begründet sich am kausalen Zusammenhang von Stückliste und Arbeitsplan sowie Arbeitsvorgang und Zwischengeometrie.

Unternehmen sind durch bestehende Informationssysteme gezwungen, zunächst einen Teil ihrer Aufbauorganisation in Form von Artikeln (Erzeugnisse, Baugruppen, Einzelteile, ...) sowie gegebenenfalls deren Struktur (verschiedene Formen der Stückliste) zu manifestieren. Diesen werden im nächsten Schritt⁹ Arbeitspläne (Fertigung, Montage, ...) zugeordnet. Das Datenobjekt eines Artikels¹⁰ ist nach außen (für andere Organisationseinheiten) sichtbar, aber innerhalb jeder Organisationseinheit modellierungstechnisch gekapselt. Dies bedeutet, dass nur der Artikel selbst, jedoch nicht seine Ausprägung für eine dezentrale Arbeitsplanung als Schnittstelle zur Verfügung stehen kann. Die Benutzung von Zwischengeometrien als Schnittstelle ist in diesem Kontext nicht möglich.

Auch inhaltlich muss bezweifelt werden, dass die Zerlegung eines Arbeitsplanes zum Zwecke seiner weiteren Verteilbarkeit sinnvoll ist. Vielmehr sollte ein Arbeitsplan zur Realisierung einer Stücklistenposition immer innerhalb einer Organisationseinheit vollständig ausführbar sein. Die Zuordnung von personellen und nicht-personellen Ressourcen sowie die Qualitätssicherung der zu erfüllenden Arbeitsaufgaben muss im Hoheitsgebiet der Kompetenzzelle verbleiben¹¹. Falls dennoch das Bedürfnis entstünde, einen zu umfangreichen Arbeitsplan aufzuteilen, dann kann dies nur über zusätzlich Ebenen innerhalb der Stücklistenstruktur durch Einführung neuer Artikel und der Zuordnung von Arbeitsplanabschnitten des alten Plans realisiert werden. Eine Koordination über Zwischengeometrien würde aus den eben beschriebenen Gründen zur informationstechnischen Neuorganisation von ERP/SCM-Systemen führen. Dies ist zum einen nicht sinnvoll und zum anderen für das KPZN auch nicht notwendig. Aus diesem Grunde wird in Abweichung zur Konzeption von *Dürr/Mehnert* die Koordination ausschließlich über die

⁹Diese Reihenfolge ist zwingend!

¹⁰In modernen Informationssystemen wird hierfür der Begriff *Business Object* verwendet, welches eine standardisierte Einheit aus dem realen Geschäftsleben über verschiedene Unternehmensbereiche hinweg im Softwaresystem repräsentiert/kapselt. Es enthält neben der Artbezeichnung und der Beschreibung auch Angaben über Attribute, Verhalten, Beziehungen und Regeln. Sie unterstehen keiner Anwendung, sondern bilden selbst eine unternehmensweite Systemarchitektur.

¹¹Eine ähnliche Diskussion wurde in vorhergehenden Abschnitten um die Struktur einer KPZ geführt. Die Frage, ob sich eine Kompetenzzelle aus Bestandteilen unterschiedlicher Unternehmen zusammensetzen kann, wurde verneint. Vielmehr war auch in diesem Fall die Bildung mehrerer kooperierender KPZ der einzig sinnvolle Weg, um bestehende Informationssysteme effektiv nutzen zu können.

Schnittstelle eines Artikels realisiert, der in Abbildung 5.3 auch als Zwischenprodukt (ZP) bezeichnet wurde¹². Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass bei der Transformation von Rohmaterial in ein Endprodukt mehrere Schritte notwendig sind und am Ende jeden Schrittes ein neues Zwischenprodukt vorliegt. Jeder Schritt wird durch einen Arbeitsplan, innerhalb dessen Zwischengeometrien für das Zwischenprodukt betrachtet werden können, beschrieben, der eine atomare Transaktion darstellt. Im Weiteren wird Bezug auf die substanziellere Arbeit bzgl. der Generierung von alternativen Fertigungsfolgen von *Trommer*¹³ genommen.

5.1.2.1 Gestaltungsebenen der Arbeitsplanung

*Klocke et al.*¹⁴ stellen einen Kriterienkatalog zur effizienten methodischen Vorgehensweise bei der Generierung und Bewertung von Fertigungsalternativen auf, der in einigen wesentlichen Punkten ebenso für die Arbeitsplanung innerhalb des KPZN gilt. Im Folgenden wird auf einige wichtige Punkte näher eingegangen und der Bezug zum EVCM hergestellt.

Aufwandsgerechtigkeit: Aus technologischer Sicht ist zur Herstellung eines Artikels die Kombination (sequenziell, parallel) mehrerer Fertigungstechnologien notwendig. Die Bewertung verschiedener Artikelvarianten und die Betriebsmittelzuordnung zu den Arbeitsvorgängen vergrößert den Lösungsraum exponentiell. Die Bildung des Prozessvariantenplanes sollte aus diesem Grunde so weit wie möglich automatisiert ablaufen. Hierbei stellt sich das Problem, das richtige Verhältnis von Informationsreife, Planungsaufwand und Ergebnisgüte zu finden. Ein Artikel

¹²*Fallböhrer* beschreibt in [Fal00] eine Technologiekette als sequenzielle Verknüpfung von abstrakten, produktionsmittelunabhängigen Fertigungstechnologien, durch die ein Bauteil durch schrittweise Veränderung der Form und/oder Stoffeigenschaften vom Rohzustand über endliche Zwischenzustände zu einem definierten Endzustand überführt wird. Zwei Dinge sind hierbei wesentlich, dass zum einen von Zuständen statt von Geometrien und zum anderen von Aneinanderreihung von verschiedenen Technologien gesprochen wird. Diese präzise Beschreibung ist in der vorliegenden Arbeit in der zweiten Ebene der Abbildung 5.3 enthalten. Hieraus werden nochmals die unnötiger Weise bildbaren Unteräquivalenzklassen im Modell von *Dürr/Mehnert* offensichtlich.

¹³Siehe [Tro01, S. 29 ff.]. Hierbei sei darauf hingewiesen, dass sich die Arbeit von *Trommer* in den Kontext des von *Eversheim* geführten SFB 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Prozess- und Produktgestaltung“ einbettet, der den Stand der Forschung zum Thema dieses Abschnittes dokumentiert. Die beschriebene Vorgehensweise entspricht in den wesentlichen Zügen den eigenen Ansichten des Autors zur Thematik und wurde in gemeinsamen Gesprächen, auch zur Einordnung in das EVCM, diskutiert. Siehe hierzu auch [Tei01g].

¹⁴Siehe [Klo99].

darf nur soweit wie nötig aufgeplant werden, um den späteren Suchraum der Angebots- und Nachfragevektoren so klein wie möglich zu halten. Ein Technologiewechsel sollte dabei aus den oben genannten Gründen niemals innerhalb eines Arbeitsplanes erfolgen.

Planungskonkretisierung: Ein Endprodukt wird i. d. R. nicht zu einem Zeitpunkt vollständig geplant. Vielmehr sollte eine phasenübergreifende Planung eine zunehmende Detaillierung vorhergehender Planungsergebnisse zu späteren Zeitpunkten ermöglichen. Dieser Prozess wird im EVCM als Ausrollprozess (siehe Abbildung 4.16(a)) bezeichnet. In jeder Rekursionsebene findet eine weitere arbeitsplanerische Detaillierung statt. EVCM gestattet nicht nur eine Breitensuche entsprechend der Stücklistenstrukturen, sondern ebenfalls über die Zuordnung mehrerer Kompetenzzellen zu einem Netzknoten im KPZN. Daraus resultiert eine konjunktive Verknüpfung innerhalb einer gesamten Baukastenstückliste sowie eine disjunktive Verknüpfung über einzelne Baukastenstücklistenpositionen. Aus den Disjunktionen resultieren die eigentlichen Varianten des Prozessplanes.

Multikriterielle Bewertung: Heuristische Verfahren zur Lösung realer Problemstellung vereinigen in ihrer Zielfunktion viele, häufig sogar konkurrierende Einzelziele. Für die Arbeitsplanung sind dies bspw. Kosten-, Zeiten- oder Ökologiekriterien. Aus der Produktionswirtschaft ist als Schnittstelle zur Arbeitsplanung die intensitätsmäßige Anpassung ein typisches Beispiel für derartige Zusammenhänge¹⁵. Auch für andere Optimierungsverfahren, die in dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielen, ist die multikriterielle Betrachtung unablässig. Aus diesem Grunde wird in Abschnitt 5.1.3.4 der Analytical Hierarchy Process erläutert und innerhalb der Arbeitsplanung für die Bewertung von Prozesselementen eingesetzt.

Ganzheitliche Betrachtung: Eine Betrachtung der Ganzheitlichkeit bedeutet, nicht nur einzelne Prozessschritte isoliert voneinander, sondern den gesamten Prozess zu betrachten. KPZ-intern impliziert dies die Lösung von Zuordnungs- und Reihenfolgeproblemen über alle Fertigungsbereiche hinweg. KPZ-extern bedeutet dies die Abstimmung der KPZ-

¹⁵Falls die zeitliche Anpassung ergibt, dass die zur Verfügung stehende Fertigungszeit nicht ausreicht, um einen Termin fristgerecht zu erfüllen, kann innerhalb bestimmter Grenzen die Produktionsgeschwindigkeit variiert werden. Eine Erhöhung dieser führt aber tendenziell zu einem überlinear wachsendem Faktorverzehr (z. B. Kühlmittelverbrauch, Standzeiten von Werkzeugen). Aus diesem Grunde verändern sich nicht nur die Kosten, sondern auch Kriterien wie die Ökologie (z. B. Abfall oder Emissionen).

internen Planungsergebnisse im KPZN sowie die Betrachtung der Assoziationen zwischen den KPZ, die sowohl logistischer als auch sozialer Art sind.

In Abgrenzung zu der in der Literatur¹⁶ üblichen Einteilung des industriellen Produktentstehungsprozesses in die Phasen Produktentwicklungsplanung, Produktgestaltung, Prozessgestaltung und Produktherstellung sowie in Anlehnung an die oben aufgeführten Punkte des Kriterienkataloges können in Anlehnung an *Klocke et al.*¹⁷ die verschiedenen Informationsebenen der Arbeitsplanung innerhalb von EVCM abgeleitet werden (Abbildung 5.4).

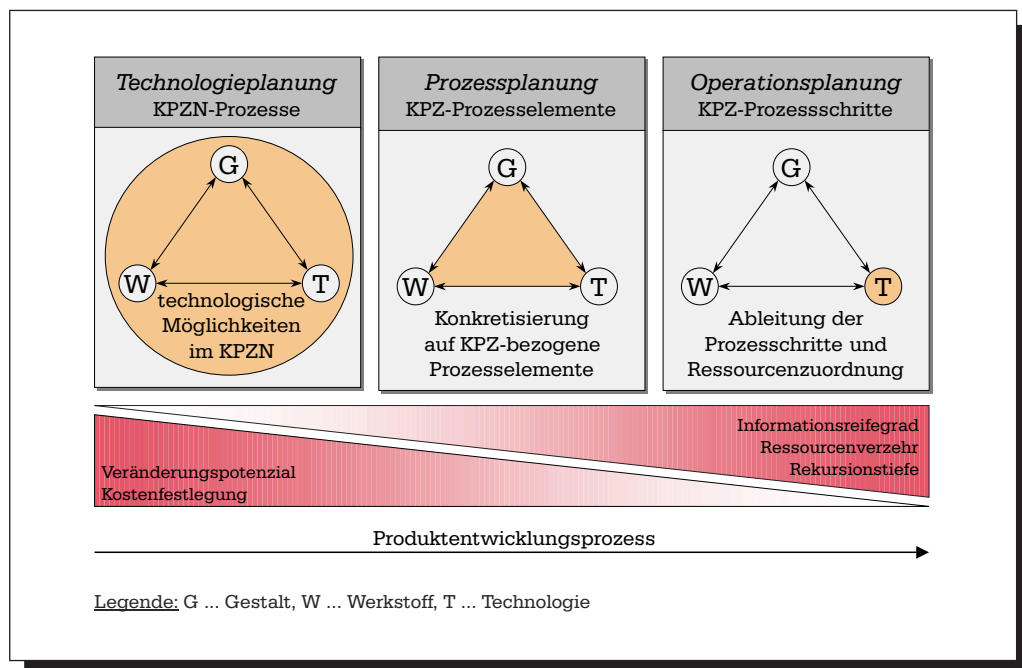


Abbildung 5.4: EVCM-Informationsebenen innerhalb der Arbeitsplanung

In der ersten Ebene werden bezüglich der Anforderungen an das Produkt wie Gestalt oder zu verwendendes Material die möglichen Technologien eingeschränkt. Losgelöst von einem konkreten KPZ-Bezug soll sich im Rahmen dieser operativen Technologieplanung ein möglichst breites Technologiespektrum unter Beachtung aller Werkstoff- und Verfahrensinnovationen des Ressourcenpools ergeben. Damit ist die Quelle des Prozessvariantenplanes determiniert. Aus dem Technologiespektrum lassen sich innerhalb der ersten

¹⁶Siehe u. a. [Ber97b].

¹⁷Siehe [Klo00] und [Tro01, S. 31].

Ebene weiterhin die Prozesse selbst und die zugehörigen Prozesskategorien KPZ-neutral ableiten. Damit ist diese Ebene konsistent zur zweiten Ebene des SCOR-Modells aus Abbildung 5.3. Ebenso wie der Ansatz von *Reinhart et al.*¹⁸ einen zentralen Zugang zum integrierten Produktdaten- und Prozessmanagement wählt, gestattet das EVCM über den IMK einen einheitlichen Zugriff auf das KPZN.

In der folgenden Ebene werden die Prozesskategorien durch KPZ-Bezug in Prozesselemente konkretisiert. Es entstehen aus den Technologieketten durch konkreten Bezug zur Produktionsumgebung der Kompetenzzelle Fertigungsfolgen. An dieser Stelle ist die Generierung von Angebots- und Nachfragevektoren nicht mehr unterscheidbar, da das, was sie aufgrund ihrer KPZ-Definition auf Seite 186 und dem Schichtenmodell in Abbildung 4.5 zu leisten im Stande sind, in der Beschreibung von Angebot und Nachfrage nicht variiert. Vereinfacht kann das Angebot einer KPZ wie folgt formuliert werden:

$$ZP_{n+1} = f(R, K, ZP_n) \quad (5.2)$$

mit

f ... Funktionalität einer KPZ

R ... Ressourcen einer KPZ

K ... Kompetenzen einer KPZ

ZP_n ... n -tes Zwischenprodukt, $n \geq 0$.

Aufgrund der Eigenschaften einer Kompetenzzelle kann der Transformationsprozess auf diese Weise zur Angebotsgenerierung benutzt werden. Im umgekehrten Fall der Nachfragegenerierung kann über die Umkehrfunktion von f in analoger Weise die Formulierung erfolgen:

$$ZP_n = f^{-1}(R, K, ZP_{n+1}). \quad (5.3)$$

An dieser Stelle muss innerhalb des Fachkonzeptes für die Arbeitsplanung nur die Beschreibung der Funktion f erfolgen. Die Zuordnung der Ressourcen und die damit verbundenen Restriktionen in Bezug auf Suche und Auswahl von Kompetenzzellen ist erst Untersuchungsgegenstand der Phasen zwei und drei im Phasenmodell des KPZN.

¹⁸Siehe [Rei00a, S. 10]. Gegenstand der Vernetzung sind in Abgrenzung zu den KPZ vollständige Unternehmen als Kooperation.

Die weitere Detaillierung des KPZN bis in die untere Ebene Prozessschritte auf Arbeitsvorgangsniveau gestaltet die Einzelprozesse aus. Es wird von der Operations- und Bewegungsplanungsphase gesprochen¹⁹. Diese Ebene besitzt für diese Arbeit keine Relevanz. Hierfür gibt es jedoch in der Literatur zahlreiche Ansätze²⁰, die die Auswahl und Optimierung (Parametrierung) von Werkzeugen sowie verschiedene Bearbeitungsstrategien thematisieren.

Für den IMK lässt sich aus Abbildung 5.4 und den nachfolgenden Erklärungen ableiten, dass die Modellierung eines Prozessvariantenplanes mindestens über die drei beschriebenen Ebenen erfolgen muss. Der Abgleich von Angebots- und Nachfragevektoren erfolgt in der mittleren Ebene der Prozessplanung, in welcher die KPZ-neutrale Sicht der Technologie durch einen konkreten Bezug zu den im Ressourcenpool vorhandenen Kompetenzzellen verfeinert wird. Bleibt abschließend in diesem Unterabschnitt noch die Frage der Repräsentation der Vektoren aus Sicht der technologischen und geometrischen Machbarkeit heraus zu klären.

5.1.2.2 Beschreibung der Stücklistenpositionen

Für die inhaltliche Ausprägung der Vektoren ist Kenntnis der technologischen Merkmale einer Stücklistenposition (konkretes Teil) notwendig. Diese setzt sich aus Sicht der Konstruktion aus Features (z. B. Zylinder, Quader) zusammen, die durch verschiedene Flächen (z. B. Kreis, Quadrat) begrenzt werden. Alle drei Kategorien (Teil, Feature, Fläche) besitzen modellierungstechnisch die gleiche Struktur, indem sie u. a. Informationen zu Geometrie (z. B. Aussenmaß, Gewicht), Funktion (z. B. Verwendungsnachweis), Technologie (z. B. Werkstoffangaben, Toleranzen, Oberflächengüten) und Organisation (z. B. Fertigungsauftragsstatus, benötigte Stückzahl, Stückbearbeitungszeit) enthalten.

Ist der Begriff „Feature“ nur ein Buzzword oder hat er handfeste Vorteile zum Entwurf einer verteilten Arbeitsplanung im KPZN? Feature bedeutet aus dem Englischen übersetzt Merkmal, Eigenschaft oder Besonderes. Innerhalb der Konstruktion klassifiziert es Bauteile in Haupt- und Nebenformelemente, positive und negative sowie in rotationssymmetrische, prismatische und freigeformte Elemente. Der Zusammenhang zwischen Features kann hierarchisch in einem so genannten *Featurebaum* strukturiert werden. Auf diese Weise ist die Beschreibung aller Stücklistenpositionen möglich²¹. Für das EVCM

¹⁹Vgl. [Tro01, S. 31].

²⁰Siehe u. a. [Kuh92, Kö97].

²¹Vgl. hierzu [Tro01, S. 37].

ist wiederum wichtig, dass dieser Konstruktionsprozess zeitlich prolongiert stattfindet. Zu Beginn des Ausrollprozesses liegen grobe, artikelbeschreibende (featureübergreifende) Informationen konstruktionsseitig im IMK vor, welche im Verlauf einzelfeaturekonkretisierend spezifiziert werden²².

Die Featuretechnologie vermeidet die Nachteile der bisher bestehenden Geometriekerne, die den einzelnen CAD-Systemen zugrundeliegen²³. Sämtliche Kerne lassen sich in zwei Gruppen einteilen: CSG- (Constructive Solid Geometry) und B-Rep- (Boundary Representation) Modellierer. CSG-Modellierer bauen sämtliche Geometrien aus Grundkörpern auf, die über boolesche Operationen verknüpft werden. Dabei wird eine Historie der nacheinander durchgeführten Aktionen gespeichert. Vorteil dieser Philosophie ist, dass in der Historie jederzeit zurückgegangen werden kann und Varianten sich durch Verzweigen erzeugen lassen. Eben dieser Historienbaum birgt auch den großen Nachteil des CSG-Modells in sich, denn bei jeder Veränderung muss der komplette Baum durchgerechnet und das Modell neu aufgebaut werden. Da die Historie eine sequenzielle Bauanleitung ist, in der jeder Zustand von den vorhergehenden abhängig ist, kann eine Anweisung nicht aus dem Historienbaum entfernt beziehungsweise geändert werden, sondern es muss die gesamte Historie bis zur Änderung zurückgenommen werden.

Bei der B-Rep-Geometrierepräsentation wird das gesamte Modell über die Flächenbegrenzungen (boundaries) definiert. Manipulationen an der Geometrie ergeben jeweils eine Veränderung dieser Kanten. B-Rep-Modellierer speichern immer nur den aktuellen Stand der Geometrie, der vorherige Zustand wird verworfen. Dadurch entfällt die rechenintensive Neuberechnung, andererseits lässt sich eine „Undo“-Funktion nur schwer implementieren. Beiden Modellierern ist gemeinsam, dass sie nur die reine Geometrie verarbeiten. Ein Bauteil besteht jedoch wie oben beschrieben nicht nur aus Geometrie, sondern besitzt weitere Eigenschaften wie Oberflächengüte, Material oder Fertigungstechnologie.

In der Feature-Philosophie wird das Produktmodell in kleinste Informationseinheiten zerlegt. So besteht ein vollständig definiertes Feature aus einer Geometrie, auch Form-Feature genannt, und der Semantik. Unter Semantik fallen sämtliche nicht-geometrischen Informationen, neben der räumlichen Position beispielsweise fertigungsrelevante Angaben oder organisatorische Daten. Form-Features und Semantiken bestehen wiederum aus grundlegenden Bestandteilen, den Atomics, darunter Formeln, Konstanten und Variablen. Die gesamte Abfolge der Konstruktion wird nicht im Geometriekern, sondern im

²²Ein gern zitiertes Beispiel sind Toleranzangaben, die mit zunehmenden Detaillierungsgrad immer enger gefasst werden.

²³Vgl. hierzu [Ste02].

Featuremodeller verwaltet. Es werden immer zwei Ansichten auf das Modell geboten, zum einen auf die dreidimensionale Geometrie und zum anderen auf die zugrundeliegende Struktur. Neue Geometrien werden baukastenartig generiert, indem auf sämtliche hinterlegte Features, wie Formelemente und geometriedefinierende, positionierende oder technologische Features zugegriffen wird. Mit Formeln lassen sich beliebige Verknüpfungen zwischen den Grundkörpern eines Modells erzeugen. Die Featuretechnologie ist damit eine mächtige Methode zur Automatisierung der Konstruktionsarbeit. Dieser, nur auf den ersten Blick komplizierte Aufbau bietet im Hinblick auf die Arbeitsplanung innerhalb von EVCM die Vorteile einer vollständigen und teilweise funktionsorientierten Beschreibung von Bauteilen, wie sie zur Beschreibung der Vektoren benötigt wird.

5.1.2.3 Ressourcenorientierte Beschreibung der KPZ

Ähnlich wie die Stücklistenpositionen sind auch die Produktionsmittel prozessspezifisch gliederbar, d. h. der Einstieg in die Baumstruktur erfolgt über die Prozesskategorien. Auch für sie ist die Beschreibung der technologischen und anderer Merkmale notwendig. In den entsprechenden Attribuierungen der instanziierten Produktionsmittel sind die geometrischen und technologischen Eigenschaften auf der einen und die ökonomischen und organisatorischen Eigenschaften auf der anderen Seite so zu beschreiben, dass ein Abgleich der Vektoren möglich wird. Das heißt, zunächst wird eine Stücklistenposition als Nachfrage definiert, um anschließend über eine gleichgeartete Beschreibung der in den KPZ enthaltenen Produktionsmittel eine Möglichkeit zu finden, das Produkt realisieren zu können.

Die technologisch-funktionalen Informationen zum Produktionsmittel definieren dessen Lösungsraum in Bezug auf die herstellbaren Einzelfeatures²⁴. Die zum Einsatz kommenden verfahrenstechnischen Möglichkeiten und die geometrischen Eigenschaften restringieren diesen Lösungsraum dadurch, dass die bearbeitbaren Bauteile z. B. durch Außenmaße limitiert sind. Ebenfalls können Eigenschaften von Material (z. B. Härte, Dichte) oder Qualitätsmerkmale (z. B. Oberflächengüten, Toleranzen) einschränkend wirken. Über die Feature-Technologie können vorhandene Assoziationen verschiedener Merkmale oder Ableitungen davon (z. B. Gewicht, Spannkraft) im Modell der Produktionsmittel abgebildet werden.

²⁴Die featurebasierte Beschreibung des Produktionsmittels ist zwingend notwendig, um eine Zuordnung zum Nachfragevektor einer Stücklistenposition automatisiert durchführen zu können.

Für die spätere Bewertung einer Fertigungsalternative sind Kenntnisse weiterer Eigenschaften des Produktionsmittels notwendig, die nach der Einschätzung der technologischen Machbarkeit zur Ableitung ökonomischer Kennziffern wie Kosten und Zeiten notwendig sind. Hierzu gehören bspw. die Definitionsbereiche der Bearbeitungsgeschwindigkeiten (Vorschub, Schnitt) einschließlich der zugehörigen Kostenverläufe. Nur auf dieser Basis kann zeitlich oder intensitätsmäßig angepasst werden. Weiterhin müssen auf Kostenrechnungsbasis Maschinenstundensätze ermittelt werden. Zur vollständigen Beschreibung der KPZ sind ebenfalls Angaben zum produktionsmittelbedienenden Personal (Anzahl, Qualifikation, Zeitpunkt und -dauer) erforderlich, denn zum Ausführen spezifischer Fertigungsaufgaben ist neben den Ressourcen auch die notwendige Kompetenz erforderlich²⁵. Die Abbildung 5.5²⁶ zeigt das Anliegen der Beschreibungen für einen späteren Abgleich, der in Abschnitt 5.2.1 beschrieben wird. Eine Beschränkung erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit auf Maschinen. Fertigungshilfs-, Prüf- und Transportmittel sind analog darstellbar.

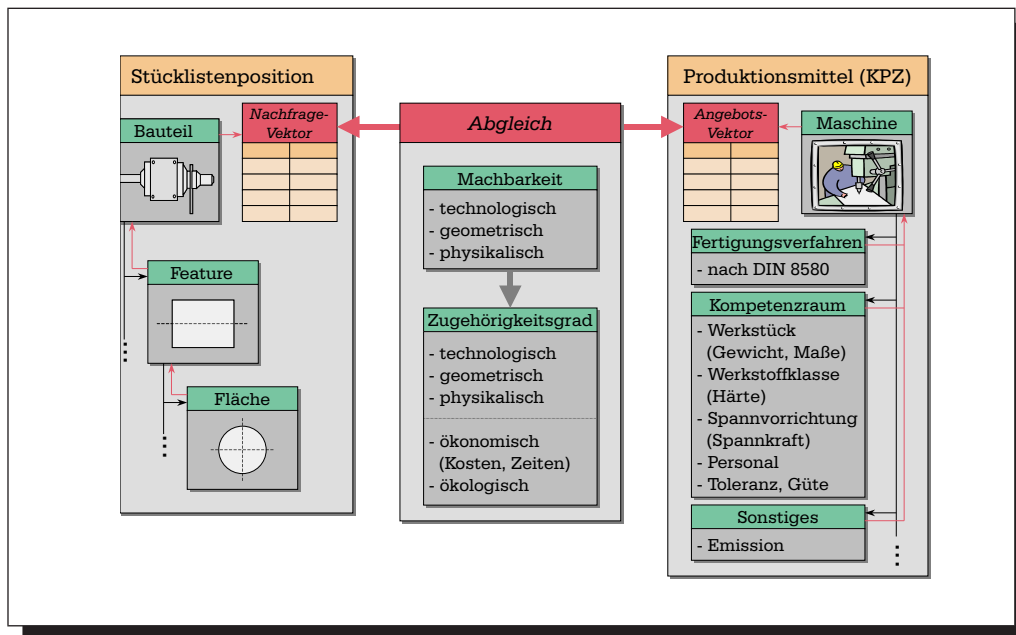


Abbildung 5.5: Abgleich von Stücklistenposition und KPZ-Ressourcen

Die Beschreibung der Stücklistenpositionen und der Produktionsmittel ist sehr umfangreich. Da es der Anspruch dieses Kapitels ist, lediglich einen Einblick in die Thematik der Arbeitsplanung und die Ableitung der Vektoren

²⁵So können beispielsweise personengebundene Führerscheine oder Bedienerlaubnisse zum Betreiben der Produktionsmittel erforderlich sein.

²⁶In Anlehnung an [Tro01, S. 42].

zu vermitteln, um das Gesamtverständnis für die Systematik des Phasenmodells des KPZN zu festigen, wird an dieser Stelle auf detailliertere Arbeiten innerhalb des SFB 457 verwiesen²⁷. Abschließend veranschaulicht Abbildung 5.6²⁸ die Ableitung eines Nachfragevektors anhand des Beispiel des Gewindebolzens aus der Strukturstückliste (Abbildung 5.2(b)). Die Ableitung eines Angebotsvektors erfolgt analog ausgehend vom Produktionsmittel.

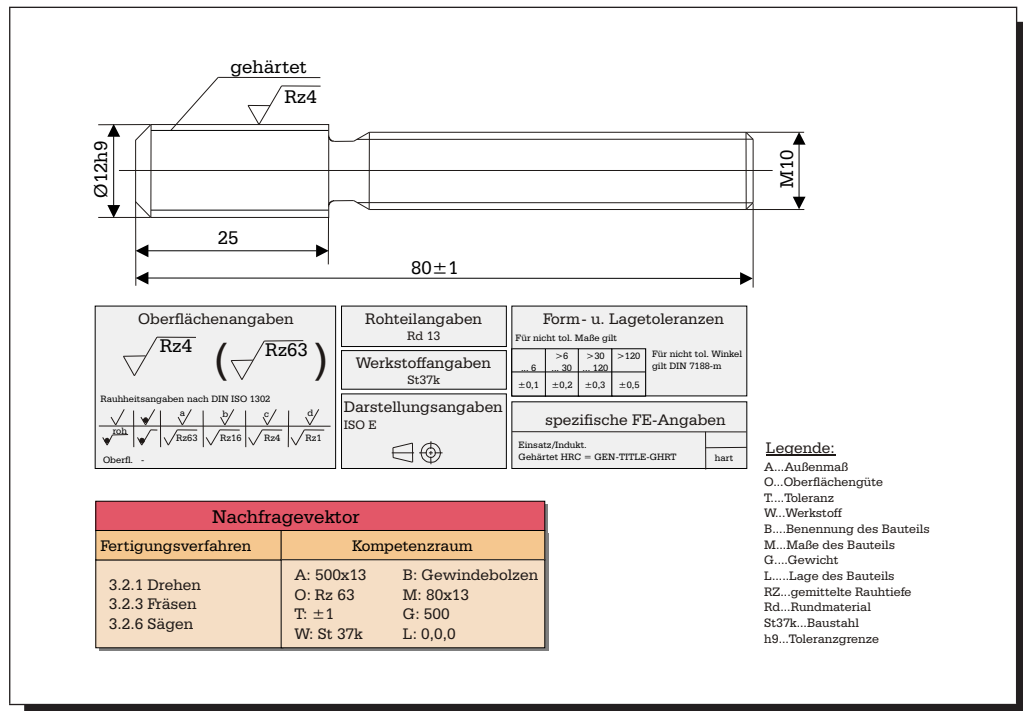


Abbildung 5.6: Ableitung eines Nachfragevektors

Im dargestellten Vektor sind zunächst nur Merkmale aufgeführt, die dem Finden von Kompetenzzellen über Vektorenvergleiche notwendig sind. Darüber hinaus sind jedoch weitere Merkmale zu pflegen, die der Bewertung der Kom-

²⁷Siehe [Dü01a, Neu01c]. Allerdings ist zu bemerken, dass eine vollständige Beschreibung der Vektoren noch nicht vorliegt.

²⁸In Anlehnung an [Neu01a, S. 110]. Es ist zu bemerken, dass nicht alle Angaben auf der Zeichnung plausibel erscheinen. Bspw. wird $Rz 63$ mit einem Brennschneider (!) erreicht. Da jedoch gedreht werden soll, ist $Rz 4$ bereits ohne Nacharbeit erreichbar. Es darf auch bezweifelt werden, ob Baustahl St37k gehärtet werden kann, da der Kohlenstoffgehalt mit ca. 0,18% zu gering ist (laut DIN 50 190 muss der Werkstoff 0,5 bis 0,8% Kohlenstoff aufweisen) und somit zuvor aufgekühlt werden muss. Hier bedürfte es bspw. einer Rockwell-Härte von HRC 56-60, wie sie der hochlegierte, martensitische Stahl X46Cr13 aufweist. Der hohe Chromanteil von ca. 13% bewirkt eine Erhöhung der Härtebarkeit, da die Cr-Atome die Diffusion der Kohlenstoffatome behindern und dadurch die kritische Abkühlgeschwindigkeit herabgesetzt wird. Somit ist X46Cr13 lufthärtbar und nichtrostend.

petenzzelle zur späteren Auswahl der Fertigungsalternative aus dem Prozessvariantenplan dienen, wozu vor allem ökonomische Kriterien zählen. Im folgenden Abschnitt werden diese Kriterien näher bestimmt.

5.1.3 Bewertung von Prozessvarianten

Nach erfolgter technologischer Machbarkeitsprüfung können den resultierenden Prozessvarianten weiterhin Maßzahlen zugeordnet werden, die die spätere Auswahl einer bestimmten Fertigungsalternative beeinflusst. Als wichtige Kriterien werden ausgehend von einem hohen Informationsreifegrad, der eine quantitative multikriterielle Analyse erlaubt, Kosten, Zeiten und ökologische Auswirkungen betrachtet²⁹. Ziel der Bewertung ist die Vergabe von vergleichbaren Nutzwerten für die jeweiligen Alternativen zur fachkompetenzbasierenden Vergleichbarkeit.

5.1.3.1 Kosten

Nachdem in den letzten Jahrzehnten im Bereich der Produktion die technische Rationalisierung im Sinne einer Mechanisierung und Automatisierung dominierte, kommt in der heutigen Zeit der organisatorischen Rationalisierung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit eine mindestens gleichrangige Bedeutung zu. Im Rahmen der organisatorischen Rationalisierung geht es um eine effiziente Gestaltung des Produktionsablaufes durch entsprechende Planung und Steuerung. Die Grundlagen hierfür werden bereits in der Arbeitsplanung durch die Erzeugung von Arbeitsplänen gelegt. Während des später folgenden Advanced Planning and Scheduling (Kapitel 6) werden Ziele³⁰ gesetzt, die bei der konkreten Ausführung von Arbeitsaufgaben in der KPZ erreicht werden sollen. Ein Zielsystem gibt einen zu erreichenden Systemzustand vor und enthält für Entscheidungsträger Informationen über die Bewertung von Handlungsalternativen. Je nachdem, worauf sich Ziele beziehen, kann nach *auftragsorientierten* und *arbeitsträgerorientierten* Zielen unterschieden werden (Abbildung 5.7).

An dieser Stelle werden die wichtigsten Kostenverursacher kurz erläutert³¹. Ein vorrangiges Ziel eines Unternehmens ist die Minimierung der entschei-

²⁹Weitere Kriterien wie die Qualität oder Marketingaspekte können jederzeit in die Betrachtung einbezogen werden. Das in Abschnitt 5.1.3.4 vorgestellte Verfahren zur multikriteriellen Bewertung ist offen für derartige Erweiterungen.

³⁰In der Literatur wird speziell für den Bereich der Ablaufplanung eine Vielzahl von Zielen diskutiert. Siehe u. a. [Con67], [Gra93], [Bak74], [Wei95], [Reh79], [Bru81], [Lie84], [Sie74], [Fre82].

³¹Diese Angaben wurden zum Teil aus [Tei98b, S. 20 ff.] übernommen.

	auftragsorientiert	arbeitsträgerorientiert
beeinflussbare Kosten	Terminüberschreitungs-, Verzögerungskosten	Rüst-, Beschleunigungs-, Leerkosten
nur mittelbar beeinflussende Kosten	Materialkosten	Prüfkosten, Maschinen- und Personalstundensatz, Lagerkostensatz,

Abbildung 5.7: Einteilung von Kosten aus Sicht der Arbeitsplanung

dungsrelevanten Kosten. In der Praxis erweist sich die direkte Bestimmung dieser Kosten aufgrund der hohen Komplexität als äußerst problematisch. Deshalb erfolgt das Heranziehen von Ersatzzielen, wie sie im Abschnitt 5.1.3.2 erläutert werden, da sie in einem ursächlichen Verhältnis zu den entscheidungsrelevanten Kosten stehen.

Terminüberschreitungskosten: Mit der Überschreitung von Soll-Lieferterminen können Konventionalstrafen erhoben werden. Es ergibt sich ein Liquiditätsverlust durch ausbleibende Einnahmen. Durch Imageverlust entstehen in der Folgezeit möglicherweise Kosten, die zum Zeitpunkt des Verursachens nicht quantifizierbar sind. Beispielsweise reduziert die Abwanderung von Kunden zur Konkurrenz die zu produzierende Stückzahl eines Produktes und impliziert somit eine Stückkosten- sowie Stundensatzprogression.

Rüstkosten: Diese entstehen bei der Vorbereitung von Betriebsmitteln für die Durchführung bestimmter Arbeitsgänge. Es wird zwischen direkten und indirekten Kosten unterschieden. Die direkten Kosten entstehen aus dem Einrichten und Umrüsten von Betriebsmitteln. Hierbei spielen die aus reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten resultierenden Kosten keine Rolle, da diese erst später von der Ablaufplanung beeinflusst werden können. Für die Bewertung der Prozessvarianten ist die einfache Rüstzeit zu betrachten. Den indirekten Kosten werden u. a. Opportunitätskosten zugerechnet, die sich aus einer möglichen alternativen Nutzung des Betriebsmittels anstelle des Rüstens ergeben.

Leerkosten: Eine unzureichende Auslastung der Betriebsmittel führt zur Erhöhung des relativen Fixkostenanteils bzgl. der Ausbringungsmen-

ge³². Durch Maßnahmen von Splittung und Überlappung auf vorgelagerten Produktionsmitteln sind diese Kosten gezielt beeinflussbar, falls die technologische Möglichkeit besteht.

Verzögerungskosten: Diese Kosten entstehen dann, wenn der normale Ablauf der Fertigung gestört wird. Störungen können sein: Ausfall eines Betriebsmittels, Materialfluss reißt ab, Personal fällt aus usw. Verzögerungskosten können in Terminüberschreitungskosten übergehen. Für eine Technologie ist demnach zu bewerten, wie robust diese gegenüber derartigen Störungen ist.

Beschleunigungskosten: Sie sind die Kosten für eine über dem normalen Niveau liegende Ausbringungsmenge. Typisch hierfür sind die verschiedenen Arten der Anpassung (zeitlich, intensitätsmäßig und quantitativ)³³.

Materialkosten: Diese Kosten setzen sich aus bewerteten Verbrauchsmengen an fremdbezogenen, materiellen Verbrauchsgütern zusammen. Sowohl Rohstoffe als auch Hilfsstoffe gehen in das Produkt ein. Rohstoffe sind der Hauptbestandteil und werden als Einzelkosten geführt. Hilfsstoffe wie Schrauben gehen ebenfalls in das Produkt, werden aber als unwesentlich betrachtet und deshalb entfällt i. d. R. ein Einzelkostennachweis. Betriebsstoffe gehen im Produkt unter. Sie stellen echte Gemeinkosten dar.

Maschinen- und Personalstundensatz sowie Lagerkostensatz: Die Problematik einer Zuschlagskalkulation beim Fehlen ursächlicher Beziehungen zwischen den Zuschlagsgrundlagen Einzel- und Herstellkosten sowie den Gemeinkosten und die damit i. d. R. verbundene Abweichung der Annahme einer proportionalen Relation zwischen Zuschlagsgrundlagen und Gemeinkosten von der Realität, war Ansatzpunkt für die Bezugsgrößenkalkulation³⁴. Bei diesem Verfahren werden in der jeweiligen Fertigungskostenstelle signifikante Bezugsgrößen (z. B. Personal- und Maschinenstunden) klassifiziert, für die gilt, dass zwischen Bezugsgröße und den in der Kostenstelle anfallenden Gemeinkosten Proportionalität besteht. In der Berechnung des Kostensatzes k_{bj} der Kostenstelle j pro Bezugsgrößeneinheit b werden die bezugsgrößenabhängigen Gemeinkosten K_{gj} der Kostenstelle j mit den gesamten Bezugsgrößeneinheiten B_j der Kostenstelle j in einer Periode ins Verhältnis gesetzt. Damit er-

³²Siehe [Wil86, S. 3].

³³Siehe hierzu [Gü94a, S. 217 f.], [Kah96, S. 46 ff.].

³⁴Vgl. [Gö00c, S. 126 ff.].

gibt sich als Berechnungsvorschrift für einen Kostensatz die allgemeine Formel

$$k_{bj} = \frac{K_{gj}}{B_j}. \quad (5.4)$$

Bei der Maschinenstundensatzrechnung werden die Fertigungsgemeinkosten partiell über die Bezugsgröße Maschinenstunden verrechnet. Dabei werden zunächst die Kosten ermittelt, die unmittelbar mit der entsprechenden Maschine in Verbindung stehen³⁵. Die Summe der direkt maschinenabhängigen Kosten K_{mj} der Kostenstelle j wird anschließend zur Sollmaschinenlaufzeit H_{mj} ins Verhältnis gesetzt. Es ergeben sich die maschinenabhängigen Kosten pro Maschinenstunde k_{mj} in Kostenstelle j , wie die folgende Formel zeigt.

$$k_{mj} = \frac{K_{mj}}{H_{mj}}. \quad (5.5)$$

Das Ergebnis ist der Maschinenstundensatz, der entsprechend für die Kalkulation eines Kostenträgers verwendet werden kann³⁶.

Aus der Betriebswirtschaftlehre ist bekannt, wie sich die verschiedenen Kosten zu den Herstellkosten der Fertigung aggregieren können³⁷. *Trommer* gibt in seiner Arbeit³⁸ einen technologieorientierten Überblick zur Kostenaggregation aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht, welcher die so genannte Platzkostenrechnung als Sonderform der differenzierten Zuschlagskalkulation favorisiert. An dieser Stelle soll jedoch nicht weiter über die Sinnfälligkeit verschiedener Kostenkalkulationsverfahren diskutiert werden, da mit großer Sicherheit die KPZ an ein Verfahren innerhalb ihres organisatorischen Rahmens gebunden sein wird. Wichtig für die KPZ ist lediglich das Wissen über die Schnittstelle zum ERP-System, von wo die bewertungsrelevanten Informationen bezogen werden können.

Herstellkosten und Herstellzeiten dominieren betriebswirtschaftlich die Bewertung der Alternativen. Beide sind eng verzahnt und häufig funktional ineinander überführbar. In der vorliegenden Arbeit finden bei der Lösung von

³⁵Kalkulatorische Abschreibungen und Zinsen, Energie, Betriebsstoffe, Instandhaltung, Werkzeuge, usw.

³⁶Zur weiteren Erläuterung siehe ein ausführliches Beispiel in [Gö00c, S. 129 f.].

³⁷Siehe [Gö00c, S. 122 ff.].

³⁸Siehe [Tro01, S. 94 ff.].

Problemen der Maschinenbelegungsplanung hauptsächlich Zeitgrößen Beachtung³⁹. Dies ist auch bei den in der Literatur betrachteten Modellen üblich. Zwar sind auch Kostengrößen entscheidungsrelevant, aufgrund von Bewertungsproblemen sind diese jedoch kaum zu operationalisieren⁴⁰.

5.1.3.2 Zeiten

Die wichtigste Aufgabe des Advanced Planning and Scheduling (Kapitel 6) ist die Optimierung der Arbeitsgangfolgen (einschließlich Ressourcenzuordnung) über alle Maschinen in der Fertigung bzgl. eines Zielsystems. Besonders bedeutsam wird die Ablaufplanung dann, wenn Engpassressourcen identifiziert werden und das Einhalten von Lieferterminen als kritisch eingestuft wird. Falls alle konventionellen Maßnahmen im Rahmen der zeitlichen Anpassung⁴¹ an ihre Grenzen stoßen, muss nach anderen Methoden der Durchlaufzeitverkürzung gesucht werden. Die Arbeitsplanung kann hierfür wichtige Aussagen zum Durchlaufzeitverdichtungspotenzial einschließlich der verwendbaren Methoden liefern.

5.1.3.2.1 Anpassung

Die aus Sicht der Arbeitsplanung einfachste Methode zur Stückbearbeitungszeitreduzierung ist die intensitätsmäßige Anpassung⁴², bei welcher die Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit (Intensität d) variiert wird, um auf die Outputmenge im Planzeitraum Einfluss zu nehmen. Dies ist in der Regel nur beschränkt ($d_{min} \leq d \leq d_{max}$) möglich. Diese Beschränkung ist abhängig von den Parametern der Betriebsmittel (zeitlich minimaler d_{min} und maximaler d_{max} sowie kostenminimaler d_{opt} Intensität, z. B. Vorschub). Bei einer zeitlichen Anpassung wird immer mit kostenminimalen Parametern gearbeitet. Im Falle einer intensitätsmäßigen Anpassung wird die Produktionsgeschwindigkeit erhöht und damit auch der Faktorverbrauch. Diese hat Auswirkung auf die Stückkosten- und damit auf die Gesamtkostenfunktion, denn sie führt zu

³⁹Ausgenommen seien hier die Stundensätze von personellen und nicht-personellen Ressourcen, die bereits im Vorfeld der Planung mit entsprechenden Methoden der Kostenrechnung ermittelt werden.

⁴⁰Siehe [Sch92a, S. 86 ff.].

⁴¹Wird auf Marktveränderungen durch Variation der Arbeitszeit reagiert, so wird dies als zeitliche Anpassung bezeichnet. Hierbei können sich die Faktorkosten bei einer Ausdehnung der Arbeitszeit über das „normale“ Niveau hinaus erhöhen (z. B. Überstundenzuschläge für operative Arbeit).

⁴²Die intensitätsmäßige Anpassung ist auch als Produktionsfunktion von *Gutenberg* bzw. Produktionsfunktion vom Typ B bekannt. Siehe hierzu [Blo98, S. 52 ff.].

kürzeren Stückbearbeitungszeiten bei gleichzeitig steigenden Stückkosten. Abbildung 5.8 zeigt am Beispiel einer quadratischen Verbrauchsfunktion den grundsätzlichen Zusammenhang.

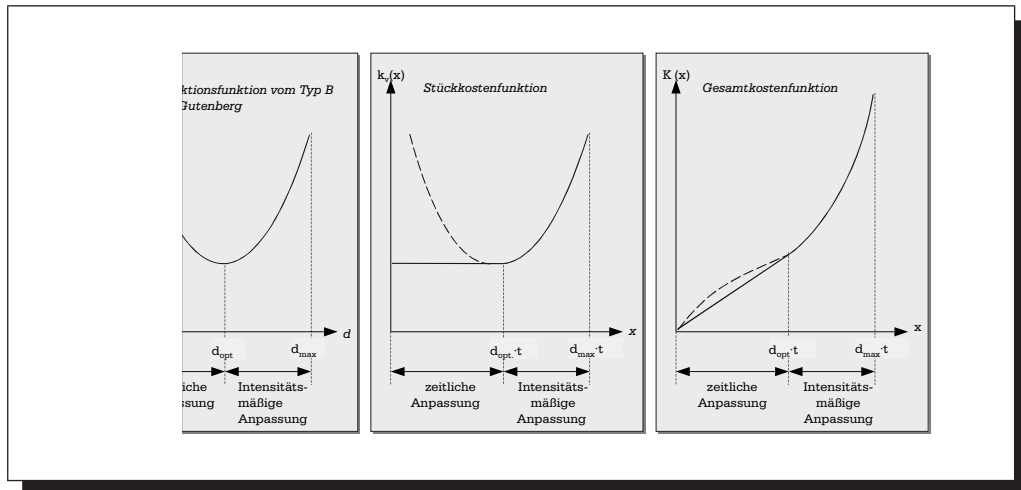


Abbildung 5.8: Kostenfunktionen bei Anpassung

Prinzipiell können alle möglichen Anpassungsarten miteinander kombiniert werden. Besonders interessant ist die Kombination von zeitlicher und intensitätsmäßiger Anpassung. Dabei wird eine nach einem vorzugebenden Kriterium optimale Intensität d_{opt} ermittelt, die z. B. minimale Stückkosten realisiert. Aus Sicht der Arbeitsplanung kann bezüglich dieser Variante der Durchlaufzeitreduzierung das Einsparungspotenzial bewertet werden.

Formal erfolgt die Ermittlung der optimalen Intensität über die Bestimmung des globalen Minimums der Summe aller bewerteten Verbrauchsfunktionen im Intervall $d_{min} \leq q \leq d_{max}$, wie folgt:

$$k_v(d) \rightarrow Min! \quad (5.6)$$

mit

$$k_v(d) = \sum_{i=1}^n k_{vi}(d) \quad (5.7)$$

$$k_{vi}(d) = v_i(d) \cdot q_i \quad (5.8)$$

i ... Faktor

q_i ... Faktorpreis

v_i ... Faktorverbrauch

k_{vi} ... variable Stückkosten des Faktors i

d ... Intensität.

Durch Auflösung der Gleichung $k'_v(d) = 0$ kann d_{opt} bestimmt werden. In der Fertigung besitzen aggregierte Verbrauchsfunktionen fast ausschließlich konvexen Charakter. Falls $k''_v(d) > 0$ erfüllt ist, handelt es sich tatsächlich um das gesuchte Minimum. Falls d_{opt} außerhalb des zulässigen Bereiches liegt, ist die nächstliegende Bereichsgrenze zu wählen.

Ebenfalls im Bereich der Ablaufplanung sind die Methoden *Splittung* und *Überlappung* angesiedelt. Jedoch auch sie gewinnen ihr Potenzial aus der technologischen Machbarkeit derartiger Planungsergebnisse.

5.1.3.2.2 Überlappung

Konventionelle Methoden der Ablaufplanung gehen davon aus, dass die gesamte Menge, die der Auftrag umfasst, an jeder Station erst vollständig bearbeitet und dann insgesamt an die folgende Station weitergegeben wird. Beim Überlappen erfolgt die Weitergabe an die nächste Station in Teilmengen. Ist ein bestimmter Teil des Auftrags fertiggestellt, wird er an das folgende Arbeitssystem weitergegeben, so dass er dort bereits im nächsten Arbeitsgang bearbeitet werden kann, während der Rest sich noch in der vorhergehenden Station befindet. Voraussetzungen sind, dass das folgende Arbeitssystem zu dieser Zeit genügend freie Kapazität bereitstellt, technologisch die Loseilung möglich ist⁴³ und auch der Transport gesichert werden kann. Die Arbeitsplanung sollte das Einsparungspotenzial in Form der technologisch kleinstmöglichen Loseilung bewerten. Wie leicht zu erkennen ist, lässt sich mit dem Überlappen eine deutliche Zeitersparnis erreichen. Nicht vergessen werden darf, dass diese Vorgehensweise die Logistikkosten erhöht, da zur Weitergabe der Teilmengen mehrere Transporte erforderlich sind. Die Abbildung 5.9 zeigt eine mögliche Realisierung der Überlappung.

Optimierungskriterium ist die maximale Reduzierung der Durchlaufzeit bei gleichzeitiger Einbeziehung der zusätzlich entstehenden Logistikkosten. In Teilbild 5.9(a) berechnet sich die Durchlaufzeit aus der Bearbeitungszeit von Los n auf Maschine 1, der proportionalen Übergangszeit des Loses n von Maschine 1 auf Maschine 2 sowie der Bearbeitungszeit von Los n auf Maschine 2. Es ergibt sich die Formel

$$DLZ = t_{M_1} + t_{\ddot{u}} + t_{M_2}. \quad (5.9)$$

In Teilbild 5.9(b) ist die Reduzierung der Durchlaufzeit aufgrund der Bildung von drei Teillosen abgebildet. Die neue Durchlaufzeit errechnet sich aus der

⁴³Beim Härten kann ein Los bspw. nicht geteilt werden.

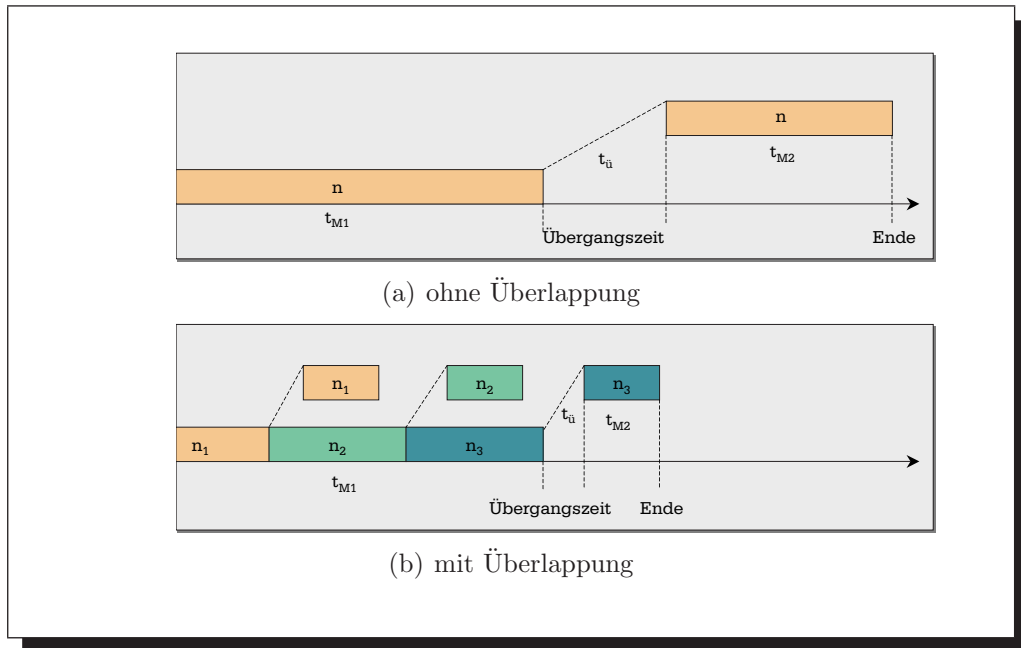


Abbildung 5.9: Überlappung von Arbeitsvorgängen

Bearbeitungszeit des gesamten Loses n auf Maschine 1, aus der proportionalen Übergangszeit von Teillos n_3 von Maschine 1 auf Maschine 2 sowie die Bearbeitungszeit von Teillos n_3 auf Maschine 2. Es ergibt sich folgende Formel:

$$DLZ = t_{M1} + \frac{n_3}{n} \cdot t_{\ddot{u}} + \frac{n_3}{n} \cdot t_{M2}. \quad (5.10)$$

Falls keine Optimierung der Teillosgrößen stattfindet, resultieren folgende beide Fälle in Abbildung 5.10.

In Teilbild 5.10(b) ist das Teillos n_1 zu klein gewählt. Wenn dieses auf Maschine 2 beendet wird, steht Teillos n_2 noch nicht zur Verfügung. Es gilt folgende Berechnung:

$$DLZ = \frac{n_2}{n} \cdot t_{\ddot{u}} + t_{M1} + \frac{n_2}{n} \cdot t_{M2}, \text{ wenn } \frac{n_2}{n} \cdot (t_{M1} + t_{\ddot{u}}) \geq \frac{n_1}{n} \cdot (t_{M2} + t_{\ddot{u}}). \quad (5.11)$$

In Teilbild 5.10(c) ist das Teillos n_1 zu groß gewählt. Somit kann das Teillos n_2 nicht begonnen werden, wenn es von Maschine 1 auf Maschine 2 übergeht, da Teillos n_1 auf Maschine 2 noch nicht beendet wurde. Es gilt folgende Berechnung:

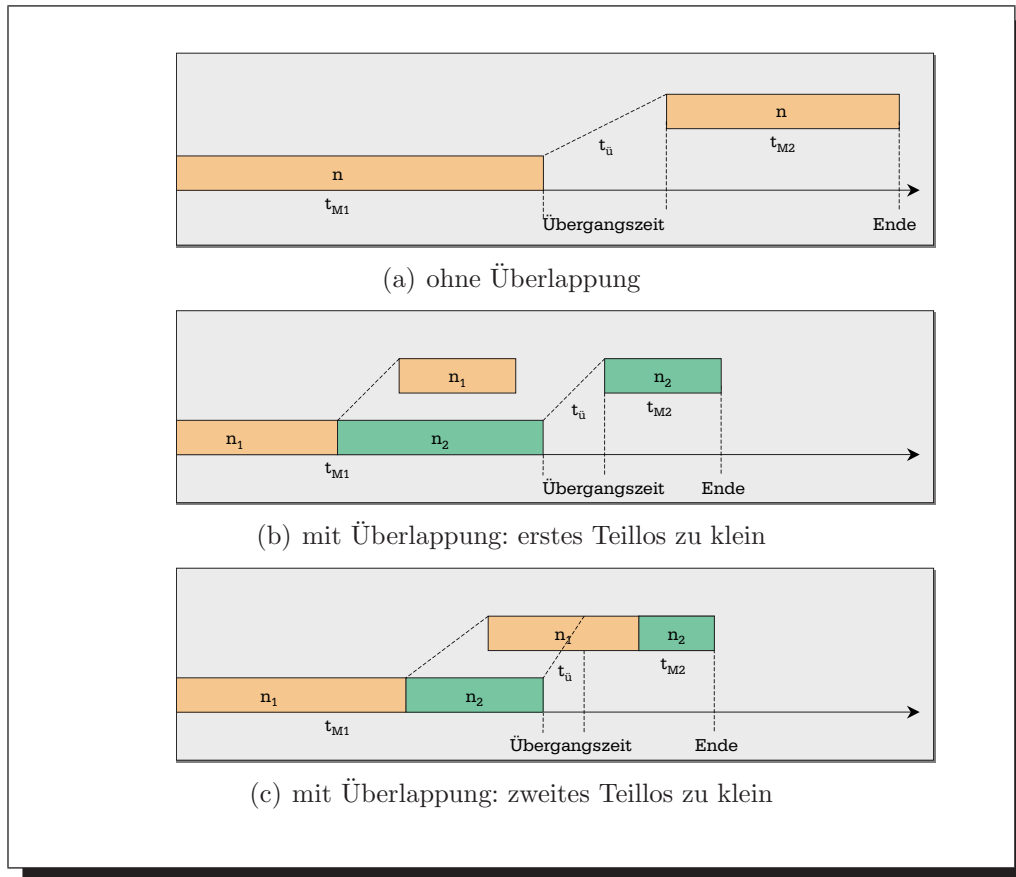


Abbildung 5.10: Abstimmung der Teillosgrößen bei Überlappung

$$DLZ = \frac{n_1}{n} \cdot t_{M_1} + \frac{n_1}{n} \cdot t_{\ddot{u}} + t_{M_2}, \text{ wenn } \frac{n_2}{n} \cdot (t_{M_1} + t_{\ddot{u}}) \leq \frac{n_1}{n} \cdot (t_{M_2} + t_{\ddot{u}}). \quad (5.12)$$

Es ist offensichtlich, dass sich das Optimum bei Gleichheit der beiden Bedingungen einstellt. Die Summe aus Übergangszeit und Bearbeitungszeit muss für beide Maschinen im betrachteten Zeitabschnitt gleich sein. Es gilt in allgemeiner Form:

$$n_2(t_{M_1} + t_{\ddot{u}}) = n_1(t_{M_2} + t_{\ddot{u}}). \quad (5.13)$$

Daraus ergibt sich die Berechnung der optimalen Größen der Teillose.

$$n_2(t_{M_1} + t_{\ddot{u}}) = n_1(t_{M_2} + t_{\ddot{u}}) \quad (5.14)$$

$$n_1 + n_2 = n \quad (5.15)$$

$$\Rightarrow n_1 = n - n_2$$

$$n_1 t_{\ddot{u}} + n_1 t_{M_2} - n_2(t_{M_1} + t_{\ddot{u}}) = 0$$

$$\Rightarrow (t_{M_2} + t_{M_1} + 2n_2 t_{\ddot{u}}) = n t_{M_2} + n t_{\ddot{u}}$$

$$n_2 = n \frac{t_{M_2} + t_{\ddot{u}}}{t_{M_1} + t_{M_2} + 2t_{\ddot{u}}} \quad (5.16)$$

$$n_1 = n - n_2 = n \frac{t_{M_1} + t_{\ddot{u}}}{t_{M_1} + t_{M_2} + 2t_{\ddot{u}}}. \quad (5.17)$$

Bei Wegfall der Forderung nach proportionalen Übergangszeiten und Verwendung konstanter vereinfachen sich die Formeln entsprechend. In analoger Weise kann die Berechnungsvorschrift für beliebig viele Teillose gebildet werden.

5.1.3.2.3 Splitten

Während bisher davon ausgegangen wurde, dass der gesamte Auftrag, d. h. die gesamte geforderte Menge, in jedem Arbeitsgang auf der jeweiligen Maschine vollständig bearbeitet und erst dann im Ganzen weitergereicht wird, damit an der folgenden Station der nächste Arbeitsvorgang ausgeführt werden kann, oder bei Überlappung bereits Teillose weitergegeben werden, so wird nun die Bearbeitung innerhalb eines Arbeitsgangs aufgeteilt. Das heißt: wurde die gesamte Menge bisher auf einer Maschine bearbeitet, so werden jetzt mehrere Maschinen eingesetzt, die parallel den selben Arbeitsgang ausführen. Die Abbildung 5.11 zeigt im linken Teilbild die übliche Vorgehensweise einer vollständigen Arbeitsvorgangsbearbeitung auf nur einer Maschine. Im rechten Teilbild wird der Arbeitsvorgang gleichzeitig auf zwei Maschinen abgearbeitet.

Dabei lässt sich die für einen Arbeitsvorgang erzielbare Durchlaufzeit für die gesamte Auftragsmenge sehr stark reduzieren. Werden beispielsweise zum Bohren der Teile drei Maschinen statt bisher einer eingesetzt, so laufen die Maschinen gleichzeitig und jede hat nur ein Drittel der Menge bzw. der Zeit zu bewältigen, so dass die Durchlaufzeit auf ein Drittel sinkt. Zielkonkurrierend ist wiederum die damit verbundene Kostenerhöhung. Für das Aufteilen der Gesamt-Auftragsmenge in Teilmengen (Los-Splitting) gibt es zwei Möglichkeiten:

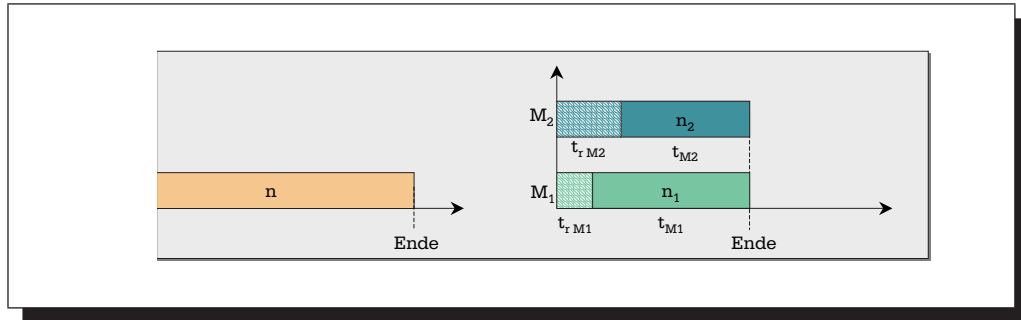


Abbildung 5.11: Splittung von Arbeitsvorgängen

- *Mengen-Split*: Die Gesamtmenge wird in mehrere Lose, die den gleichen Umfang haben, aufgeteilt⁴⁴.
- *Zeit-Split*: Die Gesamtmenge wird so in mehrere Teilmengen aufgeteilt, dass diese an den betreffenden Maschinen die gleiche Durchlaufzeit haben (Rüstzeit + Bearbeitungszeit).

$$t_{rM_1} + n_1 \cdot t_{M_1} = t_{rM_2} + n_2 \cdot t_{M_2} \quad (5.18)$$

$$n = n_1 + n_2 \quad (5.19)$$

$$\Rightarrow n_1 = n - n_2$$

$$n_1 = \frac{t_{rM_2} + n_2 \cdot t_{M_2} - t_{rM_1}}{t_{M_1}}$$

$$n_1 = \frac{t_{rM_2} + (n - n_1) \cdot t_{M_2} - t_{rM_1}}{t_{M_1}}$$

$$n_1 = \frac{t_{rM_2} + n \cdot t_{M_2} - t_{rM_1}}{t_{M_1} + t_{M_2}} \quad (5.20)$$

$$n_2 = \frac{-t_{rM_2} + n \cdot t_{M_1} + t_{rM_1}}{t_{M_1} + t_{M_2}} \quad (5.21)$$

Beim Splitten muss die Arbeitsplanung das Einsparungspotenzial in Form parallel arbeitender Maschinen beschreiben und in den Arbeitsvorgängen als Alternativarbeitsplätze vermerken. Erst dann kann in den höheren Ebenen der Planung das Splitten als betriebswirtschaftliche Methode der Ablaufplanung Anwendung finden.

Die Beschreibung der Einsparungspotenziale in Bezug auf Zeiten und Kosten haben deutlich gezeigt, dass in der Arbeitsplanung ursächlich die entschei-

⁴⁴Beispiel: Statt eines Loses mit 75 Stück werden 3 Lose á 25 Stück gebildet.

denden Parameter für übergeordnete Planungsebenen in die Produktionsmittelbeschreibung der KPZ einerseits und die Beschreibung der Stücklistenpositionen andererseits einfließen müssen. Weiterhin müssen in diesem Zusammenhang seitens der Arbeitsplanung für die Bewertung von Prozessalternativen Kennzahlen ermittelt werden, die die Potenziale dieser Alternativen ausdrücken und in die multikriterielle Bewertung einfließen.

5.1.3.3 Ökologie

In der Gegenwart ist es bedeutsam, ökologische Aspekte von Prozessen (z. B. Emissionen) oder Produkten (z. B. Recyclingfähigkeit) zu betrachten, da zum einen zusätzliche Kosten entstehen können und zum anderen das Konsumentenverhalten⁴⁵ davon getrieben wird. Letztes ist als Opportunität praktisch kaum antizipierbar und/oder operationalisierbar.

Die ökologische Bewertung einer Prozessalternative kann am Produkt selbst bzw. am Prozess vollzogen werden. Für das Produkt sind Kriterien wie Recycling, umweltgerechter Einsatz oder Werkstoffausnutzung bei der Transformation von Input in Output festzuhalten. Beim Recycling werden häufig die zusätzlichen Kosten, die am Ende des Produktlebenszyklus für Demontage, Wiederaufbreitung oder Entsorgung entstehen, geschätzt und dem Neupreis des Produktes zugeschlagen. Die Werkstoffausnutzung geht in der Regel direkt in die Herstellkosten der Fertigung ein. Ob es weiterhin in besonderem Maße ökologisch vertretbar erscheint, bestimmte Alternativen auszuschließen, weil sie bspw. durch Rohstoffabbau zu Lasten unserer Umwelt gehen, vermag an dieser Stelle nicht entschieden werden. Das Kriterium umweltgerechter Einsatz (z. B. Emission von Lärm) beeinflusst das Käuferverhalten, kann aber ebenfalls nur schwer beurteilt werden. Es zeigt sich, dass eine Bewertung anhand ökologischer Kriterien zu astrologischen Vorhersagen kommen kann und diese deshalb mit größter Sorgfalt durchzuführen ist.

Die prozessspezifische Ökologie liefert Aussagen über Energie- und Hilfsstoffverbräuche von Verfahren sowie Emissionen wie Lärm, Geruch oder Schadstoffe. Auch hierfür ist es hilfreich, die Kriterien über Kostenersatzziele zu erfassen und darüber dem Bewertungsmodell zugänglich zu machen.

5.1.3.4 Multikriterielle Bewertung

Zur Förderung von langfristig vertrauensvoller Zusammenarbeit innerhalb des KPZN sowie zur Erhöhung der Problemlösungskompetenz des Koopera-

⁴⁵In diesem Zusammenhang gibt es viele Forschungsrichtungen wie bspw. das Life-Cycle-Management.

tionsverbundes und zur Prophylaxe gegen „Futterneid“ bei der später folgenden Kompetenzzellenauswahl zur Auftragsumsetzung ergibt sich die Notwendigkeit nach einer transparenten und beherrschbaren Methodik zur Bewertung von Prozessalternativen einschließlich KPZ–Attribuierung. Diese Methodik bildet das Fundament für die Eignungsanalyse möglicher Fertigungsverfahren sowie der nachfolgenden Kompetenzzellenauswahl. Die den verteilten Prozessketten zugeordneten KPZ werden unter Beachtung ihrer individuellen Möglichkeiten zur Umsetzung der konkreten Fertigungsaufgabe unter Berücksichtigung der Kundenanforderungen bewertet. Somit muss ein Bewertungsverfahren zur Entscheidungsunterstützung gewählt werden, welches den oben bereits geschilderten Vorgaben und Voraussetzungen genügt. Dies bedeutet u. a. Gewährleistung der Vergleichbarkeit mehrerer zu verfolgender Ziele und Beseitigung von inkonsistenten Alternativenvergleichen. Eine aus diesem Blickwinkel durchgeführte Sondierung existierender Bewertungsverfahren führte zur Auswahl des AHP-Verfahrens, welches anschließend näher beschrieben und seine Funktionalität entsprechend der aufgezeigten Problemstellung dargestellt wird⁴⁶.

Verfahren zur multikriteriellen Abstützung von Entscheidungen⁴⁷ finden in der Literatur und in der Praxis starke Beachtung. Ohne näher auf die allgemeine Theorie dieser Thematik einzugehen, soll zur Verknüpfung der elementaren Prioritätsregeln untereinander und zur Integration subjektiver Faktoren ein spezielles Verfahren der Nutzwertanalyse – der *Analytical Hierarchy Process (AHP)* – vorgestellt und angewendet werden. Es gibt in der mehrkriteriellen Entscheidungsfindung zahlreiche Verfahren, für die in der Literatur eine relativ eindeutige Taxonomie⁴⁸ entsprechend ausgewählter Anwendungsvoraussetzungen zu finden ist. Die bekanntesten unter ihnen besitzen auch ihre praktische Bedeutung. Dieses Wissen vorausgesetzt werden einige Eigenschaften des AHP vorgestellt, aus denen implizit Schlüsse über die Eignung anderer Verfahren zur Erreichung der vorgegebenen Zielstellung gezogen werden können. Auf einen expliziten Vergleich der Verfahren wird an dieser Stelle verzichtet. Die Auswahl des AHP als einzusetzende Methode erfolgte einerseits aufgrund der Erfüllung der theoretischen Einsatzkriterien und andererseits aufgrund einiger vielversprechender Anwendungen auf anderen Gebieten komplexer Entscheidungsaufgaben⁴⁹.

⁴⁶Dieses Verfahren wurde zur Lösung mehrerer Problemstellungen innerhalb von EVCM angewendet. Die Entwicklung der Algorithmen und die Methodik des Verfahrens wurden vom Autor bereits in [Tei98b, S. 213 ff.] in Bezug auf die Maschinenbelegungsplanung vorgenommen. Diese Darstellung wird hierfür mit geringen Anpassungen übernommen. Die Angaben zur Berechnung des Beispiel wurden aus [Tei01o, S. 308 ff.] entnommen.

⁴⁷Siehe hierzu u. a. [Web93, S. 1] und [Sch91, S. 107].

⁴⁸Siehe u. a. [Zim87] und [Sch91].

⁴⁹Beachtenswert sind hierbei Beiträge aus der militärischen Anwendung wie [Che94].

Zu den bedeutendsten Weiterentwicklungen multikriterieller Entscheidungsverfahren gehört die AHP-Methodologie⁵⁰. Es handelt sich hierbei nicht um ein neues Verfahren, sondern vielmehr um eine Variante der Nutzwertanalyse, bei der endlich viele Alternativen mit Hilfe eines linearen Präferenzindex angeordnet werden. Die Besonderheit des AHP liegt in der Art der Bestimmung der Gewichte und Wertfunktionen durch ein hierarchisch additives Gewichtungsverfahren, innerhalb dessen die zu berücksichtigenden Attribute mehrstufig angeordnet werden können. In der Praxis gibt es zahlreiche Implementierungen des AHP-Konzeptes⁵¹. Für die zu entwickelnde Software wird jedoch ein AHP-Tool benötigt, das effizient bezüglich der Laufzeit arbeitet⁵² und offen für eine mögliche Erweiterbarkeit ist, bspw. für die Fuzzyfizierung der Eingangsdaten⁵³. Aus diesem Grunde wird eine eigene Implementierung des AHP-Verfahrens vorgezogen.

Die AHP-Methode umfasst folgende drei Schritte, die im Wesentlichen den Grundablauf des analytischen Denkens widerspiegeln: Systemanalyse, Entwicklung eines Lösungsschemas und Entscheidung (Abbildung 5.12).

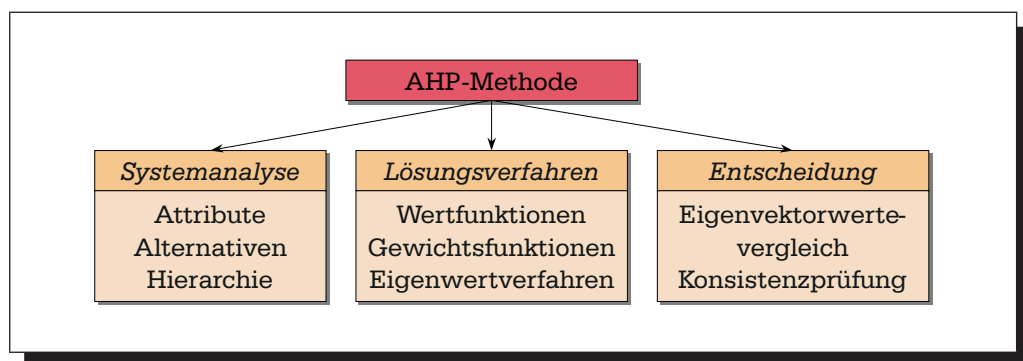


Abbildung 5.12: Grundelemente der AHP-Methode

⁵⁰Vgl. [Web93, S. 73].

⁵¹Die bekanntesten unter ihnen sind AUTOMAN, CRITERIUM, EXPERT CHOICE. Darüber hinaus gibt es leistungsfähige Programme wie das von Bard für die NASA entwickelte (siehe [Bar85]) und Versionen für EXCEL wie die von Shim und Olsen [Shi88].

⁵²Ausgefeilte Programmpakete mit viel Oberfläche besitzen viel Overhead, der sich negativ auf die Performance zur Laufzeit auswirkt. Außerdem führen Datentransfers zwischen den beteiligten Tools zu erheblichen Bremsseffekten.

⁵³Das betrifft in erster Linie die Bearbeitungs- und Rüstzeiten für das APS.

5.1.3.4.1 Systemanalyse

Die Systemanalyse extrahiert aus der Problembeschreibung die das Systemverhalten beeinflussenden Kenngrößen (Attribute), die zu bewertenden Alternativen (Objekte) und die Beziehungen zwischen den Alternativen. In der Arbeitsplanung sind die Objekte die Kompetenzzellen einerseits und die Prozessalternativen andererseits. Im weiteren Verlauf erfolgt die Erklärung KPZ-seitig. Jede KPZ ist durch eine Anzahl Attribute (als Teilmenge des Angebotsvektors) näher bestimmt. Innerhalb der Arbeitsplanung sind u. a. die Attribute Einsparungspotenzial an Bearbeitungszeit und Rüstkosten oder Emissionen signifikant. Die Wertebelegung der Attribute wird als Attributausprägung bezeichnet. Im Falle der Arbeitsplanung ist das Skalenniveau kardinal ausgebildet⁵⁴. In erster Linie erfolgen die Attributausprägungen in einer absoluten Kardinalskala.

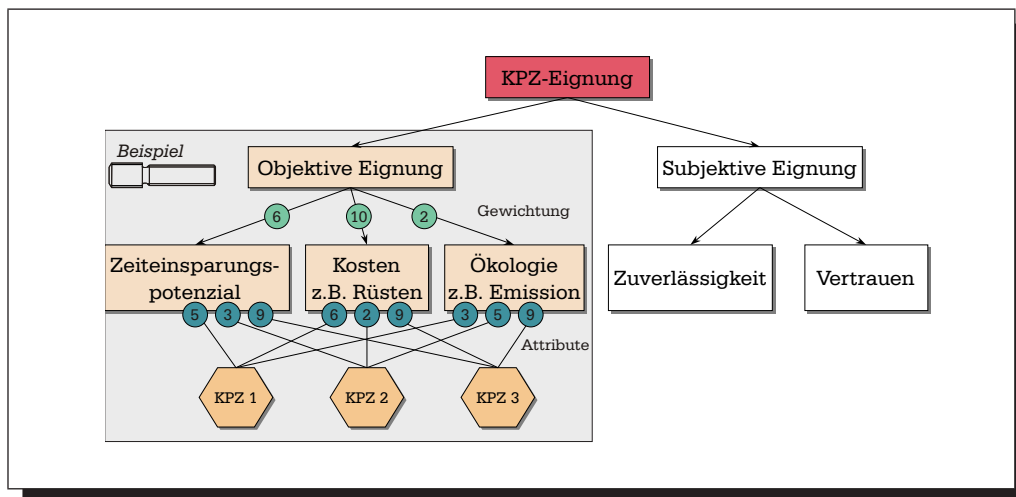


Abbildung 5.13: Hierarchische Zerlegung im AHP

Die Lösung des Entscheidungsproblems benötigt ein Wertesystem, d. h. eine Hierarchie von Attributen (Zielen), die bis zu einem definierten Oberziel aggregiert werden und an deren Basis sich die Alternativen befinden (siehe Abbildung 5.13). Wichtig hierfür ist die redundanzfreie Modellierung der Hierarchie⁵⁵. Eine Besonderheit der AHP-Methode gegenüber der Nutzwert-

⁵⁴Diese Annahme ist dadurch begründet, dass fast alle Attribute Zeit- oder Kostengrößen sind. Auch ordinal messbare Attribute sind durch die Vergabe von Rangpunkten abbildbar (vgl. [Sch91, S. 42 ff.]). Bei hinreichend großer Werteskala sind dann Aussagen über Abstände in den Rängen sinnvoll. Nominale Merkmale, d. h. reine Klassifizierungen, treten nicht auf.

⁵⁵Es sollten keine Zielattribute dargestellt werden, die sich ineinander überführen lassen.

analyse⁵⁶ besteht in der gleichartigen Berechnung der Wert- und Gewichtsfunktionen, die sich nur nach der Hierarchiestufe unterscheiden⁵⁷.

5.1.3.4.2 Lösungsverfahren

Zur besseren Verständlichkeit der folgenden Ausführungen werden die einzelnen Schritte der Berechnung an einem Beispiel nachvollzogen⁵⁸. Hierfür wird der dunkelgrau untersetzte Teilbaum aus der Abbildung 5.13 verwendet, welcher besagt, dass zur Verfolgung des Ziels „objektive Eignung einer KPZ“ die Kriterien Zeit, Kosten und Ökologie betrachtet werden. Die Berechnung erfolgt exemplarisch für drei Kompetenzzellen.

Für jede KPZ $k_j, j = 1, \dots, n$ muss der additive Präferenzindex der Form

$$\Phi^{\text{AHP}}(k_j) = \sum_{\alpha=1}^A g_{\alpha}^{\text{AHP}} v_{\alpha}^{\text{AHP}}(k_j) \quad (5.22)$$

bestimmt werden, so dass $k_{j'} \succsim k_{j''} \iff \Phi(k_{j'}) \geq \Phi(k_{j''})$ gilt. g_{α} bezeichnet hierbei die Gewichtsfunktion⁵⁹ und v_{α} die Wertfunktion⁶⁰ der Alternative α . Der indizierte Zusatz AHP zeigt an, dass sich die Bestimmung des Präferenzindex auf die AHP-Methode bezieht. Zur Bestimmung der v_{α}^{AHP} gibt es mehrere Möglichkeiten. Ein Ansatz bestünde darin, alle Alternativen mit der schlechtesten Alternative zu vergleichen. Dieses Vorgehen wird aufgrund der Möglichkeit des Entstehens systematischer Fehler in der Literatur kritisiert⁶¹. Eine andere Möglichkeit besteht darin, jede Alternative mit jeder anderen paarweise zu vergleichen und eine Matrix der Form

⁵⁶Die Nutzwertanalyse ist ein in der Praxis durchaus geschätztes Instrumentarium zur Bewertung von alternativen Lösungen. Sogar in den Verwaltungsvorschriften der Bundeshaushaltsordnung zur Durchführung öffentlicher Investitionen findet sie Anwendung (§7 Abs. 2 BHO). In der Betriebswirtschaft wird synonym der Begriff *Scoring Modell* benutzt.

⁵⁷Diese Gleichbehandlung und Betonung der Hierarchiestufen gab dem Verfahren seinen Namen (vgl. [Sch91, S. 158]).

⁵⁸Dieses Beispiel stellt nur einen Teil der Implementierung dar.

⁵⁹Es wird auch von Artenpräferenz gesprochen. Jedem Ziel wird entsprechend seiner Bedeutung ein Gewicht verliehen. Die Summe der Gewichte der zu einem direkt übergeordneten Ziel aggregierbaren Unterziele wird auf den Wert Eins normiert. Im vorliegenden Fall ist das Gewicht eine Konstante. Allgemein kann das Gewicht jedoch funktional abhängig von den KPZ bestimmt werden.

⁶⁰Die Wertfunktion ist ein Maß für die Höhenpräferenz. Für jede Attributausprägung wird ein Wert ermittelt. Die Gesamtheit der Werte wird in ein vorgegebenes Intervall normiert. Anderenfalls könnte auf die Gewichtung verzichtet werden.

⁶¹Vgl. [Sch91, S. 159].

$$V = \begin{pmatrix} 1 & v_\alpha(1, 2) & \dots & v_\alpha(1, \mathcal{A}) \\ v_\alpha(2, 1) & 1 & & \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ v_\alpha(\mathcal{A}, 1) & \dots & v_\alpha(\mathcal{A}, \mathcal{A} - 1) & 1 \end{pmatrix} \quad (5.23)$$

zu generieren. Die Matrix beinhaltet die Information, um wie viel eine Alternative bezüglich eines Attributes im Verhältnis besser oder schlechter gestellt ist. Die Messbarkeit auf Verhältnisskalenniveau muss gewährleistet sein, d. h. die interaktive Wertbelegung der Matrizen erfolgt durch die Angabe von Verhältniszahlen eines definierten Wertbereiches und die automatische Generierung bildet kalkulierte Verhältniszahlen in diesen Wertebereich ab. Es wird davon ausgegangen, dass $v_\alpha(i_v, j_v) = (v_\alpha(j_v, i_v))^{-1}$ gilt⁶² und somit eine reziproke Matrix existiert.

Im Fall der Konsistenz von V gilt: $v_\alpha(i_v, i'_v) \cdot v_\alpha(i'_v, i''_v) = v_\alpha(i_v, i''_v)$. Das besondere des AHP ist, dass eine solche Konsistenz nicht gefordert ist. AHP unterscheidet sich gerade deshalb von den üblichen Verfahren der Nutzwertanalyse, indem eine Wertfunktion gebildet wird, die auf eine konsistente Situation bei minimaler Abweichung von den gegebenen Inkonsistenzen führt. Die konsistente Situation ist durch

$$v_\alpha(i_v, j_v) = \frac{v^{i_v}}{v^{j_v}} \quad (5.24)$$

beschrieben, wobei v^{i_v} und v^{j_v} vereinfachte Schreibweisen der Wertfunktionen der Alternativen sind. Daraus ergibt sich die folgende konsistente Matrix

$$V = \begin{pmatrix} 1 & \frac{v^1}{v^2} & \dots & \frac{v^1}{v^{\mathcal{A}}} \\ \frac{v^2}{v^1} & 1 & & \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{v^{\mathcal{A}}}{v^1} & \dots & \frac{v^{\mathcal{A}}}{v^{\mathcal{A}-1}} & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.25)$$

Der regressionsanalytische Ansatz

$$\sum_{i_v=1}^{\mathcal{A}} \sum_{j_v=1}^{\mathcal{A}} \left(v_\alpha(i_v, j_v) - \frac{v^{i_v}}{v^{j_v}} \right)^2 \longrightarrow \min \quad (5.26)$$

⁶²Anderenfalls muss der Arbeitsplaner auf seine unkorrekte Dateneingabe aufmerksam gemacht werden.

liefert im Ergebnis eine Matrix, die den oben genannten Wünschen entspricht.

Die Wertfunktion sollte positiv ($v^{i_v} \geq 0$) und normiert ($\sum_{i_v=1}^A = 1$) sein.

Die Ermittlung der Gewichte erfolgt auf dem gleichen Wege. Aus der Unabhängigkeit der Bestimmung von Wert- und Gewichtsfunktionen folgt, dass der AHP die Substituierbarkeitsbedingung⁶³ nicht wie andere Verfahren (z. B. MAUT) fordert. Würde die Ermittlung der Gewichte an die Ermittlung der Wertfunktionswerte gekoppelt werden, läge ein nutzentheoretisches Verfahren vor⁶⁴.

Die eigentliche Berechnung wird mit dem Eigenwertverfahren durchgeführt, welches für die inkonsistente Matrix V einen Vektor $v = (v^1, \dots, v^A)^T$ sucht, der die Wertfunktion konsistent approximiert. *Saaty*⁶⁵ beschreibt hierzu vereinfachende Abschätzungen zur Berechnung der Eigenvektorewerte, auf die bei der Implementierung zurückgegriffen wurde.

Wird für $v_\alpha(i_v, j_v)v^{j_v} = v^{i_v}$ über j_v summiert, stellt sich das bekannte Eigenwertproblem wie folgt dar:

$$\sum_{j_v=1}^A v_\alpha(i_v, j_v)v^{j_v} = mv^{i_v} \quad \text{oder} \quad (5.27)$$

$$Vv = mv. \quad (5.28)$$

Zunächst wurde ein allgemeines Eigenwertverfahren implementiert, bei dem die nichtsymmetrische, reellwertige Matrix V in eine obere *Hessenbergmatrix* transformiert wurde, aus welcher anschließend mit der *QR-Methode* die Eigenwerte berechnet wurden⁶⁶. Die AHP-Methode wurde so implementiert, dass sie nicht nur zur Bewertung von Kompetenzzellen benutzt werden kann, sondern auch bei iterativen Verfahren als lokaler Verbesserungsoperator einsetzbar ist. Die auf genetischen Algorithmen basierenden Verfahren benutzen somit in jeder Generation bei zahlreichen Individuen⁶⁷ diesen Operator. Die vollständige Lösung des Eigenwertproblems benötigt jedoch einige Rechenzeit⁶⁸, so dass unter Berücksichtigung der Abschätzungen von *Saaty* auf ein vereinfachendes Verfahren zurückgegriffen werden musste.

⁶³Der Entscheidungsträger ist bereit, Substitutionen zwischen Ausprägungen unterschiedlicher Attribute vorzunehmen (Vgl. [Sch91, S. 124]).

⁶⁴Vgl. [Sch91, S. 164 f.].

⁶⁵Siehe [Saa80].

⁶⁶Ein umfassende und sehr anschauliche Darstellung ist in [Gol96, S. 308 ff.] zu finden. Die mathematischen Berechnungsvorschriften wurden aus dieser Quelle übernommen.

⁶⁷Siehe hierzu Abschnitt 6.3.3.2.2.

⁶⁸Pro Lösung wurde bei größeren Beispielen zwar weniger als eine Sekunde Rechenzeit benötigt, die hohe Anzahl an Aufrufen führte dennoch zu Laufzeiteinbußen.

Generell kann es für das Eigenwertproblem $\lambda_1, \dots, \lambda_{\mathcal{A}}$ Eigenwerte geben, für die

$$SpV = \sum_{i_v=1}^{\mathcal{A}} \frac{v^{i_v}}{v^{i_v}} = \mathcal{A} \sum_{i_v=1}^{\mathcal{A}} \lambda_{i_v} \quad (5.29)$$

gilt. Da bei positiver, konsistenter Matrix V ein Eigenwert den Wert \mathcal{A} besitzt, folgt, dass die übrigen Eigenwerte 0 sind⁶⁹. Somit beschränkt sich die Suche auf den maximalen Eigenwert mit zugehörigem Eigenvektor.

Zu diesem Zwecke wurde das wohl einfachste Verfahren zur Berechnung des betragsgrößten Eigenwertes benutzt – die *Potenzmethode*. Das Verfahren wird mit der Folge der Iterierten eines willkürlichen Vektors Y_0 gebildet, so dass nach n Schritten ein Vektor Y_n der folgenden Gestalt entsteht:

$$V^n Y_0 = Y_n = (y_{1n}, \dots, y_{An}). \quad (5.30)$$

Es kann gezeigt werden, dass sich nach n Schritten (n hinreichend groß) der betragsgrößte Eigenwert wie folgt berechnen lässt⁷⁰:

$$\lambda_1 \approx \frac{y_{n+1}}{y_n}. \quad (5.31)$$

Da die Berechnung des Eigenwertes nicht vom Vektorindex abhängt, wurde dieser weggelassen. Der erste Eigenwert ist näherungsweise gleich dem Quotienten beliebiger gleichindizierter Komponenten, die zu hinreichend hohen Iterierten eines beliebigen Vektors gehören⁷¹. Nach jeder Iteration wird der Vektor durch die Division durch die erste Komponente normiert. Der zugehörige Eigenvektor entspricht dem Y_n . Für dessen weitere Verwendung im AHP wird er bezüglich der *L1-Norm* normiert.

Zur Veranschaulichung dient das Beispiel in Abbildung 5.13. Die auftragsneutrale Prozessplanung zur Herstellung dieses Produktes generiert mehrere Prozessalternativen⁷². Ausgehend von der Fertigungsaufgabe werden die Zielvorgaben des Kunden festgelegt, nach objektiven und subjektiven Gesichtspunkten unterteilt und entsprechend priorisiert. Der Auftraggeber möchte im gewählten Beispiel den Gewindebolzen vor allem kostengünstig und zeitnah

⁶⁹*Saaty* zeigt durch einfache Abschätzung, dass für eine positive reziproke Matrix stets $\lambda_{\max} \geq \mathcal{A}$ gilt. Er definiert ein positives Inkonsistenzmaß $IK = (\lambda_{\max} - \mathcal{A})/(\mathcal{A} - 1)$, welches um so größer ist, je inkonsistenter die Vergleichsurteile ausfallen. Bei $IK > 0.1$ zeigt die Erfahrung (*Saaty*), dass die Vergleichsurteile überdacht werden sollten.

⁷⁰Siehe hierzu die ausführlichen Bemerkungen von *Faddejew* in [Fad78, S. 356 ff.].

⁷¹Weitere Informationen über Berechnungsdetails, Konvergenzgeschwindigkeiten und Abbruchtests sind ebenfalls in [Fad78, S. 359] zu finden.

⁷²Siehe hierzu [Tei01o, S. 308 ff.].

geliefert bekommen. Zunächst erfolgt eine Operationalisierung der zur Herstellung des rotationssymmetrischen Verbindungselementes möglichen Prozessschritte und deren Aggregation zu einem Arbeitsplan. Anschließend erfolgt die auftragsbezogene, an den Zielvorstellungen des Kunden ausgerichtete Definition und Gewichtung der Ziele. Im Beispiel beschränken sich diese auf objektiv messbare Kriterien wie Kosten, Zeit und Ökologie. Im gewählten Beispiel wird der hohen Priorität der Produktkosten durch den Gewichtungsfaktor 10 Rechnung getragen. Die ökologischen Kriterien zur Fertigung des Gewindebolzens widerspiegelt der Gewichtungsfaktor 2. Den Zielen werden unter Beachtung der notwendigen Fertigungsverfahren entsprechende Kompetenzzellen zugeordnet.

In der nächsten Stufe des Bewertungsverfahrens werden den KPZ Attribute zugeordnet. Im Beispiel sind das die von der KPZ geplanten Kosten in Geldeinheiten mit den zugehörigen Zeiteinsparungspotenzialen in Prozent. Der tatsächliche Liefertermin wird erst im APS gebildet. Die Bewertung der Ökologie erfolgt qualitativ durch die Prozessplanungskompetenz des Netzwerkes. Der niedrigere Zahlenwert der KPZ 1 repräsentiert eine relativ geringere Umweltbelastung dieses Prozessschritts gegenüber dem Fertigungsverfahren der KPZ 3. Durch Nutzung dieser Eingangsdaten ist es mit AHP möglich, das beste Fertigungsverfahren mit zugehöriger Kompetenzzelle entsprechend den Kundenvorgaben zu ermitteln. Es wird ebenfalls ersichtlich, dass sowohl quantitative Attribute wie Zeit und Kosten im Beispiel, als auch qualitative Attribute (im Beispiel die Ökologie) zur Ergebnisfindung verarbeitet werden können. Folgende Übersicht zeigt die Berechnungsergebnisse.

Zeit:		Ökologie:
1.000 0.250 2.250		1.000 4.000 9.000
4.000 1.000 9.000		0.250 1.000 2.250
0.444 0.111 1.000		0.111 0.444 1.000
EV: (0.184 0.735 0.082)		EV: (0.735 0.184 0.082)
Kosten:		Attribute:
1.000 0.167 1.500		1.000 0.200 1.800
6.000 1.000 9.000		5.000 1.000 9.000
0.667 0.111 1.000		0.556 0.111 1.000
EV: (0.130 0.783 0.087)		EV: (0.153 0.763 0.085)
Bewertung:		
(0.190 0.724 0.086)		

5.1.3.4.3 Entscheidung

Die additiven Präferenzindizes $\Phi^{\text{AHP}}(k_j)$ der alternativen KPZ k_j besitzen folgende gerundete Werte: $\Phi^{\text{AHP}}(k_1) = 0.190$, $\Phi^{\text{AHP}}(k_2) = 0.724$ und $\Phi^{\text{AHP}}(k_3) = 0.086$. Die Bewertungsreihenfolge ergibt sich aus der resultierenden Präferenzordnung $k_2 \prec k_1 \prec k_3$. Der Index wird in den Angebotsvektor in der Kategorie Fachkompetenz eingetragen.

Die obige Tabelle zeigt die Eingangsdaten aus Abbildung 5.13 sowie die berechneten Eigenvektoren. Die letzte Zeile der Tabelle enthält die Präferenzindizes der Kompetenzzellen. Die Präferenz der KPZ 2 ist nachzuvollziehen, da Kosten die größte Bedeutung besitzen und diese bei KPZ 2 am geringsten sind. Die anderen Attribute der Alternativen sind nicht stark genug ausgeprägt, um dieser Bewertung entscheidend entgegen zu wirken. Die Ergebnisse der objektiven und subjektiven Eignung einer KPZ können weiterführend als Eingangsdaten einer nachgelagerten KPZ-Auswahl dienen.

Die Methode des AHP besitzt bei genauer Betrachtung sowohl Vor- als auch Nachteile⁷³. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der über das Eigenwertverfahren durchgeführten, maßgeschneiderten Anpassung der Wertfunktionen für die Alternativen, in diesem Falle Kompetenzzellen aus dem Ressourcenpool. Obwohl eine kardinale Einbettbarkeit nicht gefordert wird⁷⁴, werden die Alternativen entsprechend den Maßgaben des Entscheidungsträgers richtig angeordnet.

Die Schwäche des Verfahrens ist seine Genauigkeit. *Saaty* schlägt vor, dass das Verfahren nur dann angewendet werden sollte, wenn die Menge der in die Entscheidung einzubeziehenden Alternativen im Zeitablauf unveränderlich bleibt. Ändert sich diese Menge, kann sich die zuvor ermittelte Rangfolge ändern, ohne dass sich die Attributsstruktur oder die Bedeutung der Attribute verändert haben. Dieses Problem wird vor allem im Zusammenhang mit der Glaubwürdigkeit öffentlicher Entscheidungsträger diskutiert. Insofern ist für die Entwicklung von Vertrauen im Produktionsnetzwerk in Bezug auf die vom ECVM getroffenen Auswahlentscheidungen darauf zu achten, dass der KPZ-Pool während der Genesephase konstant in Bezug auf die Anzahl der KPZ gehalten wird.

Die Anwendung des AHP-Verfahrens ist lediglich der bewertende Auftakt innerhalb des Phasenmodells des KPZN für die Ebene der Fachkompetenz. In den Ebenen der Methoden- und Sozialkompetenz werden weitere Einträge in den Vektor folgen.

⁷³Siehe [Saa90, S. 259 ff.] und [Sch91, S. 172 ff.].

⁷⁴Bei der manuellen Vergabe von Prioritäten erzeugen die ordinalen Attribute nur eine Rangordnung.

5.2 Suche nach Kompetenzzellen

5.2.1 Der informationstechnische Modellkern (IMK)

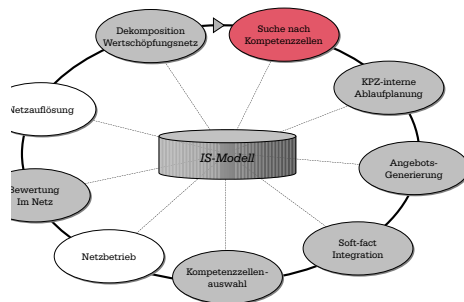
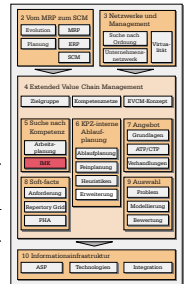


Abbildung 5.14: Phase „KPZ Suche“

Dieser Abschnitt stellt das grundsätzliche methodische Vorgehen bei der Attribuierung der Prozesskategorien mit Kompetenzzellen vor. Die wesentlichen Inhalte dieses Abschnittes gehen auf die Arbeiten von *Neubert/Görlitz/Benn/Teich*⁷⁵ zurück.

Die vom KPZN verwalteten Wertschöpfungseinheiten in Form von Kompetenzzellen können sich jederzeit mit dem informationstechnischen Modellkern verbinden und die darin angebotenen Funktionalitäten für Genese und Betrieb des KPZN nutzen. Die Auswahl technologisch geeigneter Kompetenzzellen für einen Prozessvariantenplan ist eine der wichtigsten Aufgaben des IMK im Kompetenzzellennetzwerk während der Genese. Der IMK fungiert als zentrale Broker-Instanz, um Kompetenzzellen nach objektiven und gleichermaßen subjektiven Gesichtspunkten auszuwählen und die Genese eines optimalen Produktionsnetzwerkes zu unterstützen. Die Funktionen des IMK können von jeder Kompetenzzelle des Netzwerkes genutzt werden, das heißt, jede Kompetenzzelle kann die Bildung eines Produktionsnetzes für einen eingeworbenen Kundenauftrag initiieren. Bei der Suche nach Kandidatenzellen für einen Prozessvariantenplan spielen vier Komponenten des IMK eine zentrale Rolle.

1. Die erste Komponente, eine *Domänenontologie*, gibt das Begriffsgefüge des jeweiligen Anwendungsbereiches vor. Dies ist notwendig, um eine semantische Gleichheit zwischen den Anforderungen aus dem Prozessvariantenplan und der Beschreibung der technologischen Möglichkeiten der Kompetenzzellen zu garantieren. Für die Darstellung und Verwaltung der Kompetenzbeschreibungen werden global verfügbare, homogene Ontologien verwendet. Jeder einzelnen Kompetenzzelle ist damit die Möglichkeit der Interpretation der Kompetenzen anderer Zellen gegeben. Da Veränderungen der Kompetenzbeschreibungen, verursacht durch Evolution der Zellen und Fluktuation im Ressourcenpool,



⁷⁵Siehe hierzu u. a. [Tei01u, Neu01a, Neu02a, Neu02b].

häufig auftreten können, zeichnen sich die zu verwendenden Ontologien neben der Mächtigkeit ihrer Beschreibungsmittel insbesondere durch ihre Dynamik aus.

Diese Dynamik bezieht sich auf die verfügbaren Elemente zur Kompetenzbeschreibung, sowie auf die Kompetenzbeschreibungen selbst. Im Hinblick auf die Verwendung von Datenbanksystemen bedeutet ersteres die häufige Manipulation des zugrundeliegenden Datenbankschemas, welches die Struktur der Ontologie spezifiziert. Jedes Schema wiederum besteht aus einer einzigen Instanz – der jeweils aktuellen Ontologie. Die Dynamik des Systems resultiert somit letztendlich in einer Menge an Schemata, wobei für jedes Schema wiederum eine minimale Anzahl an Instanzen besteht. Dieses Merkmal ist für die Anwendungsdomäne signifikant, stellt jedoch für einen Großteil vorhandener Datenbanksysteme ein Problem dar, da die Verwendung von Schemata, wie es beispielsweise bei relationalen oder objektorientierten Datenbanksystemen üblich ist, sich in diesem Fall als eher hinderlich erweist. Hinzu kommt, dass die Operationen über Ontologien zumeist aus Navigationsdirektiven bestehen, so dass die für Schemata bekannten Funktionen zur Performanzsteigerung hier kaum bzw. überhaupt nicht zur Anwendung kommen. Die zuvor genannten Gründe favorisieren die Benutzung einer neuen Datenbankmanagementtechnologie – die der so genannten Semistrukturellen Datenbanksysteme (SDBS).

Verglichen mit relationalen oder objektorientierten Modellen ermöglichen SDBS die Verwaltung von komplexen (hierarchischen oder nicht-hierarchischen) strukturierten Daten, wobei diese nicht einem speziellen, fest vorgegebenen Datenbankschema entsprechen müssen. Semistrukturelle Datenbanksysteme sind Gegenstand verschiedener aktueller Forschungsarbeiten und stellen möglicherweise eine neue Generationen der Datenbanksysteme dar. Die diesen Systemen zugrundeliegende Idee sieht vor, Applikationen eine größtmögliche Flexibilität bei der Wahl der Granularität der Datenmodellierung anzubieten. Das bedeutet, dass die Struktur der zu verwaltenden Daten nicht vollständig bekannt sein muss⁷⁶. Im Extremfall verwaltet das System eine Menge assoziierter binärer Objekte.

Flexibilität bedeutet aber auch, dass Änderungen an der Struktur der Daten jederzeit und ohne größere Performanzverluste durchgeführt werden können. SDBS verzichten daher auf den expliziten Gebrauch von Schemata. Sofern notwendig, werden selbige mit Mitteln des semistruk-

⁷⁶Daher auch der Begriff semistrukturell.

turellen Modells ausgedrückt. Typische Anwendungen von SDBS stellen beispielsweise Systeme zur Integration heterogener Informationsquellen dar. Im Umfeld der SDBS entstehen, repräsentativ für aktuelle Forschungsschwerpunkte, Arbeiten zur Formulierung und zur effizienten Ausführung von Abfragen⁷⁷, neue Methoden zur Indexierung semistrukturierter Daten⁷⁸, Algorithmen zur Schemafindung⁷⁹ sowie Arbeiten an Repräsentationsformen und ihren entsprechenden Zugriffsoperationen⁸⁰.

2. Die zweite Komponente ist eine *Datenbank*, welche die Beschreibung der technologischen Möglichkeiten der Kompetenzzellen speichert, die so genannte Angebotsdatenbank. Hierin wird eine Selbstbeschreibung der Kompetenzzellen zu ihren Maschinen- und Anlagen usw. festgehalten. Diese Angebots- oder Kompetenzbeschreibung beinhaltet jedoch keine Angaben über die aktuelle Auslastungssituation der Kompetenzzelle. Derartige Angaben sind zu dynamisch, um sie ständig an zentraler Stelle aktuell zu halten. Kandidatenzellen werden daher zunächst nur aufgrund ihrer technologischen Eignung vorgeschlagen. Ob eine Kompetenzzelle dann auch in der Lage ist, einen zugewiesenen Prozessschritt innerhalb der Terminvorstellungen des Kunden auszuführen, wird in dem der Auswahl der Kandidaten folgenden Optimierungsschritt festgestellt.
3. Die *Auswahl von Kandidatenzellen* erfolgt in der dritten Komponente durch einen Abgleich der Anforderungen eines Prozessschrittes in Form eines Nachfragevektors mit den Daten der Angebotsdatenbank über die Kompetenzzellen in Form von Angebotsvektoren. Die Komplexität der Beschreibungen von Nachfragen und Angeboten bewirkt, dass beide durch sehr hochdimensionale Merkmalsvektoren repräsentiert werden müssen. Deren Abgleich würde innerhalb eines konventionellen Datenbanksystems zu einer prohibitiv zeitintensiven Aufgabenstellung führen. Zur Unterstützung der Suche in multidimensionalen Merkmalsräumen, wie sie die Angebotsdatenbank darstellt, wurde der Intelligent Cluster Index (ICIX) entwickelt⁸¹, welcher Gruppen ähnlicher Objekte innerhalb eines Raumes beliebiger Dimension indiziert. Für die Angebotsdatenbank bedeutet das, vergleichbare Angebote von Kompetenzzellen werden zu Ähnlichkeitsgruppen zusammenge-

⁷⁷Siehe u. a. [Che00].

⁷⁸Siehe u. a. [Mil99].

⁷⁹Siehe u. a. [Bun97].

⁸⁰Siehe u. a. [Pap95].

⁸¹Siehe hierzu [Gö00b, Gö00a].

fasst und durch die ICIX-Struktur indiziert. Damit ist es möglich, zu einem hochdimensionalen Nachfragevektor relativ schnell einen passenden Angebotsvektor und damit eine Kandidatenzelle zu finden. Die Einteilung in Ähnlichkeitsgruppen hat einen weiteren Vorteil: auch wenn Nachfrage und Angebot nicht vollständig übereinstimmen, beispielsweise wenn die Kompetenzzelle viel detaillierter beschrieben ist, als die Anforderungsspezifikation, so ist ICIX in der Lage, durch eine Ähnlichkeitssuche passende Kandidatenzellen zu bestimmen. ICIX dient innerhalb des IMK als Organisations- und Zugriffsstruktur für die Angebotsdatenbank.

4. Die vierte Komponente, das *Verbindungswissen* zwischen den Kompetenzzellen, befasst sich ebenfalls mit retrospektiver Betrachtung der Kooperation. Eine erfolgreiche Kooperation zwischen Kompetenzzellen hängt nicht nur von der technologischen Eignung der einzelnen Kandidatenzellen und ihrer optimalen Verwendung im Fertigungsprozess ab. Der Erfolg der Kooperation wird in gleicher Weise determiniert durch die vertrauensvolle Zusammenarbeit und den firmenkulturellen Konsens zwischen den beteiligten Kompetenzzellen (soziale Kompetenz). Die Komponenten des Modellkerns (EVCM-Scheiben in Abbildung 4.16) umfassen also Funktionalitäten zum Aufbau und Betrieb von Kooperationsnetzwerken, evolutionäre Algorithmen für die Optimierung im APS, eine neutrale Controlling-Instanz sowie die Kommunikationsinfrastruktur. Das Beziehungsgefüge zwischen Kompetenzzellen kann jedoch nicht durch ein festes Schema erfasst werden. Vielmehr stellt es sich als ein dynamischer, gerichteter Graph dar, dessen Knoten sehr unterschiedlich strukturiert sind - je nachdem welche Informationen eine Kompetenzzelle über ihre Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit anderen Kompetenzzellen zu speichern wünscht. Diese Freiheit der Struktur erfordert, dass das Verbindungswissen innerhalb des IMK in einem semistrukturellen Datenbanksystem (SDBS) abgelegt wird (siehe oben). Dieses ermöglicht die Verwaltung von komplex (hierarchisch oder nicht-hierarchisch) strukturierten Daten, wobei diese nicht einem speziellen, fest vorgegebenen Datenbankschema entsprechen müssen⁸². Weiterhin ist es möglich, an die verschieden strukturierten Knoten jeweils individuelle Auswertungsmechanismen zu knüpfen.

Domänenontologie (Schritt 1) und Vektorenbeschreibung (Schritt 2) finden ihre inhaltliche Basis in der oben bereits beschriebenen Arbeitsplanung. Die

⁸²Siehe [Lan01].

informationstechnische Umsetzung impliziert zwar entsprechende modellierungstechnische Aufwendungen, die aber an dieser Stelle nur von untergeordneter Bedeutung ist⁸³. Die Methoden des vierten Schrittes werden in den Kapitel 6 bis 9 umfassend beschrieben, einschließlich der informationstechnischen Umsetzung in Kapitel 10. Aus diesem Grund konzentriert sich der folgende Unterabschnitt auf die Organisation der Suche innerhalb des dritten Schrittes im IMK.

5.2.2 Organisation der Suche

Die hochdimensionalen Kompetenzvektoren bilden einen entsprechend hochdimensionalen Suchraum für die Suchanfragen nach Kooperationspartnern in der Kerndatenbank. Konventionelle Indexstrukturen können nicht angewandt werden, um die Daten effektiv zu organisieren, da die einzelnen Dimensionen nur schwach oder sogar überhaupt nicht sinnvoll priorisierbar sind. Aus diesem Grund sind multidimensionale Indexstrukturen unverzichtbar. Wie bereits erwähnt, wird eine Suchanfrage durch einen Nachfragevektor für jede Teilaufgabe repräsentiert. Zu den impliziten Anforderungen sind Kompetenzzellen mit entsprechenden oder ähnlichen Kompetenzen gesucht. Das bedeutet, eine Anfrage repräsentiert eine Gruppe semantisch ähnlicher Objekte.

Die Art und Weise des Zugriffes auf die gespeicherten Kompetenzzellenbeschreibungen erfordert die Erweiterung der zugrundeliegenden konventionellen Datenmanagementsysteme, um den Leistungsanforderungen an das Gesamtsoftwaresystem zu genügen. Nachhaltige Eingriffe müssen hierbei an den internen Datenorganisations- und Zugriffsmechanismen erfolgen. Ein solcher Ansatz wird mit der Entwicklung des Intelligent Cluster Index (ICIX) verfolgt. In diesem Unterabschnitt werden die Darstellung der grundlegenden Ideen und ihre Anwendung im Kontext der Verwaltung von Kompetenzzellenbeschreibungen in den Vordergrund gestellt⁸⁴.

Der Index gliedert die Daten inhaltsorientiert, indem eine künstliche Taxonomie erzeugt wird⁸⁵, welche Objekte anhand ähnlicher Merkmale in Ähnlichkeitsgruppen (Cluster) einteilen. Ein Cluster wird durch die gemeinsamen Merkmale aller enthaltenen Objekte beschrieben. Die Cluster selbst werden nach dem Prinzip der Teilmengeninklusion hierarchisch nach

⁸³Dieses Gebiet wurde von *Benn/Neubert/Görlitz* von der Professur für Datenverwaltungssysteme der TU Chemnitz umfassend bearbeitet.

⁸⁴Eine formale Darstellung des Ansatzes einschließlich der datenbanktechnischen Hintergründe sind in [Neu00, Neu01b] nachzulesen.

⁸⁵Vgl. [Neu01a, S. 116].

Generalisierungs- bzw. Spezialisierungsaspekten strukturiert. Die Objekte werden nicht redundant gespeichert, sondern den Clustern auf der Blattebene der Hierarchie zugeordnet.

Bevor Cluster gebildet werden können, muss zunächst ein Ähnlichkeitsmaß oder Assoziationsmaß entworfen werden⁸⁶, um die Ähnlichkeit der Kompetenzzellen zu quantifizieren. Diese Maße gewährleisten, dass ähnliche KPZ eine gemeinsame Klasse oder Cluster generieren, die von KPZ anderer Cluster unterschieden werden können. Das einfachste aller Assoziationsmaße ist der so genannte *Simple-Matching Koeffizient (SMK)*, der die Anzahl der gemeinsamen Indexterme zwischen zwei Kompetenzzellen X und Y misst und folgendermaßen mathematisch ausgedrückt werden kann⁸⁷:

$$SMK = |X \cap Y|. \quad (5.32)$$

Indexterme bestehen aus charakterisierenden Elementen wie Fertigungsverfahren oder Materialeigenschaften. Der Simple-Matching Koeffizient berücksichtigt dabei nicht die Größe von X und Y , d. h. die Dimension der Angebotsvektoren. Da die Länge der Vektoren stark das Ähnlichkeitsmaß beeinflusst, werden erweiterte Maße entworfen, die die Vektorendimension berücksichtigen und ein normalisiertes Assoziationsmaß beschreiben. Unter diesen sind u. a. der *Dicesche*, *Jaccards*, *Kosinus*- und der *Überlappungskoeffizient* zu nennen. Als Beispiel sei die Berechnungsvorschrift des Koeffizienten von *Dicesche (DK)* angegeben.

$$DK = \frac{|X \cap Y|}{|X| + |Y|}. \quad (5.33)$$

Ist der Vektorraum euklidisch, so ergibt sich bei dimensionaler Übereinstimmung der Vektoren für $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ und $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ der *Euklidische Koeffizient (EK)*

$$EK = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}}. \quad (5.34)$$

Es ist ebenso möglich, das Assoziationsmaß auf ein probabilistisches Modell zu gründen, indem die Assoziation (Ähnlichkeit) zwischen zwei KPZ über das

⁸⁶Vgl. hierzu [Heu98, S. 13 f.]. Die Berechnungsvorschriften wurden leicht modifiziert.

⁸⁷Vgl. [Rij79, S. 24 ff.].

Ausmaß der Abweichung der Verteilung der KPZ von einer stochastischen Unabhängigkeitsverteilung gemessen wird. Bei der Verwendung der KPZ-Vektoren wäre dies jedoch mathematisch übermotiviert.

Der eigentliche Zweck des Clusterings ist, KPZ bzw. die sie beschreibenden Vektoren so zusammenzufassen, dass eine daran anschließende Suche beschleunigt werden kann⁸⁸. *Van Rijsbergen* formulierte hierzu treffend: „Closely associated documents tend to be relevant to the same request“⁸⁹. Diese These, Voraussetzung aller Information Retrieval Systeme, welche Cluster-Verfahren benutzen, wird auch *Clusterhypothese* genannt. Sie besagt im übertragenen Sinne, dass zu einer gegebenen Anfrage alle solche Kompetenzzellen passen, die inhaltlich miteinander verwandt sind und gemeinsam in einer Antwort dargeboten werden sollten. Der Verwandtschaftsgrad wird dabei durch obige Assoziationsmaße definiert. Zudem sollte eine Clustermethode für die KPZ-Suche folgende Zuverlässigkeitskriterien erfüllen⁹⁰:

- Stabilität unter Wachstum: Die Methode produziert eine geclusterte Repräsentation des Datensatzes, für die eine Änderung bei einem späterem Hinzufügen von Objekten unwahrscheinlich ist.
- Stabilität in dem Sinne, dass kleine Fehler in den Objektbeschreibungen nur zu kleinen Änderungen in der geclusterten Repräsentation führen.
- Unabhängigkeit zur initialen Ordnung der Objekte.

*Heuser*⁹¹ gibt einen sehr guten Überblick und eine Gliederung sowie Einsatzbedingungen zu Cluster-Methoden an. Auf nicht-lineare Art realisierte Methoden werden durch künstliche neuronale Netze modelliert. In diesem Bereich dominieren vor allem die Verfahren des *Competitive Learning* als vektorquantisierende Methoden. Diese lassen sich weiter in die so genannten *Hard Competitive Learning*⁹² und die *Soft Competitive Learning* Verfahren⁹³ unterteilen. Letztere lassen sich weiter danach differenzieren, ob die Netzwerkdimensionalität vorher vorgegeben ist. Aufgrund der besonderen Merkmale des KPZN (u. a. hohe Dynamik, möglicherweise unterschiedliche Vek-

⁸⁸Häufig lässt sich kein geeignetes Verfahren im voraus angeben, da die Clusterbildung sehr stark von den Eingabedaten abhängt.

⁸⁹Siehe [Rij79, S. 30].

⁹⁰In Anlehnung an [Rij79, S. 31].

⁹¹Siehe [Heu00].

⁹²Auch „Winner-take-all“ Verfahren genannt. Vertreter sind bspw. *K-Means*.

⁹³Vertreter sind SOM, Growing Cell Structures, Growing Grid, das (Growing) Neural Gas, das Competitive Hebbian Learning, das Rival Penalized Competitive Learning. Siehe hierzu [Heu98, S. 30 ff.].

torenlängen, kein Exact-Matching sinnvoll) fiel, ohne an dieser Stelle weiter darauf einzugehen, die Entscheidung zugunsten des *Growing Neural Gas* aus.

Bei der Suche nach einem Cluster, beschrieben anhand der kennzeichnenden Merkmale, wird die Hierarchie ebenenweise durchmustert und versucht, Widersprüche zwischen den Beschreibungen der Taxonomiegruppen und des gesuchten Clusters abzuleiten. Gelingt die Durchmusterung auf der Blattebene an, gehört das entsprechende Cluster zur Antwortmenge. Bei einem Widerspruch kann der darunterliegende Ast ausgeschlossen werden, wodurch sich eine inhaltsorientierte Einschränkung des Suchraums ergibt. Durch gezielte Ausnutzung solcher Einschränkungen lassen sich Geschwindigkeitsgewinne bei der Suche erzielen. Aus Sicht des vorherrschenden Anfragetyps nach Clustern inhaltlich ähnlicher KPZ, d. h. nach Zellen, die technologisch in der Lage sind, die gesuchten Anforderungen zu erfüllen, ist es zweckmäßig, die Beschreibungen ebenfalls in Form künstlicher Taxonomien in der Datenbank zu verwalten. Dazu müssen zunächst Ähnlichkeitsgruppen gebildet werden. Für diese Aufgabe haben sich in der KI und im Information Retrieval Künstliche Neuronale Netze (KNN) bewährt. Das Training dieser Netze basiert auf folgenden zwei, stark simplifizierten Schritten:

1. Wähle zufällig einen Eingabepunkt und bestimme das am nächsten liegende Neuron.
2. Adaptiere das in Schritt 1 bestimmte Neuron durch Verschieben seines Vektors in Richtung des gewählten Datenpunktes.

Beide Schritte werden iterativ wiederholt. Mit der Zeit spezialisieren sich die einzelnen Neuronen auf Datenpunkte aus einer bestimmten Region des Eingaberaums. Dieser Effekt repräsentiert letztlich das Selbstorganisationsprinzip. Durch Zuordnung der Eingabepunkte zu einzelnen Neuronen lassen sich die gebildeten Cluster bzw. Ähnlichkeitsgruppen nach Beendigung des Trainings in einem anschließenden Klassifikationsschritt ermitteln und weiterverarbeiten. Das „wachsende neuronale Gas“ (Growing Neural Gas, GNG) von *Fritzke*⁹⁴ verknüpft als eines der wichtigsten Vertreter eines Competitive Learnings mit vorher nicht festgelegter Netzwerddimensionalität die Wachstumskomponente der *Growing Cell Structures*, *GCS* mit der Generierung einer Topologie durch das *Competitive Hebbian Learning*⁹⁵. Neue Neuronen werden, wie bei den GCS, in der Nähe solcher Neuronen eingefügt, die den

⁹⁴Siehe [Fri94].

⁹⁵Siehe [Mar91].

größten akkumulierten Fehler besitzen. Das GNG startet jedoch, im Gegensatz zu den GCS, mit nur zwei unverbundenen Neuronen. Der folgende Algorithmus untersetzt die beiden simplifizierten Schritte von oben⁹⁶.

```

1 begin
2   Schritt 1:
3   Initialisiere  $A$  durch zwei unverbundene Neuronen  $A = \{c_1, c_2\}$ 
4   mit zugehörigen Referenzvektoren  $\omega_{c_i} \in R^n$ , die mit
5   zufälligen Werten aus  $D$  belegt werden.
6   while Stop-Kriterium nicht erfüllt (z. B. Netzgröße) do
7     Schritt 2: Wähle zufällig ein Eingabedatum  $x \in D$ 
8     Schritt 3: Bestimme  $s_1$  und  $s_2$  mit
9        $s_1 = \arg \min_{c \in A} \|x - \omega_c\|$ 
10       $s_2 = \arg \min_{c \in A \setminus \{s_1\}} \|x - \omega_c\|$ 
11     Schritt 4: Erzeuge Kante von  $(s_1, s_2)$  mit Alter  $age_{(s_1, s_2)} = 0$ 
12     Schritt 5:  $E_{s_1} = E_{s_1} + \|x - \omega_{s_1}\|^2$ 
13     Schritt 6: Adaption der Referenzvektoren  $w_{s_1}$  von  $s_1$  sowie
14     seiner topologischen Nachbarn  $i \in N_{s_1}$  mit den
15     Lernraten  $\epsilon_b$  und  $\epsilon_n$ :
16      $\Delta w_{s_1} = \epsilon_b(x - \omega_{s_1})$ 
17      $\Delta w_{s_i} = \epsilon_n(x - \omega_{s_i}) \quad \forall i \in N_{s_1}$ 
18     Schritt 7:  $age_{(s_1, i)} = age_{(s_1, i)} + 1 \quad \forall i \in N_{s_1}$ 
19     Schritt 8: Entferne Kanten, die älter als  $age_{\max}$  sind und
20     Neuronen ohne Kanten
21   if bestimmte Anzahl Eingaben erreicht
22     then Schritt 9:
23       *  $c_q = \arg \max_{c \in A} E_c$ 
24       *  $c_f = \arg \max_{c \in N_q} E_c$ 
25       * neues Neuron  $c_r$  einfügen mit  $w_{c_r} = (w_{c_q} + w_{c_f})/2$ 
26       *  $(c_q, c_f)$  ersetzen durch  $(c_q, c_r)$  und  $(c_r, c_f)$ 
27       * Fehlervariable von  $c_q$  und  $c_f$  um  $\alpha$  verkleinern:
28       *  $\Delta E_q = -\alpha E_q$  und  $\Delta E_f = -\alpha E_f$ 
29       * Interpolation  $\Delta E_r$  mit  $E_r = (E_q + E_f)/2$ 
30     fi
31     Schritt 10: Fehlervariable verkleinern  $\Delta E_c = -\beta E_c$ 
32   od
33 end

```

Abbildung 5.15: Algorithmus des Growing Neural Gas

⁹⁶Aus [Heu98, S. 37 f.] entnommen.

Mit einem Competitive Learning Algorithmus soll das Ziel einer Fehlerminimierung im folgenden Sinne verfolgt werden. Es seien als Eingabe zum Competitive Learning eine kontinuierliche Verteilung, erzeugt durch eine Wahrscheinlichkeitsdichte-Funktion $p(x), x \in R^n$, und eine Menge von N Neuronen $A = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ gegeben. Jedes Neuron c besitze einen Referenz- oder Gewichtsvektor $w_c \in R^n$. Dann ist das Ziel eines fehlerminimierenden Competitive Learning neuronalen Netzes, den erwarteten Quantisierungsfehler zu minimieren. Dies ist gleichbedeutend mit dem Finden geeigneter Werte für die Referenzvektoren $w_c, c \in A$. Im Fall einer diskreten und endlichen Eingabe-Datenmenge und einer Voronoi-Menge R_c um Referenzvektor c lässt sich der zu minimierende Erwartungswert wie folgt bestimmen:

$$E(D, A) = \frac{1}{|D|} \sum_{c \in A} \sum_{x \in R_c} \|x - w_c\|^2. \quad (5.35)$$

Bei dem für ICIX eingesetzten Growing Neural Gas-Netzen⁹⁷ lässt sich für die Klassifikation ebenfalls noch die Verbindungsstruktur der Neuronen heranziehen. Dieser spezielle Netztyp prägt während des Trainings zusätzlich eine Verbindungsstruktur aus, so dass Zusammenhangskomponenten innerhalb des Neuronengraphen entstehen können. Das wiederum erleichtert die Analyse der Clusterstruktur innerhalb der Eingabemenge. Abbildung 5.16 visualisiert die eben beschriebenen Sachverhalte. Das linke Teilbild zeigt die kodierte Eingabe mit den Clustern durch eine diskrete Menge an Datenpunkten, das mittlere Teilbild das GNG-Netz während des Trainings und das rechte Teilbild das austrainierte Netz, welches für die Klassifikation benutzt wird⁹⁸.

Für die Verwendung der entstandenen Hierarchie als Datenbankindex ist eine Repräsentation der Gruppen notwendig, die eine effiziente Auswertung von Anfragen (Ableitung eines Widerspruchs) gestattet. Für den Intelligent Cluster Index wurde eine subsymbolische Repräsentation der Gruppeninformation gewählt, d. h. die identifizierten Cluster werden in Form von minimal umschließenden Hyperboxen intern gespeichert. Eine Besonderheit der ICIX Struktur ist die Unterstützung von drei generellen Anfragemechanismen: Exact-, Group- und Similarity-Match, wobei letzteres in Verbindung mit dem Ähnlichkeitshilfsmaß eine quantifizierte Ähnlichkeitssuche ermöglicht, d. h. die Antwortmenge kann nach Ähnlichkeit sortiert oder eingeschränkt werden.

⁹⁷Siehe [Fri94].

⁹⁸Zum Generieren des Beispiels wurde das als JavaApplet implementierte *DemoGNG* von *Loos/Fritzke* [Loo02] genutzt.

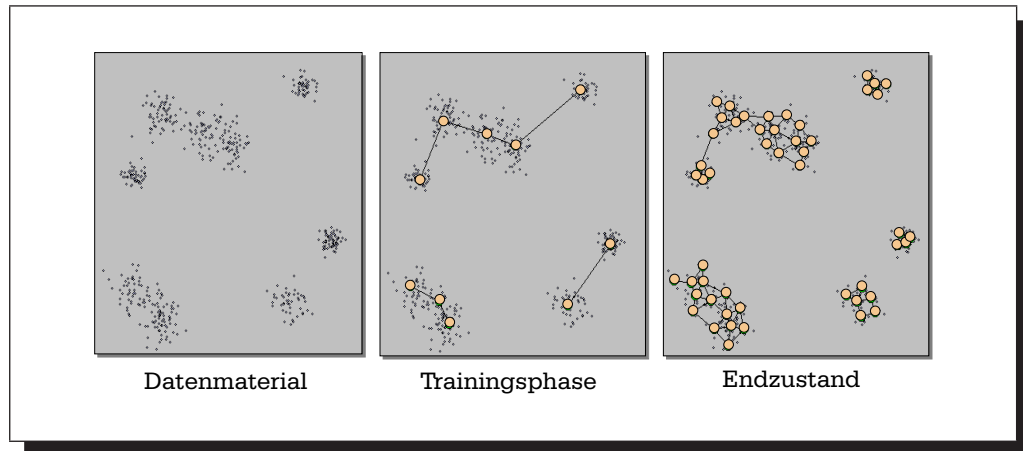


Abbildung 5.16: Trainingsphasen eines GNG-Netzes

Die Organisation der Beschreibungen der Kompetenzzellen innerhalb der Angebotsdatenbank durch ICIX soll im Folgenden beispielhaft für Fertigungskompetenzzellen beschrieben werden. Die Kriterien werden für jede Fertigungskompetenzzelle in einen durch ICIX verarbeitbaren Merkmalsvektor, den oben beschriebenen Angebotsvektor, überführt. Die Bildung von Ähnlichkeitsgruppen durch ICIX basiert auf der Clustering eines durch Merkmalsvektoren aufgespannten Raumes in der subsymbolischen Ebene. Das bedeutet, die Angebotsdaten der Kompetenzzellen müssen für die Indizierung durch eine geeignete Kodierungsfunktion in die subsymbolische Ebene transformiert werden. Nach der Kodierung kann eine hierarchische Gruppierung der Merkmalsvektoren durchgeführt werden. Da sich die Fertigungskompetenzzellen bereits nach den beherrschten Fertigungsverfahren unterscheiden, wird nicht ein großer Index über alle Angebote erstellt, sondern nur diejenigen Angebote gemeinsam indiziert, die sich auf das gleiche Fertigungsverfahren beziehen. Hierzu wird die vierte Ebene der Hierarchie der Fertigungsverfahren als Trennungskriterium herangezogen.

Aus allen Angebotsbeschreibungen, die sich auf das gleiche Fertigungsverfahren der vierten Ebene beziehen wird ein gemeinsamer Indexbaum erzeugt. Es wird angenommen, dass die vierte Ebene der Fertigungsverfahren entsprechend der DIN 8580 für die Auswahl präzise genug ist. Eine tiefere Ebene würde bedeuten, dass wesentlich mehr Indexbäume generiert werden müssten, von denen jeder viel weniger Angebote, also Kompetenzzellen, enthalten würde. Eine Einteilung nach einer höheren Ebene in der Hierarchie der Fertigungsverfahren erscheint derzeit für die Auswahl zu grob. Abbildung 5.17 stellt die Generierung der Indexbäume aus den Angeboten schematisch

dar. Im Ergebnis des Indizierungsschrittes ist eine Menge von Indexbäumen entstanden. Jeder von ihnen stellt eine Spezialisierungshierarchie dar. Die Wurzel des Baumes enthält alle Angebote. Jede nächste Ebene teilt diese Menge in Gruppen ähnlicher Angebote.

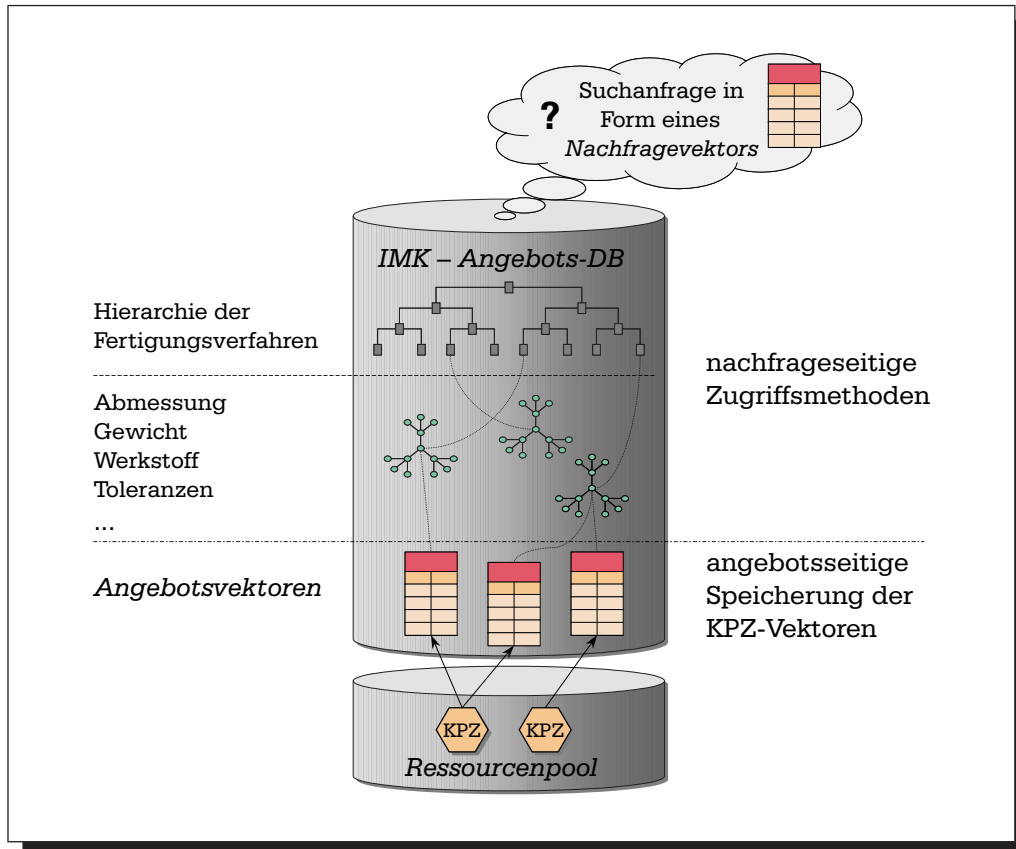


Abbildung 5.17: KPZ-Suche als Teilaufgabe des IMK

Die Auswahl der Kompetenzzellen wird innerhalb eines mehrstufigen Prozesses realisiert. Zuerst wird mit den in der Prozesskategorie vorgegebenen Fertigungsverfahren die Hierarchie der Fertigungsverfahren bis zur vierten Ebene traversiert. Hier befinden sich Verweise auf die Indexbäume mit den Angeboten unter den jeweiligen Fertigungsverfahren. Im nächsten Auswahlschritt wird der Angebotsvektor, welcher Anforderungen des spezifischen Prozesses in den gleichen Kriterien enthält, welche für den Aufbau der Nachfrage verwendet wurden, mit den ausgewählten Indexbäumen verglichen. Das bedeutet, die Nachfrage wird sukzessive mit den Angeboten der Ähnlichkeitsgruppen verglichen. Als Konsequenz der Ähnlichkeitssuche liefert der zweite Auswahlschritt eine Menge von Angebotsvektoren und damit Referenzen zu Fer-

tigungskompetenzzellen, die sehr wahrscheinlich in der Lage sind, das Fertigungsverfahren unter Berücksichtigung der indizierten Kriterien auszuführen. Eine Kompetenzzelle kann durch Beherrschen mehrerer Fertigungsverfahren in verschiedenen Indexbäumen vertreten sein. Daher besteht die Möglichkeit, dass diese auch für mehrere Prozessschritte eines Prozessvariantenplanes als Kandidat ausgewählt wird.

5.3 Zusammenfassung

Der IMK nimmt innerhalb des KPZN die Rolle des informationstechnischen Integrators ein. Er verbindet die unterschiedlichen Modelle und Sichten des Untersuchungsgegenstandes Kompetenzzelle. In der Schema- und Applikationsebene des IMK werden die Sichten und Beschreibungen der unterschiedlichen KPZ-Ebenen gesammelt und integriert. So entstammt die Beschreibung der Fachkompetenz, welche in das Datenmodell der Angebotsdatenbank überführt wurde, aus dem Bereich der Arbeitsplanung. Die Methodik der Zerlegung eines komplexen Produktes und die Beschreibung einer Stücklistenposition durch Arbeitspläne sowie die Struktur der Nachfragevektoren wurde nur einführend beschrieben, da für das Konzept des Extended Value Chain Managements die Struktur der Organisationseinheiten nur eine nebeneordnete Rolle spielt. Der Fokus der Betrachtung liegt viel mehr auf den Netzwerkverbindungen, den dafür notwendigen Methoden und die informationstechnische Realisierbarkeit.

Innerhalb des IMK werden auch die verschiedenen, den Kompetenzsichten entlehnten Funktionsmodule, die innerhalb des Kompetenzzellennetzwerkes Anwendung finden sollen, integriert. Zu nennen sind vor allem die Module zum Advanced Planning and Scheduling, zur Angebotsgenerierung, zur Kooperationsstrukturoptimierung mit Soft-facts und zum Netzwerk-Controlling. In diesem Kapitel wurde lediglich die in der Fachkompetenz angesiedelte Suche nach geeigneten KPZ beschrieben. Die dafür notwendigen Informationen werden in der Daten- und Beschreibungsebene des IMK verwaltet, ebenso wie die Methoden zur Clusterung und zum Finden der richtigen KPZ. Für die Umsetzung der Suche werden neuartige Methoden des Soft Competitive Learnings wirkungsvoll und der Situation entsprechend adäquat eingesetzt. Die Suche nach geeigneten KPZ ist jedoch nur ein Teil des Aufgabenspektrums des IMK. Während des Wertschöpfungsprozesses kann der IMK als Monitoring-Instanz mit Tracing und Tracking Funktionen aktiv sein und die termingerechte Erfüllung der einzelnen Prozessschritte überwachen.

Anschließend an die Produktion sollte in einem Evaluierungsschritt die Performanz der am Produktionsprozess beteiligten KPZ a-posteriori ausgewertet werden. Die hieraus abgeleiteten Ergebnisse können zur Verfeinerung der Angebotsdatenbank verwendet werden und somit den Suchprozess für die nächsten Anfragen a-priori verbessern. Der Auswahlprozess der Kandidatenzellen hat dabei das Ziel zu verfolgen, dass die vom KPZN angebotene Lösung in Produktionszeit und -kosten gegenüber anderen Anbietern am Markt effizient ist.

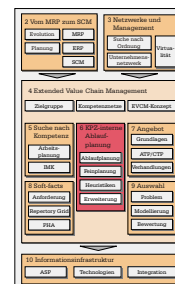
Die Darstellung des fachkompetenzspezifischen Teils der Netzwerkgenese hat gezeigt, dass die Konzeption auf Kompetenzzellenebene noch längst nicht ausreichend ist. Vor allem im Bereich der funktionalen Beschreibung der Möglichkeiten der KPZ besteht erheblicher Forschungsbedarf. Es ist sogar denkbar, das KPZN als Problemlöser einzusetzen, d. h. die traditionelle Planung vom Bauteil in Richtung Arbeitsplanung umzukehren und aus einem Marktbedarf heraus über funktionelle Zusammenhänge aus dem Bereich der Arbeitsplanung Produkte zu generieren. Diese Vorstellung geht jedoch weit über den Rahmen dieser Arbeit hinaus und ist, wie bereits erwähnt, für das EVCM konzeptuell nicht notwendig.

„Wir müssen heute nach den Wahrheiten leben, die uns zur Verfügung stehen, dabei aber immer bereit sein, sie morgen Irrtümer zu nennen.“

William James

Kapitel 6

KPZ–interne Ablaufplanung



In diesem Kapitel werden die wesentlichen Inhalte der Methodenkompetenz zur Generierung notwendiger betriebswirtschaftlicher zeitorientierter Kennzahlen mit anschließender Attributbelegung der Angebotsvektoren der Kompetenzzellen vorgestellt.

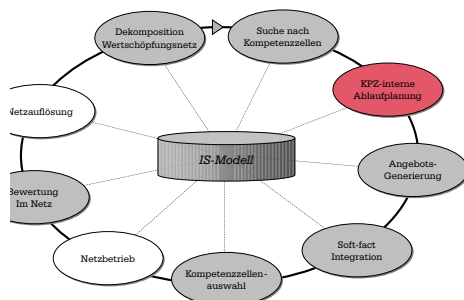


Abbildung 6.1: Phase „Ablaufplanung“

Nachdem den Netzknoten des Prozessvariantenplanes KPZ zugeordnet wurden, ist das KPZN in der jetzigen Phase mit Zeiten zu behafteten. Zu diesem Zweck kann jede KPZ die Methode Ablaufplanung aus dem IMK benutzen. Diese Methode wird zentral verwaltet, ist auf technologisch neuestem Stand und über ein Application Service Providing (siehe Kapitel 10) den KPZ des Ressourcenpools allgemein zugänglich. Dieses Kapitel behandelt die wesentlichen Elemente der KPZ–internen Ablaufplanung und stellt die wichtigsten Methoden einschließlich Parameterkonfigurationen vor.

Die wesentlichen Inhalte dieses Kapitels gehen auf eigene Publikationen der letzten fünf Jahre zurück¹. Diese werden in den folgenden Abschnitten systematisiert und in ihrem inhaltlichen Zusammenhang dargestellt. Für detailliertere Angaben sei auf die Publikationen selbst verwiesen.

¹Siehe hierzu umfassende Arbeiten zur Reihenfolgeplanung in der Dissertation [Tei98b] und im Lehrbuch [Kä02a] der Abschnitt zur Fertigungssteuerung. Weiterhin entstanden zahlreiche Buchbeiträge [Tei00b, Kä01], Zeitschriftenartikel [Tei99, Tei01u, Kä02b], Arbeitsberichte [Kä97a, Kä97b, Tei00a, Kä00f] und Konferenzbeiträge [Kä99b, Kä99a, Kä00c, Kä00d, Kä00e, Tei01s, Tei01r, Tei01t, Mei01, Tei02d]. Textstellen wurden aus [Tei98b] wörtlich übernommen, ohne dies explizit hervorzuheben.

Zeitliche Aspekte: Der zeitliche Aspekt beschäftigt sich mit der Frage, wann die festgelegten Arbeitsgänge auszuführen sind. Hierbei steht vor allem die Reihenfolgeplanung an den Ressourcen der KPZ im Mittelpunkt des Interesses. Im Allgemeinen werden in der Literatur folgende dominierende Aufgaben dem zeitlichen Aspekt zugeordnet:

- *Reihenfolgeplanung:* Aus betriebswirtschaftlicher Sicht erfährt das Reihenfolgeproblem insbesondere Beachtung als Ablaufplanungsproblem. Die Reihenfolge der Arbeitsgänge ist in der Regel durch eine bestimmte Technologie festgelegt, welche die Flussrichtung des Auftrags über bestimmte Maschinen beschreibt. Dies trifft für alle Aufträge zu, die sich im Produktionssystem befinden. Auf diese Weise ergibt sich vor jeder Maschine ein Arbeitsvorrat an Arbeitsgängen. Die Reihenfolgeplanung legt unter gegebenen Optimierungskriterien die Abarbeitungsreihenfolge des Arbeitsvorrates auf einer bestimmten Maschine fest.
- *Bestimmung der zeitlichen Dauer der Arbeitsgänge:* Für die Berechnung von möglichen Lieferterminen für Aufträge ist es notwendig, dass die festgelegten Arbeitsgänge mit Zeiten behaftet werden. In der Praxis werden häufig nur Rüst- und Stückbearbeitungszeiten gepflegt. Diese Zeiten werden zum einen vom verantwortlichen Technologen geschätzt und bzw. oder zum anderen durch zweckmäßige Methoden wie das manuelle Begleiten eines Auftrags durch die Fertigung ermittelt¹⁰.
- *Terminvorgroßplanung:* Als Ergebnis der Planung liegen die Fertigstellungstermine der einzelnen Teilaufträge fest. Sie ergeben sich aus der simultanen Einplanung aller Arbeitsgänge auf den benötigten Maschinen unter Beachtung von Kapazitätsbeschränkungen.
- *Losgrößenbildung:* Das Ziel der Bildung von Losgrößen besteht in der Bestimmung wirtschaftlicher Mengengrößen, bei der die davon abhängigen relevanten Kosten je Erzeugniseinheit minimal sind.

¹⁰Von der Güte der Daten hängen zum Großteil die Planungsgenauigkeit und daraus resultierende Probleme ab. Das bekannteste Problem ist das *Durchlaufzeitsyndrom*, bei dem aufgrund wachsender Warteschlangen vor den Maschinen, was zu hohen Beständen und langen Durchlaufzeiten führt, eine Erhöhung der Plandurchlaufzeiten vorgenommen wird, um somit die Termintreue zu vergrößern. Das führt zu noch frühzeitigerer Auftragsfreigabe und somit noch größeren Warteschlangen. Siehe hierzu u. a. [Wei95, S. 17 ff.], [Ket79, S. 412], [Wie87, S. 22], [Zä88, S. 28]. Empirische Untersuchungen zeigten, dass knapp 90% der Liegezeit eines Auftrags auf Probleme der Ablaufplanung zurückzuführen sind. Siehe [Sto76, S. 143], [Eid86, S. 618], [Wei95, S. 19].

Räumliche Aspekte: Gegenstand der Ablauforganisation in räumlicher Hinsicht sind Gestaltungsmaßnahmen für den Materialfluss durch das Unternehmen, die Lösung von Standortproblemen und die Festlegung von Transporteinrichtungen. Kriterium für diese Betrachtungen sind so genannte Raumüberbrückungskosten.

6.1.2 Ziele der Ablauforganisation

Nachdem in Abschnitt 5.1.3.1 bereits Kostenziele diskutiert wurden, werden in diesem Abschnitt die wichtigsten Zeitziele der Ablaufplanung behandelt, die für die KPZ eine Relevanz besitzen. Zwar sind auch Kostengrößen entscheidungsrelevant, aufgrund von Bewertungsproblemen sind diese jedoch kaum zu operationalisieren¹¹. Qualitative Ziele gehen in diesem Zusammenhang in der Regel nicht in Ablaufplanungsmodelle ein.

6.1.2.1 Zeitziele

Die im Bereich der Produktion anfallenden entscheidungsrelevanten Kosten sind wie oben bereits erwähnt an Zeitgrößen gebunden, die im Folgenden erläutert werden.

Durchlaufzeit: ist die Zeit, die bei der Fertigung eines Teiles zwischen Beginn des ersten und Abschluss des letzten Arbeitsganges vergeht.

Zykluszeit: ist die Zeitspanne zwischen dem Produktionsbeginn eines vorgegebenen Produktionsprogramms und dessen Produktionsende und somit die Durchlaufzeit eines vollständigen Auftragskomplexes.

Wartezeit: ist die Zeit, die ein Fertigungsauftrag vor einem Arbeitssystem auf seine Bearbeitung warten muss, weil das System noch von anderen Aufträgen belegt ist. Diese Definition kann auch auf die Wartezeit eines Transportmittels ausgedehnt werden, wenn der innerbetriebliche Transport ebenfalls Gegenstand der Feinterminierung ist.

Liegezeit: ist die Zeit, die ein Auftrag aus technologischen Gründen zwischen zwei Arbeitssystemen liegen muss und nicht weiterbearbeitet werden kann.

Terminüberschreitungszeit: errechnet sich aus der Differenz zwischen tatsächlichem Ist-Liefertermin und geplantem Soll-Liefertermin.

¹¹Siehe [Sch92a, S. 86 ff.].

Leerzeit: ist die Zeit, in der ein Betriebsmittel (zumeist ablaufbedingt) nicht genutzt werden kann. Dies kann vor Produktionsbeginn eines Auftragsprogramms, zwischen zwei Arbeitsgängen und am Ende eines Auftragsprogramms eintreten¹². Der Begriff der *Stillstandzeit* wird häufig synonym benutzt. Solange die Existenz derartiger Leerzeiten bei gegebenem Produktionsumfang die Realisierung des Auftragsprogramms nicht gefährdet, ist die Vermeidung von Leerzeiten praktisch irrelevant.

Rüstzeit: ist die Zeit, in der ein Betriebsmittel zur Abarbeitung eines Arbeitsganges einmalig vorbereitet wird. Sie ist Teil der Belegungszeit und drückt sich im Verbrauch von sowohl Maschinen- als auch Personalkapazität aus. Die Minimierung dieser Zeit besitzt in der Praxis große Bedeutung, da dies in der Regel allein durch die Umstellung des Maschinenbelegungsplans möglich ist.

Belegungszeit: umfasst die Rüstzeit und die zur planmäßigen Ausführung der Arbeitsaufgabe notwendige Bearbeitungszeit, die in der Regel pro zu produzierendem Stück angegeben wird und sich somit proportional zur Ausbringungsmenge verhält.

Übergangszeit: legt die Zeitspanne fest, in der ein Wechsel von einem Arbeitsgang zum nächsten erfolgen kann. Sie setzt sich aus Warte-, Transport- und Liegezeit zusammen. In der Praxis ist eine Minimierung dieser Zeit mit zum Teil erheblichen Kosten verbunden, die aus Veränderungen der logistischen Struktur des Produktionsbereichs resultieren.

Da die reihenfolgenabhängige Rüstzeit eine wesentliche Rolle innerhalb der Fertigungssteuerung besitzt, erfolgt an dieser Stelle eine kurze Vertiefung dieser Problematik auf der Basis ausgewerteter Arbeitspläne früherer Untersuchungen¹³. Zu diesem Zweck wurden Arbeitsvorgänge daraufhin untersucht, wie die Losgrößen bzgl. der Werkstattaufträge durchschnittlich ausfallen und in welchem Verhältnis dabei die Rüstzeit zur Bearbeitungszeit steht. Es zeigte sich, dass über 50% der Aufträge eine Stückzahl von weniger als 15 Teilen aufweisen. Damit wird das typische kundenindividuelle Produktionsprofil bei Einzel- und Kleinserienfertigung bestätigt. Ausgehend von diesen Stückzahlbereichen wurde weiterhin deutlich, wie die Rüstzeit bei sinkenden Stückzahlen an Bedeutung gewinnt, dass für mindestens 50% der aufgelegten Teile

¹²Die Definition der Leerzeit ist in der Literatur keinesfalls eindeutig. *Conway* [Con67, S. 14 f.] und *Zäpfel* [Zä82, S. 250] folgen der obigen Definition. *Seelbach* [See75, S. 34], *Paulik* [Pau84, S. 19] und *Küpper* [Kü82, S. 40] dagegen vertreten die Meinung, dass eine Leerzeit nur bis zur Beendigung eines Auftrags auftreten kann.

¹³Siehe [Tei98b, S. 190 ff.].

ein Rüstzeitanteil von 10% bis 1300% zu erwarten ist. ERP-Systeme ignorieren diesen Sachverhalt fast vollständig und gehen über eine Reihenfolgeplanung mit einfachen Prioritätsregeln ohne Beachtung reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten nicht hinaus. Aus diesem Grunde erfolgt für KPZ über den IMK die Bereitstellung interner Ablaufplanungsmethoden, die zwar auf die ERP-Daten zugreifen, aber ein eigenes Sequencing und Scheduling zur Verfügung stellen.

In der Einzel- und Kleinserienfertigung ist nach dem Bearbeitungsende eines Loses zu entscheiden, welches Los als nächstes zu produzieren ist. Diese Entscheidung ist schwierig, wenn¹⁴:

- bei der Umrüstung der Betriebsmittel auf neue Fertigungslose Umrüstzeiten entstehen, die von der Reihenfolge der Lose abhängen,
- die Umrüstzeiten so groß sind, dass die Lose jeweils geschlossen die einzelnen Betriebsmittel durchlaufen sollten und
- die Varität der Produkte¹⁵ bei relativ geringer Stückzahl so groß ist, dass bestimmte Betriebsmittel nicht die ganze Zeit mit der gleichen Produktart beschickt werden können.

Im Gegensatz zu anderen Bereichen der Reihenfolgeplanung ist das Problem der Minimierung reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten auch bei unbegrenzter Kapazität der Betriebsmittel relevant, da durch eine günstige Reihenfolge der Arbeitsvorgänge die Umrüstkosten minimiert werden. Diese Planung ist nur simultan durchführbar.

Zur Verdeutlichung der Beziehungen zwischen den einzelnen Bestandteilen des Modells, die aus betriebsmittellorientierter Sicht Bedeutung besitzen, zeigt die Abbildung 6.2 generelle Abhängigkeiten beispielhaft für zwei Maschinen. Die Abbildung zeigt, dass bis auf die Bearbeitungszeiten¹⁶ alle Größen von den Auftragsfolgen abhängen. Da die Unveränderbarkeit der Modellvariablen vorausgesetzt wird, kann die Zykluszeit nur über die Auftragsfolgen beeinflusst werden. Bei der separaten Ausführung von Algorithmen zur Rüstzeitoptimierung und Zykluszeitoptimierung ohne Rüstzeiten geht der Gesamtzusammenhang, wie er oben abgebildet wurde, verloren.

Ziel einer Analyse des Fertigungsauftragsdurchlaufs ist die Gewinnung von Aussagen über generelle Materialflussrichtungen bei Werkstattsteuerung und

¹⁴Vgl. [Oet94, S. 62 ff.].

¹⁵Die Planung der Reihenfolge ist generell nur bei Mehr-Produkt-Fertigung notwendig, da sonst die Produktionskapazität voll dem einzigen Produkt zugewiesen werden kann.

¹⁶Die Bearbeitungszeit kann durch Lossplittung und -überlappung sowie durch Maßnahmen der Anpassung (siehe Abschnitt 5.1.3.2) beeinflusst werden.

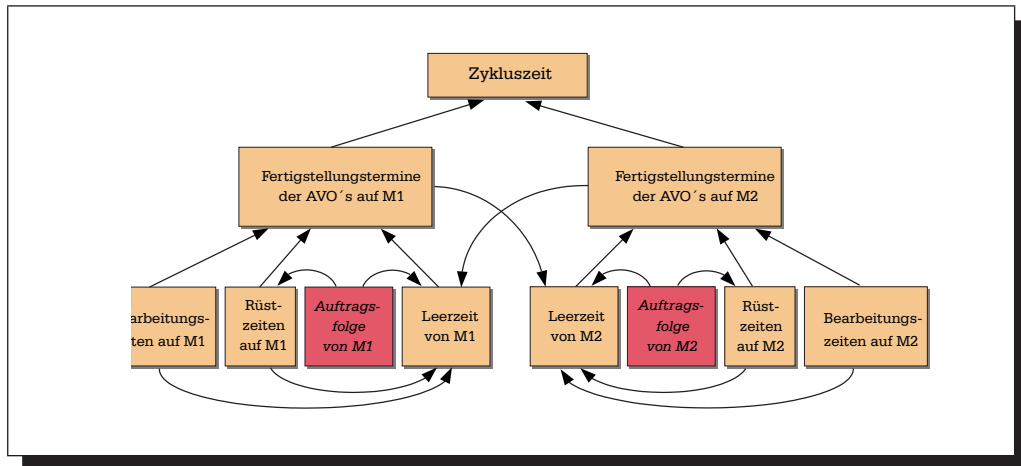


Abbildung 6.2: Abhängigkeiten zwischen Modellbestandteilen

über deren Häufigkeit, da dieses spezifische Wissen zur Verbesserung der Güte allgemeiner Algorithmen zur Reihenfolgeplanung bezüglich der Schnelligkeit des Findens einer möglichst guten Lösung genutzt werden soll. Desweiteren müssen geeignete Beispiele zum Testen der Algorithmen ausgewählt werden. Ein wichtiges Maß hierfür ist die Anzahl der Arbeitsvorgänge pro Werkstattauftrag und die Größe der segmentierbaren Fertigungseinheiten. Analysen haben gezeigt zeigt¹⁷, dass im Durchschnitt weniger als zehn Arbeitsvorgänge pro Werkstattauftrag benötigt werden. Entscheidend für derartige Analysen ist jedoch nicht nur die Häufigkeit der einzelnen Arbeitsvorgänge, sondern auch die mit der Produktionsmenge gewichtete Reihenfolge, in der diese in den Technologien aufeinander folgend vorkommen. Zum Erkennen der segmentierbaren und gewichteten Abschnitte der Fertigung können *Sankey-Diagramme* zur Darstellung der Hauptflussrichtungen der Arbeitsvorgänge der Werkstattaufträge abgeleitet werden. Analysen zeigten, dass in den untersuchten Unternehmen die Fertigung in weniger als zehn Segmente gegliedert werden kann. Diese Segmente weisen ihrerseits bis zu sechs Betriebsmittel auf.

6.1.2.2 Zielbeziehungen

Die verschiedenen Zielsetzungen des Ablaufplanungsproblems sind in der Terminologie der Entscheidungstheorie zumeist *konkurrierende Ziele*¹⁸. Daran

¹⁷Siehe [Tei98b, S. 195 ff.].

¹⁸Vgl. zu den Begriffen der Entscheidungstheorie z. B. [Din82, Abschnitt 3.1] und siehe u. a. [Brü95, S. 44].

ändert auch eine KPZ-orientierte Modellierung der Organisationseinheiten nichts. Eine bezüglich der Gesamtdurchlaufzeit optimale Lösung braucht beispielsweise nicht optimal hinsichtlich der Gesamtbelegungszeit zu sein und umgekehrt. *Gutenberg*¹⁹ führt den Begriff „*Dilemma der Ablaufplanung*“ für die unterschiedlichen Ergebnisse bei den Zielsetzungen Maximierung der Kapazitätsauslastung und Minimierung der Durchlaufzeit ein. Grundsätzlich lassen sich folgende Zielbeziehungen unterscheiden²⁰:

komplementäre Ziele: Zwei Ziele sind zueinander komplementär, wenn mit der Verschlechterung bzw. Verbesserung des Zielerreichungsgrades des einen auch derjenige des anderen verschlechtert bzw. verbessert wird.

konkurrierende Ziele: Zwei Ziele sind konkurrierend, wenn mit der Verbesserung des Zielerreichungsgrades des einen derjenige des anderen verschlechtert wird und umgekehrt.

indifferente Ziele: Diese Ziele sind weder komplementär noch konkurrierend, d. h. die Maßnahmen zur Veränderung des Zielerreichungsgrades des einen beeinflussen die des anderen nicht.

Die beschriebenen Zielbeziehungen müssen sich keinesfalls über den ganzen Definitionsbereich der Ziele erstrecken. Es ist ebenso möglich, dass sich die Beziehungen ändern können.

An dieser Stelle sollen der Gegenstand und die Ziele der Ablauforganisation aus produktionswirtschaftlicher Sicht in Bezug auf Kompetenzzellen hinreichend beschrieben sein. Ablauforganisatorische Entscheidungsprobleme der Produktionsplanung sind sehr eng mit Problemen der Ablaufplanung verbunden²¹. Der Begriff Ablaufplanung ist jedoch nicht mit dem Begriff Ablauforganisation gleichzusetzen. Unter Ablaufplanung im engeren Sinne wird die Planung der räumlichen und zeitlichen Abläufe von Produktionsprozessen verstanden, meistens sogar nur die Maschinenbelegungsplanung²². Die Ablaufplanung im weiteren Sinne ist im Wesentlichen gleichzusetzen mit dem Begriff der Produktionsdurchführungsplanung. Ablauforganisation hingegen beschränkt sich nicht nur auf den Bereich der Produktion, sondern umfasst alle Unternehmensbereiche, insbesondere im Rahmen der operativen und der taktischen Planung.

¹⁹Siehe [Gut51, S. 159].

²⁰Zusätzlich sind in [Tei98b, S. 25 f.] Beispiele zu den Kategorien angegeben.

²¹Siehe [Dom93, S. 29].

²²Siehe [See75], [Gut83].

6.1.3 Durchlaufzeit

Da der Durchlaufzeit eine enorme Bedeutung innerhalb der Fertigungssteuerung zukommt, werden an dieser Stelle einige Aspekte, die über die gewöhnliche Definition hinausreichen, gesondert betrachtet.

6.1.3.1 Beeinflussbare Bestandteile

Es bedarf zunächst einer kurzen Erläuterung, inwiefern die Ablaufplanung und die Belegungsplanung überhaupt eine Verkürzung der Durchlaufzeit bewirken können und welche der oben beschriebenen Zeitgrößen dabei beeinflussbar sind.

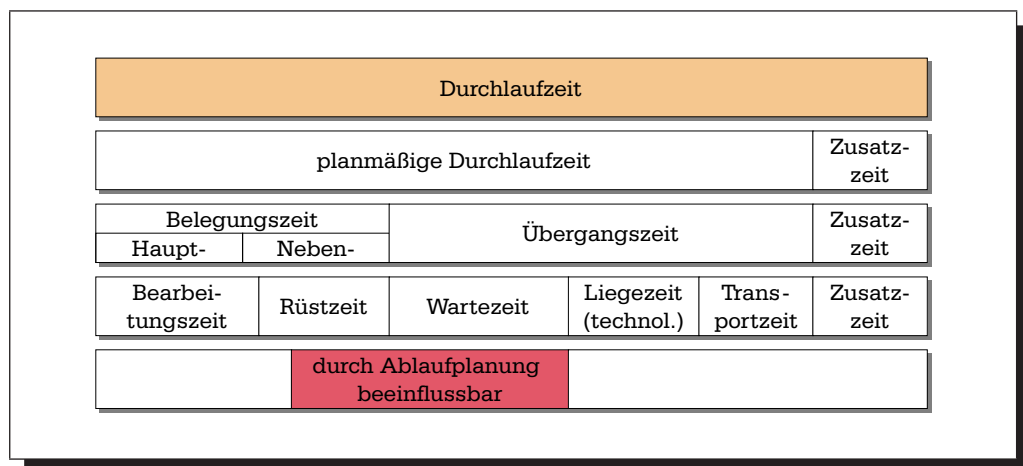


Abbildung 6.3: Einfluss der Ablaufplanung auf die Durchlaufzeit

Abbildung 6.3 stellt, ausgehend vom REFA-Schema²³ der Durchlaufzeitgliederung, die beeinflussbaren Zeitanteile heraus. Nach REFA kann die Gesamtdurchlaufzeit in die planmäßige Durchlaufzeit und die Zusatzzeit untergliedert werden. Die *Zusatzzeit* ist die Zeit, die durch zusätzliche Verrichtungen (z. B. Nacharbeit bei Ausschuss) oder durch störungsbedingte Unterbrechungen verbraucht wird. Die *planmäßige Durchlaufzeit*, deren Zeitbestandteile oben bereits erläutert wurden, untergliedert sich in die Belegungszeit und die Übergangszeit. Die *Belegungszeit* untergliedert sich weiter in Haupt- und Nebenbelegungszeit. Dabei dient erstere der Durchführung der eigentlichen Arbeiten am Werkstück und letztere jenen Arbeiten, die indirekt mit der

²³Vgl. [REF91b, Bd. 3, S. 15 ff.].

Bearbeitung zu tun haben, z. B. dem Lesen von Zeichnungen. Da diese Unterteilung jedoch für die Fertigungssteuerung nicht unbedingt von Relevanz ist, hat sich in der betrieblichen Praxis die Unterteilung in Bearbeitungszeit und Rüstzeit durchgesetzt²⁴. Beeinflussbare Anteile der Durchlaufzeit sind lediglich der reihenfolgeabhängige Anteil der Rüstzeit und die Wartezeit.

Das Resultat der gewünschten Minimierung dieser Zeiten kann immer in Form der Veränderung von Kosten angegeben werden. Letztlich ist jede Art von Optimierung der Tatsache geschuldet, dass eine Unternehmung ihre planenden Aktivitäten so ausrichtet, dass mittelbar oder unmittelbar das oberste Ziel der Gewinnmaximierung verfolgt wird.

6.1.3.2 Durchlaufdiagramm

Dieser Unterabschnitt beschreibt den Zusammenhang von Durchlaufzeit, Bestand und Leistung innerhalb der Fertigung. Unter der Voraussetzung der Erfassbarkeit aller Zu- und Abgänge einer betrachteten Kompetenzzelle vermittelt die Abbildung 6.4 ein idealisiertes Durchlaufdiagramm. Planabgangs- und Planzugangskurve stellen folglich in der Einheit Arbeit gemessene Geraden über der Zeit dar.

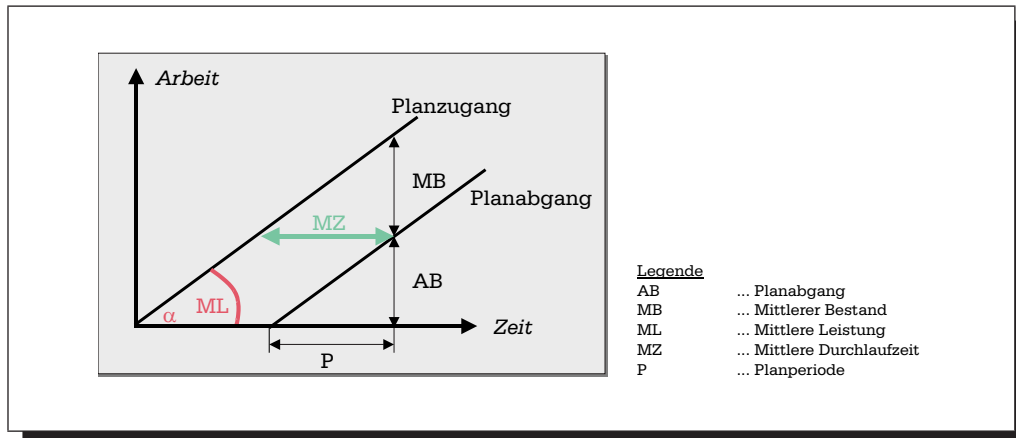


Abbildung 6.4: Durchlaufdiagramm

Bei Betrachtung einer Periode P verrichtet die KPZ eine Arbeit in Höhe des Planabganges AB . Somit ergibt sich ihre mittlere Leistung ML aus dem Quotienten von Planabgang und Periodendauer. Die mittlere Durchlaufzeit

²⁴Beide Zeiten enthalten in der Regel sowohl Haupt- als auch Nebenbelegungszeitanteile.

MZ ist definiert als Differenz der Zeitpunkte von Abgang und Zugang einer nachgefragten Arbeit. Die Kurven für Planzu- und -abgang entstehen aus der Kumulation der zugehörigen Ereignisse, die z. B. aus Rückmeldungen resultieren²⁵. Die in der Kompetenzzelle ankommenden Aufträge können, sofern die Ressourcen frei sind, sofort bearbeitet werden. Anderenfalls bilden diese den Bestand in Form von Warteschlangeninhalten, in der idealisierten Abbildung 6.4 den mittleren Bestand MB . Aus dieser Darstellung geht hervor, dass eine Erhöhung des Bestandes (möglicherweise verursacht durch einen zu großen Einlastungsprozentsatz) proportional die mittlere Durchlaufzeit erhöht.

Derartige Durchlaufdiagramme lassen sich prinzipiell für alle KPZ angeben. Es ist darauf zu achten, dass die Ordinate immer in der selben Einheit angegeben wird. Unter dieser Voraussetzung kann eine aggregierende Verdichtung von Durchlaufdiagrammen erfolgen, d. h. von den Einzelkapazitäten über die Kompetenzzellen bis zum KPZN. Die folgende Abbildung 6.5 zeigt, wie sich Bestand und Durchlaufzeit in der Fertigung unter realen Bedingungen zueinander verhalten.

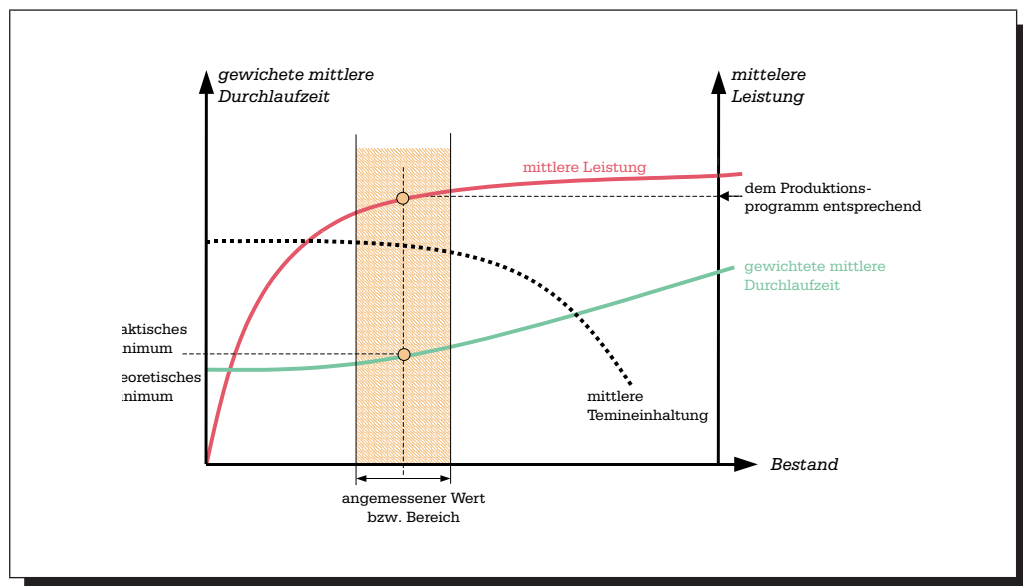
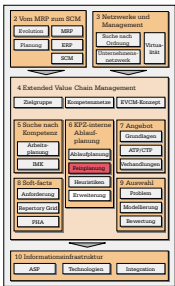


Abbildung 6.5: Zusammenhang von Durchlaufzeit, Leistung und Bestand

Mit zunehmendem Bestand erhöht sich die mittlere Leistung. Das erklärt sich aus der Reduzierung von Stillstandszeiten der Maschinen, sobald sich die

²⁵Vgl. [Wie92, S. 3 ff.].

Warteschlangen füllen. Wenn das System hinreichend mit Aufträgen belastet ist, erreicht es seine Leistungsbergrenze. Mit zunehmenden Bestand erhöht sich jedoch auch die Durchlaufzeit. Solange jedoch gleichzeitig die Leistung erhöht werden kann, ist die Bestandszunahme akzeptabel. Kurz bevor die Leistungsgrenze erreicht wird, beginnt die Durchlaufzeit überproportional zu wachsen. Der kritische Punkt der Bestandshöhe wird überschritten. Ab diesem Punkt werden Terminüberschreitungen einzelner Aufträge eintreten. Für das KPZN gilt es, den sinnvollen Bereich einer Bestandsregulierung für jede Kompetenzzelle zu bestimmen. Dieser Zusammenhang ist wichtig für die Berechnung von Lieferwahrscheinlichkeiten und für Zuverlässigkeitsaussagen zur KPZ für die Zielfunktion im Auswahlprozess (Kapitel 9).



6.2 Feinplanung in der KPZ

Wird das Feinplanungsproblem einer Kompetenzzelle und der sie umgebenden Organisation untersucht, zeigt sich schnell dessen Komplexität. Zu seiner Lösung prägen sich unterschiedliche Herangehensweisen zur Bewältigung heraus. Auf der einen Seite können Spezialprobleme extrahiert und durch exakte Verfahren gelöst werden²⁶. Auf der anderen Seite herrscht die Meinung vor, diese Probleme ganzheitlich zu behandeln und ein globales Optimum des Gesamtsystems ermitteln zu müssen²⁷. In der Vergangenheit wurden zahlreiche Partial- und Totalmodelle der Maschinenbelegungsplanung entwickelt, und die Literatur bietet eine nahezu unüberschaubare Fülle von Arbeiten zu diesem Thema. Doch alle haben eines gemeinsam: Seit den Anfängen der Maschinenbelegungsplanung konnten keine Verfahren entwickelt werden, die dem Anspruch der Praxis in hohem Maße genügen konnten. *Conway* formulierte diesen Sachverhalt treffend wie folgt:

„The general job-shop problem is a fascinating challenge. Although it is easy to state, and to visualize what is required, it is extremely difficult to make any progress whatever toward a solution. Many proficient people have considered the problem, and all have come away essentially empty-handed. Since this frustration is not reported in the literature, the problem continues to attract investigators, who just cannot believe that a

²⁶Klassische Bedeutung erlangte der Artikel von Johnson in [Joh54, S. 61 ff].

²⁷Zu dieser Zeit wurden für viele Gebiete der Wissenschaft mächtige und allgemein einsetzbare Instrumentarien zur Lösung von Gesamtproblemen entwickelt (z. B. Simplexalgorithmus), die sich in der Praxis mehr oder weniger durchsetzen konnten.

problem so simply structured can be so difficult, until they have tried it.“²⁸

Die rasante Entwicklung der Computertechnologie inspirierte die Wissenschaftler auf dem Gebiet der Maschinenbelegungsplanung zu neuen Ideen. Mit der Einsicht, ein hinreichend schwieriges Problem aus Gründen der diesem Problem innewohnenden Komplexität nicht mit exakten Verfahren lösen zu können, wurden die heuristischen Verfahren zum Untersuchungsgegenstand dieser Forschungsdisziplin. Aus diesem Grunde werden in einem der folgenden Abschnitte vor allem biologisch und physikalisch motivierte Heuristiken, die der KPZ als Methode durch den IMK zur Verfügung gestellt werden, diskutiert.

Der nächste Unterabschnitt führt wichtige Begriffe ein, die zur Modellierung des Maschinenbelegungsproblems notwendig sind und die im Modell benötigten Variablen definieren. Anschließend wird das Modell eingeführt. Es erfolgt eine Betrachtung der Komplexität der Suche nach einer optimalen Lösung. Abschließend werden artverwandte Modelle gezeigt und praxisrelevante Lösungsverfahren vorgestellt²⁹.

6.2.1 Formale Problembeschreibung

Um die Planung der Maschinenbelegung untersuchen zu können, muss ein möglichst allgemeines Modell in minimal kodierter Form vorliegen. Darüber hinaus sind die zu verwendenden Begriffe abzugrenzen und eventuelle Einschränkungen gegenüber der Allgemeinheit vorzunehmen.

Es wird angenommen, dass auf m Maschinen $\{M_i \mid i = 1, \dots, m\}$ insgesamt n Aufträge (Jobs) $\{J_j \mid j = 1, \dots, n\}$ bearbeitet werden. Ein *Ablaufplan* ist durchführbar, wenn sich die geplanten Durchführungszeiten der Aufträge auf ein und derselben Maschine nicht überlappen, ein Auftrag nur einmal zu einem Zeitpunkt allokiert und den Kriterien der Auftrags- und Maschinencharakteristika entsprochen wird. Ein Ablaufplan ist optimal, wenn er ein

²⁸Siehe [Con67, S. 103].

²⁹An dieser Stelle sei auf die Kernliteratur verwiesen, auf die dieses Kapitel aufbaut. Als Einstieg diene das Buch [Gra93]. Der erste umfassende Sammelband von *Muth, Thompson* [Mut63] mit Aufsätzen zum Scheduling vom Beginn der sechziger Jahre, das klassische Buch von *Conway, Maxwell, Miller* [Con67], die Ausführungen von *Baker* [Bak74] und *French* [Fre82], die Proceedings von *Dempster, Lenstra, Rinnooy Kan* [Dem82], die Ausführungen über Produktionsplanung von *Graves* [Gra81] und über NP-Vollständigkeit von *Johnson* [Joh83] und die Diskussionen über neue Wege von *Lenstra, Rinnooy Kan* [Len84] und *Blazewicz* [Bla87].

gegebenes Zielkriterium bestmöglich erfüllt. Der Problemtyp des Planungsproblems wird eindeutig durch die Maschinen, die Aufträge und die Optimalitätskriterien (siehe Abschnitte 6.2.1.1 bis 6.2.1.3) definiert. In der Literatur hat sich die Tripel-Klassifikation $\alpha | \beta | \gamma$ zur Beschreibung dieser Charakteristika durchgesetzt, die an dieser Stelle kurz erläutert wird³⁰.

6.2.1.1 Maschinencharakteristika

Die Maschinencharakteristika werden im ersten Feld $\alpha = \alpha_1 \alpha_2$ spezifiziert. Das Zeichen \circ steht für das Leersymbol.

α_1 : Wenn $\alpha_1 \in \{\circ, P, Q, R\}$, dann besteht jeder Auftrag J_j aus genau einer Arbeitsoperation, die auf jeder Maschine M_i ausgeführt werden kann. Die Bearbeitungszeit von J_j auf M_i wird als p_{ji} bezeichnet.

$\alpha_1 = \circ$: eine Maschine; $p_{j1} = p_j$

$\alpha_1 = P$: identisch parallele Maschinen; $p_{ji} = p_j \forall M_i$

$\alpha_1 = Q$: uniforme parallele Maschinen; $p_{ji} = p_j | v_i$ für eine gegebene Arbeitsgeschwindigkeit v_i von M_i

$\alpha_1 = R$: heterogene parallele Maschinen; $p_{ji} = p_j | v_{ji}$ für eine gegebene auftragsabhängige Geschwindigkeit v_{ji} von M_i

Wenn $\alpha_1 = O$, dann liegt ein *Open Shop* vor, wobei jeder Auftrag J_j aus einer Menge von o_j Arbeitsoperationen $\{o_{j1}, \dots, o_{jm}\}$ ³¹ besteht, die in nichtdeterminierter Reihenfolge auszuführen sind, d. h. es gibt weder Maschinenfolgen noch Arbeitsgangfolgen.

Wenn $\alpha_1 = F$, dann liegt ein *Flow Shop* vor, wobei jeder Auftrag J_j aus einer Reihenfolge von Arbeitsoperationen $\{o_{j1}, \dots, o_{jm}\}$ ³² besteht, die ihrer Ordnung nach abzuarbeiten sind. Jeder Auftrag ist auf jeder Maschine in einer für alle Aufträge identischen Reihenfolge genau einmal abzuarbeiten.

Wenn $\alpha_1 = J$, dann liegt ein *Job Shop* vor, wobei jeder Auftrag J_j aus einer Reihenfolge von Arbeitsoperationen $\{o_{j1}, \dots, o_{jo_j}\}$ besteht, die ihrer Ordnung nach auf den referenzierten Maschinen τ_{jk} mit

³⁰Detaillierte Ausführungen zu dieser Klassifikation sind nachzulesen in [Law93, S. 450 ff.], [Gra79, S. 287 ff.], [Con67] und [Tei98b, S. 42 ff.]. Da die Variablen in späteren Abschnitten benutzt werden, reicht eine Referenz auf die Quellen nicht aus. Es erfolgt eine leicht gekürzte Übernahme aus [Tei98b].

³¹Die leere Operation ist zulässig.

³²Die leere Operation ist zulässig.

$\tau_{jk} \neq \tau_{j,k+1} \forall k = 1, \dots, o_j - 1$ abzuarbeiten sind. Dabei kann jeder Auftrag einmal, mehrmals oder gar nicht auf jeder Maschine bearbeitet werden.³³.

α_2 : Der Parameter $\alpha_2 \in \{\circ, m\}$ beschreibt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Maschinen für $\alpha_1 \in \{\circ, P, Q, R\}$ bzw. die Anzahl der zu durchlaufenden Fertigungsstufen für $\alpha_1 \in \{O, F, J\}$.

$\alpha_2 = \circ$: Die Anzahl ist beliebig, d. h. der Wert spezifiziert das Problem selbst.

$\alpha_2 = m$: Die Anzahl ist konstant (m ist eine positive, ganze Zahl), d. h. der Wert m spezifiziert den Problemtyp.

$\alpha_2 = 1 \rightarrow \alpha_1 = \circ$.

6.2.1.2 Auftragscharakteristika

Die Auftragscharakteristika werden im zweiten Feld $\beta \subset \{\beta_1, \beta_2, \dots\}$ spezifiziert. Die Anzahl der β_x variiert in der Literatur³⁴. Ebenso lässt sich einem beliebigen β_x keine feste Eigenschaft (z. B. Definition der Reihenfolgebeziehung) zuordnen. Trotzdem sind die Auftragscharakteristika aufgrund der Eindeutigkeit der Bezeichner eindeutig beschreibbar.

β_1 : $\beta_1 \in \{n, \circ\}$ beschreibt die Anzahl der zu bearbeitenden Aufträge J_j .

$\beta_1 = n$: Die Anzahl der zu bearbeitenden Aufträge ist konstant und besitzt den Wert n .

$\beta_1 = \circ$: Die Anzahl der Aufträge ist beliebig.

β_2 : $\beta_2 \in \{pmtn, \circ\}$ beschreibt die Unterbrechbarkeit³⁵ (*preemption*) der Bearbeitung von Aufträgen.

$\beta_2 = pmtn$: Unterbrechung ist erlaubt. Die Bearbeitung eines Auftrags darf unterbrochen werden und wird später auf irgendeiner Maschine fortgesetzt.

$\beta_2 = \circ$: Unterbrechung nicht erlaubt.

³³Die Forderung, dass zwei aufeinanderfolgende Arbeitsoperationen nicht auf derselben Maschine ausgeführt werden dürfen (siehe u. a. oben und auch [Dom93, S. 255]), widerspricht der Praxis und soll deshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht erhoben werden. Die Einschränkung $\tau_{jk} \neq \tau_{j,k+1} \forall k = 1, \dots, o_j - 1$ entfällt somit.

³⁴In [Law93, S. 451] werden vier Kriterien genannt. Hingegen werden in [Dom93, S. 256 ff.] zehn Kriterien aufgeführt. Das β_x steht für ein bestimmtes Kriterium x , wobei das x eine natürliche Zahl mit Eins beginnend repräsentiert.

³⁵Preemption im Sinne von Job-Splitting.

β_3 : $\beta_3 \in \{prec, tree, \circ\}$ beschreibt die Art von Reihenfolgebeziehungen zwischen Aufträgen. Bestehen die Aufträge aus mehreren Arbeitsoperationen, wird die Definition auf Beziehungen zwischen den Arbeitsoperationen verschiedener Aufträge erweitert.

$\beta_3 = prec$: Es existiert eine Reihenfolgebeziehung oder Präzedenz (*precedence relation*), die durch einen azyklischen, gerichteten Graphen³⁶ G repräsentiert wird. Wenn in G ein direkter Weg von j zu k existiert, so wird dieser Weg mit $j \rightarrow k$ bezeichnet und dies erfordert, dass j vor k abgearbeitet wird.

$\beta_3 = tree$: Es werden Reihenfolgebeziehungen in Form eines gerichteten Baumes G betrachtet.

$\beta_3 = \circ$: Eine Reihenfolgebeziehung ist nicht spezifiziert bzw. die vorhandene Beziehung wird nicht betrachtet.

β_4 : $\beta_4 \in \{r_j, \circ\}$ beschreibt die Zeitpunkte der Auftragsfreigabe .

$\beta_4 = r_j$: Jeder Auftrag J_j kann einen anderen Freigabezeitpunkt (*release date*) r_j besitzen.

$\beta_4 = \circ$: $r_j = 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$

β_5 : $\beta_5 \in \{p_{ji}, p_j, \circ\}$ beschreibt mögliche Bearbeitungszeiten (*processing times*) der Aufträge.

$\beta_5 = p_{ji}$: Jede Arbeitsoperation besitzt eine einheitliche Bearbeitungszeit für $\alpha_1 \in \{O, F, J\}$.

$\beta_5 = p_j$: Jeder Auftrag besitzt eine einheitliche Bearbeitungszeit für $\alpha_1 \in \{\circ, P, Q\}$.

$\beta_5 = \circ$: Bearbeitungszeiten sind beliebig $\rightarrow \forall i, j : p_j, p_{ji} \in \mathbf{N}$

β_6 : $\beta_6 \in \{s_{jk}^i, \circ\}$ beschreibt reihenfolgeabhängige Rüstzeiten (*setup times*) der Aufträge.

$\beta_6 = s_{jj'}^i$: Reihenfolgeabhängige Rüstzeit, wenn auf Maschine i der Auftrag j' dem Auftrag j folgt.

$\beta_6 = \circ$: Reihenfolgeabhängige Rüstzeiten werden nicht betrachtet.

Darüber hinaus werden in der Literatur noch weitere Kriterien, wie Ressourcenbeschränkungen, Lagerkapazitätsbeschränkungen usw. aufgeführt, die an dieser Stelle nicht erklärt werden.

³⁶Begriffsdefinitionen siehe [Pos86, S. 160 ff.] und [Lek93, S. 285 ff.].

6.2.1.3 Optimalitätskriterien

Als Optimalitätskriterium kommen verschiedene, i. d. R. zeitorientierte Zielgrößen in Frage, die im Rahmen eines gegebenen Ablaufplans für jeden Auftrag berechenbar sind. Um eine allgemeine Aussage über ein Problem treffen zu können, beschränken sich die meisten Autoren auf Zielfunktionen, die folgendem Kriterium genügen³⁷:

Definition: Reguläre Zielfunktion

Es sei s die zulässige Lösung eines Belegungsproblems (*schedule*) mit den Auftragsfertigstellungszeiten C_j der Aufträge J_j , S die Menge der zulässigen Lösungen und $f(s)$ eine Bewertungsfunktion für s . Eine Zielfunktion $f : S \rightarrow R^1$ heißt *regulär*, wenn für zwei Lösungen s mit (C_1, \dots, C_n) und s' mit (C'_1, \dots, C'_n) gilt: $f(s) < f(s')$ wenn $C_j < C'_j$ für mindestens ein $j \in \{1, \dots, n\}$.

Der Wert dieser Zielfunktion hängt von der jeweils letzten Arbeitsoperation der Aufträge ab und stellt somit deren Praxistauglichkeit in Frage, denn alle anderen Operationen können unter Beachtung von $\beta_3 = prec$ ohne Beeinflussung der Zielfunktion im Belegungsplan frei verschoben werden. Reguläre Zielfunktionen werden in drei Klassen eingeteilt³⁸:

1. *Criteria based on completion times*

Ausgehend von den Fertigstellungszeiten der Aufträge können für einen Belegungsplan Durchlaufzeiten der einzelnen Aufträge, die Zykluszeit und Wartezeiten ermittelt werden.

Fertigstellungszeit C_j : Der Zeitpunkt, zu dem der Auftrag J_j beendet wird (*completion time*). Als Summe, Durchschnitt und gewogener Durchschnitt³⁹ der Fertigstellungszeiten ergeben sich die folgenden Berechnungsvorschriften.

$$\sum C = \sum_{j=1}^n C_j \quad \bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_j \quad C^\omega = \sum_{j=1}^n (\omega_j C_j) \quad (6.1)$$

Durchlaufzeit F_j : Die Zeit, die ein Auftrag J_j vom Zeitpunkt seiner Freigabe r_j bis zum Zeitpunkt seiner Fertigstellung C_j in der Fertigung verweilt (*flow time*).

³⁷Siehe [Geo95, S. 21].

³⁸Siehe u. a. [Bak74, S. 12 ff.] und [Fre82, S. 9 ff.].

³⁹Für alle Gewichte ω_j , die weiterhin in Formeln benutzt werden, gilt: $\sum \omega_j = 1$.

$$F_j = C_j - r_j \quad (6.2)$$

In der Literatur werden wegen expliziter oder impliziter Unterstellung von $\forall j : r_j = 0$ die Zeiten C_j und F_j synonym benutzt⁴⁰.

Zykluszeit Z: Ist die Zeit (*makespan*), die benötigt wird, um alle Aufträge zu bearbeiten. Sie kann auch als Belegungszeit des Fertigungssystems interpretiert werden.

$$Z = C_{max} = \max_{j=1}^n \{C_j\} \quad (6.3)$$

Wartezeit W_j : Beschreibt die Zeitspanne, die sich ein Auftrag J_j seit seiner Freigabe zum Zeitpunkt r_j bis zu seiner Beendigung zum Zeitpunkt C_j abzüglich der Bearbeitungszeit p_{ji} der o_j Arbeitsoperationen in der Fertigung befindet.

$$W_j = C_j - \left(r_j + \sum_{k=1}^{o_j} p_{jk} \right) \quad (6.4)$$

Analoge Zielfunktionen ergeben sich aus der Betrachtung von Maximum, Summe, Durchschnitt und gewogenem Durchschnitt der oben aufgeführten Größen.

2. *Criteria based on due dates*

Der Fälligkeitszeitpunkt d_j (*due date*) wird für jeden Auftrag in der Regel als Liefertermin vorgegeben. Terminabweichungen L_j (*lateness*) können durch vorfristiges Fertigstellen (*earliness*) bzw. Verspätung T_j (*tardiness*) hervorgerufen werden. Obwohl ein vorzeitiges Fertigstellen Kosten verursacht⁴¹, bleibt diese Art der Terminabweichung in der Literatur ohne Bedeutung. Die Berechnung von Terminabweichung und Verspätung ist für den Fall eines Verzuges identisch.

$$L_j = C_j - d_j \quad (6.5)$$

$$T_j = \max \{0, L_j\} \quad (6.6)$$

Analoge Zielfunktionen ergeben sich wiederum aus der Betrachtung von Maximum, Summe, Durchschnitt und gewogenem Durchschnitt der oben aufgeführten Größen.

⁴⁰In dieser Arbeit wird $r_j = 0$ festgelegt. Somit gilt $F_j = C_j$.

⁴¹Es entstehen in jedem Falle Kapitalbindungskosten. In praxi werden diese Kosten durch das Entstehen zusätzlicher Pufferzeiten für Folgeperioden gerechtfertigt.

Es besteht ebenfalls eine Äquivalenz in der Betrachtung von Summe und Durchschnitt und von \bar{L} zu \bar{C} ⁴². Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit zulässiger Ablaufpläne werden diese Kriterien jedoch beibehalten. Auf T_{max} wird wegen

$$\begin{aligned} T_{max} &= \max_{j=1}^n T_j = \max_{j=1}^n (\max \{0, L_j\}) \\ &= \max \left\{ 0, \max_{j=1}^n L_j \right\} = \max \{0, L_{max}\} \end{aligned} \quad (6.7)$$

verzichtet. Da Zeit einen relativen Charakter besitzt, sollte eine zusätzliche Größe zur Verfügung gestellt werden, welche die Verspätung unabhängig von der gewählten Zeitdimension und in Abhängigkeit zur mittleren Bearbeitungszeit aller Operationen erfasst. Hierzu wird T_j zu \hat{T}_j normiert.

$$\hat{T}_j = \frac{T_j}{\left(\frac{\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^{o_l} p_{lk}}{\sum_{l=1}^n o_l} \right)} \quad (6.8)$$

Zur Robustheit gegenüber Ausreißern wird die normierte Verspätung quadriert und anschließend der Mittelwert gebildet. Die Funktion \bar{T}_n^2 ist regulär⁴³.

$$\bar{T}_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{T}_j^2 \quad (6.9)$$

3. *Criteria based on inventory cost and utilization*

Anders als bei der auftragsbezogenen Sichtweise, werden bei diesem Kriterium Kosten betrachtet, die durch die Belegung von Maschinen entstehen. Hierbei wird dem Gedanken Rechnung getragen, dass eine ausschließliche Betrachtung der Auftragsfertigstellungzeitpunkte unbefriedigend für die Beurteilung der Güte eines Belegungsplans ist.

⁴²Siehe [Kan76, S. 20 ff.].

⁴³Siehe hierzu den Beweis in [Bru91, S. 522].

In der Literatur sind kaum Zielfunktionen zu finden, die sinnvoll, regulär und antivalent zu den oben beschriebenen Größen sind. Da die Auslastung der Maschinen in praxi eine wichtige Kenngröße darstellt, wird die Funktion \bar{U} der Maschinenauslastung mit

$$\max \bar{U} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m U_i \quad \text{mit} \quad U_i = \frac{\sum_{(j,k):o_{jk} \in M_i} p_{jk}}{\max_{(j,k):o_{jk} \in M_i} t_{jk}^e} \cdot 100 \quad (6.10)$$

definiert. Die Maschinenauslastung wird nur im Zeitraum zwischen der Freigabe ($r_j = 0$) und dem Fertigstellungszeitpunkt des letzten Arbeitsgangs t_{jk}^e auf der Maschine i betrachtet und als Funktion maximiert. Die Zielfunktion ist anschaulich, aber nicht regulär⁴⁴.

Der dritte Parameter $\gamma \in \{f_{max}, \sum f_j\}$ spezifiziert das zu verfolgende Optimierungsziel. Die Möglichkeit, mit $\gamma = \circ$ ziellos zu optimieren, ist trotz gelegentlicher Praxisnähe in der Literatur nicht vorgesehen.

f_{max} : Beschreibt die Minimierung ($f_{max} \rightarrow \min$) einer bestimmten Zeitgröße. Gewöhnlich kann f_{max} als

$$f_{max} \in \{C_{max}, L_{max}\} : f_{max} = \max_{j=1}^n f_j(C_j) : C_j = f_j(C_j) \quad (6.11)$$

bzw. $\max_{j=1}^n f_j(L_j) : L_j = f_j(L_j)$

$\sum f_j$: Beschreibt die Minimierung der (gewichteten) Summe einer bestimmten Zeitgröße.

6.2.2 Job Shop Scheduling

In der englischsprachigen Literatur wird das Maschinenbelegungsproblem bei Werkstattfertigung als *Job Shop Scheduling Problem* oder einfacher als *JSP*

⁴⁴ *Beweis:* Gegeben sei s und J_j mit $o_{j o_{j-1}}$ als letzte Operation auf M_i und $o_{j o_j}$ auf $M_{i'}$ unter der Bedingung $t_{j o_j}^s - t_{j o_{j-1}}^e > 0$. Somit lässt sich ceteris paribus ein s' konstruieren mit $t_{j o_{j-1}}^e = t_{j o_{j-1}}^e + 1$. Damit wurde gezeigt, dass trotz $C_j = C'_j$ das Kriterium \bar{U} unterschiedlich bewertet wird und somit nicht regulär ist.

bezeichnet. Allgemein kann das JSP in der folgenden Weise dargestellt werden. Die Menge an Aufträgen (Jobs) $\{J_j \mid j = 1, \dots, n\}$ soll der Menge der Maschinen $\{M_i \mid i = 1, \dots, m\}$ so zugeordnet werden, dass ein vorgegebenes Zielkriterium möglichst gut erfüllt wird. Dabei bezeichnet $\mathcal{T}_j = (\tau_{jk}) = (\tau_{j1}, \dots, \tau_{jo_j})$ die Maschinenfolge zur Fertigung von Auftrag J_j mit $k = 1, \dots, o_j$ Arbeitsoperationen (Arbeitsgang) o_{jk} mit einer Operationszeit p_{jk} . Für jeden Auftrag J_j wird ein gewünschter Fertigstellungstermin (due date) d_j vorgegeben.

Zur Illustration der Begriffe soll folgendes Beispiel gegeben sein: Zum Zeitpunkt t_0 werden $n = 3$ Aufträge freigegeben. Jeder dieser Aufträge besitzt $o_j = 3$ Arbeitsgänge, welche auf insgesamt $m = 3$ Maschinen unter Beachtung der jeweiligen Maschinenfolge \mathcal{T}_j abzuarbeiten sind. Die Maschinenfolgen und Arbeitszeiten sind wie folgt definiert:

$$(p_{jk}) = \begin{pmatrix} 2 & 5 & 3 \\ 5 & 4 & 3 \\ 6 & 4 & 2 \end{pmatrix} \quad (\tau_{jk}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} \quad (6.12)$$

Auftrag: Zwischen den Arbeitsoperationen o_{jk} bestehen Präzedenzbeziehungen, wobei $J|prec|C_{max}$ und $J|tree|C_{max}$ nicht zugelassen sind. Die Operationen werden in Teilmengen gegliedert, innerhalb derer solche Reihenfolgerestriktionen auftreten. Jede dieser Teilmengen wird als *Auftrag* bezeichnet. Die Reihenfolge der Operationen im JSP ist in einer linearen Präzedenzstruktur⁴⁵ determiniert. Es gilt:

$$J_j = \{o_{jx}, o_{jy}, \dots, o_{jz}\} \mid o_{jx} \prec o_{jy} \prec \dots \prec o_{jz} \quad (6.13)$$

Die Aufträge sind unabhängig voneinander, d. h. außerhalb der Auftragsstruktur sind keine Präzedenzbeziehungen zulässig, jede Arbeitsoperation gehört zu genau einem Auftrag, und die Anzahl der Arbeitsoperationen pro Auftrag kann verschieden sein. Die Beendigungszeit eines Auftrags wird gleichgesetzt mit der Beendigungszeit der letzten Arbeitsoperation o_{jo_j} . Zur graphischen Darstellung werden ein Arbeitsvorgang als Knoten (*node*) und die Menge aller Knoten mit N bezeichnet. N ist eine endliche, nichtleere Menge.

⁴⁵Siehe [Bak74, S. 136].

Maschine: Gegeben seien z Zeiträume. Für zwei beliebige Zeiträume x und y sind die Startzeitpunkte t_x^s und t_y^s sowie die Endezeitpunkte t_x^e und t_y^e mit $t_x^s < t_x^e$ und $t_y^s < t_y^e$ gegeben. Die Menge der Arbeitsoperationen N soll in Teilmengen untergliedert werden, die der Bedingung

$$\max_{x=1}^z \left(\sum_{y=1}^z \begin{cases} 1 & \text{für } x \neq y \wedge t_y^s \leq t_x^s < t_y^e \\ 1 & \text{für } x = y \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \right) \leq 1 \quad (6.14)$$

genügen. Eine solche Teilmenge heißt Maschine⁴⁶. Die Bedingung verhindert, dass Operationen, die auf ein und derselben Maschine ausgeführt werden sollen, sich nicht paarweise überlappen. Sie kann als Nichtgleichzeitigkeits-Restriktion bezeichnet werden. Die Menge aller Maschinen werde als M bezeichnet. M ist eine endliche, nichtleere Menge.

Arbeitsgangfolge: Wichtigstes Merkmal des JSP sind die auftrags- bzw. teil-spezifischen Bearbeitungsreihenfolgen. Sie sind die wichtigste Ursache für dessen hohe Komplexität. Jeder Auftrag J_j wird in eine Menge von Arbeitsoperationen o_{jk} unterteilt, die in der betrieblichen Praxis als *Arbeitsgänge* bezeichnet werden. Die Anzahl der Arbeitsgänge pro Auftrag o_j ist variabel. Die Reihenfolge der Arbeitsgänge wird durch technologische Randbedingungen determiniert und als *Technologie* oder *Arbeitsgangfolge* bezeichnet.

Maschinenfolge: Kann jedem Arbeitsgang o_{jk} eines Auftrages J_j eindeutig eine Maschine M_i zugewiesen werden, so wird die zeitliche Reihenfolge, in der die Arbeitsgänge von Auftrag J_j die Maschinen durchlaufen, als *Maschinenfolge* $\mathcal{T}_j = (\tau_{j1}, \dots, \tau_{jo_j})$ bezeichnet. Diese lassen sich in *Maschinenfolgegraphen* veranschaulichen (Abbildung 6.6).

Der Maschinenfolgegraph ist ein gerichteter Graph oder *Digraph* (*directed graph*) $D = (N, A)$. Jeder Knoten $o_{jk} \in N$ entspricht einer Arbeitsoperation des Auftrages J_j , die auf der im Knoten bezeichneten und durch τ_{jk} referenzierten Maschine ausgeführt wird. A bezeichnet die Menge von zweielementigen, *konjunktiven* Teilmengen von N , wobei zwei adjazente Operationen o_{jk} und $o_{jk'}$ Element von A sind. Das Paar $(o_{jk}, o_{jk'}) \in A : t_{jk'}^s - t_{jk}^s \geq p_{jk} \wedge t_{jk} \geq 0$ wird als gerichtete Kante von o_{jk} nach $o_{jk'}$ bezeichnet. Für A gilt: $A \subset N \times N$. Die Prozesszeiten p_{jk} werden üblicherweise als Kantengewichte benutzt, die die Zeitdauer des Übergangs von o_{jk} zu $o_{jk'}$ determinieren.

⁴⁶Siehe hierzu auch [Geo95, S. 11 ff.].

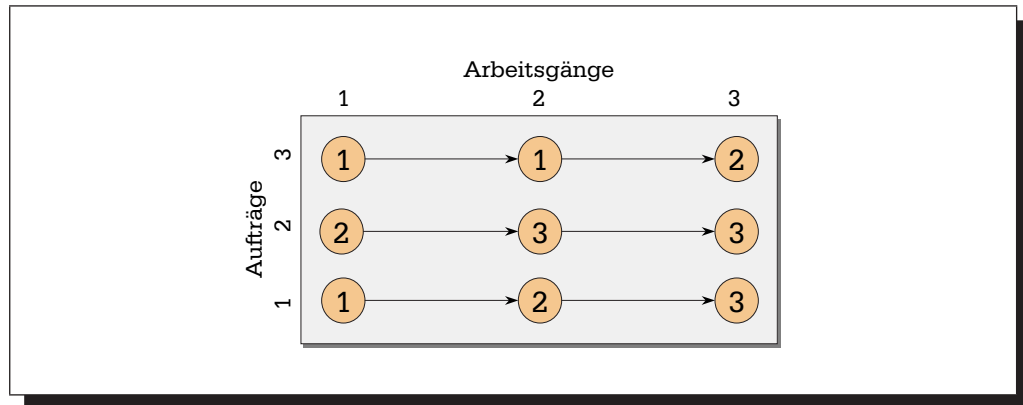


Abbildung 6.6: Maschinenfolgegraph

Auftragsfolge: Die zeitliche Reihenfolge, in der die Aufträge J_j über eine Maschine M_i laufen, wird *Auftragsfolge* von M_i genannt⁴⁷. m_i ist die Kardinalität der Auftragsfolge von M_i . Im Unterschied zu Arbeitsgang- und Maschinenfolge können die einzelnen Arbeitsgänge verschiedener Aufträge zeitgleich um eine Maschine konkurrieren. Die Auftragsfolge ist nicht fest vorgegeben, sondern Gegenstand der Planung, aus welcher der Ablaufplan resultiert.

Ablaufplan: Eine nicht notwendigerweise optimale, zulässige Lösung des JSP durch Festlegung der Auftragsfolge der jeweiligen Maschinen wird *Ablaufplan* genannt. Die Entscheidungssituation des Reihenfolgeproblems in der Werkstattfertigung lässt sich durch die Erweiterung des Maschinenfolgegraphen mit disjunktiven Kanten beschreiben.

6.2.2.1 Sequencing

Das Konzept, einen Ablaufplan als disjunktiven Graph darzustellen, geht auf *Roy* und *Sussmann*⁴⁸ zurück. Eine disjunktive Kante ist eine ungerichtete Kante zwischen zwei Arbeitsoperationen, die auf derselben Maschine bearbeitet werden. Die Menge der disjunktiven Kanten, die alle Operationen bilden, die auf Maschine M_i abzuarbeiten sind, wird mit E_i bezeichnet. Die Menge aller disjunktiven Kanten des Graphen wird mit E bezeichnet, wobei $E = \cup(E_i : i \in M)$ gilt. Abbildung 6.7 zeigt den disjunktiven Graph

⁴⁷Vergleiche hierzu auch [See75, S. 15 ff.].

⁴⁸Das Original [Roy64] lag dem Autor nicht vor. Alle bekannten, nachfolgenden Autoren (u. a. [Law93] und [Bal69]) übernahmen diese Darstellung uneingeschränkt.

für das Beispiel 6.12, der durch disjunktive Erweiterung des konjunktiven Maschinenfolgegraphen entstanden ist.

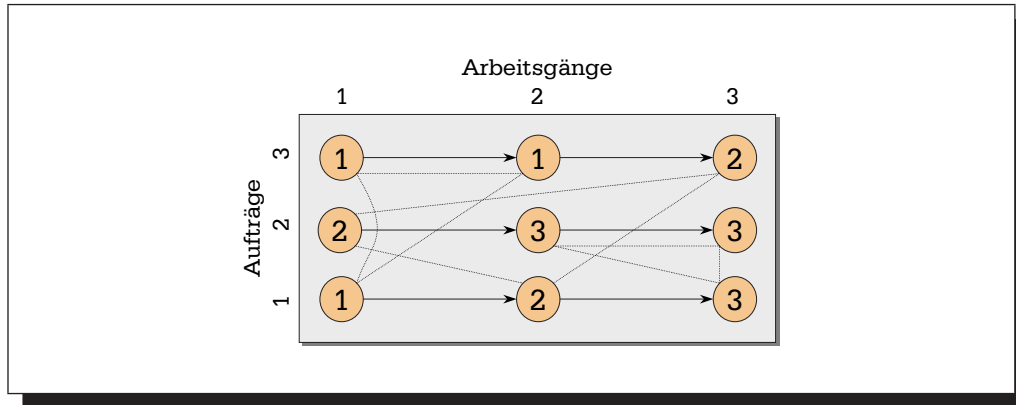


Abbildung 6.7: Disjunktiver Graph

Zur Festlegung der Auftragsfolge jeder Maschine ist für jede disjunktive Kante ein Richtungssinn zu wählen, d. h. die Kante wird gerichtet. Die gerichteten Kanten sind so festzulegen, dass ein azyklischer, gerichteter Ablaufgraph entsteht. Eine *Selektion* $S_i \in E_i$ enthält exakt ein Element jedes disjunktiven Kantenpaars aus E_i . Abbildung 6.8 zeigt ein mögliches Ergebnis dieser Vorgehensweise. Transitiv disjunktive Kanten sind redundant und können in der graphischen Darstellung weggelassen werden⁴⁹. Daraus folgt, dass jeder Knoten maximal zwei Vorgänger und maximal zwei Nachfolger besitzen kann (jeweils einen maschinenorientierten und einen auftragsorientierten).

Jede azyklische Selektion S_i korrespondiert zu genau einer Auftragsfolge und umgekehrt. *Sequencing* bedeutet also, genau ein $S_i \in E_i$ auszuwählen. Wurde für jedes $i \in M$ genau ein $S_i \in E_i$ bestimmt, dann liegt eine *vollständige* Selektion S vor. Gilt $i \in M_0 \wedge M_0 \subset M$, dann liegt eine *partielle* Selektion vor. Eine vollständige Selektion S ist azyklisch, wenn der Digraph $D_s = (N, A \cup S)$ azyklisch ist.

Die Zykluszeit eines Ablaufplans ist gleich der Länge des längsten Weges durch D_s . Die Lösung des JSP besteht somit im Finden einer azyklischen, vollständigen Selektion $S \subset E$, welche die Länge des längsten Weges im Digraph $D_s = (N, A \cup S)$ minimiert⁵⁰. Zur Generierung eines gemeinsamen Startknotens und eines gemeinsamen Endknotens werden gewöhnlich

⁴⁹Aus Gründen der Vollständigkeit wurden in der Abbildung 6.8 die redundanten Kanten dargestellt.

⁵⁰Vergleiche hierzu [Ada88, S. 392].

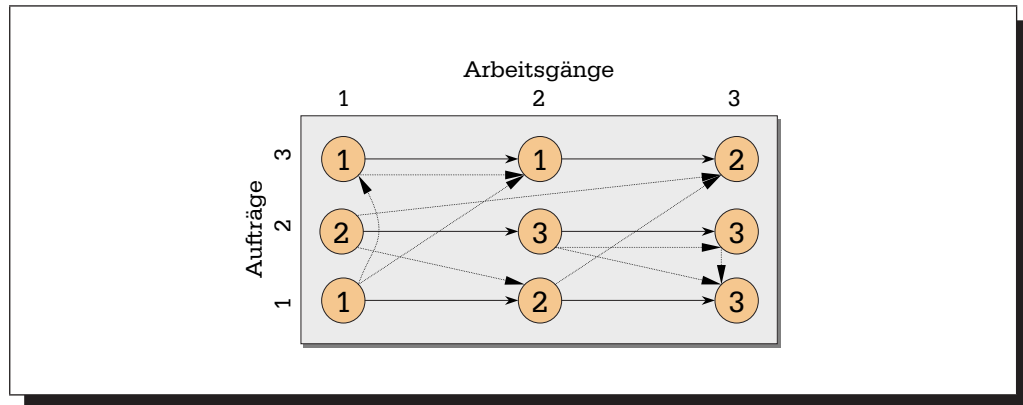


Abbildung 6.8: Ablaufgraph

bei derartigen Problemen Pseudoknoten eingeführt, die bei der Enumeration der Knotenmenge $N = \{0, 1, \dots, e\}$ mit 0 für den Startknoten und e für den Endknoten indiziert werden. Das JSP kann unter den bisherigen Annahmen wie folgt definiert werden.

$$\begin{aligned} & \min t_e^s \\ & t_{j'k'}^s - t_{jk}^s \geq p_{jk} \quad (o_{jk}, o_{j'k'}) \in A \quad (6.15) \\ & t_{jk} \geq 0 \quad o_{jk} \in N \\ & t_{j'k'}^s - t_{jk}^s \geq p_{jk} \vee t_{jk}^s - t_{j'k'}^s \geq p_{j'k'} \quad (o_{jk}, o_{j'k'}) \in E_i, i \in M. \end{aligned}$$

Die Festlegung der S_i besitzt jedoch auch Bedeutung für die Lösung von Teilproblemen als Berechnung unterer Schranken, beispielsweise für Heuristiken. So werden über die Bestimmung längster Wege Bereitstellungszeitpunkte und Nachlaufzeiten für Arbeitsoperationen ermittelt.

6.2.2.2 Scheduling

*French*⁵¹ unterscheidet zwischen der Festlegung der reinen Reihenfolgen der Arbeitsoperationen auf den entsprechenden Maschinen (sequencing) und der Festlegung der Startzeitpunkte der Arbeitoperationen unter Beachtung der bereits ermittelten Reihenfolgen (scheduling). Ein Ablaufplan wird in der Regel als *Gantt-Diagramm*⁵² dargestellt. Dabei werden die Arbeitszeiten über

⁵¹Siehe [Fre82, S. 26].

⁵²Nach *H. L. Gantt* benannt. Siehe hierzu auch [Ada90, S. 761 ff.].

der Abszisse und die Maschinen bzw. die Aufträge über der Ordinate aufgetragen. Das obere Diagramm in Abbildung 6.9 zeigt ein maschinenorientiertes, das untere ein auftragsorientiertes Gantt-Diagramm. Die Arbeitsoperationen o_{jk} sind mit j/k bezeichnet.

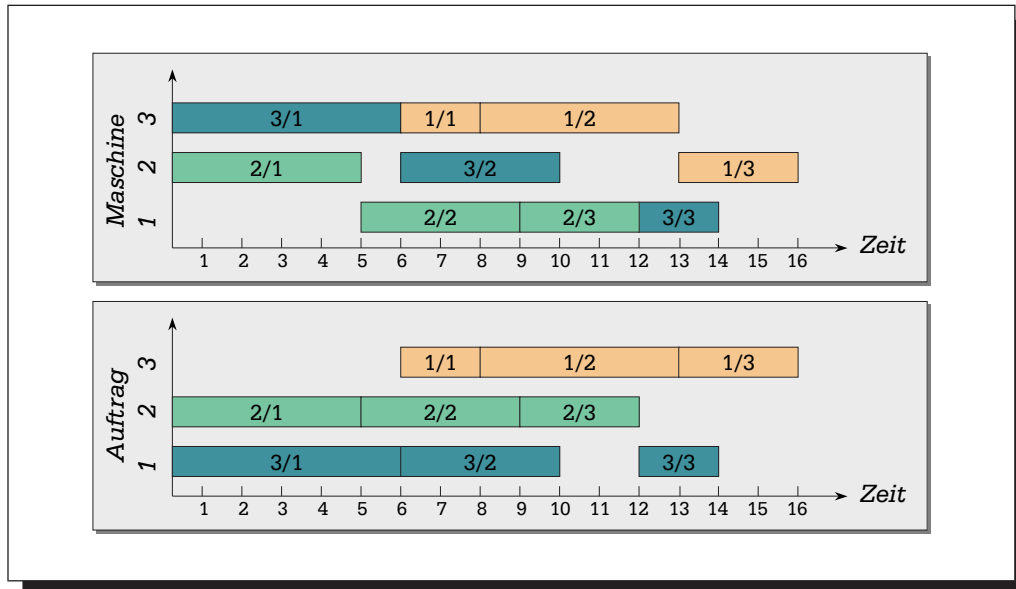


Abbildung 6.9: Gantt-Diagramme

Alle Arbeitsoperationen aus Beispiel 6.12 wurden entsprechend dem Ablaufgraph aus Abbildung 6.8 in die Gantt-Diagramme übernommen und frühestmöglich auf der jeweiligen Maschine eingeplant. Für Illustrationen von Ablaufplänen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit die maschinenorientierte Darstellungsform bevorzugt. Zur weiteren Betrachtung ist es notwendig, einen Ablaufplan in drei Kategorien einzuteilen.

6.2.2.3 Arten von Ablaufplänen

Semiaktiver Ablaufplan s_S : Kann innerhalb eines Ablaufplanes keine Bearbeitung früher beginnen, ohne die Auftragsfolge zu verändern, wird dieser als *semiaktiv* bezeichnet⁵³. Die Generierung semiaktiver Ablaufpläne erfolgt durch lokale Linksverschiebungen⁵⁴ von Arbeitsvorgängen

⁵³Siehe [Bak74, S. 181].

⁵⁴Bei einer lokalen Linksverschiebung werden Beginnzeitpunkte von Arbeitsvorgängen ohne Änderung der Reihenfolge zulässig verringert.

aus *nicht-semiaktiven* Ablaufplänen. Zur Generierung eines semiaktiven Belegungsplanes findet der folgende Algorithmus Verwendung.

```

1 begin
2   Initialisiere einen leeren Belegungsplan  $s_S$ ;
3   Bilde eine Menge  $M_{\mathcal{T}} := \{o_{jk} : o_{jk} = FIRST(\mathcal{T}_j) \forall j\}$ ;
4   while ( $M_{\mathcal{T}} \neq \emptyset$ ) do
5     for ( $o_{jk} \in M_{\mathcal{T}}$ ) do
6        $\varphi_{jk} := \Phi^{\text{prio}}(o_{jk})$ ;
7     od
8      $o_{jk}^* := o_{jk} : \max\{\varphi_{jk} : o_{jk} \in M_{\mathcal{T}}\}$ ;
9      $M_{\mathcal{T}} := M_{\mathcal{T}} \setminus o_{jk}^*$ ;
10    if  $k^* < o_j^*$  then  $M_{\mathcal{T}} := M_{\mathcal{T}} \cup o_{j k+1}^*$ ; fi
11    Nehme  $o_{jk}^*$  in  $s_S$  unverzögert auf;
12  od
13  Gib  $s_S$  aus.
14 end

```

Abbildung 6.10: Algorithmus zur Generierung semiaktiver Ablaufpläne

Erster Schritt ist die Generierung eines leeren semiaktiven Belegungsplanes s_S . Ein leerer Belegungsplan ist ein Belegungsplan ohne Arbeitsvorgänge. Anschließend wird eine Menge $M_{\mathcal{T}}$ gebildet, die alle technologisch abarbeitbaren Arbeitsvorgänge enthält. Das sind die Arbeitsvorgänge, die die technologisch ersten oder deren technologische Vorgänger bereits fertiggestellt sind. Die Funktion $FIRST()$ liefert für jeden Auftrag diesen Arbeitsvorgang. Die Schleife wird solange durchlaufen, wie die Menge der abarbeitbaren Arbeitsvorgänge nichtleer ist. Innerhalb dieser Schleife werden alle Arbeitsvorgänge von $M_{\mathcal{T}}$ mit einer Priorität versehen, wobei der Arbeitsvorgang eingeplant wird, der am höchsten priorisiert ist. Danach wird dieser aus $M_{\mathcal{T}}$ entfernt und gegen seinen technologischen Nachfolger, sofern es diesen gibt, ersetzt. Für eine JSP-Instanz gibt es maximal

$$CARD(s_S) = \prod_{i=1}^m \frac{m_i!}{\prod_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^{o_j} \begin{cases} 1 & : i = \tau_{jk} \\ 0 & : \text{sonst} \end{cases} \right)!} \quad (6.16)$$

semiaktive Belegungspläne⁵⁵. Jeder optimale Plan ist bzgl. einer re-

⁵⁵Die Formel stellt deshalb nur eine obere Schranke dar, weil nicht alle Permutationen

gulären Zielfunktion mindestens semiaktiv.

Aktiver Ablaufplan s_A : Kann innerhalb eines Ablaufplanes keine Bearbeitung früher beginnen, ohne eine andere zu verzögern, wird dieser als *aktiv* bezeichnet⁵⁶. Aktive Ablaufpläne werden durch globale Linksverschiebung⁵⁷ von Arbeitsvorgängen generiert. Jeder aktive Plan ist zugleich semiaktiv und enthält hinsichtlich regulärer Zielkriterien mindestens ein Optimum. Der folgende Algorithmus zeigt eine Heuristik, wie ein aktiver Plan erstellt werden kann.

```

1 begin
2   Initialisiere einen leeren Belegungsplan  $s_A$ ;
3   Bilde eine Menge  $M_{\mathcal{T}} := \{o_{jk} : o_{jk} = FIRST(\mathcal{T}_j) \forall j\}$ ;
4   while ( $M_{\mathcal{T}} \neq \emptyset$ ) do
5      $o_{jk}^* := o_{jk} : \min\{t_{jk}^e : o_{jk} \in M_{\mathcal{T}}\}$ ;
6      $M_i^* := \tau_{jk}^*$ ;
7     for ( $o_{jk} \in M_{\mathcal{T}}$ ) do
8       if ( $(\tau_{jk} = M_i^*) \wedge (t_{jk}^s < t_{jk}^{*e})$ )
9         then  $\varphi_{jk} := \Phi^{\text{prio}}(o_{jk})$ ;
10        else  $\varphi_{jk} := 0$ ;
11      fi
12    od
13     $o_{jk}^* := o_{jk} : \max\{\varphi_{jk} : o_{jk} \in M_{\mathcal{T}}\}$ ;
14     $M_{\mathcal{T}} := M_{\mathcal{T}} \setminus o_{jk}^*$ ;
15    if  $k^* < o_j^*$  then  $M_{\mathcal{T}} := M_{\mathcal{T}} \cup o_{j k+1}^*$ ; fi
16    Nehme  $o_{jk}^*$  in  $s_A$  unverzögert auf;
17  od
18  Gib  $s_A$  aus.
19 end

```

Abbildung 6.11: Algorithmus zur Generierung eines aktiven Ablaufplanes

Erster Schritt der Heuristik ist die Generierung eines leeren Belegungsplanes s_A . Die Menge $M_{\mathcal{T}}$ enthält, wie beim vorherigen Algorithmus, den nächsten zu fertigenden Arbeitsvorgang jedes Auftrages.

zulässige Lösungen darstellen. Siehe hierzu [Kä97a, S. 4].

⁵⁶Die grundsätzliche Idee zur Generierung von aktiven Ablaufplänen stammt vermutlich von Giffler und Thompson [Gif60, S. 487 ff.].

⁵⁷Eine globale Linksverschiebung bezeichnet die Verringerung von Beginnzeitpunkten von Arbeitsvorgängen bei Einhaltung der Beginnzeitpunkte aller anderen Arbeitsvorgänge.

Die anschließende Schleife wird solange abgearbeitet, bis die Menge $M_{\mathcal{T}}$ der einplanbaren Arbeitsvorgänge leer ist. Innerhalb dieser Schleife wird aus dieser Menge zunächst der Arbeitsvorgang gewählt, der unter Berücksichtigung aller bisherigen Planungsschritte die kleinste Fertigstellungszeit besitzt. Danach werden aus der Menge $M_{\mathcal{T}}$ alle Arbeitsvorgänge, die auf derselben Maschine bearbeitet werden, wie der eben ausgewählte Arbeitsvorgang, und die vor dessen Fertigstellungstermin beginnen, einer Betrachtung unterzogen. Von diesen wird jener Arbeitsvorgang als nächster eingeplant, der entsprechend einer Prioritätsfunktion die beste Bewertung erhält. Dieser wird unverzüglich in den Plan s_A übernommen, aus der Menge $M_{\mathcal{T}}$ entfernt und durch seinen technologischen Nachfolger, falls vorhanden, ersetzt.

Zur Lösung von $J||C_{max}$ (J mit dem Ziel der Minimierung von C_{max}) wird die Betrachtung auf aktive Belegungspläne beschränkt. Prinzipiell sind Verbesserungsverfahren zwar in der Lage, in endlich vielen Schritten ausgehend von einem semiaktiven Plan einen zugehörigen aktiven Plan zu finden, aber dieser Weg kann beträchtliche Rechenzeit in Anspruch nehmen. Da es einige Heuristiken nicht erlauben, einen Belegungsplan sukzessive aufzubauen (u. a. Evolutionäre Algorithmen), ist das Nachschalten eines Algorithmus zur Generierung eines aktiven Planes aus einem bestehenden Plan zweckmäßig⁵⁸.

Die Grundidee dieses Algorithmus besteht darin, immer den Arbeitsvorgang als nächsten aus dem bestehenden Belegungsplan s zu wählen, der den frühesten Endtermin besitzt. Dieser Arbeitsvorgang wird dann entsprechend seines technologischen Vorgängers, falls es einen gibt, und eventuell vorhandener Lücken so früh wie möglich in den aktiven Belegungsplan s_A übernommen. Dabei wird die erste gefundene Lücke, die genügend zeitlichen Platz bietet, genutzt.

Unverzögerter Ablaufplan s_N : In der Praxis wird häufig die Ansicht vertreten, dass Arbeit, die anliegt, möglichst schnell und ohne zeitlichen Verzug zu vollbringen sei. Diese Vorgehensweise führt zur Generierung unverzögerter Belegungspläne. Ein Ablaufplan gilt als *unverzögert*, wenn mit der Bearbeitung eines bereitstehenden Arbeitsganges sofort begonnen werden muss, wenn diese möglich ist. Jeder unverzögerte Ablaufplan ist zugleich aktiv, aber nicht umgekehrt, d. h. die Menge der unverzögerten Ablaufpläne enthält nicht notwendigerweise ein Optimum. Daraus folgt, dass sich „Nichtstun“ gelegentlich besser auf die Realisierung vorhandener Zielsetzungen auswirken kann, als ohne Planung

⁵⁸Dieser Algorithmus und die damit erzielten Resultate wurden in [Tei98b, S. 223] publiziert.

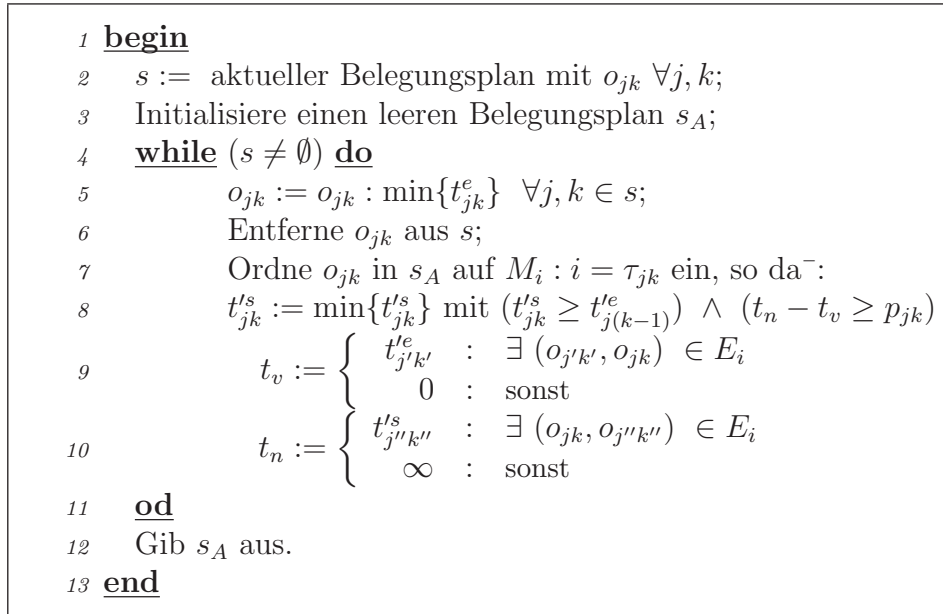


Abbildung 6.12: Algorithmus zur Generierung eines aktiven Ablaufplanes aus einem bestehenden Ablaufplan

loszuarbeiten. Die Abbildung 6.13 illustriert den Zusammenhang.

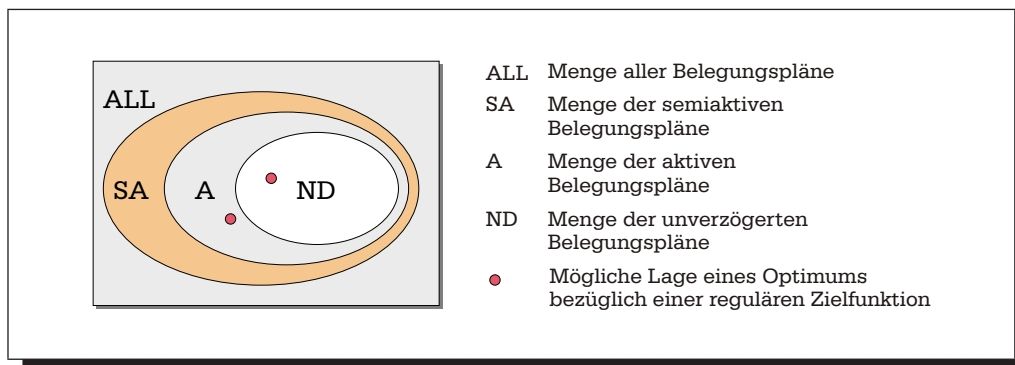


Abbildung 6.13: Venn-Diagramm für Ablaufpläne

6.2.3 Komplexitätstheoretische Betrachtungen

In zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten dient ein Verweis auf die große Komplexität des zu behandelnden Problems als Rechtfertigung reduktionistischer Forschungsstrategien. Weniger häufig werden Sachverhalte tatsächlich unter Einbeziehung ihrer vollen Komplexität bearbeitet. Der Begriff der Komplexität bringt eine gewisse Ohnmacht des Menschen gegenüber Problemen zum Ausdruck, d. h. das Unvermögen, die Dinge zu erfassen, zu verstehen und zu beeinflussen. Es besteht ein Gefühl des Unbehagens und Aktionen zeigen mangels Fundierung oft nicht die gewünschten Ergebnisse. Einer Problemlösung sollte deshalb immer eine Untersuchung der Problemkomplexität voran- oder wenigstens nachgestellt werden.

Die Maschinenfolgen mit ihren variablen Längen sind die eigentliche Ursache für die hohe Komplexität des JSP. Die Komplexitätstheorie liefert einen mathematischen Rahmen für Untersuchungen, wie schwierig Probleme lösbar sind⁵⁹.

Ein heute beherrschendes Denkmotiv im unternehmerischen Bereich der Fertigung ist das Streben nach Optimalität. Insbesondere bei der Feinsteuerung der Abläufe ist die Suche nach den optimalen Einplanungsreihenfolgen bezüglich Zykluszeit oder Termintreue eine faszinierende Herausforderung. Genauso unüberschaubar wie die Vielzahl der Detailprobleme der Feinplanung ist die Vielzahl der Vorschläge von Lösungsvarianten. Aus diesem Grund muss die Untersuchung von Lösungsräumen der Auswahl von praktikablen Lösungsverfahren vorangestellt werden. Zur Verdeutlichung der enorm großen Lösungsräume bei JSP und deren exponentiellen Wachstum in Abhängigkeit von der Problemgröße wird das folgende Analogon betrachtet.



Abbildung 6.14: 3×3



Eine gültige Lösung eines JSP möge einer Masse von einem Milligramm entsprechen. Bei einem Problem von drei Aufträgen mit jeweils drei Arbeitsvorgängen, die auf insgesamt drei verschiedenen Maschinen bearbeitet werden können (3×3 -Problem), lassen sich maximal 216 verschiedene Permuta-

⁵⁹ Sehr detaillierte Studien zur Komplexität des JSP finden sich in *Garey* und *Johnson* [Gar79], *Brucker* [Bru95] und *Brüggemann* [Brü95].

tionen⁶⁰ bilden. Dies entspricht 216 mg und somit in etwa dem Gewicht einer Briefmarke. Bereits ein unwesentlich größeres 5×5 -

Problem ergibt eine Masse von knapp 25 t und lässt sich mit einem voll beladenem LKW vergleichen.

Ein 8×8 -Problem verkörpert bereits mehr als die Masse unseres gesamten Sonnensystems. Praktische Aufgabenstellungen sind gewöhnlich viel größer als die eben beschriebenen Beispiele und die Mächtigkeit der Lösungsräume liegt bereits weit außerhalb des menschlichen Vorstellungsvermögens. Aus dieser Erkenntnis heraus lässt sich schlussfolgern, dass die singuläre Berührung des Lösungsraumes durch die Anwendung irgendeiner Prioritätsregel unbefriedigend ausfallen muss. Der Einsatz von iterativen Verbesserungsverfahren stellt dazu eine vielversprechende Alternative dar.



Abbildung 6.16: 8×8

Genauso unüberschaubar wie die Zahl der Detailprobleme, die die praktische Feinterminierung bereithält, ist die Zahl der Vorschläge und Verfahren für die Lösung der theoretischen Probleme und (schon deutlich weniger) für den tatsächlichen Einsatz in der betrieblichen Praxis. Wesentliche Grundlage für die Klärung der Frage, ob ein Problem mit einem bestimmten Verfahren erfolgversprechend in einem vernünftigen Zeitrahmen zu bearbeiten ist oder nicht, stellt eine Untersuchung über dessen Komplexität dar. Die praktische Erfahrung zeigt, dass manche berechenbare Probleme einfacher lösbar sind als andere. *Adams, Balas* und *Zawack* bemerken zum JSP:

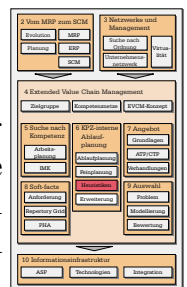
„Job shop scheduling is among the hardest combinatorial optimization problems. Not only is it NP-complete, but even among members of the latter class it belongs to the worst in practice: we can solve exactly randomly generated traveling salesman problems with 300-400 cities (over 100.000 variables) or set covering problems with hundreds of constraints and thousands of variables, but we are typically unable to schedule optimally ten jobs on ten machines.“⁶¹

⁶⁰Nicht jede Permutation stellt eine gültige Lösung im Sinne der Durchführbarkeit des Belegungsplanes dar.

Eine nahezu erschöpfende Untersuchung zur Komplexität des JSP findet sich bei *Brüggemann* [Brü95]. Er zeigt, dass die Modellformulierung von *Manne*⁶² bei „vernünftiger Kodierung“ im Komplexitätstheoretischen Sinn minimal ist, d. h. dass keine Unteräquivalenzklasse von Modellen existiert, die einen geringeren kategorialen Aufwand verursacht als dieses Modell. *Brüggemann* führt darüber hinaus den Beweis für die strenge *NP*-Vollständigkeit des Werkstattfertigungsproblems in seiner Entscheidungsversion⁶³. Da die Optimierungsversion des Problems mindestens so schwierig ist wie die Entscheidungsversion, muss sie streng *NP*-schwer sein. Andererseits ist eine obere Schranke für die Zykluszeit bekannt, die sich aus der Summe aller Bearbeitungszeiten ergibt. Daher kann mittels der Intervallhalbierungsmethode durch wiederholte Anwendung des Entscheidungsproblems die Lösung für das Optimierungsproblem ermittelt werden. Daraus ergibt sich, dass die Optimierungsvariante des Werkstattfertigungsproblems streng *NP*-äquivalent ist. Diese Betrachtungen implizieren, dass es wahrscheinlich nicht möglich ist, einen effizienten und exakten Lösungsalgorithmus für beliebige Datenrealisierungen zu finden. Dies deckt sich mit der Intuition und der Tatsache, dass in den mehr als vierzig Jahren, die sich die Wissenschaft bereits mit dem Werkstattfertigungsproblem befasst, ein solcher Algorithmus auch nicht gefunden wurde. Da das Problem zu seiner allgemeinen exakten Lösung exponentiell viel Zeit benötigt, ist die Benutzung heuristischer Verfahren zur Generierung praktisch umsetzbarer Lösungen unumgänglich. In zunehmenden Maße wird die klassische Komplexitätstheorie ohnehin durch praxisrelevante Betrachtungen ersetzt, da alle logischen Probleme von Interesse *NP* sind.

6.3 Heuristiken für die Feinplanung der KPZ

Nachdem Eröffnungsverfahren (zumeist als Prioritätsregeln) in der Literatur umfangreich in ihrer Funktion und Güte beschrieben wurden⁶⁴, stellt sich die Frage, wie die mit einer solchen Methode erzeugte Lösung verbessert werden kann, denn häufig genügen die mit diesen Verfahren gefundenen Lösungen nicht den gestellten Anforderungen⁶⁵ bzw. liegen in vielen Fällen zu weit von der gesuchten Lösung entfernt. So genannte *heuristische Iterationsverfahren* können den Eröffnungsverfahren, die sich relativ deutlich zu diesen abgrenzen



⁶¹Siehe [Ada88, S. 392].

⁶²Vgl. [Man63].

⁶³Vgl. [Brü95, S. 92 ff.].

⁶⁴Siehe u. a. bei *Teich* in [Tei98b, S. 202 ff.].

⁶⁵Siehe [MM76, S. 82].

lassen, nachgeschaltet werden. Das Wesentliche der Iterationsverfahren besteht darin, dass für eine gefundene Lösung eine Art *Nachbarschaft* definiert wird, in welcher in der nächsten Iteration nach einer besseren Lösung gesucht wird. Dafür bietet sich eine Reihe neuerer probabilistischer Suchverfahren an.

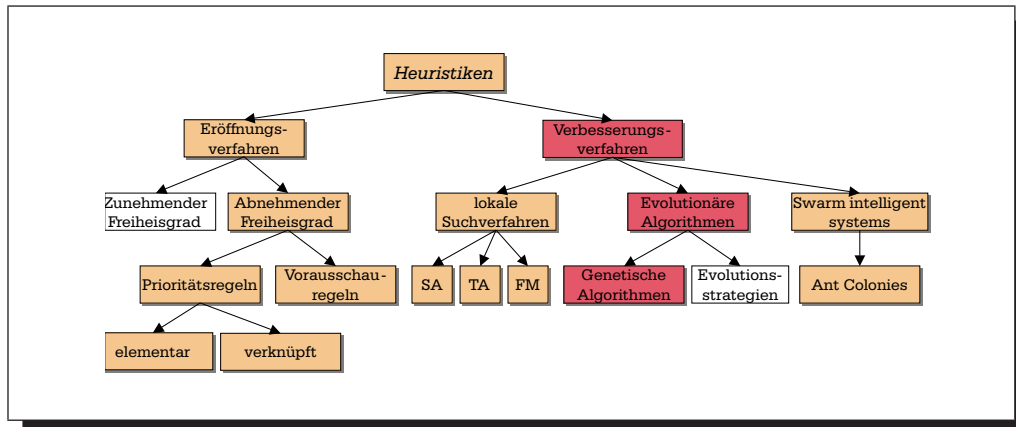


Abbildung 6.17: Übersicht zu Heuristiken

Abbildung 6.17 gibt einen einführenden Überblick zu den wichtigsten Heuristiken innerhalb der Fertigungssteuerung. Im linken Teilbaum sind die bekannten Prioritätsregeln als Eröffnungsverfahren angesiedelt. Im rechten sind die in diesem Abschnitt zu vertiefenden Verbesserungsverfahren dargestellt. Zu diesen gehören einerseits als biologisch motivierte Verfahren die Evolutionären Algorithmen, unter denen vorrangig die Genetischen Algorithmen betrachtet werden, und die Verfahren der Schwarmintelligenz wie die Ant Colonies sowie andererseits die Gruppe der physikalisch motivierten Verfahren wie das Simulated Annealing und die mit ihm verwandten Verfahren wie das Threshold Accepting und die Sintflut-Methode. Im Rahmen dieses Kapitels kann nur ein oberflächlicher, aber explorierender Einblick in die Verfahren gegeben werden. Ausführlichere Beschreibungen sind bei *Teich*⁶⁶ und *Käschel/Teich*⁶⁷ nachzulesen. Für die Zwecke der KPZ-internen Ablaufplanung wurden alle Methoden implementiert und getestet, die farblich hervorgehoben sind. Bei der Verknüpfung von Prioritätsregeln wurden das in Abschnitt 5.1.3.4 beschriebene AHP-Verfahren eingesetzt.

⁶⁶Siehe [Tei98b].

⁶⁷Siehe [Kä02a].

6.3.1 Modelle, Algorithmen und Heuristiken

Optimierungsprobleme können aufgrund ihrer Zielfunktionen und ihrer Entscheidungsvariablen unterschiedlichen Problemklassen zugeordnet werden. Im Bereich der Produktionssteuerung treten meistens Probleme der linearen, der ganzzahligen (linearen) und kombinatorischen, der dynamischen sowie der nichtlinearen Optimierung auf.

Lineare Optimierungsmodelle bestehen aus einer (oder mehreren) Zielfunktion(en) und linearen Nebenbedingungen. Die Variablen sind reellwertig. Triviale Modelle der Maschinenbelegungsplanung gehören zu dieser Klasse, die oftmals durch vereinfachende Annahmen aus ganzzahligen und kombinatorischen Problemen hervorgehen. Bei *ganzzahligen (linearen) und kombinatorischen Optimierungsmodellen* sind Zielfunktionen und Nebenbedingungen linear. Die Variablen dürfen nur ganzzahlige Werte annehmen. Ist die Ganzzahligkeit auf eine Teilmenge der Variablen beschränkt, liegt ein gemischt-ganzzahliges Problem vor. Die Maschinenbelegungsplanung ist ein kombinatorisches Optimierungsproblem. Bei der *dynamischen Optimierung* werden Modelle in Stufen zerlegt, die durch rekursive Abarbeitung optimiert werden. Typischer Vertreter dieser Klasse ist das *Wagner/Whitin*-Verfahren zur dynamischen Losgrößenplanung. *Nichtlineare Optimierungsmodelle* bestehen aus nichtlinearen Zielfunktionen und/oder nichtlinearen Nebenbedingungen. Vertreter dieser Klasse sind vor allem im Bereich der statischen Losgrößenplanung angesiedelt.

Für kombinatorische Optimierungsmodelle gibt es eine ganze Reihe von Verfahren, die im Folgenden genannt und strukturiert werden. Gemeinsam ist vielen die Definition einer Nachbarschaft. Aus diesem Grunde wird zunächst auf die Definition dieser Nachbarschaft eingegangen.

6.3.1.1 Nachbarschaft

Für die meisten Verbesserungsverfahren gilt die Vorgehensweise, dass ausgehend von einer Lösung s eine neue Iteration im Lösungsraum vollzogen werden muss, sofern das Verfahren noch nicht terminiert ist. Es stellt sich die Frage, in welche Richtung und mit welcher Schrittweite diese Iteration ausgeführt wird. Zur Vermeidung eines „ziellosen Umherspringens“ im Lösungsraum erfolgt die Definition einer als $N(s)$ bezeichneten Nachbarschaft von s (siehe Abbildung 6.18). *Reiter* und *Sherman* haben vermutlich als Erste dieses allgemeine Prinzip in [Rei65] publiziert. In Anlehnung an *Müller-Merbach*⁶⁸ können drei hierarchische Grade der Nachbarschaft unterschieden werden.

⁶⁸Siehe [MM81, S. 7 ff.]. Siehe ebenfalls die gut strukturierten Ausführungen von *Feldmann* [Fel99], an welchen sich Teile des Inhalts orientieren.

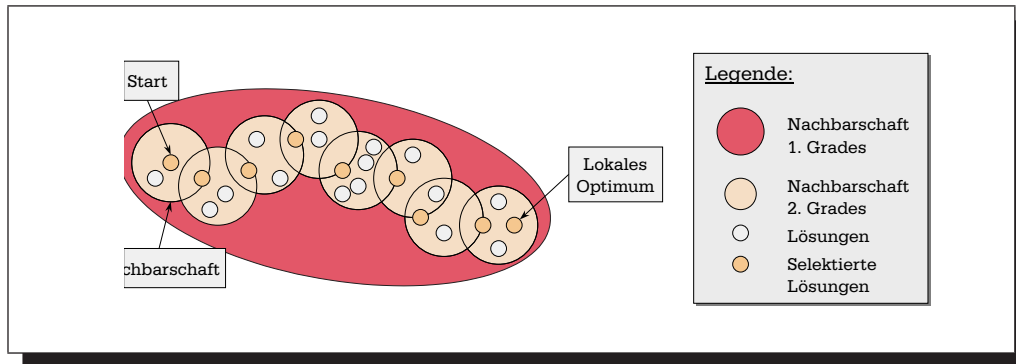


Abbildung 6.18: Nachbarschaften

Die Nachbarschaft *ersten Grades* umfasst alle potenziellen Lösungen. In der Abbildung 6.18 ist diese Menge durch eine rötliche Markierung dargestellt. In den folgenden Abbildungen entspricht diese Menge dem äußeren Kreis. Die Nachbarschaft *zweiten Grades* ist eine Teilmenge der Nachbarschaft ersten Grades, in der Lösungen für die weitere Betrachtungen vorselektiert wurden. In den folgenden Abbildungen entspricht diese Menge dem mittleren Kreis. Dieser enthält kleine Kreise, die Lösungen darstellen. Die Nachbarschaft *dritten Grades* umfasst die ausgewählten Lösungen. Im Falle einer Heuristik sind i. d. R. viele Lösungen enthalten, aus der durch Angabe einer Regel eine bestimmte Lösung ermittelt werden kann. Im linken Teilbild markiert jeweils ein dunkelgelber Punkt diese gefundene Lösung. Der Kreis um den Punkt herum soll die Nachbarschaft zweiten Grades darstellen und ist nur eine idealisierte Darstellung und wird in praxi kein solcher sein.

Für die Nachbarschaft zweiten Grades existieren für bestimmte Problemstellungen spezifische Selektionsbedingungen. So ist für das Maschinenbelegungsproblem folgende Nachbarschaftsdefinition bekannt geworden. Ein Tausch zweier Arbeitsvorgänge ist dann sinnvoll, wenn

1. diese zu unterschiedlichen Aufträgen gehören,
2. die gleiche Maschine referenzieren und
3. sich auf dem kritischen Pfad befinden.

6.3.1.2 Exakte Verfahren

Verfahren, die in endlich vielen Schritten das Optimum einer Optimierungsaufgabe finden, heißen exakte Verfahren. Ihre Anwendung ist an die

Kenntnis der konkreten Problemstruktur gebunden. Zu den exakten Verfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme gehört z. B. der Simplex-Algorithmus⁶⁹. Für ganzzahlige (lineare) und kombinatorische Optimierungsprobleme eignen sich z. B. Entscheidungsbaumverfahren (Branch & Bound) oder Schnittebenenverfahren⁷⁰. Die Nachteile dieser Verfahren liegen darin, dass ihre Anwendung Kenntnisse über die Struktur des Lösungsraumes voraussetzt, dass sie Modellformulierungen erfordern, die für praktische Probleme als ungeeignet erscheinen und dass einige von ihnen (z. B. das Gradientenverfahren) systematisch die Tendenz aufweisen, gegen Optima zu konvergieren⁷¹. Exakte Verfahren werden in der Maschinenbelegungsplanung ausschließlich - wenn überhaupt - zur Lösung von Teilproblemen, z. B. Berechnung von Schranken, herangezogen.

Der Hauptnachteil exakter Verfahren ist jedoch, dass deren Rechenaufwand für praxisrelevante Probleme prohibitiv groß wird. Dies belegt die Komplexitätsuntersuchung des JSP. Da für die praktische Werkstattsteuerung dennoch Computerunterstützung für die Maschinenbelegungsplanung dringend erforderlich ist, bietet sich zur Zeit nur der Weg über Heuristiken.

6.3.1.3 Heuristiken

Das Wissen, dass die Maschinenbelegungsplanung ein *NP*-schweres Problem ist, spendet zunächst einmal jedem Algorithmendesigner Trost, wenn beim Entwurf auf exakte Verfahren zur globalen Lösung des Problems verzichtet werden muss. Aus praktischer Perspektive und unter Missachtung der theoretischen Äquivalenz kann festgestellt werden, dass nicht alle Probleme gleich schwer sind⁷² und es Näherungsverfahren gibt, die für die Praxis befriedigende Resultate liefern. Diese Verfahren garantieren kein Optimum, können aber durchführbare Belegungspläne liefern, deren Ergebnisse sich in der Nähe eines Optimums befinden. Ein Verfahren ohne die Garantie einer bestimmten Leistungsfähigkeit wird in der Literatur zumeist als Heuristik bezeichnet.

Als *Heuristik* wird ein in der Regel auf ein spezielles Problem zugeschnittenes, näherungsweise Lösungsverfahren bezeichnet, dass

⁶⁹Vgl. [Dan66].

⁷⁰Siehe u. a. [Dom93, S. 40 f.].

⁷¹Dies liegt an der diesen Verfahren zugrunde liegenden *Hillclimbing-Strategie*, d. h. die Verfahren folgen einem stetig aufwärts (Maximierung) oder abwärts (Minimierung) führenden Pfad auf das Optimum zu. Sie bleiben daher, bildlich gesprochen, auf kleineren Hügeln stehen und finden die hohen Berge nicht, da sie die dazwischen liegenden Täler nicht überwinden können.

⁷²Manche Probleme können unter Benutzung der dynamischen Programmierung sogar pseudopolynomial gelöst werden. Siehe [Bru95, S. 39].

1. auf nichtwillkürliche Art und Weise
2. potenzielle Lösungen vom Suchprozess ausschließt und
3. für das keine Garantie für die Optimalität der Lösung gegeben werden kann, da ein Konvergenzbeweis fehlt⁷³.

Nach *Domschke*⁷⁴ können Heuristiken in drei Gruppen sowie deren Kombinationen unterteilt werden, in Eröffnungsverfahren, Verbesserungsverfahren und unvollständige exakte Verfahren. Zu den Eröffnungsverfahren zählen z. B. die Prioritätsregeln. Heuristiken in Form von Prioritätsregeln stellen derzeit das vorherrschende Planungshilfsmittel dar, das im Großteil der in der Praxis eingesetzten Fertigungsleitstände verwendet wird. Der Grund dafür ist vor allem in ihrer leichten Handhabbarkeit und ihrer vergleichsweise einfach verständlichen Funktionsweise zu suchen. Häufig in der Fertigung explizit oder implizit angewandte Prioritätsregeln sind z. B. die „Kürzeste Operationszeit Regel“ (KOZ) und die „First-In-First-Out-Regel“ (FIFO).

Der Vorteil der leichteren Handhabbarkeit geht oft dann verloren, wenn die Fertigungssteuerung mehrere verschiedene Zielvorgaben erhält. Zwar lassen sich Prioritätsregeln auch verknüpfen, aber dies stellt einige Anforderungen an die Erfahrung des Fertigungssteuerers. Die Wirkung dieser Verknüpfungen ist nicht unmittelbar vorhersehbar, wie im Fall einzeln genutzter Regeln. Daher wird der Test solcher Regelkombinationen meist mit Hilfe von Simulationssystemen durchgeführt. Hinsichtlich der Güte der Planungsvorschläge im Hinblick auf die Erreichung eines oder mehrerer Ziele liegen Prioritätsregeln in der Regel hinter leistungsfähigen Suchverfahren.

Zu den Verbesserungsverfahren zählen z. B. die nicht-deterministischen Optimierungsverfahren⁷⁵, welche auch als *stochastische Suchverfahren*⁷⁶ bezeichnet werden und den Zufall gezielt nutzen. Sie eignen sich besonders für Probleme, in denen einerseits kein analytischer Ausdruck für die Zielfunktion vorliegt und sich die Funktionswerte nur algorithmisch ergeben, so dass die Regularitätsbedingungen für die Zielfunktion nicht bekannt sind oder gar nicht existieren und für die andererseits eine schnelle und einigermaßen gute Approximation des Extremwertes ausreicht⁷⁷.

Neben den klassischen nicht-deterministischen Verfahren, die „blind“ den gesamten Lösungsraum bzw. einen den Lösungsraum umhüllenden Polyeder

⁷³Siehe [Str75, S. 143 ff.].

⁷⁴Siehe [Dom93, S. 42].

⁷⁵Vgl. [Dom93, S. 42] und [Sch94b, S. 105 ff.].

⁷⁶Siehe [Gö86, S. 236 ff.].

⁷⁷Vgl. [Gö86, S. 236].

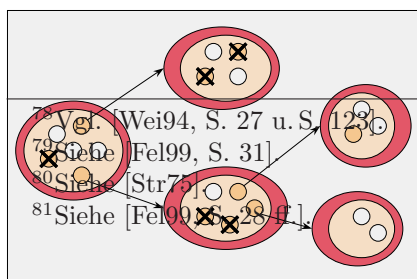
abdecken, existieren Verfahren, die zwar den Zufall nutzen, aber gezielt erfolgsversprechende Teile des Lösungsraumes durchsuchen. Zu dieser Gruppe zählen z. B. das *Simulated Annealing* und die Verfahren der Evolutionären Optimierung. Der Vorteil dieser Suchverfahren liegt darin, dass sie im Prinzip unabhängig von der Struktur des Lösungsraumes und von der vorgegebenen Zielfunktion eingesetzt werden können. Dies ist bei praktischen Problemen von Vorteil, da die Verfahren dadurch leichter handhabbar sind. Da sie daher nicht nur für spezielle Probleme einsetzbar sind, werden sie z. T. als *Metaheuristiken* bezeichnet⁷⁸.

Als *Metaheuristik* wird ein iterativ ablaufender Prozess bezeichnet, bei dem eine untergeordnete Heuristik intelligent durch ein übergeordnetes allgemeines Prinzip der Informationsauswertung und Steuerung dirigiert wird⁷⁹. Es wird demnach eine Gruppe von Verfahren repräsentiert, die ein gemeinsames Prinzip teilen und zugleich offen für Modifikationen und Erweiterungen sind. Verfahren wie *Simulated Annealing* sind in diesem Sinne Metaheuristiken. Das jeweilige Grundprinzip zur Steuerung des Suchprozesses ist dabei auf eine Vielzahl von Problemen und Nachbarschaftsdefinitionen anwendbar.

6.3.1.4 Algorithmen

Um sich zunächst einen Überblick zu verschaffen, auf welchem Wege Probleme der Werkstattsteuerungen gelöst werden können, soll zu Beginn eine Betrachtung der Systematik von Algorithmen (Abbildung 4.19) stehen. Die grundsätzlichen Ideen hierzu gehen auf *Streim*⁸⁰ zurück. Ein gute Ausarbeitung dieser Thematik, worauf sich auch die folgenden Ausführungen stützen, liefert *Feldmann*⁸¹.

Die Systematik trennt zunächst die Algorithmen danach, ob sie die Schrittfolge wiederholen oder nicht. Direkte Algorithmen terminieren nach einmaliger Anwendung der Berechnungsvorschrift (Differenzierung einer Funktion). Das nächste wichtige Unterscheidungskriterium innerhalb der iterativen Algorithmen ist das garantierte Finden einer optimalen Lösung. Die Verfahren, die diese Garantie nicht übernehmen können, sind die bereits oben erwähnten Heuristiken.



Heuristiken arbeiten nach der Strategie, den Entscheidungsbaum drastisch zu beschneiden. Zu einmal abgeschnittenen Ästen wird

Abbildung 6.20: Heuristik

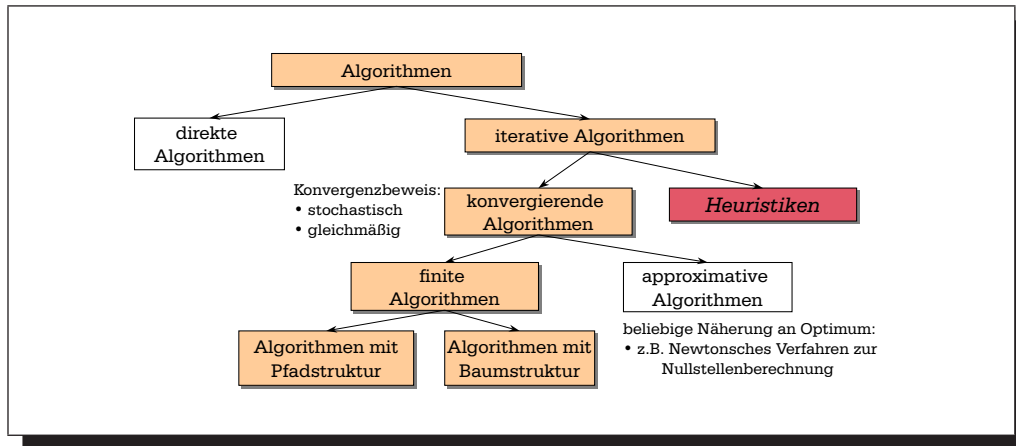


Abbildung 6.19: Systematik von Algorithmen

im weiteren Verlauf nicht mehr zurückgekehrt, nur bestimmte Lösungen werden weiterverfolgt. Für Blattknoten wird tendenziell nicht gezeigt, dass sie zu keiner Verbesserung mehr führen können. Somit können optimale Lösungen verloren gehen. Heuristiken sind Mischformen von Pfad- und Baumstrukturen, die im Folgenden kurz dargestellt werden. Physikalisch motivierte Verfahren besitzen meist Pfadstruktur, biologisch motivierte hingegen meist Baumstruktur. Die andere Gruppe der iterativen Algorithmen wird als (gleichmäßig) konvergierend bezeichnet. Eine stochastische Konvergenz zur Eingliederung in diese Gruppe ist nicht ausreichend, da für praktische Problemstellungen ein Verhalten im Unendlichen irrelevant ist. Innerhalb der konvergierenden Algorithmen lassen sich finite und approximative Algorithmen unterscheiden. Letztere sind Näherungsverfahren, die mit einer bestimmten Genauigkeit gegen ein Optimum konvergieren. Ein Beispiel ist das *Newton-Verfahren* zur Nullstellenberechnung. Finite Algorithmen hingegen finden nach endlich vielen Schritten das Optimum. Diese sind wiederum nach der Organisation des Suchprozesses in Pfadstruktur oder Baumstruktur unterteilbar (siehe Abbildung 6.21).

Als Beispiel für eine Pfadstruktur kann der *Simplex-Algorithmus* als exaktes Verfahren genannt werden. Ausgehend von einer Ausgangslösung können alle Nichtbasisvariablen als Nachbarn ersten Grades angesehen werden. Diejenigen mit negativem Zielfunktionskoeffizienten bilden die Nachbarschaft zweiten Grades. Gemäß vorgegebener Pivot-Regel wird anschließend die entspre-

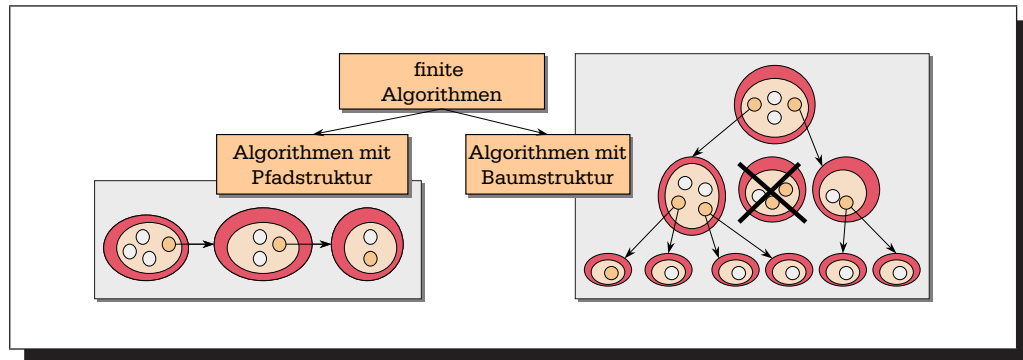


Abbildung 6.21: Finite Algorithmen

chende Pivot-Spalte gewählt. Anschließend wird die Zeile gewählt, in welcher die Nichtbasisvariable den kleinsten Koeffizienten besitzt. Dieses entspricht dem schwarzen Punkt. Nach dem Basistausch wird das Verfahren erneut iterieren bis die optimale Lösung gefunden ist.

Als Beispiel für finite Algorithmen mit Baumstruktur ist *Branch and Bound* zu nennen. Ohne auf das Verfahren selbst einzugehen lässt sich anders als bei Pfadstrukturen die Nachbarschaft dritten Grades nicht auf eine singuläre Lösung reduzieren. Bei diesen Verfahren können dann mehrere Pfade parallel verfolgt werden.

6.3.2 Lokale Suchverfahren

In diesem Abschnitt werden die lokalen Suchverfahren vorgestellt. Ihnen gemeinsam ist die Arbeit mit nur einer Lösung. Ausgehend von dieser wird innerhalb einer Nachbarschaft nach der nächsten möglichen Iteration gesucht. Wurde auf die Weise eine neue mögliche Lösung bestimmt, dann unterscheiden sich die lokalen Suchverfahren einzig in der Annahmestrategie einer schlechteren Lösung.

6.3.2.1 Tabu Search (TS)

Die Idee des Tabu Search beruht auf der Nachbildung einer Art von Gedächtnis, d. h. des Lernens und Vergessens. Ziel dieses Verfahren ist die Vermeidung des Verharrens in lokalen Optima. Aus diesem Grunde speichert das Verfahren die letzten gefunden Lösungen in einer Liste, welche für den weiteren Suchprozess für die nahe Zukunft „tabu“ sind. Nach der Generierung einer

neuen Lösung aus der Nachbarschaft wird zuerst in der Liste geschaut, ob die Lösung bereits enthalten ist. Ist das der Fall, wird die Lösung verworfen. Der folgende Algorithmus verdeutlicht dieses Vorgehen.

```

1 begin
2    $i := 0$ ;
3   Wähle eine Ausgangslösung  $s \in S$ ;
4    $best := c(s)$ ;
5    $s^* := s$ ;
6    $T :=$  leere Tabuliste;
7    $listlen :=$  Länge der Tabuliste;
8   while Stopkriterium nicht erfüllt do
9     Zufällige Generierung einer neuen Lösung  $s' \in N(s)$ ;
10    if  $(c(s') < best) \wedge (s' \notin T)$ 
11      then  $s := s'$ 
12         $s^* := s'$ ;
13         $best := c(s')$ ;
14         $T[i \text{ mod } listlen] := T \cup s'$ ;
15         $i := i + 1$ 
16      fi
17    od
18 end

```

Abbildung 6.22: Basisalgorithmus Tabu Search

Da selbst bei populationsbasierten Algorithmen die Populationgröße im Verhältnis zur Zahl der möglichen Ablaufpläne in einem JSP-Lösungsraum verschwindend klein ist, besteht die Möglichkeit, dass sich der Algorithmus im Kreis durch den Suchraum bewegt und schließlich in einem suboptimalen Punkt abbricht. Um diese Gefahr zu verringern, wird ebenfalls auf die Idee der Tabu-Search Heuristik zurückgegriffen. Bei diesem Verfahren⁸² werden die letzten x Lösungen in einer so genannten Tabu-Liste gehalten. Die Liste wird nach dem FIFO-Prinzip geführt, d. h. für eine neu gespeicherte Lösung wird die am längsten in der Liste stehende gelöscht.

Für eine Implementierung einer solchen Tabuliste für praktische Problemstellungen ist eine 100%-ig exakte Identifikation einer Lösung nicht erforderlich. Das nachfolgend beschriebene Verfahren arbeitet hinreichend genau. Jedem Arbeitsvorgang wird beim Laden des aktuellen Arbeitsvorrates eine eindeutige Identifikationsnummer zugeteilt, indem die Arbeitsvorgänge mit dem Wert

⁸²Siehe [Bru95, S. 53].

1 beginnend enumeriert werden. Ebenso erhält jede Einplanungsposition auf jeder Maschine eine eindeutige Positionsnummer pos_y , beginnend mit 1 für die erste Position der ersten Maschine bis $(\sum_{j=1}^n o_j)$ für die letzte Position auf der letzten Maschine. Die Prüfsumme kann dann als

$$CS_1 = \sum_{y=1}^{\sum_{j=1}^n o_j} (pos_y \cdot f(pos_y)) \quad (6.17)$$

errechnet werden. Tests zeigten, dass bei Verwendung dieser Prüfsumme hin und wieder verschiedenen Lösungen der gleiche Wert zugewiesen wurde. Dieses Problem wurde durch Multiplikation des Wertes mit der Zykluszeit behoben:

$$CS_2 = \sum_{y=1}^{\sum_{j=1}^n o_j} (pos_y \cdot f(pos_y)) \cdot c_{max}. \quad (6.18)$$

Zwar besteht auch weiterhin eine geringe Restwahrscheinlichkeit für das Auftreten gleicher Prüfsummen bei unterschiedlichen Lösungen, bei den umfangreichen durchgeführten Testläufen kam es jedoch nie zu einem derartigen Fehler. Das Tabu Search Verfahren ist bestens geeignet, um mit anderen Verbesserungsverfahren durch Halten einer Tabuliste hybridisiert zu werden.

6.3.2.2 Simulated Annealing (SA)

Das Simulated Annealing⁸³ ist ein stochastisches Verfahren, welches den physikalischen Prozess des Kristallzüchtens nachbildet. In der Metallurgie ist die Vergütung ein Prozess, bei welchem Metall zunächst erhitzt und anschließend in mehreren Etappen langsam abgekühlt wird. Während des Prozesses des Abkühlens wird die kristalline Struktur in die Nähe seines energetischen Minimums geführt. Abbildung 6.23 deutet diesen Prozess an. Die Teilchen des Kristalls verlieren allmählich ihre Energie und begeben sich somit auf geringere Energieniveaus und können so lokalen Minima errei-

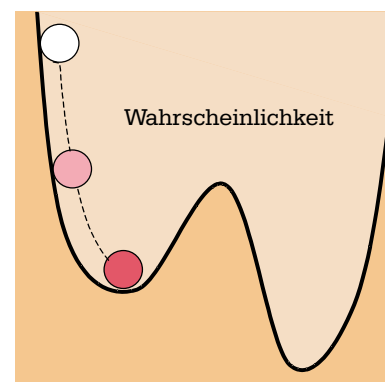


Abbildung 6.23: Simulated Annealing

⁸³Siehe zum Verfahren [Kir83].

chen. Aufgrund thermodynamischer, temperaturabhängiger Zufallskomponenten⁸⁴ besteht für diese Teilchen jedoch die Möglichkeit, temporär wieder ein höheres Niveau an Energie zu erreichen, das heißt, einen schlechteren Zustand annehmen. Auf diese Art wird das Verlassen lokaler Minima möglich. Für die Lösung von JSP wird dieses Prinzip übernommen. In Abhängigkeit der aktuellen Lösung (Energieniveau $f(s_i)$) und der bisherigen Laufzeit des Algorithmus (Abkühlungsplan c_i) kann für jede schlechtere Lösung die Annahmewahrscheinlichkeit

$$p = \min \left\{ 1, e^{-\frac{f(s_i) - f(s_{i-1})}{c_i}} \right\} \quad (6.19)$$

bestimmt werden. Je länger also das Verfahren dauert und je besser die Güte der Lösungen wird, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine schlechtere Lösung angenommen wird. In der Physik wird davon gesprochen, dass im thermischen Gleichgewicht eine stabile Wahrscheinlichkeitsverteilung der Energiezustände erreicht wird. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion ist eine Sigmoide, die in ihrem Wesen der Gleichung 6.19 entspricht. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung ist auch als *Boltzmann-Verteilung* bekannt⁸⁵.

Der in Abbildung 6.24 dargestellte Algorithmus zeigt den prinzipiellen Ablauf dieser Optimierungsmethode.

Simulated Annealing arbeitet mit einem einzelnen Suchpunkt im Gegensatz zu den Evolutionären Verfahren, die mit einer Population von Lösungen den Suchraum parallel erkunden. Ebenso wie die Hillclimbing-Heuristik betrachtet Simulated Annealing den Phänotyp der Lösung⁸⁶. Im Gegensatz zu dieser, akzeptiert SA auch eine temporäre Verschlechterung des Zielfunktionswertes mit Wahrscheinlichkeit p aus Formel 6.19. Sie bewirkt die Annahme einer besseren Lösung in jedem Fall und einer schlechteren Lösung dann, wenn eine gleichverteilte Zufallszahl aus dem Intervall $[0, 1]$ kleiner ist, als der Wert der Funktion e^{-x} an der Stelle

$$\frac{c(s') - c(s)}{c_i}. \quad (6.20)$$

Damit besteht auch für eine extrem schlechte Lösung eine, wenn auch sehr geringe, positive Annahmewahrscheinlichkeit. Dies hilft dem Verfahren, lokale

⁸⁴Diese Tatsache wird auch als thermisches Rauschen bezeichnet.

⁸⁵Weitere Information zur Konfiguration der Parameter finden sich in [Laa87].

⁸⁶Diese aus dem Gebiet der Evolutionären Algorithmen stammende Bezeichnung ist für die Beschreibung des Simulated Annealing natürlich nicht adäquat, wird aber hier verwendet, um den Zusammenhang mit den folgenden Abschnitten zu verdeutlichen.

```

1 begin
2    $i := 0$ ;
3   Wähle eine Ausgangslösung  $s \in S$ ;
4    $best := c(s)$ ;
5    $s^* := s$ ;
6   while Stopkriterium nicht erfüllt do
7     Zufällige Generierung einer neuen Lösung  $s' \in N(s)$ ;
8     if  $random[0, 1] < \min \left\{ 1, e^{\left( \frac{-c(s') - c(s)}{c_i} \right)} \right\}$ ;
9       then  $s := s'$ ;
10    fi
11    if  $c(s') < best$ 
12      then  $s^* := s'$ ;
13         $best := c(s')$ ;
14    fi
15     $c_{i+1} := g(c_i)$ ;
16     $i := i + 1$ 
17  od
18 end

```

Abbildung 6.24: Basialgorithmus Simulated Annealing

Optima wieder zu verlassen und auch weiter entfernte Teile des Lösungsraumes zu erkunden.

Für das Simulated Annealing sind die folgenden Parameter von Bedeutung: die Erzeugung der Startlösung⁸⁷ und der Verlauf der Funktion $g(c_i)$, der durch den Anfangs- und Endwert für c_i , die Dauer des Verharrens auf einem Temperaturniveau und die Art der Dekrementierung von c_i determiniert wird. Eine konkrete Belegung der letzten vier Parameter wird als Abkühlungsplan (cooling schedule) bezeichnet.

Der technische Prozess der Vergütung beinhaltet die stufenweise Absenkung der Temperatur eines zuvor erhitzten Werkstückes, bis dieses wieder Raumtemperatur erreicht hat. Um durch Kristallfehlstellen verursachte Spannungen im Material zu minimieren, wird diesem auf jeder Temperaturstufe die Chance gegeben, ein thermisches Gleichgewicht zu erreichen. Dieses Gleichgewicht ist gekennzeichnet durch eine charakteristische Verteilung der Energiezustände der Teilchen eines Systems, die, wie bereits erwähnt, als *Boltzmann-*

⁸⁷Siehe dazu Abschnitt 6.3.2.3.

Verteilung bezeichnet wird. *Laarhoven* und *Aarts* zeigen, dass sich in Analogie zum technischen Verfahren zwei Formen des Simulated Annealing herleiten lassen⁸⁸.

- Der *homogene* Algorithmus, der für jeden Wert von c_i eine definierte Anzahl > 1 an Lösungen generiert.
- Der *inhomogene* Algorithmus, der für jeden Wert von c_i nur eine neue Lösung generiert.

Anfangs- und Endwert für c_i können für beide Varianten des Algorithmus auf dieselbe Weise bestimmt werden. Der Startwert muss so hoch sein, dass zunächst fast alle neuen Lösungen akzeptiert werden. Eine einfache Methode, ihn zu bestimmen, ist die folgende⁸⁹. Eine Anzahl von Lösungen wird zufällig erzeugt, deren Akzeptanz unter Verwendung eines beliebig gewählten, möglichst hohen Wertes c_0 überprüft wird. Ist die Akzeptanzrate

$$\chi = \frac{\text{Anzahl der akzeptierten Lösungsvorschläge}}{\text{Anzahl der neu generierten Lösungsvorschläge}} \quad (6.21)$$

kleiner als 0.8, so ist c_0 sukzessive solange zu erhöhen, bis $\chi \geq 0.8$ erfüllt wird. Um den Endwert von c_i und damit das Abbruchkriterium für den Algorithmus festzulegen, kommen zwei grundsätzliche Vorgehensweisen in Betracht. Entweder wird die Anzahl der Werte, die c_i annehmen darf, festgelegt⁹⁰ oder der Algorithmus terminiert, wenn für die x letzten festgelegten Temperaturniveaus die Suche stets mit einer identischen Lösung endete⁹¹.

Der inhomogene Algorithmus verharret auf jedem Temperaturniveau nur eine Iteration lang, bedarf also keinerlei Vorgaben über die Anzahl der Iterationen ohne Änderung von c_i . Anders ist es beim homogenen Algorithmus. *Bonomi* und *Lutton* schlagen vor, die Anzahl der Iterationen durch einen Wert vorzugeben, der polynomial von der Problemgröße abhängig ist⁹². Eine andere Methode schlägt *Kirkpatrick* vor⁹³. Sie basiert auf der intuitiven Idee, dass für jeden Wert von c_i eine Mindestanzahl von Lösungen akzeptiert werden sollte. Da mit zunehmender Annäherung von c_i an 0 die Annahmewahrscheinlichkeit für neue Lösungen stetig sinkt, empfiehlt sich eine Begrenzung

⁸⁸Siehe [Laa87, S. 14].

⁸⁹Für einen Überblick über weitere Möglichkeiten der Bestimmung von c_0 sei auf [Laa87, S. 59-63] verwiesen.

⁹⁰Siehe z. B. [Bon84].

⁹¹Siehe z. B. [Kir82].

⁹²Siehe [Bon84].

⁹³Siehe [Kir82].

der neu generierten Lösungsvorschläge durch eine Konstante L , die von der Problemgröße polynomial abhängig ist⁹⁴.

Die Art der Dekrementierung von c_i sollte so gewählt werden, dass eine geringe Anzahl von Lösungen ausreicht, um das Quasi-Gleichgewicht (in Analogie zum thermischen Gleichgewicht) wiederherzustellen⁹⁵. Eine häufig verwendete Regel ist die Multiplikation von c_i mit einem konstanten Faktor c_α , der knapp unter 1 gewählt wird⁹⁶. In den durchgeführten Test wurde c_α über folgende Beziehung berechnet⁹⁷:

$$c_\alpha = \sqrt[n]{\frac{c_{\text{END}}}{c_0}} \quad \text{mit} \quad c_{\text{END}} > 0. \quad (6.22)$$

6.3.2.3 Threshold Accepting (TA)

*Dueck et al.*⁹⁸ vereinfachten das Verfahren des Simulated Annealing durch den Verzicht auf das stochastische Element bei der Annahme schlechterer Lösungen. Sie legten eine deterministisch bestimmte Toleranzschwelle (threshold) fest, bei deren Unterschreitung die neue Lösung akzeptiert wird. Das neue Verfahren wurde als Threshold Accepting (TA) bezeichnet. Es arbeitet wie SA direkt auf dem Ablaufplan, benötigt also keine andere Kodierung. Der TA-Algorithmus generiert in jeder Iteration eine neue Lösung aus der Nachbarschaft N_s von s . Auch hierin unterscheidet sich TA nicht vom Simulated Annealing. Abbildung 6.26 zeigt den Basisalgorithmus für das Threshold Accepting. Die Ähnlichkeiten zu SA sind unschwer zu erkennen.

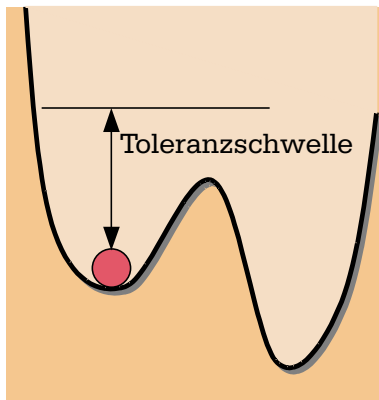


Abbildung 6.25: Threshold Accepting

Bei der Initialisierung des TA-Algorithmus bestehen Freiheitsgrade bezüglich der Wahl der Ausgangslösung, der Wahl des Anfangswertes für den Threshold, hinsichtlich der Funktion $g(t_i)$, die die zeitliche Änderung des Schwellwertes bestimmt und in Bezug auf die Festlegung des Abbruchkriteriums.

⁹⁴Für einen Überblick über weitere Möglichkeiten zur Festlegung der maximalen Iterationsanzahl für ein gegebenes c_i siehe [Laa87, S. 60 ff.].

⁹⁵Siehe [Laa87, S. 61].

⁹⁶Einen Überblick über verschiedene Dekrementierungsregeln gibt [Laa87, S. 61 ff.].

⁹⁷Über den Parameter n kann die Anzahl der Iterationen eingestellt werden.

⁹⁸Siehe [Due90, Due93].

```

1 begin
2    $i := 0$ ;
3   Wähle eine Ausgangslösung  $s \in S$ ;
4    $best := c(s)$ ;
5    $s^* := s$ ;
6   while Stopkriterium nicht erfüllt do
7     Lokale Suche nach neuer Lösung  $s' \in N(s)$ ;
8     if  $c(s') - c(s) < t_i$ ;
9     then  $s := s'$ ;
10    fi
11    if  $c(s') < best$ 
12    then  $s^* := s'$ ;
13            $best := c(s')$ ;
14    fi
15     $t_{i+1} := g(t_i)$ ;
16     $i := i + 1$ 
17 od
18 end

```

Abbildung 6.26: Basisalgorithmus Threshold Accepting

Für die Generierung der Ausgangslösung kommt eine zufällige Initialisierung oder die Wahl einer Prioritätsregel in Frage. Auch ein Nachschalten von TA hinter einen Genetischen Algorithmus ist denkbar.

Der Threshold sollte dem Verfahren in der Anfangsphase ermöglichen, hohe „Gebirgszüge“ im Lösungsraum zu überqueren, um eine vorzeitige Konvergenz zu verhindern. Gegen Ende der Optimierung sollten nur noch kleinere Verschlechterungen akzeptiert werden, um sicherzustellen, dass ein schon gefundenes, aber nicht endgültig identifiziertes Optimum nicht wieder verlassen wird. *Dueck et al.* testeten TA an einem Travelling-Salesman-Problem. Hierbei zeigte sich das Verfahren wesentlich robuster gegenüber Änderungen der Threshold-Parameter als SA gegenüber Änderungen des Abkühlungsplans. Für die praktische Implementierung kann der Threshold als Prozentsatz gesehen werden, der die maximale relative Verschlechterung von einer Lösung zur nächsten bestimmt. Um die Akzeptanzschwelle über die Zeit abzusenken, werden häufig Treppenfunktionen verwendet, über welche t_i für jeweils eine bestimmte Anzahl von Iterationen einen festen Wert zugewiesen bekommt. Darüber hinaus kann t_i natürlich auch in jeder Iteration um einen festgelegten

Wert abgesenkt werden. Dies entspricht einer linearen Funktion $g(t_i)$. Eine dritte Möglichkeit, die am Beginn des Verfahrens zu einer schnellen Absenkung des Thresholds führt, die sich mit fortschreitender Optimierungsdauer stark verlangsamt, ist die Multiplikation des Thresholds in jeder Iteration mit einer Konstante β mit $0 < \beta < 1$. Die vorgestellten Varianten von $g(t_i)$ gehen von einer definierten Iterationenzahl als Abbruchkriterium für das TA aus. Dies ist zwar einfach zu implementieren, aber nicht in jedem Fall günstig. Eine andere denkbare Vorgehensweise wäre die sukzessive Absenkung der Akzeptanzschwelle, sobald für einen gegebenen Wert von t_i über eine bestimmte Anzahl von Iterationen keine Lösungsverbesserung eingetreten ist. Die Suche ist dann bei der bis dahin besten Lösung fortzusetzen.

6.3.2.4 Flood Method (FM)

Beim Threshold Accepting wird die Akzeptanzschwelle mit der Differenz der Zielfunktionswerte der aktuellen und der vorherigen Lösung verglichen. Ist die Differenz kleiner, wird die Lösung angenommen. Dieses Vorgehen ermöglicht es dem TA-Algorithmus, sukzessive auch sehr große Verschlechterungen zu akzeptieren, wobei die kumulierte Verschlechterung über mehrere Iterationen beträchtlich über dem Threshold liegen kann. Prinzipiell besteht jedoch auch die Möglichkeit, einen absoluten Schwellwert einzuführen, der nicht mehr mit der Differenz der Zielfunktionswerte zwei aufeinanderfolgender Lösungen verglichen wird, sondern nur noch mit dem Zielfunktionswert der aktuellen Lösung. Dies ist die Grundidee der Flood Method bzw. Sintflut-Methode, die ebenfalls von *Dueck et al.* entwickelt wurde⁹⁹. Abbildung 6.28 zeigt den Basisalgorithmus für dieses Verfahren.

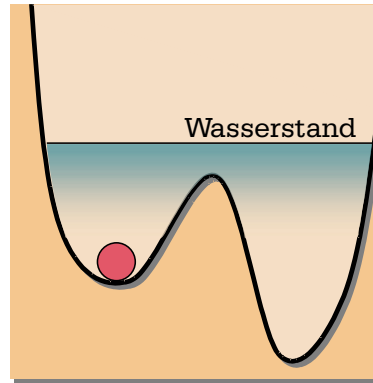


Abbildung 6.27: Sintflut-Methode

Soll eine Maximierungsaufgabe¹⁰⁰ gelöst werden, so stellt der höchste Gipfel des Lösungsgebietes die optimale Lösung dar. Der absolute Schwellwert, der den Suchpunkt in diesem Gebirge sukzessive in höhere Regionen des Lösungsgebietes zwingt, wird von *Dueck et al.* sehr anschaulich als Wasserstand bezeichnet. Lösungen die „unter Wasser“ liegen, werden nicht akzeptiert. Mit fortschreitender Laufzeit des Verfahrens besteht zunehmend die Gefahr, dass einzelne Gipfel des Gebirges, vom Umland abgetrennt, zu Inseln werden. Erstaunlicherweise scheint es zumindest in den von *Dueck et al.* durchgeführten Untersuchungen nicht in größerem Umfang vorgekommen zu sein, dass ihr Algorithmus auf solchen Inseln steckenblieb. Um diese Gefahr aber generell zu verringern, ist es sinnvoll, die Suche am bis dahin besten, gefundenen Lösungspunkt fortzusetzen, sofern dieser nicht schon unter Wasser liegt. Dieser Rücksprung zur bis dahin besten Lösung wird ausgeführt, wenn sich aus der aktuellen Lösung s keine Lösung $s' \in N(s)$ generieren lässt, für die gilt:

$$b_u - c(s') > w_i. \quad (6.23)$$

⁹⁹Siehe [Due93].

¹⁰⁰Für eine Minimierungsaufgabe wie die Zykluszeitminimierung, muss der Zielfunktionswert in geeigneter Form skaliert werden. Dies geschieht im in Abbildung 6.28 dargestellten Algorithmus, durch Subtraktion des Zykluszeitwertes der aktuellen Lösung von der oberen Grenze der Zykluszeitwerte, die sich als Summe aller p_{jk} ergibt.

```

1 begin
2    $i := 0;$ 
3    $b_u := \sum_j \sum_k p_{jk}$ 
4   Wähle eine Ausgangslösung  $s \in S;$ 
5    $best := c(s);$ 
6    $s^* := s;$ 
7   while Stopkriterium nicht erfüllt do
8     Lokale Suche nach neuer Lösung  $s' \in N(s);$ 
9     if  $b_u - c(s') > w_i;$ 
10    then  $s := s';$ 
11    fi
12    if  $c(s') < best$ 
13    then  $s^* := s';$ 
14            $best := c(s');$ 
15    fi
16     $w_{i+1} := g(w_i);$ 
17     $i := i + 1$ 
18 od
19 end

```

Abbildung 6.28: Basisalgorithmus Sintflut-Methode

Für die Initialisierung der Sintflut-Methode bestehen Freiheitsgrade im Hinblick auf die Generierung der Start-Lösung, die Wahl des Anfangswasserstandes und die zeitliche Veränderung des Wasserspiegels. Für die Wahl der Start-Lösung gilt das bereits zu Simulated Annealing und zu Threshold Accepting Gesagte. Der Wasserstand w_i kann mit dem Wert 0 initialisiert werden. Die Funktion $g(w_i)$ kann eine lineare Funktion oder eine logarithmische Funktion sein. Im letzteren Fall bleibt dem Algorithmus mehr Zeit, in kleinen Schritten das Optimum zu erreichen, wenn dessen Attraktionsbecken schon gefunden wurde. Um eine lineare oder logarithmische Funktion $g(w_i)$ zu definieren ist es sinnvoll, einen Endwert für den Wasserstand festzulegen. Dieser kann im Fall einer Minimierung und bei Verwendung der oben beschriebenen Skalierung z. B. als Differenz zwischen oberer und unterer Grenze für den Zielfunktionswert bestimmt werden:

$$w_{\text{END}} = b_u - b_l. \quad (6.24)$$

Als Abbruchkriterium ist der so berechnete Endwasserstand allerdings nicht günstig. Sinnvoller ist es, den Algorithmus abubrechen, sobald die bis dahin beste gefundene Lösung „unter Wasser“ steht.

6.3.3 Evolutionäre Verfahren

Bevor mit der Betrachtung von Genetischen Algorithmen als Heuristiken begonnen wird, soll zunächst ein Überblick zur Historie und zu Begriffen der Evolutionstheorie erfolgen. Die Genetischen Algorithmen haben sich während der Forschungsarbeiten zur KPZ-internen Ablaufplanung als potentestes Verfahren zur Kodierung komplexer praxisrelevanter Aufgabenstellungen erwiesen. Aus diesem Grund soll nachfolgend ein adäquater Überblick zu diesem Verfahren gegeben werden.

6.3.3.1 Historie und Begriffe

Obwohl *Darwin* der vermutlich am häufigsten zitierte Wissenschaftler der Evolutionstheorie ist, so hat auch er seine gedanklichen Vorfahren. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang vor allem *Carl von Linné* und *Lamarck*. *von Linné* (1707-1778) hat in seinem Werk *systema naturae* ein Klassifizierungssystem für die zu dieser Zeit bekannten Lebewesen aufgestellt. Darin fanden etwa 4.000 Tier- und 14.000 Pflanzenarten Eingang¹⁰¹. Der größte Systematiker seiner Zeit ging jedoch nicht von der Entwicklung der Arten aus. Er unterstellte nach der Schaffung der Lebewesen eine Unveränderlichkeit selbiger. Aus der Sicht der Länge eines Forscherlebens mag diese Annahme nachvollziehbar erscheinen, zumal Fossilien kaum bekannt waren. Der Zeitraum der sichtbaren Veränderung von Individuen erstreckt sich jedoch auf tausende von Jahren. Mutationen wurden als Unfälle abgetan. Die Theorie von der Konstanz der Arten war die dominierende dieser Zeit.

Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829) erkannte die Vielzahl abgestufter Ähnlichkeiten der Arten und schloss als erster auf die Entwicklung der Arten. Nicht *Darwin* sondern er schuf den Evolutionsgedanken¹⁰² und machte ihn bereits ein knappes Jahrhundert vor *Darwins* Werk *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* salonfähig. *Lamarck* ging von der Fähigkeit der Höherentwicklung von Lebewesen und der Weitervererbung dieser erworbenen Fähigkeiten auf Nachkommen aus. Die Arten, insbesondere der Mensch, können sich der Umwelt in einem längeren Zeitraum anpassen. Zu dieser Evolutionstheorie gibt es auch noch heute zahlreiche Anhänger.

Darwin vertrat eine andere Theorie. Er erklärte den Prozess der Evolution als Zusammenspiel von Variation (zufällige Abweichung) und Selektion (natürliche Zuchtwahl). Vor allem der Nachkommensüberschuss spielte eine

¹⁰¹Siehe zu den folgenden Ausführungen [Sch94b, S. 32].

¹⁰²Siehe [Nis94, S. 6].

zentrale Rolle. Es wurde angenommen, dass mehr Nachkommen erzeugt werden, als überleben können. Abweichungen unter den Nachkommen führen zu einer unterschiedlichen Tauglichkeit (Fitness) innerhalb ihrer Umwelt. Nur die Bestangepassten werden überleben und ihr Erbgut weitergeben können. Die Fitness ist das Maß für den Ausleseprozess. Das Erbgut ist in den Genen kodiert, die ihren Platz auf den Chromosomen besitzen. Diese Kenntnis besaß *Darwin* allerdings noch nicht. *Darwin* wusste oder ahnte, dass die Selektion beeinflusst werden konnte und dass die Kreuzungen ausgewählter Individuen merkmalsverstärkend wirken. Vererbungsgesetze konnte er jedoch keine finden. Erst die Wiederentdeckung der *Mendelschen Vererbungsgesetze* und die Entwicklungen innerhalb der Molekularbiologie haben das Wissen über die Genetik und damit über die Evolution gefestigt und vorangetrieben.

Einige wesentliche Annahmen von *Darwin* bilden die Grundlage der evolutionären Algorithmen:

1. die Natur generiert einen potenziellen Überschuss an Lebewesen, aber die Population bleibt nahezu konstant, d. h. der größere Teil Nachkommen stirbt eher, als er Nachkommen produzieren kann,
2. zwei Individuen sind nicht identisch und
3. erbliche Varianten, die sich im Überlebenskampf bewährt haben, werden bevorzugt selektiert („natura non facit saltus“ bzw. „Survival of the fittest“).

Auch die Genetik besitzt ihre Vordenker. *Gregor Johann Mendel* (1822 - 1884) veröffentlichte in seinen „Untersuchungen über Pflanzenhybride“ seine drei Vererbungsgesetze:

1. Das *Uniformitätsgesetz* sagt aus, dass bei Kreuzung zweier reinerbiger Vorfahren, die sich in Merkmalen voneinander unterscheiden können, in der ersten Generation uniform aussehende Nachkommen auftreten.
2. Das *Spaltungsgesetz* besagt, dass bei einer Kreuzung der ersten Nachkommen untereinander eine Merkmalsausprägung auftritt und diese kein uniformes Erscheinungsbild mehr besitzen. Die Ausprägung ist abhängig von der Dominanz und Rezessivität der Erbanlagen der Elterngeneration.
3. Das *Rekombinationsgesetz* sagt aus, dass sich bei mehreren Unterscheidungsmerkmalen in der Elterngeneration die einzelnen Merkmalspaare in der zweiten Nachkommengeneration unabhängig voneinander aufspalten und frei miteinander rekombiniert werden.

Diese wissenschaftlich bedeutsame Leistung resultierte aus jahrelangen empirischen Untersuchungen zu Kreuzungen von Erbsen. *Mendels* Gesetze waren der Ausgangspunkt der Molekulargenetik und anderer Wissenschaftsdisziplinen. Das dritte Gesetz über die freie Rekombination des Erbgutes ist in der Evolutionstheorie das wichtigste. Dieser Sachverhalt ist auch für die Entwicklung von Evolutionären Algorithmen von zentraler Bedeutung. *Mendel* selbst konnte zu seiner Zeit noch nichts über die Träger der Erbinformationen wissen.

Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert konnte diese wichtige Frage Beantwortung finden. *Watson* und *Crick* beschrieben aufbauend auf den chemischen und physikalischen Strukturuntersuchungen anderer Wissenschaftler (z. B. *Pauling*) ein Modell der DNS-Struktur¹⁰³, dem Träger der Erbinformation und Schlüssel zur Vererbungstheorie. An dieser Stelle erfolgt eine kurze Erklärung der wichtigsten Begriffe. Eine ausführliche Erläuterung findet sich bei *Schöneburg*¹⁰⁴.

Alle bekannten Lebewesen sind aus Zellen aufgebaut, welche die Elementarorganismen (kleinste noch selbstständig reproduktionsfähige Funktionseinheit alles Lebenden) darstellen und deren komplexe Struktur bis heute noch nicht vollständig verstanden wurde. Der Zellkern (Nukleus) ist die Steuerzentrale und enthält im Kernplasma die Chromosomen, welche die eigentlichen Träger der Erbsubstanz sind. Diese Chromosomen beinhalten die Gene, die das eigentliche Erbgut ausmachen und bestehen aus Nukleinsäuren und Proteinen. Die Feinstruktur des Chromosoms ist ebenfalls nicht vollständig bekannt. Klar ist jedoch, dass Chromosomen nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten während der unterschiedlichen Phasen der Zellteilung ihre Gestalt verändern. Während der Zellteilung verdrillen sich die Chromosomen durch ein schraubenförmiges Sichaufwickeln. Sie tritt beim Menschen als Doppelstrang („Strickleiter“) von Millionen von Nukleotiden auf. Zwischen den komplementären Basen bilden sich Wasserstoffbrücken, die die Nukleotidketten spiralförmig verbinden.

Die Chromosomen vermehren sich nur durch Teilung und nicht durch Neubildung. Jedes Chromosom hat eine bestimmte Architektur und innere Struktur, die nur durch bestimmte Ereignisse (Mutation, Crossover) verändert wird. Die Prozesse von Vermehrung und Wachstum sind die *Mitose* (Duplikation in identische Tochterzellen - ungeschlechtlich) und die *Meiose* (Rekombination der Chromosomen). Für das Verständnis der Evolution ist die Meiose von größerem Interesse, da sie neben wichtigen anderen biologischen

¹⁰³DNS = Desoxyribonukleinsäure.

¹⁰⁴Siehe [Sch94b, S. 46 ff.].

Funktionen für die Mischung des Erbgutes durch Rekombination verantwortlich ist.

Während der Meiose verkürzen sich die Chromosomen durch Spiralisierung. Die entstehenden Verdichtungsringe werden als Chromomere bezeichnet, die in gleichen Zellteilungsphasen immer an den gleichen Stellen in den Chromosomen auftauchen. Durch sie ist die Lagebeziehung der Chromosomen bestimmbar. Homologe Chromosomen stimmen bezüglich Anzahl, Ort und Lage der Chromomere überein. In der Meiose paaren sich die homologen Chromosomen derart, dass sich die entsprechenden Chromomeren exakt aneinander bzw. nebeneinander lagern. Während der Teilung kommt es an bestimmten Stellen (Chiasmen) zu Überkreuzungen (crossing-over) der Chromosomen. An diesen Stellen erfolgt ein Chromatidenstücktausch. Die Chiasmenbildung findet nicht immer an den gleichen Stellen im Chromosom statt. Die Bruchstellenwahrscheinlichkeit ist über das Chromatid hinweg nahezu gleich groß. Dieser, sehr kurz beschriebene Prozess der Rekombination ist das Kernstück des Evolutionsgedanken für Heuristiken. Abschließend können bestimmte Bereiche auf dem Chromosom einer zufälligen Änderung, einer Mutation, unterliegen.

Die Gene sind bestimmte Abschnitte (Einheiten) auf der DNS, die die Information zur Bildung eines Proteinmoleküls enthalten. Sie bestehen aus den Basen Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin. Ein „Wort“ besteht in der Basensequenzsprache aus Dreierketten (Tripletts) der vier Buchstaben (Basen). Jedes Gen bestimmt in einem gewissen Maße die Ausprägung des Individuums. Die interne Kodierung der Gene wird als Genotyp bezeichnet, das äußere Erscheinungsbild als Phänotyp. Die Genetischen Operationen erfolgen also auf dem Genotyp des Individuums. Für die Entwicklung eines Algorithmus ist es notwendig, das zu modellierende Problem in einen Genotyp zu überführen. Jedes Gen auf dem Chromosom kodiert eine bestimmte Eigenschaft des Modells. Die spezifische Belegung des Gens (Allel) durch ein konkreten Wert führt zu einer Ausprägung im Phänotyp. Die Abbildung 6.29 gibt die Terminologie der Begriffe in unterschiedlichen Fachgebieten wieder.

Die Evolutionären Algorithmen können deshalb als Metaheuristik bezeichnet werden, da sie für eine ganze Klasse von Problemstellungen konzipiert sind. Erst die Dekodierung vom Genotyp in den Phänotyp bringt den Anwendungsbezug zum Tragen. Am Optimierungsmodell bleiben die einzelnen Schritte der nachempfundenen Evolution davon jedoch unberührt. Der Vorgang der Evolution ist ein spezielles Optimierungsverfahren mit dem Ziel, jene Erbanlagen finden, die ein Individuum am besten dazu befähigt, in seiner Umwelt zu überleben. Die Effizienz dieses Verfahrens, sowohl die biologische als auch die mathematische, ist beeindruckend. Erstaunlich ist die relative Einfachheit der Vorgehensweise und das Zusammenwirken der verschiedenen Steuerungsmechanismen. Bei Vernachlässigung einiger Details beruht

<i>Biologie</i>	<i>Informatik</i>
Population	Menge von Strukturen (Individuen)
Individuum	in geeigneter Weise repräsentiertes Strukturelement
Fitness	Lösungsqualität bezüglich Zielkriterien
Generation	Verfahrensiteration
Eltern	die zur Reproduktion gewählten Individuen
Kinder	die aus Eltern generierten Lösungen
Chromosom	meist identisch mit Individuum
Gen	Variable eines Datentyps (z. B. Bit)
Allel	Wertbelegung der Variable
Genotyp	kodierte Lösung
Phänotyp	dekodierte Lösung (z. B. Gantt-Diagramm)

Abbildung 6.29: Terminologie von Biologie und Informatik

der Evolutionsprozess auf drei einfachen Prinzipien, die so auch den Eingang in die Algorithmen finden:

- Veränderung des Erbgutes (Mutation),
- Mischen der Erbinformationen (Rekombination) und
- Auslese aufgrund der Tauglichkeit (Selektion).

Es gibt im Vergleich mit konventionellen Optimierungsverfahren eine ganze Reihe von Besonderheiten, durch die sich die Evolutionären Algorithmen auszeichnen. Die bereits erwähnte Verwendung evolutionärer, an stochastische Eigenschaften gekoppelter Operatoren ist das wichtigste Alleinstellungsmerkmal dieser Klasse. Weiterhin verwenden viele Algorithmen eine Population von Lösungsalternativen, d. h. gleichzeitig mehrere Lösungen. Aus dieser Eigenschaft resultiert die Inhärenz zur Parallelisierung. Die Zielrichtung des Suchprozesses ist oftmals abhängig von der Qualität der aktuellen Lösung. Im Sinne klassischer Suchstrategien erfolgt durch die Evolution eine gekoppelte Tiefen- und Breitensuche.

6.3.3.2 Genetische Algorithmen (GA)

Dieser Unterabschnitt vermittelt einen Überblick zur Thematik der Genetischen Algorithmen, um das Phasenmodell des KPZN in seiner Gesamtheit vollständig in der vorliegenden Arbeit beschreiben zu können. Inhaltliche Details zu einzelnen Komponenten sind bei *Teich*¹⁰⁵ und *Käschel/Teich*¹⁰⁶ umfangreich ausgeführt¹⁰⁷.

Genetische Algorithmen stellen ein der biologischen Evolution nachempfundenen, leistungsfähiges Suchverfahren dar¹⁰⁸. Wie in der tatsächlichen Evolution wird eine *Population* von Individuen betrachtet, keine einzelnen Lösungen. Jede Lösung stellt *phänotypisch* ein *Individuum* dar, welches z. B. einen konkreten Ablaufplan und dessen Zielfunktionswert repräsentiert. Im Vordergrund der Betrachtung standen keine praktischen Fragen wie bei den Evolutionsstrategien von *Rechenberg*, sondern nur das Problem, wie der Informationsfluss mit genetischen Mechanismen in der Natur ohne Fehler ablaufen kann. Die Kernfrage war, wie es die Natur realisiert, mit Hilfe genetischer Prozesse so erstaunliche Dinge wie Intelligenz, Selbstorganisation und komplexe Formen der Adaption hervorzubringen? Die Motivation reduzierte sich zunächst darauf, diese Fähigkeit künstlich nachzubauen und zu nutzen. Im Jahre 1975 erschien das Hauptwerk auf diesem Gebiet: *Hollands* „Adaption in Natural and Artificial Systems“¹⁰⁹. In diesem Werk wurden u. a. Kodierungsprobleme und Chromosomen einer Population als binäre Vektoren diskutiert.

Ein Individuum wird durch seinen in einem oder mehreren *Chromosomen* (Inputteilen) gespeicherten *Genotyp* bestimmt. Der Aufbau des Genotyps kann unterschiedlich sein. Seine konkrete Form wird als *genetische Repräsentation* bezeichnet. Die Lösungen der Population werden generationsweise einer Bewertung unterzogen. Die „fittesten“ Individuen bilden Nachkommen durch Rekombination des Erbgutes (ähnlich der geschlechtlichen Rekombination bei höherentwickelten Lebewesen). Die alte Generation wird nach einem bestimmten *Ersetzungsschema* gegen die Nachkommen ausgetauscht. Da bei der Rekombination nur Lösungen innerhalb der Population kombiniert werden, stellt die *Mutation* sicher, dass auch zufällige Erbgutänderungen in die Suche eingehen. Die *Selektion* der fittesten Individuen für die Fortpflanzung,

¹⁰⁵Siehe [Tei98b].

¹⁰⁶Siehe [Kä02a].

¹⁰⁷Einige wesentliche Bestandteile dieses Unterabschnittes sind den Dissertationen von *Teich* und *Köbernik* entnommen [Tei98b, Kö99], welche im Rahmen mehrjähriger, gemeinsamer Forschungsprojekte zur Ablaufplanung mit Genetischen Algorithmen in enger Zusammenarbeit entstanden.

¹⁰⁸Die erste Anwendung auf Probleme der Fertigungssteuerung findet sich bei [Dav85].

¹⁰⁹Siehe [Hol75].

die *Rekombination* und die *Mutation* werden als *genetische Operatoren* bezeichnet. Nach Auswahl einer geeigneten genetischen Repräsentation für ein zu lösendes Problem läuft ein genetischer Algorithmus wie folgt ab:

```

1 begin
2   Initialisierung der Startpopulation
3   /* Chromosomen im Lösungsraum verteilen */
4   /* Strategieparameter wählen */
5   while Stopkriterium nicht erfüllt
6     /* Lösungsgüte erreicht oder nicht verbessert */
7     /* Anzahl Schleifen (Generationen, Zeit) */
8     do
9       fitnessproportionale Selektion zweier Eltern
10      Rekombination (Crossover)
11      Mutation
12      Dekodierung Genotyp in Phänotyp
13      Fitnessbewertung des Individuums
14      Bildung der neuen Generation
15   od
16 end

```

Abbildung 6.30: Basiszyklus eines Genetischen Algorithmus

Unabhängig vom zu lösenden Optimierungsproblem besteht ein Genetischer Algorithmus aus verschiedenen elementaren Komponenten¹¹⁰:

- einem Repräsentationsformalismus, der der genetischen Kodierung der Lösungen des Problems dient,
- einem Verfahren, um eine Ausgangspopulation zu initialisieren,
- einem Ersetzungsschema, das neu erzeugte Individuen auf eine bestimmte Weise in die Population einfügt,
- einer Fitnessfunktion, die die entstandenen Lösungen bewertet,
- Selektionsoperatoren, die Individuen entsprechend ihrer Fitness für die Rekombination auswählen,
- genetischen Operatoren (Rekombination bzw. Crossover und Mutation), die die Zusammensetzung des Erbgutes der Population verändern,

¹¹⁰Siehe [Bru96, S. 12].

- konkreten Werten für die Steuerungsparameter des GA und
- einer grundlegenden Kontrollstruktur (Basialgorithmus).

Die Güte der erreichten Lösung und der Rechenaufwand eines genetischen Algorithmus werden durch die Wahl der genetischen Repräsentation, die Art der Generierung der Ausgangslösung, die konkrete Form der genetischen Operatoren und die Wahl des Ersetzungsschemas bestimmt. Die Theorie zur Auswahl und Kombination dieser Elemente steht erst am Anfang. Dennoch lässt sich z. T. abschätzen, welche Vor- und Nachteile z. B. eine konkrete Form der Selektion hat. Die folgenden Unterabschnitte werden auf die einzelnen Komponenten eines Genetischen Algorithmus kurz eingehen. Abbildung 6.31 zeigt diese einzelnen Bestandteile in ihrem Zusammenhang.

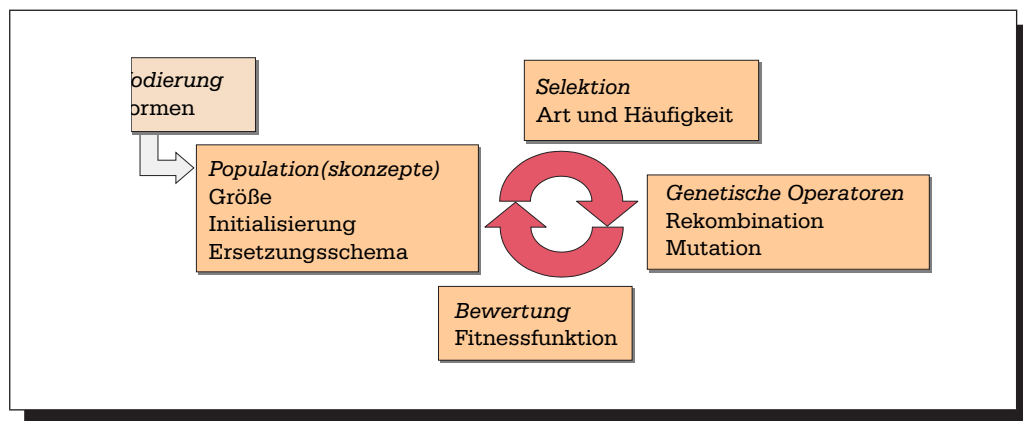


Abbildung 6.31: Bestandteile eines Genetischen Algorithmus

Die Konstruktion eines GA muss insgesamt ein Gleichgewicht zwischen zwei Grundaspekten der genetischen Suche gewährleisten. Einerseits soll sich der Algorithmus auf schon gefundene gute Lösungen stützen und gezielt die umliegenden, vermutlich erfolgversprechenden Gebiete des Lösungsraumes durchsuchen. Überwiegt dieser als *Exploitation* bezeichnete Aspekt, konvergiert der GA sehr schnell, möglicherweise in suboptimalen Lösungen. Da i. d. R. nicht bekannt ist, ob in weit entfernten Teilen des Lösungsraumes noch bessere, als die bisher gefundenen Lösungen enthalten sind, darf die Erkundung dieser Gebiete nicht vernachlässigt werden. Überwiegt dieser als *Exploration* bezeichnete Aspekt der genetischen Suche jedoch, so konvergiert der Genetische Algorithmus nicht wesentlich schneller als ein herkömmliches stochastisches Suchverfahren¹¹¹. Alle der nachfolgend beschriebenen

¹¹¹Siehe [Nie96, S. 13].

GA-Komponenten beeinflussen die Lage des Gleichgewichtes zwischen Exploration und Exploitation.

6.3.3.2.1 Kodierung

Die Leistungsfähigkeit Genetischer Algorithmen hängt in hohem Maße von der gewählten genetischen Repräsentation ab. Die Kodierung bestimmt den „Blickwinkel“ des GA auf das Anwendungsproblem. Speziell für das Maschinenbelegungsproblem lassen sich verschiedene Anforderungen formulieren, die eine ideale Kodierung erfüllen sollte:

1. Ausschluss der Entstehung ungültiger Lösungen.
2. Definition eines möglichst kleinen Suchraums, ohne dass Kandidaten für gute Lösungen ausgeschlossen werden. Seine Struktur sollte der des Lösungsraumes des Maschinenbelegungsproblem so ähnlich sein, dass ähnlich kodierte Lösungen auch ähnliche Ablaufpläne erzeugen.
3. Wenige erforderliche Schritte für die Umwandlung der kodierten Lösung in einen Ablaufplan und umgekehrt.

Die Forschung zur Anwendung Evolutionärer Algorithmen, insbesondere die GA-Forschung, erkannte bereits frühzeitig die Bedeutung einer geeigneten genetischen Repräsentation (Kodierung) für die Leistungsfähigkeit der evolutionären Verfahren¹¹². Für Ablaufplanungsprobleme haben sich in der Vergangenheit vor allem Permutationschromosomen als geeignet erwiesen. Jedes Gen stellt einen Platz in der Reihenfolge dar. Das konkrete Allel bezeichnet das Element, welches diesen Platz einnimmt. Permutationschromosomen können in auf einfacher Permutation und auf Permutation mit Wiederholung basierende unterschieden werden.

Die bis Anfang der 90er Jahre entwickelten JSP-Kodierungen für reine Genetische Algorithmen wiesen alle ähnliche Probleme in der Dekodierung und Fehlerbeseitigung nach erfolgter Anwendung genetischer Operatoren auf. Das Problem von Laufzeiterhöhungen aufgrund rechenzeitintensiver Algorithmen zur Erkennung und Reparatur ungültiger Lösungen kann offensichtlich am besten ausgeschaltet werden, wenn eine Kodierung derartige Lösungen überhaupt nicht zulässt. Einen ersten Ansatz in dieser Richtung entwickelten *Bierwirth et al.*¹¹³ Diese Kodierung basiert auf Permutationen mit Wiederholung. Dabei wird nicht eine Reihenfolge für den Arbeitsvorrat jeder einzelnen Maschine gebildet, was bei der Verknüpfung zu einem Gesamtablaufplan zu Deadlocks führen kann, sondern aus dem Arbeitsvorrat der gesamten Werkstatt wird eine Einplanungsreihenfolge erzeugt. Im Unterschied zur Task-Sequenz-Kodierung, die analog vorgeht, ist dies jedoch keine Reihenfolge aus

¹¹²Die Ansätze können drei grundlegenden Kodierungstypen zugeordnet werden [Nie96, S. 36]: Bit-, Zahlen- und Permutationschromosomen.

¹¹³Siehe [Bie93, Bie94].

eindeutig identifizierten Arbeitsoperationen, sondern aus Fertigungsauftragsnummern. Aus diesem Grunde fiel für die Anwendung der KPZ-internen Ablaufplanung die Entscheidung zugunsten der *Bierwirth*-Kodierung (siehe Abbildung 6.32.).

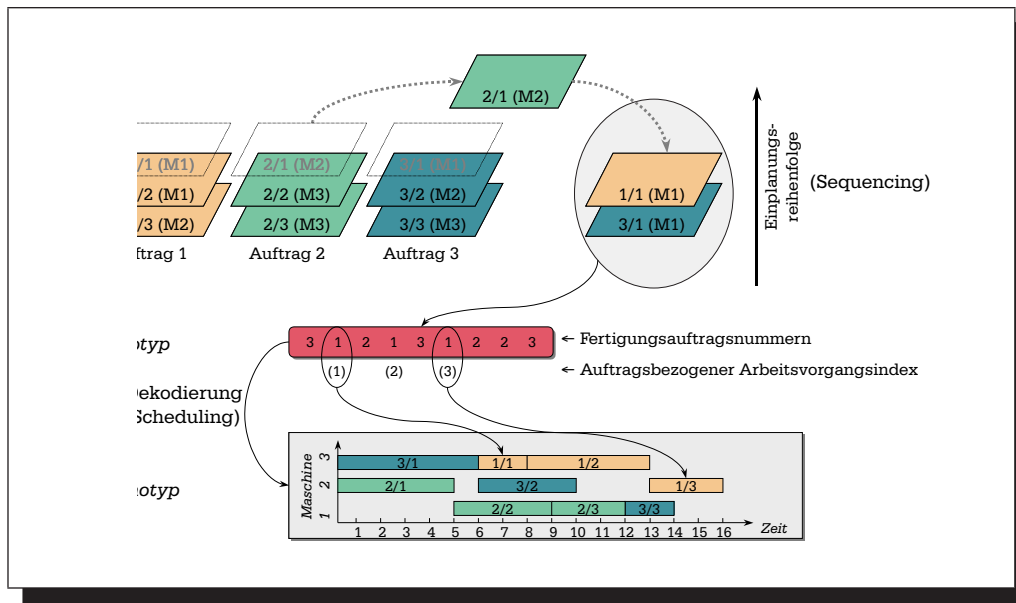


Abbildung 6.32: Kodierung eines Ablaufplanes

Jeder Fertigungsauftrag ist durch einen Stapel von Arbeitsvorgängen dargestellt. Die Reihenfolge, in der die Arbeitsvorgänge auf dem Stapel liegen, entspricht der Technologie, wobei der erste Vorgang oben auf dem Stapel und der letzte entsprechend unten liegt. Die zufällige Reihenfolgebildung entspricht einem Mechanismus, der jeweils von oben von einem zufällig gewählten Stapel einen Arbeitsvorgang entnimmt und diesen einem einzigen neuen Stapel (der Einplanungsreihenfolge) oben hinzufügt. Jeder Fertigungsauftrag taucht so oft in der Reihenfolge auf wie er Arbeitsvorgänge besitzt. Erst bei der Evaluierung des Chromosoms muss der exakte Arbeitsvorgang durch einen auftragsbezogenen Zählindex ermittelt werden, während die Lösung von vorn nach hinten eingeplant wird. Die Kodierung besitzt aber auch einen nicht zu unterschätzenden Nachteil. Für ein gegebenes Problem lassen sich insgesamt

$$\frac{\left(\sum_{j=1}^n o_j \right)!}{\prod_{j=1}^n o_j!} \quad (6.25)$$

Permutationen mit Wiederholung (also Einplanungsreihenfolgen) bilden. Werden jedoch die Permutationen mit Wiederholung für den Arbeitsvorrat jeder Maschine berechnet und die Reihenfolgen aller Maschinen miteinander kombiniert¹¹⁴, so ergeben sich nur

$$\prod_{i=1}^m \frac{\left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{o_j} \begin{cases} 1 & : i = \tau_{jk} \\ 0 & : \text{sonst} \end{cases} \right)!}{\prod_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^{o_j} \begin{cases} 1 & : i = \tau_{jk} \\ 0 & : \text{sonst} \end{cases} \right)!} \quad (6.26)$$

voneinander verschiedene Ablaufpläne. Der Suchraum für einen Genetischen Algorithmus, der die Kodierung auf Basis von Permutationen mit Wiederholung nutzt, ist im Beispiel 6.12 bereits mehr als 30-mal größer als der tatsächliche Lösungsraum des konkreten Planungsproblems. Dieses Problem kann jedoch recht einfach beseitigt werden, in dem der GA mit einer Tabu Search Heuristik (Abschnitt 6.3.2.1) hybridisiert wird.

6.3.3.2 Populationskonzepte

Genetische Algorithmen weisen den Vorteil einer verfahrensinhärenten Parallelisierbarkeit auf. Die Arbeit mit einer Population von Lösungen erhöht jedoch auch die Anzahl der einstellbaren Parameter eines solchen Algorithmus gegenüber Verfahren mit einem einzelnen Lösungspunkt wie dem Simulated Annealing. Vier Aspekte müssen hinsichtlich des Aufbaus einer Population von Lösungen berücksichtigt werden: die Größe, die Zusammensetzung der Startpopulation, das Ersetzungsschema und die Struktur der Population.

Untersuchungen hinsichtlich der optimalen *Populationsgröße* für Genetische Algorithmen wurden u. a. von *Grefenstette*¹¹⁵ und *Goldberg*¹¹⁶ angestellt. Generell kann festgestellt werden, dass zwischen der Gefahr vorzeitiger Konvergenz in suboptimalen Lösungen bei zu kleinen Populationen und einem ausufernden Rechenaufwand bei zu großen Populationen ein Trade-off besteht. *Grefenstette* empfiehlt auf der Basis empirischer Untersuchungen für serielle Genetische Algorithmen eine Populationsgröße zwischen 30 und 200 Individuen. Für parallele GA können die Populationen dagegen in Abhängigkeit

¹¹⁴Es lässt sich zeigen, dass die so entstandenen Ablaufpläne alle zyklensfrei sind, da die Flussrichtung der Aufträge über alle Maschinen gleich ist. Für normale JSP-Instanzen enthält die mit dieser Formel errechnete Lösungsanzahl auch ungültige Lösungen.

¹¹⁵Siehe [Gre86].

¹¹⁶Siehe [Gol89, Gol92, Gol93].

des zu lösenden Problems und der zur Verfügung stehenden Hardwareplattform auch wesentlich größer werden. Für KPZ haben sich Populationsgrößen zwischen 10 und 100 Individuen als ausreichend erwiesen.

Zur Erzeugung der *Startpopulation* eines Genetischen Algorithmus kommen nach *Nissen* drei grundsätzliche Möglichkeiten in Betracht¹¹⁷, wobei in der Literatur keine einheitlichen Aussagen zur Effektivität der Verfahren getroffen werden. Die Standard-Methode ist die zufällige Initialisierung der Ausgangsgeneration. Sie wird in den meisten GA verwendet und ist ohne großen Aufwand zu implementieren. Als Argument für eine zufällige Initialisierung der Startindividuen wird zumeist die durch sie erreichbare Heterogenität des Erbgutes angeführt. Dadurch kann das Crossover überhaupt erst seine Wirksamkeit als Operator entfalten. Dieser Gedanke wurde von *Reeves* konsequent weiterverfolgt. Statt rein zufällig erzeugter Ausgangsindividuen wählte er eine gezielt initialisierte Startpopulation, die bei minimaler Größe alle denkbaren Merkmalsausprägungen enthält. *Reeves* Verfahren generiert eine Startpopulation so, dass jeder Punkt des Suchraumes von der Ausgangspopulation aus nur durch Crossover (also ohne zusätzliche Mutation) erreichbar ist¹¹⁸.

Nicht unumstritten ist die Nutzung problemspezifischer Heuristiken für die Erzeugung der Startindividuen. Für KPZ hat sich die Initialisierung unter Benutzung verschiedener Prioritätsregeln bewährt. Auf diese Weise ist eine Dominanz der Ergebnislösung gegenüber ERP-Systemen sichergestellt. Unter Umständen erweist sich die Kombination verschiedener Methoden der Verwendung eines einzigen Ansatzes als überlegen.

Der nächste wichtige Aspekt ist das *Ersetzungsschema*. Im Standard-GA von *Holland*¹¹⁹ wurden alle Individuen der Elterngeneration vollständig durch die Individuen der Nachkommengeneration (*offspring*) ersetzt. Dieser Ersetzungsmechanismus wird als *Generational Replacement* bezeichnet. Dieses Verfahren weist den Nachteil auf, dass die Fitness des besten Individuums, wie auch die durchschnittliche Fitness in der Folgegeneration geringer sein können, als in der Elterngeneration. Die Konvergenz des Algorithmus wird verlangsamt. Außerdem können gute Schemata „verlorengehen“, da sie möglicherweise mit den derzeit existierenden Rekombinationspartnern nur schlechte Nachkommen bilden können.

Diesen Nachteil versuchte *De Jong* mit Hilfe seines *Elitismus-Modells* zu vermeiden, in welchem er n Individuen direkt in die Offspring-Generation über-

¹¹⁷Siehe [Nis94, S. 38].

¹¹⁸Siehe [Ree93, S. 93 ff.].

¹¹⁹Siehe [Hol75].

nimmt¹²⁰. Allerdings birgt der Elitismus die Gefahr in sich, dass ein besonders gutes Individuum, ein so genanntes Superindividuum mehrfach direkt weitergegeben wird und auf diese Art die folgenden Generationen dominiert. So kommt es zu einer unerwünschten, frühzeitigen Konvergenz des Algorithmus in einem lokalen Optimum. Das Konzept des *schwachen Elitismus* schaltet dieses Problem dadurch aus, dass die beste Lösung in mutierter Form an die Offspring-Generation weitergegeben wird¹²¹.

Eine weitere Methode, um den Problemen des Generational Replacement zu begegnen, stellt eine Adaption des Vorschlages von *Rechenberg*¹²² dar, die Alterung von Individuen zu simulieren. Lösungen stehen so über mehrere Generationen hinweg für die Rekombination zur Verfügung und „sterben“ erst nach einer festgelegten maximalen Zahl von Iterationen. Einen anderen Weg beschritten *Whitley*¹²³ und *Syswerda*¹²⁴. Sie entfernten sich vom Konzept des Generational Replacement und entwickelten einen eigenen Ersetzungsmechanismus, der als *stetige Ersetzung* bezeichnet wird. Dabei wird in jeder Iteration aus zwei Parents nur ein Offspring erzeugt, der das jeweils schlechteste Individuum der Population ersetzt. Ein Genetischer Algorithmus, der ein solches Ersetzungsschema verwendet, wird als *Steady-State GA* bezeichnet.

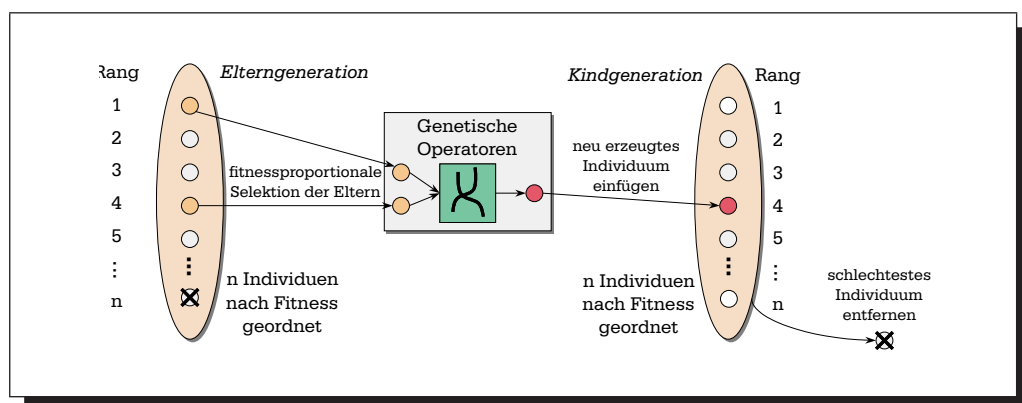


Abbildung 6.33: Steady-State GA

Sinnvoll erscheint eine Kombination aus Generational Replacement und Steady-State GA wie das Konzept der überlappenden Populationen, das von

¹²⁰Siehe [Jon75].

¹²¹Siehe [Sch94b, S. 207].

¹²²Siehe [Rec73] und [Sch94b, S. 209].

¹²³Siehe [Whi89b, Whi89a].

¹²⁴Siehe [Sys89].

*De Jong*¹²⁵ entwickelt wurde. *De Jong* führt einen zusätzlichen Strategieparameter, die Generationslücke (*generational gap*) G ein, mit $0 < G \leq 1$. Wird G gleich eins gesetzt, liegt Generational Replacement vor, $G \approx 1/x$ entspricht einem Steady-State GA.

Der vierte wichtige Punkt ist die *Populationsstruktur*. Die den Evolutionären Algorithmen innewohnende Möglichkeit zur Parallelisierung führte bereits früh zu ersten Überlegungen hinsichtlich der Einbeziehung der Populationsstruktur in den Optimierungsmechanismus. Mit der prinzipiellen Verfügbarkeit leistungsfähiger Parallelhardware wurden die Anstrengungen auf diesem Gebiet seit Ende der 80er Jahre intensiviert. Es entstanden viele Varianten, eine Population von Lösungen durch ihre Aufspaltung in mehrere Subpopulationen zu strukturieren. Diese durchlaufen getrennt voneinander und ohne Austausch von Nachrichten oder über Migrationspfade verbunden mit Nachrichtenaustausch eine eigene Optimierungsprozedur. So entstanden Insel-, Netzwerk- und Nachbarschaftsmodelle. Innerhalb der Forschungsarbeiten zum EVCM für das KPZN wurde jedoch nicht die Notwendigkeit gesehen, derartige Modelle anzuwenden.

6.3.3.2.3 Selektion

Selektionsoperatoren entscheiden darüber, welche Individuen für die Rekombination bzw. das Crossover ausgewählt werden. Wirkungsvolle evolutionäre Algorithmen nutzen, wie oben beschrieben, einerseits die Information in bereits ermittelten guten Lösungspunkten aus (*Exploitation*) und halten andererseits nach erfolgversprechenden Regionen im Suchraum Ausschau (*Exploration*). Zwischen beiden Aspekten gilt es, die Balance zu wahren. Wichtigstes Mittel dazu ist die Stärke des Selektionsdruckes, d. h. die Stärke der Auslese nach dem Darwinschen Prinzip des „Survival of the Fittest“. Bessere Individuen sollten tendenziell bessere Chancen auf Weitergabe ihres Erbgutes haben. Ein zu hoher Selektionsdruck verringert jedoch die Genvielfalt in einer Population. Der GA konvergiert sehr schnell. Die Gefahr des Steckenbleibens in lokalen Optima ist sehr hoch. Demgegenüber erhält ein sehr niedriger Selektionsdruck zwar die Genvielfalt, doch der GA ähnelt dann eher einer reinen stochastischen Suche und durchsucht den Lösungsraum eher zufällig und relativ ineffizient.

Eine allgemeine Aussage über eine optimale Höhe des Selektionsdrucks und damit über die Stärke der Gendrift kann die GA-Literatur z. Z. nicht treffen. Zwar herrscht weitgehend Einigkeit, dass in frühen Phasen der Optimierung die Auslese stärker erfolgen sollte, um schnell erfolgversprechende Regionen

¹²⁵Siehe [Nis94, S. 41].

des Lösungsraumes anzusteuern, während später ein eher niedrigerer Selektionsdruck die vorzeitige Konvergenz in suboptimalen Lösungen verhindern kann, aber wann die frühe Phase endet und mit der Absenkung des Selektionsdrucks begonnen werden kann, ist in einem Lösungsraum unbekannter Struktur nicht ohne weiteres zu beantworten.

Verschiedene Roulette-Schemata, Ranglisten, Heirat- und Turnierselktion usw. wurden implementiert und in einer Art Werkzeugkasten dem GA zur Verfügung gestellt. Aus diesem wird bei jeder Kinderzeugung stochastisch ein Selektionsverfahren einschließlich der entsprechenden Parameter ausgewählt. Auf diese Weise wird verhindert, dass ein spezifisches, ungünstig gewähltes Verfahren den Suchprozess negativ beeinflusst. Abbildung 6.34 zeigt, ohne auf die Theorie einzugehen, zwei verschiedene Verfahren mit entsprechendem Selektionsdruck bzgl. eines Beispiels von *Teich*¹²⁶. Im linken Teilbild wird durch uniforme Elternauswahl kein Selektionsdruck aufgebaut. Im rechten Teilbild bringt der Parameter 0.4 einer exponentiellen Funktion bereits erheblichen Selektionsdruck zustande.

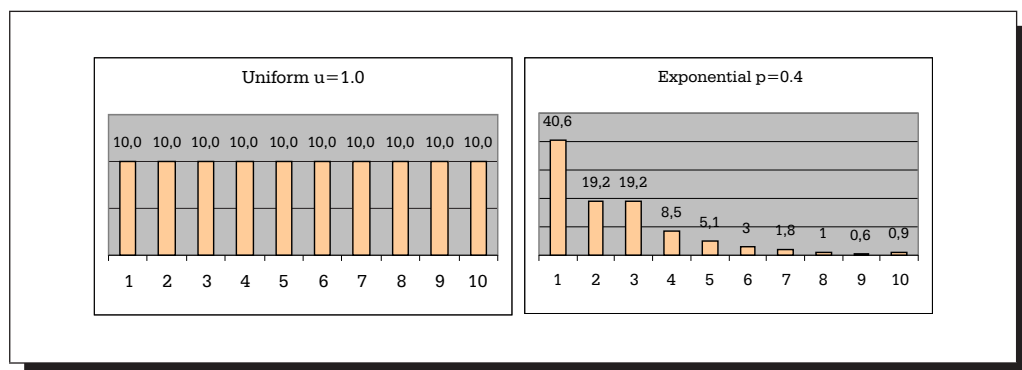


Abbildung 6.34: Selektionsdruck unterschiedlicher Selektionsoperatoren

Viele Selektionsoperatoren funktionieren ähnlich einem Glücksrad. Jedem Individuum wird ein Abschnitt auf dem Rad zugeordnet, der dem Wert seiner Fitness entspricht. Wird eine Zielgröße maximiert, kann der Zielfunktionswert proportional als Fitness-Wert übernommen werden. Bei einer Minimierung ist dagegen ein zusätzlicher Schritt für die Berechnung der Fitness aus dem Zielfunktionswert erforderlich, da das Verfahren naturgemäß Individuen mit größerer Fitness häufiger selektiert¹²⁷.

¹²⁶Siehe [Tei98b, S. 265].

¹²⁷Die Behebung damit verbundener Probleme ist in [Tei98b, S. 262 ff.] beschrieben.

6.3.3.2.4 Rekombination und Crossover

Obwohl häufig synonym verwendet, bezeichnen Rekombination und Crossover nicht dasselbe Phänomen. Im biologischen Sinn wird von Rekombination des Erbgutes gesprochen, wenn das Erbgut zweier haploider Geschlechtszellen zum diploiden Chromosomensatz einer befruchteten Eizelle kombiniert wird. Das Crossover hingegen wird in der Biologie auch als Chromosomenmutation bezeichnet. Bei diesem Prozess liegen Chromosomen während des Rekombinationsvorgangs gekreuzt übereinander. Dies kann dazu führen, dass Teile von ihnen abbrechen und mit einem anderen Chromosom zusammengefügt werden.

Da in vielen GA ein Individuum nur durch ein Chromosom kodiert wird, ist es nicht unbedingt sinnvoll, zwischen Rekombination und Crossover zu unterscheiden. Bei Mehrchromosomen-Kodierungen hingegen ist eine solche Unterscheidung durchaus von Nutzen. Etwas Konfusion besteht auch im Hinblick um den Begriff der Crossover-Rate. So bezeichnet *Bruns* die Crossover-Rate als die Wahrscheinlichkeit, mit der es zwischen zwei selektierten Individuen tatsächlich zu einem Crossover kommt¹²⁸. Laut *Bäck* liegen typische Werte für diesen Parameter zwischen 0.6 und 1.0¹²⁹. Im Zusammenhang mit dem Uniform-Crossover wird mitunter auch die Wahrscheinlichkeit, dass an einer bestimmten Stelle des Chromosoms ein Element für das Crossover ausgewählt wird, als Crossover-Rate bezeichnet. Die Werte liegen in diesem Fall bedeutend niedriger, etwa zwischen 0.05 und 0.3. Nachfolgend wird die Wahrscheinlichkeit, dass zwei selektierte Individuen tatsächlich ihr Erbgut austauschen, als Rekombinationsrate und die Wahrscheinlichkeit für die Auswahl eines Elements innerhalb eines Chromosoms als Crossoverrate bezeichnet.

Unabhängig von der gewählten Kodierung kann zwischen zwei grundsätzlichen Typen von Operatoren unterschieden werden (Abbildung 6.35). Beim *n*-Punkt-Crossover¹³⁰ werden die Chromosomen an zufälligen Stellen aufgetrennt und die Teilstücke in den anderen Partner eingefügt¹³¹. Das von *Syswerda* entwickelte Uniform-Crossover verwendet dagegen eine Bitmaske, die einzelne Elemente für den Austausch auswählt. Inzwischen ist die Anzahl verschiedener X-Operatoren beachtlich geworden. Im Folgenden wird daher nur kurz auf Operatoren eingegangen, die sich für Permutationschromosomen eignen und für die KPZ-interne Ablaufplanung Verwendung fanden.

Eine recht gute Übersicht zu X-Operatoren für Reihenfolgeprobleme findet

¹²⁸Siehe [Bru96, S. 16].

¹²⁹Siehe [Bäc92].

¹³⁰Crossover wird in Kurzbezeichnungen durch ein die sich kreuzenden Chromosomen symbolisierendes X abgekürzt.

¹³¹Dies ist in dieser Form nur bei Bit- oder Zahlenchromosomen möglich.

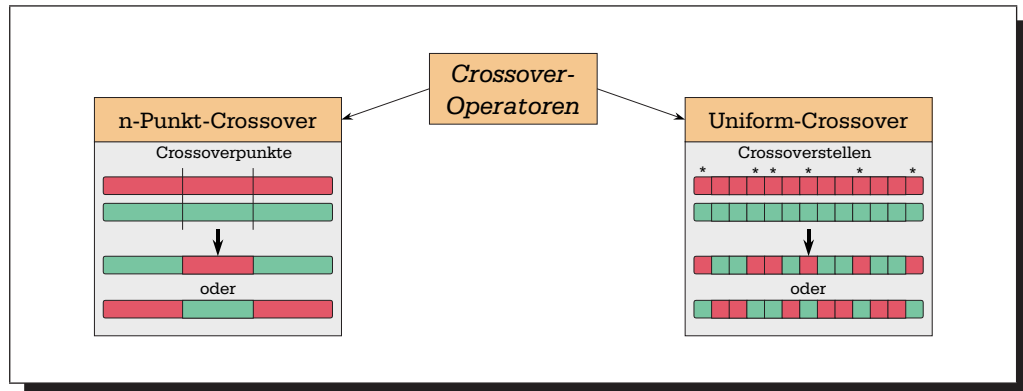


Abbildung 6.35: n-Punkt- und Uniform-Crossover

sich bei *Whitley et al.*¹³² Er stellt u. a. das Order Crossover nach *Davis*, das Partially Mapped Crossover nach *Goldberg et al.*, das Cycle-Crossover nach *Oliver et al.*, den Genetic-Edge-Operator nach *Starkweather et al.* und das Order Crossover (OX) sowie das Position Based Crossover (PBX) nach *Syswerda* vor. Diese Vielzahl von Operatoren unterscheiden sich vor allem in ihrer Fähigkeit, verschiedene Informationsaspekte, die für die Lösung von Reihenfolgeproblemen von Bedeutung sind, an die Nachkommen zu übertragen. *Whitley et al.* stellen drei unterschiedliche Aspekte heraus:

- die relative Reihenfolge von Elementen im Chromosom,
- die absolute Position von Elementen im Chromosom und
- Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Elementen des Chromosoms.

Diese Aspekte sind offenbar für die Lösung unterschiedlicher Reihenfolgeprobleme von verschiedener Wichtigkeit. Es ist nicht sicher, dass sich diese Ergebnisse ohne weiteres auf das JSP anwenden lassen. Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die GA im Travelling Salesman Problem direkt über dem Phänotyp arbeiten. Im JSP ist zumindest bei Verwendung der oben vorgestellten Kodierungen in jedem Fall eine Dekodierung der genotypischen Lösung notwendig, denn hier arbeitet der GA über dem Genotyp.

Das von *Bierwirth et al.* entwickelte Generalized Order Crossover GOX ist den n-Punkt-X Operatoren zuzuordnen¹³³. Aus einem Geber-Chromosom

¹³²Siehe [Whi91].

¹³³Dies weicht von *Syswerdas* OX ab, das als Uniform Crossover konzipiert wurde.

wird ausgehend von einer zufällig ausgewählten Stelle ein Teilstück zufälliger Länge heraus getrennt. Da das Chromosom als eine Art virtueller Ring betrachtet wird, kann dieses Teilstück auch über das Ende des Chromosoms hinaus reichen. Dadurch wird ein so genannter Positions-Bias weitgehend vermieden¹³⁴. Dieses Teilstück wird in das Nehmer-Chromosom an der Stelle eingefügt, an der das zuerst im Teilstück stehende Element vorkommt. Die im Teilstück übertragenen Arbeitsvorgänge werden dann im Nehmer-Chromosom gelöscht.

Das von *Teich* entwickelte Generalized Position Based Crossover GPBX ist in Anlehnung an das PBX als Uniform Crossover konzipiert. In einem ersten Schritt werden zufällig die Elemente für das Crossover mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ausgewählt. Die als Crossover-Rate hinterlegte Auswahlwahrscheinlichkeit liegt unter 0.15. Größere Werte führen tendenziell zu einer überdimensionalen Weitergabe des Erbgutes von Parent 1. Dies zeigten vom Autor durchgeführte Tests. Die ausgewählten Elemente werden aus Parent 1 direkt an die gleichen Positionen im Offspring übertragen. In einem zweiten Schritt werden diejenigen Elemente, die in Parent 1 zwischen zwei Crossoverpunkten bzw. zwischen einem Crossoverpunkt und dem Anfang oder Ende des Chromosoms liegen, in der relativen Ordnung von Parent 2 übertragen.

6.3.3.2.5 Mutation

Die Mutation stellt den Background-Operator der genetischen Suche dar. Während das Crossover und die Rekombination vor allem die Exploitation guter Lösungen und damit die Exploration erfolgversprechender Abschnitte des Lösungsraumes vorantreiben, verhindert die Mutation eine zu starke Gendrift und sichert die Exploration von Lösungsraumbereichen, die durch Rekombination des gegenwärtigen Erbgutes nicht oder nur schwer zu erreichen wären. Es liegt klar auf der Hand, dass die Mächtigkeit des Mutationsoperators in entscheidendem Maße die Nähe der mutierten Lösungen zur bisherigen Population bestimmt. Nachfolgend werden Mutationsoperatoren genannt, die die Struktur einer existierenden Lösung in zunehmendem Maße zerstören, beginnend mit dem einfachen Tausch zweier Vorgänge bis hin zur zufälligen Erzeugung einer gänzlich neuen Lösung. Es wurden der Shift-, der Order Based Mutation-, der Position Based Mutation- (PBM), der Scramble Sublist Mutation-, der Translokations-Mutation-, der Inversions-Mutation-

¹³⁴Als Positions-Bias wird die Eigenart der n-Punkt-Crossover bezeichnet, Elementkombinationen, die weit entfernt auf dem Chromosom liegen, häufiger auseinander zu reißen, als solche, die nahe beieinander liegen. Dadurch werden letztere bevorzugt vererbt. Uniform Operatoren besitzen einen Positions-Bias von 0.

und der Random-Mutation-Operator implementiert und in Analogie zu den Crossover-Operationen dem GA zur Verfügung gestellt¹³⁵.

6.3.3.2.6 Lösungsevaluierung und Fitnessfunktion

Um die Fitness einer Lösung des GA zu berechnen, muss diese zunächst dekodiert, also in einen Phänotyp umgewandelt werden.

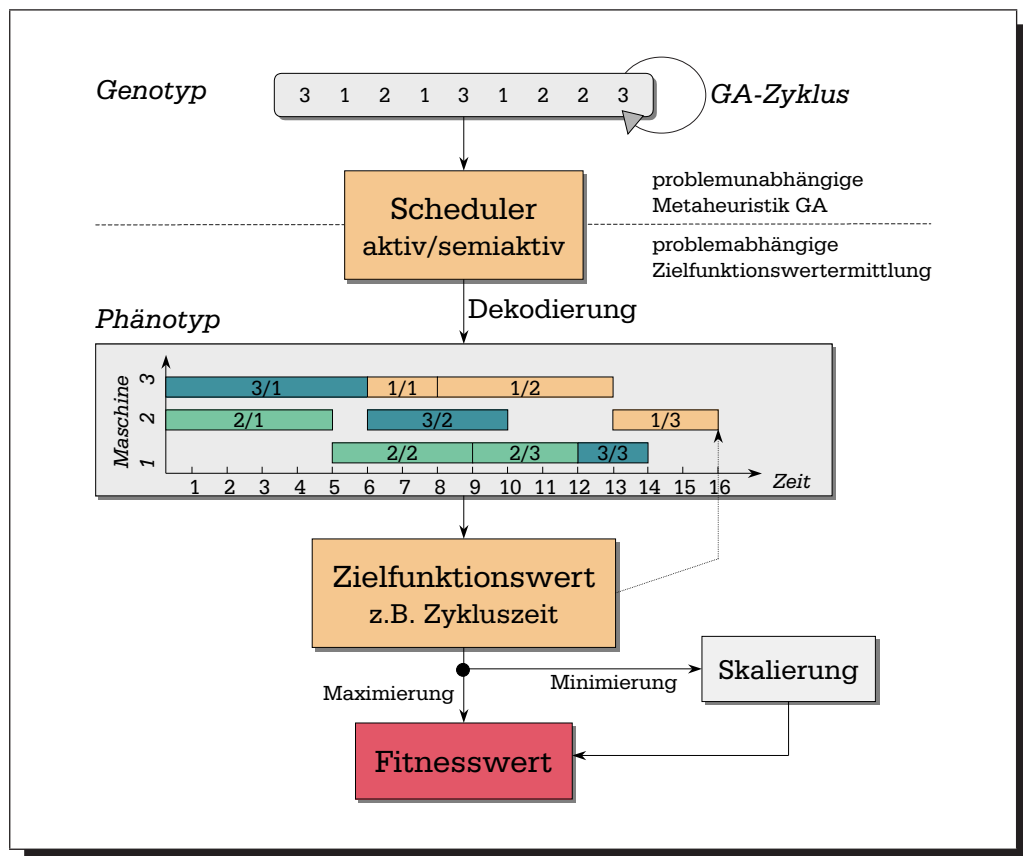
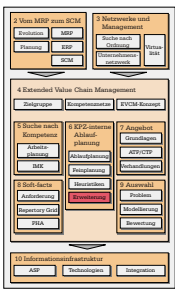


Abbildung 6.36: JSP-Lösungsevaluierung

Dafür kommen bei der Lösung von Job Shop Problemen aktive und semiaktive Scheduler in Frage. Wird ein aktiver Scheduler zur Dekodierung der genotypischen Lösung verwendet, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, durch den Scheduler verursachte Reihenfolgeänderungen in den Genotyp zu übernehmen. Das dies Vorteile für die genetische Suche mit sich bringt, haben

¹³⁵Für nähere Erklärungen siehe [Tei98b, S. 272 ff.].

Tests erwiesen. Für ein Übertragen der geänderten Reihenfolgen in den Genotyp spricht ebenfalls die Auffassung, dass bessere Individuen tendenziell auch bessere Nachkommen erzeugen. Aus dem Phänotyp kann der Zielfunktionswert ermittelt werden. Da die genetische Suche Individuen höherer Fitness bevorzugt für die Weitergabe des Erbgutes auswählt, kann im Falle einer Maximierungsaufgabe¹³⁶ der Zielfunktionswert direkt als Fitnesswert übernommen werden. Wird hingegen minimiert, so muss der Zielfunktionswert über eine Skalierungsfunktion in den Fitnesswert umgerechnet werden (siehe Abbildung 6.36).



6.4 KPZ-spezifische Erweiterungen der Ablaufplanung

Mittlerweile existiert eine Vielzahl heuristischer Verfahren zur Maschinenbelegungsplanung mit durchaus für die Praxis tauglichen Rechenergebnissen, erzielt in vertretbaren Rechenzeiten. Die Verwertung der genannten Lösungsansätze in einer konkreten Kompetenzzelle erfordert dennoch zusätzliche Anstrengungen, da unumgehbare praktische Belange wie

- die Einbeziehung eines Betriebskalenders,
- das Verwenden verschiedener Kapazitätstypen,
- das Realisieren mehrerer Kapazitätsarten und
- das Beachten reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten von Arbeitsvorgängen

in den „akademischen“ Lösungen von reinen Maschinenbelegungsproblemen nicht betrachtet werden. *Köbernik*¹³⁷ und *Käschel/Teich*¹³⁸ liefern hierzu eine Übersicht. In diesem Unterabschnitt werden nur einige wenige relevante Problemstellungen kurz diskutiert.

Die Aufgabe des deterministischen Scheduling ist, für einen gegebenen Bestand an Aufträgen gültige Belegungspläne entsprechend der beteiligten Ressourcen (Kapazitäten) zu erzeugen. Dabei werden die Kapazitäten vom jeweiligen Arbeitsvorgang bestimmt und können sich in Art und Typ unterscheiden. Eine *Kapazitätsart* verkörpert eine eigenständige Ressourcenklasse,

¹³⁶Dies wäre z. B. bei der Maximierung der Kapazitätsauslastung der Fall.

¹³⁷Die Ausführungen dieses Abschnitts resultieren aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes *Mobileit-S*, an welchem *Teich* und *Köbernik* gemeinsam arbeiteten und die in [Kö99, S. 129 ff.] dokumentiert sind und modifiziert übernommen wurden.

¹³⁸Siehe [Kä02a].

die aus einer Ableitung von *Kapazität* resultiert. Beispiele für Kapazitätsarten sind *Personal* (Arbeitskräfte) und *Bearbeitungsstation* (Arbeitsplätze). Für jede Kapazitätsart existieren entsprechende Ressourcen (Instanzen), die im Zuge einer Belegungsplanung den auszuführenden Arbeitsvorgängen konfliktfrei zugeordnet werden. Ein Arbeitsvorgang kann zum Zeitpunkt seiner Ausführung mehrere Kapazitätsarten bedingen, was eine Konjunktion von Ressourcen mit unterschiedlichen Kapazitätsarten bedeutet.

Ein *Kapazitätstyp* definiert spezielle Eigenschaften für Ressourcen in Bezug auf die Bearbeitung eines Arbeitsvorgangs. Im weiteren Vorgehen sollen für die Kapazitätsart *Bearbeitungsstation* zwei Kapazitätstypen unterschieden werden. Sie legen mögliche Parallelitäten in der Ausführung von Arbeitsvorgängen auf einer Ressource fest, d. h. sie bestimmen, wie viele Arbeitsvorgänge simultan auf einer Ressource bearbeitet werden können. Jede Ressource besitzt implizit den Kapazitätstyp `ONE_JOB`, kann aber durch eine explizite Angabe der maximalen Anzahl gleichzeitig ausführbarer Arbeitsvorgänge mit größer als Eins den Kapazitätstyp `MULTI_JOB` erlangen.

6.4.1 Betriebskalender und Schichtplan

Ein *Betriebskalender* ist ein spezielles Maßsystem für den betrieblichen Zeitablauf (Werktage) mit besonderer Berücksichtigung der für die Fertigung und damit auch für die Fertigungssteuerung relevanten Arbeitszeiten. Notwendig wird ein Betriebskalender aufgrund nichtfixer Arbeitszeitlängen für Kalenderperioden, verursacht¹³⁹ durch nicht konstante Periodendauern¹⁴⁰, durch die Lage der Wochenenden¹⁴¹, durch Feiertage sowie durch betriebsbedingte arbeitsfreie Zeiten¹⁴². Desweiteren soll ein Betriebskalender für Transparenz im Umgang mit Terminen und Zeitdauern sorgen und einen Vergleich von Perioden¹⁴³ ermöglichen. Kalendersysteme können *dezimal* und *gregorianisch* gegliedert sein¹⁴⁴. Beide haben entsprechende Vor- und Nachteile.

Während der Betriebskalender den Beginn und das Ende von Werktagen determiniert, werden durch *Schichtpläne* Personalkapazitäten diesen Werk-

¹³⁹Siehe [Ste93, S. 300].

¹⁴⁰Ein Monat kann 28 bis 31 Tage lang sein. Ein Jahr kann 365 oder 366 Tage umfassen.

¹⁴¹Innerhalb eines Monats können Wochenenden 8, 9 oder 10 arbeitsfreie Tage bewirken. Die Zahl der Wochenenden schwankt im Jahr zwischen 52 und 53.

¹⁴²Beispiele für betriebsbedingte arbeitsfreie Zeiten sind Betriebsferien, Generalreparaturen usw.

¹⁴³Perioden haben im Betriebskalender fixe Längen. Typisch sind Dekaden mit 10 Arbeitstagen und Fabrikmonate mit 21 Arbeitstagen.

¹⁴⁴Siehe [Ste93, S. 301].

tagen zugeordnet. Der Schichtplan legt für jeden Arbeitnehmer den Arbeitszeitrahmen für eine Periode fest. Mit dem *Tagesprogramm* werden alle den Arbeitszeitrahmen betreffenden Zeiten beschrieben. Solche Zeiten sind Arbeitsbeginn, Arbeitsende aber auch Arbeitspausen mit entsprechendem Pausenbeginn und Pausenende.

Für die nachfolgende Betrachtung des Problems der Maschinenbelegung unter Einbeziehung eines Betriebskalenders soll im Weiteren von einem Betriebskalender ausgegangen werden, der eine Unterbrechung des Arbeitsablaufes von Montag bis Freitag von 16.00 Uhr bis 7.00 Uhr erzwingt. Eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Auswirkungen eines Betriebskalenders auf eine Maschinenbelegung spielt dabei die Möglichkeit, Arbeitsvorgänge zu unterbrechen. Arbeitsvorgänge beanspruchen laut REFA-Schema¹⁴⁵ für ihre Durchführung Belegungszeiten, Übergangszeiten und Zusatzzeiten. Dabei ist für eine Analyse der Unterbrechungsfähigkeit eines Arbeitsvorganges die Belegungszeit, die sich aus Rüstzeit und Bearbeitungszeit zusammensetzt, ausschlaggebend. Übergangszeiten und Zusatzzeiten werden aus Gründen der praktischen Relevanz nicht in die weitere Untersuchung einbezogen. Diese Zeiten gelten jederzeit als unterbrechbar, ohne zusätzliche Kosten zu verursachen. Zur weiteren Problembeschreibung ergeben sich für *jeden* Arbeitsvorgang die von der fachkompetenten Arbeitsplanung festzulegenden Fallunterscheidungen:

Ein Arbeitsvorgang ist nicht unterbrechbar. Rüst- und Bearbeitungsvorgang stellen eine Einheit dar und können nicht unterbrochen werden¹⁴⁶.

Ein Arbeitsvorgang ist beliebig unterbrechbar. Zu jedem Zeitpunkt besteht die Möglichkeit, einen Arbeitsvorgang zu unterbrechen¹⁴⁷. Eine Wiederaufnahme der Arbeit geschieht grundsätzlich auf der gleichen Bearbeitungsstation und kann entsprechende Zusatzkosten¹⁴⁸ verursachen.

Ein Arbeitsvorgang ist determiniert unterbrechbar. Das Unterbrechen eines Arbeitsvorgangs kann zu genau definierten Zeitpunkten erfolgen. Unterbrechungszeitpunkte repräsentieren dabei immer einen bestimmten Abarbeitungsstand eines Arbeitsvorgangs und können durch Aufzählen

¹⁴⁵Vgl. [REF91b, Bd. 3, S. 15 ff.].

¹⁴⁶Ein Beispiel für nicht unterbrechbare Arbeitsvorgänge ist das Tauchen von Werkstücken. Während des Aufheizens bzw. nach erfolgtem Aufheizen des Tauchbades ist es nicht sinnvoll, den Arbeitsvorgang zu unterbrechen. Ein Unterbrechen des Arbeitsvorgangs während des Tauchens schließt sich von selber aus.

¹⁴⁷Beispiele für beliebig unterbrechbare Arbeitsvorgänge sind Montagevorgänge.

¹⁴⁸Zusatzkosten können Anlaufzeiten, aber auch erneute Rüstzeiten sein.

oder als Funktion angegeben werden. Analog zu beliebig unterbrechbaren Arbeitsvorgängen erfolgt eine Wiederaufnahme der Arbeit ohne den Wechsel der Bearbeitungsstation und kann zu entsprechenden Zusatzkosten führen.

Das Einbeziehen eines Betriebskalenders bei der Erstellung eines Belegungsplanes erfolgt im Scheduling (siehe Abbildung 6.37). Ausgangspunkt ist dabei eine durch den Genetischen Algorithmus erzeugte Einplanungsreihenfolge für einen Belegungsplan.

```

1 begin
2    $\exists s : \forall j, j = 1, \dots, n \exists t_{j1}^s \geq 0; \quad s_{plan} := \emptyset;$ 
3   for ( $idx := 0; idx < CARD(s); idx := idx + 1$ ) do
4      $o_{jk}^* := IDX(s, idx);$ 
5      $M_i^* := \tau_{jk}^*;$ 
6     if  $\exists (o_{j'k'}, o_{jk}^*) \in E_i$  then  $t' := t_{j'k'}^e;$  else  $t' := t_{jk}^{*s};$  fi
7     if  $k^* > 1$  then  $t'' := t_{jk-1}^{*e};$  else  $t'' := t_{jk}^{*s};$  fi
8      $t_{min} = \max\{t', t''\};$ 
9     if unterbrechbar( $o_{jk}^*$ )
10      then  $t_{jk}^{*s} := \min\{\forall t : (t \geq t_{min}) \wedge$ 
11        (ab  $t$  existieren  $(p_{jk}^* + x)$  zur Belegung nutzbare
12        ZE, mit einer zusammenhängenden Belegungszeit
13        vor einer Unterbrechung größer als die daraus re-
14        sultierende Zusatzzeit)};
15       $t_{jk}^{*e} := t_{jk}^{*s} + p_{jk}^* + \text{Unterbrechungszeiten} +$ 
16        Zusatzzeiten;
17      else /*  $o_{jk}^*$  ist nicht unterbrechbar */
18       $t_{jk}^{*s} := \min\{\forall t : (t \geq t_{min}) \wedge$ 
19        (ab  $t$  sind  $p_{jk}^*$  ZE zusammenhängend)};
20       $t_{jk}^{*e} := t_{jk}^{*s} + p_{jk}^*;$ 
21    fi
22     $s_{plan} := s_{plan} \cup o_{jk}^*;$ 
23 od
24 end

```

Abbildung 6.37: Scheduling unter Beachtung von Unterbrechungen

Durch Vorwärtsterminierung werden den Arbeitsvorgängen Start- und Fertigstellungstermine zugeordnet, die mit einem gegebenen Betriebskalender

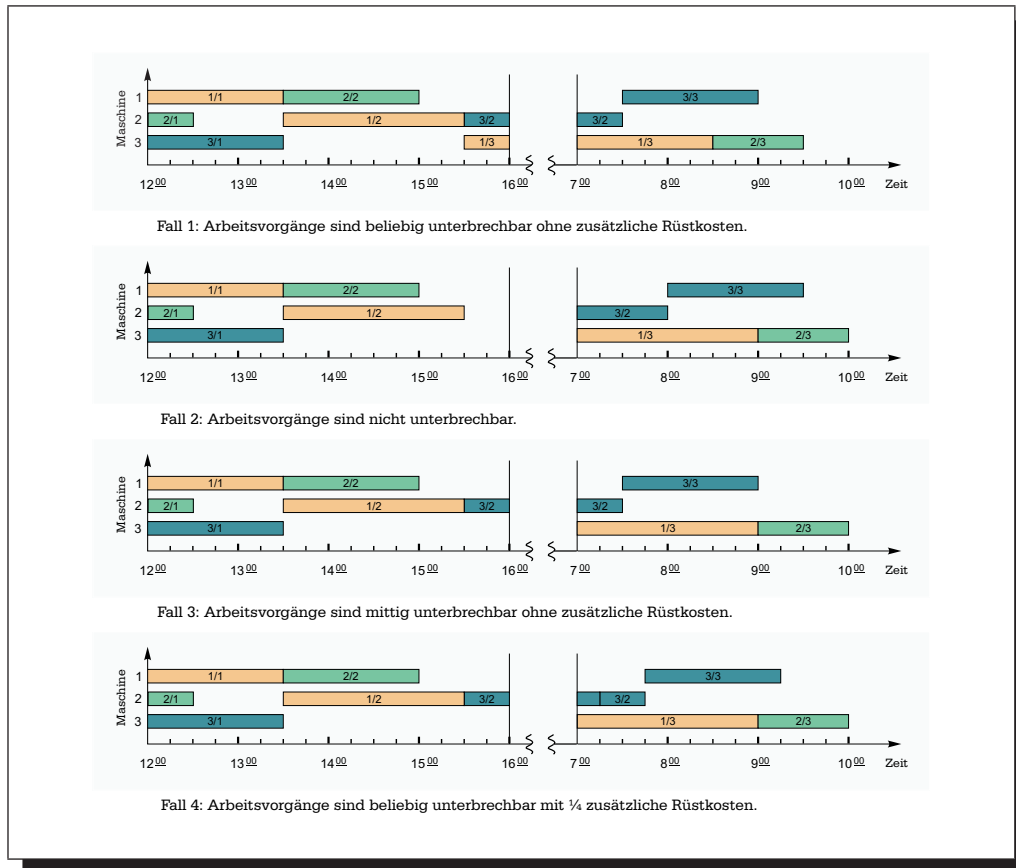


Abbildung 6.38: Unterbrechungsszenarien von Arbeitsvorgängen

abgeglichen werden. Der Abgleich besteht im Prüfen des Starttermins auf Gültigkeit bzw. im Ermitteln eines gültigen (späteren) Starttermins und im Bereitstellen einer dem Arbeitsgang adäquaten Belegungszeit. Je nach Unterbrechbarkeit des einzuplanenden Arbeitsvorgangs kann eine solche Belegungszeit zusammenhängend oder geteilt sein. Entsteht bei der Unterbrechung eines Arbeitsvorgangs Mehraufwand, so ist diese nur dann sinnvoll, wenn die Zusatzzeit nicht größer als der unmittelbar vor der Unterbrechung liegende Anteil der Belegungszeit ist. Abbildung 6.38 illustriert verschiedene Szenarien der Unterbrechung für eine gegebene Belegungsplanung.

Aus praktischen Erwägungen kann es durchaus sinnvoll sein, einen durch den Betriebskalender vorgegebenen Werktag geringfügig zu überziehen oder vorzeitig zu beenden. Bei einem Arbeitsvorgang mit großer Belegungszeit ist es sicher nicht sinnvoll, diesen aufgrund einer sehr kleinen Überschreitung

des Werktages zu unterbrechen. Genauso wenig sinnvoll ist es aber auch, einen Auftrag mit großer Belegungszeit unmittelbar vor Beendigung eines Werktages anzufangen. Das Ende eines Werktages sollte daher nicht als ultimativ betrachtet werden. Die Angabe einer maximalen Über- bzw. Unterschreitung sowie die Ausschöpfung dieser Spielräume in Abhängigkeit von der Belegungszeit eines Auftrages realisiert die nachfolgende Formel:

$$L_{Werktag} = \min \left\{ \frac{p_{jk}}{K}, L_{Werktag}^{max} \right\}. \quad (6.27)$$

Als Vorschlag für eine geduldete Überschreitung $L_{Werktag}$ eines Werktages durch einen Arbeitsvorgang wurde ein Zehntel seiner Bearbeitungszeit ($K = 10$) bei einer maximal zulässigen Überschreitung $L_{Werktag}^{max}$ von 10 Minuten als akzeptabel befunden.

Das Einbeziehen von Schichtplänen in eine Belegungsplanung erfolgt analog dem eines Betriebskalenders. Schichtpläne beziehen sich auf Arbeitskräfte und bestimmen die Verfügbarkeit dieser in Form von zugeordneten Arbeitszeiten. Die Verfügbarkeit einer einem Arbeitsvorgang zugeordneten Arbeitskraft ist Voraussetzung für dessen Ausführung, was zwangsläufig zu Unterbrechungen von Arbeitsabläufen führen kann. Das Arbeitsprinzip des Scheduling-Algorithmus für das Einplanen von Arbeitsvorgängen unter Einbeziehung von Schichtplänen gilt analog.

6.4.2 Kapazitätstypen

Als Erweiterung des bisherigen Problems der Maschinenbelegung, in dem eine Bearbeitungsstation zu einem Zeitpunkt genau einen Arbeitsvorgang bearbeiten kann (ONE_JOB), stehen im weiteren Bearbeitungsstationen mit einem Kapazitätstyp, der es gestattet, auf diesen simultan mehr als einen Arbeitsvorgang auszuführen (MULTI_JOB), im Mittelpunkt der Betrachtung.

Das Scheduling eines Arbeitsvorgangs auf einer Bearbeitungsstation mit Kapazitätstyp MULTI_JOB kann auf zwei Arten erfolgen:

Die Einplanung erfolgt durch unverzögerte Vorwärtsterminierung. Das Terminieren eines Arbeitsvorgangs geschieht zum frühestmöglichen Zeitpunkt und unter Beachtung der Möglichkeit einer simultanen Bearbeitung des Arbeitsvorgangs mit seinem unmittelbaren Vorgänger auf der entsprechenden Bearbeitungsstation. Abbildung 6.39 illustriert im

Fall 1 eine solche Einplanung, verdeutlicht aber auch im Fall 2, dass auf diese Weise ein großes Optimierungspotenzial nicht beachtet wird. Ein Scheduling mit unverzügter Vorwärtsterminierung erzielt im Fall 2 keine gleichzeitige Bearbeitung von Arbeitsvorgängen.

Die Einplanung erfolgt durch verzögerte Vorwärtsterminierung. Das Terminieren eines Arbeitsvorgang kann mit seinem unmittelbaren Nachfolger auf der entsprechenden Bearbeitungsstation realisiert werden. Damit findet die Einplanung eines Arbeitsvorgangs nicht mehr zwangsläufig zum frühestmöglichen Zeitpunkt statt. Die Vorwärtsterminierung eines Arbeitsvorgangs wird auf seinen Nachfolger verzögert. Abbildung 6.39 zeigt im Fall 2 eine Verzögerung des Arbeitsvorgangs 1/2 auf den Arbeitsvorgang 3/2.

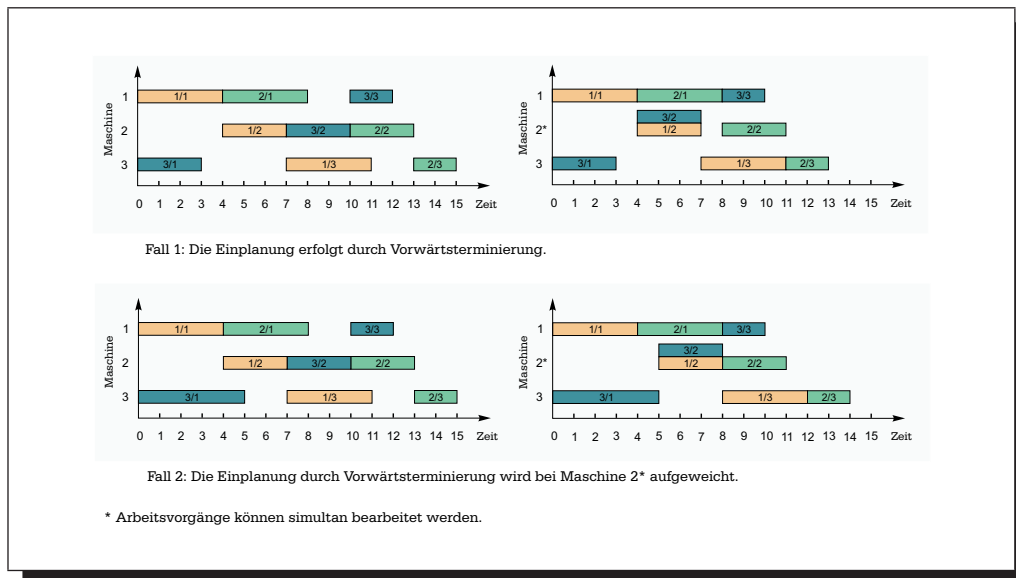


Abbildung 6.39: Einplanung mit Kapazitätstyp MULTI_JOB

Die oben genannten Arten der Einplanung können während der Erstellung eines Belegungsplanes durchaus in Kombination auftreten und in unterschiedlicher Ausprägung eine gleiche Maschinenbelegung bewirken. Bezogen auf eine Bearbeitungsstation mit Kapazitätstyp MULTI_JOB kann ein Arbeitsvorgang auf seinen Nachfolger verzögert werden und mit diesem einen Arbeitsvorgangsblock bilden. Für diesen Block besteht jedoch prinzipiell die Möglichkeit einer Vorwärtsterminierung und damit einer simultanen Einplanung.

nung mit seinem Vorgänger. Das Resultat ist gleich einer Einplanung durch eine unverzögerte Vorwärtsterminierung.

Auf einer Bearbeitungsstation mit Kapazitätstyp `MULTI_JOB` wird das Einplanen eines Arbeitsvorgangs durch unverzögerte Vorwärtsterminierung ausschließlich im Scheduling-Algorithmus realisiert, während die Einplanung

```

/* mpred ermittelt in splan alle direkten Vorgänger von ojk* bezüglich Mi.
Rückgabewert: Menge von Arbeitsvorgängen. */
1 funct mpred(splan, ojk*)
2   Mi := τjk*;
3   if (∃(oj'k', ojk*) ∈ Ei)
4     then mpred := {∀ojk ∈ splan : (tjks = tj'k's) ∧ (Tjk = Mi)};
5     else mpred := ∅; fi
6 .
/* check_scheduling_with_mpred prüft in s das simultane Einplanen von
ojk* mit seinem direkten Vorgänger auf Mi mit Mikap als Parameter für
die maximale Anzahl gleichzeitig ausführbarer Arbeitsvorgänge vom gleichen Typ
mit gleicher Bearbeitungsdauer pjk. Rückgabewert: true – ojk* ist einplanbar;
false – ojk* ist nicht einplanbar. */
1 funct check_scheduling_with_mpred(s, ojk*)
2   Mi := τjk*;
3   check_scheduling_with_mpred :=
4   ((TYPE(Mi) = MULTI_JOB) ∧ (∃(oj'k', ojk*) ∈ Ei) ∧
5   (oj'k' ∈ s) ∧ (TYPE(oj'k') = TYPE(ojk*)) ∧
6   (((k* = 1) ∧ (tj'k's ≥ tj1s)) ∨ ((k* > 1) ∧ (tj'k's ≥ tjk-1e)) ∧
7   (ojk-1* ∉ mpred(s, ojk*))) ∧
8   (CARD(mpred(s, ojk*)) < Mikap);
9 .
/* schedule_avo plant ojk* in splan ein. */
1 proc schedule_avo(splan, ojk*)
2   Mi := τjk*;
3   if ∃(oj'k', ojk*) ∈ Ei then t' := tj'k'e; else t' := 0; fi
4   if k* > 1 then t'' := tjk-1e; else t'' := tj1s; fi
5   if check_scheduling_with_mpred(splan, ojk*)
6     then tjks := tj'k's; else tjks := max{t', t''}; fi
7   tjke := tjks + pjk*;
8   splan := splan ∪ ojk*;
9 .
1 begin
2   ∃ s : ∀j, j = 1, ..., n ∃ tj1s ≥ 0; splan := {};
3   for (idx := 0; idx < CARD(s); idx := idx + 1) do
4     ojk* := IDX(s, idx);
5     schedule_avo(splan, ojk*);
6   od
7 end

```

Abbildung 6.40: Unverzögertes Scheduling mit Kapazitätstyp MULTI_JOB

eines Arbeitsvorgangs durch verzögerte Vorwärtsterminierung sowohl den Scheduling-Algorithmus als auch die Kodierung des Chromosoms betrifft. Der in Abbildung 6.40 dargestellte Scheduling-Algorithmus realisiert eine unverzögerte Vorwärtsterminierung auf Bearbeitungsstationen mit Kapazitätstyp MULTI_JOB. Er stellt einen einfachen Weg zum Integrieren des Kapazitätstyps MULTI_JOB dar, unter der Einschränkung des in Abbildung 6.39 aufgezeigten Fallbeispiels 2. Die Einbeziehung der Möglichkeit einer Blockbildung von Arbeitsvorgängen nach Fallbeispiel 2 birgt ein hohes Optimierungspotenzial und soll Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung sein.

Die Lösung einer verzögerten Vorwärtsterminierung von Arbeitsvorgängen auf Bearbeitungsstationen mit Kapazitätstyp MULTI_JOB gliedert sich in das Beantworten von zwei Teilfragen:

- Wann wird ein Arbeitsvorgang verzögert?
- Wie kann ein verzögerter Arbeitsvorgang vom Scheduling-Algorithmus aufgelöst werden?

Die Entscheidung, ob ein Arbeitsvorgang verzögert wird, ist Bestandteil der Kodierung des Chromosoms und soll durch den Genetischen Algorithmus bezüglich der Optimierung einer Zielfunktion getroffen werden. Dazu enthält jedes Gen eine binäre Information über die Verzögerung des entsprechenden Arbeitsvorgangs (*Verzögerungsbit* vb).

Das Verzögerungsbit stellt eine Anweisung für den Scheduler dar und obliegt im Weiteren dessen Auswertung bei der Einplanung des Arbeitsvorgangs. Ist das Verzögerungsbit gleich null, findet keine Verzögerung statt. Die Einplanung des Arbeitsvorgangs erfolgt durch unverzögerte Vorwärtsterminierung. Bei einem Verzögerungsbit gleich eins wird dagegen der Scheduler aufgefordert, eine Verzögerung des Arbeitsvorgangs zu versuchen. Dabei entscheidet letztendlich der Scheduler, ob eine Verzögerung des Arbeitsvorgangs bei gesetztem Verzögerungsbit möglich ist oder nicht (siehe Abbildung 6.41). Eine Manipulation der Verzögerungsbits realisieren die Crossover-Operatoren sowie Standardoperatoren zur Mutation für Bitkodierungen.

Die Hauptarbeit für das korrekte Einplanen eines Arbeitsvorgangs mit verzögerter Vorwärtsterminierung liegt beim Scheduler. Das im Arbeitsvorgang gesetzte Verzögerungsbit weist diesen an, eine verzögerte Vorwärtsterminierung zu versuchen, stellt aber keine Garantie dar, ob eine solche auch möglich ist. Ziel ist das Einplanen des Arbeitsvorgangs mit seinem Nachfolger auf der entsprechenden Bearbeitungsstation bzw. mit dem Nachfolger des Nachfolgers usw., wenn dessen Verzögerungsbit ebenfalls gesetzt ist.

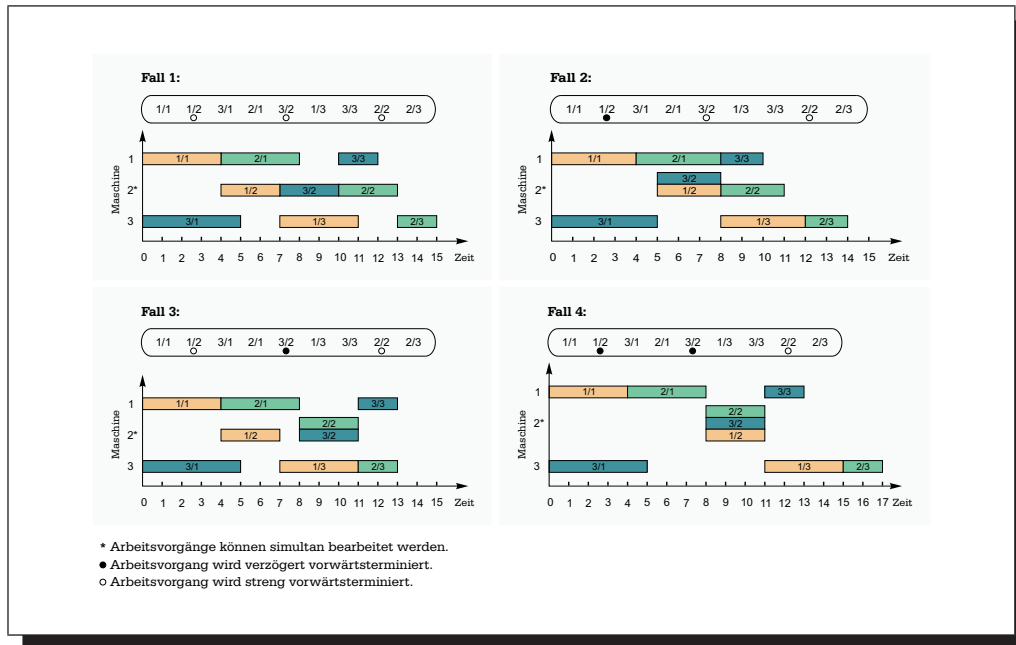


Abbildung 6.41: Kodierungsbeispiele mit verzögerter Vorwärtsterminierung

Als Wirkung entsteht ein Arbeitsvorgangsblock, der auf den nachfolgenden Arbeitsvorgang der Bearbeitungsstation verzögert wird. Ein solcher Arbeitsvorgangsblock wird genau dann aufgelöst, wenn der auf der Bearbeitungsstation nachfolgende Arbeitsvorgang nicht in den Arbeitsvorgangsblock aufgenommen werden kann oder wenn ein Arbeitsvorgang mit nicht gesetztem Verzögerungsbit in den Arbeitsvorgangsblock aufgenommen wurde. Detaillierte Informationen über den Scheduler und auftretende Probleme werden von *Köbernik*¹⁴⁹ ausführlich behandelt und sollen an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

6.4.3 Kapazitätsarten

Beinhaltet eine Belegungsplanung n unterschiedliche Kapazitätsarten, so bedingt das Ausführen eines Arbeitsvorgangs o_{jk} eine gültige Ressourcenzuordnung in der Form von $R_{jk}^z = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ sowie deren gleichzeitige Verfügbarkeit. Ein Arbeitsvorgang wird durch genau eine Arbeitskraft auf genau einer Bearbeitungsstation ausgeführt. Desweiteren bestehen für Arbeitsvorgang, Arbeitskraft und Bearbeitungsstation Beziehungsabhängigkei-

¹⁴⁹Siehe [Kö99, S. 150 ff.].

ten in der Form, dass zwischen einer dem Arbeitsvorgang zugeordneten Arbeitskraft und Bearbeitungsstation ein gültiges Qualifizierungs- und Berechtigungsverhältnis existieren muss. Das Resultat ist eine Ressourcenzuordnung aus den Kapazitätsarten *Personal* und *Bearbeitungsstation* als Tupel $R_{jk}^z = (r_1, r_2)$ mit $r_1 \in P$ (Arbeitskraft) und $r_2 \in M$ (Bearbeitungsstation).

Aus einem Tupel R_{jk}^z bestimmt sich für einen Arbeitsvorgang eine Rüst- und Bearbeitungszeit, bestehend aus dem Maximum der jeweiligen Rüst- und Bearbeitungszeiten für Personal und Bearbeitungsstation:

$$\forall o_{jk} : s_{jk} = \max\{s_{jk}^{r_1}, s_{jk}^{r_2}\}, \quad (6.28)$$

$$\forall o_{jk} : p_{jk} = \max\{p_{jk}^{r_1}, p_{jk}^{r_2}\}. \quad (6.29)$$

Die resultierende Rüst- und Bearbeitungszeit eines Arbeitsvorgangs determiniert den frühestmöglichen Startzeitpunkt seines technologischen Nachfolgers. Gleichzeitig wird die Belegungsdauer einer Ressource durch einen Arbeitsvorgang von dessen Rüst- und Bearbeitungszeit auf der entsprechenden Ressource festgelegt.

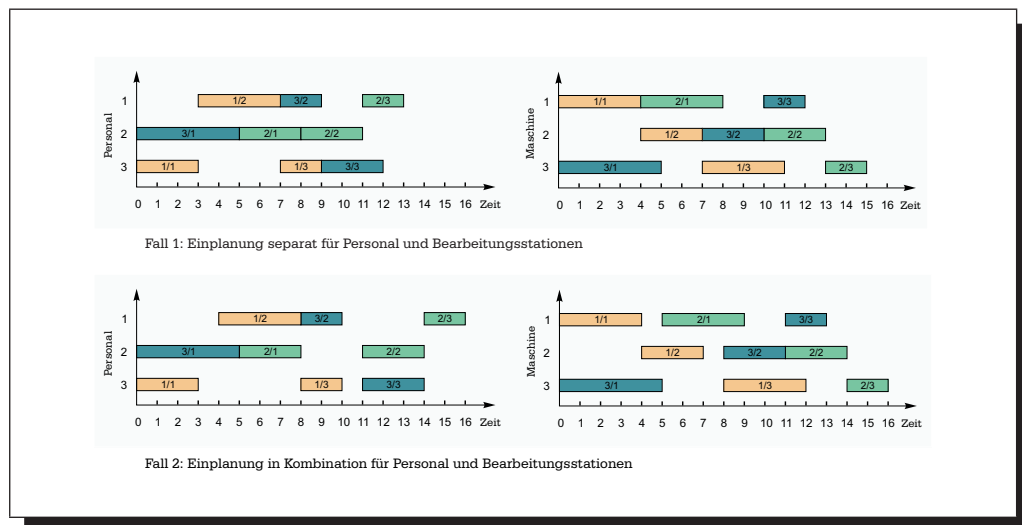


Abbildung 6.42: Einplanung mit mehreren Kapazitätsarten

Ein Beispiel für eine Belegungsplanung mit den Kapazitätsarten *Personal* und *Bearbeitungsstation* illustriert die Abbildung 6.42. Fall 1 zeigt eine separate Einplanung für jede Kapazitätsart, während Fall 2 eine Einplanung für alle Kapazitätsarten durch den in Abbildung 6.43 dargestellten Scheduling-Algorithmus demonstriert.

```

1 begin
2    $\exists s : \forall j, j = 1, \dots, n \exists t_{j1}^s \geq 0; \quad s_{plan} := \emptyset;$ 
3   for ( $idx := 0; \quad idx < CARD(s); \quad idx := idx + 1$ ) do
4      $o_{jk}^* := IDX(s, idx);$ 
5      $P_p^* := \tau_{jk}^{P^*};$ 
6      $M_i^* := \tau_{jk}^{M^*};$ 
7     if  $\exists (o_{j'k'}, o_{jk}^*) \in E_p$  then  $t' := t_{j'k'}^s + p_{j'k'}^{r1};$ 
8         else  $t' := t_{jk}^{*s};$  fi
9     if  $\exists (o_{j''k''}, o_{jk}^*) \in E_i$  then  $t'' := t_{j''k''}^s + p_{j''k''}^{r2};$ 
10        else  $t'' := t_{jk}^{*s};$  fi
11     if  $k^* > 1$  then  $t''' = t_{jk-1}^{*s} + \max\{p_{jk-1}^{*r1}, p_{jk-1}^{*r2}\};$ 
12        else  $t''' = t_{jk}^{*s};$  fi
13      $t_{jk}^{*s} = \max\{t', t'', t'''\};$ 
14      $s_{plan} := s_{plan} \cup o_{jk}^*;$ 
15 od
16 end

```

Abbildung 6.43: Scheduling mit mehreren Kapazitätsarten

6.4.4 Rüstzeiten

Für einen Arbeitsvorgang können sowohl reihenfolgeabhängige als auch reihenfolgeunabhängige Rüstzeiten geführt werden. Eine reihenfolgeunabhängige Rüstzeit stellt die Zeitdauer dar, die zum Rüsten einer unvorbereiteten Bearbeitungsstation benötigt wird. Dagegen repräsentiert eine reihenfolgeabhängige Rüstzeit die Zeitdauer zum Rüsten einer bereits vorgerüsteten Bearbeitungsstation, verursacht durch einen unmittelbar zuvor ausgeführten Arbeitsvorgang.

Der in Abbildung 6.44 dargestellte Scheduling-Algorithmus realisiert eine Belegungsplanung unter Einbeziehung von reihenfolgeabhängigen und reihenfolgeunabhängigen Rüstzeiten. Prinzipiell gilt dabei folgende Vorrangregel. Existieren zwischen Arbeitsvorgängen auf bestimmten Bearbeitungsstationen reihenfolgeabhängige Rüstzeiten, so haben diese stets Vorrang gegenüber reihenfolgeunabhängigen Rüstzeiten. Voraussetzung für eine reihenfolgeabhängige Rüstzeit zwischen zwei Arbeitsvorgängen bezüglich einer Bearbeitungsstation ist die Existenz eines entsprechenden Arbeitsvorgangswechsels sowie eine für diesen Übergang explizit definierte Rüstzeit. Grundsätzlich wird von werkstückunabhängigen Rüsten ausgegangen, was

```

1 begin
2    $\exists s : \forall j, j = 1, \dots, n \exists t_{j1}^s \geq 0; \quad s_{plan} := \emptyset;$ 
3   for ( $idx := 0; \quad idx < CARD(s); \quad idx := idx + 1$ ) do
4      $o_{jk}^* := IDX(s, idx);$ 
5      $M_i^* := \tau_{jk}^*;$ 
6     if  $\exists (o_{j'k'}, o_{jk}^*) \in E_i$ 
7       then begin
8          $t' := t_{j'k'}^e; \quad t''' := s_{j'k',jk}^i;$ 
9         end
10      else begin
11         $t' := t_{jk}^{*s}; \quad t''' := s_{jk};$ 
12      end
13    fi
14    if  $k^* > 1$  then  $t'' := t_{jk-1}^{*e};$  else  $t'' := t_{jk}^{*s};$  fi
15     $t_{jk}^{*s} := \max\{t', t''\};$ 
16    if  $t'' > t'$  then
17      if  $(t'' - t') > t'''$  then  $t_{jk}^{*s} := t_{jk}^{*s} - t'';$ 
18      else  $t_{jk}^{*s} := t_{jk}^{*s} - (t'' - t');$  fi
19    fi
20     $t_{jk}^{*e} := t_{jk}^{*s} + t''' + p_{jk}^*;$ 
21     $s_{plan} := s_{plan} \cup o_{jk}^*;$ 
22  od
23 end

```

Abbildung 6.44: Scheduling unter Beachtung von Rüstzeiten

den Zeitpunkt für den Beginn des Rüstens einer Bearbeitungsstation zur Durchführung eines Arbeitsvorgangs vor der Beendigung dessen technologischen Vorgängers legen kann.

6.5 Zusammenfassung

Die umfangreichen Testergebnisse¹⁵⁰ zeigen in beeindruckender Weise die Effizienz der Verbesserungsverfahren gegenüber den in der Praxis eingesetzten Prioritätsregeln. Der Nachweis der Einsatzfähigkeit für eine leistungsstarke Ablaufplanung für Kompetenzzellen wurde überzeugend erbracht. Die Aus-

¹⁵⁰Siehe [Tei98b].

wahl eines geeigneten Verfahrens (lokale Suchtechnik oder evolutionäres Verfahren) für eine spezifische KPZ muss von Fall zu Fall entschieden werden. Zum einen hängt diese Entscheidung von der Kompliziertheit der zu planenden Fertigung ab und zum anderen von der Investitionsbereitschaft der KPZ, denn alle Methoden sind nur über ein ASP verfügbar.

Methodisch betrachtet scheint auf den ersten Blick eine Unterlegenheit des GA gegenüber den lokalen Suchtechniken zu bestehen. Bei einfachen Scheduling-Problemen wird der Einsatz lokaler Suchtechniken zweckmäßig sein. Diese Aussage muss jedoch relativiert werden. Die wesentlich besseren Kodierungseigenschaften praxisnaher Problemstellungen gestatten vermutlich nur den Einsatz evolutionärer Verfahren. Für die Praxis werden weiterhin auch Methoden zur Selbstadaption der Parameter zu entwickeln sein. Ein Performanceverbesserung kann außerdem erreicht werden, indem die Verfahren robuster gegenüber Parametereinstellungen gestaltet werden. Eine Variante ist die praktizierte Auswahl verschiedener Operatoren und Parameter nach einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung. Auf diese Weise werden alle zur Verfügung stehenden Instrumente benutzt, ohne dass der Nutzer dies explizit einstellen muss. Eine andere Möglichkeit besteht in der Anpassung der Parameter über einen Fuzzy-Regler.

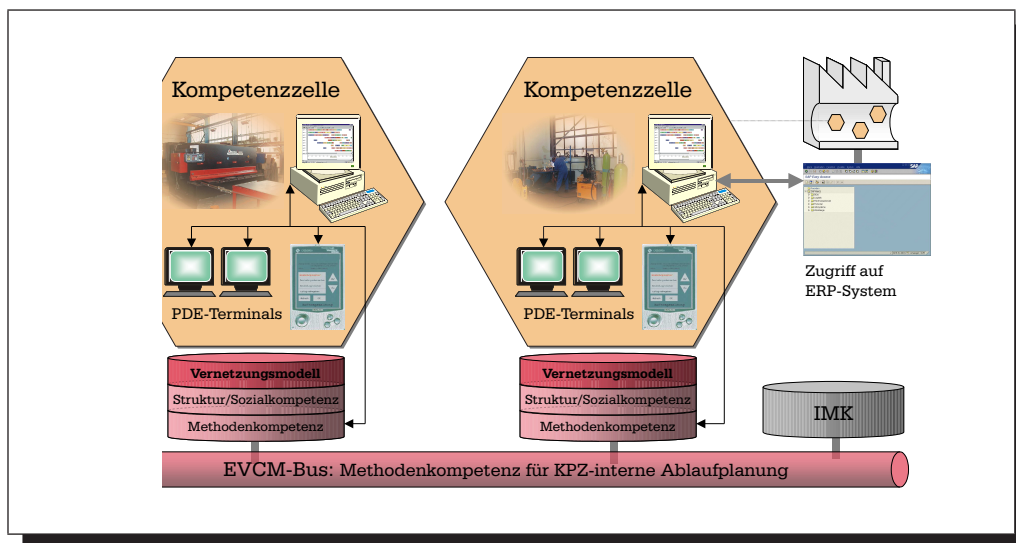


Abbildung 6.45: Ablaufplanung im KPZN

Die Abbildung 6.45 zeigt den Zusammenhang der Ablaufplanung zur Kompetenzzelle und zum KPZN als Ganzem. Zunächst führt jede KPZ ihre interne Ablaufplanung mit der aus dem IMK via ASP vereinbarten Heuristik

aus. Hierbei können mit einem eventuell vorhandenen ERP-System (rechte KPZ hat Zugang zu einem SAP-System) Daten in beiden Richtungen ausgetauscht werden. Der Download enthält bspw. Arbeitsplandaten und der Upload bspw. Feintermine für die Arbeitsgänge dieses Arbeitsplanes (siehe Abschnitt 10.3.1).

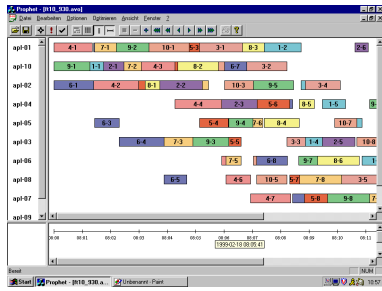


Abbildung 6.46: GA-Gantt

Die Feintermine resultieren aus der Heuristik zur Ablaufplanung. Abbildung 6.46 zeigt das Userinterface des auf der Basis von lokalen Suchtechniken und GA entwickelten Leitstandes. Der interaktive Gantt kann vom Nutzer jederzeit bearbeitet werden. Im Hintergrund arbeitet das Verbesserungsverfahren kontinuierlich weiter und versucht den Ablaufplan zu verbessern.

Die Heuristiken können mit angeschlossenen Produktionsdatenerfassungsgeräten (Abbildung 6.47) kommunizieren. Hierzu wurde ein *Palm PC Cassiopeia* so programmiert, dass ein Werkstattmeister sich für ein bestimmtes Betriebsmittel am *Palm* identifizieren kann und anschließend die Arbeitsvorgänge für dieses Betriebsmittel vom Leitstand empfängt. Hierzu wird nur eine vereinbarte Menge der als nächstes zu bearbeitenden Arbeitsvorgänge gesendet. Alle anderen können durch die permanent optimierende Heuristik im Ablaufplan umgeplant werden. Weiterhin können für die gesendeten Arbeitsvorgänge umfangreiche Status und Mengen rückgemeldet werden. Auf diese Weise kann das portable PDE-Terminal bidirektional eingesetzt werden.

Auf der *CeBIT 2000* wurde die Einheit von Leitstand und bidirektionalem PDA-Terminal erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt und erregte in der Fachwelt als neuartiges Organisationsprinzip der Fertigungssteuerung großes Aufsehen. Innerhalb des KPZN wird von einer KPZ nicht nur eine Lösung ermittelt, sondern eine Tupelmengende bestehend aus voraussichtlichem Liefertermin, zum Termin produzierbare Menge und zugehöriger Preis. Das Generieren einer solchen Menge soll in späteren Verhandlungen wichtige Zeit beim Finden einer Netzwerklösung einsparen helfen (Kapital 7). Die Koordination zwischen den Kompetenzzellen findet dezentral auf jedem rekursiven Niveau durch den Austausch dieser Tupelmengen statt.



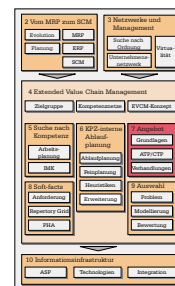
Abbildung 6.47: PDA

„Oft kommt mir der Gedanke, dass ich die Zukunft beneide um das, was sie über die Vergangenheit wissen wird.“

Bernard Berenson

Kapitel 7

Angebotserstellung



Dieses Kapitel beschreibt die Phase der Generierung des Angebotes. Eine Automatisierung dieses Schrittes erfordert das Vorhandensein eines geeigneten Algorithmus, insbesondere für die ATP- und CTP-Prüfungen. Im Folgenden soll ein mögliches Modell aufgezeigt werden. Dabei findet auch der Ansatz der Lieferwahrscheinlichkeiten¹ zur Berücksichtigung von Unsicherheiten entlang der Wertschöpfungskette Eingang. Die Auswirkungen der Angebote auf die Verhandlungen zwischen den Kompetenzzellen erläutert der letzte Abschnitt.

7.1 Grundlagen für die automatische Angebotserstellung

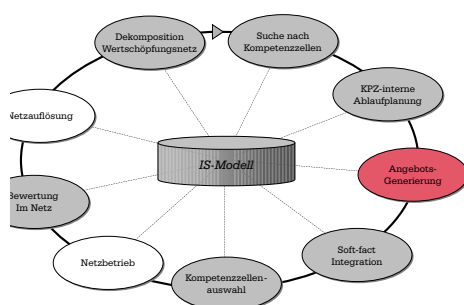
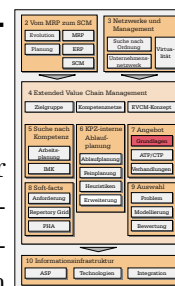


Abbildung 7.1: Phase „Angebots-generierung“

Die Angebotsgenerierung dient der effizienten Beantwortung der Anfragen an eine Kompetenzzelle. Diese soll innerhalb weniger Minuten ablaufen, was eine Automatisierung dieses Prozesses impliziert. Das Angebot vermittelt primär die Aussage, ob und zu welchen Bedingungen eine Anfrage erfüllt werden kann. Aus diesem Grunde finden KPI-interne Einflussgrößen Berücksichtigung. Auf die Feststellung der Lieferunfähigkeit wegen fehlender Zu-



¹Dieses Kapitel basiert auf folgenden Arbeiten [Tei02b, Tei02i, Tei02n, Tei02k, Tei02j, Tei02m, Gö02a, Tei02o], aus denen die Inhalte z. T. wörtlich übernommen wurden.

lieferteile oder Kapazitätsmangel erfolgt eine Generierung von Unteranfragen. Die Antworten auf Unteranfragen bilden die Grundlage für die Aggregation der Antwort auf eine Anfrage. Der Prozess der Angebotsgenerierung beeinflusst somit den Ausroll- und den Einrollvorgang. In der Abbildung 7.1 ist der Schritt der Angebotserstellung innerhalb des Phasenmodells eines KPZN hervorgehoben.

7.1.1 Im Angebot enthaltene Informationen

In einem KPZN stellen sich die Zulieferverbindungen zwischen den Kompetenzzellen als gewöhnliche Lieferanten–Kunden–Beziehungen dar², die durch das EVCM gesteuert werden. Der Zweck eines Angebots einer Kompetenzzelle an eine weitere besteht in der Vermittlung aller für eine Lieferantenauswahl notwendigen Informationen. Diese Informationen bilden die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des Zulieferers³. In diesem Sinne bedarf es auch beim Einrollen der Wertschöpfungskette einer Bereitstellung der Informationen. Einfluss auf die Auswahl des Lieferanten üben vorwiegend die Faktoren aus, welche die Wettbewerbsfähigkeit der Kompetenzzelle und der Wertschöpfungskette beeinflussen. Insbesondere die Zeit bis zur Lieferung, die Qualität und der Preis kennzeichnen die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den Endkunden. Im Allgemeinen erfolgt die kurzfristige Auswahl der Lieferanten nach den folgenden Kriterien⁴:

- Qualität der gelieferten Produkte,
- Preis bzw. Kosten,
- Lieferzeit bzw. -termin und
- Termintreue.

Im Rahmen der langfristigen Lieferantenauswahl finden weitere Faktoren Beachtung. Die Informationen darüber sind jedoch nicht Teil des Angebotes und werden an dieser Stelle daher nicht weiter betrachtet.

²In diesen Kapitel bezieht sich der Begriff „Kunde“, falls nicht gesondert erwähnt, auf die zu beliefernde Kompetenzzelle und nicht auf den Endkunden.

³Das Angebot ist zumindest teilweise (z. B. zeitlich befristet) rechtlich bindend [Sti97, S. 17].

⁴Vgl. [Tei02s].

Die *Qualität* als Selektionsfaktor kann, sofern sie gewährleistet wird (siehe Abschnitt 7.3), vernachlässigt werden⁵. Qualität bedeutet den Erfüllungsgrad der an das Produkt bzw. die Dienstleistung gestellten Anforderungen⁶. Die Fähigkeit zur qualitätsgerechten Erfüllung ihres Wertschöpfungsbeitrages stellt ein unabdingbares Erfordernis für jede im Ressourcenpool befindliche Kompetenzzone dar⁷. Um eine maximale Identifikation der Kompetenzzone mit der Qualität der Produkte zu gewährleisten, liegt die Qualitätsverantwortung für die entsprechenden Anteile an der Wertschöpfung bei der entsprechenden Kompetenzzone. Somit erfolgt das Qualitätsmanagement kompetenzzellenintern. Zwischen den Kompetenzzellen gilt es, den Aufwand für eine Wareneingangsprüfung zu reduzieren. Vielmehr stellen Stichprobenprüfungen und Audits ein hohes Qualitätsniveau sicher⁸. In diesem Fall wird die Erfüllung der geforderten Qualität durch die angefragten Kompetenzzellen vorausgesetzt, und das Angebot enthält keine Angaben über die Qualität. Alle anderen Informationen müssen bei einem Entscheidungsmodell der automatisierten Beschaffung Berücksichtigung finden und durch eine automatisierte Angebotserstellung bereitgestellt werden.

Die Bestimmung des *Preises* für das Angebot erfolgt zunächst mittels einer herkömmlichen Kalkulation. Die Wünsche des Kunden nach einem möglichst geringen Preis ist konkurrierend zu einem möglichst kurzfristigen Liefertermin. Die Maximierung der Zielerreichung beider Wettbewerbsfaktoren in der Realisierung der Produktion ist gleichzeitig nicht möglich. Generell gilt folgende Abhängigkeit zwischen dem Preis und dem Lieferdatum: der Preis sinkt bei Zunahme der verfügbaren Produktionszeit. Durch eine kurzfristige Einplanung ergibt sich i. d. R. die Notwendigkeit zur Änderung von Prioritäten anderer Fertigungsaufträge. Die Verschiebungen anderer Aufträge können Kosten wie Vertragsstrafen und Imageschäden verursachen und als solche zusätzlich in den Preis als Opportunitätskosten eingehen. Das Angebot enthält zunächst nur Informationen über den Preis ab Werk. Zusätzlich zum Preis basiert die Entscheidung über den Zulieferer auch auf den Bezugskosten, d. h. die Transportkosten zwischen den Kompetenzzellen müssen ebenfalls beachtet und kalkuliert werden.

⁵Vgl. [Tei02d].

⁶Vgl. [DIN00].

⁷Vgl. [Die01b, S. 239 ff.].

⁸Vgl. mit den Ansätzen des Qualitätsmanagements in hierarchischen Supply Chains, bei denen die Zulieferer die Verantwortung für die Qualität der Zulieferteile tragen und Audits durch das fokale Unternehmen erfolgen [Win01, S. 6]. Die Zulieferunternehmen besitzen i. d. R. eine Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001 ff. Entsprechendes ist auch für die Kompetenzzellen zu fordern.

Die Ermittlung des *Liefertermins* erfolgt im Rahmen so genannter *Advanced Planning and Scheduling*-Verfahren (APS), die im vorhergehenden Kapitel beschrieben wurden. Nach dem Eintreffen einer Anfrage findet eine Verfügbarkeitsprüfung statt, ob vorhandene Lagerbestände die nachgefragte Menge abdecken können. Im Fall eines negativen Ergebnisses bedarf es im Wesentlichen dem Capable-to-Promise (CTP) zur Festlegung des Liefertermins. Dieser wird hauptsächlich durch die Verfügbarkeit der Fertigungskapazitäten und der rechtzeitigen Materialbereitstellung beeinflusst. Der Abschnitt 7.1.2 beschreibt die angewandte Verfügbarkeitsprüfung.

In der Praxis beruht die Bewertung der *Liefertreue* auf Erfahrungen des Unternehmens. Dieses Vorgehen bereitet bei einer erstmaligen Zusammenarbeit Probleme. Oft bedarf es einer konkreten Lieferzusage. Deshalb werden Vertragsstrafen bei Nichterfüllung der Lieferverträge vereinbart. Weitergehend informiert der Service-Grad (Service Level) über die Liefertreue bei einer dauerhaften Kunden-Lieferanten-Beziehung. Als statistisches Maß eignet er sich deshalb nicht für die Selbstorganisation des temporären Netzwerkes. Aus diesem Grund wird die in Abschnitt 7.1.3 dargestellte Größe *Lieferwahrscheinlichkeit* zu einer Bewertung der Liefertreue eingeführt. Da die Zuverlässigkeit ein zeitbezogenes Merkmal darstellt⁹, eignet sich die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit zur Integration in die Verfügbarkeitsprüfung.

Der Zielkonflikt zwischen den Wünschen des Kunden ist in vielerlei Hinsicht problematisch. Als Lösung bietet sich an, dem Kunden statt einer singulären Lösung in Form eines Angebotstupels alle Liefermöglichkeiten, welche auf allen realisierbaren Produktionsalternativen basieren, mitzuteilen, damit er die Auswahl unter der Berücksichtigung seiner individuellen Nutzenfunktion treffen kann. Die Angabe erfolgt als eine endliche Anzahl von Vektoren aus Preis, Lieferdatum sowie Lieferwahrscheinlichkeit und kann wie in Abbildung 7.2 in einem drei-dimensionalen Koordinatensystem dargestellt werden. Jeder Knoten auf der Oberfläche symbolisiert eine Liefermöglichkeit. Jede Liefermöglichkeit stellt ein eigenes Angebot dar. Der Kunde erhält statt eines Angebotes eine Vielzahl von Angeboten¹⁰.

Es gilt zu beachten, dass sich nicht alle Teile für diese Art der programmorientierten Beschaffung eignen. Dieses Modell betrachtet nur die strategisch wichtigen Teile mit hohem und mittlerem Wert, welche zum direkten Produk-

⁹Neben der Erfüllung des Liefervertrages durch die Bereitstellung der Ware in der richtigen Menge beinhaltet die Lieferzuverlässigkeit auch die Lieferung zum richtigen Zeitpunkt.

¹⁰Das bedeutet nicht, dass der Kunde überfordert werden soll. Vielmehr werden die potenziellen Antworten auf weitere Nachfragen des Kunden bereits vorgehalten und bei Bedarf mitgeteilt. Vgl. [Tei02d].

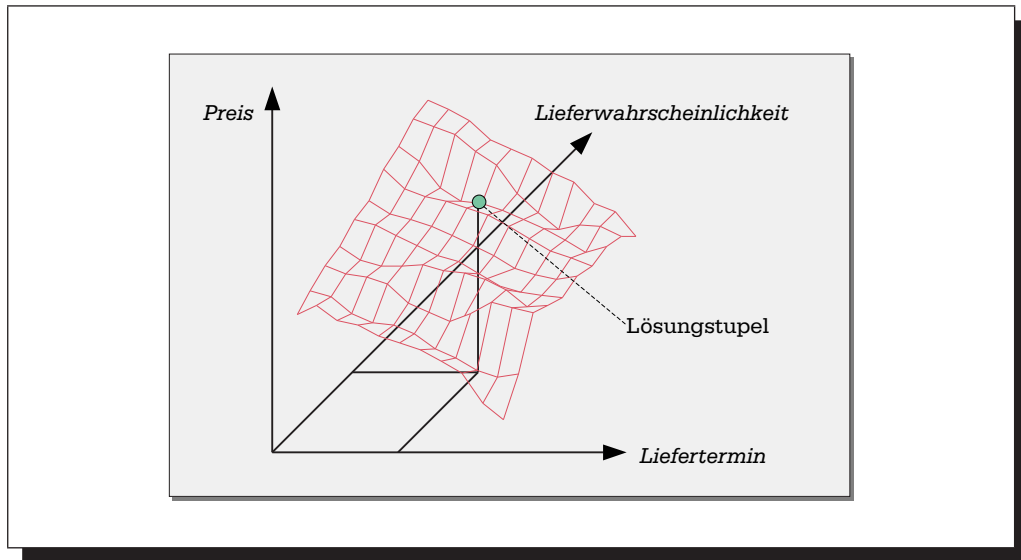


Abbildung 7.2: Die Menge aller Produktionsmöglichkeiten

tionsbedarf gehören¹¹. Das heißt, der Aufwand erfolgt insbesondere nur für die programmorientierte Beschaffung von kostenintensiven A- und B-Gütern. Diese Teile werden meistens bedarfsgerecht beschafft, begründet durch die oft vorhandene Variantenvielfalt. Die ständige Verfügbarkeit von geringwertigen C-Gütern wird vorausgesetzt¹². Die optimale Beschaffungsform hängt im Wesentlichen von den Lagerbindungskosten und der Art der Teile ab¹³.

7.1.2 Die Verfügbarkeitsprüfung

Die APS-Verfahren unterstützen die Lieferterminermittlung u. a. durch eine *Verfügbarkeitsprüfung*, welche sich als kurzfristige Planungsaufgabe darstellt¹⁴. Das Available-to-Promise (ATP) beinhaltet die Antwort auf die

¹¹Über die ABC-Analyse zur Auswahl der Teile wird in den meisten ERP-Systemen ein Dispositionszeichen gesetzt, dass vom EVCM abgefragt werden kann.

¹²Oft erfolgt die Beschaffung dieser Güter verbrauchsabhängig. Geeignete Mittel dafür stellen (automatisierte) Bestellstrategien dar. Weitere mögliche Formen der Zusammenarbeit bei der Nachbestellung geringwertiger Güter sind Continuous Replenishment Programs (CRP) und Vendor Managed Inventory (VMI). Für weitere Informationen siehe z. B. [Tap99].

¹³Vgl. [Tei02d].

¹⁴Vgl. [Fle00b, S. 66].

Frage, ob ein Lieferversprechen eingehalten werden kann¹⁵. Dies meint eine Verfügbarkeitsprüfung bezüglich vorhandener Lagerbestände (Verfügbarkeitsprüfung im engeren Sinne), wohingegen CTP als Erweiterung des ATP eine Prüfung der vorhandenen Ressourcen für eine mögliche Produktion bedeutet. Die Methoden des CTP wurden im Kapitel 6 bereits in ausführlicher Weise diskutiert.

Die Verfügbarkeitsprüfung tangiert in der integrierten Informationsverarbeitung unterschiedliche Applikationen, insbesondere Materialbedarfsplanung, Durchlaufterminierung, Produktionssteuerung, Betriebsdatenerfassung, Materialwirtschaft, Einkauf, Angebotsbearbeitung und Versandlogistik¹⁶.

7.1.2.1 Ziele der Verfügbarkeitsprüfung

Das Hauptziel der Verfügbarkeitsprüfung besteht in der schnellen und zuverlässigen Generierung von Lieferzusagen¹⁷. Ohne übergeordnete wirtschaftliche Ziele wie Gewinnmaximierung und Existenzsicherung zu übersehen, sollen ATP-Analysen besonders den Kundenservice sowie die Kundenzufriedenheit erhöhen und daraus resultierend eine langfristige Kundenbindung garantieren. Die schnelle Erkennbarkeit von Möglichkeiten und Alternativen verhindert die einfache Ablehnung eines Angebotes. Die verbesserte Informationsversorgung führt für den Lieferanten und für den Kunden zu einem größeren Nutzen (Abbildung 7.3).

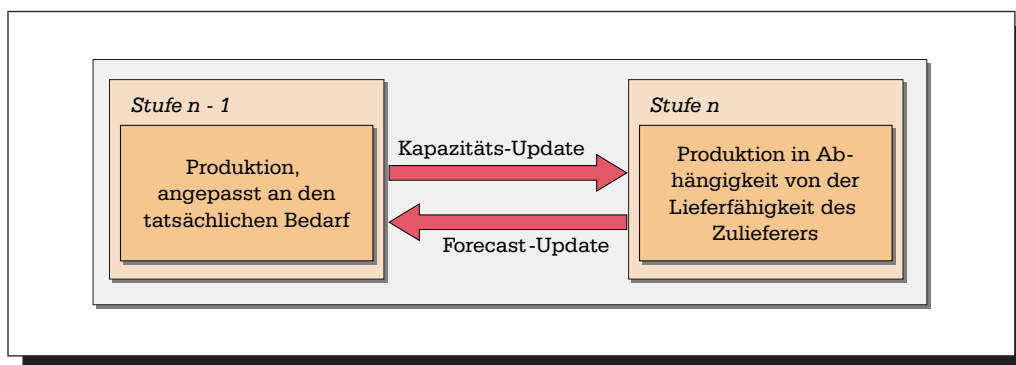


Abbildung 7.3: Anforderungen an die Informationslogistik zwischen Lieferanten und Kunden

¹⁵Vgl. [Mer99a, S. 378].

¹⁶Vgl. [Mer99a, S. 379].

¹⁷Vgl. [Kil00, S. 136].

Der Kunde kann in Abhängigkeit von der Lieferzusage des Zulieferers rechtzeitig seine Produktion anpassen, das Risiko ungeplanter Materialengpässe sinkt. Die Information des Zulieferers über seine tatsächliche Lieferfähigkeit hat also einen ökonomischen Wert. Ein Nutzen für den Lieferanten entsteht, wenn der Kunde seine Lieferanten frühzeitig über unerwartete Bedarfsverschiebungen informiert. In diesem Fall können die Lieferanten den Umfang ihrer Überkapazitäten und ihres Krisenmanagements anpassen¹⁸.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass moderne Lösungen zur Verfügbarkeitsprüfung auf Basis der APS-Planungsfähigkeiten die Erreichung der folgenden Ziele ermöglichen¹⁹:

- Verbesserung der zeitgerechten Lieferung durch zuverlässigere Zusagen,
- Reduzierung der Anzahl von verpassten Geschäftsgelegenheiten durch effektivere Suche nach zuverlässigen Zusagen und
- Erhöhung der Einnahmen und Profitabilität durch Erhöhung der durchschnittlichen Verkaufspreise.

7.1.2.2 Der Begriff des Available-to-Promise

Der Begriff Available-to-Promise bezeichnet die Möglichkeit, eine globale Verfügbarkeitsprüfung durchzuführen²⁰, d. h. das Verfahren ermittelt die Verfügbarkeit von Produkten über die gesamte Supply Chain²¹. Die verfügbare Menge ist die Menge, die noch für die Bestätigung neu eintreffender Aufträge okkupierbar ist (ATP-Menge)²².

Löst der Kunde eine Anfrage aus, so werden für alle Bestellpositionen die Verfügbarkeit, d. h. die Zusicherung von Liefermengen und -terminen und der mögliche Liefertermin bestimmt²³, d. h. das ATP ermöglicht die Prüfung, ob ein (neuer) Kundenauftrag mit einem festgelegten Fälligkeitsdatum angenommen werden kann²⁴. Dies zu erreichen, bedarf der Prüfung, ob in irgendeinem Lager noch ausreichend Bestand zur Bedarfsdeckung existiert. Der wesentliche Inhalt des ATP besteht in der Fortschreibung des disponiblen

¹⁸Vgl. [Bre02a].

¹⁹Vgl. [Kil00, S. 135].

²⁰Vgl. [POM02].

²¹Vgl. [Fri00, S. 16 f.].

²²Vgl. [SAP02b].

²³Vgl. [Mer99b, S. 354].

²⁴Siehe [Sta00c, S. 16].

Lagerbestandes unter Zugriff auf Informationen von allen relevanten Lagerorten²⁵. Marktbedarf, den nicht das Lager bzw. die Produktionskapazitäten eines Standorts abdecken, lässt sich möglicherweise auch über andere Standorte abwickeln, während bisher ggf. eine Ablehnung solcher Kundenaufträge erfolgte²⁶.

Darüber hinaus kann die Verfügbarkeitsprüfung auch Kundenaufträge simulieren und auf dieser Basis einen zu erwartenden frühesten Liefertermin für die Ausführung eines Kundenauftrages ermitteln²⁷. Die Funktionalität ermöglicht somit die Feststellung,

- ob ein neuer Kundenauftrag durch den zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügbaren Lagerbestand gedeckt werden kann,
- ob hierzu bei freien Kapazitäten erst ein Produktionsauftrag ausgelöst werden muss oder
- ob dem Kunden ein Alternativprodukt angeboten werden kann²⁸.

Das ATP-Verfahren kann sich nach *Kilger* und *Schneeweiss*²⁹ entsprechend der Fertigungsstrategie auf verschiedene Ebenen beziehen:

- Bei einer Fertigung für den Massenmarkt (Push-Strategie) erfolgt die Herstellung von Waren in das Lager, von dem aus sie verkauft werden (*make-to-stock*). In diesem Fall bezieht sich das ATP auf den Bestand von Endprodukten oder Produktgruppen.
- Bei der Auftragsfertigung (*make-to-order*) findet ATP auf der Ebene von Zwischenprodukten, Komponenten und Produktgruppen statt.
- Im Falle komplexer und sehr spezifischer Produkte existiert kein Bestand an Fertig- und Zwischenprodukten. Die Fertigung erfolgt nach dem Prinzip *make-to-configure* dem Kundenwunsch angepasst. Nach einer Stücklistenauflösung werden die verfügbaren Ressourcen und die Verfügbarkeit von (Produktions-)Kapazitäten geprüft. Es finden die Verfahren des CTP Anwendung.

²⁵Vgl. [POM02].

²⁶Vgl. [Bre01b, S. 17].

²⁷Vgl. [Fri00, S. 16 f.].

²⁸Vgl. [Bre01b, S. 14].

²⁹Vgl. [Kil00, S. 138 f.].

Die Idee der APS-basierten Verfügbarkeitsprüfung besteht in der Nutzung der Informationen aus dem durch das *Master Production Scheduling* (MPS) bestimmten Master Plan. Dieser legt auf langfristiger Ebene z. B. die Eckdaten für Produktion und Beschaffung fest³⁰. Das ATP prüft durch die im MPS enthaltenen Informationen selbstständig die vorhandenen und noch nicht reservierten Bestände³¹.

Im Rahmen einer make-to-stock-Fertigung umfasst die kurzfristige Verkaufsplanung die Erfüllung von Kundenaufträgen durch vorhandene Lagerbestände. Zu diesem Zweck unterteilt sich der Lagerbestand in reservierte und verfügbare Bestände. Weiterhin können Sicherheitsbestände vorhanden sein. Die verfügbaren Bestände bilden die ATP-Menge.

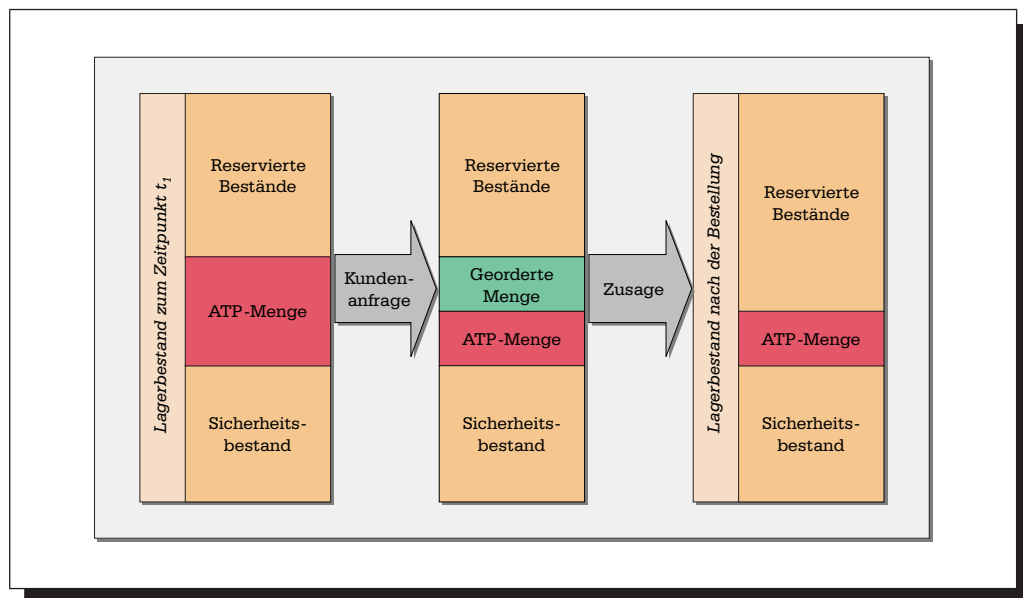


Abbildung 7.4: Die Struktur des Lagerbestandes

Die Abbildung 7.4 illustriert diese Strukturierung des Lagerbestandes. Falls der Kunde ein Produkt nachfragt, kann der Verkäufer online prüfen, ob die Bestellmenge durch vorhandene Lagerbestände abgedeckt wird. Falls die Prüfung positiv ausfällt, erhöhen sich die reservierten Bestände um den der ATP-Menge entnommenen Umfang. Die Ermittlung der ATP-Menge für spätere Zeitpunkte erfolgt durch die Addition der geplanten Produktion zum

³⁰Vgl. [Kil00, S. 137].

³¹Vgl. [Fri00, S. 17].

vorhandenen Lagerbestand³². Eine solche dynamische, auf den Anfragezeitpunkt t_1 bezogene Betrachtungsweise erweitert die statische Betrachtung, welche sich nur auf eine Prüfung physisch vorhandener und „freier“ Bestände erstreckt³³.

Um die ATP-Menge zum Zeitpunkt t_1 berechnen zu können, ist zunächst der Lagerbestand in t_1 nach Gleichung (7.1) zu bestimmen. Die Differenz aus dem Lagerbestand und dem Sicherheitsbestand bildet die entsprechende ATP-Menge in t_1 . Den Zusammenhang

$$\text{Bestand}_{\text{Lager}}(t_1) = \text{Bestand}_{\text{Lager}}(t_0) + \text{Zugänge}_{\text{geplant}} - \text{Abgänge}_{\text{geplant}} \quad (7.1)$$

zeigt Abbildung 7.5, wobei t_0 den Zeitpunkt des Eintreffens der Anfrage und t_1 den gewünschten Liefertermin beschreiben.

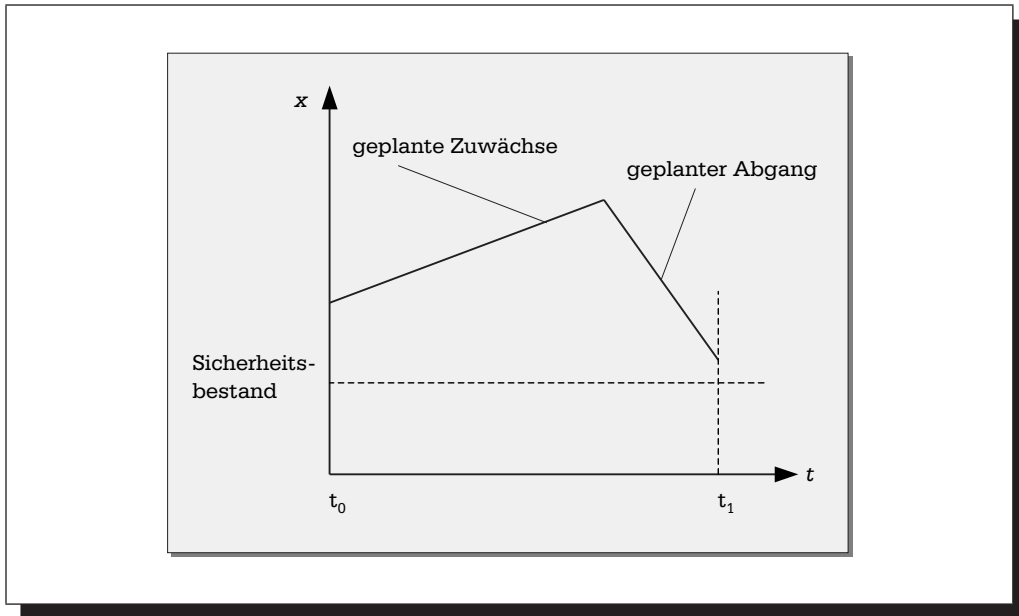


Abbildung 7.5: Allgemeiner Zusammenhang von Lagerbestand und Zeit

Bei Anwendung einer make-to-order-Strategie müssen die Zulieferer in das ATP einbezogen werden. Im ersten Schritt findet das SCM mittels einer Auflösung der überbetrieblichen Stückliste heraus, welche Teilnehmer der

³²Vgl. [Fle00b, S. 66].

³³Vgl. [Mer99a, S. 378].

Supply Chain für diesen Auftrag wie viele ihrer Produkte liefern sollen. Anschließend schickt es jedem betroffenen Teilnehmer eine entsprechende Anfrage. Diese prüfen auf lokaler Ebene, ob genügend nicht-reservierte Einheiten auf Lager liegen. Ist dies der Fall, so müssen keine neuen Einheiten produziert werden und die angefragte Stückzahl könnte sofort geliefert werden³⁴.

Für das Modell des KPZN findet trotz einer Auftragsfertigung die Verfügbarkeitsprüfung in jeder Kompetenzzelle isoliert statt, die Einbeziehung von den Zulieferkompetenzzellen erfolgt über die Angebotsinhalte. Die Auswahl der Zulieferer basiert auf den Angeboten, welche mögliche Bestände an Fertigwaren bei den potenziellen Zulieferkompetenzzellen berücksichtigen. Somit gilt für das EVCM-Modell: die Verfügbarkeitsprüfung i. e. S. ermittelt durch Abzug der reservierten Lagerbestände und des eventuell vorhandenen Sicherheitsbestandes vom Lagerbestand die ATP-Menge. Da der Lagerbestand durch im Master Plan festgelegte und geplanter Produktionkennzahlen beeinflusst wird, ist die ATP-Menge ein kumulierter Wert, welcher aufgrund fortlaufender Geschäftsvorgänge (z. B. Treffen von Lieferzusagen) ständigen Veränderungen unterliegt und jeweils in Echtzeit berechnet werden muss. Für die von *Mertens* und *Zeier*³⁵ aufgezählten Betrachtungsdimensionen bedeutet die Anpassung der Definition an die Erfordernisse des EVCM-Modells die Einschränkung des ATP-Begriffes auf folgende Aspekte:

- Die ATP-Prüfung erfolgt *vor* einer Lieferzusage.
- Die Verfügbarkeitsprüfung basiert auf einer dynamischen Betrachtungsweise.
- Eine Möglichkeit der Umreservierung bereits reservierter Bestände wird nicht in Betracht gezogen. Im Spezialfall der reservierten Bestände für einen Rahmenvertrag findet die Berechnung einer Zugriffswahrscheinlichkeit statt, siehe Abschnitt 7.2.2.
- Eine Prüfung von alternativen Lagerorten und Querlieferungen schließt die Eigenschaft der Kompetenzzellen, kleinste, nicht mehr teilbare Einheiten darzustellen, aus. Als solche besitzen Kompetenzzellen keine weiteren Produktions- und Lagerorte. Die Modellierung erfolgt in diesem Falle über die Vernetzung mehrerer KPZ.

Bei Verwendung dieser Definition des ATP besteht in der Literatur Kritik an der Einordnung des ATP in das APS wie *Fleischmann*³⁶ vorschlägt.

³⁴In Anlehnung an [Fri00, S. 17].

³⁵Vgl. [Mer99a, S. 378].

³⁶Vgl. [Fle00b, S. 63 ff.].

Nach *Tempelmeier*³⁷ stellt ATP keine Planung dar, sondern es bildet bisher nur eine Datenbereitstellungsfunktion für die Unterstützung anderer Unternehmensbereiche wie den Vertrieb. Von einer Einordnung des ATP in die Supply Chain Planning-Matrix (vgl. mit der Abbildung 2.23) wird deshalb abgesehen³⁸. Die Verbindung zwischen der Verfügbarkeitsprüfung und der Informationsbereitstellung für die Angebotsgenerierung verdeutlicht diese Unterstützungsfunktion. Nach *Mertens* und *Zeier*³⁹ hingegen stellt das ATP ein komplexes Optimierungsproblem dar. Beispielsweise bedarf es bei einer Umreservierung einer Abwägung zwischen dem Zusatzgewinn aus dem erfüllten Kundenauftrag und der Vertragsstrafe für den versäumten Termin bei dem „abgebenden“ Kundenauftrag. Somit bildet die Simulation zur Prüfung von Alternativen eine Funktionalität des ATP. Aufgrund der getroffenen Einschränkungen des ATP für die KPZN besitzt dieses Argument hier keine Relevanz, da diese Funktionen bereits in den APS-Funktionen innerhalb des CTP vorhanden sind und vom ATP genutzt werden können.

Das CTP kommt erst zum Einsatz, wenn das Ergebnis des ATP negativ ausfällt und Produktion erforderlich ist. Es führt dann eine vollständige Stücklistenauflösung und Verfügbarkeitsprüfung durch und plant alle Ressourcen (z. B. Material, Maschinen, Personal). Bei der Durchführung des CTP erfolgt die Simultanplanung aller Ressourcen, wobei immer auf den zuletzt gemeldeten Ist-Zustand aufgesetzt wird⁴⁰.

Abschließend lässt sich der Ablauf der Verfügbarkeitsprüfung und die Abgrenzung der beiden Begriffe darstellen (Abbildung 7.6). Es ist anzumerken, dass die Begriffe und deren Abgrenzung in der Literatur und in der Praxis nicht einheitlich verwendet werden. Oftmals beinhaltet der Begriff des ATP das CTP.

7.1.2.3 Die Grenzen der klassischen Ansätze

Die Handhabung der Unsicherheiten stellt ein großes Planungsproblem dar. Die Planung nimmt zukünftige Aktivitäten vorweg und basiert auf Daten, die mehr oder weniger große Prognosefehler beinhalten. Diese Fehler reduzieren häufig die Verfügbarkeit von Produkten und schränken den Kundennutzen

³⁷Vgl. [Tem01, S. 3].

³⁸Da das Demand Planning nach *Tempelmeier* eine Prognose darstellt und nicht auf einem Entscheidungsmodell beruht, wird vorgeschlagen, die gesamte Spalte „Absatz“ aus der Supply Chain Planning-Matrix herauszunehmen und in Unterstützungsmodul zu integrieren.

³⁹Siehe [Mer99a, S. 378].

⁴⁰Vgl. [Ort01, S. 810].

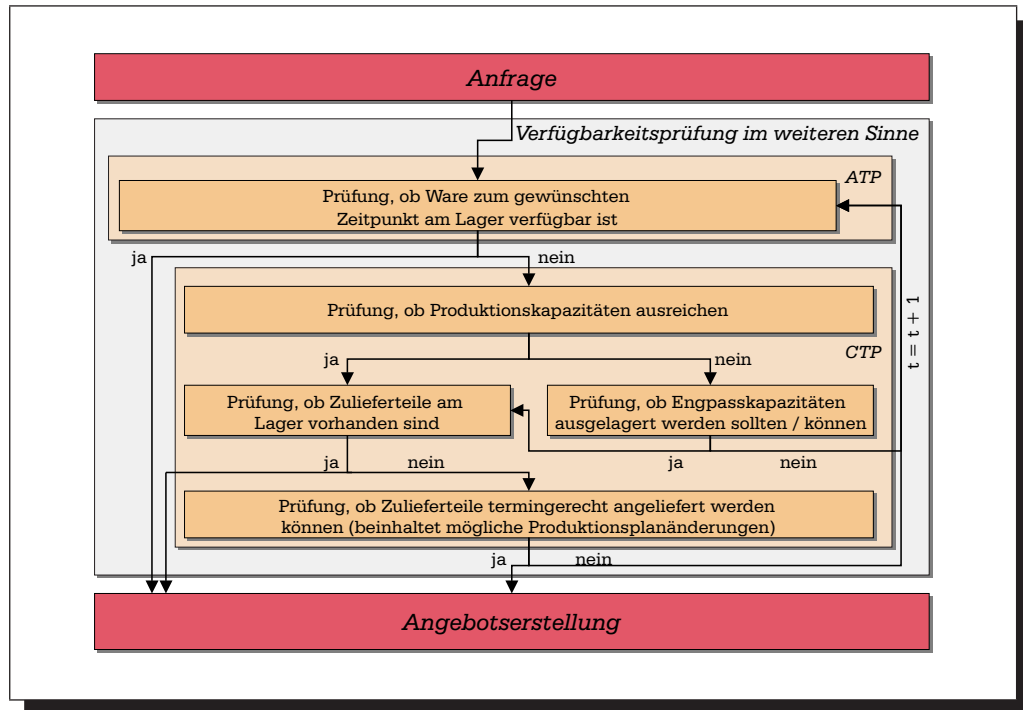


Abbildung 7.6: Der mögliche Ablauf der Verfügbarkeitsprüfung

der Angebote ein⁴¹. Fast immer weicht die eintretende Realität vom Plan ab, so dass es notwendig ist, die Abweichungen zu messen und den Plan regelmäßig zu adaptieren. Verfahren mit „rollendem“ Planungshorizont stellen eine mögliche Planungsvariante dar. Neben der zeitgesteuerten Planungsanpassung bildet die ereignisgesteuerte Planung eine weitere Möglichkeit. Eine Anpassung der Pläne erfolgt im Falle des Eintretens wichtiger Ereignisse wie unerwartete Großaufträge oder Maschinenausfälle. Voraussetzung für diese Art der Planung ist das kontinuierliche Aktualisieren aller notwendigen Daten, damit sie jederzeit zur Verfügung stehen⁴².

Die Software-Hersteller entwickelten leistungsfähige Systeme für die Grobplanung des Einsatzes von Produktions- und Logistikkapazitäten sowie der Abwicklung der daraus resultierenden Aufträge. Die Systeme eignen sich jedoch nur bedingt für die operative Ebene⁴³. Trotz steigender Kompetenz in der Entwicklung und Anwendung leistungsfähiger Planungssysteme ist es

⁴¹Vgl. [Fle00b, S. 59].

⁴²Ebenda.

⁴³Vgl. [Bre02b].

derzeit nicht möglich, die Komplexität der Wertschöpfungskette zu beherrschen, da diese durch einen weit vorangetriebenen Abbau der Fertigungstiefe bei gleichzeitig zunehmender Variantenvielfalt stärker zunimmt⁴⁴. Das ereignisgesteuerte Neuplanen, um bei jeder neuen, unerwartet eingetretenen Situation einen angepassten, wiederum optimalen Plan zu generieren, erreicht somit in der Praxis seine Grenzen, da die vorhandenen Systeme unmöglich die notwendige Detaillierung und den erforderlichen Umfang zur Erfassung der alltäglichen Leistungseinbrüche erreichen⁴⁵. Diese Systeme stellen auch keine Entscheidungshilfe in Ausnahmesituationen zur Verfügung⁴⁶. Daraus lässt sich schließen, dass die bisherigen Ansätze die Zuverlässigkeit der Lieferungen, welche sich in der Liefertreue ausdrückt, vernachlässigen⁴⁷. Die eigenen Erfahrungen mit zahlreichen Industriepartnern bestätigen dieses Defizit deutlich. Der Bedarf an derartigen Entscheidungshilfen ist enorm.

Auch die Unsicherheiten, die aufgrund von Maschinenausfällen und der Schwankung von Prozesszeiten⁴⁸ sowie durch Bedarfsschwankungen⁴⁹ entstehen, können mit den aktuellen Ansätzen nicht gehandhabt werden. Um dieses Problem zu lösen, existiert in Supply Chains oft ein System mit drei Puffern⁵⁰:

- Sicherheitsbestände der Kunden, die jeweils als letzte Systemreserve in Anspruch genommen werden sollten,
- Überkapazitäten auf der Lieferantenseite und
- ein nachgelagertes Krisenmanagement.

Die Überkapazitäten auf der Lieferantenseite existieren in Form von Maschinen und/oder Fertigwarenbeständen. Die Anteile der Puffer ergänzen sich immer zu 100%⁵¹.

Auch in der Umsetzung des *Lean Logistic*-Ansatzes mit dem Ziel der Minimierung der Bestände findet für die Gewährleistung der maximalen Materialverfügbarkeit ein Puffer-System Anwendung: die Materialanlieferung erfolgt nicht direkt zwischen Lieferant und Kunde, sondern über ein Lieferanten-Logistik-Zentrum (LLZ). Somit reduziert sich die zweistufige Lagerhaltung

⁴⁴Vgl. [Bre02b].

⁴⁵Vgl. [Bre02b].

⁴⁶Ebenda.

⁴⁷Vgl. [Tei02a].

⁴⁸Vgl. [Tem01, S. 4].

⁴⁹Vgl. [Fle00b, S. 59].

⁵⁰Vgl. [Bre02a].

⁵¹Ebenda.

(Warenausgangslager beim Lieferanten und Wareneingangslager beim Kunden) auf eine Stufe, der Lagerhaltung im LLZ. Dieses befindet sich in der Nähe zum Kunden, die Bestandsverantwortung trägt der Lieferant. Die Disposition erfolgt über eine Mindestbestandssteuerung⁵². Die Vorteile von Lean Logistic beschränken sich für den Lieferanten im Wesentlichen auf die (teilweise) Auslagerung seiner Ausgangslagerfläche und die Optimierung der Transporte zwischen Lieferant und LLZ⁵³. Trotz Optimierung seiner Produktionsprozesse existieren lieferantenseitig Überkapazitäten, wenn auch reduzierte. Der Sicherheitsbestand bildet den größten Anteil des Puffers gegen die Unsicherheiten entlang der Supply Chain. Kundenseitig reduziert sich der Bedarf an Wareneingangsfläche aufgrund der bedarfsgerechten Zulieferung aus dem LLZ. Die Einsparung einer Lagerstufe verringert weiterhin die notwendige Anzahl der im Umlauf befindlichen Ladungsträger⁵⁴. Die Abbildung 7.7 zeigt beispielhaft die Puffer zum Auffangen der Lieferunsicherheiten anhand des traditionellen und des Lean Logistics-Ansatzes.

⁵²Vgl. [Hus01, S. 10].

⁵³Eine komplette Abschaffung der Lagerfläche und die Optimierung der Transportauslastung schließen sich gegenseitig aus, da die Produkte für Letzteres „gesammelt“, also zwischengelagert werden müssen.

⁵⁴Vgl. [Hus01, S. 10].

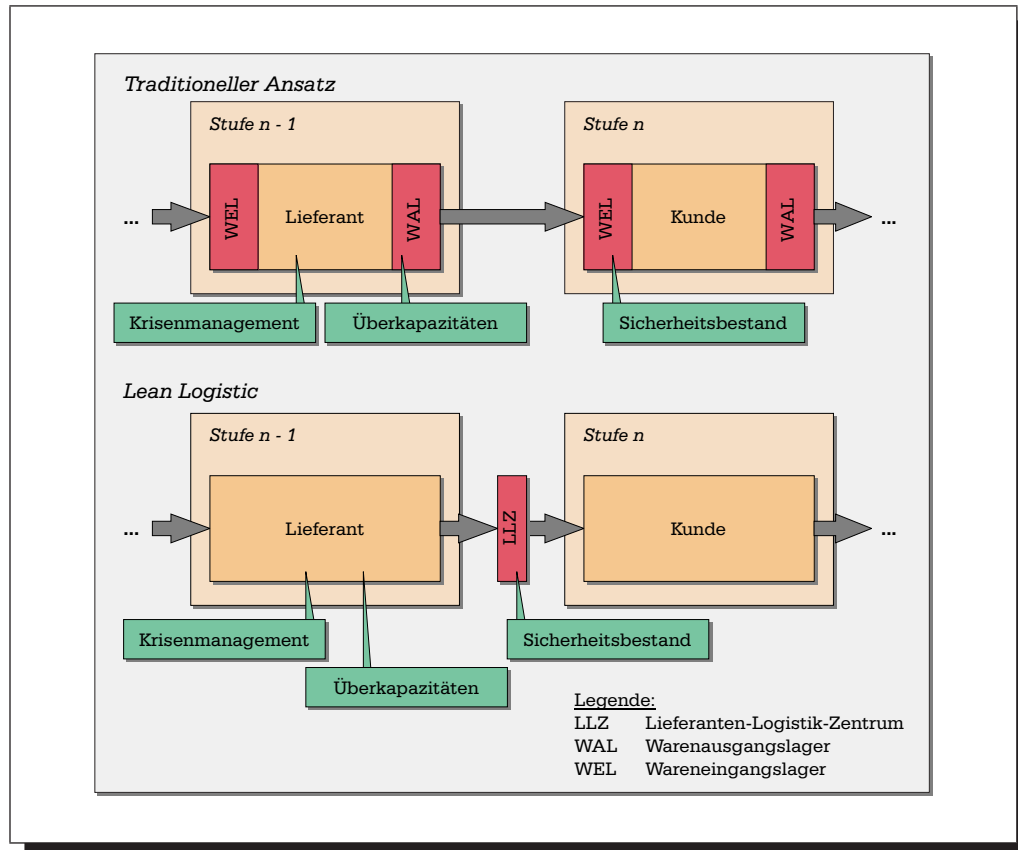


Abbildung 7.7: Puffer zwischen Lieferant und Kunde zur Überbrückung von Unsicherheiten

Die erwähnten Maßnahmen zur Handhabung der Unsicherheiten entlang der Prozesse der Wertschöpfungskette eignen sich nur für hierarchische oder statische Kooperationen. Bei einer temporär bestehenden Beziehung zwischen Kompetenzzellen in einem KPZN können langfristige Koordinationsansätze wie die Einführung des Lean Logistic nicht implementiert werden. Die Verfolgung der traditionellen Strategie mit Sicherheitsbeständen auf verschiedenen Stufen der Supply Chain widerstrebt der Zielsetzung, Bestände an halbfertigen Erzeugnissen zu minimieren. Die auftragspezifische Lieferanten-Kunden-Beziehung verhindert die Einführung von Sicherheitsbeständen im Wareneingangslager beim Kunden. Die Zielsetzung des Betreibermodells – der ökonomisch effiziente Einsatz der verfügbaren Ressourcen – bedeutet eine Vermeidung der Reservierung bzw. die Vorhaltung von Überkapazitäten.

Die Angebote basieren auf den augenblicklich verfügbaren Informationen und

weichen somit unter Umständen von den eintretenden Situationen ab. All das unterstreicht die Notwendigkeit nach einer Größe, welche im Angebot die Zuverlässigkeit einer Produktionsmöglichkeit quantifiziert angibt. Die im nächsten Abschnitt vorgestellte Größe Lieferwahrscheinlichkeit trägt diesen Anforderungen Rechnung. Sie beinhaltet nur die konkreten Unsicherheiten auf Basis der Zulieferung und Produktion. Die Bewertung der Zulieferer nach Soft-Facts erfolgt separat auf einer anderen Stufe der Netzgenerierung. Auf die Gewinnung der dafür benötigten Daten wird ausführlich in Kapitel 8 eingegangen.

7.1.3 Die Lieferwahrscheinlichkeit

Neben dem Liefertermin muss in Echtzeit auch die Zuverlässigkeit der Lieferungen angegeben werden, d. h. eine Größe berechnet werden, welche die bisher vernachlässigten Unsicherheiten der Wertschöpfungskette quantifiziert⁵⁵. Die Angabe der Zuverlässigkeit erfolgt mittels der Größe *Lieferwahrscheinlichkeit* (P_D). Diese neue Variable berücksichtigt die tatsächliche Auslastungssituation in der KPZ und somit die Möglichkeit von Engpässen aufgrund zu geringer Produktionskapazitäten. Die Ermittlung der Lieferwahrscheinlichkeit beschreibt der Abschnitt 7.2. Es bietet sich an, ihre Berechnung in einem modifizierten APS-Verfahren, z. B. innerhalb der Verfügbarkeitsprüfung zu integrieren. Das Bild 7.8 zeigt den Ablauf der modifizierten Lieferterminermittlung. Dieses Modell bildet eine Erweiterung der „klassischen“ Verfügbarkeitsprüfung.

*Hofmann*⁵⁶ definiert die Lieferwahrscheinlichkeit als die Wahrscheinlichkeit, mit der der Hersteller eines Produktes zu einem bestimmten Zeitpunkt eine definierte Menge liefern kann. Sie bietet zusätzliche Informationen zur Auswahl der Zulieferer und führt durch die Beachtung von Unsicherheiten zu einer höheren Qualität der Lieferzusagen. Weiterhin bewirkt die Angabe der Lieferwahrscheinlichkeit und deren Berücksichtigung eine Verringerung des Risikos der fehlerhaften, insbesondere der nicht rechtzeitigen und unvollständigen Zulieferungen⁵⁷.

⁵⁵Vgl. [Tei02i].

⁵⁶Vgl. [Hof01a, S. 61]. Diese Diplomarbeit entstand im Zusammenhang der Entwicklung einer ATP-Funktionalität zur Lieferwahrscheinlichkeitsberechnung für das EVCM unter Anleitung des Autors.

⁵⁷Die Lieferwahrscheinlichkeit bezieht sich auf die Lieferung der richtigen Menge zur richtigen Zeit. Erfolgt eine Lieferung am falschen Ort oder werden falsche Teile geliefert, liegt dafür die Ursache zumeist in einer Störung des Informationsflusses. Dies ist nicht berechenbar.

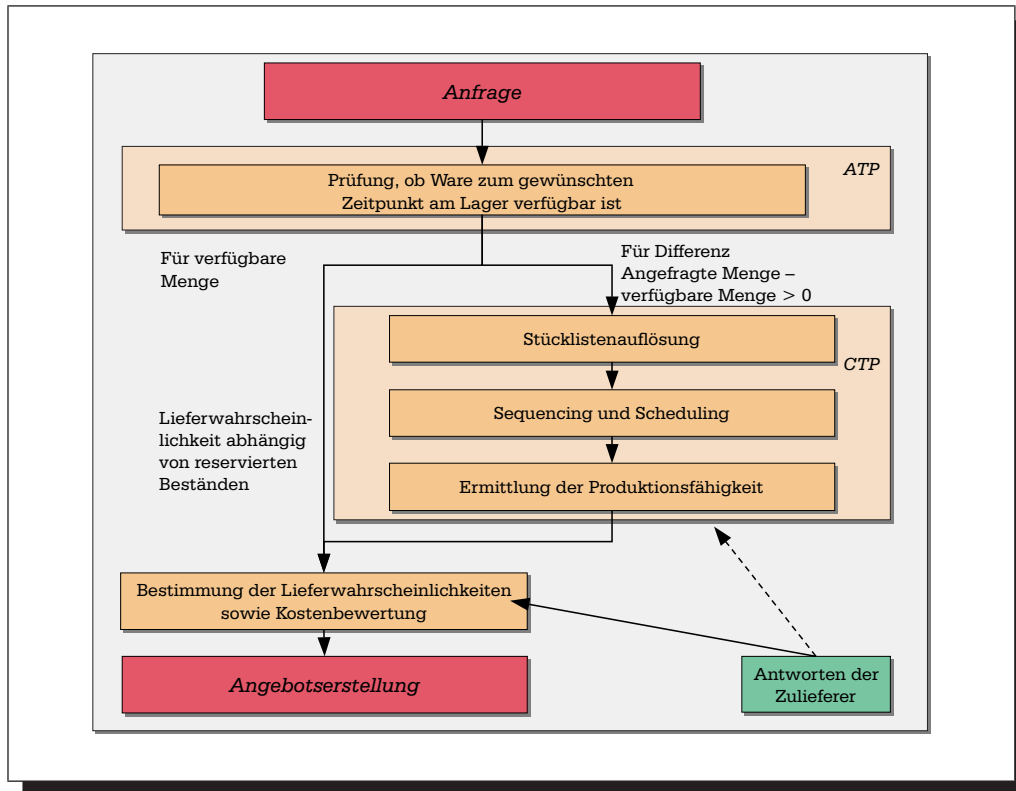


Abbildung 7.8: Der modifizierte Ablauf der Verfügbarkeitsprüfung

Die Lieferwahrscheinlichkeit ist deutlich abzugrenzen von dem in der Literatur weit verbreiteten Servicegrad (Service Level)⁵⁸. Der Servicegrad definiert sich als eine logistische Kenngröße, die sich durch die Erfassung der Lieferzeiten, der Termintreue und der Lieferqualität, der Lieferfähigkeit und -frequenz sowie der Kundennähe ermitteln lässt⁵⁹. Im Rahmen der Unternehmensstrategie kann der Servicegrad zur Differenzierung gegenüber der Konkurrenz als strategischer Wettbewerbsfaktor genutzt werden⁶⁰. Die Lieferwahrscheinlichkeit hingegen lässt sich auf der operativen Ebene einordnen, d. h. sie besitzt nur für die Bildung des temporären Produktionsnetzwerkes und der kurzfristigen Lieferantenauswahl eine Bedeutung⁶¹. Im Gegensatz zum Servicegrad misst sie nicht die Lieferzuverlässigkeit, sondern prognostiziert diese. Die Lieferwahrscheinlichkeit unterscheidet sich vom Servicegrad durch ein weiteres

⁵⁸Vgl. [Tei02d].

⁵⁹Vgl. [Fon98].

⁶⁰Vgl. [Egg01, S. 49].

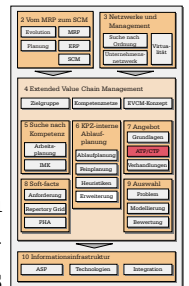
⁶¹Vgl. [Tei02d].

Merkmal. Während der Servicegrad mit den Kunden (Rahmenverträge oder Ähnliches) vertraglich festgelegt wird (Service-Level-Agreements)⁶² und somit ein Instrument der langfristigen Kooperation zwischen dem Lieferanten und dem Kunden darstellt, erfolgt die Bestimmung der Lieferwahrscheinlichkeit für jede einzelne Anfrage neu. Dabei hat der Servicegrad und seine Existenz keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Die Verwendung der Lieferwahrscheinlichkeit als Selektionsfaktor zur Generierung des KPZN bewirkt, dass die Kompetenzzellen, welche letztendlich am Produktionsprozess teilnehmen, zum Zeitpunkt der Anfrage den größten Kundennutzen und den größten Nutzen für das Produktionsnetzwerk mit sich bringen⁶³.

7.2 Ermittlung von Liefermenge und Lieferwahrscheinlichkeit

Die Erstellung des Angebotes erfolgt zum Zeitpunkt der Anfrage in Echtzeit. Daraus folgt, dass zu diesem Zeitpunkt Aussagen über die Verfügbarkeit in der Zukunft getroffen werden müssen. Das Eintreten von Ereignissen beeinflusst die verfügbare Menge bzw. die Verfügbarkeit der Ressourcen, so dass eine Unsicherheit über deren Verfügbarkeit besteht. Somit bedarf es einer Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens dieser Ereignisse. Weiterhin ist auch der Zeitpunkt des Eintretens der Ereignisse unbekannt. Daher kann keine deterministische Berechnung der Wahrscheinlichkeit und der Folgen des Ereignisses bezogen auf den Zeitpunkt der geplanten Lieferung, z. B. den Ressourcenverbrauch usw. stattfinden. Vielmehr beruht eine Prognose über das Eintreten der Ereignisse und deren Folgen auf Erfahrungen und unscharfem Wissen. Die folgenden Ausführungen stellen eine Möglichkeit zur Ermittlung der Lieferwahrscheinlichkeiten vor.



7.2.1 Die Verwendung der Fuzzy-Logik

Ein theoretisch exaktes Ergebnis einer Verfügbarkeitsprüfung kann nur in Ausnahmefällen mit vertretbarem Aufwand bestimmt werden, da die Verfügbarkeitsprüfung auf Kombinationen von Heuristiken und wissensbasierten Elementen basiert⁶⁴. Die Quantifizierung der zeitbezogenen Unschärfen für

⁶²Vgl. [Ber00].

⁶³Vgl. [Hof01a, S. 43 f.].

⁶⁴Vgl. [Mer99a, S. 378 f.].

die automatisierte Erstellung eines Angebotes basiert auf der Verwendung der *Fuzzy-Logik*. Die vorliegende Problemstellung erscheint für eine andere mathematische Modellierung wenig zugänglich. Insbesondere die Forderung nach der Berechenbarkeit der Ergebnisse in Echtzeit stellt für eine Implementierung eine Herausforderung dar, die den Einsatz der Fuzzy-Logik begründet⁶⁵.

Bei der Modellierung dürfen wichtige Eigenschaften der realen Welt nicht ignoriert werden. Es gilt jedoch zu bedenken, dass die Güte eines Modells nicht in jedem Fall von der Exaktheit der einfließenden Informationen abhängt. Für Modelle gibt es spezifizierbare Gütekriterien wie Korrektheit, Vollständigkeit, Adäquatheit, Benutzerfreundlichkeit und Effizienz. Ein Modell, welches die Komplexitätsreduktion unscharfer Informationen nutzt, kann durchaus in Bezug auf verschiedene Gütekriterien besser entwickelbar sein als ein Modell, welches dadurch schwer handhabbar ist, da es generell nur „präzise“ Informationen zulässt⁶⁶.

Es waren die komplexen Systeme, welche die Beschäftigung mit den Phänomenen der Unschärfe auslösten⁶⁷. Was kann aber die mehrwertige, unscharfe Logik für die Behandlung der komplexen Entscheidungsunterstützungssysteme leisten? Philosophen und Naturwissenschaftler machten in der Vergangenheit die Beobachtung, dass einfache Konzepte eher präzise sind als komplexe, die zu Unbestimmtheiten tendieren. Je umfassender die Bedeutungsfelder eines Begriffs sind, desto unbestimmter sind sie in ihren Konsequenzen und desto eher lassen sie sich mit unscharfen Mengen beschreiben. *Aristoteles* schrieb hierzu:

*„Die Darlegung wird dann befriedigen, wenn sie jenen Klarheitsgrad erreicht, den der gegebene Stoff gestattet. Der Exaktheitsanspruch darf nämlich nicht bei allen wissenschaftlichen Problemen in gleicher Weise erhoben werden ... Man muss sich also damit bescheiden, bei einem solchen Thema und bei solchen Prämissen die Wahrheit nur grob und umrisshaft anzudeuten sowie wie bei Gegenständen und Prämissen, die nur im großen und ganzen entstehen, in der Diskussion eben auch nur zu entsprechenden Schlüssen zu kommen.“*⁶⁸

⁶⁵Die Aussagen basieren u. a. auf Erfahrungen, die in einem Projekt mit ähnlichen und ebenso komplexen Modelleigenschaften gewonnen wurden. Siehe hierzu [Tei95, Tei98a, Tei01j].

⁶⁶Siehe [Mü97a, S. 7].

⁶⁷Übernommen aus [Tei98b, S. 72 ff.].

⁶⁸Aristoteles, *Die Nikomachische Ethik*.

Zadeh brachte die Bedeutung der Unbestimmtheit für den erfolgreichen Umgang mit komplexen Systemen mit seinem Gesetz von der Unvereinbarkeit auf den Punkt⁶⁹.

„Wenn die Komplexität eines Systems zunimmt, wird unsere Fähigkeit, präzise und dennoch signifikante Aussagen über dieses System zu machen, entsprechend geringer, bis eine Grenze erreicht wird, von der an Präzision und Signifikanz zu sich gegenseitig weitgehend ausschließenden Merkmalen werden.“

Das Gesetz von der Unvereinbarkeit scheint dabei der präzisen Analyse von komplexen Systemen Grenzen zu setzen. Andererseits ist dieses Gesetz doch sehr praktisch, denn es lässt Aussagen über Präzision auch dann noch zu, wenn diese bereits schwer und umständlich zu formulieren sind. Wenn Menschen mit komplexen Informationen konfrontiert werden, folgen sie beharrlich einer Strategie der Vereinfachungen, in denen das Wesentliche enthalten ist, aber immer unscharf. Die Fuzzy-Logik beschreibt einen Weg, komplizierte Sachverhalte in einfach zu beschreibenden Variablen und Regeln zu modellieren und steuerbar zu gestalten.

Fuzzy-Logik basiert auf der Theorie unscharfer Mengen, d. h. die Zweiwertigkeit der Elementrelation wird dadurch erweitert, dass es für die Elemente der entsprechenden Grundmenge einen kontinuierlich abgestuften Zugehörigkeitsgrad zwischen Vollmitgliedschaft (\in) und Nichtmitgliedschaft (\notin) gibt. In der klassischen Logik wird die Zugehörigkeit eines Elementes $x \in G$ zur Menge M durch eine charakteristische Funktion μ_M beschrieben. Falls $x \in M$, wird $\mu_M(x)$ gleich 1 gesetzt; falls $x \notin M$, dann gilt $\mu_M(x)$ gleich 0. Die mehrwertige Logik erweitert diese Definition wie folgt. Sei G eine (stets klassische) Grundmenge, μ_A eine (stets klassische) Funktion der Grundmenge G in das Einheitsintervall $[0, 1]$ der reellen Achse: $\mu_A : G \rightarrow [0, 1]$. Dann heißt die Menge A aller Paare $(x, \mu_A(x))$ *Fuzzy-Menge* über G . Ebenso wie in der klassischen Logik finden auch in der Fuzzy-Logik Operationen über Mengen ihre Anwendung⁷⁰.

Die Fuzzy-Technologie erlaubt die Verwendung linguistischer Variablen, deren Werte im Gegensatz zu numerischen Variablen nicht durch Zahlen, sondern durch Ausdrücke der natürlichen Sprache definiert werden. Diese Werte sind nicht scharf begrenzt. Über die Verwendung unscharfer Eingangsdaten und unscharfer Regeln wird damit die Modellierung von Erfahrungswissen und die graduierte Bewertung der Bedingungen und der Schlussfolgerungen,

⁶⁹Siehe [Zad73].

⁷⁰Ausführliche Beschreibungen finden sich in [Bö93, S. 5 ff.] und [Rom94, S. 7 ff.].

entsprechend ihres Wahrheitswertes oder Erfüllungsgrades⁷¹ möglich. Daraus ergibt sich die Eignung der Fuzzy-Logik zur Formulierung von Bedingungen und Schlussfolgerungen durch linguistische Werte für die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit.

7.2.2 Die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit der ATP-Menge

Wie oben erläutert besteht ein Problem bei der Angebotserstellung im Abschätzen des Lagerbestandes zum gewünschten Lieferzeitpunkt. Folglich muss bereits während der ATP-Prüfung auch die Lieferwahrscheinlichkeit der entsprechenden ATP-Menge betrachtet werden, da keine Sicherheit bezüglich der entnehmbaren Menge an Fertigprodukten existiert. Aufgrund der auftragsunabhängigen, kontinuierlichen Produktion sowie der Losgrößenbildung, z. B. zur Optimierung der Bestellmengen, kann ein Lagerbestand an Endprodukten innerhalb einer Kompetenzzelle bestehen. Welche Menge diesem entnommen werden kann, hängt direkt vom Sicherheitsbestand ab⁷².

Die Sicherheitsbestände beinhalten in diesem Modell auch die reservierten Bestände für langfristige Rahmenverträge, welche nur die Gesamtmenge vertraglich absichern, nicht aber die zeitlichen und quantitativen Ausprägungen der Teillieferungen⁷³. Somit liegen, im Gegensatz zu den „normalen“ reservierten Beständen, keine sicheren Informationen über den Zeitpunkt des Abrufes vor. Der Umfang des unternehmensspezifischen Sicherheitsbestandes entspricht der zu erwartenden Losgröße der nächsten Teillieferung. Das Eintreten eines Abrufes bewirkt den kompletten Verbrauch des Sicherheitsbestandes. Entsprechend der Festlegung im Master Plan kann diese Art des Sicherheitsbestandes einen dynamischen, zeitveränderlichen Umfang besitzen.

Entsprechend diesen Voraussetzungen findet auch im KPZN für jede KPZ nach dem Eintreffen einer Anfrage eine ATP-Prüfung statt. Die notwendigen Schritte zur Ermittlung der Lieferwahrscheinlichkeit im Rahmen der ATP-Prüfung gestalten sich in Abhängigkeit von nachgefragter Menge und Ausprägung verschiedener Bestandsgrößen unterschiedlich. Abbildung 7.9 zeigt überblicksartig zwei Programmablaufpläne (PAP) zur Lieferanfragenbehandlung im Rahmen der ATP-Prüfung.

⁷¹Vgl. [Bot93, S. 3].

⁷²Vgl. mit der Abbildung 7.4 und der Gleichung 7.2.

⁷³Vgl. [Tei02d].

Als Ausgangspunkt dient die Berechnung des geplanten Lagerbestandes zum gewünschten Liefertermin nach Gleichung (7.1) auf Seite 384. Das ermittelte Ergebnis des Lagerbestandes zum Zeitpunkt t_1 bildet nur einen Prognosewert und hat nicht die Qualität einer 100 %igen Verfügbarkeit. Die Differenz aus geplantem Lagerbestand in t_1 und dem Sicherheitsbestand stellt die ATP-Menge x_{ATP} dar:

$$x_{ATP} = \text{Lagerbestand}(t_1) - \text{Sicherheitsbestand}(t_1). \quad (7.2)$$

Es gilt:

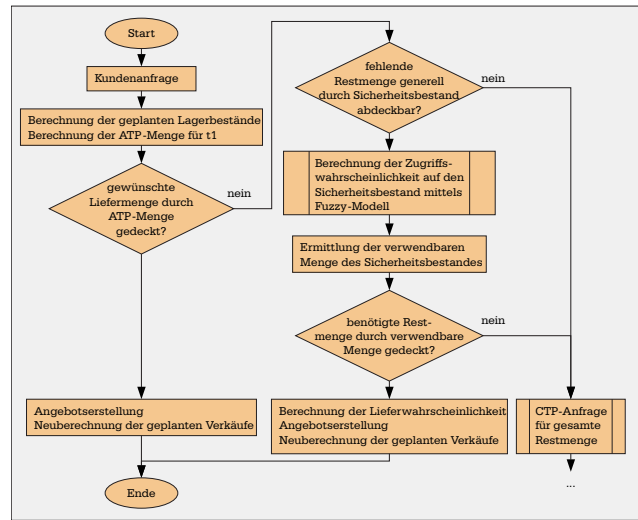
$$P_D(x_{ATP}) = 100\%, \quad (7.3)$$

falls alle benötigten Positionen mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% zum Zeitpunkt t_1 verfügbar sind. Wenn die Menge x_{ATP} größer oder gleich der angefragten Liefermenge $x_{angefragt}$ ist, kann sofort die Generierung eines Angebotes erfolgen. In diesem Fall erfolgt eine Entnahme der Angebotsmenge aus der ATP-Menge und die Erhöhung der neu zu berechnenden geplanten Verkäufe, die „normalen“ reservierten Bestände, im gleichen Maß⁷⁴:

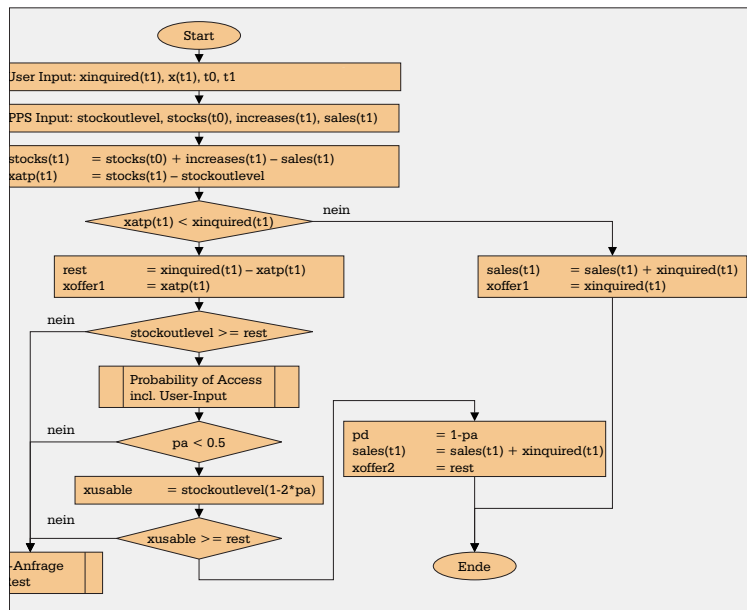
$$x_{reserviert_{neu}} = x_{reserviert} + x_{angefragt}. \quad (7.4)$$

Bis zu dieser Stelle unterscheidet sich das Vorgehen nicht vom bisherigen ATP-Ansatz. Im Folgenden findet aber eine Erweiterung des traditionellen Ansatzes statt.

⁷⁴Vgl. [Kil00, S. 145].



(a) Grober PAP



(b) Detaillierter PAP

Abbildung 7.9: Ablaufplan zur ATP-Prüfung einer Lieferanfrage

In diesem herkömmlichen ATP-Ansatz erfolgt bei einem negativen Ergebnis der ATP-Prüfung keine Generierung eines Angebotes, und eine CTP-Prüfung wird durchgeführt. Um eine Anfrage zum gewünschten Lieferzeitpunkt t_1 erfüllen zu können, eignen sich nach *Kilger* und *Schneeweiss*⁷⁵ verschiedene Suchrichtungen. Die erste Dimension ist der Zeitpunkt. Zunächst prüft der Algorithmus, ob zu einem früheren Zeitpunkt als t_1 die Anfrage erfüllt werden kann. Der zweite Schritt betrifft die Überprüfung von reservierten Beständen für andere Kundengruppen⁷⁶. Ein neuer Ansatz ermöglicht den flexiblen Zugriff auf den oben erwähnten Sicherheitsbestand zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit einer Kompetenzzone. Ein weiterer angestrebter Effekt stellt die Reduzierung der Lagerbestände innerhalb der KPZN aufgrund der variablen Zugriffsmöglichkeiten dar⁷⁷. Diese Überlegung verdeutlicht die Abbildung 7.10.

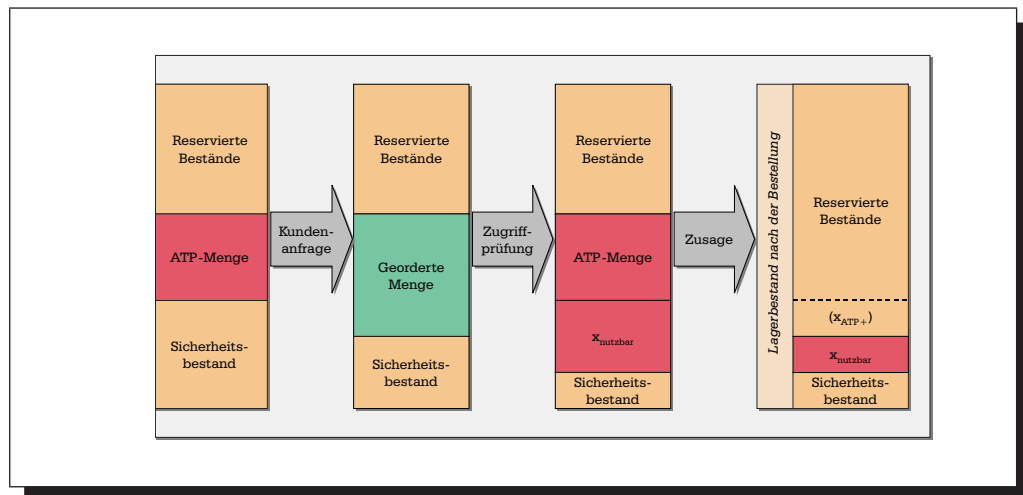


Abbildung 7.10: Der Zugriff auf den Sicherheitsbestand zur Erfüllung einer Kundenanfrage

Somit erfolgt nach einem negativen Ergebnis eine Prüfung über Möglichkeit und Umfang eines Zugriffes auf den Sicherheitsbestand. Für den Fall,

⁷⁵Vgl. [Kil00, S. 145 f.].

⁷⁶Kilger und Schneeweiss nennen diese Bestände *Allocated ATP* [Kil00, S. 140ff.]. Als dritte Suchrichtung erwähnen sie alternative Produkte. Diese Betrachtung kann nur bei fehlender Abgrenzung von ATP zu CTP erfolgen. In diesem Fall werden Ressourcen für andere Produktgruppen für die Auftragsbefriedigung herangezogen. Diese Möglichkeit besitzt daher in KPZN und bei der getroffenen Trennung von ATP und CTP, d. h. der Konzentration auf die Endprodukte bei ATP, keine Relevanz.

⁷⁷Vgl. [Tei02n].

dass die Menge aus dem Sicherheitsbestand für die Bedarfsdeckung nicht ausreicht und $x_{angefragt} > x_{ATP} + x_{Sicherheitsbestand}$ gilt, ist die Produktion der Differenzmenge erforderlich. Wenn jedoch eine Produktion stattfindet, sollte keine Entnahme von Teilen aus dem Sicherheitsbestand erfolgen, sondern eine Produktion der Restmenge $x_{angefragt} - x_{ATP}$. Gleiches gilt, falls $x_{nutzbar} + x_{ATP} < x_{angefragt}$. Der Zugriff auf den Sicherheitsbestand eignet sich nur als Substitution zur Produktion, nicht als ihre Ergänzung⁷⁸.

Reicht der Sicherheitsbestand zur Bedarfsdeckung grundsätzlich aus, muss ermittelt werden, in welchem Umfang der Sicherheitsbestand unterschritten werden darf. Diese Menge $x_{nutzbar}$ hängt vom möglichen Abruf des Sicherheitsbestandes im Rahmen der bereits charakterisierten langfristigen Lieferverträge ab. Die *Zugriffswahrscheinlichkeit* P_A drückt die Wahrscheinlichkeit eines Zugriffes auf den Sicherheitsbestand im relevanten Zeitraum $\Delta t_{Lieferung}$ aus, d. h. zwischen Anfragezeitpunkt t_0 und gewünschtem Lieferzeitpunkt t_1 . Abbildung 7.11 zeigt eine Möglichkeit des Zusammenhangs zwischen der Zugriffswahrscheinlichkeit und $x_{nutzbar}$. Generell gilt die Beziehung:

$$\text{wenn } P_A \uparrow, \text{ dann } x_{nutzbar} \downarrow\downarrow. \quad (7.5)$$

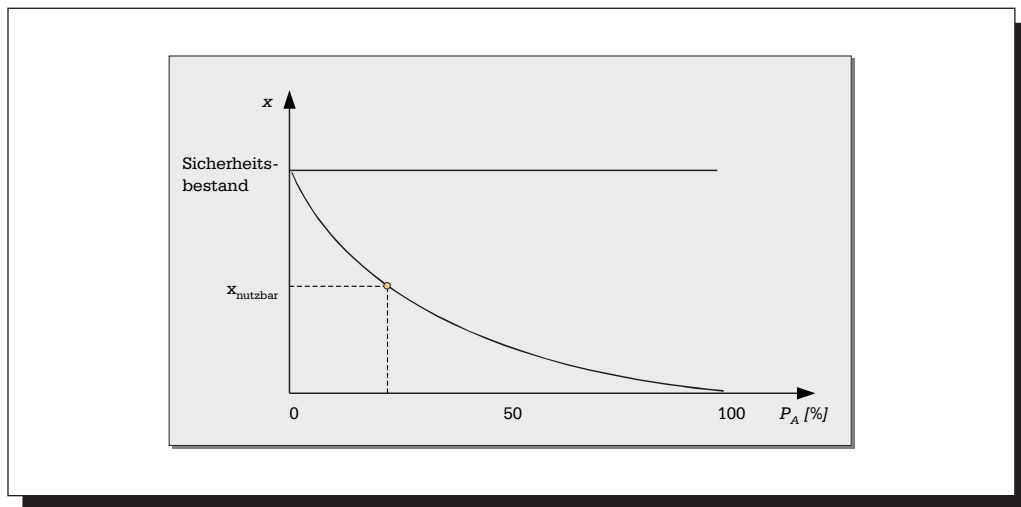


Abbildung 7.11: Die Abhängigkeit der nutzbaren Menge von der Zugriffswahrscheinlichkeit

Mit steigender Zugriffswahrscheinlichkeit steigt das Risiko, dass die entnommene Menge bis zum nächsten Lieferabruf nicht mehr nachproduzier-

⁷⁸Vgl. [Tei02n].

bar ist. Aus diesem Grund sollte der Sicherheitsbestand bei einer Zugriffswahrscheinlichkeit von 100% nicht unterschritten werden. Die Beziehung zwischen $x_{nutzbar}$ und P_A berücksichtigt auch die KPZ-spezifischen Produktionszeiten. Dieser Parameter beeinflusst die Wiederauffüllzeit nach einem Zugriff. Abbildung 7.11 stellt deshalb nur eine theoretische Annahme dar, welche durch Erfahrungswerte spezifiziert werden musste. Ist $x_{nutzbar}$ größer oder gleich der Differenz zwischen der angefragten Menge und x_{ATP} , d. h. $x_{nutzbar} + x_{ATP} \geq x_{angefragt}$, so erfolgt eine Angebotserstellung. Die dem Sicherheitsbestand tatsächlich entnommene Menge erhält die Bezeichnung x_{ATP+} . Die x_{ATP+} zugehörige Lieferwahrscheinlichkeit berechnet sich nach Gleichung:

$$P_D(x_{ATP+}) = 1 - P_A. \quad (7.6)$$

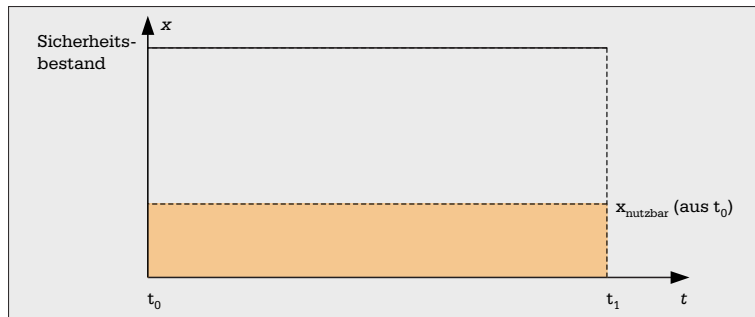
Die Gesamtliefermenge ergibt sich in dann wie folgt:

$$x_{Lieferung} = x_{ATP} + x_{ATP+} \quad (7.7)$$

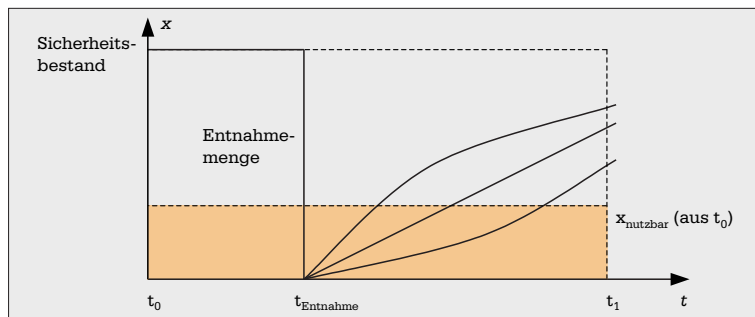
$$x_{reserviert_{neu}} = x_{reserviert} + x_{Lieferung}. \quad (7.8)$$

Die Lieferung der Menge x_{ATP} erfolgt mit Sicherheit und bei der Menge x_{ATP+} mit einer Wahrscheinlichkeit von $P_D \leq 100\%$. Die Unsicherheiten resultieren aus den in der Abbildung 7.12 dargestellten Möglichkeiten des Abrufes des Sicherheitsbestandes und der daraus resultierenden Entwicklung der Bestände. Es muss festgehalten werden, dass die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit der $ATP+$ -Menge nach Gleichung (7.6) eine zu geringe Wahrscheinlichkeit ergibt, da nach dieser Gleichung jeder Abruf des Sicherheitsbestandes eine Nichtlieferung der nutzbaren Menge bewirken würde. Die Abbildung 7.12 zeigt jedoch, dass in Abhängigkeit von der Zeit des Zugriffes die nutzbare Menge bis t_1 gegebenenfalls nachproduziert werden kann (in der Abbildung durch drei unterschiedliche Produktionsfunktionen illustriert) und somit auch das Angebot mit x_{ATP+} rechtzeitig erfüllbar ist⁷⁹. Weiterhin besteht die Möglichkeit einer Anpassung der Produktionsintensität zur rechtzeitigen Erfüllung einer Lieferzusage. Die Gleichung (7.6) findet dennoch Anwendung, da bereits der Wert der Zugriffswahrscheinlichkeit nur einen Schätzwert darstellt.

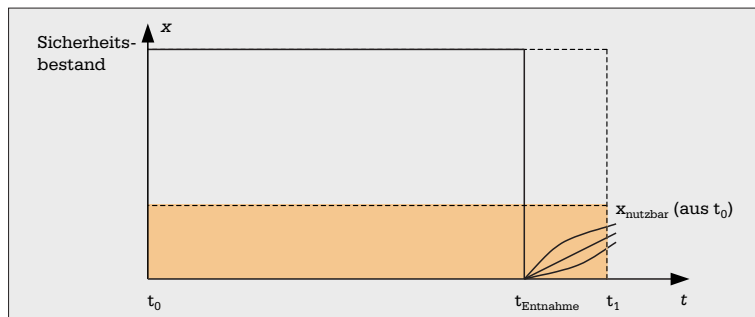
⁷⁹Die höhere Priorität des langfristigen Rahmenvertrages gegenüber dem kurzfristigen Angebot wird vorausgesetzt.



(a) Kein Zugriff auf den Sicherheitsbestand



(b) Zeitiger Zugriff auf den Sicherheitsbestand



(c) Später Zugriff auf den Sicherheitsbestand

Abbildung 7.12: Mengengrößen bei Zugriff auf Sicherheitsbestand

Ist die Differenz aus der angefragten und der verfügbaren Menge $x_{ATP} + x_{nutzbar}$ größer als Null, ist eine Produktion erforderlich. Die Liefermenge ergibt sich bei Berücksichtigung der gesetzten Prämissen wie folgt aus der Gleichung:

$$x_{Lieferung} = x_{ATP} + x_{CTP}. \quad (7.9)$$

Die oben ausgeführte Möglichkeit der situationsbezogenen flexiblen Verwendung des Sicherheitsbestandes setzt die Berechnung der Zugriffswahrscheinlichkeit voraus. Zur Ermittlung der Zugriffswahrscheinlichkeit erfolgt zunächst die Darstellung ihrer Bestimmungsfaktoren und die Art der Abhängigkeiten. Als wesentliche Determinanten lassen sich annehmen:

- die Zeitspanne zwischen der Anfrage und dem gewünschtem Liefertermin ($\Delta t_{Lieferung}$),
- bisheriger Erfüllungsgrad der Rahmenverträge (α) und
- Zeitspanne zwischen letztem Zugriff und gewünschtem Liefertermin (Δt_{Abruf}).

Zwischen der Zugriffswahrscheinlichkeit und den Einflussgrößen bestehen folgende Abhängigkeiten:

- Je größer die Zeitspanne zwischen Anfrage t_0 und Liefertermin t_1 , desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zugriff innerhalb dieses Zeitraumes erfolgt.
- Je größer der bisherige Erfüllungsgrad der Rahmenverträge, desto weniger wahrscheinlich ist ein Zugriff. Umgekehrt führt ein niedriger Erfüllungsgrad zu einer im Mittel höheren Anzahl verbleibender Zugriffe und damit auch zu einer erhöhten Zugriffswahrscheinlichkeit in einem bestimmten Zeitabschnitt.
- Je größer die Zeitspanne zwischen letztem Zugriff t_{-1} und dem gewünschtem Liefertermin t_1 , desto wahrscheinlicher ist ein Zugriff.

Die oben genannten Abhängigkeiten haben nicht zwingend einen deterministischen Charakter, bzw. eine eventuell bestehende Deterministik ist nicht modellierbar. Auch handelt es sich bei den zugrundeliegenden Variablen zwar um ursprünglich metrisch skalierte Größen, die zugehörigen Aussagen sind jedoch subjektiv und arbeiten mit intrinsisch unscharfen Ausdrücken⁸⁰. Die

⁸⁰Vgl. [Rom94, S. 4, 156].

Abschätzung der Konsequenzen basiert auf Expertenwissen, weswegen, wie bereits im Abschnitt 7.2.1 beschrieben, die Fuzzy-Logik Anwendung findet. Der Vorteil ihrer Anwendung besteht in der situationsabhängigen Nutzung des eigentlich reservierten Sicherheitsbestandes. Jede Situation (als Kombination von Ausprägungen der linguistischen Einflussgrößen) kann einzeln betrachtet und anhand einer aufzustellenden Regelbasis eines Fuzzy-Controllers modelliert werden⁸¹.

Im Folgenden soll die Berechnung der Zugriffswahrscheinlichkeit auf der Grundlage eines regelbasierten Fuzzy-Logik-Modells beschrieben werden. Ein solches System besteht nach *Kahlert*⁸² aus einer Anzahl von Inferenzregeln sowie dem Inferenzschema, welches die Verarbeitungsvorschrift für die Ermittlung von (scharfen) Ausgangsgrößen y_i aus (scharfen) Eingangsgrößen x_i enthält. Die Arbeitsweise folgt dem üblichen Schema⁸³:

- Fuzzifizierung der scharfen Eingangsgröße,
- Ermittlung der aktiven Regeln,
- Ermittlung der einzelnen Ausgangs-Fuzzy-Mengen,
- Überlagerung der einzelnen Ausgangs-Fuzzy-Mengen und
- Berechnung der scharfen Ausgangsgröße P_A durch Defuzzifizierung.

Vor der eigentlichen Konzeption bedarf es der Betrachtung einiger Modellierungsaspekte. Dazu zählt die Modellierung der Variablen (Fuzzifizierer), der Inferenzregeln (Regelbasis) sowie die Festlegung des Inferenzschemas.

Nach der Modellierung des inhaltlichen Sachverhaltes geht es um eine Festlegung der konkreten *Zugehörigkeitsfunktionen* für die einzelnen Kenngrößen (Eingangs- und Ausgangsvariablen). Im Rahmen der Fuzzy-Linguistik werden diese Kenngrößen auch als linguistische Variablen bezeichnet. Ihre möglichen Ausprägungen werden durch Fuzzy-Mengen repräsentiert und erhalten die Bezeichnung *linguistische Terme*⁸⁴. Zur Charakterisierung einer Kenngröße wird jeweils ein Satz von Fuzzy-Mengen benötigt. Die Art der Zugehörigkeitsfunktion orientiert sich am Anwendungsfall. Für ein erstes System wurden sie, auf eigenen Erfahrungen beruhend, subjektiv geschätzt.

⁸¹Vgl. [Kah94b, S. 52 ff.].

⁸²Vgl. [Kah94b, S. 85 ff.].

⁸³Vgl. [Kah94b, S. 87 f.].

⁸⁴Für die im Modell verwendeten Größen siehe Abbildungen 7.13.

Grundsätzlich sind auch objektive Verfahren denkbar, die u. a. jedoch genaue a-priori-Informationen sowie eine Konstanz der Versuchsbedingungen voraussetzen. Beides kann hier als nicht gegeben angesehen werden, da sich in einem solch komplexen Logistiksystem ständig unerwartete, neue Einflüsse ergeben können. Als dritte Möglichkeit kommt eine (automatische) Adaption anhand eines geeigneten Optimierungskriteriums in Betracht⁸⁵. Dies wird in Erweiterung des vorliegenden Systems bereits in Erwägung gezogen, um die Ergebnisse qualitativ zu verbessern. Dazu wird mittels einer statistischen Analyse der berechneten P_A -Werte und der tatsächlich aufgetretenen Zugriffe eine Anpassung der Verteilungen durchgeführt⁸⁶.

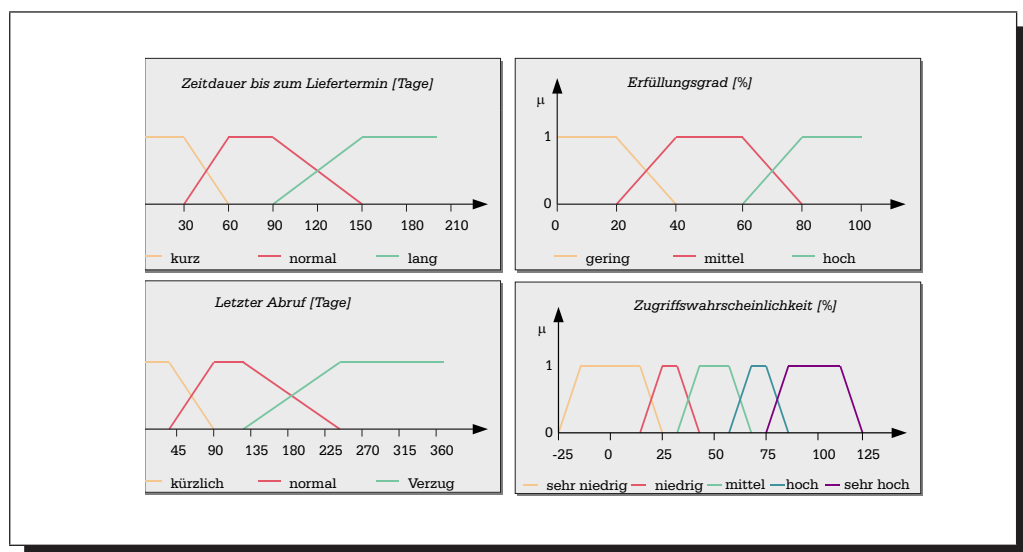


Abbildung 7.13: Zugehörigkeitsfunktionen der In- und Output-Variablen

Der Einfachheit halber sind zunächst trapezoide Zugehörigkeitsfunktionen (Abbildung 7.13) verwendet worden, obwohl sich nach *Rommelfanger*⁸⁷ für die Modellierung nichttechnischer Entscheidungen eher s-förmige Referenzfunktionen aufgrund ihrer Anlehnung an die Normalverteilung eignen. Die in diesem Modell verwendeten Annahmen über die Verteilungen ergeben sich aus der Praxis und sind daher für jedes Unternehmen spezifisch zu determinieren. Dies geschieht vorerst durch Einschätzung von Experten, längerfristig erfolgt die Implementierung eines selbstlernenden Fuzzy-Logik-Moduls,

⁸⁵Vgl. [Boc87, S. 84 f.].

⁸⁶Vgl. [Tei02n].

⁸⁷Vgl. [Rom94, S. 156].

welches über die statistische Erhebung von Daten und eine automatische Adaption eine weitere qualitative Verbesserung erreichen soll.

Der nächste Schritt beinhaltet die *Modellierung der Regeln*. Die Regelbasis besteht aus einer Reihe von Inferenzregeln nach der allgemeinen Form:

$$\begin{array}{l}
 R_1 : \text{ IF } x_1 = A_{11} \quad \text{AND} \quad x_i = A_{1i} \quad \text{AND} \quad x_n = A_{1n} \quad \text{THEN} \quad y = B_1 \\
 \vdots \\
 R_j : \text{ IF } x_1 = A_{j1} \quad \text{AND} \quad x_i = A_{ji} \quad \text{AND} \quad x_n = A_{jn} \quad \text{THEN} \quad y = B_j \\
 \vdots \\
 R_m : \text{ IF } x_1 = A_{m1} \quad \text{AND} \quad x_i = A_{mi} \quad \text{AND} \quad x_n = A_{mn} \quad \text{THEN} \quad y = B_m
 \end{array}
 \tag{7.10}$$

mit:

$$\begin{array}{ll}
 x_1, x_2, \dots, x_n & \dots \text{ Eingangsgrößen,} \\
 A_{1i}, A_{2i}, \dots, A_{mi} & \dots \text{ linguistische Terme der Eingangsgröße } x_i, \\
 y & \dots \text{ Ausgangsgröße und} \\
 B_1, B_2, \dots, B_m & \dots \text{ linguistische Terme der Ausgangsgröße } y.
 \end{array}$$

An dieser Stelle sei erwähnt, dass sich mit der Anzahl der linguistischen Terme der Input-Variablen die Anzahl der zu erfassenden Regeln schnell erhöht. Daher ist es sinnvoll, sich auf jeweils wenige Terme bei den Eingangsgrößen zu beschränken. Somit ergeben sich aus drei Eingangsvariablen mit je drei Termen $3^3 = 27$ Regeln. Die Ausgangsgröße soll zur genaueren Auswertung fünf Ausprägungen aufweisen⁸⁸.

Nach der Modellierung des Fuzzy-Logik-Systems beginnt die Abarbeitung des Inferenzschemas mit der *Fuzzifizierung der Eingangsgrößen*. Die folgenden Schritte werden zur Ermittlung einer Zugriffswahrscheinlichkeit P_A jeweils aktuell durchgeführt. Ausgangspunkt stellt eine gegebene Zustandsbeschreibung dar. Gemeint ist ein Satz scharfer Eingangsgrößen x_i (hier $\Delta t_{\text{Lieferung}}$, Δt_{Abruf} und α). Die für die Berechnung dieser Größen benötigten Daten sollen von einem ERP-System über eine geeignete Schnittstelle geliefert werden. Die Ermittlung und Berechnung der Zeiträume $\Delta t_{\text{Lieferung}}$ und Δt_{Abruf} ist tendenziell unproblematisch:

$$\Delta t_{\text{Lieferung}} = t_1 - t_0 \quad t_i \text{ in [d]} \tag{7.11}$$

$$\Delta t_{\text{Abruf}} = t_1 - t_{-1} \quad t_i \text{ in [d]} \tag{7.12}$$

mit:

⁸⁸Vgl. [Hof01a, S. 70].

t_{-1}	...	Termin des letzten Zugriffs auf den Sicherheitsbestand, im Rahmen eines langfristigen Liefervertrages,
t_0	...	Zeitpunkt des Eintreffens der Anfrage und
t_1	...	gewünschter Liefertermin.

Der Erfüllungsgrad der langfristigen Lieferverträge α berechnet sich entsprechend der Gleichung (7.13):

$$\alpha = \frac{\text{abgerufene Mengen bis zum Zeitpunkt } t_0}{\text{vertraglich festgelegte Menge}}. \quad (7.13)$$

Existieren gleichzeitig mehrere wirksame Rahmenverträge, so besteht die Möglichkeit der Bildung getrennter Sicherheitsbestände für jeden Rahmenvertrag. Für jeden einzelnen Rahmenvertrag erfolgt gesondert die Berechnung der Zugriffswahrscheinlichkeit und der nutzbaren Menge. Die nutzbaren Mengen der einzelnen Rahmenverträge werden zu einer resultierenden nutzbaren Menge $x_{nutzbar}^{res}$ addiert, aus welcher die Anfrage gegebenenfalls erfüllbar ist. Alternativ kann eine Zusammenfassung der verschiedenen Rahmenverträge in einen gemeinsamen Sicherheitsbestand stattfinden. In diesem Fall bedarf es der Berechnung aller Zugriffswahrscheinlichkeiten auf den Sicherheitsbestand. Diese werden mit Hilfe einer Disjunktion zu einer resultierenden Zugriffswahrscheinlichkeit P_A^{res} verknüpft, aus welcher sich die nutzbare Menge ergibt.

Bei der Fuzzifizierung der Eingangsgrößen werden die Zugehörigkeitswerte bzw. Wahrheitsgrade μ_i der scharfen Größe i zu allen linguistischen Termen ermittelt. Daraus ergeben sich so genannte Fuzzy-Vektoren der Form⁸⁹:

$$\Delta t_{Lieferung}^* = \begin{pmatrix} \mu_{\Delta t_{Lieferung} \text{ kurz}}(\Delta t_{Lieferung}) \\ \mu_{\Delta t_{Lieferung} \text{ normal}}(\Delta t_{Lieferung}) \\ \mu_{\Delta t_{Lieferung} \text{ lang}}(\Delta t_{Lieferung}) \end{pmatrix}. \quad (7.14)$$

Aus der Regelbasis erfolgt im Rahmen der *Ermittlung des Erfüllungsgrades* jeder aktiven Regel die Auswahl der Regeln, bei denen die Zugehörigkeitswerte aller Prämissen, die IF-Bedingungen, ungleich Null sind. Diese Regeln werden als aktive Regeln bezeichnet. Bei mehreren AND-verknüpften Prämissen - andere Verknüpfungen besitzen im vorliegenden Fall keine Relevanz - ergibt sich der Erfüllungsgrad einer Regel H_i im Allgemeinen durch das Minimum über die „Wahrheitsgrade“ aller Inputvariablen dieser Regeln⁹⁰:

⁸⁹In Anlehnung an [Kah94b, S. 71].

⁹⁰Vgl. [Rom94, S. 160 ff.] und [Kah94b, S. 73].

$$H_i := \min(\mu_1(x'_1), \mu_2(x'_2), \dots, \mu_n(x'_n)). \quad (7.15)$$

Bei Anwendung des Minimumoperators entspricht der Wahrheitsgrad der Gesamtprämisse einer Regel dem Minimum der Wahrheitsgrade aller Einzelprämissen⁹¹. Grafisch gesehen führt dies zu einer in H_i „abgeschnittenen“ Ausgangs-Fuzzy-Menge. Damit ist der Grad ermittelt, zu dem die linguistische Ausgangsvariable im Konklusionsteil der Regel bei den aktuellen Eingangsgrößen $(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ greift.

Als Ergebnis liegt eine Reihe aktiver Regeln mit zugehörigen Ausgangs-Fuzzy-Mengen vor. Zur Gesamtbewertung über alle Regeln der Regelbasis werden die „abgeschnittenen“ Fuzzy Mengen mittels Maximumoperator zu einer resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge μ_{res} verknüpft:

$$R_1 \cup \dots \cup R_j \cup \dots \cup R_m : \mu_{res}(y) = MAX(\mu_{B1}(y), \mu_{Bj}(y), \mu_{Bm}(y)) \quad (7.16)$$

mit

$$\begin{array}{ll} R_j & \dots \quad \text{(aktive) Regel und} \\ \mu_{B'j} & \dots \quad \text{Zugehörigkeitsgrad der Fuzzy-Ausgangsgröße einer Regel.} \end{array}$$

Beim Ergebnis handelt es sich um eine mengentheoretische Vereinigungsmenge, die grafisch über der Ausgangskenngröße abgetragen ist. Die Abbildung 7.14 verdeutlicht an einem Beispiel diese Vereinigungsmenge.

Der letzte Schritt besteht darin, die Zugriffswahrscheinlichkeit als scharfe Ausgangsgröße zu ermitteln, um sie für die weiteren Berechnungen für $x_{nutzbar}$ und P_D einsetzen zu können. Dieser, als *Defuzzifizierung* bezeichnete Vorgang greift auf verschiedene Methoden zurück, die unterschiedliche Eignung je nach Anwendungsfall besitzen. Zur Defuzzifizierung findet in diesem Modell die modifizierte Schwerpunktmethode Anwendung. Das Prinzip der Schwerpunktmethode, auch als Center-of-Gravity-Methode bezeichnet, besteht in der Berechnung des Flächenschwerpunktes der resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge μ_{res} . Die resultierende scharfe Ausgangsgröße wird auf der Abszisse abgetragen. Die Berechnung ergibt sich nach der Gleichung:

⁹¹Hierzu sei angemerkt, dass neben der Verwendung des Minimum-Operators weitere Operatoren denkbar sind, um die Zugehörigkeitswerte der Bedingungen einer Regel zu aggregieren. *Rommelfanger* kritisiert an der hier verwendeten Max-Min-Inferenz, dass Regeln mit mittleren Erfüllungsgrad-Werten einen relativ starken Einfluss haben und schlägt deshalb die Verwendung einer Max-Prod-Inferenz vor. Dabei wird beim „IF..., THEN...“-Schließen das algebraische Produkt verwendet.

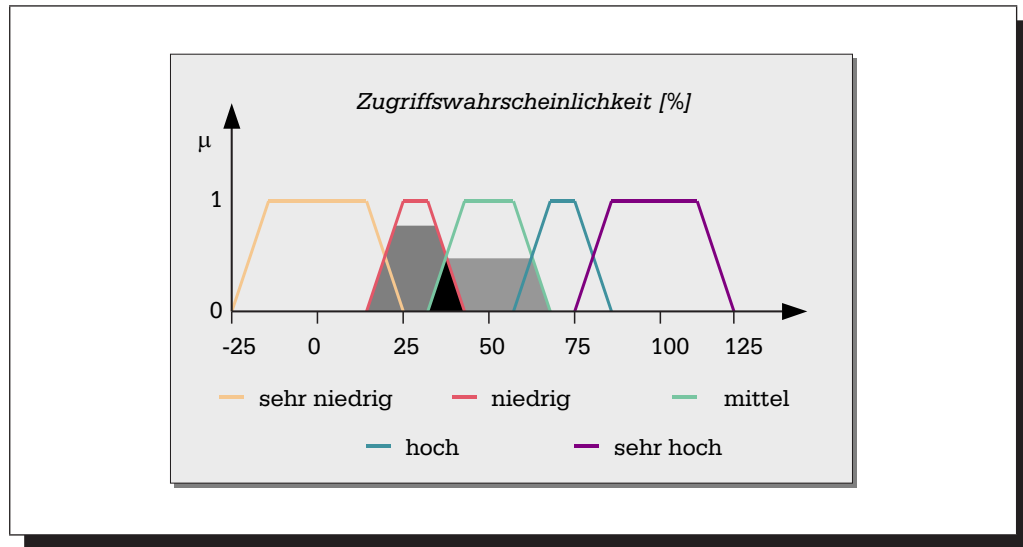


Abbildung 7.14: Die resultierende Fuzzy-Ausgangsmenge

$$y_{res} = \frac{\int_0^{\infty} y \mu_{res}(y) dy}{\int_0^{\infty} \mu_{res}(y) dy}. \quad (7.17)$$

Praktische Berechnungen basieren auf Näherungen durch numerische Integration. Ein einfaches Näherungsverfahren besteht aus den folgenden Schritten⁹². Die den Schwerpunkten der Ausgangsmengen aller Regeln zugeordneten Abszissenwerte y_i werden aggregiert und dabei mit dem der jeweiligen Regel zugehörigem Erfüllungsgrad H_i wie folgt gewichtet:

$$y_{res} = \frac{\sum_{i=1}^m y_i H_i}{\sum_{i=1}^m H_i} \quad (7.18)$$

mit:

⁹²Vgl. [Kah94b, S. 99].

- H_i ... Erfüllungsgrad der Regel i ,
 y_i ... zum Schwerpunkt der Ausgangsmenge der Regel i
 zugehöriger Abszissenwert und
 m ... Anzahl der Regeln.

Ein wesentlicher Vorteil der Schwerpunktmethodik besteht darin, dass sich die Ausgangsgrößenänderung bei Variation der Eingangsgrößen im Allgemeinen stetig verhält und jeweils alle aktiven Regeln gewichtet in die Berechnung der Ausgangsgröße einfließen. Nachteilig ist u. a., dass niemals der gesamte Ausgangsgrößenbereich erreicht wird (die Grenze liegt immer beim Schwerpunkt der Fuzzy-Mengen, die auf den beiden äußeren Ausprägungsbereichen der Skala basieren). Praktisch bedeutet dies, dass niemals eine Zugriffswahrscheinlichkeit von 100% oder 0% auftreten könnte. Die Berechnung der verwendbaren Menge $x_{nutzbar}$ würde verzerrt. Abhilfe soll daher die modifizierte Schwerpunktmethodik schaffen. Dabei erfolgt die Ausweitung der Randmengen durch die Erweiterung der Randflächen über die Grenzwerte 0% und 100% hinaus⁹³. Dabei ist zu beachten, dass die neuen Mengen symmetrisch um den angestrebten Maximal- bzw. Minimalwert liegen, so dass der neue Schwerpunkt genau über der Abszisse der Werte zu finden ist. Abbildung 7.14 zeigt, dass diese Ausweitung bereits bei der Modellierung der linguistischen Terme der Ausgangsgröße Berücksichtigung fand. Auf diese Weise lassen sich Zugriffswahrscheinlichkeiten bzw. daraus abgeleitete Lieferwahrscheinlichkeiten über den gesamten Wertebereich berechnen.

Die ermittelte Zugriffswahrscheinlichkeit findet, wie oben beschrieben, Eingang in die Berechnung der nutzbaren Menge aus dem Sicherheitsbestand. Somit ermöglicht ihre Ermittlung, die verfügbaren Lieferkapazitäten schnell und situationsabhängig zu nutzen. Dadurch erhöht sich die Flexibilität bei der Bereitstellung kurzfristiger Liefermengen und führt zu einer Senkung der Produktionskosten des Unternehmens⁹⁴.

7.2.3 Die Ermittlung der Lieferwahrscheinlichkeit der CTP-Menge

Bei der Herstellung von Produkten beeinflussen verschiedene Stör- und Einflussfaktoren den zuverlässigen Ablauf des Produktionsprozesses und können ihn einschränken. Diese Faktoren unterteilen sich in interne und externe Faktoren. Der störungsfreie Ablauf des Produktionsprozesses hängt intern von

⁹³Vgl. [Bot93, S. 143].

⁹⁴Vgl. [Tei02n].

den benötigten und den vorhandenen Ressourcen des Unternehmens ab. Die äußeren Faktoren bilden die Verfügbarkeit der Zulieferteile ab. Geben alle Zulieferer die Lieferwahrscheinlichkeit an, so erfasst eine Aggregation dieser Informationen die äußeren Einflussfaktoren. Da zur Herstellung eines Produktes alle Zulieferteile vorhanden sein müssen, findet zur Aggregation der Lieferwahrscheinlichkeiten folgende Konjunktion Anwendung:⁹⁵.

$$P_{D\ n+1} = P_{D\ n}(\text{Komponente 1}) \cdot P_{D\ n}(\text{Komponente 2}) \cdot \dots \cdot P_{D\ n}(\text{Komponente } i) \cdot C_P \quad (7.19)$$

mit:

$P_{D\ n}$...	Lieferwahrscheinlichkeit nach der Stufe n ,
$P_{D\ n+1}$...	Lieferwahrscheinlichkeit nach der Stufe $n + 1$ und
C_P	...	Produktionsfähigkeit der Stufe $n + 1$.

Für am (Wareneingangs-)Lager einer Kompetenzzone vorhandene Zulieferkomponenten gilt eine Lieferwahrscheinlichkeit von $P_{D}(\text{Komponente } i) = 100\%$, da keine Zulieferung erfolgen muss. Der Wert bezeichnet an dieser Stelle die sichere Verfügbarkeit der Zulieferkomponente.

Die Größe *Produktionsfähigkeit* C_P fasst die internen Einfluss- und Störfaktoren einer Kompetenzzone zusammen. Somit kann die Bestimmung der Lieferwahrscheinlichkeit eines Bauteils auf der Stufe $n + 1$ wie in Abbildung 7.15 dargestellt werden. Die KPZ 3 produziert das Bauteil xy unter Verwendung der Zulieferteile x und y aus der Stufe n des Wertschöpfungsprozess. Die Aggregation der Zulieferwahrscheinlichkeiten und der Produktionsfähigkeit der KPZ 3 erfolgt nach Gleichung (7.19). Dieses Vorgehen ermöglicht die Berücksichtigung der „Unzuverlässigkeiten“ entlang der Wertschöpfungskette.

Es gilt festzuhalten, dass die Produktionsfähigkeit sich auf den planbaren Ablauf des Produktionsprozesses bezieht und die generelle Kompetenz zur Fertigung eine geplante Angebotserstellung voraussetzt. Die Produktionsfähigkeit quantifiziert die Unsicherheiten innerhalb des Produktionsprozesses. Diese Unsicherheiten lassen sich unterteilen in statische und dynamische Unsicherheiten.

Die *statischen* Unsicherheiten beruhen auf Bestandsfaktoren des Unternehmens wie das Alter. bzw der Zustand der Maschinen oder die soziale Struktur der Belegschaft und charakterisieren die Ausfallwahrscheinlichkeit in der Produktion⁹⁶. Sie können über einen mittelfristigen Zeitraum als konstant

⁹⁵Vgl. [Tei02s].

⁹⁶Vgl. [Tei02n].

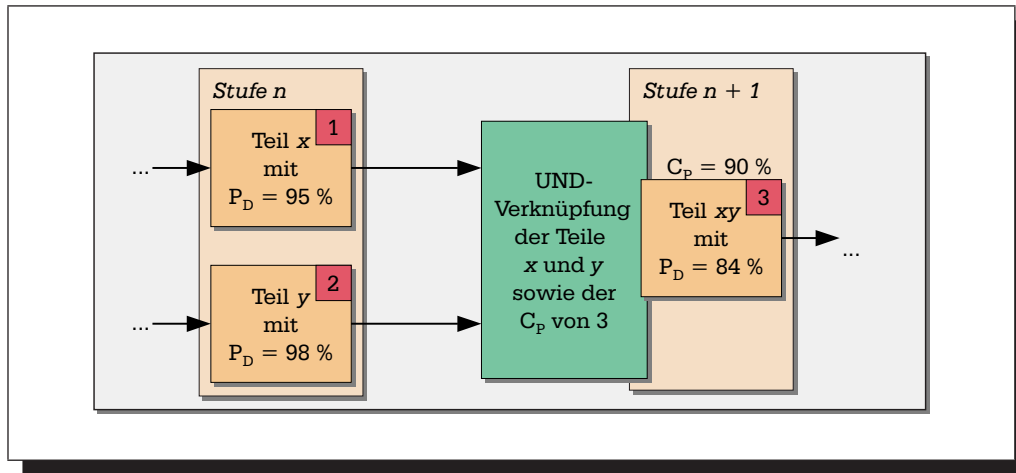


Abbildung 7.15: Die Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeit im Schritt $n+1$

betrachtet werden und finden bei der Ermittlung der Produktionsfähigkeit keine Berücksichtigung.

Weiterhin beeinflussen die *dynamischen*, unsicheren Planungsfaktoren die Produktionsfähigkeit. Durch Sequencing und Scheduling lassen sich alle möglichen Produktionstermine bestimmen, jedoch nur bei Berücksichtigung der reservierten Ressourcen früherer Angebote. Nicht jedes abgegebene Angebot führt zu einem konkreten Produktionsauftrag, womit sich dynamische Unsicherheiten über die verfügbaren Kapazitäten ergeben. Diese Einflüsse müssen bei jeder CTP-Prüfung neu bestimmt werden.

Aufgrund der im Abschnitt 7.2.1 aufgeführten Gründe findet zur Berechnung der Produktionsfähigkeit ebenfalls die Fuzzy-Logik Anwendung. Prinzipiell hängt die Produktionsfähigkeit von den benötigten und den vorhandenen Ressourcen ab. Es existiert die Möglichkeit, die Produktionsfähigkeit für alle beanspruchten Ressourcen (z. B. spezifiziert nach Art des Personals, nach erforderlichen Maschinentypen etc.) getrennt oder verallgemeinert zu bestimmen. Dieses vereinfachte Modell basiert auf der allgemeinen Betrachtung der Produktionsfähigkeit, d. h. die benötigten Ressourcen beinhalten keine Konkretisierung der tatsächlich erforderlichen Ressourcen. Die Eingangsgrößen zur Quantifizierung des Bedarfs von Ressourcen bilden folgende zwei Faktoren:

- die angefragte Menge und
- die Produktkomplexität.

Die Abbildung der Produktkomplexität ermöglicht eine graduelle Einstufung in einer Skala von 1 bis 10. Die Komplexität wird vor dem Hintergrund berücksichtigt, dass beispielsweise ein Drehteil abhängig von geforderten Toleranzen und Formmerkmalen wie Nuten usw. unterschiedlich viel Produktionsaufwand und Maschinenbelegzeit erfordert. Die Größe des zu produzierenden Teils sowie anfallender Montageaufwand beeinflusst ebenfalls den Wert für die Produktkomplexität. Die Einstufung erfolgt zunächst subjektiv, Erfahrungen beeinflussen die Bewertung des Produktes. Richtlinien für die Einstufung der Produkte müssen unternehmensspezifisch, basierend auf Mitarbeiterbefragungen und dem vorhandenen Maschinenpark festgelegt werden.

Die Berechnung des Umfangs der verfügbaren Ressourcen benötigt die folgend aufgeführten Größen als Input:

- die Ist-Auslastung des Unternehmens,
- die verfügbare Zeit zur Produktion und
- das Produkt aus Akzeptanzrate β und der Anzahl der offenen Angebote (offene reservierte Maschinenstunden).

Den Wert der Ist-Auslastung stellt das ERP-System zur Verfügung, die Angabe erfolgt in Prozent. Die verfügbare Zeit zur Produktion ist identisch mit der Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Anfrage und dem gewünschten Liefertermin unter Beachtung des Fabrikkalenders. Die Berechnung dieser Zeitspanne ($\Delta t_{\text{Lieferung}}$) basiert auf der Gleichung (7.11). Die Angabe der Zeitspanne findet taggenau statt, d. h. die Einheit der Zeitspanne sind Tage⁹⁷.

Die *Akzeptanzrate* β ist die prozentuale Angabe des Anteils der bestätigten Angebote (aus denen Aufträge resultierten) an der Anzahl der insgesamt abgegebenen Angebote. Der Grund der Multiplikation der Akzeptanzrate mit den offenen Angeboten⁹⁸ besteht in der Überlegung, dass eine Anbindung an elektronische Marktplätze bei einer automatisierten Angebotserstellung zwar zu einer Zunahme der Anzahl der abgegebenen Angeboten führt, die Akzeptanzrate dann jedoch wahrscheinlich abnimmt. Eine Multiplikation gleicht beide Effekte solange aus, bis sich ein neues Gleichgewicht einstellt. Das

⁹⁷Aus diesem Grunde findet als Startpunkt des Produktionszeitraumes das Eintreffen der Anfrage Verwendung und nicht der Zeitpunkt der Auftragserteilung, da durch die automatisierte Angebotserstellung und Lieferantenauswahl die Auftragsbestätigung innerhalb kurzer Zeit vorliegt und somit bei einem Detaillierungsgrad von einem Tag beide Zeitpunkte zumeist identisch sind.

⁹⁸Gemeint sind noch nicht beantwortete, ausstehende Angebote.

bedeutet, langfristige Tendenzen werden berücksichtigt, kurzfristige Schwankungen jedoch gezielt relativiert.

Zwei separate Fuzzy-Logik-Modelle berechnen Kennzahlen für die benötigten und die verfügbaren Ressourcen, welche die Eingangsgrößen für die Berechnung der Produktionsfähigkeit bilden⁹⁹. Die Abbildung 7.16 zeigt diesen Zusammenhang. Die ermittelten Kennzahlen besitzen jeweils einen Wert zwischen 0 und 100, stellen aber keine Angabe in Prozent dar. In einem nächsten Schritt bilden diese Kennzahlen den Ausgang für die Ermittlung der Produktionsfähigkeit. Deren Angabe erfolgt in Prozent und findet wie bereits erwähnt Eingang in die Gleichung (7.19). Die angenommenen Verteilungen dieser Modelle sind zunächst willkürlich gewählt, wobei eine Weiterentwicklung und Implementierung als ein adaptives, d. h. als selbstlernendes Fuzzy-Logik-Modell eine anzustrebende Möglichkeit darstellt. Wichtig ist, dass eine Anfrage von 0 Stück als Schutz vor einer Anfrageflut über diese Menge automatisch keinen Bedarf an Ressourcen generiert. Andererseits gewährleistet eine geeignete Verteilung, dass bei einer Verfügbarkeit der Ressourcen von Null die Produktionsfähigkeit $C_P = 0\%$ beträgt.

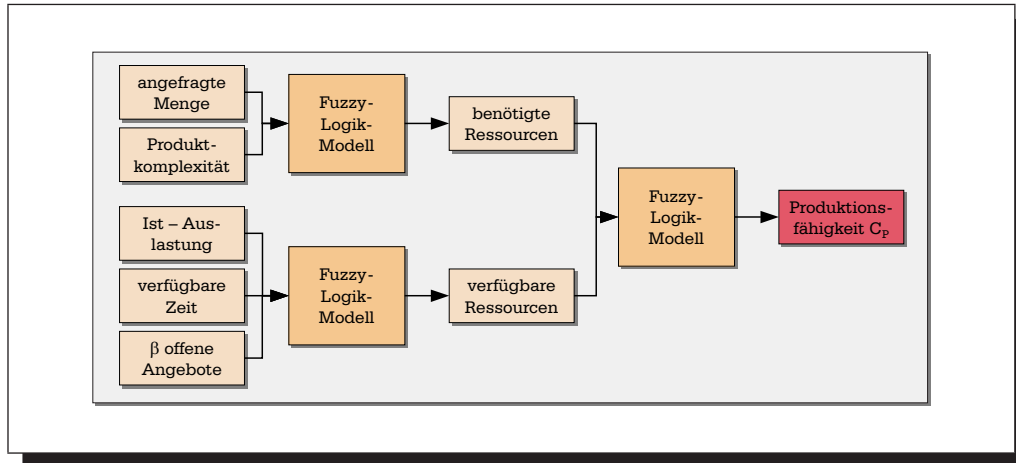


Abbildung 7.16: Fuzzy-Logik-Modell zur Produktionsfähigkeitsermittlung

⁹⁹Aufgrund der ausführlichen Beschreibung des Ablaufs eines Fuzzy-Logik-Modells im Abschnitt 7.2.2 kann an dieser Stelle auf eine weitere Beschreibung verzichtet werden. Alle Schritte finden in gleicher Weise statt. Die Beschreibung der Berechnung der Produktionsfähigkeit beschränkt sich daher auf die Darstellung der Ein- und Ausgangsgrößen.

7.2.4 Anpassung und Auswirkungen der Lieferwahrscheinlichkeiten auf die Verhandlungen

Die Kundenanfrage beinhaltet eine konkrete Mengenangabe. Nach der Berechnung der Lieferwahrscheinlichkeiten besitzt die angefragte Menge aber keine homogene Lieferwahrscheinlichkeit, vielmehr existiert eine „Zersplitterung“ der Lieferwahrscheinlichkeit. Diese „Zersplitterung“ entsteht hauptsächlich durch x_{ATP} und x_{ATP+} ¹⁰⁰, verschiedene verfügbare Mengen an Zulieferteilen, begrenzte Produktions- und Transportressourcen sowie durch Losgrößenbildung. Aus unterschiedlichen Lieferwahrscheinlichkeiten der Teilmengen resultiert eine Abstufung der Lieferwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit zur Menge. Eine Ordnung der Teilmengen nach absteigender Lieferwahrscheinlichkeit erscheint im Interesse der Übersichtlichkeit sinnvoll. Der Zusammenhang zwischen Menge und zugehöriger Lieferwahrscheinlichkeit P_D lässt sich in einem Diagramm, wie beispielhaft in der Abbildung 7.17 gezeigt, abbilden.

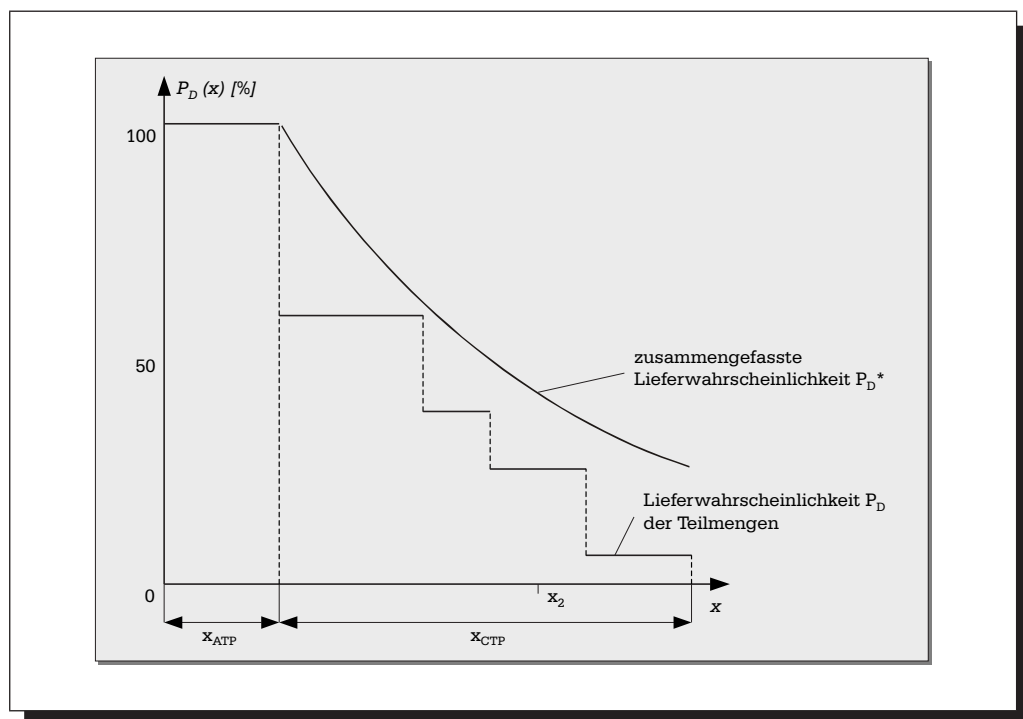


Abbildung 7.17: Zusammenhang von Lieferwahrscheinlichkeit und Menge

¹⁰⁰Vgl. die Ausführungen auf S. 400 ff.

Das Konzept des EVCM erfordert eine Berücksichtigung aller Produktionsalternativen, aus denen die Auswahl der ganzheitlich optimalen Zulieferbeziehung erfolgt. Die Voraussetzung dafür bildet jedoch die Vergleichbarkeit aller erstellten Angebote, weswegen eine Zusammenfassung der „zersplitterten“ Lieferwahrscheinlichkeiten zu einer stetigen Funktion erfolgen sollte. Die zusammengefasste Lieferwahrscheinlichkeit erhält die Bezeichnung P_D^* . Eine entsprechende Funktion $P_D^*(x)$ ermöglicht weiterhin die Angabe spezifischer Lieferwahrscheinlichkeiten, auch für nach Mengen differenzierte Anfragen¹⁰¹. Für die Bestimmung der Funktion $P_D^*(x)$ gilt die Beziehung (7.20) unter der Voraussetzung, dass die Teilmengen zuvor nach absteigender Lieferwahrscheinlichkeit geordnet wurden. Aufgrund des Einflusses der geringeren Lieferwahrscheinlichkeiten mit steigender Anzahl der Teile, also bei größer werdender Menge, fällt die Funktion $P_D^*(x)$ monoton (nicht streng):

$$\text{wenn } x \downarrow, \text{ dann } P_D^* \uparrow. \quad (7.20)$$

Weiterhin gilt, dass die zusammengefasste Lieferwahrscheinlichkeit einer Menge x größer ist, als die Lieferwahrscheinlichkeit des x -ten Teils. Begründen lässt sich dieser Zusammenhang durch die folgende Überlegung. Beträgt beispielsweise die angefragte Menge x_2 n Stück, dann ist die zusammengefasste Lieferwahrscheinlichkeit für n Teile größer als die Lieferwahrscheinlichkeit des n . Teils, da die Lieferwahrscheinlichkeiten der Teile 1 bis $n - 1$ ebenfalls in die zusammengefasste Lieferwahrscheinlichkeit eingehen. Durch Losgrößenbildung kann sich somit beispielsweise die Lieferwahrscheinlichkeit erhöhen, was weiteres Potenzial für die Optimierung von Zulieferbeziehungen eröffnet.

Eine Ausnahme bilden die Teile der ersten Teilmenge. Ihre Lieferwahrscheinlichkeit entspricht der zusammengefassten Lieferwahrscheinlichkeit. Der Verlauf einer Funktion $P_D^*(x)$ ist ebenfalls in dem Diagramm der Abbildung 7.17 eingetragen.

Eine Möglichkeit der Berechnung der zusammengefassten Lieferwahrscheinlichkeit besteht in der Division der Fläche unter den Lieferwahrscheinlichkeiten für die Teilmengen durch die entsprechende Menge, dargestellt in der Gleichung (7.21)¹⁰²:

$$P_D^*(x) = \frac{\int_0^n P_D dx}{x_n}. \quad (7.21)$$

¹⁰¹Vgl. [Tei02n].

¹⁰²Vgl. [Tei02a].

Die Angabe aller möglichen Produktionsalternativen mit den Parametern Preis, Lieferdatum und Lieferwahrscheinlichkeit gemäß der Abbildung 7.2 bildet die Grundlage für die Auswahl der Lieferanten. Es bietet die Möglichkeit, den Kundennutzen durch die Wahl einer Alternative entsprechend der Präferenzen des Kunden zu maximieren. Der Kunde akzeptiert vielleicht einen späteren Lieferzeitpunkt, falls dadurch der Preis sinkt¹⁰³. Entsprechend senkt die Angabe aller Lösungstupel den Aufwand für die Verhandlungen zum Vertragsabschluss. Neben der Bereitstellung der für die Optimierung notwendigen Daten, welche eine Abgleichung der Produktion ermöglichen, kann auch die Konventionalstrafe in Abhängigkeit der Lieferwahrscheinlichkeit¹⁰⁴ festgelegt werden.

Die Gewährleistung einer hohen Liefersicherheit geschieht durch die Auswahl eines Lieferanten und einer Produktionsalternative mit einer hohen Lieferwahrscheinlichkeit. Eine Erhöhung der Lieferwahrscheinlichkeit basiert zu meist auf der Auswahl nicht kostenoptimaler Alternativen für den Zulieferer. Aufgrund dieser Opportunitätskosten bedingen höhere Lieferwahrscheinlichkeiten einen höheren Preis. Eine Berücksichtigung der Risikokosten des Kunden (durch mögliche Produktionsausfälle, Stillstandszeiten und möglichen Vertragsstrafen des Kunden gegenüber seiner Kunden verursacht) führt bei einer geringen Lieferwahrscheinlichkeit wiederum zu einem Kostenanstieg. Der Kostenverlauf kann mittels einer unecht gebrochen rationalen Funktion¹⁰⁵

$$k(P_D) = \frac{g(P_D)}{h(P_D)} \quad (7.22)$$

$$= \frac{a_m P_D^m + a_{m-1} P_D^{m-1} + \dots + a_1 P_D + a_0}{b_n P_D^n + b_{n-1} P_D^{n-1} + \dots + b_1 P_D + b_0} \quad (7.23)$$

mit:

$$n \leq m$$

modelliert werden. Die Annahme einer solchen Funktion begründet sich durch die Abbildung der Opportunitätskosten in dem ganzrationalen Teil $p(P_D)$

¹⁰³Vgl. [Tei02d].

¹⁰⁴Die Weitergabe der Lieferwahrscheinlichkeit erfolgt zweckmäßig als Wert der zusammengefassten Lieferwahrscheinlichkeit der angefragten Menge oder als Funktion $P_D^*(x)$ selbst. In den weiteren Erläuterungen über die Verwendung der Lieferwahrscheinlichkeit im Rahmen der Verhandlungen ist daher immer die zusammengefasste Lieferwahrscheinlichkeit gemeint und ohne gesonderte Kennzeichnung benutzt.

¹⁰⁵Vgl. [Pap88, S. 160].

der Funktion, auch Polynomfunktion genannt¹⁰⁶ und der Berücksichtigung der Risikokosten als echt gebrochen rationaler Term $r(P_D)$:

$$k(P_D) = p(P_D) + r(P_D). \quad (7.24)$$

Entsprechend resultieren die Kosten in Abhängigkeit der Lieferwahrscheinlichkeit im in der Abbildung 7.18 dargestellten Verlauf.

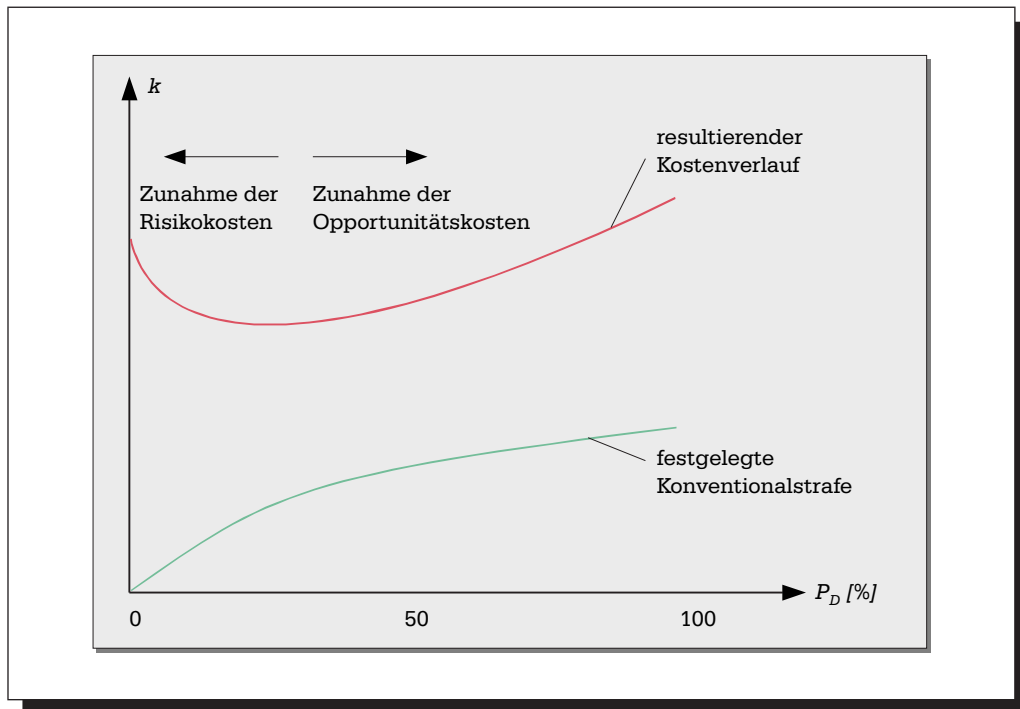


Abbildung 7.18: Zusammenhang zwischen den Kosten und der Lieferwahrscheinlichkeit

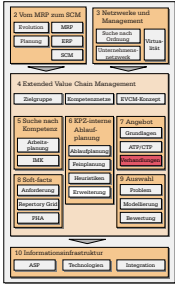
Ordnet der Kunde einer hohen Lieferzuverlässigkeit¹⁰⁷ eine hohe Priorität zu, muss er diese folglich „bezahlen“. Daraus ergibt sich die Fälligkeit einer höheren Konventionalstrafe bei Nichterfüllung des Vertrages. Eine Möglichkeit der Beziehung zwischen der festgelegten Vertragsstrafe und der Lieferwahrscheinlichkeit zeigt ebenfalls das Diagramm der Abbildung 7.18. Der abnehmende Anstieg der Vertragsstrafe mit steigender Lieferwahrscheinlichkeit berücksichtigt die Bestimmung der Lieferwahrscheinlichkeit unter Benutzung

¹⁰⁶Vgl. [Pap88, S. 165].

¹⁰⁷Gemeint ist eine Zuverlässigkeit, welche das Kostenminimum übersteigt.

der Fuzzy-Logik. Ein linearer Zusammenhang sollte nur bei einer deterministischen Berechnung Anwendung finden. Vielmehr sollte die Vertragsstrafe ein hohes Niveau bei relativ hoher zugesagter Zuverlässigkeit besitzen.

7.3 Probleme bei Verhandlungen



Beim Handel mit Waren und Dienstleistungen haben die Kompetenzzellen unterschiedlich genaue Informationen über die Qualität des Handelsgutes. Derartige Asymmetrien können Konsequenzen für das effiziente Funktionieren des KPZN implizieren und somit eine ganze Reihe von Managementproblemen nach sich ziehen. Die Prinzipal-Agenten-Theorie (PAT) hilft, diese analytisch zu strukturieren und sie so einer Lösung zugänglich zu machen, die an den Ursachen und nicht an den Symptomen ansetzt¹⁰⁸. In den folgenden Unterabschnitten werden wesentliche Aspekte dieser Theorie in Bezug auf das KPZN und das EVCM diskutiert¹⁰⁹.

7.3.1 Motivation

Die Auswahl der Kompetenzzellen beinhaltet Abgleich-Entscheidungen (siehe Abschnitt 5.2.1) bei denen die Angebotsvektoren der potenziellen KPZ den Nachfragevektoren der Prozessschritte entsprechend der Eignung zugeordnet werden. Die Entscheidung für eine bestimmte KPZ stellt auf jeder Stufe der Rekursion ein beiderseitiges Problem dar, sowohl für die KPZ als Agent, für die Unklarheit in Bezug auf den angebotenen Prozessschritt besteht, als auch für das EVCM als Principal, für das Informationsdefizite zur Leistungsfähigkeit der sich anbietenden KPZ existieren.

Eine KPZ kennt die Qualität ihrer eigenen Arbeit genau. Das EVCM kann diese nur vermuten und hat geringe Möglichkeiten, die Informationslage zu verbessern. Der durchschnittliche Marktpreis \bar{p} für die ausgeschriebene Leistung hängt daher von der Qualität einer durchschnittlichen Leistung für den nachgefragten Prozessschritt ab. Eine KPZ, die eine hohe Qualität in der Fertigung erzielt, wird ihren Preis p_h gewöhnlich oberhalb des Preisdurchschnitts ansiedeln. Im Gegensatz dazu ist eine KPZ mit minderwertigen Produkten eher bereit, einen Preis p_n unter dem Marktdurchschnitt zu akzeptieren¹¹⁰. Es gilt $p_n \leq \bar{p} \leq p_h$. Das EVCM sei bereit, für qualitativ beste Leistungen einen Preis bis zu p_{h-max} und für geringwertige, aber gerade noch akzeptable Leistungen einen Höchstpreis p_{n-max} zu akzeptieren. Bei vollkommener Information sind also Preise für hochwertige Leistungen zwischen p_h und p_{h-max} und für niederwertige Leistungen zwischen p_n und p_{n-max} erzielbar. Der KPZN-interne Markt funktioniert und die KPZ können den Prozessschritten zugeordnet werden.

¹⁰⁸Vgl. [Bac01, S. 395].

¹⁰⁹Die Ausführungen stützen sich auf nicht publizierte Arbeiten im vom Autor geleiteten Arbeitskreis *LogIS*, welche in den letzten beiden Jahren zu den Inhalten des SFB 457 unter Mitwirkung von *Jähn* und *Brünler* entstanden.

¹¹⁰*Akerlof* bezeichnet derartige Produkte als *lemons*. Siehe [Ake70, S. 488].

Praktisch liegt jedoch asymmetrische Information vor. Das EVCM kann nur eine durchschnittliche Qualität erwarten. Entsprechend wird es nur Angebote bis zu einem Preis von \bar{p}_{max} akzeptieren, falls „gute“ und „schlechte“ Kompetenzzellen gleich häufig auftreten, aber nicht unterscheidbar sind ($\bar{p}_{max} = 0.5(p_{n-max} + p_{h-max})$). Die Folge ist offensichtlich. Die lemons der KPZ erzielen erhöhte Preise, die ihrer Leistung nicht angemessen sind. Die besseren KPZ werden sich tendenziell aus dem KPZN zurück ziehen, und es bleibt die Kooperation aus Schwäche. Dieses Phänomen wird als *adverse selection* bezeichnet. Das damit verbundene systematische Absinken der Qualität muss in jedem Fall, und das gilt für alle virtuellen Netzwerke, durch einen entsprechenden methodischen Rahmen verhindert werden.

7.3.2 Theoretische Betrachtungen

Die Prinzipal-Agenten-Theorie¹¹¹ ist Teil der Neuen Institutionenökonomik (NIÖ). Dementsprechend beschäftigt auch sie sich mit Ursache und Funktion institutioneller Gegebenheiten. Darunter können sowohl konkrete Organisationsformen (Unternehmenshierarchie, Märkte) als auch Verträge oder allgemein akzeptierte Handlungsnormen subsumiert werden. Gemeinsam sind all diesen Institutionen die zugrundeliegenden Auftragsbeziehungen. Einer auftraggebenden Instanz (Prinzipal) stehen ein oder mehrere Auftragnehmer (Agenten) gegenüber. Während letztere in der Regel Wirtschaftssubjekte (hier: Kompetenzzellen) sind, die zu bewusstem ökonomischen Handeln fähig sind, wird die Gestalt des Prinzipals mitunter abstrakter modelliert. Bei ihm kann es sich sowohl um aktiv handelnde Subjekte (wiederum Kompetenzzellen) als auch um virtuelle Interessenträger wie Organisationen (im Falle eines KPZN das EVCM) handeln.

Agieren die Vertragspartner in der Neoklassik auf vollkommenen und vollständigen Märkten, so ist deren Verhältnis in der PAT durch Informationsdefizite und Opportunismus gekennzeichnet, woraus mindestens latente Interessenkonflikte entstehen. Die Informationsasymmetrien bestehen der Annahmen gemäß immer zu Lasten des Prinzipals (EVCM), da er keine oder nur eingeschränkte Kontrolle über das Verhalten des Agenten (KPZ) hat. Dieser wiederum ist grundsätzlich bestrebt, seinen Informationsvorsprung zur eigenen Nutzensmaximierung einzusetzen. Dabei muss sein Verhalten durchaus nicht immer von unbeschränkter Rationalität gekennzeichnet sein. Es reicht vielmehr schon das Bestreben rational zu handeln. Ein weiterer Unterscheidungspunkt zur Neoklassik ist die angenommene Dauerhaftigkeit der

¹¹¹Auch Principal-Agency-Theory oder Agency-Theorie genannt.

ökonomischen Beziehung zwischen Auftraggeber und -nehmer¹¹². Verträge sind nicht auf einen einzelnen Transaktionsvorgang beschränkt oder stehen zumindest in Wechselwirkung mit zeitlich vor oder nach gelagerten Kontrakten¹¹³.

Vor dem Hintergrund des institutionellen Betrachtungsgegenstandes können zwei Hauptzweige der Agency-Theorie unterschieden werden. Der *positive* Ansatz ist eher deskriptiver Natur, in welchem bestehende Institutionen erklärt und vor allem empirische Untersuchungen herangezogen werden. Der Gedanke, dass Wirtschaftssubjekte grundlegende Effizienzüberlegungen nicht dauerhaft ignorieren können, ist wesentlich. Bestehende Institutionen gelten somit als effizient, da sie sonst nicht bestehen würden¹¹⁴. Der *normative* Bereich der Agency-Theorie¹¹⁵ greift methodisch auf die logisch-analytische Vorgehensweise der Neoklassik zurück. Mit Hilfe stark vereinfachter mathematischer Modelle werden reale Entscheidungssituationen betrachtet. Ziel ist weniger die komplexe Erklärung bestehender Institutionen, als vielmehr die optimale Gestaltung von Anreizsystemen und Verträgen. Diese Vorgehensweise stellt implizit auch eine Abkehr von der Annahme der beschränkten Rationalität dar, da sich willkürliches Verhalten nicht sinnvoll modellieren lässt¹¹⁶. Die normative Theorie lässt sich nochmals untergliedern in die ökonomische und in die finanzielle Agency-Theorie. Beide unterscheiden sich durch die Gestalt des beobachteten Vertragsproblems. Die ökonomische Richtung betrachtet die Auftragserfüllung in Kooperationssystemen und weisungsgebundenen Abhängigkeitssystemen¹¹⁷. Die finanzielle Richtung untersucht Steuerungsmechanismen in Strukturen, die durch die Trennung von Kapitalbesitz und Kapitalverfügung gekennzeichnet sind¹¹⁸. Die nachfolgenden Ausführungen dieser Arbeit stützen sich auf den normativen ökonomischen Ansatz.

7.3.2.1 Das Grundproblem asymmetrischer Informationen

Asymmetrische Informationsverteilungen und die daraus resultierenden Verhaltensunsicherheiten stellen in der Agency-Theorie das Grundproblem der

¹¹²So zum Beispiel das Verhältnis zwischen Eigenkapitalgeber und Management.

¹¹³Siehe hierzu [Bus97, S. 105 ff.].

¹¹⁴Vgl. [Rou95, S. 22].

¹¹⁵Vor allem in der amerikanischen Literatur wird der Begriff Agency-Theorie ausschließlich für den positiven Ansatz verwendet. Der normativen Richtung ist die Bezeichnung Principal-Agent-Theory vorbehalten [Wen88, S. 506]. In der deutschen Literatur ist diese Trennung in der Regel nicht zu finden. Dort, wie auch in dieser Arbeit, werden beide Begriffe analog [Bus97, S. 105] synonym verwendet.

¹¹⁶Siehe [Sch97b, S. 399].

¹¹⁷Zum Beispiel Kooperationen zwischen Kompetenzzellen oder das Verhältnis zwischen Unternehmensführung und Angestellten.

¹¹⁸Vgl. [Bus97, S. 106 f.].

wirtschaftlichen Koordination dar. Sie führen zu systematischem Marktversagen und verhindern in jedem Fall eine First-Best-Lösung im neoklassischen Sinn. In der Literatur werden die Informationsasymmetrien in der Regel in drei Hauptgruppen unterteilt:¹¹⁹ Qualitätsunsicherheiten, Unsicherheiten hinsichtlich der Absichten des Vertragspartners und schließlich Informationsdefizite in Bezug auf das tatsächliche Handeln¹²⁰.

Bei Qualitätsunsicherheiten sind das Verhalten und die Eigenschaften einer KPZ exogen gegeben. Sie sind vom EVCM weder ex ante erkennbar, noch sind sie direkt von ihm zu beeinflussen. Die Qualitätsunsicherheiten werden deshalb auch als *hidden characteristics* bezeichnet¹²¹. Das Hauptproblem des EVCM besteht in diesem Falle darin, eine kompetente KPZ zu finden, die in der Lage ist, einen bestimmten Auftrag in der geforderten Zeit in hinreichendem Umfang und zur verlangten Qualität zu erfüllen. Sollte eine solche KPZ nicht existieren, ist der Auftrag so zu modifizieren, dass der Nächstbeste ihn erfolgreich erfüllen kann. Die Suche nach Ähnlichkeiten wird durch die Clusterbildung mit dem GNG in effizienter Weise unterstützt.

Das Problem selbst muss nicht nur Rückwirkungen auf die Zielerreichung des durch das EVCM getriebenen KPZN, sondern auch auf das Leistungspotenzial des ganzen Ressourcenpools haben. Besteht nur eine sehr pauschale Vorstellung von der Leistungsfähigkeit der einzelnen KPZ, so ist auch der Erwartungswert des maximal von ihr erreichbaren Zielerfüllungsgrades ein pauschaler Mittelwert. Entsprechend wird ein Auftraggeber nicht in der Lage sein, individuelle Verträge anzubieten. Er wird sich für die nachgefragte Leistung mit einem dem mittleren Erwartungswert entsprechenden Preisangebot an das KPZN wenden. Dies führt dazu, dass, wie oben bereits beschrieben, die leistungsfähigeren potenziellen KPZN früher oder später in andere Märkte bzw. Netzwerke abwandern werden, wo sie entsprechend ihres Leistungspotenzials entlohnt werden¹²².

Die Ursachen für ein Hidden-Characteristics-Problem können sehr vielgestaltig sein. Gelegentlich muss das EVCM seine Entscheidungen bereits sehr frühzeitig treffen, noch bevor die endgültigen Anforderungen an die KPZ definiert sind oder es Kenntnis von allen potenziellen KPZ durch den IMK hat. Eine weitere Ursache ist ein gestörter Informationsfluss. Hierbei hat das EVCM sehr wohl Vorstellungen von seinen KPZ. Diese decken sich aller-

¹¹⁹Daneben existiert auch eine Vielzahl von Mischformen dieser Unsicherheiten. Im Folgenden sollen jedoch die drei Reinformen im Mittelpunkt stehen.

¹²⁰Siehe [Spr90, S. 562].

¹²¹Als Beispiel hierfür kann ein Nachfrager dienen, der ex ante den Preis, nicht aber die Qualität einer Ware kennt.

¹²²Siehe auch [Bus97, S. 112 ff.].

dings nicht mit den tatsächlichen Gegebenheiten. Als Letztes ist schließlich noch ein heterogenes Umfeld denkbar, welches aus dem bisherigen Verhalten der KPZ keine Schlüsse auf deren Eignung zulässt. Selbst wenn es möglich ist, Informationen über die potenziellen KPZ zu beschaffen, treten dabei zusätzliche Transaktionskosten auf. Im Vergleich zur neoklassischen Gleichgewichtslösung lassen sich Wohlfahrtsverluste des KPZN auch in diesem Fall nicht verhindern. Um diese allerdings so gering wie möglich zu halten, stehen dem EVCM verschiedene Instrumente zur Verfügung.

Eine Kompetenzzone mit Informationsvorsprüngen kann sich dem EVCM bzw. dem IMK offenbaren (*Signalling*). Ist sie für den Auftrag geeignet, so liegt das Offenbaren in ihrem eigenen Interesse, wirkt dies doch als Werbung in eigener Sache und hilft, eine über dem Pauschalangebot liegende Entlohnung zu erzielen. Allerdings lohnt sich der Aufwand nur, wenn der Anstieg des unternehmerischen Erfolges die Signalling-Kosten überkompensiert. Erreichen das EVCM keine derartigen Signale, so kann es diese durch ein *Screening*-Verfahren auch selbst herbeiführen, indem es verschiedene Verträge zu verschiedenen Bedingungen anbietet und die KPZ anschließend nach deren bevorzugtem Konditionssystem bewertet¹²³. Verdeckte Absichten (*hidden intension*) sind dabei dadurch gekennzeichnet, dass sich zwar Vertragspartner formal einigen, jedoch danach noch immer Interpretations- und Handlungsfreiräume bestehen. Die KPZ kann trotz formaler Befolgung des geschlossenen Vertrages ihre Handlungsalternativen beeinflussen und aus Sicht des EVCM „unfair“ agieren. Aufgrund der Annahme des opportunistischen Grundverhaltens der Wirtschaftssubjekte werden sie, wo immer es vorteilhaft erscheint, Vertragslücken oder Notlagen eines Partners zu ihrem Vorteil nutzen¹²⁴.

Eine solche Situation kann, wie bereits das Hidden-Characteristics-Problem, durch eine zu frühzeitige Festlegung des EVCM entstehen, obwohl (noch) keine ausreichende Informationsbasis hinsichtlich der geforderten oder der angebotenen Leistungen vorhanden ist. Ebenso sind unklare Anweisungen und pauschale Vertragsklauseln Ursache für eine mangelhafte Koordination der Vertragserfüllung. Dafür ist nicht einmal ein opportunistisches Verhalten der KPZ notwendig. Es genügen bereits abweichende Vorstellungen vom Verhandlungsgegenstand und der optimalen Vorgehensweise. Dies ist oft bei langfristigen Bindungen der Fall. In diesem Fall ist es einfach unmöglich, alle Eventualitäten ex ante zu identifizieren und vertraglich zu berücksichtigen.

¹²³Siehe [Spr90, S. 567 ff.].

¹²⁴Praktisches Beispiel ist die unmittelbare Mietzinserhöhung nach Vertragsschluss, obwohl die niedrige Zinshöhe eines der Hauptwerbeargumente des Vermieters war. Entsprechend wird für dieses Verhalten auch der Begriff Holdup (Überfall) verwendet.

In diesen Fällen wird als Lösungsansatz - analog dem Transaktionskostenansatz - oftmals eine hierarchische Organisationsstruktur empfohlen. Somit hätte das EVCM die Möglichkeit, den Handlungsspielraum der KPZ durch seine Weisungsbefugnis zu verengen. Das widerspricht allerdings der Philosophie der hierarchielosen Steuerung und wird nicht als Lösung betrachtet.

Eine weitere Ursache für Unsicherheiten hinsichtlich der Absichten einer KPZ ist schließlich sie selbst. Sie kann durch mehrdeutige oder im Extremfall falsche Versprechen beim EVCM unzutreffende Vorstellungen erzeugen und es zu entsprechenden Handlungen verleiten. Die Folgen wird in jedem Fall, soweit es zwischen den Beteiligten keine weiteren Interdependenzen gibt, das EVCM tragen und auf alle am KPZN beteiligten KPZ umlegen müssen. Es entstehen so genannte *sunk costs*. Durch frühzeitige Festlegungen und bereits getätigte Investitionen sind Aufwendungen entstanden, die im Falle des Scheiterns als Wohlfahrtsverluste des KPZN gelten müssen. Somit macht sich das EVCM (je nach Höhe der drohenden Verluste) einseitig von den KPZ abhängig. Eine KPZ kann nun Vertragsänderungen zu ihren Gunsten erpressen oder entstehende Risiken auf das ganze Netzwerk abwälzen, indem sie Verträge mit Rücktrittsklauseln bei ungünstigen Umweltsituationen erwirkt. Alternativ zu einer Weisungsunterstellung kann das EVCM hier versuchen, die Interessen der KPZ durch ein entsprechendes Anreizsystem mit denen des KPZN in Einklang zu bringen¹²⁵.

Das dritte Problem erweitert die verdeckten Absichten um eine zusätzliche Komponente. Hier kann das EVCM auch die Handlung des Agenten nicht erkennen, nicht einmal ex post. Verursacht wird dies durch einen angenommenen Umwelteinfluss, der neben der Leistung einer KPZ das Ergebnis beeinflusst. Deren Spielraum ergibt sich dadurch, dass das EVCM den Einfluss ihres Tuns und die Umweltwirkung nicht unterscheiden kann. Sie hat somit die Möglichkeit zu verdeckten opportunistischen Handlungen (*hidden action*), für die sie das Risiko vollständig abwälzen kann, da das EVCM sie überhaupt nicht bemerkt und damit auch nicht kontrollieren kann. Dieses Verhalten wird als *moral hazard* bezeichnet¹²⁶. Um dies zu verhindern werden in der Literatur entsprechende Anreizsysteme empfohlen, in denen der Agent sein Nutzensmaximum dann erreicht, wenn er sich im Interesse des Prinzipals verhält. Solche Systeme werden im Folgenden als Anreizsysteme bei verdeckten Handlungen betrachtet.

¹²⁵Siehe [Spr90, S. 568].

¹²⁶Siehe [Bus97, S. 115 f.]. Solche Probleme treten zum Beispiel bei Versicherungen auf, wo bisweilen unterstellt wird, dass ein Versicherungsnehmer weniger bemüht ist, einen Schaden zu vermeiden, wenn er den materiellen Verlust ersetzt bekommt. In diesem Sinne kommt für eine KPZ die Auftragsweitergabe an billige Subunternehmer in Betracht.

7.3.2.2 Kosten- und Nutzenbetrachtungen

Das opportunistische Verhalten einer KPZ ist für das EVCM gleichbedeutend mit zusätzlichen Transaktionskosten. Anreizsysteme oder Signalling- und Screeningverfahren können diese zwar minimieren, jedoch nicht beseitigen. Die kostenverursachenden externen Effekte werden so lange entstehen, wie die KPZ nicht das volle Risiko ihrer Handlungen selbst tragen muss und ihr der volle Ertrag ihres Tuns zu fließt. Ist diese Bedingung jedoch erfüllt, so besteht auch kein Agency-Verhältnis mehr. Die KPZ erfüllt keinen Auftrag mehr für einen Dritten, sondern handelt unabhängig vom Willen anderer und auf eigene Gefahr. Umgekehrt lässt sich schlussfolgern, dass bei einem Prinzipal-Agenten-Problem nur eine suboptimale Second-Best-Lösung und keine typisch neoklassische First-Best-Lösung erreichbar ist¹²⁷. Dieser, aufgrund opportunistischen Verhaltens unvermeidliche Wohlfahrtsverlust wird als *Agency-Costs* bezeichnet. Diese Kosten entsprechen den Verlusten des EVCM abzüglich der zusätzlichen Gewinne der KPZ. Ihre Höhe wird durch Art und Umfang der ursprünglich vorhandenen Informationsasymmetrien bestimmt. Das Optimierungsproblem in einer EVCM-KPZ-Beziehung ist die Minimierung der Agency-Kosten, d. h. das Erreichen der Second-Best-Lösung.

Die Kosten setzen sich aus drei Komponenten zusammen, zwischen denen ein klarer Trade-off besteht. Die *Bindungskosten* bilden den ersten Bestandteil. Sie entstehen durch den Vertragswillen beider Parteien. Sie umfassen Kosten des Vertragsabschlusses oder Kosten der Selbstbindung wie Garantieleistungen oder bindende Kostenvoranschläge. Die zweite Komponente bilden so genannte Kontrollkosten. Sie beschreiben den Aufwand des EVCM-Systems zur Überwachung der Handlungen und der Vertragserfüllung der KPZ. Es ist erkennbar, dass Einsparungen hinsichtlich der Bindungskosten den Vertragspartnern einen höheren Interpretations- und Handlungsspielraum lassen und somit zu einem Anstieg der Überwachungskosten führen. Der letzte Kostenbestandteil wird als *residual loss* bezeichnet. Er beinhaltet Kosten für Restasymmetrien, die trotz der Überwachungs- und Bindungsbemühungen nicht beseitigt werden können bzw. deren Beseitigung höhere Kosten als Nutzen verursachen würden¹²⁸.

Die bisherige Interpretation von Vertragsbeziehungen mag zwar aus mikroökonomischer Sicht in der neoklassischen Modellwelt korrekt sein, trifft jedoch nicht die betriebswirtschaftliche Realität. Im Mittelpunkt steht hier nicht ein Wohlfahrtsverlust, sondern vielmehr ein Wohlfahrtsgewinn. Das

¹²⁷Siehe [Ter94, S. 96 f.].

¹²⁸Vgl. [Bus97, S. 117 ff.].

EVCM wird eine Vertragsbeziehung nur dann eingehen, wenn es das KPZN dadurch besser stellt. Sein Informationsrückstand ist nicht nur Ursache für die Probleme innerhalb des Vertragsverhältnisses, sondern vielmehr Grund für dessen Zustandekommen. Es versucht, sich den Informationsvorsprung einer KPZ (eben genau die Kernkompetenz) zur besseren Erreichung der Gesamtzielstellung des KPZN zunutze zu machen. Es genügt nicht, den Teil des Erfolges zu betrachten, den die KPZ nicht dem KPZN zugänglich macht, sondern auch der Anstieg des Gesamterfolges durch die Handlung der KPZ spielt eine Rolle.

Das EVCM (Prinzipal P) soll in der Lage sein, bei Fremdvergabe außerhalb des Produktionsnetzes einen Nutzen in Höhe von u_P zu generieren. Durch Hinzuziehen einer (netzwerkinternen) KPZ (Agent A) kann dieser jedoch theoretisch auf einen Gesamtwert von $u_P + u_{A+P}$ gesteigert werden. Dies entspräche der First-Best-Lösung für diese eine Beziehung. Nun verursacht das opportunistische Verhalten der KPZ einen Schaden von $p(u_P + u_{A+P})$ mit $0 < p < 1$. Dabei ist das KPZN nach Vertragsabschluss noch immer besser gestellt als davor, solange $(1 - p)(u_P + u_{A+P}) < u_P + u_{A+P}$ gilt. Neben die Agency-Kosten tritt ein Agency-Gewinn¹²⁹.

7.3.3 Anreizsysteme und verdeckte Handlungen

Ziel der Betrachtungen dieses Unterabschnittes ist die Analyse von Problemen, die dem EVCM durch versteckte Absichten oder Verhaltensweisen der KPZ entstehen. Ziel ist dabei die Kompensation der Wissens- und Informationsnachteile der auftragsauslösenden Instanz durch Entlohnungsmechanismen, die eine Interessensynchronität zwischen den Vertragsparteien erzeugen. Diese kann (und wird in der Regel) künstlich in dem Sinne sein, als dass die KPZ nur deshalb mit dem EVCM konform geht, da der Anreizmechanismus den gegen das EVCM gerichteten Opportunismus unter Strafe stellt und konformes Verhalten belohnt.

7.3.3.1 Das einfache Grundmodell

Die Grundstruktur eines einfachen mikroökonomischen Modells zur Beschreibung verdeckter Handlungen seitens einer KPZ und deren Beeinflussung durch das EVCM lässt sich ohne Anspruch auf Vollständigkeit durch eine Reihe von Basisannahmen kennzeichnen¹³⁰:

¹²⁹Zur Kritik am einseitigen Agency-Kosten-Begriff siehe [Mei99, S. 108 ff.].

¹³⁰Auf das KPZN übertragen aus [Rou95, S. 23].

1. Das EVCM delegiert ein Problem an eine spezielle KPZ, um deren technologischen Informationsvorsprung (also deren Kompetenz) auszunutzen. Dabei hat die KPZ volle Handlungsfreiheit hinsichtlich Art und Intensität der zu verwendenden Problemlösungsstrategie.
2. Der Erfolg der KPZ ist abhängig vom Umfang ihrer Anstrengungen und von ex ante unbekanntem Umweltsituationen. Die wahrscheinliche Höhe des Erfolges ist dabei normalverteilt für jedes Anstrengungsniveau der KPZ. Bei steigendem Engagement steigen auch die Erfolgsaussichten: die Verteilungsfunktion verschiebt sich zu einer stochastischen Dominanz erster Ordnung, hin zu einem höheren Erfolgsniveau¹³¹. Art und Ausprägung der Umweltsituationen sind weder von der KPZ noch von dem EVCM beeinflussbar. Eine vertragsexterne Abhängigkeit zwischen EVCM und KPZ besteht nicht.
3. Die Erwartungen über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Erfolges sind identisch für das EVCM und die KPZ.
4. Das EVCM kennt weder das Anstrengungsniveau der KPZ, noch die zusätzlich erfolgsbestimmenden Umweltzustände. Sie kann sie im Normalfall auch ex post nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand ermitteln. Das Verhalten der KPZ stellt für das EVCM somit eine Hidden Action dar.
5. Alle beteiligten KPZ verhalten sich im KPZN nutzensmaximierend nach dem Bernoulli-Prinzip¹³². Es existieren somit unterschiedliche subjektive Nutzenabwägungen und kein objektives Nutzensmaximum.
6. Die KPZ verfügt über eine exponentielle Nutzenfunktion, die hinsichtlich der einzelnen Nutzenkomponenten additiv separierbar ist. Der Nutzen steigt monoton mit wachsender Entlohnung und fällt monoton mit wachsender Anstrengung. Die Nutzenfunktion der KPZ kann dem EVCM bekannt gemacht werden.
7. Die KPZ wird nur tätig, wenn ihr ein exogen vorgegebener Mindestnutzen in Höhe ihres Reservationsnutzens sicher ist, der in einem alternativen Beschäftigungsverhältnis garantiert ist¹³³.

¹³¹Vgl. [Lau93, S. 564].

¹³²Siehe [Sch97b, S. 288 ff.].

¹³³Gedanklich ist dies mit der neoklassischen Vorstellung vom Marktzins vergleichbar: der Reservationsnutzen ist mit Sicherheit auf einem angenommenen Markt erreichbar.

8. Der Nutzen des EVCM (für das KPZN) entspricht dem von der KPZ erzielten Erfolg abzüglich ihrer dafür erhaltenen Entlohnung.
9. Die KPZ erhält ihre Entlohnung ex post in Abhängigkeit vom erreichten Erfolg¹³⁴. Um Anreizkompatibilität sicherzustellen, muss diese die Höhe ihrer Entlohnung durch ihr Verhalten – konkret durch die Intensität ihrer Bemühungen – beeinflussen können. Ebenso sind eine symmetrische Informationsverteilung und eine einheitliche, transparente Beurteilung des Erfolges notwendig¹³⁵.

Ein so beschriebenes Grundmodell wird in der Literatur als *LEN-Modell*¹³⁶ bezeichnet. Es stellt die mathematisch einfachste Form des Prinzipal-Agenten-Problems dar. Der von der KPZ (Agent A) für eine bestimmte KPZN-Instanz I erzielte Erfolg x lässt sich durch

$$x(I) = aI + \theta \quad (7.25)$$

beschreiben¹³⁷. Dabei steht a für den in Arbeitsleistung umgesetzten Anteil der Anstrengungen der KPZ und θ stellt eine normalverteilte umweltbedingte Störvariable dar. Aus dem in 7.25 beschriebenen x ermittelt sich die Höhe der Entlohnung der KPZ. Die Entlohnungsfunktion f besteht aus einem fixen Basislohn f_F und einer Beteiligung am Erfolg

$$f(x) = f_F + f_V x. \quad (7.26)$$

Neben dem Lohn f erwartet die KPZ auch noch ein Arbeitsleid l . Dieses steht für die von ihr zu tragenden Anstrengungen und Unannehmlichkeiten, die mit steigendem I überproportional anwachsen

$$l(I) = bI^2. \quad (7.27)$$

Aus Formel 7.25 bis 7.27 lassen sich die exponentiellen Nutzensfunktionen $u_P(x)$ für den Prinzipal (EVCM), bzw. $u_A(I)$ für den Agenten (KPZ) wie folgt konstruieren:

¹³⁴Regel im KPZN: zahle niemals im Voraus, wenn du nicht schlecht bedient sein willst!

¹³⁵Siehe zu den formalen Anforderungen an ein funktionales Anreizschema [Bus97, S. 119].

¹³⁶Lineares Anreizschema, exponentielle Nutzensfunktionen sowie normalverteilte Stör- bzw. Umwelteinflüsse und Erfolgsaussichten. Siehe [Mei99, S. 92].

¹³⁷Siehe zur hier dargestellten mathematischen Herleitung [Rou95, S. 25 ff.], [Bus97, S. 134 ff.] und [Mei99, S. 92].

$$\begin{aligned} u_A(I) &= -e^{-s(f-l)} \\ u_P(x) &= -e^{-t(x-f)}. \end{aligned} \quad (7.28)$$

Die Bezeichner t und s sind dabei ein nicht veränderliches Maß für die individuelle Risikoaversität der Vertragspartner. Beide – EVCM und KPZ – sind nun bestrebt, ihren Nutzen zu maximieren. Dabei gilt für das Gleichungssystem 7.29, dass u immer dann maximal ist, wenn der jeweilige Klammerausdruck im Exponenten maximal ist. Allerdings sind beide Gleichungen vom Erfolg x abhängig und damit stochastische Zufallsgrößen. Mit Hilfe so genannter Sicherheitsäquivalente¹³⁸ lassen sich diese unsicheren in sichere Zielgrößen überführen. Das Zielsystem lässt sich somit wie folgt darstellen:

$$S_A(I) = f_F + f_V a I - b I^2 - s f V^2 \text{var}[\theta] \rightarrow \max \quad (7.29)$$

$$S_P(x) = a I - f_F - f_V a I - t(1 - f_V) \text{var}[\theta] \rightarrow \max \quad (7.30)$$

Aus Formel 7.29 ergibt sich für die KPZ die folgende optimale Anstrengung I^* :

$$\begin{aligned} f_V a - 2b I^* &= 0 \\ I^* &= \frac{f_V a}{2b}. \end{aligned} \quad (7.31)$$

Die Höhe von f_F und f_V wird durch den Reservationsnutzen S_{min} der KPZ und die Maximierungsbestrebungen des EVCM bestimmt. Für $S_A(I) < S_{min}$ wird die KPZ nicht tätig, ein $S_A(I) > S_{min}$ ist aus Sicht des EVCM ineffizient. Für $S_A(I) = S_{min}$ lässt sich Formel 7.29 nach f_F umstellen und in Formel 7.30 einsetzen:

$$\begin{aligned} f_F &= S_{min} - f_V a I + b I^2 - s f^2 \text{var}[\theta] \\ S_P(x) &= a I - S_{min} - b I^2 - s f^2 \text{var}[\theta] - t(1 - f_V) \text{var}[\theta]. \end{aligned} \quad (7.32)$$

Die optimale Höhe von f_V ist die Stellschraube, mit welcher das EVCM den Einsatz I der KPZ zu steuern in der Lage ist. Durch Einsetzen von Formel 7.31 in 7.32 und Ableitung nach f_V ergibt sich für f_V^* :

¹³⁸Das Sicherheitsäquivalent entspricht einem um eine Risikoprämie oder einen Risikoabschlag korrigiertem sicheren Wert, der dem betrachteten Wirtschaftssubjekt den gleichen Nutzen stiftet wie der ursprüngliche, in der Regel höhere aber unsichere Wert. An dieser Stelle sei nochmals auf die Bernoulli-Regel verwiesen.

$$0 = \frac{a^2}{2b} - f_V^* \frac{a^2}{2b} - 2t f_V^* \text{var}[\theta] - 2s f_V^* \text{var}[\theta] - 2s \text{var}[\theta]$$

$$f_V^* = \frac{s + q}{s + t + q} \quad \text{mit} \quad q = \frac{a^2}{4b \text{var}[\theta]}. \quad (7.33)$$

Graphisch stellt sich die Suche nach einem I^* begünstigenden Anreizsystem wie folgt dar¹³⁹.

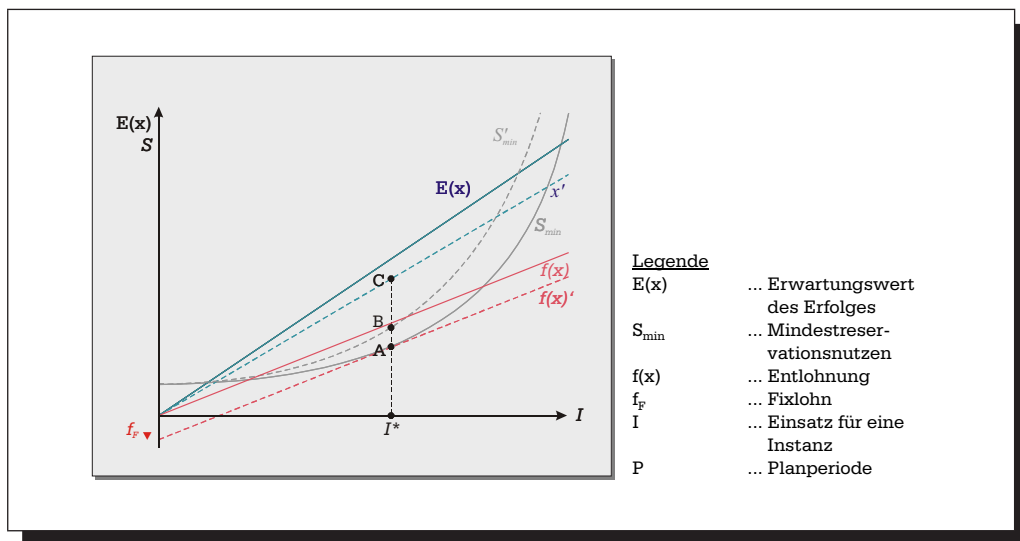


Abbildung 7.19: Suche nach dem besten Anreiz

Die durchgezogene blaue Kurve der Abbildung 7.19 beschreibt den Erwartungswert des Erfolges der KPZ, d. h. x in Abhängigkeit von I und θ . Da die Höhe von θ ungewiss ist, ist auch der exakte Verlauf der x -Linie nicht sicher. Dies wird in der gestrichelt dargestellten blauen Linie berücksichtigt. Sie entspricht dem um einen Risikoabschlag korrigierten x . Die durchgezeichnete graue Kurve entspricht der zum Mindestreservationsnutzen S_{min} des Entscheidungsträgers gehörenden Indifferenzkurve. Auch für ihn gilt, dass die zufälligen Umwelteinflüsse ein erhöhtes Risiko darstellen, da sie die Wirkungen seiner Anstrengungen verändern können. Entsprechend wird auch die Lage der Indifferenzkurve um einen Nutzenaufschlag korrigiert. Die rote Kurve schließlich steht für die Entlohnung, welche die KPZ in Abhängigkeit von ihren Anstrengungen, bzw. in Abhängigkeit des vom EVCM wahrgenommenen Erfolges, zu erwarten hat. Die gestrichelte Linie ist dabei wiederum

¹³⁹In Anlehnung an Abb.III.1 und Abb.III.2 in [Rou95, S. 27 f.].

um die Risikoprämie (in diesem Falle der Fixlohn) berichtigt¹⁴⁰. Die KPZ wird von sich aus das Intensitätsniveau wählen, in dem sie die höchste Nutzenindifferenzkurve erreicht. Dabei ist S_{min} der Schwellenwert, ab dem sich ihre Tätigkeit lohnt. Das seinerseits nutzenmaximierende EVCM muss versuchen, den Abstand zwischen S'_{min} und x' zu maximieren. Dies entspricht dem Sicherheitsäquivalent des Nettoerfolges. Dieser ist im Wert I^* maximal, wo S'_{min} und x' parallel verlaufen (Strecke \overline{BC}). Das optimale Anreizsystem ist somit dann gegeben, wenn der Agent freiwillig I^* wählt. Anders ausgedrückt: f_F und f_V sind so zu wählen, dass die Entlohnungskurve $f(x)'$ durch S_{min} genau im Punkt A tangiert wird.

Das vorgestellte LEN-Modell stellt zwar einerseits alle entscheidenden Faktoren einer Agency-Beziehung dar, jedoch führt die Beschränkung des Standardmodells auf lineare Strukturen nicht immer zu optimalen Lösungen. Zu nichtlinearen Kompensationsfunktionen (die jedoch das LEN-Modell nicht in Frage stellen, sondern vielmehr erweitern) sei hier auf *Wagenhofer/Ewert* verwiesen¹⁴¹.

7.3.3.2 Bindung mehrerer KPZ und die Grenzen leistungsbezogener Anreizsysteme

In den bisherigen Ausführungen wurde der Fall betrachtet, dass das EVCM nur eine KPZ bindet. Typisch sind jedoch Situationen, in denen mehrere KPZ für Aufgaben gesucht werden, die unabhängig voneinander zu lösen und für die keine Kooperationsbeziehungen notwendig sind. So können diese Verträge separat optimiert werden¹⁴². Zur Komplexitätsreduktion wird im Folgenden nur der Fall zweier KPZ dargestellt. Allerdings lassen sich bereits daran alle modellrelevanten Interdependenzen abbilden. Der von den KPZ erzielte Gesamterfolg lässt sich ähnlich wie in Formel 7.25 darstellen:

$$x(I_1, I_2) = (a_1 I_1 + \theta) + (a_2 I_2 + \theta) + r. \quad (7.34)$$

Während sich die ersten beiden Erfolgskomponenten direkt den beiden handelnden KPZ zurechnen lassen, bildet der Summand r einen nicht verur-

¹⁴⁰Die Darstellung entspricht einem risikoaversen Verhalten der Wirtschaftssubjekte. Gleiche Erwartungswerte stiften dabei einen höheren Nutzen, je geringer das mit ihnen verbundene Risiko ist. Es wäre auch eine risikoneutrale oder risikofreudige Modellierung möglich, wonach der Nutzen identischer Werte mit steigendem Risiko zunimmt. Dies entspräche allerdings nicht den getroffenen Rationalitäts- und Opportunismusannahmen.

¹⁴¹Siehe [Wag93, S. 377 ff.].

¹⁴²Die Aufgabenteilung ergibt sich unter anderem aus der Vielzahl von aus der Stücklistenstruktur resultierenden Lieferanten.

sachergerecht aufspaltbaren Rest. Dieser hängt wiederum von I_1 , I_2 und θ ab. Es stellt somit, ergänzend zum äußeren Umweltzustand θ , einen inneren Umweltfaktor dar. Die Handlungen der KPZ 1 können den Erfolg der KPZ 2 beeinflussen und umgekehrt. Übertragen auf den Gedanken der Sicherheitsäquivalente ergibt sich das Maximierungsproblem des EVCM analog der Formel 7.29:

$$S[(a_1 I_1 + \theta) - f_1(x_1, x_2, r)] + S[(a_2 I_2 + \theta) - f_2(x_1, x_2, r)] + S(r) \rightarrow \max. \quad (7.35)$$

Auch die KPZ maximieren entsprechend den Überlegungen des vorherigen Abschnittes:

$$S[(a_1 I_1 + \theta) - f_1(x_1, x_2, r)] - b_1 I_1^2 \rightarrow \max \quad (7.36)$$

$$S[(a_2 I_2 + \theta) - f_2(x_1, x_2, r)] - b_2 I_2^2 \rightarrow \max. \quad (7.37)$$

Haupthindernis für die Auflösung der Optimierungsaufgabe sind Höhe und Struktur des Summanden r . Je größer r ist, desto geringer sind die eigenständigen Einflussmöglichkeiten der beiden KPZ auf ihre eigene Entlohnung. Entsprechend ist eine ausschließliche Bezahlung auf Basis der eigenen Anstrengungen wenig sinnvoll. Dies macht nur dann Sinn, wenn $r = 0$ ist, was einem Zerfallen in zwei getrennte, einfache Agency-Beziehungen gleich kommt¹⁴³.

In den Fällen, in denen $r > 0$ gilt, kann eine Entlohnung nach der Erreichung des eigenen Teilzieles $x_{1/2}$ durch einen Verrechnungspreis v ergänzt werden. Dieser bewertet einerseits den Einfluss auf den Erfolg der anderen KPZ und andererseits den Anteil, den der jeweils andere am eigenen Erfolg hat. Dem EVCM verbleibt pro Erfolgseinheit $x_{1/2}$ die Differenz zwischen dem von der KPZ erwirtschafteten Deckungsbeitrag db und dem an sie gezahlten Verrechnungspreis. Das EVCM und die KPZ stehen dann in Analogie zu den Ausführungen von oben vor dem folgenden zu lösenden Problem:

$$x(I_1, I_2) = x_1[db_1 - v(x_1)] + x_2[db_2 - v(x_2)] \rightarrow \max \quad (7.38)$$

$$x_1 v(x_1) - b_1 I_1^2 \rightarrow \max \quad (7.39)$$

$$x_2 v(x_2) - b_2 I_2^2 \rightarrow \max. \quad (7.40)$$

¹⁴³Siehe [Kah94a, S. 46 f.].

Es besteht noch ein weiterer Fall, in dem eine leistungsbezogene Bezahlung hinsichtlich des eigenen Teilergebnisses nicht die gewünschten Erfolge verspricht. Im Gegenteil: sie kann den Nutzen, den die Tätigkeit der KPZ für das EVCM auf nahezu Null senken oder im Extremfall in einen Schaden umschlagen lassen. Dies ist immer dann der Fall, wenn eine KPZ mit der Betreuung verschiedener Aufgaben beauftragt wird. Besonders gravierend wird das Problem, wenn die Aufgaben mit unterschiedlichen Mindestanstrengungen verbunden sind und die konkreten Einflüsse des Tuns der KPZ nicht im gleichen Maße zu bestimmen sind. Ein leistungsorientiertes Anreizsystem begünstigt in diesem Fall einseitig gut erfassbare Sachverhalte. Dies führt dazu, dass sich die KPZ diesen verstärkt oder ausschließlich widmen wird, während er einen anderen Teil seiner Aufgaben aus opportunistischen Gründen vernachlässigt¹⁴⁴. Bindet das EVCM mehrere KPZ, zwischen denen schwer quantifizierbare Leistungsbeziehungen bestehen, kann auf diese Weise ein beachtliches r entstehen. Der Gesamterfolg ist dann durch mangelnde Kooperation minimal, obwohl jede KPZ ihr Nutzenmaximum erzielen konnte.

7.3.4 Offenbarungsstrategien und verdeckte Eigenschaften

Ein für das EVCM unbefriedigendes Ergebnis hat seine Ursache nicht immer im opportunistischen Verhalten der KPZ. Neben ihrer Kooperationswilligkeit ist vielmehr auch ihre prinzipielle Fähigkeit (Kompetenz) von Bedeutung, die notwendigen Leistungsqualitäten und -quantitäten überhaupt zur Verfügung zu stellen. Die Eigenschaften einer KPZ sind in der Regel nachträglich nicht in kurzer Frist zu ändern. Sie spielen somit bereits bei der Auswahl der KPZ eine Rolle. Das mit verdeckten Eigenschaften einer KPZ oder seiner angebotenen Leistung verbundene Geschäftsrisiko lässt sich durch Informationsbeschaffung beeinflussen.

Grundidee ist, die für ein Prinzipal-Agenten-System kennzeichnenden Informationsasymmetrien zumindest teilweise abzubauen. Dabei werden zwei verschiedene Verfahrensgruppen unterschieden. Beim Screening versucht die schlechter informierte Partei – im Agency-Ansatz immer der Prinzipal – aktiv ihr Informationsdefizit zu beseitigen. Beim Signalling spielt sie eine eher passive Rolle. Hier geht die Initiative von der besser informierten Partei – im Agency-Ansatz immer der Agent – aus. Die KPZ versucht ihre nur ihr bekannten Vorzüge zu publizieren und gezielt als Marketinginstrument zu ver-

¹⁴⁴Siehe [Pfa98, S. 189].

wenden. Bei der Bewertung der dabei empfangenen Signale ist es allerdings unerlässlich, die Signalquelle mit zu bewerten. Signale eines Partners werden von anderer Art und Qualität sein, als Signale eines Konkurrenten. Unter ungünstigen Umständen, d. h. wenn kein oder nur unzureichendes Wissen über die Vertrauenswürdigkeit des potenziellen Partners oder anderer Informationsquellen vorliegt, ist es nur schwer möglich, die empfangenen Signale zu bewerten und daraus Handlungsanleitungen zu gewinnen.

In Signalling- oder Screening-Modellen existieren in der Regel zwei Gleichgewichtsformen. Im Pooling-Gleichgewicht wird jeder Vertragspartner durch die Instanz gleich behandelt. Hier besteht entweder kein Anreiz für den sich offenbarenden Partner, ein bestimmtes Signal auszusenden oder es existiert eine spieltheoretisch dominierende Strategie, die unabhängig vom tatsächlichen Niveau ihrer Kompetenz e zum immer gleichen Signal führt. Im Trennungsgleichgewicht ist die Behandlung der Vertragspartner von den von ihnen ausgesendeten Signalen abhängig. Die Folgen sind dabei derart, dass ein falsches signalisiertes e immer automatisch zum Nachteil des Agenten reicht¹⁴⁵. Im Folgenden sollen ein Signalling-Modell und ein Screening-Ansatz vorgestellt und spieltheoretisch für das KPZN interpretiert werden.

7.3.4.1 Signalling

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das ursprüngliche Modell von *Spence*¹⁴⁶ und werden auf das EVCM übertragen.

Betrachtet wird eine anonyme Menge von potenziellen KPZ. Diese verfügen in verschiedenem Ausmaß über unterschiedliche vertragsrelevante Fähigkeiten. Die Fähigkeiten sind zwar den KPZ bekannt, jedoch nicht dem EVCM. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine KPZ über eine im Sinne des nachgefragten Prozessschrittes hohe Leistungsfähigkeit verfügt, wird im Modell mit p angegeben, wobei $0\% < p < 100\%$ gilt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Fähigkeiten der potenziellen KPZ zur Erfüllung der Aufgaben nicht ausreichend sind, wird entsprechend mit $(1 - p)$ angenommen. Weiterhin wird angenommen, dass die Fähigkeiten der Arbeiter von einem einzigen Parameter, ihrem Kompetenzniveau e , abhängen und davon ausgegangen, dass die marginalen Investitionskosten zur Kompetenzerweiterung für leistungsfähigere KPZ geringer sind, als die der weniger leistungsfähigen. Die Kosten sind von den KPZ selbst zu finanzieren. Eine entsprechend den Anforderungen weniger kompetente KPZ wird dabei bei der Anpassung ihrer Leistungen an die konkreten

¹⁴⁵Zur Auswirkung von Pooling und Separation, wenn auch im Rahmen eines hier nicht behandelten Modells, vgl. [Not94, S. 45 ff.].

¹⁴⁶Siehe hierzu [Rot01, S. 372 ff.]

Anforderungen höhere Aufwendungen haben, als eine bereits in ähnlichen Bereichen tätige KPZ. Kernpunkt der Überlegung ist, dass das EVCM den Nutzen, den seine potenziellen KPZ ihm bei nicht opportunistischem Verhalten stiften könnten, bestimmen kann, wenn es deren Kompetenzniveau kennt.

Entsprechend des zu erwartenden Nutzens kann das EVCM verschiedenen KPZ Entlohnungsangebote $f(e)$ unterbreiten. Dabei ist $f(e)$ so zu wählen, dass es für die KPZ die spieltheoretisch dominierende Strategie ist, ihr wahres e preiszugeben. Liegt die Struktur von $f(e)$ offen und führt sie zu einem Trennungsgleichgewicht, so ist es für die Interessenten bereits bei der Bewerbung von Vorteil, Informationen über ihr Kompetenzniveau anzubieten. Diese stehen dann dem EVCM als Auswahlkriterium zur Verfügung. Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Abbildung 7.20 dargestellt¹⁴⁷.

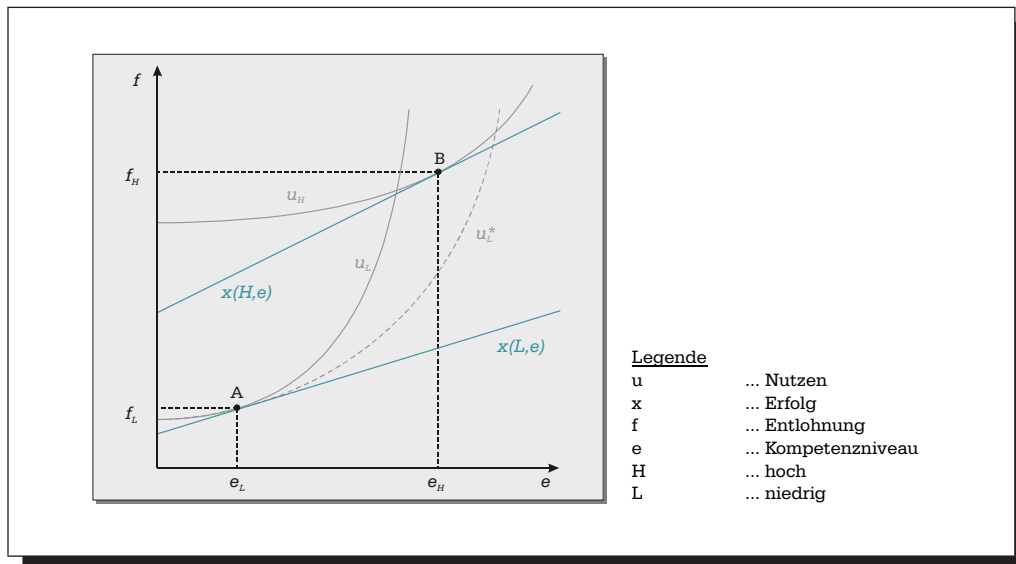


Abbildung 7.20: Signalling

Die beiden grauen durchgezogenen Nutzenindifferenzkurven u beschreiben die Kombinationen aus signalisiertem e und daraus resultierendem $f(e)$, welche die KPZ unter dem Gesichtspunkt der Leistungsanpassungskosten als gleichwertig erachten. Der Index H beschreibt dabei die leistungsfähigere KPZ, L die weniger leistungsfähige. Dargestellt sind in der Abbildung nur die maximal erreichbaren Nutzenniveaus. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass sie die von der Leistungsfähigkeit abhängige Produktivitätsfunktion

¹⁴⁷In abgewandelter Form nach Abb. 1 ff. aus [Rot01, S. 373 f.].

(blaue Kurve) tangieren. Für eine KPZ vom Typ L bestünde kein Anreiz, ein e_H zu signalisieren. Die höheren Anpassungskosten würden den höheren Lohn f_H überkompensieren. Punkt B entspricht für sie einem geringeren Nutzenniveau als A .

Innerhalb des Modells ist neben einem Separationsgleichgewicht jedoch auch die Poolingsituation denkbar. Hat zum Beispiel u_L die in der Abbildung gestrichelt dargestellte Form u_L^* , so lohnt es sich für die weniger leistungsfähige KPZ ein höheres e vorzutäuschen. Das EVCM kann das signalisierte e nicht mehr zur Beurteilung der Partner nutzen. Es wird entsprechend einen an einem erwarteten durchschnittlichen e_D und einem daraus folgenden durchschnittlichen x_D orientierten Einheitslohn bieten. Somit lohnt es sich auch für keine KPZ mehr, ein von e_D abweichendes Signal zu senden, da bei keinem e ein höherer Nutzen erreichbar ist. Die Struktur dieses Modells lässt sich durchaus auch auf andere Agency-Sachverhalte übertragen. Ähnliche Unsicherheiten hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Erfüllungsgehilfen lassen sich in jedem sowohl einmaligen, als auch dauerhaften Leistungs- oder Dienstvertrag wiederfinden. In all diesen Fällen ist ein Prinzipal auf der Suche nach Agenten, deren Leistungsfähigkeit (bzw. die Übereinstimmung zwischen vorhandenen und geforderten Kompetenzen) ein entscheidendes Eignungskriterium ist.

7.3.4.2 Screening

Das Modell von *Rothschild/Stiglitz*¹⁴⁸ beschreibt im Gegensatz zu dem von *Spence* ein Screeningverfahren. Es wurde ursprünglich für den Versicherungsmarkt entwickelt. Der Grundgedanke ist, dass Versicherer versuchen, die Schadenswahrscheinlichkeit ihrer Kunden zu ermitteln. Dazu werden den Kunden verschiedene Verträge offeriert. Die Versicherten wählen nun selbst, welche Konditionen für sie am vorteilhaftesten sind. Durch die Art der gewählten Verträge offenbaren sie dem Versicherer schließlich ihre Schadenswahrscheinlichkeit.

Der Einfachheit halber werden in dem Modell nur zwei Situationen unterschieden: der Versicherungsunternehmer erleidet einen Schaden d oder er erleidet diesen Schaden nicht. Die Wahrscheinlichkeit, dass d eintritt beträgt p . Die zu zahlende Versicherungsprämie sei f_P mit $f_P = f_P(p)$. Im Schadensfall bekommt der Versicherte eine Ersatzleistung von der Versicherung. Diese sei, bereinigt um die zu zahlende Prämie, gleich f_S mit $f_S = f_S(p)$. Ausgehend von einem Anfangsvermögen F ergibt sich für den Versicherten ein Nutzen aus dem Vertrag in Höhe von

¹⁴⁸Siehe [Rot01, S. 375 ff.].

Die durchgezogenen Kurven beschreiben ein hohes p (Index H), die gestrichelten ein geringeres (Index L). Die graue Linie bezeichnet die aus 7.41 abgeleitete Nutzenindifferenzkurve des Versicherten. Der maximal erreichbare Nutzen ist dabei durch 7.43 beschränkt. Für den Versicherten bessere Verträge (Punkt A) wären mit einem $P(p, f) < 0$ verbunden, schlechtere Verträge (B) entsprächen $P(p, f) > 0$. Die blaue Linie stellt diese Grenze dar. Sie hat eine Steigung von $-(1-p)/p$ und läuft durch den Punkt C auf der „Ausgangssituations“-Achse. Die gleichgewichtigen Verträge liegen je nach Art des Kunden in D oder E . Es liegt somit ein Trennungsgleichgewicht vor. Aus spieltheoretischer Sicht ändert sich gegenüber dem vorher erläuterten Signalling-Modell die Zugreihenfolge. Den ersten Spielzug realisiert hier nicht die besser, sondern die schlechter informierte Seite. In ihrem Grundgedanken sind beide Ansätze jedoch sehr ähnlich. Ziel ist, das Spiel so anzulegen, dass es für die besser informierte Seite zur dominanten Strategie wird, ihren Wissensvorsprung zu offenbaren. Dieser Sachverhalt wird in der weiteren Forschungsarbeit für das EVCM ebenfalls operationalisiert.

Die rote Linie stellt die Gleichung 7.43 graphisch dar. Allerdings wurde hier für p ein durchschnittlich zu erwartender Wert angenommen. Eine Versicherung kann theoretisch auch Verträge anbieten, welche auf dieser Geraden liegen. Der Erwartungswert über die Summe aller $P(p, f)$ bleibt Null. Für die Existenz eines Pooling-Gleichgewichtes wäre es notwendig, dass es keinen anderen Vertrag mit höherem $U(p, f)$ und gleichzeitig höherem $P(p, f)$ gibt. Dies ist jedoch zumindest für den Kunden vom Typ L nicht der Fall. D hat in jedem Fall ein höheres $U(p, f)$. Ein Pooling-Gleichgewicht ist somit in diesem Modell nicht möglich.

Auch die Erkenntnisse dieses Modells lassen sich abstrahieren und verallgemeinern. Ziel ist, für das EVCM ein Tarifsystem zu entwerfen, welches risikoreiche KPZ veranlasst einen entsprechend höheren Teil des Risikos selbst zu tragen oder, sollten sie dazu nicht bereit sein, sie zu identifizieren und von der Liste potenzieller Vertragspartner zu streichen. Ein weiteres Beispiel für Screening-Verfahren ist durch Preisdiskriminierung zweiten Grades gegeben¹⁵¹. Hier wird die nachfragende KPZ durch verschiedene Preis-Qualitäts-Kombinationen oder mengenabhängige Stückpreise (z. B. Rabatte) dazu veranlasst, ihre Präferenzen hinsichtlich Qualität und Quantität zu offenbaren. Entsprechend kann das Angebot dann KPZ-spezifisch angepasst werden.

Die vorgestellten Modelle des Signalling und Screening stellen wichtige Ansätze für die Instrumentalisierung von Anreiz- und Offenbarungsstrategien dar, die aus Sicht der Effizienz des EVCM in Bezug auf die zeitliche Dauer und die Genauigkeit der Lieferwahrscheinlichkeit einer zu generierenden Lieferantwort einen Wettbewerbsvorteil im realen Markt darstellen. Die

¹⁵¹Siehe auch [Mat01, S. 435 ff.].

Umsetzung ist für den zweiten Antragszeitraum (2003–2005) im SFB 457 geplant.

7.4 Zusammenfassung

Die Inhalte dieses Kapitels stellen einen jüngeren Teil der Forschungsarbeiten des Autors zum EVCM dar. Der Ansatz, eine Lösungsmenge aggregierter Lieferantworten im KPZN zu behandeln, stellt in der SCM-Forschung ein Novum dar und könnte für die Zukunft völlig neue Perspektiven für die methodische Beherrschung von Supply Chains eröffnen. Auf internationalen Fachtagungen (siehe Publikationen) wurde dieser innovative Ansatz als überaus tragfähig und mit hohem Potenzial für die positive Beeinflussung betriebswirtschaftlicher Effekte innerhalb der Wertschöpfungskette eingeschätzt. In der nahen Zukunft wird dieses Teilgebiet weiter untersetzt. Vor allem die Aspekte der Preisbildung für ein Netzwerk-Controlling verdienen besondere Beachtung.

Die Definition einer KPZ im SFB „Hierarchielose regionale Produktionsnetze“ ist nicht vollständig deckungsgleich zu der eines Agenten, die in der Prinzipal-Agenten-Theorie Verwendung findet. In letzterer ist die Bedeutung weit enger gefasst. Jede autonom handelnde Einheit ist hier ein Agent in Form einer KPZ. Diese Bezeichnung ist an die Existenz des entsprechenden Gegenparts (des Prinzipals in Form des EVCM geknüpft), der sich den Informationsvorsprung des Agenten nutzbar macht und ihn in einem vertraglichen Verhältnis zu einer Leistung verpflichtet. Betrachtet werden somit nicht Interaktionen zwischen verschiedenen Agenten, sondern zwischen Agent und auftraggebender Instanz. Somit lassen sich Kooperationen in Netzwerken durchaus als Prinzipal-Agenten-Beziehungen verstehen, insofern die Kompetenzen der KPZ genutzt werden.

Die einzelnen Beteiligten werden ihren eigenen Nutzen zu maximieren versuchen. Auch wenn in funktionierenden Netzwerkstrukturen betrügerisches Verhalten gegenüber den Partnern ausgeschlossen werden sollte, so könnten die KPZ dennoch versucht sein, sich, wo es unbemerkt bleibt, opportunistischer Strategien zu bedienen und ihre Aufgaben nicht immer mit vollem Einsatz zu erfüllen (hidden action). Ebenso werden in Produktionsnetzwerken Informationsdefizite existieren. Nicht immer wird das EVCM die Kompetenzen des jeweiligen Netzknoten genau kennen und aufgrund dessen nicht immer genau wissen, welche nachzufragende Kompetenz die optimal passende ist. Diese Probleme zu lösen wurden hier Wege vorgestellt. Auch wenn die Anreizsysteme und Informationsbeschaffungsmodelle im Allgemeinen für

andere Zwecke konzipiert wurden, so lassen sie sich dennoch übertragen. Die Probleme sind in ihrer Grundstruktur vielfach identisch. Ein im Sinne der Agency-Theorie interpretierbares Anreizsystem stellt schließlich auch das Produktionsnetzwerk, insbesondere des KPZN, als solches dar.

„Ein Dom ist etwas ganz anderes als eine Summe von Steinen“

Antoine de Saint-Exupéry

Kapitel 8

Integration von Soft-facts

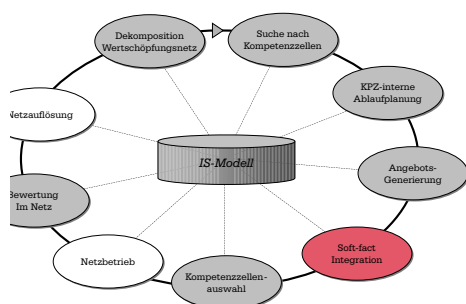
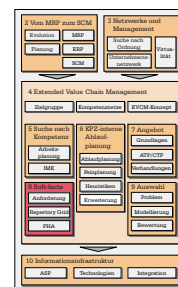


Abbildung 8.1: Phase „Soft-fact Integration“

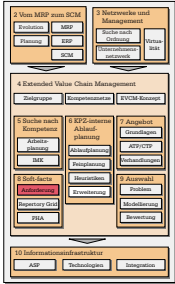
Das KPZN kann analog zu Virtuellen Unternehmen als eine Sonderform der Unternehmensvernetzung interpretiert werden. Zwischen den Akteuren in einem derartigen Netzwerk existiert ein mehr oder minder stark ausgeprägtes soziales Geflecht¹. Soziale Netzwerke beinhalten neben gewöhnlichen Interaktionen der KPZ auch die für formale Organisationen typischen und bewusst hierarchisch organisierten Kommunikationsmuster. Nach vorherrschender Lehrmeinung bilden sich netzwerkartige Strukturen auf der Grundlage von materiell-ökonomischen Bedingungen. Dazu sind vor allem vertragliche, finanzielle oder logistische Bedingungen zu zählen². Aus den Ergebnissen zu Untersuchungen bzgl. Netzwerkstrukturen stellte sich jedoch heraus, dass auch gruppenspezifische Faktoren berücksichtigt werden sollten. Hierzu zählen vorrangig personelle und soziale Beziehungen, individuelle Fähigkeiten wie Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit, Qualifikationen und Kompetenzen, Zuverlässigkeit, Netzwerkfähigkeit sowie Wertvorstellungen wie Vertrauen³. All diese schwierig quantifizierbaren Eigenschaften

¹Vgl. z. B. [Kap00, S. 31] und [Mit69].

²Vgl. [Smi94, S. 90 ff.].

³Angaben basieren auf einer Studie von Wehner und Endres, vgl. [Weh99, S. 222 f.] und [Pro87, S. 36].

können mit dem Begriff „Soft-facts“ zusammengefasst werden. Dieses Kapitel stellt eine wissenschaftlich neue Methode vor, derartige Soft-facts zu analysieren und für die Netzwerkgenese zielführend einzusetzen. Die Integration von Soft-facts in einen informationstechnisch getriebenen Prozess der Partnerfindung für eine Supply Chain stellt ebenfalls ein Novum dar⁴.



8.1 Anforderungen

Soft-facts spielen eine wichtige Rolle hinsichtlich der langfristigen erfolgreichen Zusammenarbeit von vernetzten Unternehmen im allgemeinen und von KPZ im speziellen Fall. Die individuellen kognitiven Strukturen einer KPZ stellen die strukturelle Voraussetzung dar, um mit anderen KPZ im KPZN im Rahmen der gemeinsamen Zusammenarbeit Ziele und Aufgaben umzusetzen. Dies erfolgt in gleichem Maße wie Organisationen ihre strukturellen Beziehungen einsetzen, um mit anderen Organisationen zu interagieren⁵. Individuelle Ansichten liefern gerade bei länger andauernden Kooperationen wertvolle Informationen über zukünftige Verhaltensweisen der Kooperationspartner und können so strategische Entscheidungen beeinflussen.

Aus der Erkenntnis, dass diese so genannten Soft-facts einen nicht zu unterschätzenden Erfolgsfaktor für das KPZN darstellen, sollten diese Faktoren im Rahmen netzwerkartiger Kooperationsformen einer gezielten Methode zugeführt werden, die gewährleistet, dass soziale Kompetenzen an geeigneten Schnittstellen in einem ausreichenden Maß zur Verfügung stehen und bei der Verteilung von Ressourcen eine sinnvolle Rolle spielen. Das ganze Ausmaß des Einflusses von Soft-facts spiegelt sich in folgendem Zitat wider: „Unser Rechnungswesen ist nicht mehr geeignet, den Wert eines Unternehmens zu bestimmen, da die zwei zentralen Kapitalarten, *Intellectual Capital* (Wissenskapital) und das *Sozial- und Beziehungskapital*, nicht ausgewiesen werden, obwohl sie beide großen Einfluss auf die zukünftige Unternehmensrentabilität haben“⁶.

Im Rahmen dieser Problematik werden im nächsten Abschnitt verschiedene Ansätze zur Netzwerkbewertung und zur Analyse von Soft-facts in Netzwerkstrukturen aufgezeigt. Anschließend wird eine Kombination eines gebräuchlichen Verfahrens der Datenerhebung (Repertory Grid) mit einem neuen Verfahren der Datenanalyse (Polyedrale Analyse) vorgestellt.

⁴Die Ausführungen dieses Kapitels basieren u. a. auf Publikationen des Autors wie [Wal02, Kor02, Mey02b, Mey02a, Tei02u].

⁵Vgl. [Mar76, S. 153 ff.].

⁶Vgl. [Lit00, S. 149].

8.1.1 Soft-facts im Kompetenzzellennetzwerk

Die Identifikation und Analyse von Soft-facts in KPZN wirft auf den ersten Blick erhebliche Probleme auf, da die Untersuchung von komplexen sozialen Strukturen schnelles und gezieltes Handeln erfordert. Die besondere Problematik besteht bei Netzwerken in oftmals ungeklärten Zuständigkeiten, in der Problematik mangelnden Vertrauens und in unklaren Regelungen zum fairen Transfer von Know-how⁷. Die immer wichtiger werdenden nichtfachlichen Kompetenzen (Soft-facts) wie bspw. Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit leiten sich primär aus den gelernten und kognitiv verankerten Fähigkeiten und Kompetenzen der KPZ ab. Der strukturelle Aufbau bzw. die Strukturen des KPZN beschränken sich dabei nicht nur auf Organigramme, sie beinhalten gleichfalls Regeln, Normen, Vorschriften, Gewohnheiten, Einsichten, Werte, Erfahrungen, Bindungen, Organisationsbestimmungen, das Gefüge von Denkvorstellungen, tragende Verhaltensprinzipien, das Machtgefüge (auch bei Hierarchielosigkeit), das Beziehungsnetz mit Sympathie und Antipathie usw. Eng miteinander verbunden sind dabei die Struktur und das Verhalten der Akteure (KPZ), wobei das Verhalten als notwendige Folge der Systemstruktur betrachtet werden kann⁸. Nach *Baitsch*⁹ besteht ein Zusammenhang von Ansichten/Glaubenssätzen und Strukturen, Techniken und Lohnsystemen. Hieraus resultieren Handlungsmuster, die den Umgang zwischen Abteilungen, Hierarchien oder mit anderen KPZ im KPZN bestimmen. Auf das KPZN übertragen würde sich die folgende Interpretation ableiten lassen: die Bedeutsamkeit der individuellen Persönlichkeitsmerkmale in KPZ ist u. a. vom Entwicklungsstand des KPZN abhängig. Bei stabilen Bedingungen mit geringerer Komplexität und Dynamik (z. B. in der Projektdurchführungsphase) würden sich andere Attribute für kooperative Handlungen ergeben als zur Phase der Partnerfindung (Netzwerkgenese), die eher von komplexer und dynamischer Natur ist.

Unter diesen Umständen erscheint es außerordentlich wichtig, den Soft-facts sowohl bei der Genese als auch beim Betrieb des KPZN eine hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

8.1.2 Analysemethoden für Netzwerke

Für die Herangehensweise hinsichtlich der Identifikation und der Analyse von Soft-facts in Netzwerken existieren verschiedene Ansätze. Nachfolgend

⁷Siehe auch bei [Sta00a, S. 58].

⁸Vgl. hierzu [Pro87, S. 36] und [Ber97a, S. 139].

⁹Vgl. [Bai95, S. 258 ff.].

sollen einige Verfahren dargestellt werden. Dabei handelt es sich ausnahmslos um Ansätze, die nicht nur für Unternehmensnetzwerke angewendet werden können. Bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf ein KPZN wird auf die Ausführungen im jeweiligen Abschnitt verwiesen.

8.1.2.1 Ansätze aus soziologischer Perspektive

Im Mittelpunkt dieses und der folgenden Abschnitte stehen Ansätze zur Netzwerkanalyse. Hierzu kann aus verschiedenen Positionen diskutiert werden. Eine Möglichkeit besteht in der Betrachtung aus soziologischer Perspektive. Unstrittig ist, dass auch ein KPZN ein soziales System bzw. Beziehungsgeflecht darstellt, welches im Sinne eines Netzwerk analysiert werden kann. Es gilt jedoch, den Zweck und das Ziel der Untersuchung festzulegen.

Aus soziologischer Perspektive stehen im Wesentlichen die Beziehungen der Akteure, im speziellen Fall also die Beziehungen der KPZ im KPZN im Mittelpunkt des Interesses. Für die Analyse stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Als Hauptgebiete der Methodenentwicklung seit Mitte der siebziger Jahre können die Teilgruppenbildung in Netzwerken und die Mikrostrukturen von Gesamtnetzwerken¹⁰ bezeichnet werden.

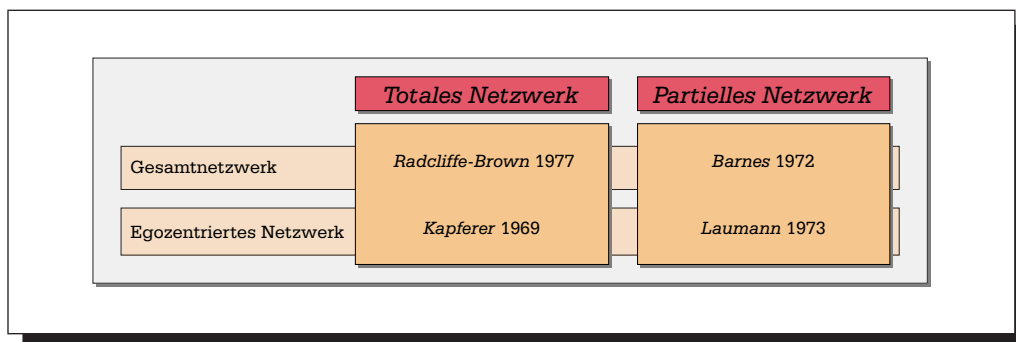


Abbildung 8.2: Perspektiven der Netzwerkanalyse

Die sozialen Strukturen werden repräsentiert durch Beziehungen zwischen sozialen Einheiten wie Personen, Positionen, Gruppen, Organisationen¹¹ oder eben KPZ. Ein Netzwerk ist dabei definiert als „eine durch Beziehungen eines bestimmten Typs verbundene Menge von sozialen Einheiten“¹². Aus

¹⁰Zu Methoden der Netzwerkanalyse besonders aus soziologischer Sichtweise siehe [Pap87b].

¹¹Vgl. [Pap87a, S. 11].

¹²In Anlehnung an eine Definition bei [Mit69].

soziologischer Perspektive werden verschiedene Arten von Netzwerken unterschieden, wie aus Abbildung 8.2 hervorgeht¹³. Wenn die Beziehungen auf einen bestimmten Beziehungstyp eingeschränkt werden, ergeben sich auf diese Weise partielle Netzwerke. In totalen Netzwerken hingegen werden alle möglichen Beziehungen zwischen den Akteuren betrachtet. Eine andere Kategorisierungsmöglichkeit resultiert aus der Frage, ob die Beziehungen zwischen mehreren Akteuren betrachtet werden sollen (Gesamtnetzwerk) oder ob aus der Ich-Perspektive gearbeitet wird (Egozentriertes Netzwerk). Die Namen in Abbildung 8.2 repräsentieren die wichtigsten Vertreter der Perspektiven.

Im Rahmen der vorhandenen Analysemethoden für Gesamtnetzwerke wird nachfolgend die Analyse direkter Beziehungen dargestellt¹⁴. Bei dieser Analyse des KPZN werden mittels eines Fragebogens KPZ befragt, mit welchen anderen KPZ ein regelmäßiger Kontakt¹⁵ besteht. Das Ziel dieser Analyse besteht in der Identifikation von sozialen Strukturen im KPZN und den damit verbundenen Sympathien und Antipathien, die sich aus den Ergebnissen interpretieren lassen. Wichtig bei dieser Vorgehensweise ist, dass nur die freiwilligen und nicht die erzwungenen Kontakte erfasst werden, da sonst das Analyseergebnis verfälscht würde. Die Definition zur Häufigkeit der Kontakte zwischen den KPZ wird nicht explizit festgelegt, diese Einschätzung liegt im Ermessen der Befragten. Dies hat zur Folge, dass die Beziehungen nicht symmetrisch sind. Nach *Laumann* und *Pappi* bietet sich jedoch eine Symmetrisierung für die Analyse an, zwingend notwendig ist sie jedoch nicht. Als Soziogramm könnte die Beziehungsstruktur in einem KPZN, wie in Abbildung 8.3¹⁶ dargestellt, aussehen. In diesem Fall besteht das KPZN aus sieben KPZ. Von der Fragestellung her sind Selbstnennungen auszuschließen.

Nach Erfassung der Daten soll eine Symmetrisierung dieser Ausgangsdaten erfolgen. Als interpersonelle Umwelt einer KPZ werden dabei die in direktem Kontakt stehenden KPZ bezeichnet. Die soziale Nähe zwischen zwei KPZ lässt sich dann als Grad der Überlappung zu ihren direkten Nachbarschaften bestimmen. Überschneiden sich die interpersonellen Nachbarschaften zweier KPZ in einem hohen Maße, können sie dem gleichen sozialen Kreis zugeordnet werden. Aufgrund der Annahme, dass jede KPZ zum eigenen sozialen Kreis gehört, bietet sich zusätzlich zur Symmetrisierung auch eine Manipulation der Daten in Form der reflexiven Gestaltung der Wahlen an.

¹³Abbildung in Anlehnung an [Pap87a, S. 14].

¹⁴Zur Analyse von Gesamtnetzwerken vgl. [Pap87a, S. 25 ff.]. Bei der relationalen Analyse von *Burt* [Pap87a, S. 26] hingegen werden nicht nur die direkten, sondern auch die indirekten Beziehungen betrachtet.

¹⁵Regelmäßiger Kontakt ist noch nach Art des Kontaktes zu präzisieren.

¹⁶Abbildung in Anlehnung an Abbildung 2 bei [Pap87a, S. 27].

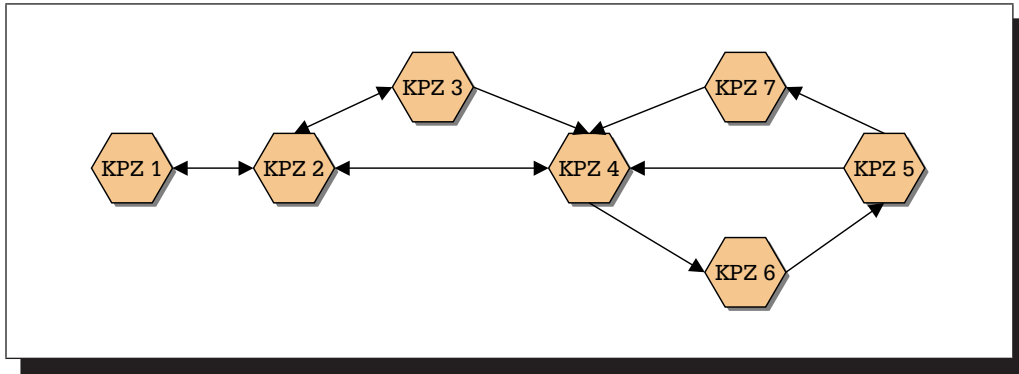


Abbildung 8.3: Soziogramm der Kontakte in einem KPZN

Die Definition der sozialen Nähe zwischen zwei KPZ ließe sich anschließend nach dem *Simmel*-Maß¹⁷ wie folgt definieren:

$$P_{ij} = \frac{I_{ij}}{U_{ij}} I_{ij}. \quad (8.1)$$

I_{ij} steht für die Anzahl der KPZ, mit denen sowohl KPZ i als auch KPZ j eine direkte Beziehung haben. Liegt auch eine Beziehung zwischen beiden KPZ selbst vor, muss eine Beziehung subtrahiert werden, da sonst die gleiche Beziehung zweifach gewertet würde. U_{ij} ist die Anzahl der Elemente der Vereinigungsmenge der beiden Bekanntenkreise. Die Anzahl der gemeinsamen Bekannten wird dabei bezogen auf die Größe des Bekanntenkreises von KPZ i und KPZ j . Auch hier muss analog zu I_{ij} wieder eine Beziehung abgezogen werden.

Das Simmel-Maß kann auch für die Überlappung der Nachbarschaften sinnvoll angewendet werden, die sich nicht nur aus den direkten, sondern auch aus den indirekten Kontakten einer bestimmten Schrittlänge ergeben. Damit erfolgt jedoch schon der Übergang zur relationalen Analyse.

Unter Berücksichtigung ausschließlich direkter Beziehungen kann ein Gesamtnetzwerk hinsichtlich seiner Dichte gekennzeichnet werden. Bei einer Anzahl von n KPZ sind $n^2 - n$ binäre Relationen möglich¹⁸, da Selbstausswahl ausgeschlossen ist. Können im Beispiel nur zwölf gerichtete Relationen identifiziert werden, liegt demnach ein Anteil von $\frac{12}{41} = 0,29$ vor. Dieser Anteil

¹⁷Vgl. [Pap87a, S. 28].

¹⁸Bei sieben KPZ ergeben sich also 42 binäre Relationen.

ist ein übliches Maß der Dichte. Zu betonen ist, dass es sich hierbei um einen gerichteten Graphen handelt.

Denkbar wäre auch die Analyse mit einem Graphen, bei dem eine Kante vorhanden ist. Wenn wenigstens eine KPZ eine Beziehung angibt, würde die Zahl der möglichen Beziehungen $\binom{7}{2} = 21$ betragen. Davon kämen 9 Beziehungen¹⁹ vor, was eine Dichte von 0,43 ergeben würde.

Die direkten Beziehungen werden in einer Soziomatrix oder Beziehungsmatrix festgehalten. Damit kann die direkte Erreichbarkeit festgestellt werden. In einem Soziogramm hingegen werden auch indirekte Erreichbarkeiten zu identifizieren sein. Auf die Darstellung dieser Vorgehensweise wird verzichtet. Es wird auf die Ausführungen bei *Pappi*²⁰ verwiesen.

Um bei der Genese eines KPZN geeignete KPZ zu finden, ist diese Vorgehensweise jedoch nicht unbedingt geeignet. Zwar kann eine direkte Beziehung auf Sympathie hinweisen, bei indirekten Beziehungen jedoch ist nicht immer ein zwangsläufiger Zusammenhang zwischen eigentlich nicht direkt verbundenen KPZ abzuleiten. Die vorhandene Sympathie wird nur aufgrund von überbrückten Beziehungen abgeleitet. Außerdem ist es fragwürdig, inwieweit vorhandene Beziehungen für ein neues KPZN überhaupt wünschenswert sind. Ein weiterer Nachteil besteht bei all diesen Verfahren darin, dass nur festgestellt wird, dass eine Beziehung existiert, nicht aber die Qualität der Beziehung, also durch welche Attribute zwei KPZ miteinander verbunden sind. Dieses Defizit wird die Polyedrale Analyse beheben.

Aus sozialwissenschaftlicher Perspektive lassen sich jedoch noch weitere netzwerkspezifische Charakteristika identifizieren. So stellt die Teilgruppenbildung in Netzwerken einen zentralen Untersuchungsansatz dar. Für diesen wurden verschiedene Untersuchungsmethoden entwickelt. Hierzu gehören bspw.:

- die Cliquenanalyse zur Identifikation von intern verbundenen Teilgruppen in sozialen Netzwerken²¹,
- die multivariante Analyse multipler Netzwerke zur Identifikation von Positionen in sozialen Räumen²² und
- die Blockmodellanalyse zur Identifikation von Positionen, Rollen und Rollenstrukturen²³.

¹⁹Vgl. Abbildung 8.2.

²⁰Vgl. [Pap87a, S. 28 ff.].

²¹Vgl. [Kap87b, S. 39 ff.].

²²Vgl. [Zie87, S. 64 ff.].

²³Vgl. [Kap87a, S. 101 ff.].

Alle Ansätze entbehren nicht einer gewissen Relevanz für die Analyse des KPZN. Sie sind jedoch in einem hohen Maße anpassungsbedürftig auf diese spezielle Problematik. Aus diesem Grund soll es hier bei der einfachen Benennung dieser Verfahren bleiben.

Einen weiteren Ansatzpunkt zur Analyse von Netzwerken bietet die Untersuchung von Mikrostrukturen von Gesamtnetzwerken in Form von KPZN, wobei hier wiederum auf spezielle Methoden und Instrumente zurückgegriffen werden muss²⁴. Einen anderen Blickwinkel besitzt die Sozialpsychologie, der ebenfalls auch auf KPZN übertragbar erscheint. So erfolgt bspw. die Netzwerkanalyse in Kleingruppen²⁵. Derartige Methoden sind zunehmend hochgradig mathematisch orientiert. Aufgrund der hochentwickelten IuK-Technologien stellt die Auswertung großer Datenmengen inzwischen jedoch kein Problem mehr dar.

In eine etwas andere Richtung dagegen konzentriert sich die folgende Netzwerkanalysemethode.

8.1.2.2 Bewertung der Kooperationsfähigkeit

Bei der modellgestützten Bewertung der Kooperationsfähigkeit produzierender Unternehmen nach *Höbig*²⁶ liegt der Fokus nicht allein auf der Analyse von Beziehungen in einem Netzwerk, sondern auch auf der Analyse der Kooperationsfähigkeit von Produktionsunternehmen. Einige Merkmale dieses Modells können auf KPZ in einem KPZN übertragen werden. Im Ausgangsmodell besteht der Schwerpunkt in der Bewertung von Unternehmen im Kontext des Lebenszyklus von Kooperationen. Daran schließt sich der Aufbau eines Bewertungsmodells an, ehe ein Bewertungsinstrument entwickelt und eingesetzt wird²⁷.

Im Rahmen der Analyse von KPZN sollen einige Ideen aufgegriffen werden, die sich direkt auf die Bewertung der Kooperationsfähigkeit von KPZ beziehen. Nach *Bronder*²⁸ bezeichnet die „strategische Erfolgsposition Kooperationsfähigkeit“ die Fähigkeit einer Organisation zur Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen (bzw. KPZ). Diese Kompetenz basiert auf den drei Eckpfeilern Kooperationsverhalten, Organisationsstruktur und Managementsysteme. Dies wird aus Abbildung 8.4²⁹ ersichtlich.

²⁴Weitergehende Ausführungen sind bei *Pappi* [Pap87a, S. 129 ff.] zu finden.

²⁵Vgl. [Feg87, S. 203 ff.].

²⁶Vgl. ausführlich bei [Hö02].

²⁷Vgl. [Hö02].

²⁸Vgl. [Bro93, S. 49 ff.].

²⁹In Anlehnung an Abbildung 2 bei [Hö02, S. 7] nach *Bronder*.

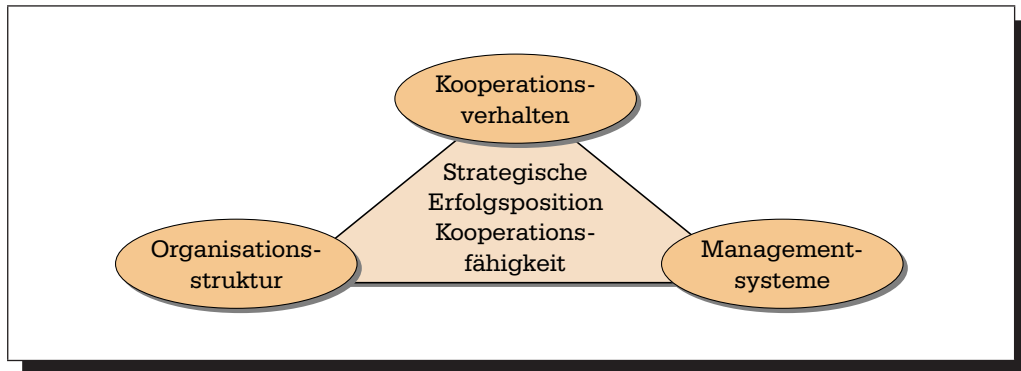


Abbildung 8.4: Die Eckpfeiler der Kooperationsfähigkeit

Die Relevanz der Kooperationsfähigkeit im Kontext der vorliegenden Problematik weist eine Studie der *DG-Bank*³⁰ nach, wonach 80% aller Befragten (vorwiegend mittelständige Unternehmen) die Meinung vertreten, dass Kooperationen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Da es sich bei der Kooperationsfähigkeit um eine qualitative Größe („Soft-fact“) handelt, die nur schwer quantifiziert werden kann, gilt es, wichtige Bewertungsgrößen für die Kooperationsfähigkeit von KPZ abzuleiten³¹. Aus der Schematisierung der Bewertungskriterien für die Kooperationsfähigkeit ergeben sich drei Sichten, die in Abbildung 8.5 sind³² illustriert. Jede der drei Sichten liefert verschiedene Bewertungsgrößen, die in eine Kriterienhierarchie zusammengefasst und eingeteilt werden können.

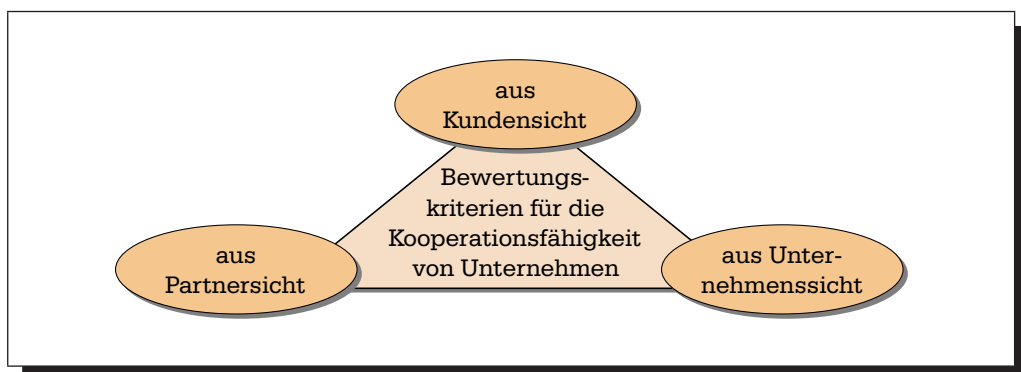


Abbildung 8.5: Bewertungskriterien für die Kooperationsfähigkeit

Nach *Höbig* lassen sich nach ausführlicher Analyse schließlich sechs Hauptkri-

³⁰Vgl. [DB00].

³¹Siehe [Hö02, S. 46 ff.].

³²In Anlehnung an Abbildung 19 bei [Hö02, S. 46].

terien und 21 Unterkriterien identifizieren. Diese Haupt- und Unterkriterien sind in Abbildung 8.6³³ dargestellt.

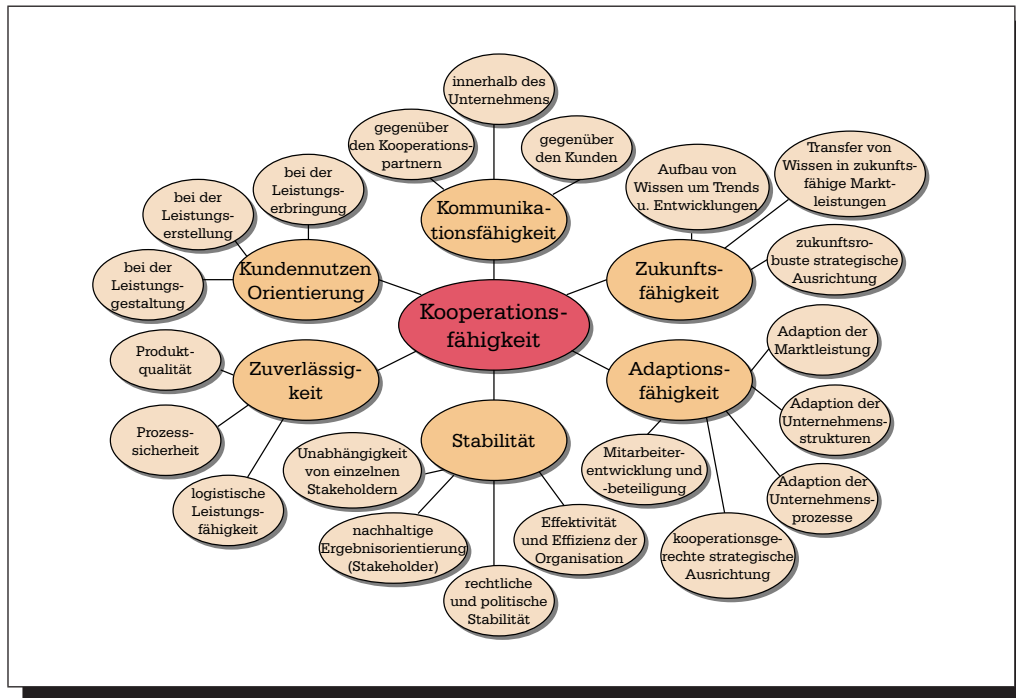


Abbildung 8.6: Haupt- und Unterkriterien der Kooperationsfähigkeit

Die Haupt- und Unterkriterien der Kooperationsfähigkeit von KPZ in KPZN sind teilweise unmittelbar mit der Kooperationsfähigkeit verbunden (bspw. Kommunikationsfähigkeit), zum Teil sind jedoch auch nur mittelbare Auswirkungen auf die Kooperationsfähigkeit von KPZ festzustellen. Je besser und je zahlreicher die genannten Kriterien erfüllt werden, desto höher ist das Maß an Kooperationsfähigkeit einzuschätzen. Im Allgemeinen sind auch Interdependenzen der Kriterien zu erwarten. Auf die genaue Definition aller Kriterien soll an dieser Stelle verzichtet werden³⁴. Nach der Identifikation der Bewertungskriterien schließt sich die Konstruktion eines Bewertungsschemas an. Das von Höbig³⁵ vorgeschlagene Bewertungsschema ist unterteilt in

- einen Fragebogen zur Erhebung der einzelnen Teile der Kriterien,

³³In Anlehnung an Abbildung 21 bei [Hö02, S. 51].

³⁴Es wird auf die Ausführungen in [Hö02, S. 53 ff.] verwiesen.

³⁵Vgl. [Hö02, S. 83].

- eine Bewertungsmatrix zur Beurteilung des Erfüllungsgrades der Kriterien und
- die rechnerische Aggregation der Ergebnisse und deren grafische Darstellung.

Im *ersten Schritt*³⁶ erfolgt die Informationsaufnahme mittels eines Fragebogens. Der Fragebogen besteht aus einem Teil für die Informationen über die befragten KPZ und aus einem anderen Teil mit Fragen zur Kooperationsfähigkeit. Dieser zweite Teil beinhaltet die Definitionen zu den jeweiligen Haupt- und Unterkriterien sowie Fragen zu Zielen für das jeweilige Kriterium, geeigneten Messgrößen für diese Ziele, Ansatzpunkten für die Verbesserung und geeigneten Methoden zur Verbesserung der Kooperationsfähigkeit. Der mögliche Aufbau eines Fragebogens ist in Abbildung 8.7³⁷ dargestellt.

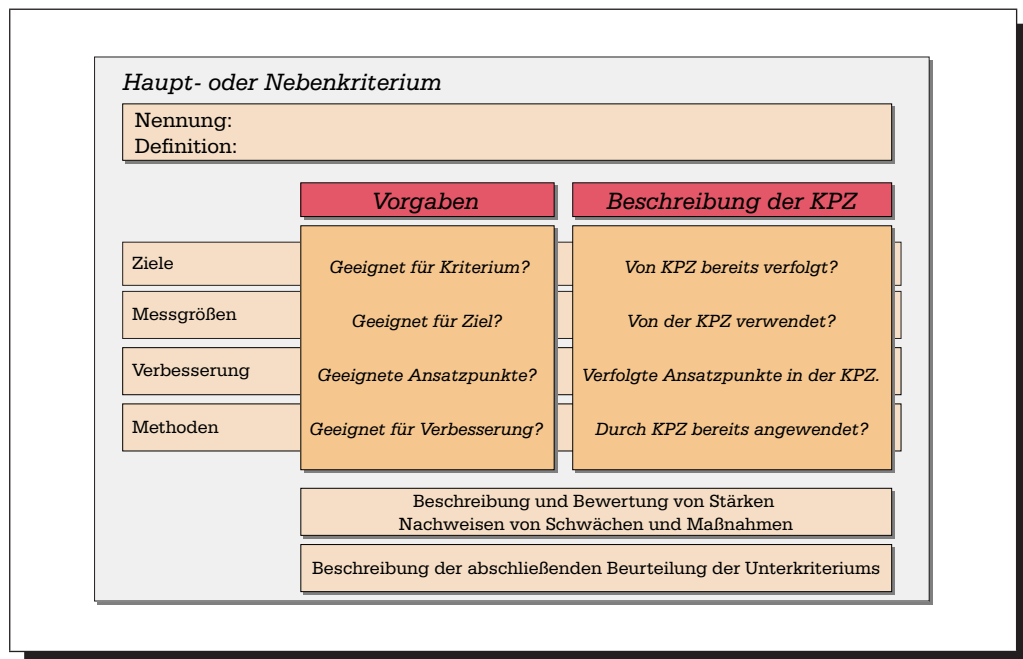


Abbildung 8.7: Fragebogen zum Bewertungsschema

Der Fragebogen ist in verschiedene Blöcke unterteilt, die für jedes Unterkriterium den gleichen Aufbau aufweisen. Auf der rechten Seite stehen die dem Kriterium zugeordneten Ziele in der KPZ, die mit den Vorgaben nicht

³⁶Vgl. [Hö02, S. 84 ff.] zum nachfolgend aufgeführten Drei-Schritte-Schema.

³⁷In Anlehnung an Abbildung 31 bei [Hö02, S. 85].

zwangsläufig übereinstimmen müssen und je nach Ausrichtung mehr oder minder stark abweichen. Zusätzlich wird die Möglichkeit der Überprüfung von Zielerreichung festgelegt. Auch ein Abschnitt zur Erfassung von Ansatzpunkten zur Verbesserung bestimmter Fähigkeiten in der KPZ ist vorgesehen. Mit diesem Fragebogen kann ein Überblick über die Ausprägung des jeweiligen Kriteriums in der KPZ erfolgen. Es muss an dieser Stelle bemerkt werden, dass der (elektronische) Fragebogen nur einmalig in Verbindung mit der Anmeldung zum KPZN ausgefüllt wird. Alle weiteren Daten werden während des Netzwerkbetriebes automatisch gewonnen. Auf diese Weise sollen die KPZ nicht durch einen übertriebenen Formalismus abgeschreckt werden.

	Stärken	Nachweise
25%	Einige Ergebnisse weisen positive Trends und/oder zufriedenstellende Leistungen auf	Wird eher selten betrachtet
50%	Viele Ergebnisse weisen positive Trends und/oder anhaltend gute Leistungen auf	Regelmäßige Betrachtung, systematisches Vorgehen und Integration in tägliche Arbeit und Planung
75%	Die meisten Ergebnisse weisen positive Trends und/oder anhaltend hervorragende Leistungen auf	Klare Nachweise für fundiertes, systematisches Vorgehen und klare Nachweise für Verbesserungen durch Überprüfungszyklen
100%	Deutlich positive Trends und/oder anhaltend hervorragende Leistungen in allen relevanten Bereichen	Vorgehen ist zusätzlich vollkommen in täglicher Arbeit und Planung integriert
	Schwächen	Maßnahmen
25%	Ergebnisse betreffen alle relevanten Bereiche	Aktivitäten betreffen nur etwa 1/4 aller relevanten Bereiche, kaum Aktivität zur Verbesserung
50%	Ergebnisse betreffen die meisten relevanten Bereiche	Berücksichtigung bei etwa der Hälfte aller relevanten Bereiche, Aktivität zur Verbesserung
75%	Ergebnisse betreffen einige relevante Bereiche	Aktivitäten betreffen etwa 3/4 aller relevanten Bereiche
100%	Ergebnisse betreffen wenige relevante Bereiche	Aktivitäten in fast allen relevanten Bereichen

Abbildung 8.8: Bewertungsschema in vier Stufen

In einem *zweiten Schritt* werden anschließend die Angaben aus dem Fragebogen in einer Bewertungsmatrix beurteilt. In dieser Matrix, die beispielhaft in Abbildung 8.8³⁸ dargestellt wird, sind für Stärken, Nachweise, Schwächen und Maßnahmen jeweils eine Bewertungsspalte vorgesehen. Für die Bewertung ist ein Vier-Stufen-Schema (25%, 50%, 75% und 100%) vorgesehen.

³⁸In Anlehnung an Abbildung 32 bei [Hö02, S. 86].

Denkbar wäre jedoch auch ein feiner gegliedertes Schema oder sogar eine stufenlose Bewertung. Diese würde zwar das Ergebnis (scheinbar) korrekter gestalten, ist jedoch als besondere Schwierigkeit für den jeweiligen Bearbeiter zu interpretieren. Damit kann eher eine Art Pseudogenauigkeit erreicht werden, die aber im nachhinein nicht nachvollzogen werden kann.

Durch die Einführung von vier Bewertungsstufen erfolgt der Übergang von der qualitativen zur quantitativen Bewertung. Die einzelnen Bewertungsstufen werden dabei in aggregierter Form zu der Bewertung des Unterkriteriums zusammengeführt. Dies stellt dann bereits den *dritten Schritt* der Analyse dar. In diesem Schritt erfolgt die Aggregation der Bewertung sowie die Darstellung der daraus resultierenden Ergebnisse. Hierfür werden die vier einzelnen Bewertungen eines Unterkriteriums arithmetisch gemittelt. Es erfolgt dann eine Zusammenführung von Stärken und Nachweisen zur aktuellen Situation sowie der Schwächen und Maßnahmen zum Potenzial der KPZ. Daraus resultiert eine Beurteilung der Diskrepanz zwischen Potenzial und aktueller Position. Existiert zwischen Soll und Ist z. B. ein Unterschied von 75%, so kann davon ausgegangen werden, dass die Entwicklungsziele zu ehrgeizig gesteckt wurden. Die Bewertung ist somit nicht hinreichend aussagekräftig.

In einer weiteren Stufe der Aggregation erfolgt eine Zusammenführung der aktuellen Position und des Potenzials zur Bewertung des Unterkriteriums. Auch hierbei kommt es wiederum zu einer Mittelwertbildung. Dieses Vorgehen wird für alle Unterkriterien gleichartig durchgeführt. Die Bewertung der Hauptkriterien erfolgt analog zu den Unterkriterien. Dabei werden die einzelnen Werte der Unterkriterien aufaddiert und durch die Anzahl der Unterkriterien des jeweiligen Hauptkriteriums dividiert. Erneut werden die Werte gemittelt. Eine zusammenfassende Bewertung von Hauptkriterien ist jedoch im Modell von *Höbig* nicht vorgesehen, da bei einer großen Datenstreuung ein großer Verlust an Aussagekraft zu erwarten wäre. Als Ergebnis sind vor allem Hinweise auf besondere Ausprägungen von Stärken und Schwächen der KPZ zu erwarten. Diese können dann mit den Anforderungen möglicher Kooperationspartner verglichen werden.

Für eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse wird die Abbildung in einem Radardiagramm vorgeschlagen. Abbildung 8.9³⁹ zeigt ein solches Radardiagramm beispielhaft. Für jedes (Haupt-)Bewertungskriterium wird ausgehend von der Mitte des Diagramms eine eigene Skala eingerichtet. Die Ergebnisse können dann zu jedem Kriterium in das Radardiagramm eingetragen werden. Dabei ist in der Abbildung zu erkennen, dass im Bereich der Zukunftsfähigkeit noch ein Nachholebedarf besteht.

³⁹In Anlehnung an Abbildung 33 bei [Hö02, S. 88].

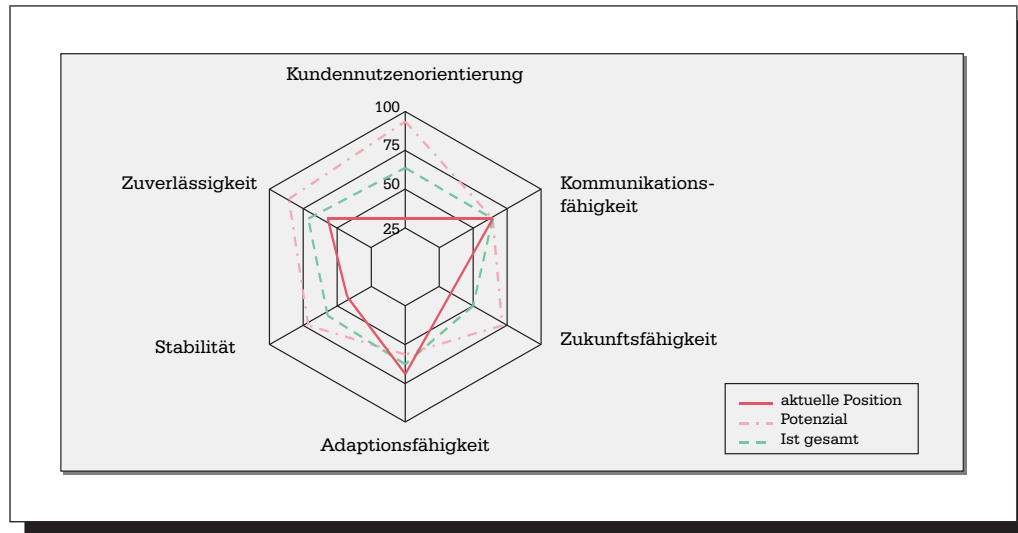


Abbildung 8.9: Ergebnisse einer Bewertung im Radardiagramm

Einen besonderen Aufschluss liefert die getrennte Betrachtung der Gesamtbewertung (Ist gesamt) und der Teilbewertungen (aktuelle Position und Potenzial) im Radardiagramm. Dies wird durch eine andere Form der Aggregation, als vorab beschrieben, erreicht. Die Unterkriterien werden dabei nicht sofort aggregiert, sondern die aktuelle Position und das Potenzial bleiben bis auf die Ebene der Hauptkriterien getrennt. Erst dann werden sie zur Bewertung zu Hauptkriterien zusammengefasst. Die aktuelle Position zeigt dabei den Stand der KPZ bzgl. der jeweiligen Fähigkeit an. Das Potenzial zeigt, wie hoch die Aktivität der KPZ im betreffenden Kriterium ist.

In Bezug auf das entsprechende Kriterium stellt dies eine Art Momentum der KPZ dar. In der Auswertung in Abbildung 8.9 zeigt sich, dass im Bereich der Kundennutzenorientierung und der Kommunikationsfähigkeit starke Momente vorliegen. Eng zusammenliegende Bewertungen implizieren keine über das bestehende Maß hinausgehende Aktivitäten. Daher kann keine signifikante Verbesserung erwartet werden. Dies betrifft offensichtlich die Kriterien Zuverlässigkeit und Zukunftsorientierung.

Damit die Bewertung nachvollziehbar bleibt, kann auf Basis der Darstellung der Hauptkriterien eine detailliertere Ansicht gewählt werden. Hierzu bietet sich ein Radardiagramm auf der zweiten Bewertungsebene der Unterkriterien an. Analog zur Darstellung in Abbildung 8.9 erhält jedes Unterkriterium eine eigene Skala, auf der der jeweilige Zielerreichungsgrad abgetragen wird. Hierbei kann wiederum in aktuelle Position und Potenzial unterschieden werden,

um eine höhere Aussagekraft zu erzielen. In Abbildung 8.10⁴⁰ ist beispielhaft für das Hauptkriterium Kommunikationsfähigkeit ein Radardiagramm dargestellt.

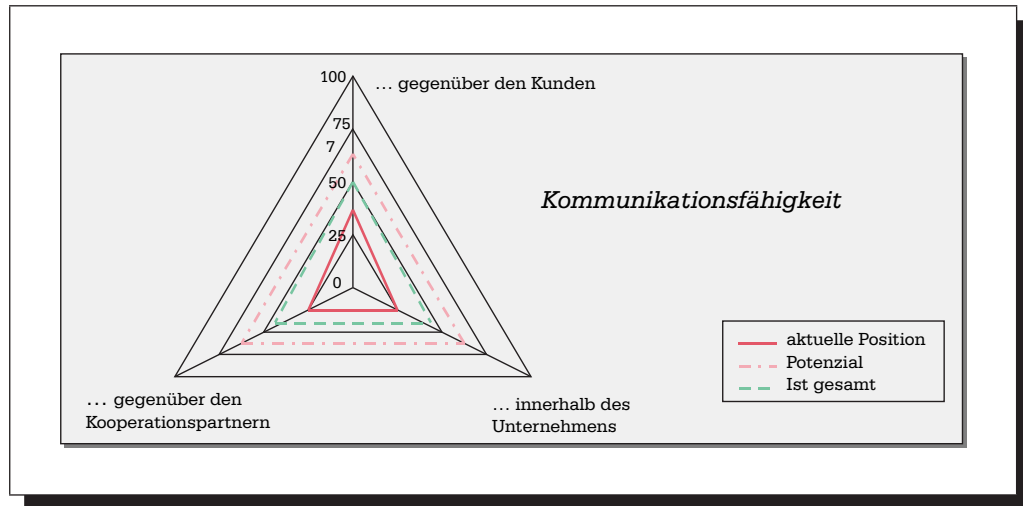


Abbildung 8.10: Radardiagramm für Kriterium Kommunikationsfähigkeit

Die einzelnen Bewertungsergebnisse innerhalb der Unterkriterien können in Form einer Matrix erfasst werden, da bei einer grafischen Darstellung kein erheblicher Aussagekraftgewinn erwartet wird. Die Analyse und Bewertung wird unter Nutzung von Software erfolgen. Das vorab beschriebene Modell kann auf verschiedene Art und Weise zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und der Kooperationsfähigkeit beitragen.

So kommt primär die KPZ-interne Anwendung evtl. im Zusammenspiel mit weiteren Instrumenten der Netzwerkanalyse in Betracht. Damit wird die Analyse und eine evtl. Verbesserung der eigenen Situation angestrebt. Zur schnelleren Durchführung der Analyse kann u. U. auf Daten aus anderen Instrumenten (z. B. Balanced Scorecard) zurückgegriffen werden. Damit eine objektivere Auswertung der Daten erreicht wird, besteht die Möglichkeit der Durchführung der Untersuchung durch KPZ-externe Personen oder Institutionen. Eine derartige Fremdbewertung hilft, subjektive Urteile zu vermeiden, die das Ergebnis verfälschen würden, wenn die KPZ sich selbst bewertet.

Auch als Controlling-Instrument für Kooperationen in KPZN kommt diese Methode in Betracht. Gerade aus Sicht des gesamten KPZN ist ein Controlling nicht nur der Prozesse und der Netzwerkleistung, sondern vor allem

⁴⁰In Anlehnung an Abbildung 34 bei [Hö02, S. 89].

auch der einzelnen Partner im KPZN notwendig⁴¹. Zur Verbesserung der Kooperationsfähigkeit der KPZ im KPZN ist es von außerordentlicher Bedeutung, dass die Erfahrungen durch die Teilnahme an einem KPZN und durch KPZ-interne Veränderungen gesichert werden und in Form eines KPZ-übergreifenden Lernens weitergegeben werden.

Mit dem vorliegenden Modell von *Höbig* wird sowohl der Selbst- als auch der Fremduntersuchung Rechnung getragen. Durch den Einsatz zahlreicher Haupt- und Unterkriterien entsteht ein umfassendes Bild zur Situation einer KPZ obgleich die Aufzählung nicht als abgeschlossen gesehen werden sollte. Durch die Einführung einer Skala werden qualitative Daten in quantitative Daten überführt. Die vorgeschlagene vierteilige Skala kann in einem vernünftigen Maß vom Bearbeiter noch modifiziert werden, obgleich eine zu differente Betrachtung eher zu einer Schein-Exaktheit führen dürfte.

Das vorliegende Modell stellt einen möglichen Ansatz zur Integration von Soft-facts (Haupt- und Unterkriterien) dar, beleuchtet jedoch vorwiegend nur die Problematik der Kooperationsfähigkeit. Eine weiterführende Analyse zu weiteren Untersuchungsbereichen ist anzustreben. Die nachfolgende Methode von *Burt* setzt bei der Betrachtung an einer anderen Stelle an.

8.1.2.3 Structural Hole Theory

Im Rahmen des Soft-fact-Controllings besteht das Hauptziel in der Analyse und dem Management von Beziehungen der KPZ im KPZN. Hierzu müssen Soft-facts wie Zuverlässigkeit, Kompetenz, Vertrauen und Netzwerkfähigkeit untersucht und evtl. quantifiziert werden. Eine Weitergabe der Informationen an weitere Netzwerkteilnehmer bietet sich an.

Bei der „Structural Hole Theory“ von *Burt*⁴² werden bereits bestehende Interaktionen zwischen kooperierenden Partnern in Netzwerkstrukturen mit Hilfe der sozialen Netzwerkanalyse untersucht. Ausgehend von einem KPZN können verschiedene Interaktionen zwischen den beteiligten KPZ untersucht werden. Dabei vertritt *Burt* folgende These:⁴³ „But, while human capital is necessary for success, it is useless without the social capital of opportunities in which to apply it“. Hiervon ausgehend versucht *Burt* so genannte „structured holes“ zu identifizieren. Damit sind spezifische Indikatoren für Zugangs-, Abstimmungs- und Referenzmodalitäten gemeint. Diese „structured holes“ stellen nach dem Konzept von *Burt* eine Art Kontaktbrücke im Netz sozialer Beziehungen dar. Derartige „holes“ sollen identifiziert und nach Möglichkeit eliminiert werden, damit das KPZN bzw. einzelne

⁴¹Vgl. [Hö02, S. 103 ff.].

⁴²Vgl. hierzu ausführlich bei [Bur97, S. 339 ff.].

⁴³Vgl. ebenda.

KPZ innerhalb des KPZN erfolgreich sein können.

Ausgehend von der „Structural Hole Theory“ gilt es herauszufinden, welche Eigenschaften (z. B. sozial, kognitiv, kommunikativ, moralisch, ethisch usw.) den KPZ bzw. den Akteuren der KPZ im KPZN anhaften. Dabei ist es von besonderem Interesse, welche Eigenschaften (Soft-facts) einen dauerhaften bzw. nachhaltigen Erfolg sowohl für die KPZ als auch für das gesamte KPZN implizieren. Hierzu ist eine genau durchdachte Methodik notwendig, um die komplexen Zusammenhänge in einem KPZN erfolgreich analysieren zu können.

8.1.3 Die Idee einer ganzheitlichen Analyse

Die bereits ausführlich geschilderten Ansätze zur Analyse von Netzwerken stellen verschiedene Untersuchungsgegenstände in den Mittelpunkt. Jede der dargestellten Methoden versucht dabei auf der Basis eines bestimmten Ansatzpunktes verschiedene Kriterien von Netzwerken zu analysieren, die auch problemlos auf das Konzept des KPZN übertragen werden können.

Es bleibt hierbei jedoch die Frage ungeklärt, wie eine umfassende bzw. ganzheitliche Analyse von Soft-facts in KPZN angegangen werden könnte. Es wird daher versucht, diese Frage ansatzweise in den beiden folgenden Abschnitten zu klären.

Grundlage für ein Soft-fact-Controlling bilden die Antworten auf die Frage, wie Ansichten und Einstellungen von Akteuren (z. B. in KPZ) ermittelt werden können. Es ist dabei von besonderem Interesse, wie ein Mensch seine Umgebung sieht und womit er sie beschreibt. Außerdem ist es interessant herauszufinden, wie ein Individuum seine subjektive Sichtweise über Ereignisse, Akteure und Strukturen zu vermitteln vermag, damit diese zeitnah in strategischen Entscheidungssituationen verfügbar sind.

Sollte der Auswahlprozess von KPZ im Rahmen der Genese eines KPZN ein indifferentes Ergebnis bzgl. zweier oder mehrerer KPZ liefern, bietet es sich an, Soft-facts mit in den Entscheidungsprozess einzubinden. Hierzu ist primär über die Art und Weise der Datenerfassung sowie über die sich anschließende Datenanalyse zu entscheiden. Zentrale Idee ist hierbei die Quantifizierung dieser Soft-facts. Danach kann sich eine Auswertung der Daten anschließen und schließlich bietet es sich an, entsprechende Konsequenzen aus den gewonnenen Erkenntnissen zu ziehen. So würden schlussendlich diejenigen KPZ für das KPZN ausgewählt, welche die besten Werte hinsichtlich der Soft-facts aufweisen.

8.2.1.1 Ausgangspunkt: Die Theorie *Kellys*

Als zentraler Ausgangspunkt für die Entwicklung der Repertory Grid-Methodik kann die Theorie der Persönlichen Konstrukte angesehen werden. Diese im Original als „Theory of Personal Constructs“ bezeichnete Theorie wurde von *George A. Kelly* entwickelt und im 1955 erschienenen Hauptwerk „The Psychology of Personal Constructs“ veröffentlicht⁴⁵. Diese Theorie kann dem Konstruktiven Alternativismus zugeordnet werden. Dabei werden eine Vielzahl von Vorannahmen sehr detailliert beschrieben. Im Mittelpunkt dieser Theorie steht jedoch der Begriff „Persönliches Konstrukt“.

Eine zentrale Annahme *Kellys* bezieht sich auf den Status des subjektiven Wissens hinsichtlich der objektiven Wirklichkeit. Das ist charakteristisch für konstruktivistische Ansätze. So geht *Kelly* davon aus, dass die Wirklichkeit immer nur vermittelt zugänglich ist, was impliziert, dass ein direkter, voraussetzungsloser Zugang zur objektiven Realität nicht möglich ist. Das Bild, welches einem Individuum von der Wirklichkeit zugänglich ist, unterliegt immer einer subjektiven Betrachtung, weil es schon durch das Individuum bewertet wurde. Daher sind individuelle Handlungen nur auf diese subjektive Wirklichkeit, nicht aber auf die „wahre“ Wirklichkeit ausgerichtet. Die Interpretation der objektiven Wirklichkeit ist abhängig von den prinzipiellen, organisch bedingten Wahrnehmungsmöglichkeiten. Die Aufnahme der Realität erfolgt hierbei im konstruierenden und sinnproduzierenden Zugriff einer Person auf zergliederte, klar umgrenzte und wohlunterschiedene Sinneinheiten⁴⁶.

Im Mittelpunkt der Personal Construct Psychology steht das „persönliche Konstrukt“, welches als psychische Grundoperation der Auseinandersetzung von Menschen mit ihrer Umwelt bezeichnet wird. Damit kann ein Individuum Dinge und Ereignisse unterscheiden. Mit dem Begriff „persönliches Konstrukt“ werden alle Unterscheidungen bezeichnet, die ein Individuum treffen kann. Dabei verleiht es Dingen und Ereignissen eine Bedeutung durch das In-Beziehung-Setzen mit anderen Phänomenen⁴⁷. Persönliche Konstrukte sind dabei Teil eines kognitiven Modells und können auf verschiedenen Stufen abstrahiert werden. Ereignisse bzw. Elemente befinden sich dabei auf der niedrigsten Abstraktionsstufe, da sie keine Bedeutung haben, sondern nur existent sind. Eine abstraktere Stellung nehmen die Konstrukte ein. Diese dienen dem Individuum als Grundlage für die Strukturierung seiner Umwelt. Konstrukte identifizieren sowohl Ähnlichkeiten als auch fundamentale Unter-

⁴⁵Vgl. die Ausführungen in der Neuauflage bei [Kel91].

⁴⁶Vgl. [Fro95, S. 11 ff.].

⁴⁷Vgl. [Fro95, S. 15].

schiede und ordnen die Ereignisse in bestimmte Kategorien ein. Damit werden Konstrukte zu einer sinnstiftenden Einheit für Individuen⁴⁸. Nach *Fromm*⁴⁹ orientiert sich ein Individuum in seiner Umwelt, indem Objekte nach ihrer Erfahrung unterschieden werden und ihnen damit eine Bedeutung verliehen wird. Für jedes Individuum resultiert aus diesem Umstand heraus eine eigene Sicht der Umwelt. Dieses theoretische kognitive Gerüst stellt das individuelle „persönliche Konstruktsystem“ dar und basiert auf bipolaren Konstrukten. Zur Erfassung und Analyse dieser individuellen Konstruktsysteme entwarf *Kelly* eine spezielle Methode mit dem Namen „Role Construct Repertory Grid“, auf die nachfolgend näher eingegangen wird.

8.2.1.2 Inhaltliches Anliegen des Repertory Grids

Mit dem Ziel der Erfassung subjektiver Wirklichkeitskonstruktionen unter Beachtung konstruktivistischer Anforderungen an eine Methode erfährt die Theorie der persönlichen Konstrukte von *Kelly* und damit die Repertory Grid-Methodik in jüngster Zeit eine wachsende Popularität⁵⁰. Diese Methode wird in der Literatur unter verschiedenen Bezeichnungen geführt, so sind z. B. auch Rep-Test, Rep-Grid, Kelly-Grid oder Kelly-Matrix gebräuchlich⁵¹. Diese Methode vereint die Vorteile eines Interviews bzw. Fragebogens (zur Erfassung individueller, subjektiver Eigenschaften) mit der Möglichkeit, personen- oder organisationsübergreifende quantitativ vergleichbare Daten zu liefern.

Ursprüngliches Anliegen *Kellys* beim Entwurf seines Role Construct Repertory Grid war, im Rahmen der klinischen Diagnostik einen Einblick in das Konstruktsystem eines Individuums zu erlangen. Seit diesen grundlegenden Arbeiten, sind viele unterschiedliche Varianten und Vorschläge zur Bearbeitung von Repertory Grids hervorgebracht worden, was zweifellos im Sinne von *Kelly* war, der selbst mehrere Varianten beisteuerte und seine Repertory Grid-Methodik als offenes und variables Verfahren ansah⁵². Aus diesem Grund kann nicht von einem speziellen Repertory Grid-Verfahren gesprochen werden, sondern von verschiedenen Variationen des Verfahrens. Die Gemeinsamkeit bei den verschiedenen Varianten des Repertory Grid besteht in der Konstruktion einer Datenmatrix (Grid), in der die Unterscheidungen zwischen den Gegenständen in Form von kurzen Beschreibungen (Konstrukten)

⁴⁸Vgl. [Cat93, S. 15 ff.].

⁴⁹Vgl. [Fro95, S. 35].

⁵⁰Vgl. [vG98, S. 42].

⁵¹Vgl. [Sch93b, S. 9] und [Kel91, S. 152 ff.].

⁵²Vgl. [Hun00, S. 93ff].

eingetragen werden. In einem nachfolgenden Schritt werden diese dann von den Befragten bewertet.

Einen besonderen Vorteil bietet das Repertory Grid durch die Möglichkeit des Vergleiches über Individuen bzw. Organisationen hinweg auf der Basis quantitativer Ergebnisse⁵³. Mittels der Repertory Grid-Methodik wird es möglich, aus der Position einer anderen Person die Situation eines bestimmten Individuums oder einer Organisation zu analysieren und zu verstehen⁵⁴. So werden dem Untersuchenden quantitative Daten in Form von Zahlen in einer Matrix geliefert, was die Vergleichbarkeit bei der Datenauswertung ermöglicht (Abbildung 8.11). Das Grid transferiert dabei nichtnumerische in numerische Daten und ermöglicht so die Konstruktion individueller Karten⁵⁵.

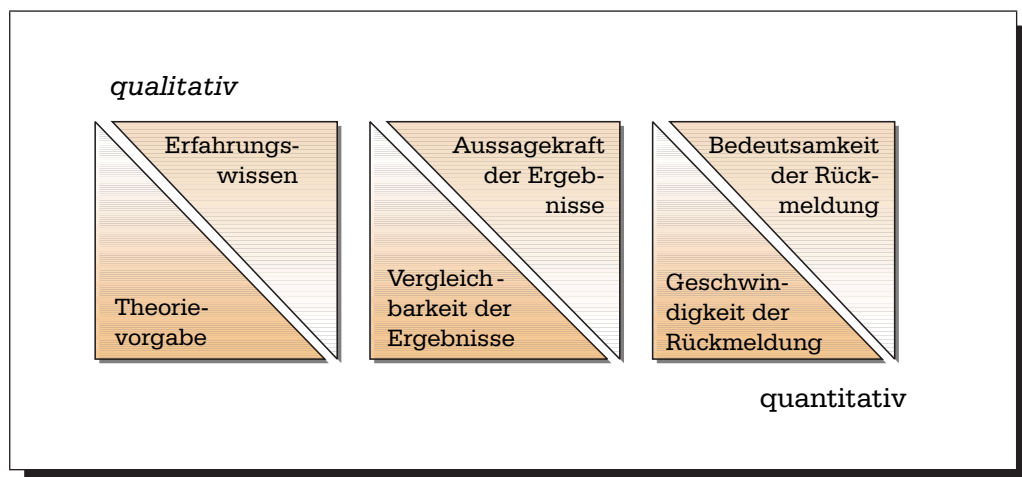


Abbildung 8.11: Qualitative vs. quantitative Forschungsmethoden

8.2.1.3 Anwendungsbereich des Repertory Grids

Die Repertory Grid-Methodik dient der Untersuchung von Konstruktsystemen, wobei „Konstrukte“ als verbale Repräsentanzen innerer Vorgänge erodiert werden⁵⁶. Der Anwendungsbereich von Repertory Grids beschränkte sich zuerst auf die klinische Diagnostik, die Möglichkeiten dieser Methode lassen jedoch den Einsatz auch in anderen Untersuchungsbereichen zu.

⁵³Vgl. [Rae93, S. 42].

⁵⁴Vgl. [Fra77].

⁵⁵Vgl. [Boo98, S. 221].

⁵⁶Vgl. [Sch93a, S. 24].

So kann Repertory Grid als Persönlichkeitsdiagnoseinstrument dienen, wenn Personen, die für die Entwicklung eines Menschen bedeutend waren, in die Analyse mit einbezogen werden sollen. Stellen Mitarbeiter oder Mitglieder einer Organisation die Elemente der Analyse dar, könnten mittels Repertory Grid Auslesekriterien zu Personalentscheidungen formuliert werden. Auch für die Analyse von Organisationsentwicklungsprozessen ist diese Methodik geeignet. In diesem Kontext soll das Repertory Grid zur Entwicklung des KPZN im Rahmen des Soft-fact-Controlling zum Einsatz kommen.

Wie bereits erwähnt, stellt die Repertory Grid-Methodik eine sehr offene und flexible Analysemethode dar, so dass der Untersuchende in der Gestaltung eines Grids frei ist und nur die fundamentalen Regeln und Grundsätze beachten muss. Nach Meinung von *Fransella/Bannister*⁵⁷ besteht die Begrenzung der Untersuchungsmöglichkeiten allein durch den Mangel an Vorstellungsvermögen seitens des Untersuchenden. Das Repertory Grid ist als kommunikatives Hilfsmittel zu interpretieren, welches es dem Diagnostiker ermöglichen soll, die subjektiven Empfindungen (Abstraktionen) seines zu Untersuchenden hinsichtlich der Realität zu verstehen. Die aus Abbildung 8.12 ersichtliche Einordnung der Repertory Grid-Methodik ist dabei zu beachten.

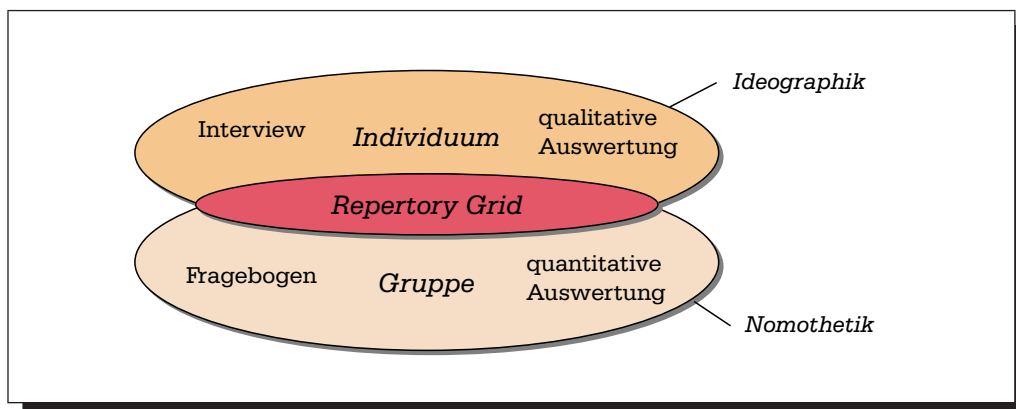


Abbildung 8.12: Einordnung des Repertory Grid als Forschungsmethode

Im Rahmen des Soft-fact-Controllings in KPZN ist die Repertory Grid-Methodik in erster Linie als Lieferant entscheidungsrelevanter Soft-facts zu verstehen. Im Anschluss daran erfolgt eine Datenauswertung mit der Polyedralen Analyse.

⁵⁷Vgl. [Fra77, S. 59] und [Sch93a, S. 25].

8.2.2 Planung und Durchführung von Repertory Grid-Untersuchungen

Nach dieser Einführung werden in den folgenden Abschnitten beispielhaft die einzelnen Schritte einer Repertory Grid-Untersuchung vorgestellt. Dabei soll die zu lösende Problematik der Eignung von KPZ für das KPZN immer im Vordergrund stehen und als praktisches Beispiel für die Anwendbarkeit der Repertory Grid-Methodik bei der Lösung ökonomischer Probleme dienen. Dem Einsatz dieser Methode sind dabei kaum Grenzen gesetzt. Denkbar wäre der Einsatz des Repertory Grids im Kontext ökonomischer Probleme im Bereich der Marktforschung. So könnte beispielsweise ein Produktvergleich durch Konsumenten durchgeführt werden. Auch in der empirischen Sozialforschung ist ein relevanter Anwendungsbereich zu sehen. So kann bspw. untersucht werden, welche Vorstellung einzelne Netzwerkteilnehmer (hier: KPZ) von sich und anderen haben. Zuerst soll der Untersuchungsgegenstand für die Repertory Grid-Methodik in diesem Rahmen eindeutig definiert werden.

8.2.2.1 Wahl des Untersuchungsgegenstandes

Repertory Grid ist insbesondere dann eine wertvolle Methode, wenn die subjektive Sicht von Individuen zu einem Themenkomplex untersucht werden soll, sich der Themenkomplex in untereinander vergleichbare Elemente zerlegen lässt und eine qualitative und quantitative Auswertung angestrebt wird. Bevor zur Auswahl des Untersuchungsgegenstandes konkrete Aussagen gemacht werden, soll nachfolgend kurz die grobe Struktur einer Repertory Grid-Untersuchung aufgezeigt werden⁵⁸. Dies soll als Ausgangspunkt für mögliche Variationen dienen.

Die Durchführung einer Repertory Grid-Untersuchung erfolgt in der Regel in folgenden Schritten⁵⁹:

- Eingrenzung des Untersuchungsbereiches,
- Rollenträger (z. B. wichtige KPZ) als Elemente (Objekte) setzen,
- methodische Erhebung der Konstrukte (Attribute) und
- Einschätzung der Elemente bzgl. der Konstrukte.

⁵⁸Vgl. [Sch93a, S. 25].

⁵⁹Siehe dazu die ausführlichen Erläuterungen bei [Sch93a, S. 25 ff.] und [Fro95, S. 40 ff.].

Als erster Schritt muss der Gegenstand der Untersuchung eingegrenzt und festgelegt werden. Danach wird anhand dieser Aufgabenstellung die spezifische Vorgehensweise der Repertory Grid-Untersuchung festgelegt. Bei der Analyse der Genese von KPZN besteht ein besonderes Interesse im Finden der passenden KPZ für das auftragsspezifische Netzwerk. Dabei richtet sich das Interesse nicht allein auf quantifizierbare Kompetenzen („Hard-facts“) sondern auch auf Eigenschaften, die sich nicht unmittelbar quantitativ vergleichen lassen („Soft-facts“). Hierzu gehören bspw. Netzwerkfähigkeit, Zuverlässigkeit oder Vertrauen. Hier setzt das Repertory Grid an.

Die in netzwerkbasierten Wertschöpfungsprojekten verankerten Anforderungen an die Netzwerkpartner und die aus der Interaktionen der KPZ resultierende Netzwerkentwicklung, Rollenstrukturen und Kompetenzprofilermittlung bedürfen einer Analyse. Durch den Einsatz der Repertory Grid-Methodik kann eine quantitative Analyse dieser als Soft-facts bezeichneten Merkmale erfolgen. Damit wird angestrebt, Rollenerwartungen im Netz, subjektive Leitbilder, Erfahrungen und Identifikationen parallel zur Netzwerkgenese festzuhalten. Die hierbei existierende Dynamik und Komplexität des Untersuchungsgegenstandes KPZN erfordert eine intensive Auseinandersetzung mit dem Begriff der individuellen Kompetenz hinsichtlich der Bedeutung in dynamischen Netzwerkstrukturen. Außerdem dient die Repertory Grid-Methodik zur analytischen Betrachtung und zur Erfassung der aktuellen Netzkonstruktionen. Insbesondere soll im Rahmen der Soft-fact-Analyse die wechselseitige Wahrnehmung der handelnden Akteure permanent aufgezeichnet bzw. überprüft und die gegenseitige Einschätzung der Partner im KPZN hinsichtlich verschiedenster Soft-facts verfügbar gemacht werden⁶⁰.

Da Repertory Grid eine sehr flexible und individuell anzupassende Analyse-methode darstellt, kann je nach Untersuchungsgegenstand bei der Wahl der Konstrukte und der Elemente Einfluss genommen werden. Deshalb sollte jede Repertory Grid-Untersuchung individuell geplant werden, da die Qualität der Ergebnisse von den verschiedensten Einflüssen in den jeweiligen Phasen der Untersuchung abhängig ist. Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung des Repertory Grids zu einer konkreten Aufgabenstellung ist, dass die Problematik in eine Repertory Grid-gerechte Form gebracht werden kann. *Fromm*⁶¹ nennt zwei Gesichtspunkte:

- es ist zu prüfen, inwieweit die Befragten mit dem Untersuchungsgegenstand vertraut sind und

⁶⁰Vgl. [Mey02b]. Wie die Permanenz ohne Frustration realisiert werden soll, wurde von den am SFB 457 beteiligten Sozialwissenschaftlern bisher nicht untersucht.

⁶¹Siehe ausführlich bei [Fro95, S. 62].

- es gibt keine allgemeinverbindliche Aussage, wie weit (oder eng) das Thema einer Untersuchung gefasst werden soll, da dies vor allem vom Erfahrungshorizont der Befragten abhängig ist.

Dies trifft auch auf die Problematik bei der Findung geeigneter KPZ für das KPZN zu. KPZ, die in das Netzwerk neu eintreten, verfügen wahrscheinlich über andere Erwartungen und Vorstellungen an die Netzwerkpartner als KPZ, die schon in anderen Netzwerken integriert waren. Aus diesem Grund muss bei der Identifikation der Elemente für das Repertory Grid mit großer Sorgfalt vorgegangen werden, was sich auch auf die Wahl der Konstrukte übertragen lässt.

8.2.2.2 Bestimmung der Elemente und Konstrukte

Wurden Thema und Gang der Untersuchung und die entsprechende Frage- bzw. Aufgabenstellung formuliert, werden zuerst geeignete Elemente (Objekte) zur Analyse ausgewählt bevor anschließend polarisierende Konstrukte identifiziert werden. Eine Einschätzung der Ausprägung der Konstrukte bei den verschiedenen Elementen schließt sich an. Danach steht eine Reihe von Auswertungsmethoden zur Verfügung. Für die schriftliche Erfassung der Elemente und Konstrukte kann ein genormtes elektronisches Formular, wie in Abbildung 8.13 gezeigt, verwendet werden.

Der Untersuchungsgegenstand besteht hier in Identifikation und Analyse der Ausprägungen von Soft-facts im Beziehungsgeflecht des KPZN. Von besonderem Interesse ist hierbei die Frage, inwieweit die Erkenntnisse der Analyse mit der Repertory Grid-Methodik bei der Findung passender KPZ im Rahmen der Genese eines KPZN ein anwendbares Entscheidungskriterium darstellen können. In erster Linie sind die Beziehungen der verschiedenen KPZ bzgl. verschiedener Elemente hinsichtlich der Einordnung der Konstrukte von Interesse. Als Elemente kommen verschiedene Aussagen und Gegenstände des KPZN in Frage. Als Probanden für ein Grid (Individuen/Organisationen, die ein Grid ausfüllen müssen) dienen verschiedene KPZ. Hier erfolgt dies beispielhaft für die KPZ Marketing, Produktion und Logistik.

Im *ersten Schritt* wird sich beim Herausfinden von Elementen an wichtigen Objekten bzgl. des KPZN orientiert. Hier bieten sich als Elemente z. B. Netzwerkkordinator, Netzwerkkultur, allgemeines Produktionsnetz sowie Ich, Ich-Andere und Ich-Ideal an. Diese Liste ist jederzeit erweiterbar. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass alle wichtig erscheinenden Elemente des KPZN mit einbezogen werden. Auf diese Weise können etwa zehn bis 20

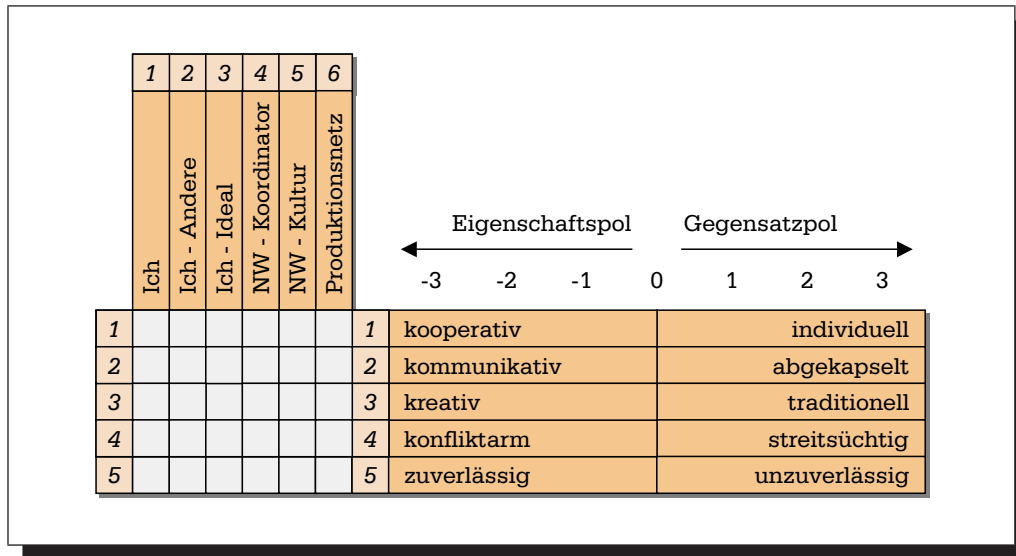


Abbildung 8.13: Leere Grid-Matrix

Elemente zusammenkommen, die am oberen Ende des Formblattes (vgl. Abbildung 8.13) in verschiedene Spalten eingetragen werden⁶². Die Gruppe der Elemente sollte relativ homogen abgefasst, also von vergleichbarer Qualität sein⁶³. Eine Anzahl von mehr als 25 Elementen ist aus Gründen der Redundanz und eine Anzahl von weniger als sechs Elementen wegen der Gefahr der artifiziellen Simplifizierung des Problems nicht empfehlenswert.

Was als Element eingesetzt wird, liegt letztendlich im Ermessen des Untersuchers. Es sollte jedoch sichergestellt sein, dass sie für den Untersuchungsbereich repräsentativ sind. Eine Sonderstellung nimmt hierbei das Element „Ich“ bzw. „Selbst“ ein. Es besteht hierbei die Gefahr einer Diskrepanz von „Ich“ als Element und „Ich“ als Konstrukt⁶⁴. Die Entscheidung, wo das „Ich“ letztendlich eingeordnet werden soll, ist abhängig von den geplanten Auswertungsstrukturen. Als Konstrukt ist „Ich“ insbesondere dann zu wählen, wenn sich die Auswertung nur auf Konstruktbeziehungen konzentrieren soll.

Wichtig zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang, dass eine Umformulierung in einen für Repertory Grid passenden Elementtyp dann notwendig ist, wenn die Forschungsfragen zunächst nur umgangssprachlich bzw. in einem theoretischen Erklärungskonzept vorliegen. Dann muss das Problem in eine

⁶²Abfolge in Anlehnung an [Sch93a, S. 26].

⁶³Vgl. [Sch93a, S. 29].

⁶⁴Vgl. [Sch93a, S. 30] bzw. [Fra77, S. 107].

passende Form übertragen werden, wie Abbildung 8.14 zeigt⁶⁵.

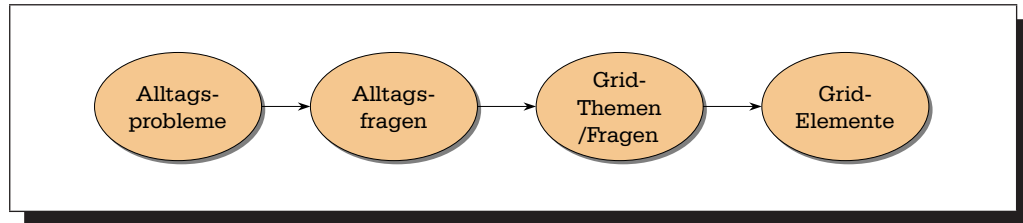


Abbildung 8.14: Offene Fragen auf dem Weg von Alltags-Problemen zu Grid-Elementen

Der *zweite Schritt* beinhaltet die Gewinnung der Konstrukte. Hierzu existieren verschiedene Methoden. Zwei gebräuchliche Varianten werden nachfolgend kurz vorgestellt. Grundsätzlich wird empfohlen, dass die Anzahl der Konstrukte etwa der Anzahl der Elemente entspricht. Die Konstrukte werden seitlich, d. h. in die einzelnen Zeilen des genormten Formblattes eingetragen (vgl. Abbildung 8.13).

Bei der Gewinnung von Konstrukten steht die Polarisierung dieser im Mittelpunkt. Während Gemeinsamkeiten von Elementen oftmals leicht identifizierbar sind, gestaltet sich die Suche nach Gegensätzen deutlich schwieriger. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, aussagekräftige Konstruktpaare zu finden. Eine mögliche Methode zur Konstruktgewinnung ist die so genannte Triadenmethode, bei der immer drei Elemente beteiligt sind. Dabei ist von Interesse, was zwei Elemente gemeinsam haben und was diese vom dritten Element (eindeutig) unterscheidet. Die Triadenmethode ist die gebräuchlichste Methode⁶⁶. Bei *Kelly* wird diese Form der Befragung als „difference method“ bezeichnet. Er formulierte dabei wie folgt:⁶⁷ „In what important way are two of them alike but different from the third?“. Die Schwierigkeit besteht hierbei darin, Konstrukte zu finden, die sich unterscheiden, ohne dass sich die Konstrukte jedoch zwangsläufig gegenseitig ausschließen.

Aus diesem Grund wird bei der Analyse des KPZN ein anderes Verfahren bevorzugt. Die so genannte Gegensatzmethode („opposite method“) fragt zuerst nach Gemeinsamkeiten und dann nach Gegensätzen und vermeidet somit o. g. Problem. Dieser so genannte Paarvergleich⁶⁸ erweist sich durch seine einfache Struktur auch als einfacher zu formulieren und vermag es,

⁶⁵In Anlehnung an Abbildung 11 bei [Fro95, S. 64].

⁶⁶Nach [Sch93a, S. 26 und 31 ff.].

⁶⁷Vgl. [Kel91, S. 154] und [Fro95, S. 85].

⁶⁸Nach [Sch93a, S. 31].

Ausreißer zu verhindern. Eine andere Bezeichnung für diese Vorgehensweise nennt sich Dyadenmethode.

Nach der Identifikation sowohl der Elemente als auch der Konstrukte auf die beschriebene Art und Weise kann mit der weiteren Durchführung der Untersuchung fortgefahren werden. Zu den relevanten Probanden können beispielhaft die KPZ Marketing, Produktion und Logistik ausgewählt werden. Diese Auswahl ist subjektiv und als nicht abgeschlossen anzusehen. Als Elemente bieten sich im KPZN folgende Begriffe an: Ich (die jeweilige KPZ), Ich-Andere (das Verhältnis der KPZ zu anderen KPZ), Ich-Ideal (so, wie die KPZ gerne sein würde), Netzwerkkoordinator, Netzwerkkultur, ein Produktionsnetz usw. Diese Liste ist beliebig veränderbar. Zu den Konstrukten, die mittels Dyadenmethode ermittelt werden können, gehören beispielhaft kooperativ - individuell, kommunikativ - abgekapselt, kreativ - traditionell, konfliktarm - streitsüchtig und zuverlässig - unzuverlässig. Derartige Konstrukte sind in hohem Maße netzwerkrelevant.

Nach der konkreten Identifikation der Probanden, Elemente und Konstrukte kann ein weiterer wichtiger Abschnitt bei der Durchführung einer Repertory Grid-Untersuchung in Angriff genommen werden. Dieser, nach der Wahl des Untersuchungsgegenstandes und der Auswahl von Elementen und Konstrukten, *dritte Schritt* beinhaltet die Skalierung der Elemente hinsichtlich der einzelnen Konstrukte in der Repertory Grid-Matrix.

8.2.2.3 Durchführung einer Untersuchung

Im Mittelpunkt der Durchführung einer Repertory Grid-Untersuchung steht die Skalierung⁶⁹ der Konstrukte hinsichtlich der Elemente. Es werden dabei alle Elemente einer Untersuchung hinsichtlich der individuell von der Befragungszelle (Proband) gebildeten Dimensionen bewertet. Dieser Vorgang wird als Skalierung bezeichnet. Damit wird die Erstellung eines Grids zur Beurteilungsaufgabe, wobei die Beurteilungsobjekte (Elemente) hinsichtlich mehrerer Beurteilungsdimensionen (Konstrukte) eingeschätzt werden. Die einfachste Vergleichsform würde mit einer Nominalskalierung arbeiten: 0 = trifft nicht zu und 1 = trifft zu.

Da jedoch detailliertere Ergebnisse angestrebt werden, ist bei *Scheer*⁷⁰ die Bildung von Rangreihen vorgesehen, die auf jedes Konstrukt angewendet werden. Auch das Q-Sortierungsverfahren⁷¹ wird vorgesehen. Am gebräuchlich-

⁶⁹Vgl. hierzu ausführlich [Sch93a, S. 33] und [Fro95, S. 94].

⁷⁰Vgl. [Sch93a, S. 33].

⁷¹Vgl. ausführlich bei [Sch93a, S. 33].

sten ist jedoch die Vorgehensweise, dass jedes Element mit jedem Konstrukt unabhängig voneinander auf einer mehrstufigen Skala eingeordnet wird. Dies wird als „Rating Grid“ bezeichnet. Für diese Methode wird eine von -3 bis 3 abgestufte Bewertungsskala vorgeschlagen, die für jedes Element durchgeführt wird. Die Vorgehensweise ähnelt damit der Schulnotenvergabe. Eine bessere rechnerische Beherrschbarkeit der Grids wird auf diese Art und Weise erreicht.

Die Festlegung der Zahl der Abstufungen bleibt dem Untersucher vorbehalten und ist vom Untersuchungsziel abhängig. Skalen mit gerader Anzahl von Abstufungen verhindern jedoch die Stimmenenthaltung und sind somit besser geeignet, da der Mittelwert fehlt. Eine Bewertungsskala von -3 bis 3 sagt aus, dass für -3, -2 und -1 der linke Pol des Konstruktes (unterschiedlich stark) für das Element zutrifft. Für 1, 2 oder 3 trifft der rechte Pol zu. 0 wäre eine neutrale Bewertung. Am Ende der Untersuchung ergibt sich eine ausgefüllte Matrix (Abbildung 8.15). In der Matrix stellen die Zellwerte die individuellen Elemente-Beurteilungsräume dar. Für jeden Proband (hier die KPZ Marketing, Produktion und Logistik) wird eine eigene Matrix angefertigt.

	1	2	3	4	5	6							
	Ich	Ich - Andere	Ich - Ideal	NW - Koordinator	NW - Kultur	Produktionsnetz							
							← Eigenschaftspol	Gegensatzpol →					
							-3	-2	-1	0	1	2	3
1	1	1	2	2	-2	1	1	kooperativ	individuell				
2	-2	-1	1	-2	2	-1	2	kommunikativ	abgekapselt				
3	-1	1	-2	-2	1	-1	3	kreativ	traditionell				
4	-1	2	2	2	-1	1	4	konfliktarm	streitsüchtig				
5	1	-2	-2	-2	-2	0	5	zuverlässig	unzuverlässig				

Abbildung 8.15: Ausgefüllte Grid-Matrix

Bei *Fromm*⁷² wird noch auf die freie Skalierung nach *Hargraeves* verwiesen. Damit würde eine Feingliederung einer Beziehung ermöglicht werden. Letzt-

⁷²Vgl. [Fro95, S. 95].

lich hat sich dieses Verfahren jedoch nicht durchgesetzt, da es offensichtlich für eine quantitative Auswertung zu kompliziert ist.

8.2.3 Auswertung des Grids

Wurde eine Repertory Grid-Untersuchung bis zu diesem Stadium durchgeführt, kann auf ein oder mehrere ausgefüllte Grids zurückgegriffen und mit der Auswertung begonnen werden. Hierzu haben sich verschiedene Verfahren etabliert, von denen die gebräuchlichsten zusammen mit einigen gängigen Variationen in Unterabschnitt 8.2.3.1 näher vorgestellt werden. Für den Fall des KPZN wurde eine spezielle Vorgehensweise präferiert, die zum Abschluss genauer erläutert wird.

Die Auswertung und Analyse eines Grids führt zur Selektion und Anordnung der Rohdaten im Rahmen des Konstruktsystems. Damit wird diesen Daten eine spezifische Rolle verliehen⁷³. Die Anzahl an verschiedenen Auswertungsmethoden⁷⁴ für Grids ist sehr groß. Daher erweist es sich als extrem schwierig, in diesem Rahmen einen umfassenden Überblick zu liefern. Aus diesem Grund sollen im nächsten Abschnitt die verbreitetsten Analysemethoden vorgestellt werden, bevor anschließend auf eine besondere Vorgehensweise im Kontext der Kompetenzzellenanalyse eingegangen wird.

Zur Vielzahl möglicher Auswertungsverfahren wurde keine vergleichende Studie gefunden. Oftmals wird daher in der Praxis die Methode angewendet, die gerade beherrscht wird, ohne weitere Verfahren in Betracht zu ziehen. Dabei wird unter Umständen auf bessere, da relevantere Ergebnisse verzichtet. Die große Anzahl von Auswertungsmethoden ermöglicht den Einsatz spezifischer Methoden für spezielle Probleme in Abhängigkeit der entsprechenden Fragestellung und nach Kenntnisstand des Untersuchenden. Dabei ist zwischen qualitativer und quantitativer Auswertung zu unterscheiden. Ein anderes Unterscheidungskriterium besteht darin, ob die Untersuchung mittels Grid einen einzigen Akteur oder mehrere Akteure in den Mittelpunkt des Interesses stellt. Beim vorliegenden Fall werden mehrere KPZ auf ihre Eigenschaften bzgl. der Eignung auf Teilnahme im KPZN analysiert.

Ein ausgefülltes Grid kann als Spiegel einer großen Anzahl von Urteilen über eine Menge von Elementen interpretiert werden, die ein Auskunftswissenschaftler zum Vergleich bereitstellt. Die Urteile über die verschiedenen Elemente finden sich in den Spalten des Grids wieder, die Zeilen des Grids enthalten

⁷³Vgl. [Fro95, S. 174].

⁷⁴Ausführliche Angaben zu Auswertungsmethoden finden sich bei [Rae93, S. 41 ff.], [Fro95, S. 174 ff.] und [Sla76].

alle Urteile, die aufgrund einer inhaltlich gleichen Unterscheidung gebildet werden⁷⁵. Das allgemeine Ziel der Auswertung besteht hierbei darin, den Umgang der Auskunftszone mit dem untersuchten Wirklichkeitsausschnitt so genau wie möglich wiederzugeben. Hierzu ist primär die Erfassung des Zusammenhangs von Konstrukten und Elementen notwendig. Um aus einem ausgefüllten Grid ohne weitere Hilfsmittel eventuelle Zusammenhänge erkennen zu können, ist ein großer Erfahrungsschatz notwendig. Es existiert jedoch ein sehr einfaches und voraussetzungsloses Verfahren, mit dem ohne großen Rechenaufwand bereits grundlegende Zusammenhänge zwischen Elementen und Konstrukten identifiziert werden können. Dieses als Handverfahren zur Sortierung des Grids bekannte Methode und zwei weitere, jedoch umfangreichere Methoden, werden nachfolgend kurz vorgestellt.

8.2.3.1 Die gängigsten Verfahren

Das Handverfahren⁷⁶ zur Sortierung des Grids basiert auf der Idee, dass die Reihenfolge der Elemente und Konstrukte in einem Grid verändert werden kann, ohne dass damit die Zahlen und damit die Informationen verfälscht würden. Auf diese Weise kann durch geschickten Austausch von Zeilen oder Spalten versucht werden, möglichst ähnliche Zeilen und Spalten nebeneinander zu platzieren. Diese Vorgehensweise wird beispielhaft in Abbildung 8.16⁷⁷ dargestellt.

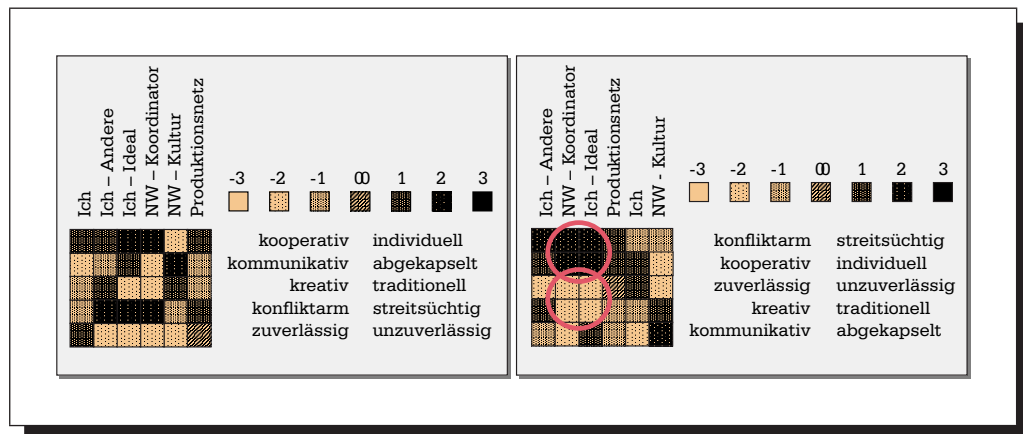


Abbildung 8.16: Umstellung eines Grids beim Handverfahren

⁷⁵Vgl. [Rae93, S. 42].

⁷⁶Vgl. ausführlich bei [Rae93, S. 47 ff.].

⁷⁷Abbildung in Anlehnung an Abbildung 1 bei [Rae93, S. 47].

Diese in Großbritannien als „focussing“ eines Grids bezeichnete Methode ist über die Zeit hinweg mehrfach optimiert worden. Zahlreiche Wissenschaftler steuerten in der Vergangenheit Beiträge zur Vereinfachung der Handhabbarkeit dieser Methode bei.

Im Regelfall werden beim Handverfahren zuerst die Zahlen durch verschiedene Grauwerte, Schraffuren oder Farben ersetzt. Damit soll eine ansprechende Visualisierung erreicht werden. Auch ein Analyse-Baukasten⁷⁸ wurde bereits entwickelt, wo für jede Zeile ein rechteckiger Klotz mit entsprechender Farbgebung auf eine Stange gesteckt werden kann. Dieser Klotz repräsentiert dann die Bewertung des Elementes. Auch interaktive Software unterstützt bereits diese explorative Methode. Im Mittelpunkt des Handverfahrens steht der Tausch von ganzen Zeilen oder Spalten mit dem Ziel, ähnliche Muster zusammenzubringen. Ist dies gelungen, kann mit der eigentlichen Analyse begonnen werden. Die einfachste Herangehensweise ist dabei die Betrachtung einer einzigen Zelle. Schwieriger wird es, wenn die Isolierung und die Analyse eines bestimmten Ausschnittes des Grids angestrebt wird. Die komplexeste Auswertungsmethode besteht in der Analyse und Beschreibung des Gesamtmusters. Fachleute können aus geordneten Grids anhand von verschiedenen Mustern (bei Graustufen z. B. Schwärzungen) individuelle Ergebnisse herauslesen.

Im konkreten Beispiel, wie in Abbildung 8.16 illustriert, kann nach der Umstellung von Zeilen und Spalten folgende Interpretation angestellt werden: Die Elemente Ich-Ideal und NW-Koordinator und mit Einschränkungen Ich-Andere sind bezüglich der Konstrukte mit relativ streitsüchtig und individuell sehr ähnlich bewertet worden. Zusätzlich wurden diese Elemente auch hinsichtlich Zuverlässigkeit und Kreativität gleich bewertet. Aus dieser Konstellation kann geschlossen werden, dass die Elemente NW-Koordinator und Ich-Ideal hinsichtlich signifikant vieler Konstrukte einander ähnlich sind. Der Proband dieser Matrix (z. B. die KPZ Marketing) könnte im Idealfall („Ich-Ideal“) die Rolle des Netzwerkkoordinators gut erfüllen.

Neben diesen relativ einfachen Verfahren wie der Handauswertungsmethode, bei der am grafischen Bild eines Grids die wechselseitige Bezogenheit von Elementen und Konstrukten möglichst gut visualisiert wird, und die ohne mathematische Berechnungen erfolgen können, finden weitere Verfahren Verwendung, die jedoch auf mathematische Grundkenntnisse aufbauen⁷⁹. Zwei dieser mathematisch orientierten Verfahren werden nachfolgend kurz erläutert. Zu diesen Verfahren der computergestützten Auswertung gehören

⁷⁸Vgl. hierzu die Ausführungen bei [Rae93, S. 47 ff.].

⁷⁹Vgl. [Rae93, S. 53].

menhangs der Konstruktwelt mit den konstruierenden Elementen geliefert. Kritiker dieser Auswertungsmethode verweisen auf die Problematik, dass die Vielfalt der Konstrukte weitgehend auf wenige Dimensionen reduziert wird und darunter die Aussagekraft leidet. Aus Gründen der besseren Verständlichkeit durch Visualisierung der Ergebnisse ist jedoch zu betonen, dass gerade die Vereinfachung eine Analyse erst ermöglicht. Im Endeffekt können daher bessere Ergebnisse geliefert werden, als bei einer sehr komplexen und undurchsichtigen Darstellung.

Eine weitere mathematisch orientierte Vorgehensweise bei der Auswertung von Grids stellt die Clusteranalyse dar⁸⁵. In ihrer einfachsten Form gehört auch das bereits beschriebene Handverfahren zur Clusteranalyse. In der Grundform werden Teile der Clusteranalyse rechnergestützt durchgeführt. Neben dem Vorteil der Arbeitserleichterung bietet sich außerdem die Möglichkeit, zusätzliche Prüfwerte einzuführen, die noch klarere Zellunterscheidungskriterien liefern können. Damit wird die erzielte Lösung verlässlicher⁸⁶. Außerdem kann bei Rechnerunterstützung eine grafische Darstellung der Ergebnisse in Baumstruktur erzielt werden. Hierzu wird auf die Ausführungen bei *Fromm*⁸⁷ und *Raeithel*⁸⁸ verwiesen. Bei einer grafischen Darstellung werden die numerisch ähnlichsten Elemente und Konstrukte räumlich nahe zueinander angeordnet. Zusätzliche Schnittpunkte und die Lage der Linien illustrieren die Verhältnisse der Elemente untereinander. Damit kann eine recht anschauliche Darstellung der Beziehungen erreicht werden.

Beim Einsatz der Clusteranalyse sollte jedoch immer darauf geachtet werden, ob die rechnerischen Möglichkeiten der inhaltlichen Bedeutung und Relevanz des Grids entsprechen. So kann das Ergebnis einer Clusteranalyse von einem Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse durchaus abweichen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, beide Analysemethoden einzusetzen. Eventuelle Übereinstimmungen der Ergebnisse können dann als Indikator für die Richtigkeit interpretiert werden. Auf weitere Einzelheiten bzgl. der Berechnungsalgorithmen soll in diesem Rahmen verzichtet werden. Weitere Auswertungsmethoden finden sich bei *Raeithel*⁸⁹.

⁸⁵Siehe [Fro95, S. 193 ff.] und [Rae93, S. 56 ff.].

⁸⁶Vgl. [Fro95, S. 193].

⁸⁷Vgl. [Fro95, S. 194].

⁸⁸Vgl. [Rae93, S. 57].

⁸⁹Vgl. [Rae93, S. 58 ff.].

8.2.3.2 Auswertung im Kontext des KPZN

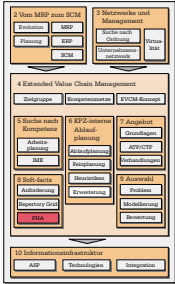
Wie bereits erwähnt, können die ausgefüllten Grids der KPZ auf verschiedene Weise ausgewertet und einem elektronisch gestützten Datenbankinformationssystem zur Verfügung gestellt werden. Wenn die Repertory Grid-Methodik im speziellen Fall zur Analyse von KPZ in KPZN zum Einsatz kommen soll, kann auf die vorhandenen Auswertungsverfahren zurückgegriffen werden. Im vorliegenden Fall wird jedoch eine andere Vorgehensweise bevorzugt. Dies resultiert daraus, dass im Grid eine Anzahl von Objekten vorausgesetzt wird, deren gemeinsame Merkmale zunächst über Clusterbildung analysiert wird. Anschließend wird geprüft, ob ein spezielles anderes Objekt eine hohe Affinität bezüglich der zuvor ausgemachten Attribute besitzt. Bei der Genese eines KPZN werden jedoch alle Netzwerkknoten neu mit KPZ belegt. Aus diesem Grunde eignet sich das Grid zwar zur Generierung der Attribute und deren Bewertung, nicht aber zur Analyse der Netzwerkstruktur.

Wie üblich füllen die KPZ die genormten Grids aus. Anschließend wird die Ich-Spalte, die als eine Art Selbstbeschreibung zu verstehen ist, aus dem Grid entfernt. Durch die Art und Weise der Interviewführung ist diese Spalte nur schwer manipulierbar. In einem neuen Grid werden dann alle Ich-Beschreibungen der jeweilig befragten KPZ zusammengefasst. Hieraus resultiert eine Matrix, bei der die Elemente durch die einzelnen KPZ repräsentiert werden. Die Spalten beinhalten wie gewohnt die bipolaren Konstrukte. Diese Matrix mit allen Ich-Beschreibungen dient als Ergebnistableau der einzelnen KPZ im Rahmen des KPZN. Danach erfolgt die eigentliche Auswertung des Grids. Für die Gestaltung von Netzwerken erscheint es besonders wichtig, neben der Betrachtung von Akteuren und zugeordneten Kompetenzen auch Modelle zu entwickeln, die die Interdependenzen der Netzwerkakteure analysieren und die hieraus resultierenden Wirkungen für das gesamte KPZN ermitteln können. So können am Ende des Analyseprozesses die Zellen des Grids mit Hilfe der in Abschnitt 8.3 ausführlich beschriebenen Polyedralen Analyse auf eine neue Art und Weise ausgewertet und in einem elektronisch gestützten Datenbankinformationssystem zur Verfügung gestellt werden.

Ursprünglich aus der klinischen Psychologie/Diagnostik kommend, hat die Repertory Grid-Methodik in zunehmenden Maße auch andere sozialwissenschaftlich motivierte Arbeitsgebiete erobert. So wird gerade in jüngster Zeit versucht, ökonomische Sachverhalte mit dieser Methode zu interpretieren und zu analysieren. Durch die Flexibilität dieses Verfahrens, bei welchem lediglich die spezielle Form der Befragung festgelegt ist, war die Problematik der Übertragung auf andere Problembereiche und Sachverhalte von eher ge-

ringerem Ausmaß. Verschiedene Tests haben eine ausreichende Validität⁹⁰ und Reliabilität⁹¹ dieser Methode nachgewiesen, so dass der Einsatz der Repertory Grid-Methodik auch in anderen Bereichen als der psychologischen Diagnostik als vorteilhaft anzusehen ist⁹².

8.3 Polyedrale Analyse



Nach erfolgter Datensammlung mittels der Repertory Grid-Methodik wird im folgenden Abschnitt ein Modell vorgestellt, mit welchem die gesammelten Daten, in der Regel Soft-facts, analysiert werden können.⁹³ Dabei soll im Anschluss an Repertory Grid-Datenerhebung eine grundsätzlich andere Methode zum Einsatz kommen, als die in der empirischen Sozialforschung bekannten. Im Gegensatz zu diesen erfolgt keine graphentheoretische Modellierung der Relationen von Objekten, sondern ein gruppentheoretischer Ansatz der Modellierung der Relationen der Attribute dieser Objekte. Die Beziehung der Objekte ergibt sich implizit.

8.3.1 Modell zur Polyedralen Analyse

Für die Analyse komplexer sozialer Sachverhalte, insbesondere wenn es sich dabei um so genannte Soft-skills handelt, erscheinen mathematische Modelle zunächst weniger geeignet, um sinnvolle und auswertbare Ergebnisse erzielen zu können. Aber gerade für die Gestaltung von Netzwerken wird es wichtig, neben der Betrachtung der einzelnen Akteure und deren Kompetenzen, Modelle zu entwickeln und einzusetzen, die die Betrachtung der Interdependenzen zwischen den handelnden Personen und daraus resultierender Wirkungen für das gesamte System ermöglichen. Dieser Abschnitt liefert einen mathematischen Rahmen innerhalb dessen sich die Beziehungen von Objekten (hier Personen in KPZ) zu ihrer Gesamtstruktur (hier Kooperation/Netzwerk/KPZN) analysieren lassen⁹⁴. Es wird gezeigt, wie eine binäre Relation zwischen zwei abstrakten Mengen geometrisch als Komplex von Objekten mit bestimmten Attributsausprägungen interpretiert werden kann. Die algebraische Topologie dient zur Analyse der globalen Systemstruktur

⁹⁰Validität = Brauchbarkeit und wachsendes Verstehen.

⁹¹Reliabilität = Maß zur Bestimmung des Ausmaßes, in dem ein Test unempfindlich für Veränderungen ist.

⁹²Vgl. [Alt96, S. 84].

⁹³Vgl. hierzu auch die Ausführungen bei *Walter* und *Teich* in [Wal02].

⁹⁴Siehe hierzu die Ausführungen von [Atk77, S. 1 ff.].

und zur Gewinnung neuer Einsichten in die Konnektivität der individuellen Systemelemente.

8.3.1.1 Formale Beschreibung des Modells

Die Modellierung erfolgt als eine Relation $\lambda \subset Y \times X$ zwischen den Elementen zweier finiter Mengen, der Attributmenge $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ und einer Objektmenge $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$. λ definiert die Assoziation zwischen Objekten und ihren Attributen. Die geometrische Repräsentation von λ leitet sich aus dieser mengentheoretischen Beschreibung ab, indem die Elemente $\{x_1, \dots, x_n\}$ der Menge X die Eckpunkte eines Komplexes $K_Y(X; \lambda)$ repräsentieren und die Elemente $\{y_1, \dots, y_m\}$ der Menge Y die so genannten Simplexe. Ein solcher Simplex wird häufig in der diskreten Mathematik/Linearen Algebra als Synonym für polygonal⁹⁵ berandetes Gebiet bezeichnet, also als kleinste konvexe Menge, die die gegebenen Attribute enthält.

Die Simplexe, die den Komplex $K_Y(X; \lambda)$ bilden, sind durch die Relation λ definiert. Somit ist $\sigma_{r-1} = \langle x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_r} \rangle$ ein Element von $K_Y(X; \lambda)$ genau dann, wenn ein $y_j \in Y$ existiert mit $(y_j, x_{i_s}) \in \lambda$ für alle $s = 1, \dots, r$. In diesem Fall wird der Simplex mit y_j bezeichnet, $r - 1$ gibt dessen Dimension an. Die Dimension von K ($\dim K$) ist durch den größten Index aller σ_{r-1} von K definiert. Somit steht jedes Element der Menge Y in einer λ -Beziehung zu mindestens einem Element aus der Menge X . λ induziert also den Komplex $K_Y(X; \lambda)$ der Simplexe, welcher die geometrische Interpretation der globalen Abbildung der Relation λ darstellt.

8.3.1.2 Ein Beispiel

Zur Diskussion des theoretischen Ansatzes soll an dieser Stelle ein Beispiel das Verständnis verbessern. Die Definition des Komplexes erfolgt innerhalb des weiter oben beschriebenen personalwirtschaftlichen Kontextes anhand von Führungskräften, deren Aufgabe es ist, in einer Netzwerkorganisation erfolgreich zu interagieren. Dabei handelt es sich in diesem Beispiel zunächst um die Vorgesetzten der Abteilungen Konstruktion, Design, Controlling und EDV, die später ergänzt werden um die Vorgesetzten der Abteilungen Marketing, Personal und Forschung. Diese Abteilungen befinden sich, der Idee eines überbetrieblichen Netzwerkes entsprechend, in verschiedenen Unternehmen.

⁹⁵Polygon = durch endlich viele lineare Gleichungen/Ungleichungen beschriebener Bereich, vgl. [Sch01b, S. 500].

Um den Wertschöpfungsprozess für ein gemeinsames Produkt von der Entwicklung bis zum Verkauf unternehmensübergreifend gestalten zu können, müssen die genannten Führungskräfte neben ihren Aufgaben in der jeweiligen Abteilung auch sicherstellen, dass eine Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen erfolgt. Die Art und Weise der Erfüllung dieser Anforderungen und die Übernahme der damit verbundenen netzwerkspezifischen Rollen hängen auch davon ab, welche Kompetenzen bzw. Fähigkeiten diese Führungskräfte haben. Im Beispiel wird aus Gründen der Verständlichkeit vereinfachend angenommen, dass diese Führungskräfte kooperationsfähig, kommunikationsfähig und konfliktfähig sowie kreativ und zuverlässig sein müssen. Desweiteren wird angenommen, dass die individuelle Ausprägung dieser Fähigkeiten bei jeder der Führungskräfte unterschiedlich ist und für einen bestimmten Zeitpunkt bereits ermittelt wurde. Die Bestimmung der Attribute und ihre Ausprägungen bei den verschiedenen Objekten ist Ergebnis des Repertory Grids.

Die den Personen zuordenbaren Fähigkeiten sind demnach definiert als Menge $X = \{\textit{kooperativ}, \textit{kreativ}, \textit{kommunikativ}, \textit{konfliktfähig}, \textit{zuverlässig}\}$. Die Menge Y der Simplexe ist definiert als $Y = \{\textit{Konstruktion}, \textit{Design}, \textit{Controlling}, \textit{EDV}\}$, wobei die Bezeichnung für die Vorgesetzten der jeweiligen Fachabteilungen stehen. Die Beziehung λ zwischen X und Y wird durch $(x_i, y_j) \in \lambda$ beschrieben, wenn die Person y_j die Fähigkeit x_i besitzt. Im ersten Beispiel bestehe die Beziehung aus:

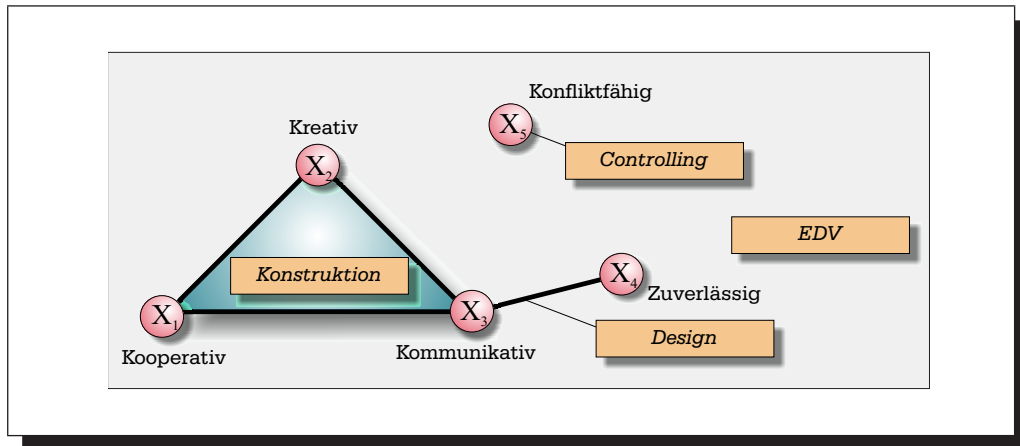
$$\lambda = \{(y_1, x_1), (y_1, x_2), (y_1, x_3), (y_2, x_3), (y_2, x_4), (y_3, x_5)\}. \quad (8.2)$$

Somit ergeben sich die Simplexe von $K_Y(X; \lambda)$ als

$$y_1 = \langle x_1, x_2, x_3 \rangle, y_2 = \langle x_3, x_4 \rangle, y_3 = \langle x_5 \rangle. \quad (8.3)$$

Besonders zu betonen ist, dass der Abteilungsleiter *EDV* keine der betrachteten Fähigkeiten besitzt. Der Simplex y_4 ist folglich leer und gehört nicht zu $K_Y(X; \lambda)$. Die Abbildung 8.18 illustriert die geometrische Struktur von Komplex $K_Y(X; \lambda)$. y_1 und y_2 bilden einen Teilkomplex und y_3 einen weiteren.

Der Chef der Abteilung *Konstruktion* verfügt über drei der erforderlichen Fähigkeiten. In der Abbildung ist dieser Simplex als Dreiecksfläche mit den Eckpunkten x_1 , x_2 und x_3 dargestellt. Über die Fähigkeit *kommunikativ* ist er mit dem Leiter der Abteilung *Design* verbunden. Die Punkte x_3 und x_4 begrenzen die Strecke, die den Simplex *Design* definiert. Obwohl der *Controlling*-Verantwortliche wenigstens eine Fähigkeit besitzt, definiert er

Abbildung 8.18: Geometrische Interpretation von $K_Y(X; \lambda)$

nur einen Teilkomplex aus K , der mit den anderen Simplexen nicht verbunden ist. Es ist offensichtlich, dass das Beispielsystem nur eine sehr geringe Verbundenheit, im weiteren als Konnektivität bezeichnet, besitzt.

Eine kompakte Form, die Relation λ zu repräsentieren, ist die Angabe einer Insidenzmatrix Λ . Ein Eintrag in Λ an der Position (i, j) erfolgt unter der Annahme der Korrespondenz zu (x_i, y_j) . Formal folgt

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } (y_i, x_j) \in \lambda \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases} \quad (8.4)$$

Somit wird $K_Y(X; \lambda)$ repräsentiert durch:

$$\frac{\lambda}{Y} \left| \frac{X}{\lambda_{ij}} \right. \quad (8.5)$$

Die Teilkomplexe können durch Sortieren der Insidenzmatrix als nicht zusammenhängende Diagonalblöcke dargestellt werden. Im Weiteren soll die Betrachtung und Analyse jedes Teilkomplexes als eigenständiger Komplex erfolgen.

Nachdem die mathematische Struktur des Modells festgelegt wurde, sind im nächsten Abschnitt die Definitionen aussagekräftiger Maße der Simplexe vorzunehmen. Die Theorie bietet an dieser Stelle zahlreiche Möglichkeiten, Aussagen über einen Simplex zu gewinnen. Aufgrund der Beschränkung der pragmatischen Problemstellung erfolgt eine Einschränkung auf die Maße Konnektivität und Exzentrizität.

8.3.2 Kenngrößen des Modells zur Netzwerkbeurteilung

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Struktur der Verbindungen innerhalb von K . Zum einen erfolgt die Klärung der Frage nach der inneren Struktur eines Komplexes (oder der Komplexe), die so genannte Konnektivität Q und zum anderen die Hervorhebung der Bedeutung des einzelnen Simplexes innerhalb seines Komplexes, die so genannte Exzentrizität.

8.3.2.1 Konnektivität und Exzentrizität

Zunächst erfolgt die Betrachtung der Stärke der Verbindungen innerhalb von K . Dieses Maß wird als Konnektivität oder auch als „chain of connection“⁹⁶ bezeichnet. Die *Konnektivität* ist wie folgt definiert. Gegeben seien zwei Simplexe der Dimension σ_i und σ_j . Sie gelten als verbunden, wenn es eine finite Folge von Attributen $\sigma_{a_1}, \dots, \sigma_{a_n}$ gibt, für die gilt:

- σ_{a_1} ist Attribut von σ_i ,
- σ_{a_n} ist Attribut von σ_j und
- σ_{a_s} und $\sigma_{a_{s+1}}$ sind gemeinsame Attribute, mit $s = 1, \dots, n - 1$.

Die Konnektivität besitzt den Wert $n - 1$. Es ist erkennbar, dass es sich bei dieser Notation um eine Äquivalenzrelation⁹⁷ der Simplexe von K handelt. Als Maß für die globale Konnektivität von K wird der Strukturvektor Q eingeführt. Die Elemente des Vektor sind nicht-negativ und indizieren die Anzahl der Äquivalenzklassen in K für jedes q mit $q = 1, \dots, \dim K$, so dass gilt:

- $Q_i =$ Anzahl Simplexe der Dimension i in K , mit $i = 0, \dots, \dim K$ und
- $Q = (Q_{\dim K}, \dots, Q_0)$.

Intuitiv kann sich der Betrachter von K vorstellen, er benutzt eine Art Spezialbrille, durch die nur i -dimensionale (Teil)Simplexe sichtbar sind. Der Betrachter sieht dann den in Q_i Teile aufgelösten Komplex K . Der Vektor liefert

⁹⁶Siehe hierzu die Ausführungen von [Atk77, S. 19].

⁹⁷Vgl. [Bro87, S. 547].

somit Information über die Zusammensetzung der λ -Relationen in den „zerfallenen“ Teilen und die Dimension, welche die Verbindungen aufspannen. Die mathematische Berechnung von Q erfolgt über $\Lambda\Lambda' - \Omega$, mit Λ als Inzidenzmatrix der Dimension $m \times n$, Λ' als deren Konjugierte sowie einer Matrix Ω der Dimension $m \times m$, deren Elemente 1 sind. Aus der oberen Dreiecksmatrix ist die Anzahl der gemeinsamen Attribute zweier Simplexe ablesbar. Die ganzzahligen Werte auf der Hauptdiagonale entsprechen den gesuchten Werten der Dimensionen und bilden den Eintrittspunkt für die Suche nach Zusammenhängen der Dimension σ .

Während der Strukturvektor Q wertvolle Information über die Konnektivität innerhalb von K zur Verfügung stellt, fehlt bisher eine Aussage über die individuelle Bedeutung der Simplexe für K . Diese Aussage liefert das Maß der Exzentrizität. Die *Exzentrizität* eines Simplex $ecc(\sigma)$ gibt Auskunft über den Grad der Integration von Simplex σ in den Komplex K und ist als Verhältnis seiner eigenen Dimension zu der Dimension definiert, welche seine größte Nachbarschaftsbeziehung aufweist:

$$ecc(\sigma) = \frac{\hat{q} - \tilde{q}}{\tilde{q} + 1} = \frac{\hat{q} + 1}{\tilde{q} + 1} - 1 \quad (8.6)$$

mit \hat{q} als Dimension von σ und \tilde{q} als größte Dimension einer gemeinsamen benachbarten Teilstruktur. Die Exzentrizität ist demnach ein Maß, welches die Anzahl der λ -Relationen von σ ins Verhältnis zur Verbundenheit zum Rest des Komplexes setzt. Es ist offensichtlich, dass ein hochdimensionales σ mit ebenfalls hoher Konnektivität zum Verständnis von K wichtiger ist, als ein niedrigdimensionales oder ein schwach verbundenes. Beide Aspekte fließen in die Berechnung von $ecc(\sigma)$ ein⁹⁸.

Im obigen Beispiel besteht der erste Komplex aus den Simplexen y_1 und y_2 . y_1 ist zweidimensional und in einem Punkt mit y_2 verbunden. Die Verbindung ist nulldimensional. Daraus ergibt sich für y_1 eine hohe Exzentrizität vom Wert 2. Die vollständigen Berechnungswerte für das erste Beispiel sind in der Tabelle 8.1 zusammengefasst.

Komplex 1			Komplex 2	Komplex 3
Simplex y_i mit i	1	2	3	4
Exzentrizität ecc	2	1	∞	∞
Konnektivität Q	2 0 (1 2 1)		()	()

Tabelle 8.1: Ergebnisse aus dem ersten Beispiel

⁹⁸Gibt es keine gemeinsamen Attribute, ist $\tilde{q} = -1$ und $ecc(\sigma) = \infty$.

8.3.2.2 Hohlräume oder was in K fehlt

Der vorherige Abschnitt hatte zur Aufgabe, die Fähigkeiten der im Netzwerk bereits agierenden Personen zu untersuchen. Der Fokus der jetzigen Betrachtung liegt in der Bestimmung, was in K nicht vorhanden ist, d. h. welche Fähigkeiten an welcher Stelle im Netzwerk nicht vorhanden sind und sich somit negativ auf den Zusammenhalt des Systems auswirken können. Diese Frage ist möglicherweise nicht so sehr von mathematischer Bedeutung, für die Analyse komplexer Personalstrukturen sind dennoch interessante Ergebnisse zu erwarten. Aus diesem Grunde soll die Frage geklärt werden, ob durch die Aufnahme von zusätzlichen Simplexen in K die Struktureigenschaften des Komplexes im Sinne von Ausgewogenheit bezüglich der Exzentrizitäten und der Konnektivität verbessert werden können.

Die Illustration der theoretischen Ausführungen erfolgt an einem zweiten Beispiel, welches durch eine Ergänzung aus dem obigen Beispiel hervorgeht. Die Menge Y der Simplexe wird wie folgt erweitert um die Vorgesetzten der Abteilungen Marketing, Personal und Forschung:

$$Y_{\text{Beispiel2}} = Y_{\text{Beispiel1}} \cup \{\text{Marketing}, \text{Personal}, \text{Forschung}\}. \quad (8.7)$$

Die Relation λ wird ebenfalls erweitert auf

$$\lambda_{\text{Beispiel2}} = \lambda_{\text{Beispiel1}} \cup \{(y_5, x_1), (y_5, x_3), (y_5, x_5), (y_6, x_1), (y_6, x_2), (y_6, x_5), (y_7, x_2), (y_7, x_3), (y_7, x_4), (y_7, x_5)\}. \quad (8.8)$$

Somit ergeben sich als neue Simplexe von $K_Y(X; \lambda)$

$$y_5 = \langle x_1, x_3, x_5 \rangle, \quad y_6 = \langle x_1, x_2, x_5 \rangle, \quad y_7 = \langle x_2, x_3, x_4, x_5 \rangle. \quad (8.9)$$

Dieses Beispiel beschränkt sich aus Darstellungsgründen auf Simplexe mit σ_{r-1} mit $r \leq 4$ (Abbildung 8.19).

Jedes Teilbild zeigt den gesamten Komplex und als Hervorhebung den Simplex, der jeweils mit einer Teilfläche zur Begrenzung des Hohlräumens beiträgt. Das unterste Teilbild zeigt ein durch vier Dreiecksflächen begrenztes Tetraeder, welches selbst nicht als Simplex definiert wurde und somit auch nicht auf die Struktur des Komplexes zurückwirkt. Ein solches Objekt wird als *Hohlraum* bezeichnet. Für größere Strukturen, insbesondere mit höherer Dimension, ist die Suche nach solchen Hohlräumen an die Existenz effizienter Algorithmen gebunden, die unter anderem *Teich*⁹⁹ beschrieben, programmiert und getestet hat und an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden sollen. Eine Berechnung von Komplex eins liefert die folgenden Werte:

⁹⁹Vgl. [Tei90, S. 1 ff.].

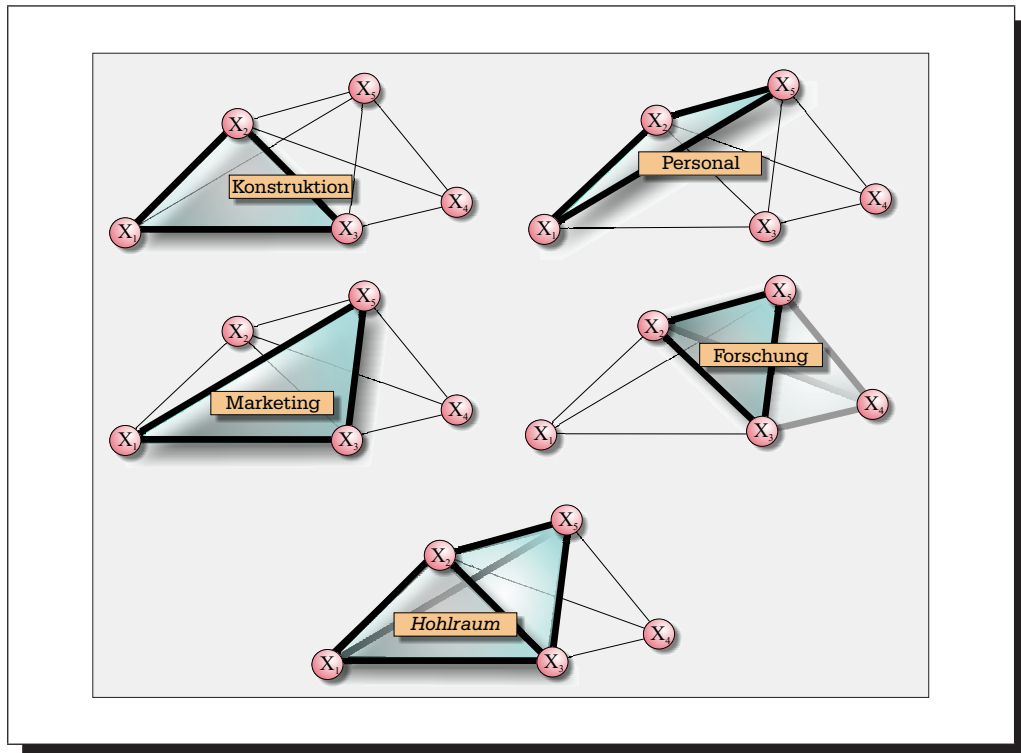


Abbildung 8.19: Hohlraum und seine begrenzenden Simplexe

Komplex 1						
Simplex y_i mit i	1	2	3	5	6	7
Exzentrizität ecc	0,5	0	0	0,5	0,5	1
Konnektivität Q	$\begin{pmatrix} 3 & & & & & \\ & 0 & & & & \\ & & 1 & & & \\ & & & 4 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{pmatrix}$					

Tabelle 8.2: Ergebnisse aus dem zweiten Beispiel

Das Beispiel zeigt, dass sich der Simplex y_7 durch eine hohe Exzentrizität auszeichnet und der Komplex vor allem durch zweidimensionale Teilsimplexe (Begrenzung durch drei Attribute) eine schlechte Konnektivität besitzt ($= 4$). Es stellt sich die Frage, wie diese Strukturparameter beeinflussbar sind.

8.3.2.3 Beeinflussung des Verhaltens innerhalb des Komplexes

Nach der Beschreibung der Identifikation eines Hohlraumes (fehlende Fähigkeiten) im vorhergehenden Abschnitt erfolgt die Beantwortung der Frage, wie sich das Einfügen eines Simplex mit den Eigenschaften dieses Hohlraumes

auf die Struktureigenschaften des Komplexes, also auf die Maße Exzentrizität und Konnektivität der anderen Simplexe auswirkt. Das dritte Beispiel geht aus dem zweiten Beispiel durch die Mengenvereinigung

$$Y_{\text{Beispiel3}} = Y_{\text{Beispiel2}} \cup \{\text{Hohlraum}\} \quad (8.10)$$

hervor. Die Relation λ wird ebenfalls erweitert auf

$$\lambda_{\text{Beispiel3}} = \lambda_{\text{Beispiel2}} \cup \{(y_8, x_1), (y_8, x_2), (y_8, x_3), (y_8, x_5)\}. \quad (8.11)$$

Somit ergibt sich

$$y_8 = \langle x_1, x_2, x_3, x_5 \rangle \quad (8.12)$$

als neuer Simplex von $K_Y(X; \lambda)$. Eine erneute Berechnung von Komplex eins liefert die folgenden Ergebnisse (auf $y_4 = \langle \rangle$ wird bei der Betrachtung verzichtet):

Komplex 1							
Simplex y_i mit i	1	2	3	5	6	7	8
Exzentrizität ecc	0	0	0	0	0	0,333	0,333
Konnektivität Q	$\begin{pmatrix} 3 & & & & & & \\ & 2 & 1 & 1 & 1 & & \end{pmatrix}$						

Tabelle 8.3: Ergebnisse aus dem dritten Beispiel

Das dritte Beispiel zeigt deutlich, wie der Konnektivitätsvektor Q nunmehr nahezu gleiche niedrige Zahlen (im Idealfall 1) enthält, was auf eine sehr starke Konnektivität des Komplexes schließen lässt. Auch die Exzentrizitäten konnten sehr stark reduziert werden (im Idealfall 0), was ebenfalls darauf schließen lässt, dass kein Simplex eine exponierte Stellung besitzt. Das Beispiel kann somit demonstrieren, dass mit einer sinnvollen mathematischen Modellierung die Systemeigenschaften von komplexen Problemstellungen geschickt und mit Sachkenntnis gezielt beeinflusst werden können. Eine personalwirtschaftliche Interpretation der Ergebnisse erfolgt in der Zusammenfassung.

8.3.3 Wertung des Ansatzes

Der Abschnitt der mathematischen Modellierung von komplexen Personalstrukturen sowie deren Analyse zeigt einen möglichen Weg zur Integration von quantitativer und qualitativer Vorgehensweise. Die in den Beispielen ermittelten Ergebnisse sind problembezogen zu diskutieren und zu interpretieren. Mit dem vorgeschlagenen Modell wird jedoch nur der erste Teil eines Weges beschrieben, der vielversprechend erscheint, um die algebraische Theorie der Gruppen für einige interessante personalwirtschaftliche Analyseprobleme nutzbar zu gestalten. Aus diesem Grunde wurden die mathematischen Ausführungen auf ein sinnvolles Maß simplifiziert, um den Ansatz verständlich zu gestalten und in erster Linie die Richtung des Weges aufzuzeigen. Die Übertragbarkeit des Modells von Binärwerten der Insidenzmatrixelemente zu reellen Zahlen ist gewährleistet.

8.4 Zusammenfassung

Aus personalwirtschaftlicher Perspektive können die Ergebnisse dieses Kapitels der am Beispiel eines KPZN durchgeführten mathematischen Analysen folgendermaßen interpretiert werden¹⁰⁰:

Verbundenheit der im Netzwerk interagierenden Führungskräfte: Das dargestellte Beispielsystem besitzt insgesamt nur eine geringe Verbundenheit, d. h. die vier genannten Führungskräfte, die Vorgesetzten der Abteilungen Konstruktion, Design, Controlling und EDV, wollen kooperativ eine Aufgabe erfüllen, sind aber über ihre Fähigkeiten nur gering untereinander verbunden. Daraus resultiert eine eher geringe Interaktion der beteiligten Führungskräfte, was dysfunktional hinsichtlich der Aufgabenerfüllung wirken kann. Gleichzeitig wurde ermittelt, dass die beteiligten Personen unterschiedlich stark mit dem System verbunden sind: der Vorgesetzte der Abteilung Design ist nur ganz gering und der Vorgesetzte der Abteilung Controlling gar nicht mit dem System verbunden.

Suche nach Kompetenzen im Netzwerk: Wenn das analysierte System eine geringe Verbundenheit aufweist und die Akteure unterschiedlich stark integriert sind, ergibt sich die Notwendigkeit nach „Lücken“ zu suchen.

¹⁰⁰Die Ergebnisse der Interpretation entstanden in Zusammenarbeit mit *Walter* und sind in [Wal02] dokumentiert.

Bezogen auf das Beispiel heißt das zu ermitteln, welche Fähigkeiten oder Akteure an welchen Stellen im System fehlen. Diese fehlenden Kopplungen sind als eine Ursache für die geringe Bindungsstärke zu interpretieren und damit auch als Ansatzpunkte für personalwirtschaftliche Interventionsmaßnahmen zur Verbesserung der Systemeigenschaften zu sehen. Im simplifizierten Beispiel des Abschnittes 8.3.2.3 würde ein zusätzlicher Akteur mit den Fähigkeiten kooperativ, kreativ, kommunikativ und zuverlässig dem System hinzugefügt.

Veränderung des Netzwerkverhaltens durch Ergänzung von Fähigkeiten:

Die erneute Berechnung der Bindungsstärke nach Ergänzung des zuvor als fehlend ermittelten Akteurs zeigt eindeutig, dass die Bindungsstärke sich nach der Veränderung wesentlich erhöht hat und damit eine intensivere Kooperation der beteiligten Führungskräfte als zuvor erfolgen kann.

Das zugrunde gelegte mathematische Modell besteht dadurch, dass es damit möglich wird, zeitpunktbezogenen Fähigkeitsdefizite für ein soziales System zu ermitteln, die sich daraus ergeben, dass der Erfolg eines Netzwerkes in besonders hohem Maße von der wechselseitigen Interaktion der beteiligten Führungskräfte abhängt. So können im ungünstigen Fall bestimmte Fähigkeiten, die bei einzelnen Akteuren durchaus vorhanden sind, nicht zum Tragen kommen, weil der oder die Interaktionspartner diese Fähigkeit nicht besitzen (z. B. Kommunikationsfähigkeit, Konfliktfähigkeit).

Das Modell liefert nur dann sinnvolle Informationen hinsichtlich vorhandener und notwendiger Fähigkeiten der in einem sozialen Netzwerk handelnden Führungskräfte, wenn es als Teil eines personalwirtschaftlichen Gesamtkonzeptes für das KPZN gesehen und angewendet wird. Dazu gehört zunächst die Erarbeitung von spezifischen Anforderungsprofilen für die in einem spezifischen Netzwerk handelnden Führungskräfte, aus denen nicht nur fachliche, sondern auch methodische und soziale Anforderungen hervorgehen. Auf der Basis dieser im Sinne von Soll-Größen definierten Anforderungen können für bereits im Netzwerk arbeitende Führungskräfte vorhandene Fähigkeiten und Potenziale mittels bekannter personalwirtschaftliche Beurteilungsinstrumente¹⁰¹ eingeschätzt werden. Die Ergebnisse bilden dann die Eingangsinformationen für die mathematische Analyse. Das Repertory Grid hat sich in diesem Zusammenhang als geeignete Methode zur Findung und Messung von relevanten Attributen der Kompetenzzellen erwiesen.

¹⁰¹Als Beurteilungsinstrumente können unterschiedliche Testverfahren, für die Potenzialanalyse insbesondere das Assessment Center eingesetzt werden. Einen Überblick dazu liefert Scholz in [Sch00d, S. 467 ff.].

Wenn, wie im vorliegenden Beispiel, deutlich wird, dass an bestimmten Stellen im Netzwerk Fähigkeiten bzw. Kompetenzzellen mit den entsprechenden Fähigkeiten fehlen, können auf dieser Grundlage sozialwissenschaftliche Entscheidungen hinsichtlich Personalbeschaffung und -entwicklung vorbereitet werden. Insbesondere für die Entwicklung (im SFB 457 auch als Evolution bezeichnet) der KPZ ist diese Erkenntnis wesentlich und muss in der Zukunft weiter verfolgt werden. Bei der Personalbeschaffung geht es nicht nur um die Suche nach Personen, die den definierten Anforderungsprofilen entsprechen. Gebraucht werden Personen mit Fähigkeiten, die ihnen eine Integration in das existierende Netzwerk ermöglichen bzw. die es durch ihre Fähigkeiten sinnvoll so ergänzen, dass eine hohe Verbundenheit aller Akteure und damit des gesamten Systems erreicht werden kann.

Da es in einem Kompetenzzellen-Netzwerk schwer möglich sein wird, erforderliche Fähigkeiten permanent durch Rekrutierung zusätzlicher Führungskräfte zu ergänzen, erlangt die Kompetenzentwicklung von bereits im Netzwerk handelnden Personen eine besondere Bedeutung. Dabei können nicht nur Maßnahmen externer Weiterbildung im Mittelpunkt stehen, sondern ebenso Möglichkeiten der Strukturgestaltung und Karriereentwicklung. In Netzwerken haben Führungskräfte einen größeren Handlungsspielraum als in hierarchisch organisierten Unternehmen. Die damit gebotenen Möglichkeiten für aktives, selbstbestimmtes Handeln können bei entsprechender Gestaltung der Kontextbedingungen zum Kompetenzerwerb in der Arbeitssituation führen. Unter motivationalen Gesichtspunkten werden Aspekte der Karriereentwicklung besonders wichtig, da Netzwerke zu temporären und sehr flexiblen Strukturmodellen gehören und keine bzw. nur sehr flache Hierarchien aufweisen. Daraus resultiert ein hohes Maß an Unwägbarkeiten für die persönliche Entwicklung der im Netzwerk handelnden Führungskräfte, aber auch anderen Schlüsselpersonen.

Die Befähigung zur Arbeit in einem Netzwerk ist zum Teil mit der Arbeit in Gruppen zu vergleichen und muss deshalb auch als ein von vielen Einflussfaktoren abhängiger Entwicklungsprozess gesehen werden, der nicht nur neue Anforderungen für die im Netzwerk kooperierenden Führungskräfte mit sich bringt, sondern auch für deren Mitarbeiter und für die Leitungen der beteiligten Unternehmen¹⁰². Zusätzlich stellt sich die Forderung nach praktikablen Unterstützungssystemen für Managemententscheidungen, die eine Analyse komplexer Strukturen in Netzwerken ermöglichen. Der Autor realisierte im Zusammenhang mit dieser Arbeit zum vorgestellten Modell eine Software, die eben diese Analyse detailliert durchführt und Aussagen über die Beeinflussung dieser Strukturen liefert. Die Interpretation von Exzentri-

¹⁰²Vgl. dazu auch [Wal01, S. 171 f.].

zitäten und Konnektivitäten für selbstkonfigurierte Testnetzwerke zeigte die Leistungsfähigkeit des Modells.

Unter den Bedingungen des Wandels und der Notwendigkeit, innovativ und flexibel Marktanforderungen zu antizipieren, werden Unternehmensstrukturen zunehmend temporärer Art sein und die Kooperation über die Grenzen eines Unternehmens hinaus wird relevanter. Es bereitet jedoch bereits Schwierigkeiten, eine ausreichende und effiziente Kooperation zwischen Abteilungen innerhalb einer Organisation zu verwirklichen¹⁰³. Die Quote des Misslingens kooperativer Unternehmensformen, d. h. interorganisationaler Zusammenarbeit, ist außerordentlich hoch¹⁰⁴. Theorie und Praxis sind deshalb auf der Suche nach Möglichkeiten, solche hochkomplexen Prozesse der Kooperationsgestaltung wirksam zu gestalten und zu unterstützen.

Mit der vorgestellten Polyedralen Analyse soll ein Beitrag an der Schnittstelle von Personalmanagement und mathematischer Theorie zur Beherrschung personalwirtschaftlicher Problemstellungen in einem Netzwerk, insbesondere in der spezialisierten Form eines KPZN, geleistet werden, wobei die ermittelten Daten nicht unreflektiert verwendet werden können. Aufgabe der jeweiligen Unternehmensleitungen ist, zu prüfen, welche personalwirtschaftlichen Maßnahmen unter den spezifischen Kontextbedingungen geeignet sind, um mathematisch ermittelte Fähigkeitslücken so zu schließen, dass Effizienz und Stabilität des Netzwerkes für einen definierten Zeitraum erhalten bzw. verbessert werden. Durchgeführte Tests mit der selbstentwickelten Software zur Polyedralen Analyse stimmen zuversichtlich, in diesem interdisziplinären Umfeld weiter zu forschen.

¹⁰³Vgl. [Kie91, S. 161].

¹⁰⁴Vgl. [Pra96, S. 10].

bzw. Algorithmen. Der Einsatz eines dieser Verfahren mit entsprechenden Anpassungen soll im Folgenden beschrieben werden, nachdem das Problem charakterisiert wurde.

Ausgangspunkt der Genese eines KPZN für die Erstellung einer Leistung bzw. zur Herstellung eines konkreten Produkts ist die Erstellung verschiedener Prozessvarianten innerhalb der Arbeitsplanung¹. Ergebnis ist ein Prozessvariantenplan (PVP), der alle technologisch sinnvollen Möglichkeiten der Herstellung des Produktes beinhaltet.

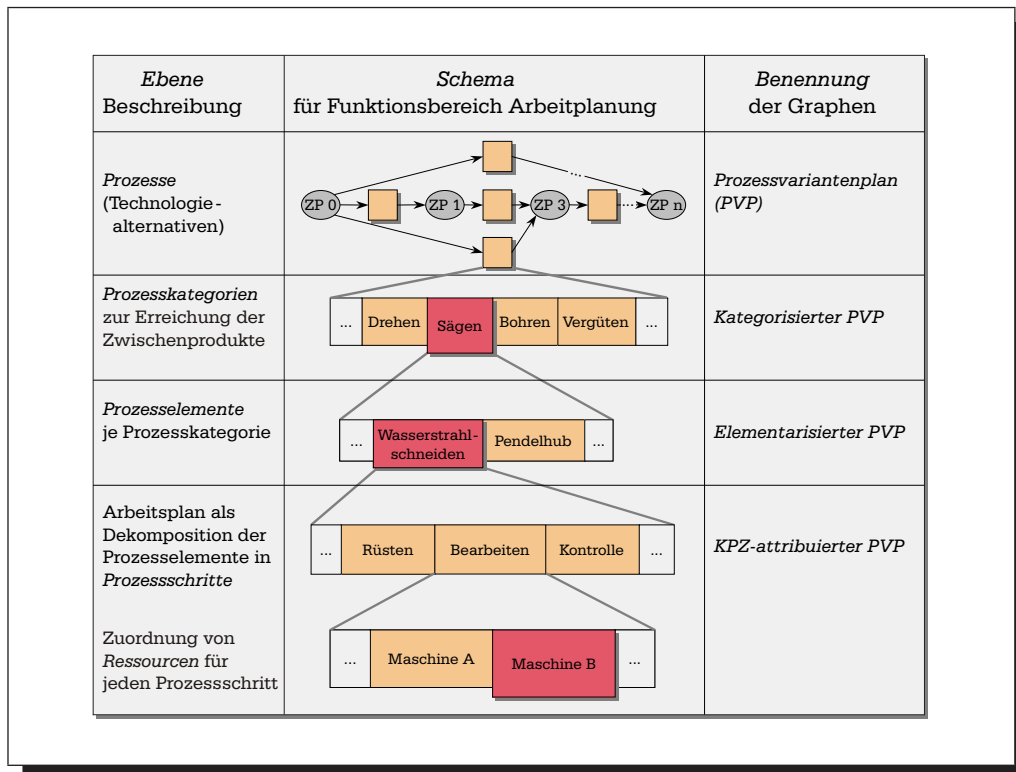


Abbildung 9.2: Hierarchie der PVP

Für alle gefundenen Prozessvarianten werden im folgenden Schritt kategorisierte PVP gebildet, da die Erreichung eines gewünschten Zwischenproduktes bspw. über die Prozesskategorien Sägen, Drehen oder Bohren möglich ist. Eine weitere Detaillierung erfolgt mit der Zuordnung der Prozesskategorie in Form von Elementen zum elementarisierten PVP, d.h. es wird sich für ein konkretes Herstellungsverfahren entschieden, bspw. für eine bestimmte Art

¹Vgl. Kapitel 5.

des Trennens wie z. B. Wasserstrahlschneiden. Analog zum SCOR Reference-Modell zeigt Abbildung 9.2 die Hierarchie der einzelnen PVP.

Die elementarisierten PVP sind durch die Nachfragevektoren (NV) genau beschrieben. Diese definieren die notwendigen Arbeitspläne, um ein Zwischenprodukt in ein anderes zu überführen. Für alle Elemente werden entsprechend dem zugehörigen NV entsprechende KPZ gesucht, die potenziell in der Lage sind, diese Leistung zu erfüllen. Das heißt, die Angebotsvektoren (AV) der KPZ müssen zu einem gewissen Grad mit dem NV übereinstimmen. Diese Untersuchung der Ähnlichkeit zwischen NV und AV erfolgte mittels ICIx.² Der mit KPZ besetzte elementarisierte PVP wird als KPZ-attribulierter PVP bezeichnet. Der prinzipielle Aufbau eines KPZ-NV ist in Abbildung 9.3 dargestellt.

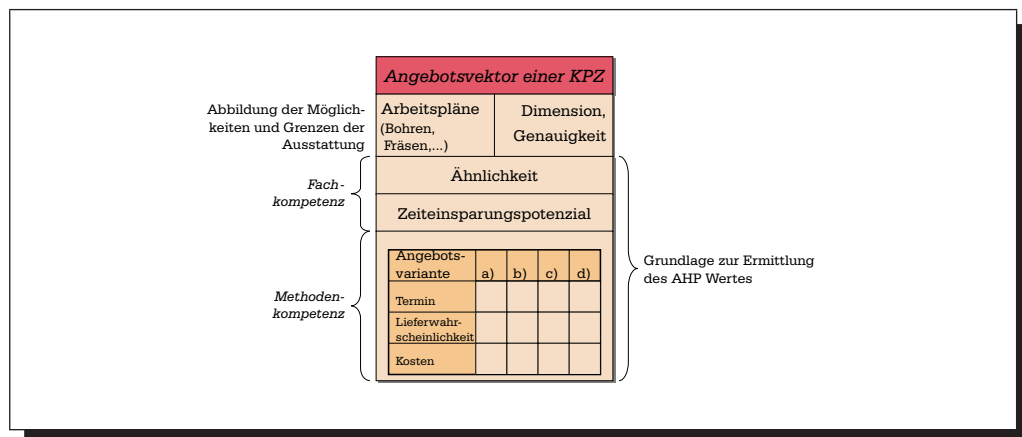


Abbildung 9.3: Angebotsvektor einer KPZ

Der Aufbau und die Struktur des AV einer KPZ ist von der eigentlichen Struktur bzw. dem Aufbau der KPZ zu unterscheiden³. Der AV soll möglichst exakt die Möglichkeiten einer KPZ zum Ausdruck bringen und diese vergleichbar machen, um eine maschinelle Auswertung und Kombination zu ermöglichen. Berücksichtigt werden verschiedene Eigenschaften mit der Unterscheidung in auftragsabhängig und auftragsunabhängig. Der Kopf des AV beinhaltet die von der Ausstattung fest vorgegebenen Aktivitäten/Funktionen und Arbeitspläne. Es werden die Dimensionen, Genauigkeiten und Ressourcen genannt. Die beschriebenen Größen sind bei gleichbleibender Ausstattung der Ressourcen der KPZ unveränderlich und somit

²Vgl. Abschnitt 5.2.1.

³Vgl. Kapitel 4.

nicht von den Ausprägungen potenzieller Aufträge abhängig.

Die Fachkompetenz (FK) innerhalb des AV spiegelt sich in den beiden Größen Ähnlichkeit und Zeiteinsparung wider. Hinter der Ähnlichkeit verbirgt sich der prozentuale Wert der Übereinstimmung zwischen NV und AV. Dieser Wert ist vom Prozesselement abhängig und damit auftragsabhängig. Ein hoher Wert (max. 100%) wird angestrebt, ist allerdings nicht zwingend notwendig. Unter Zeiteinsparungspotenzial ist die durch intensitätsmäßige Anpassung des Produktionssystems mögliche Zeiteinsparung zu verstehen⁴. Anstrebenwert ist die Auswahl einer KPZ mit hohem Zeiteinsparungspotenzial zur Zeitpuffergenerierung, falls es im Wertschöpfungsprozess zu Verzögerungen in vorgelagerten Produktionsstufen kommt.

Im Rahmen der Methodenkompetenz (MK) enthält der AV eine Menge von Wertetupeln, bestehend aus Liefertermin, -wahrscheinlichkeit und resultierenden Kosten⁵. Ausgangspunkt dieser Betrachtung ist der gewünschte Liefertermin des Kunden. Über die Ablauforganisation des EVCM erfolgt die retrograde Terminierung und die Vorgabe eines Zeitfensters für jede KPZ. Innerhalb der KPZ wird es wiederum verschiedene Alternativen (in Form der Wertetupel) geben, den Auftrag abzuarbeiten. Durch die Einbeziehung aller Wertetupel in die Optimierung bildet sich aus dem KPZ-attribuierten PVP ein komplexeres „Unternetz“ - das KPZ-Angebotsnetz. Die Anzahl der Angebote einer KPZ bestimmt die Häufigkeit der KPZ in diesem Netz⁶.

Die Attributbelegungen innerhalb der FK und der MK bilden die Grundlage zur Bewertung der KPZ, speziell der KPZ-Angebote. Die Aggregation zu einem Wert erfolgt mittels der oben beschriebenen AHP-Methode. Mit diesem Wert wird dem KPZ-Angebot eine „Attraktivität“ zugewiesen. Diese ist die Grundlage des später in diesem Kapitel beschriebenen Auswahlalgorithmus und stellt die Eingangsgröße als so genannter Heuristikwert dar.

Im Rahmen der Suche nach einem optimalen KPZ-attribuierten PVP werden auch Soft-facts als Ausprägung der im Netzwerk vorhandenen Sozialkompetenz (SK) berücksichtigt. Es handelt sich hierbei um die im Zusammenhang mit dem Repertory-Grid beschriebenen, qualitativen Größen zur Beschreibung der sozialen Eigenschaften von KPZ. Die mit Hilfe der Polyedralen Analyse⁷ errechneten Größen Exzentrizität und Konnektivität gehen ebenso in die soziale Bewertung einer Herstellvariante im KPZ-Angebotsnetz ein.

⁴Siehe Abschnitt 5.1.3.2.

⁵Vgl. Abschnitt 7.1.1.

⁶Bspw. kann die KPZ X mit den Wertetupeln a, b und c durch drei Knoten KPZ Xa, KPZ Xb, KPZ Xc abgebildet werden.

⁷Vgl. Abschnitt 8.3.

Die Zugehörigkeit der Größen aus FK, MK und SK illustriert Abbildung 9.4 am Beispiel eines KPZ-attribuierten PVP.

		Angebotsvektor der KPZ X		Angebotsvektor der KPZ Y		Angebotsvektor der KPZ ...	
		Arbeits- pläne	Dim., Genauig.	Arbeits- pläne	Dim., Genauig.	Arbeits- pläne	Dim., Genauig.
FK		Ähnlichkeit		Ähnlichkeit		Ähnlichkeit	
		Zeiteinsparungs- potenzial		Zeiteinsparungs- potenzial		Zeiteinsparungs- potenzial	
MK		Var.	a)	Var.	b)	Var.	...
		T		T		T	
		LW		LW		LW	
		K		K		K	
SK		Exzentrizität KPZ X		Exzentrizität KPZ Y		Exzentrizität KPZ ...	
		Konnektivität					

Abbildung 9.4: Exzentrizitäten und Konnektivität eines Angebotes

Resultierend aus der Eigenschaft der Soft-facts, die die sozialen Beziehungen zwischen den KPZ im Netzwerk auszudrücken, ist die Berechnung der Exzentrizitäten und Konnektivität unmittelbar abhängig von den beteiligten KPZ, d. h. die Exzentrizität einer KPZ kann erst bestimmt werden, wenn alle KPZ einer Herstellvariante definiert wurden. Eine KPZ kann somit für jedes KPZ-Angebot in Abhängigkeit von den anderen Netzwerkpartnern eine andere Exzentrizität besitzen. Der Aufwand der Suche nach geeigneten KPZ für eine Teilleistung kann sich damit sehr umfangreich gestalten. Anhand der hinterlegten „Muss“-Eigenschaften einer KPZ scheiden jedoch einige der KPZ des gesamten KPZN aus dem Pool der potenziellen KPZ bereits zu Beginn der Suche aus technologischen oder ökonomischen Gründen aus. Sollten sich für gewisse Teilleistungen keine geeigneten KPZ innerhalb des KPZN finden, besteht die Möglichkeit, auch externe Partner in die Leistungserstellung einzubeziehen. Diese Möglichkeit wird zentral vom IMK verwaltet und erfordert eventuell manuelles Eingreifen, da die Abläufe mit externen Partnern meist nicht standardisiert sind.

Nachdem die Art des Problems erläutert wurde, beschreibt der nächste Abschnitt die Modellierung und Funktionsweise eines geeigneten Algorithmus

zur Lösung des KPZ-Auswahlproblems.

9.2 Modellierung und Auswahl

Für die Optimierung mit Hilfe eines Algorithmus ist es notwendig, das oben beschriebene Problem entsprechend zu modellieren. Dafür werden alle Herstellungsvarianten im KPZ-Angebotsnetz in einem gerichteten Graph (*Digraph*)⁸ abgebildet. Hierfür ist es notwendig, vor den Knoten der ersten Arbeitspläne in der Wertschöpfungskette (beschrieben durch den NV) einen für alle gültigen Startknoten einzufügen, eine so genannte Quelle. Ausgehend von dieser werden die Alternativen im KPZ-Angebotsnetz auf ihre Lösungsqualität hin untersucht. Alle Alternativen enden nach dem letzten Bearbeitungsschritt in einem gemeinsamen Endknoten des Digraphen, dem Endprodukt. Dieser Punkt wird Senke genannt. Jede Herstellalternative beinhaltet somit eine Quelle, anschließend KPZ zur Durchführung der Teilleistungen und endet in der Senke. Die Zielfunktion des Algorithmus ist die Maximierung der kumulierten AHP-Werte der KPZ. Je größer der Wert einer Herstellvariante, desto vorteilhafter ist es, diese zu realisieren.

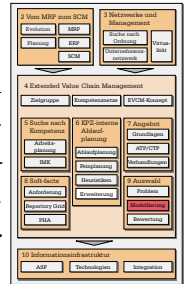


Abbildung 9.5 veranschaulicht die Modellierung als Digraph. Für jeden Schritt der Bearbeitung auf dem Weg zum Endprodukt existieren verschiedene Herstellungsvarianten, aus denen die beste mit Hilfe eines Algorithmus auszuwählen ist. Zu beachten ist, dass nicht alle potenziellen KPZ für den Bearbeitungsschritt $i + 1$ von jeder KPZ im Bearbeitungsschritt i aus erreichbar sind. Der Grund dafür liegt u. a. in der Überlappung vom Liefertermin der einen KPZ und dem spätesten Starttermin der folgenden KPZ. Beispiel ist die fehlende Verbindung zwischen Angebot b) der KPZ X und Angebot b) der KPZ Y in Abbildung 9.5. Die stark hervorgehobenen Kanten zwischen konkreten KPZ-Angeboten stellt eine konkrete durchführbare Herstellungsalternative dar. Die beteiligten KPZ-Angebote (KPZ Xa, KPZ Yb, ...) einer Herstellvariante k werden in Ψ_k gespeichert. Ψ_k besitzt den Zielfunktionswert L_k . Die Attraktivität eines KPZ-Angebotes bestimmt sich aus dem zugehörigen AHP-Wert. Dieser Wert ist während der gesamten Lösungssuche unabhängig von Vorgängern bzw. Nachfolgern konstant.

Zur Lösung dieser Problemrepräsentation in Form eines Graphen existieren vielfältige Optimierungsalgorithmen. Genannt seien hier Heuristiken⁹ wie Branch and Bound oder naturanaloge Verfahren wie Genetische Algorithmen oder Ant Colony Optimization. In den 90er Jahren hat sich speziell auf den Gebieten der Optimierung von Graphen zwischen einem Start- und einem

⁸Von einem Digraph (directed graph) wird gesprochen, wenn die einer Kante zugeordneten Paare von Knoten i und j geordnet sowie i die Quelle und j die Senke der Paare (i, j) sind. Vgl. [Neu93, S. 177].

⁹Verfahrensüberblick in [Dom97].

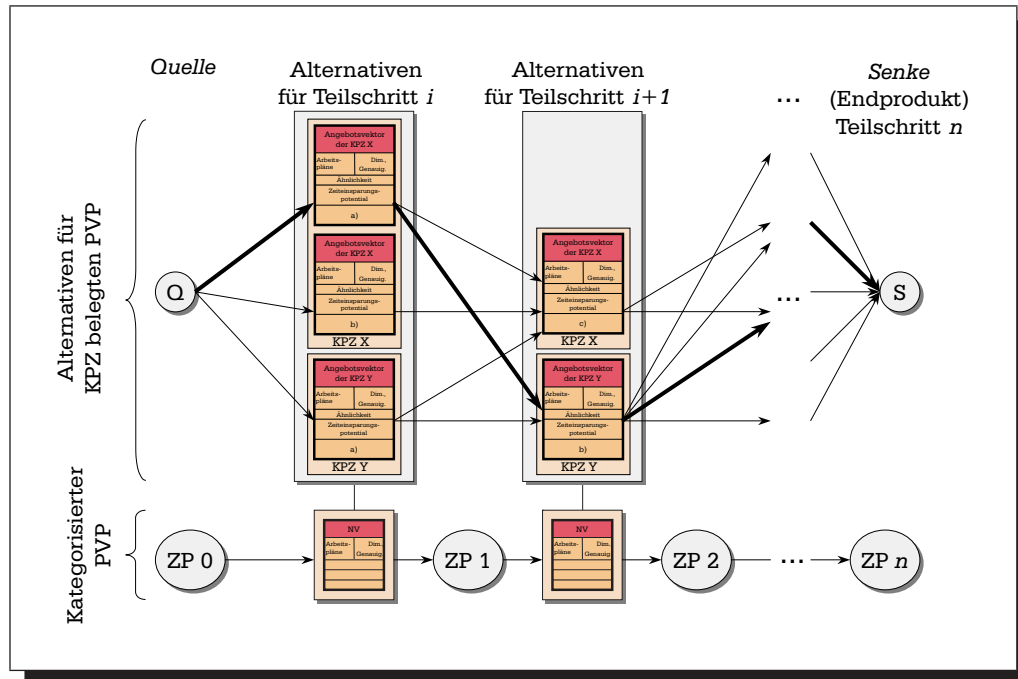


Abbildung 9.5: Exemplarische Darstellung einer Problemstellung

Endpunkt (kürzeste Wege-Probleme oder TSP-Probleme) und Maschinenbelegungsproblemen die Ant Colony Optimization oder kurz *ACO* etabliert. Für den Einsatz eines solchen Algorithmus bei der KPZ-Auswahl in KPZN sprechen die bekannten guten Ergebnisse bei ähnlichen Graphenproblemen¹⁰. Bemühungen, eine Modellierung mit Genetischen Algorithmen zu realisieren, bewährten sich nicht, da Anzahl und Verschiedenheit der Nebenbedingungen zu Operatoren führten, die nicht mehr als performant für die zu lösenden Aufgaben unter starken zeitlichen Laufzeitanforderungen einzuschätzen waren.

Als Unterlegung der Leistungsfähigkeit von ACO sollen Untersuchungen an einer Benchmarkinstanz des JSP dienen, bei denen gute Ergebnisse im Vergleich zu anderen modernen Algorithmen erreicht wurden. Abbildung 9.6 zeigt zwei Pheromongeberge¹¹ zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Lösungssuche. Die Höhe der Spitzen repräsentiert die Menge an Pheromon. Je höher die Menge, desto besser ist eine Lösung. Gut zu erkennen ist, dass im Rahmen der Lösungssuche mit Ant Algorithmen eine gezielte Verbesserung und

¹⁰Signifikant vor allem bei Routing-Problemen.

¹¹Siehe Abschnitt 9.2.1.

sukzessive Verkleinerung des Lösungsraumes stattfindet.

Zu Beginn der Suche (linkes Teilbild der Abbildung 9.6 nach ca. 500 Iterationen) wird noch der gesamte Lösungsraum in die Suche einbezogen. Mit zunehmender Anzahl an Iterationen bilden sich qualitativ bessere Lösungen heraus und werden verstärkt. Schlechte Lösungen werden unattraktiver und in einem immer geringerem Maße berücksichtigt. Die Suche beschränkt sich mit fortschreitender Zeit auf bestimmte, erfolgversprechende Bereiche des Lösungsraumes und tendiert bei großen Laufzeiten zu einem stationären Zustand (rechtes Teilbild der Abbildung 9.6 nach ca. 1500 Iterationen). Die Geschwindigkeit der Entwicklung und die Richtung der Suche werden durch verschiedene Parameter beeinflusst.

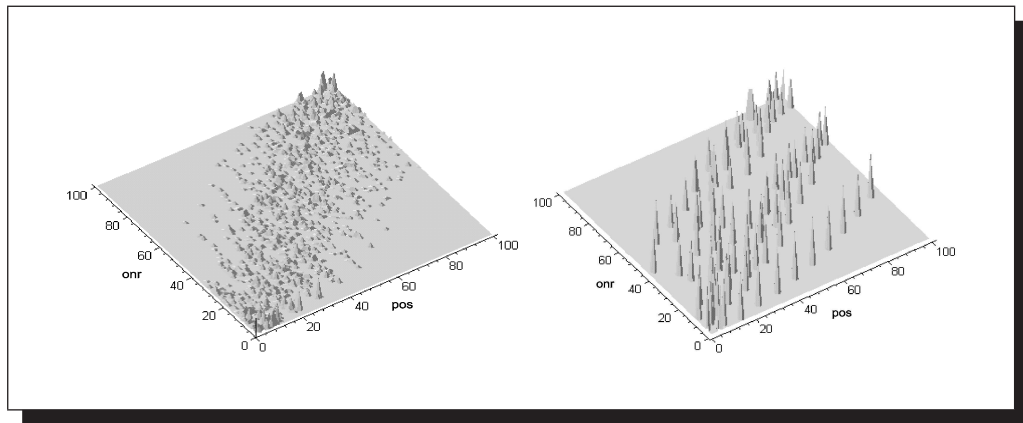


Abbildung 9.6: Spektrum der Lösungssuche anhand des ft06-Problems

Im folgenden Abschnitt werden einleitende Ausführungen zur generellen Funktionsweise von Ant Algorithmen vollzogen, bevor im Abschnitt 9.2.2 die notwendigen Anpassungen zum Auswahlproblem im KPZN erfolgen.

9.2.1 Ant Colony Optimization - Eine Einführung

Bei der Ant Colony Optimization handelt es sich um ein heuristisches Verfahren innerhalb eines relativ jungen Forschungsgebietes, der *Swarm Intelligence*¹². Dies ist eine Forschungsrichtung, welche Verhaltensweisen und Kommunikationsstrukturen der Natur untersucht, um diese auf andere praktische und theoretische Probleme erfolgreich anzuwenden. Innerhalb der Heuristiken ordnet sich die Swarm Intelligence in den Teilbereich der iterativen Ver-

¹²Vgl. [Bon99, S. 25ff.].

besserungsverfahren ein. Untersuchungsgegenstand ist dabei nicht nur das Verhalten und die Kommunikation der Ameisen, sondern auch die Kommunikation innerhalb von Bienenstaaten¹³.

Grundlage des Verhaltens der Mitglieder eines Schwarms bzw. einer Kolonie ist die Tatsache, dass diese allein nicht in der Lage wären, zu überleben bzw. gute Lösungen für auftretende Probleme zu erreichen. Innerhalb der Gemeinschaften herrscht eine strenge Arbeitsteilung. So sind bei den Ameisen bspw. Bauarbeiter für die Instandhaltung und Erweiterung des Nests der Kolonie, Futtersucher und Krieger zu unterscheiden.

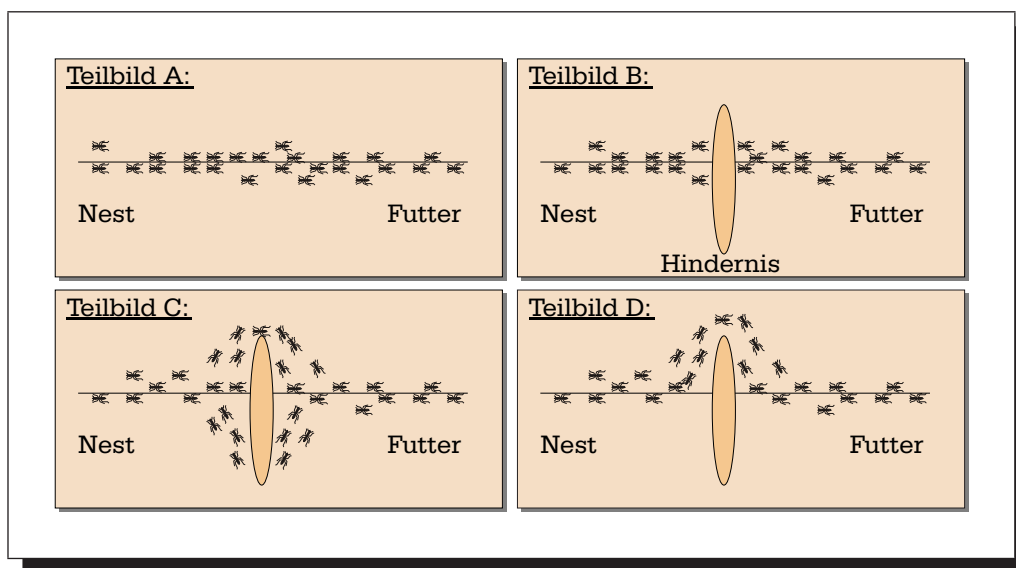


Abbildung 9.7: Futtersuche mit Hindernissen

Die Ant Colony Optimization, die hier näher erläutert wird, entwickelte sich aus den Untersuchungen und Experimenten von *Goss*¹⁴. Er erarbeitete die grundlegenden Erkenntnisse über das Verhalten und die Zusammenarbeit innerhalb von Ameisenkolonien. Ausgangspunkt seiner Untersuchungen waren die Verhaltensweisen realer Ameisen in der freien Natur. Er beobachtete, dass fast alle Ameisen einer Kolonie, welche mit der Futtersuche beschäftigt sind, den gleichen Weg von und zur Futterstelle nutzen. Wird es durch ein Hindernis, z. B. einen Stein, unmöglich, diesen Weg weiterhin zu benutzen, sind die Ameisen in der Lage, einen neuen kürzesten Weg zum Umgehen dieses

¹³Vgl. [Cam98] und [See91].

¹⁴Vgl. [Gos89].

Hindernisses zu finden. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 9.7¹⁵ dargestellt. Die Beobachtungen bei realen Ameisenkolonien führten zum bekannten Brückenexperiment¹⁶. Im Versuchsaufbau wurde einer Ameisenkolonie Zugang zu einer Futterquelle gewährt. Diese kann über zwei Wege erreicht werden, die sich lediglich in der Entfernung zwischen Nest und Futterquelle unterscheiden. Die Punkte $B - H$ und $H - D$ sind jeweils eine Längeneinheit voneinander entfernt. Der Abstand zwischen $B - C$ und $C - D$ beträgt hingegen nur eine halbe Längeneinheit. Der Versuchsaufbau ist exemplarisch in Abbildung 9.8 dargestellt.

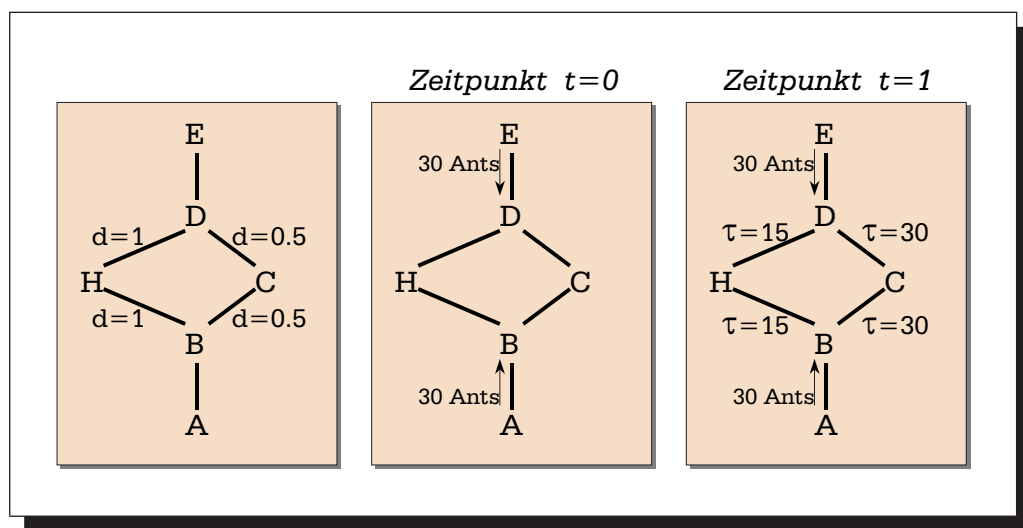


Abbildung 9.8: Brückenexperiment

Zu Beginn des Experimentes, im Zeitpunkt $t = 0$, ist zu beobachten, dass die Suche der Ameisen zufällig verläuft und beide Wege gleich hoch frequentiert werden. Bei einer angenommenen Anzahl von 30 Ameisen würden idealisiert jeweils 15 einen Weg benutzen. Im Zeitpunkt $t = 1$ verschiebt sich das Verhältnis dann auf $\frac{2}{3}$ kurzer Weg und $\frac{1}{3}$ langer Weg. Im weiteren Zeitverlauf steigt der Anteil der Ameisen auf dem kurzen Weg weiter an. Der Unterschied zwischen der Anzahl der Ameisen auf kurzem und langem Weg fällt umso klarer aus, je größer der Entfernungsunterschied zwischen beiden Varianten ist. Allerdings wird nie die gesamte Kolonie nur einen (den kurzen) Weg nutzen, um auf eventuelle Veränderungen der Umwelt (z. B. neue Wege, Hindernisse oder Futterquellen) reagieren zu können.

¹⁵Darstellung in Anlehnung an [Dor96a, S. 3].

¹⁶Vgl. [Gos89].

Der Schlüssel zur Erklärung dieses Phänomens liegt in der indirekten Kommunikation der Ameisen, der sog. Stigmergy¹⁷. Jede Ameise kann einen Weg mit Geruchsstoffen – Pheromon genannt – markieren. Die Attraktivität eines Weges wird über die Menge des abgesonderten Pheromons reguliert. Einzelne Ameisen, die sich fast zufällig bewegen und auf eine solche Pheromonspur treffen, werden diese Spur mit einer umso höheren Wahrscheinlichkeit verfolgen, je stärker diese ist. Dabei kann diese Ameise die vorhandene Spur verstärken, indem sie selbst wiederum Pheromon absondert. Die Menge des ausgeschütteten Pheromons kann dabei variieren. Dadurch erhöht sich die Attraktivität eines bestimmten Weges mit jeder Ameise, die diesen benutzt. So ergibt sich eine positive Rückkopplung.

Die Menge des Pheromons wird im mittleren und rechten Teilbild der Abbildung 9.8 als τ bezeichnet. Zum Zeitpunkt $t = 0$ erfolgt die Suche noch zufällig, keine der beiden Varianten ist mit einer Menge an Pheromon markiert. Da die Ameisen, die den kürzeren Weg wählen, eher zum Nest zurückkehren, erhöht sich der Pheromonwert der kurzen Variante schneller und die Attraktivität steigt. Die kürzere (30 Mengeneinheiten Pheromon) der beiden Varianten ist für eine Ameise zum Zeitpunkt $t = 1$ attraktiver, als die längere (15 Mengeneinheiten Pheromon). Eine gute Lösung des Problems kann also nur durch die gesamte Kolonie erfolgen, nicht aber durch eine einzelne Ameise.

9.2.1.1 Das Ant System

Nachdem das Verhalten und die Lösungssuche von Ant Colonies erklärt wurden, erfolgt die algorithmische Beschreibung dieses Prinzips mit dem Ant System (AS)¹⁸. Dabei handelt es sich um eine populationsorientierte, kooperative Metaheuristik, deren Zielsetzung nicht die Simulation des Verhaltens realer Ameisen, sondern die Lösung von Optimierungsproblemen ist.

Die ersten Untersuchungen diesbezüglich bezogen sich auf das bekannte und oft untersuchte Travelling Salesman Problem (TSP)¹⁹, einem der bekanntesten kombinatorischen Optimierungsprobleme, bei dem es wie bei realen Ameisen ebenfalls um die Minimierung der Wegstrecken in einem Graphen geht. Hierfür wird eine künstliche Ameisenkolonie geschaffen. Innerhalb dieser sind die Computerrameisen einfache Agenten, die im Gegensatz zu ihren realen Verwandten zusätzliche Fähigkeiten wie ein Gedächtnis über die bereits besuchten Knoten ($tabu_k$) besitzen. Neben der Menge an Pheromon

¹⁷Siehe [Gra59].

¹⁸Vgl. [Col91] und [Dor96b].

¹⁹Vgl. u. a. [Law85] und [Rei94].

(τ_{ij}) wird weiteres problemspezifisches Wissen wie die Entfernung zwischen zwei Knoten genutzt und als Heuristikwert η_{ij} bezeichnet. Die künstlichen Ameisen sind dadurch nicht „blind“ gegenüber der Struktur des Problems. Abbildung 9.9 zeigt die Erweiterungen innerhalb der Metaheuristik.

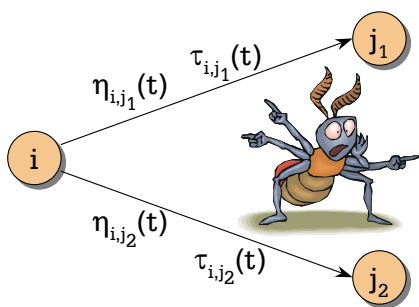


Abbildung 9.9: Entscheidungs-situation

Das spezifische Wissen resultiert dabei aus dem Problem selbst und bleibt im Rahmen der Lösungssuche bei dem hier betrachteten Problemtyp unverändert²⁰. Die Ameisen innerhalb einer Ameisenkolonie bewegen sich simultan und asynchron durch den Graph eines Problems. Jede Ameise bildet innerhalb des Graphen eine eigene Lösung unter Einbeziehung der für die ganze Kolonie gültigen Pheromonwerte. Durch Verwendung dieser gemeinsamen Wissensbasis erfolgt die kollektive Zusammenarbeit und der Aus-

bau guter Lösungen. Wie oft die Bestandteile des Algorithmus durchlaufen werden, hängt von der Problemgröße, vom Stagnationsverhalten der Suche und der definierten Abbruchbedingung ab.

Innerhalb des Ant Systems wird eine globale Datenstruktur zum Umgang mit den Pheromonwerten und den heuristischen Werten verwendet. In dieser *Trail-Matrix* wird für jede Kante (i, j) die Intensität der Pheromonspur gespeichert. Diese Daten werden während der Lösungssuche ständig verändert. Speicherort der heuristischen Informationen ist die *Visibility-Matrix*. Welche Informationen innerhalb dieser Matrix gespeichert werden, ist vom Optimierungsproblem abhängig. Würden zur Entscheidung über die nächste Kante lediglich die Daten der Visibility-Matrix verwendet, entspräche dies dem Anwenden eines *Greedy Algorithmus*²¹.

Die Menge der Ameisen m innerhalb einer Kolonie generieren eine Lösung, indem sie sich beginnend in der Quelle von Knoten zu Knoten bis hin zur Senke vorarbeiten. Eine Ameise k , welche sich in einem Knoten i befindet und sich als nächstes für einen Knoten aus der Menge der Nachbarknoten \mathcal{N}_i^k entscheiden muss, verwendet bei ihrer Entscheidung die Übergangswahrscheinlichkeit (transition probability) $p_{ij}^k(t)$. In die Berechnung von $p_{ij}^k(t)$ für

²⁰Bestimmte Instanzen weisen jedoch Ausnahmen auf wie SAT-Probleme. Siehe hierzu u. a. [Dit97].

²¹Greedy Algorithmen gehen bei der sukzessiven Lösungssuche „gierig“ vor, d. h. bei jedem Schritt wird die aufgrund der vorhandenen Information am günstigsten erscheinende Lösungsalternative gewählt.

eine Kante (i, j) gehen die Heuristikwerte und Pheromonwerte der Kanten ein, die vom aktuellen Knoten i erreichbar sind (Nachbarknoten) und nicht in der Menge bereits besuchter Kanten $tabu_k$ gespeichert sind. Es gilt:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta} & \forall j \in \mathcal{N}_i^k \\ 0 & \forall j \notin \mathcal{N}_i^k. \end{cases} \quad (9.1)$$

Über die Parameter α und β wird die Gewichtung der beiden Faktoren Pheromon und Heuristikwert geregelt. Bei hohem α gewinnt das gesammelte Wissen der Ameisen (in Form der Pheromonmengen) an Bedeutung, bei hohem β hingegen das problemspezifische Wissen. Dabei muss gelten:

$$\alpha + \beta = 1. \quad (9.2)$$

Nachdem ein Zyklus abgeschlossen wurde (Ameise befindet sich in Senke), kann anhand der Tabuliste $tabu_k$ der Zielfunktionswert L_k der generierten Lösung berechnet werden. Die Menge an Pheromon τ_{ij} , welches die Ameise auf einer Kante aus $tabu_k$ hinterlässt, berechnet sich gemäß der Gleichungen 9.3 und 9.4, wobei Q die Menge des gesamten zu verteilenden Pheromons angibt:

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (9.3)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{falls } (i,j) \in tabu_k \\ 0 & \text{falls } (i,j) \notin tabu_k. \end{cases} \quad (9.4)$$

Ameisen mit besseren Lösungen schütten mehr Pheromon aus, da die Menge direkt abhängig von der Lösungsqualität (L_k) ist. Damit wird die Attraktivität der Kanten aus $tabu_k$ für Ameisen der nächsten Iteration erhöht.

Um eine frühzeitige Stagnation der Lösungssuche zu vermeiden, wird eine Verdunstungsrate ρ für das Pheromon festgelegt. Dies geschieht in Analogie

zur Natur, da auch die von realen Ameisen hinterlegten Pheromone evaporieren. Dadurch kann die Attraktivität der Kanten gesenkt werden. Benachbarte Kanten besitzen eine höhere Wahrscheinlichkeit dafür, in die zukünftige Suche einbezogen zu werden. Die Berechnung erfolgt über die Vorschrift:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t). \quad (9.5)$$

Nachdem alle Ameisen einen Zyklus durchlaufen haben, ist eine Iteration abgeschlossen und die nächste beginnt, falls die Abbruchbedingung noch nicht erfüllt ist.

Mit dem Ant System in seiner ursprünglichen Form, welches auf das TSP angewendet wurde („ant-cycle algorithm“), konnten gute Ergebnisse für Probleme mit bis zu 50 Knoten gefunden werden. Daher wurden in den folgenden Jahren ständig Anpassungen und Erweiterungen vorgestellt, die noch die grundlegenden Ideen nutzen, sich aber besonders in den Aspekten der Intensivierung und/oder der Diversifikation der Suche unterscheiden. So wurden bspw. Begrenzungen (Minimum und Maximum) der Pheromonwerte²² oder rangbasierte Verfahren (AS_{rank})²³ eingeführt.

Im Rahmen des bisher beschriebenen allgemeinen Ant Systems verbleiben verschiedene Variationsmöglichkeiten. So kann die Menge des auszuschüttenen Pheromons Q von der Lösungsqualität abhängig gestaltet werden. Q kann ebenfalls als konstante Größe gesehen werden. Desweiteren besteht die Möglichkeit, nur einer bestimmten Gruppe von Ameisen (bspw. den besten Ameisen) die Pheromonverteilung zu gestatten.

9.2.1.2 Das Ant Colony System

Das Ant Colony System oder kurz ACS²⁴ ist eine der bedeutendsten Erweiterungen des ursprünglichen Ansatzes, welche im Wesentlichen drei Veränderungen gegenüber der ursprünglichen Form beinhaltet. Als *erste* Veränderung wird ein zusätzlicher Parameter q eingeführt. Dieser kann Werte im Bereich $0 \leq q \leq 1$ annehmen. q wird in Kombination mit der gleichverteilten Zufallszahl z ($0 \leq z \leq 1$) für die Entscheidung verwendet, ob die Ameise ihre Entscheidung mit Hilfe der Formel 9.6 oder der Übergangswahrscheinlichkeit aus Formel 9.1 trifft. Befindet sich eine Ameise k in einem Knoten i , wird die

²²Siehe [Stu96].

²³Siehe [Bul99b].

²⁴Vgl. [Dor97].

Zufallszahl z bestimmt. Diese wird mit dem Wert des Parameters q verglichen. Ist $z \leq q$, wird der nächste Knoten j besucht, welcher für Formel 9.6 den maximalen Wert besitzt:

$$p_{ij}^k(t) = [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta. \quad (9.6)$$

Ist $z > q$, wird die Übergangswahrscheinlichkeit aus Formel 9.1 verwendet.

Die *zweite* Veränderung bezieht sich auf das auszuschüttende Pheromon. Es wird innerhalb des ACS nur der Ameise mit der besten gefundenen Lösung L_k^* erlaubt, Pheromon auf die Kanten zu verteilen.

Die *dritte* und wichtigste Änderung ist die Einführung einer *Local Updating Rule*. Die Local Updating Rule wurde eingeführt, um die Pheromonmengen der Kanten schon innerhalb eines Zyklus dynamisch zu gestalten. Die Attraktivität einer Kante wird reduziert durch Senkung der Pheromonmenge nach Formel 9.7, sobald eine Ameise sich für diese entschieden und „passiert“ hat. Damit wählen die nächsten Ameisen mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit wieder diesen Weg aus und eine stärkere Diversifikation der Suche kann erreicht werden:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho') \cdot \tau_{ij}(t) + \rho' \cdot \Delta\tau_{ij}, \quad (9.7)$$

wobei ρ' der Bedingung $0 < \rho' < 1$ genügen muss. Zur Berechnung von $\Delta\tau_{ij}$ existieren die folgenden beiden Möglichkeiten:

$$\Delta\tau_{ij} = c \quad (9.8)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \varsigma \cdot \max_{l \in \mathcal{N}_i^k} \tau_{il} \quad (0 \leq \varsigma \leq 1). \quad (9.9)$$

Das ursprüngliche Ant Colony System verwendet Formel 9.8, wobei c der Ausgangswert der Pheromonmengen auf den Kanten ist. Bei Verwendung der Formel 9.9 wird dies mit *Ant-Q*²⁵ bezeichnet.

Diese Änderungen im Ant Colony System konnten die Lösungsqualität für bekannte kombinatorische Optimierungsprobleme im Vergleich zum Ant System erheblich verbessern.

²⁵Vgl. [Gam95].

9.2.1.3 Erweiterungen des Ant Colony Systems

Die erfolgreichsten Ant Algorithmen sind hybride Algorithmen. Bei diesen werden die von den Ameisen gefundenen Lösungen mit Hilfe von lokalen Suchverfahren (nach-)optimiert²⁶. Mit hybriden Algorithmen sind zum Teil neue beste Lösungen für bekannte Standardprobleme gefunden worden.

Den allgemeinen Rahmen für Ant Algorithmen stellt die Ant Colony Optimization Meta-Heuristik²⁷ dar. Durch Anpassung und Spezifikation kann diese auf viele unterschiedliche Probleme angewendet werden, die bestimmten Bedingungen²⁸ genügen müssen. In der Abbildung 9.10 wird die reine ACO Meta-Heuristik in Pseudocode-Notation wiedergegeben. Entsprechend der Eigenschaften von Meta-Heuristiken fehlen genaue Festlegungen und Berechnungsvorschriften.

```
1 while Not(termination_criterion_satisfied) do  
2     Manage_Ants_Activity();  
3     Evaporate_Pheromone();  
4     Daemon_Activities(); /* optional */  
5 od
```

Abbildung 9.10: ACO Meta-Heuristik

Der Algorithmus setzt sich aus den Teilen Lösungskonstruktion und Aktualisierung der Pheromonmengen zusammen. Dies wird solange durchgeführt, bis eine definierte Abbruchbedingung erreicht wird (z. B. Anzahl Iterationen, Lösungsqualität, usw.). Die Aktualisierung des Pheromons kann in der Meta-Heuristik auf zwei verschiedene Arten erfolgen: einerseits mit einem *Online Step-by-Step Pheromone Update*, womit die Aktualisierung des Pheromons Schritt für Schritt während der Lösungssuche gemeint ist, oder andererseits durch *Online Delayed Pheromone Update*. Dabei wird das Pheromon nach dem Generieren einer Lösung von der entsprechenden Ameise auf dem Rückweg (der Lösung) aktualisiert. Ein weiterer Teilprozess sorgt für die Verdunstung der Pheromone über die Zeit hinweg.

Optional können Daemon Activities eingesetzt werden, welche als Aktivitäten bzw. Eingriff von übergeordneter Stelle zu verstehen sind und nicht von den Ameisen selbst ausgeführt werden wie das Aufrufen einer lokalen

²⁶Siehe u. a. [Man94] und [Stu97].

²⁷Siehe [Dor99, S. 18].

²⁸Vgl. [Dor99, S. 14].

Optimierungsprozedur (*2-opt*) oder das Positionieren von Pheromonen durch Dritte (*Offline Pheromone Update*). Das Offline Pheromone Update bietet die Möglichkeit, die Lösungssuche der Ameisen zu steuern und auf der bislang besten gefundenen Lösung zusätzlich Pheromon zu platzieren.

Als vorteilhaft für die Lösungssuche und die Qualität der erreichten Ergebnisse (L_k) hat sich eine Begrenzung der Pheromonwerte sowohl nach oben als auch nach unten erwiesen. Hierbei handelt sich um das *MAX-MIN* Ant System, welches von *Stützle/Hoos* entwickelt wurde²⁹. Die Vorschrift 9.10 verdeutlicht die Restriktion für das Pheromon jeder Kante:

$$\tau_{min} < \tau_{ij} < \tau_{max}. \quad (9.10)$$

Über die Einführung der unteren Begrenzung τ_{min} des Pheromons wird verhindert, dass sich die Menge an Pheromon einer Kante dem Wert 0 nähert (durch ständige Evaporation) und damit in der Suche an Attraktivität einbüßt. Die obere Begrenzung τ_{max} hilft, die Dominanz bestimmter Kanten in der Lösungssuche zu senken und verhindert das Stagnieren in lokalen Optima.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Suche auf verschiedene Kolonien zu verteilen. Sinn einer solchen Unterteilung ist ebenfalls die Vermeidung von Stagnation. Ist die Lösungssuche hingegen auf verschiedene Kolonien verteilt, können andere Bereiche des Lösungsraums durch eine der anderen unabhängigen Kolonien durchsucht werden. Dafür sind in den einzelnen Kolonien auch unterschiedliche Pheromonmatrizen zu verwenden. Erst nachdem alle Kolonien Lösungen gefunden haben, werden die Ergebnisse zusammengeführt. Diese Möglichkeit benötigt allerdings zusätzlichen Rechenaufwand, der einer potenziell schnelleren Lösung des Problems entgegensteht³⁰.

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen TSP und JSP besteht darin, dass beim TSP allein die Minimierung der Weglänge im Vordergrund steht, wohingegen beim JSP die Technologie mit ihren Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen eine wesentlicher Problembestandteil ist. Das heißt, dass die Position einer Operation in einer Lösung (Permutation) eine hohe Bedeutung und somit einen signifikanten Einfluss auf die Lösungsqualität besitzt. Es ist somit nicht entscheidend, welche Operation einer anderen Operation folgt, sondern vielmehr die Einordnung in der gesamten generierten

²⁹Siehe [Stu00].

³⁰Dieses Argument verliert wegen der zunehmenden Leistungsfähigkeit der IuK-Technologien zunehmend an Bedeutung.

Reihenfolge unter Beachtung der Technologie. Aus diesem Grund wird anstatt einer *Operation–Operation–Pheromon–Matrix* eine *Position–Operation–Pheromon–Matrix*³¹ verwendet. Die Menge an Pheromon in einer Zelle gibt dann an, wie attraktiv es ist, eine Operation an dieser Position in der Lösung zu platzieren³².

In der Theorie hat die Ant Colony Optimization an einer großen Bandbreite von Problemen ihre Eignung demonstriert. So wurden bspw. gute Ergebnisse für Quadratic Assignment, Vehicle Routing und Graph Coloring Probleme gefunden.³³ Auch in der Praxis werden Probleme mit Hilfe der Ant Colony Optimization gelöst. Bspw. werden sie bei *British Telecom* zum Load Balancing und bei *InterNET* zum Routing in Paket-Netzwerken und zum Routing in optischen Hochgeschwindigkeitsnetzwerken eingesetzt. Allen praktischen Problemstellungen ist gemein, dass die Probleme eine große Anzahl Knoten aufweisen, diese fluktuierend sind und sich anderen Lösungsverfahren wie Genetische Algorithmen durch schwer handhabbare Restriktionen einer effizienten Modellierung entziehen.³⁴

9.2.2 Umsetzung der KPZ-Auswahl mit ACO

Die Anpassungen zur Lösung des hier zu diskutierenden Problems zur Auswahl der KPZ im KPZN beschränken sich auf wenige Punkte. Weitgehend wurden die Spezifikationen aus dem Ant Colony System³⁵ übernommen, da die Problemstellung grundsätzlich ähnlich dem ursprünglichen TSP ist. Zwei wesentliche Unterschiede bestehen jedoch. Dies betrifft zum einen die wahrscheinliche Attribuierung jedes Knotens durch mehrere KPZ mit jeweils mehreren Angeboten und zum anderen müssen nicht alle Knoten besucht werden. Es genügt, einen, bezüglich mehrerer Zielkriterien möglichst optimalen Weg von der Quelle zur Senke zu finden.

Eine der wichtigsten Annahmen ist die Vernachlässigung der Wege zwischen den KPZ. In den Arbeiten zum TSP gehen diese als Heuristikwert η_{ij} in die Berechnung ein. Die auch als Transportkosten interpretierbaren Kantenlängen zwischen den Knoten sind im KPZN in den KPZ-Angeboten innerhalb der Kosten schon enthalten. Aus diesem Grund repräsentiert η_{ij} nicht die Weglänge von KPZ zu KPZ, sondern gibt die Eignung des am

³¹Vgl. [Mer00].

³²Vgl. [Tei01s].

³³Vgl. [Dor99, S. 30].

³⁴Weitere Informationen zum Thema Ant Colony Optimization sind unter [Dor02] nachzulesen.

³⁵Vgl. Abschnitt 9.2.1.2

Ende der Kante liegenden KPZ-Angebots wieder. Dabei findet der für jedes KPZ-Angebot aus Zeiteinsparungspotenzial, Ähnlichkeit, Liefertermin, Lieferwahrscheinlichkeit und Kosten³⁶ errechnete AHP-Wert (Abschnitt 5.1.3.4) Verwendung. Der Heuristikwert jeder KPZ bleibt über die gesamte Suche konstant. Wegen des Zieles der Maximierung der AHP-Werte wird der Heuristikwert nicht aus dem Kehrwert, wie beim TSP (Minimierung der Wege), sondern gleich dem AHP-Wert gesetzt.

Somit ergibt sich als Entscheidungssituation für jede Ameise zunächst die Aufgabe, nach den oben beschriebenen Kriterien eine Kante zu wählen. Im nächsten Schritt erfolgt die Auswahl der KPZ, falls der Knoten, zu dem die gewählte Kante führt, durch mehrere KPZ attribuiert ist. Nachdem über das AHP-Verfahren eine geeignete KPZ ermittelt wurde, muss ein Wertetupel (Kapital 7) gewählt werden. Dabei ergibt sich durch die implizite Rückwärtsterminierung des Ausrollvorgangs und die bereits bekannten Termine aus dem Einrollvorgang der Bezug zur Zeitachse des Tupels. Entsprechend der Präferenz des Kunden nach Lieferwahrscheinlichkeit oder Kosten kann ein Lösungspunkt in der Tupelmengemenge markiert werden. Damit hat die Ameise den Knoten fixiert und kann iterieren.

Leitvariable der Suche bleibt der Pheromonwert τ_{ij} der Kanten (i, j) , der entsprechend den Aussagen in Abschnitt 9.2.1.2 ständig aktualisiert wird und letztendlich für die Verbesserung der Lösungen im Zeitverlauf verantwortlich ist. Ursache dafür ist die Abhängigkeit der Zielfunktionswerte L_k von den Lösungen Ψ_k . Ist eine Lösung qualitativ gut, d. h. L_k ist hoch, wird auf alle Kanten $(i, j) \in \Psi_k$ zusätzliches Pheromon $\Delta\tau$ hinterlegt. Damit erhöht sich die Attraktivität der Kanten für nachfolgende Iterationen. Ist die Qualität der gefundenen Gesamtlösung hingegen schlecht (L_k ist niedriger), wird nur wenig oder kein Pheromon auf die beteiligten Kanten verteilt. In die Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit nach Formel 9.1 gehen damit die Pheromonwerte τ_{ij} auf den Kanten (i, j) und die AHP-Werte der möglichen KPZ-Angebote $j \in \mathcal{N}_i^k$ ein.

Den angepassten Programmablauf als Pseudo-Code gibt Abbildung 9.11 wieder. Nach dem Aufbau der Problemstruktur³⁷, d. h. dem Einlesen des gerichteten Graphen aus der Datenbank des IMK, beginnt die Suche der Ants und wird so lange fortgeführt, bis die festgelegte Abbruchbedingung erreicht wird. Parameter m reguliert die Größe (Anzahl der Ameisen) einer Kolonie. Dieser ist in Abhängigkeit von der Problemgröße (bspw. Dispositionsstufen des Endprodukts) zu wählen.

³⁶Vgl. Abbildung 9.2.

³⁷Die Struktur des Problems resultiert aus dem Abgleich der NV und den AV bzgl. der

```

1 begin
2   Initialisierung(Problemstruktur,  $L_k^*$ );
3    $i = \text{Quelle}; M = \emptyset;$ 
4   while Not(Abbruchbedingung) do
5     for  $k := 0$  to  $m$  step 1 do
6       while  $(\mathcal{N}_i^k \neq \emptyset) \cap (i \neq \text{Senke})$  do
7         Random( $z$ );
8         if  $z \leq q$  then  $p_{ij}^k(t) = [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta;$ 
9           else  $p_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta};$ 
10        fi
11        bestimme( $j$ );
12        bestimme(Angebot der KPZ  $j$ ) :
13         $\Psi_k = \Psi_k \cup \text{KPZ}(\max(\text{AHP}(j)));$ 
14        / * localPheromonupdate * /
15         $\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho') \cdot \tau_{ij}(t) + \rho' \cdot \Delta\tau_{ij};$ 
16         $i := j;$ 
17      od
18    od
19    / * globalPheromonupdate * /
20     $\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \forall \tau_{ij};$ 
21    MAX - MIN - Regel  $\tau_{ij};$ 
22    bestimme( $L_k$ );
23     $M := M \cup \Psi_k : \Psi_k \text{ mit } L_k > \kappa \cdot L_k^* \quad 0 \leq \kappa \leq 1;$ 
24  od
25  for  $\forall k : \Psi_k \in M$  do
26    berechne( $E_{\Psi_k, \text{KPZ}} \quad \forall \text{KPZ} \in \Psi_k, K_{\Psi_k}$ );
27  od
28  entscheide( $\Psi_k^{\max} : \max(\text{AHP}(MK_k, SK_k))$ );
29 end

```

Abbildung 9.11: ACO zur Suche einer optimalen Herstellungsvariante aus einem attribuierten Prozessvariantenplan

Die Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit $p_{ij}^k(t)$ für alle alternativen Knoten j erfolgt durch die beiden Formeln 9.1 und 9.6 analog zu den Ausführungen in Abschnitt 9.2.1.2. Nachdem sich eine Ameise k für einen

Machbarkeit mittels ICIX. Vgl. hierzu Abschnitt 5.2.1.

Knoten j , eine attribuierte KPZ und ein spezielles Angebot entschieden hat, wird diese KPZ in die Lösung Ψ_k der aktuellen Ameise k übernommen. Ist eine Ameise in der Senke angekommen, kann anhand der Reihenfolge in Ψ_k der zugehörige temporäre Zielfunktionswert L_k aus Kosten, Zeiten und Lieferwahrscheinlichkeit berechnet werden.

Die Durchführung des lokalen Pheromonupdates erfolgt nach der Formel 9.7, das globale Pheromonupdate nach Formel 9.3. Die Pheromonwerte werden durch Schranken nach oben und unten begrenzt. Liegt der Pheromonwert einer Kante τ_{ij} über der Obergrenze τ_{max} bzw. unter der Untergrenze τ_{min} , wird der betroffene Wert entsprechend angepasst.

Da die Bestimmung der Exzentrizitäten $E_{\Psi_k, KPZ}$ und Konnektivitäten K_{Ψ_k} zusätzlichen Rechen- und Zeitaufwand erfordert, sollten nicht alle gefundenen Lösungen untersucht werden. Nur wenn die eben gefundene Lösung „hinreichend gut“ ist, wird diese in M gespeichert. Anhand des Zielfunktionswertes L_k kann die Qualität der Lösungen beurteilt werden. Dies geschieht in Abhängigkeit der besten bisher gefundenen Lösungen Ψ_k und deren Niveau des Zielfunktionswertes L_k . Für die Bestimmung der Schranke existieren verschiedene Möglichkeiten. Einerseits kann ein absoluter Wert festgelegt werden oder es wird ein Mindestniveau vom maximalen Zielfunktionswert verwendet. In dieser Arbeit wurde der zweite Ansatz gewählt. Es werden nur Lösungen Ψ_k in M übernommen, deren L_k mindestens $\kappa \cdot 100\%$ des maximalen Zielfunktionswertes L_k^* erreichen, mit:

$$M := M \cup \Psi_k : \Psi_k \text{ mit } L_k > \kappa \cdot L_k^* \quad 0 \leq \kappa \leq 1. \quad (9.11)$$

Nach Erreichen der Abbruchbedingung, wird die Suche der Ameisen einer Kolonie beendet und für die verbliebenen Lösungen werden im Anschluss jeweils die Exzentrizitätswerte ($E_{\Psi_k, KPZ}$) und der Konnektivitätswert (K_{Ψ_k}) mit Hilfe der Polyedralen Analyse³⁸ errechnet. Ziel ist, die gefundenen guten Lösungen hinsichtlich der Sozialkompetenz der beteiligten KPZ zu bewerten und Aussagen über die Qualität des „Zusammenspiels“ zu treffen. Die Größen der Methodenkompetenz (Zeiten, Kosten, Lieferwahrscheinlichkeit) und der Sozialkompetenz (Exzentrizität, Konnektivität) werden ebenfalls über AHP gewichtet ins Verhältnis gesetzt. Anhand dieser Bewertung erfolgt die endgültige Entscheidung für eine konkrete Herstellvariante und zugehöriger KPZ³⁹.

³⁸Vgl. Abschnitt 8.3.

³⁹Siehe für weiterführende Beschreibungen die Publikationen des Autors [Fis00, Tei01s, Tei01r, Vog01, Tei01t, Fis02, Tei02p, Tei02q].

9.3 Bewertung und Erfolgsverteilung

Die letzte in dieser Arbeit näher betrachtete Phase des KPZN ist die Bewertung der erbrachten Leistungen der KPZ und die Verteilung des Erfolges. Diese schließt sich unmittelbar der Phase der Durchführung an. Grundlage der Zuordnung des Erfolges sind die in den vorhergehenden Phasen gesammelten Informationen über die KPZ und ihr Beitrag zur Wertschöpfung. Die Beschaffung und Auswertung erfolgt mit Hilfe eines netzinternen Controllinginstrumentes, das letztendlich das objektive Vorgehen sicherstellt. In Abbildung 9.12 ist der Schritt der Bewertung im Netz innerhalb des Phasenmodells hervorgehoben.

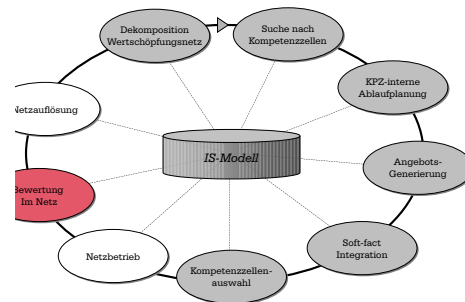


Abbildung 9.12: Phase „Bewertung“

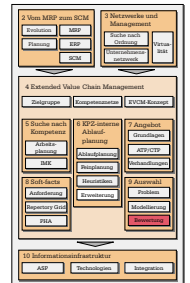
Innerhalb des Phasenmodells von KPZN wird an zwei Stellen eine Bewertung von KPZ notwendig, die sich aber in der Eigenart der verwendeten Informationen unterscheiden. So hatte im vorherigen Abschnitt die Bewertung von KPZ das Ziel, die Auswahlentscheidung zwischen Produktionsalternativen mit Hilfe der Angebotsinformationen zu unterstützen, welche als Zielvorgaben bzw. Sollwerte charakterisiert sind. Die Bewertung von KPZ nach der Durchführung eines Auftrages benutzt die Informationen (Istwerte), die im Wertschöpfungsprozess entstanden sind. Es ergibt sich die Aufgabe der objektiven Erfolgsverteilung in Form eines Soll-Ist-Vergleichs mit Plausibilitätsprüfung⁴⁰ unter Verwendung aller relevanten Informationen⁴¹.

9.3.1 Controlling zur Sicherung der Rationalität

Wie bereits in Kapitel 4 angedeutet, werden die Ausführungen zum Controlling in diesem Kapitel weitergeführt. Controlling hat zur Aufgabe, die Rationalität der Unternehmensführung – hier des Netzwerkmanagements – sicherzustellen. Diese Führung läuft idealtypisch in einem funktionalen Zyklus von Willensbildung, Willensdurchsetzung und Kontrolle ab und hat die

⁴⁰Mit Hilfe der Plausibilitätsprüfung werden die Gründe von Abweichungen untersucht, bevor eine Zuordnung erfolgt.

⁴¹Als Basis dieses Abschnitts dienen die Publikationen des Autors [Tei01n, Tei01p, Tei02r, Tei02t] sowie [Fis01], die in enger Kooperation mit dem Autor entstand.



Aufgabe, die adäquate Ausführung zu gewährleisten. Bei den verfolgten Zielen handelt es sich einerseits um solche des Netzwerkes und andererseits um Ziele der KPZ. Durch diese Zieldivergenzen⁴² ist potenzieller Opportunismus nicht auszuschließen und stellt somit eine Einschränkung des rationalen Netzwerkmanagements dar. Deshalb ist es notwendig, ein Rationalitätssicherndes Element innerhalb des Netzwerkes zu etablieren, das die potenziellen Defizite des Netzwerkmanagements zu reduzieren versucht. Dieses Element ist das Controlling⁴³, das die Rationalitätssicherung im Netzwerk zum Ziel hat.

Unter Rationalität des Netzwerkmanagements ist das effiziente und effektive Gestalten der Prozesse im Netzwerk zu verstehen. Um diesbezüglich Aussagen über die Güte treffen zu können, stellt sich die Frage nach der Messbarkeit von Erfolg im Netzwerk. Begründet in der Vielfalt der Ziele ist es kaum möglich, eine aggregierte Erfolgsgröße zu bilden, die sämtliche Facetten abbildet. Vielmehr ist es notwendig, über die direkten oder indirekten Zielinterdependenzen sich einer oder weniger Zielgrößen zu bedienen. Deshalb kommt der Ableitung und Orientierung an den wichtigsten Kenngrößen die wesentliche Bedeutung zu. Kenngrößen sind aggregierte Informationen, die den Sachverhalt so objektiv als möglich wiedergeben.

Die in diesem Abschnitt durchgeführten Überlegungen können nur einen kleinen Einblick in das Netzwerkcontrolling geben, da der volle Umfang dieser Thematik Diskussionsstoff innerhalb einer eigenständigen Arbeit ermöglicht. Aus diesem Grund werden nur einige spezifische Probleme aufgegriffen, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Außerdem steht weniger die Frage nach einer einzurichtenden Controllerstelle als Institution, sondern die funktionale Aufgabe des Controllings im Vordergrund. Von besonderer Bedeutung aus instrumenteller Sicht ist dabei die interne Auftragsvergabe, die Selbstkostenbestimmung, die auftragsübergreifende Erfolgsbewertung sowie die Überprüfung potenziell neuer Partnerunternehmen.

Eine Betrachtung der verschiedenen Controlling-Konzeptionen erfolgte bereits in Kapitel 4. Es sei noch einmal erwähnt, dass die hier geführten Überlegungen der planungs- und kontrollorientierten Perspektive zugrunde liegen. Ausgehend von der Einordnung des Phasenmodells von KPZN in das operative Netzwerkmanagement wird im Folgenden der Schwerpunkt auf die operativen Controllingaufgaben gelegt⁴⁴.

Ziel des operativen Netzwerkcontrollings ist die Unterstützung der Koordination

⁴²Vgl. Prinzipal-Agent-Theorie in Abschnitt 7.3.

⁴³Vgl. die einführenden Bemerkungen zum Controlling in Kapitel 4.

⁴⁴Für die Initiierung des Netzwerkes sind nichts desto trotz strategische Entscheidungen zu treffen, die aber außerhalb des Phasenmodells zu diskutieren sind.

on innerhalb der dargestellten Aufgaben. Das operative Netzwerkcontrolling umfasst das Unterstützen der gesamtsystembezogenen Koordination der auftragsorientierten Planung, Kontrolle und Informationsversorgung. Auf operativer Ebene müssen im Netzwerk eine Vielzahl von Einzelplänen der Partner aufeinander abgestimmt werden. Durch das Netzwerkmanagement soll ein störungsfreies Zusammenwirken der Beteiligten gewährleistet werden⁴⁵. Die daraus unmittelbar abgeleitete Aufgabe besteht im Sammeln, Verdichten und Verwerten von Informationen der einzelnen Teilnehmer bzw. im Transport der Informationen zwischen den Subsystemen.

9.3.2 Informationsbedarf und Notwendigkeit eines kostenorientierten Netzwerkcontrollings

Jede unternehmerische Entscheidung ist Folge einer Information. Die Richtigkeit der Entscheidung, sowohl inhaltlich als auch zeitlich, hängt von der Güte bzw. generell vom Vorhandensein einer Information ab. Deshalb sind Aufbau und Pflege eines aussagefähigen Informationssystems eine Hauptaufgabe des Controllings.

Anders als in hierarchischen Organisationsformen kann im hierarchielosen Netzwerk Koordination nicht über Handlungsanweisungen erreicht werden. Vielmehr besitzen die ausführenden KPZ weitestgehend Entscheidungs- und Handlungsautonomie innerhalb ihres Aktivitätenrahmens. Dies führt zu einer teilweise systemimmanenten Instabilität, da die beteiligten Unternehmen ihrem Eigeninteresse⁴⁶ mehr als dem des gesamten Netzwerkes nachgehen werden. Das bedeutet für die Planung und Kontrolle auf Netzwerkebene, dass die Informationen in Bezug auf Kosten, Termine und Qualität von KPZ bereitgestellt werden müssen.

Der Informationsbedarf als Herausforderung des Controllings umfasst die Menge derjenigen Informationen, die zur Erfüllung eines informationellen Interesses erforderlich sind⁴⁷. Eine Analyse des Informationsbedarfes ist unerlässlich, um eine Informationsüberflutung zu vermeiden und eine optimale Abstimmung von Planung, Steuerung und Kontrolle mit der Informationsversorgung zu erreichen. Dadurch kann Informationskonkruenz zwischen den Systemen erreicht werden.

Der Informationsbedarf kann unterschieden werden in⁴⁸:

⁴⁵Vgl. [Wal99, S. 9].

⁴⁶Vgl. Prinzipal-Agent-Theorie in Abschnitt 7.3.

⁴⁷Vgl. [Ber92, S. 873].

⁴⁸Vgl. [Krc00, S. 38].

objektiven Informationsbedarf, der für die Aufgabenstellung notwendig ist und

subjektiven Informationsbedarf, der aus der Perspektive des handelnden Individuums (Entscheidungsträger) definiert ist und auch als „Bedürfnis“ bezeichnet werden kann.

Analysiert werden soll an dieser Stelle nur der objektive Informationsbedarf. Die folgende Informationsbedarfsanalyse beschränkt sich damit auf eine Informationsversorgung, die dem Bewältigen bzw. Lösen von Entscheidungsproblemen dient, die regelmäßig wiederkehren und gut zu strukturieren und zu standardisieren sind⁴⁹.

In Anlehnung an *Küpper*⁵⁰ und *Veil*⁵¹ können folgende Merkmale des Informationsbedarfes genannt werden:

Funktion: Eine Information kann der Planung, der Steuerung oder der Kontrolle dienen.

Zweck: Die Information wird für eine konkrete zu lösende Aufgabe benötigt.

Gegenstand: Mittels der Information wird ein Objekt mit den Ausprägungen „Teilleistung“ oder „Gesamtleistung“ beschrieben.

Umfang: Gemeint ist hier der Umfang der benötigten Kosten, d. h. Teilkosten oder Vollkosten.

Zeitbezug: Die zeitliche Ausrichtung auf die Zukunft oder Vergangenheit und die Relevanz von Ist-, Soll- oder Plangrößen wird beschrieben.

Im Folgenden werden entsprechend der Aufgaben die Informationsbedarfe auf der operativen Ebene abgeleitet und in konzentrierter Form dargestellt⁵².

Vor der Konfiguration des konkreten Auftrages im Netzwerk ist es notwendig, den Erfolg abzuschätzen, um eine Entscheidung bezüglich der Annahme eines Auftrages zu treffen. Der Erfolg eines Auftrages lässt sich nicht ausschließlich auf die Größen Gewinn und Deckungsbeitrag reduzieren. Eine kosten- und

⁴⁹Eine Standardisierung ist im Hinblick auf die Senkung der Transaktionskostenproblematik notwendig.

⁵⁰Vgl. [Kü01].

⁵¹Vgl. [Vei99, S. 17 ff.].

⁵²In Anlehnung an [Vei99, S. 18 ff.].

erlösabhängige Zielsetzung steht aber nicht konträr zum Ziel des Netzwerkes und soll vereinfachend angenommen werden⁵³. Somit ist der Erfolg mit Hilfe von Kosten und Erlösen abgeschätzbar⁵⁴. Ein Auftrag wird damit angenommen, wenn ein positiver Gewinn oder Deckungsbeitrag erwartet wird. Außerdem stellen Kosten eine allgemein verständliche, interpretierbare und anerkannte Information dar, die das Kommunizieren erleichtert⁵⁵.

Zu den zu berücksichtigenden Kosten gehören die primären Kosten wie Material- und Fertigungskosten und zusätzlich Koordinationskosten, die auf Netzwerkebene anfallen. Dazu zählen sämtliche IT-Infrastrukturkosten, Marketingkosten für das Netzwerk oder die Betriebskosten der zusätzlichen IuK-Technologien. Alle Leistungen müssen über den internen Markt vergütet werden, um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Solche Koordinationskosten sind in „herkömmlichen“ Organisationsstrukturen den Fixkosten zugeordnet. Im Unternehmensnetzwerk sind sie „variabler“ durch die bessere Beeinflussbarkeit ihrer Höhe. Den größten Einfluss dabei hat die Anzahl der beteiligten Partner. Mit ihrem Anstieg steigen die Koordinationskosten i. d. R. überproportional. Koordinierungskosten sind für das Management in Netzwerken von entscheidender Bedeutung⁵⁶.

Für die Entscheidung der Auftragsannahme können die Gesamtkosten im Netzwerk oder die variablen Kosten benutzt werden. Die variablen Kosten sollen als Preisuntergrenze oder Mindestdeckungsbeitrag verstanden werden. Liegt ein Preis höher als die variablen Kosten, so trägt der Auftrag zur Deckung von Fixkosten in der KPZ bei. Steht ein Partner oder das Netzwerk vor der Wahl zweier Aufträge, so sind den variablen Kosten die Opportunitätskosten hinzuzufügen. Bevor festgelegt werden kann, welche Teilleistung von welchem Partner zu übernehmen ist, werden die von den KPZ kalkulierten Kosten bzw. Preise als Entscheidungskriterium benötigt⁵⁷. Nach der Informationsgewinnung für die Teilleistungen schließt sich die Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten, einen Auftrag im Netzwerk zu fertigen, an. Zur Bewertung können die ermittelten Kosten und dokumentierten Soft-facts aus vorherigen Aufträgen herangezogen werden.

Nach der Auswahl der Partner erfolgt die Planung, Steuerung und Kontrolle des konkreten Auftrages. Geeignete Planungs- und Steuerungsinstrumente sind Budgets und Verrechnungspreise. Für die Deckung der Ausgaben sind Informationen über alle Kosten im Netzwerk notwendig. Diese können in

⁵³Vgl. [Wir99, S.28 ff.].

⁵⁴Vgl. [Wal99, S. 19].

⁵⁵Vgl. [Ott01, S. 80 ff.].

⁵⁶Vgl. [Wal99, S. 10].

⁵⁷Vgl. [Wil97, S. 419].

Form von Gesamtkosten, variablen Kosten, Fixkosten oder direkt aus den Kostenrechnungen der KPZ in Form von Einzelkosten oder Gemeinkosten auftreten. Desweiteren sind die Budgets für die Koordinierungskosten im Netzwerk zu ermitteln.

Über die Konfiguration des Netzwerkes entstehen Pläne, in denen auch die kalkulierten Kosten und Termine enthalten sind. Ziel des Netzwerkmanagements ist, im Verlauf der Leistungserstellung eine permanente Kontrolle in Form eines Soll-Ist-Vergleiches durchzuführen, um bei Abweichungen Gegenmaßnahmen treffen zu können. Grundsätzlich gibt es zwei Formen der Kontrolle: die Vorgehens- bzw. Verfahrenskontrolle sowie die Ergebniskontrolle⁵⁸. Geschuldet dem Gedanken der Hierarchielosigkeit und der Organisationsstruktur selbstständiger Leistungseinheiten ist das Durchführen von Vorgehenskontrollen schwierig bis unmöglich. Deshalb kann nur eine netzwerkbezogene Ergebniskontrolle umgesetzt werden, bspw. in Form eines Monitoring-Werkzeuges. Innerhalb der Leistungseinheiten muss notwendigerweise eine Selbstkontrolle eigenverantwortlich durchgeführt werden.

Nach Beendigung eines Auftrages ist die Verteilung des Gewinns bzw. des Verlustes notwendig. Da die Lösung dieser Aufgabe nach dem Verursachungsprinzip erfolgen muss⁵⁹, finden die Ist-Kosten, Termine, Qualitäten aber auch die Soft-facts aus den vorherigen Phasen Verwendung. Nur durch die Betrachtung aller Informationen kann die Plausibilität der Gewinn-/Verlustverteilung gewährleistet werden. Zu den Kosten im Netzwerk sind ebenso die Koordinierungskosten zu zählen, sofern diese nicht schon über gewisse Jahresbeiträge der Netzwerkteilnehmer abgedeckt sind⁶⁰.

Aus dem Bedarf an Kosteninformationen innerhalb der einzelnen Phasen wird die Bedeutung der Kostenrechnung für die Funktion auftragsebenenbezogene Entscheidungen vorzubereiten und zu kontrollieren, d. h. entscheidungsrelevante Informationen bereitzustellen, offensichtlich. Bezogen auf Kostengrößen sind diejenigen Kosteninformationen relevant, die bei der Realisierung einer Handlungsalternative zusätzlich entstehen würden bzw. die entfielen oder nicht entstünden, wenn eine Handlung nicht durchgeführt wird⁶¹.

Aus den geschilderten Gründen erscheint es deshalb sinnvoll, im KPZN von einem kostenorientierten Netzwerkcontrolling zu sprechen, um gleichzeitig eine Abgrenzung zum Controlling in traditionellen Unternehmen zu schaffen.

⁵⁸Vgl. [Hor94, S. 164 f.].

⁵⁹Vgl. [Rie00, S. 409].

⁶⁰Siehe hierzu Abschnitt 9.3.5.

⁶¹Vgl. [Rie00, S. 409].

9.3.3 Kosten- und Leistungsrechnung innerhalb des Controllings

Innerhalb des Controllings sind das Rechnungswesen und die Unternehmensplanung (hier Netzwerkplanung) die wichtigsten Aufgabengebiete. Beim Aufbau eines Netzwerkcontrollings kann davon ausgegangen werden, dass in jeder beteiligten KPZ zumindest ein externes Rechnungswesen existiert und dieses zur Planung eingesetzt wird. Unter Rechnungswesen ist folgendes zu verstehen⁶²:

Rechnungswesen: Das Rechnungswesen eines Unternehmens erfasst systematisch alle (mengenmäßigen) Güterbewegungen und damit zusammenhängende sowie darüber hinausgehende geldliche (=wertmäßige) Veränderungen.

Die aus Belegen resultierenden Informationen werden verdichtet, eventuell umbewertet und unterschiedlichen Objekten, bspw. Abteilungen, zugeordnet. Es wird in Informationen für den unternehmensinternen Informationsbedarf zur Unterstützung des betrieblichen Entscheidungs- und Realisierungsprozesses (Planung, Steuerung und Kontrolle)⁶³ und Informationen für den unternehmensexternen Informationsbedarf, der in gesetzlichen Vorschriften (Jahresabschluss) vorgeschrieben ist oder der Selbstdarstellung des Unternehmens dient, unterschieden. Hierzu gehören die Finanzbuchhaltung und die verbundenen Nebenbuchhaltungen.

Für das Controlling steht das interne Rechnungswesen und die Überwachung der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Das wichtigste innerbetriebliche Informationssystem ist die Kosten- und Leistungsrechnung. Die Eingangsdaten werden über Anpassungen aus der Finanzbuchhaltung gewonnen.

Kosten- und Leistungsrechnung (KLR): Die Kosten- und Leistungsrechnung bildet den betrieblichen Leistungserstellungsprozess wertmäßig ab. Dies kann auf der Basis bereits realisierter oder geplanter Kosten erfolgen. Außerdem stellt sie ein Instrument der operativen Informationsversorgung dar. Die wichtigste Aufgabe ist das Fundieren betrieblicher Entscheidungen unterschiedlichster Art (bspw. Auftragsannahme, Investition)⁶⁴.

⁶²[Hor00, S. 41].

⁶³Dieses interne Rechnungswesen beinhaltet die Kosten- und Leistungsrechnung, Planungs- und Investitionsrechnungen und betriebliche Statistiken.

⁶⁴Vgl. [Hor00, S. 48].

Die KLR ist ein zweckorientiertes Informationsinstrument und dient dem Abbilden, Dokumentieren, Planen, Steuern, Kontrollieren und Motivieren⁶⁵. Eine Dreiteilung erfolgt entsprechend dem Informationsziel.

Die *Kostenartenrechnung (KAR)* bildet den Ausgangspunkt der KLR. Sie erfasst systematisch sämtliche bei der Erstellung und Verwertung betrieblicher Leistung anfallenden Kosten. Beachtung finden dabei nur primäre Kosten, d. h. Kosten, die für außerhalb des Unternehmens beschaffte Güter anfallen wie Materialkosten, Abschreibungen oder Löhne und Gehälter. Die Bestimmung der Kostenarten erfolgt entsprechend dem Informationsbedürfnis und der Wirtschaftlichkeit im Unternehmen. Mit steigender Differenzierung steigt sowohl der Informationswert, als auch der Erfassungsaufwand⁶⁶. Bei der Weiterverrechnung ist in Einzel- und Gemeinkosten zu unterscheiden. Einzelkosten sind dem Kostenträger direkt zuordenbar. Gemeinkosten werden erst in der Kostenstellenrechnung verrechnet. Weiterhin kann nach dem Verhalten bei einer Veränderung der Beschäftigung in Fixkosten (unabhängig von der Ausbringungsmenge) oder in variable Kosten (direkt abhängig von der Ausbringungsmenge) unterschieden werden.

Bei der *Kostenstellenrechnung (KSR)* stellt sich die Frage nach dem Ort der Kostenentstehung. Die primären Kostenarten werden als Gemeinkosten in den Kostenstellen erfasst. Die KSR dient dann der Verrechnung der innerbetrieblichen Leistungen (sekundäre Kosten) und der Umlage der Gemeinkosten auf die Kostenträger. Die Verrechnung erfolgt durch die Entlastung der abgebenden Kostenstelle und der Belastung der empfangenden Kostenstelle. Am Ende verbleiben Endkostenstellen, deren Kosten (Gemeinkosten) den Kostenträgern über Zuschlags- oder Verrechnungsätze zugerechnet werden.

Die *Kostenträgerrechnung (KTR)* bildet die letzte Stufe der Verrechnung und gibt Auskunft, für welches Produkt (Kostenträger) die Kosten angefallen sind. Diese Rechnung kann als Stück- oder Periodenrechnung erfolgen. Die Kostenträgerstückrechnung ermittelt die Kosten der Halb- und Fertigprodukte (Kalkulation). Es lassen sich Herstell- oder Selbstkosten errechnen, die wichtige Informationen für die Preisbestimmung darstellen. Die Kostenträgerzeitrechnung erfasst sämtliche angefallenen Kosten einer Periode (bspw. Monat oder Jahr) und differenziert nach den Kostenträgern. Durch Einbeziehung der jeweils angefallenen Umsatzerlöse kann innerhalb der kurzfristigen Erfolgsrechnung das Betriebsergebnis (Erfolg) bestimmt werden.

⁶⁵Mehr zum Zweck der KLR in [Kü97b, S.109 f.].

⁶⁶So können die Kosten grob in Personalkosten (innerhalb dieser in Lohnkosten mit Löhnen und Lohnnebenkosten und Gehaltskosten mit Gehältern und Gehaltsnebenkosten), Stoffkosten (Materialkosten, Energiekosten), Anlagenkosten, Kapitalkosten oder sonstigen Kosten aufgeteilt werden.

Die Eigenschaft von Kosten, als anerkanntes Informationsinstrument zu gelten und in entsprechenden Systemen der KPZ vorhanden zu sein, führt zur Notwendigkeit eines stark auf Kosten fokussierten operativen Netzwerkcontrollings⁶⁷.

9.3.4 Anforderungen an eine Netzwerkkostenrechnung

Besondere Herausforderungen für das Controlling in Netzwerken ergeben sich durch die verteilte Leistungserstellung, die flexible und prozessorientierte Konfiguration und hohe Autonomie der beteiligten KPZ.

Für das effektive und effiziente Betreiben eines Netzwerkes besteht die Notwendigkeit, ein KPZ-verbindendes und -übergreifendes Kostenrechnungssystem zu integrieren. Im KPZN stellt der IMK eine neutrale Controlling-Instanz mit zugehöriger Kostenrechnung zur Verfügung. Der Bedarf einer übergreifenden Kostenrechnung resultiert aus dem Zusammenspiel und den Interdependenzen der drei Netzwerkelemente: die KPZ als Kompetenzgeber, das gesamte Netzwerk (KPZN) als Basis für die KPZ-übergreifende Wertschöpfung und die Netzwerkumgebung als Lebensraum und exogene Variable des Netzwerkes⁶⁸.

Ausgehend von Beweggründen einer Mitgliedschaft von KMU in einem regionalen Netzwerk ergeben sich erste Anforderungen an die Kostenrechnung. Die geringere Kapitaldecke im Vergleich zu Konzernen bildet einen Engpass sowohl bei den Kapazitäten, als auch bei den benötigten Kompetenzen. Als Folge dessen erleiden KPZ bei großen, margestarken Aufträgen einen gravierenden Wettbewerbsnachteil. Dem gegenüber stehen nicht ausgeschöpfte Kapazitäten, die durch Kopplung mit komplementären Kernkompetenzen im Netzwerk einen zusätzlichen Deckungsbeitrag erwarten lassen und zu Kostenvorteilen gegenüber der einzeln auf dem Markt agierenden KPZ führen. Durch den Eintritt in das Netzwerk sollen Investitions- und Kostenvorteile durch einen geringeren Initialaufwand generiert werden. Als Konsequenz daraus sind KPZ mit konkurrierenden und komplementären Kompetenzen in das Netzwerk aufzunehmen. Für die schnelle Antwortgenerierung mit entsprechenden Kostenaussagen ist eine Automatisierung notwendig.

Ein weiterer Aspekt ist die rechtliche Selbstständigkeit und Entscheidungsfreiheit der KPZ über die Art der Kostenermittlung und Bekanntgabe vertraulicher Kosteninformationen. Die Gewährleistung der Sicherheit der vertraulichen betriebsinternen Daten der Teilnehmer auch gegenüber von Part-

⁶⁷Vgl. [Seu01, S. 101 f.].

⁶⁸Vgl. [Sch99h, S. 84].

nen im Netzwerk ist Voraussetzung für den erfolgreichen Aufbau des Produktionsnetzes. Weiterhin kann nicht davon ausgegangen werden, dass sämtliche Kosteninformationen zur Verfügung gestellt werden. In die Kostenrechnung sind Verfahren zu implementieren, die trotz der fehlenden Daten Aussagen über Kosten eines Auftrages im Netzwerk liefern. Begründet in der Zielgruppe KMU sind keine betrieblichen Standardsoftwaresysteme vom Umfang einer SAP-Lösung zu erwarten. Vielmehr sind verschiedene Systeme mit unterschiedlichsten Rechnungssystemen zusammenzuführen. Neben reinen Kostenfaktoren sind weitere Aspekte wie Qualität der Leistungen, Zuverlässigkeit (Terminreue, Einhaltung der Kosten) oder Know-how für das erfolgreiche Bestehen am Markt notwendig⁶⁹.

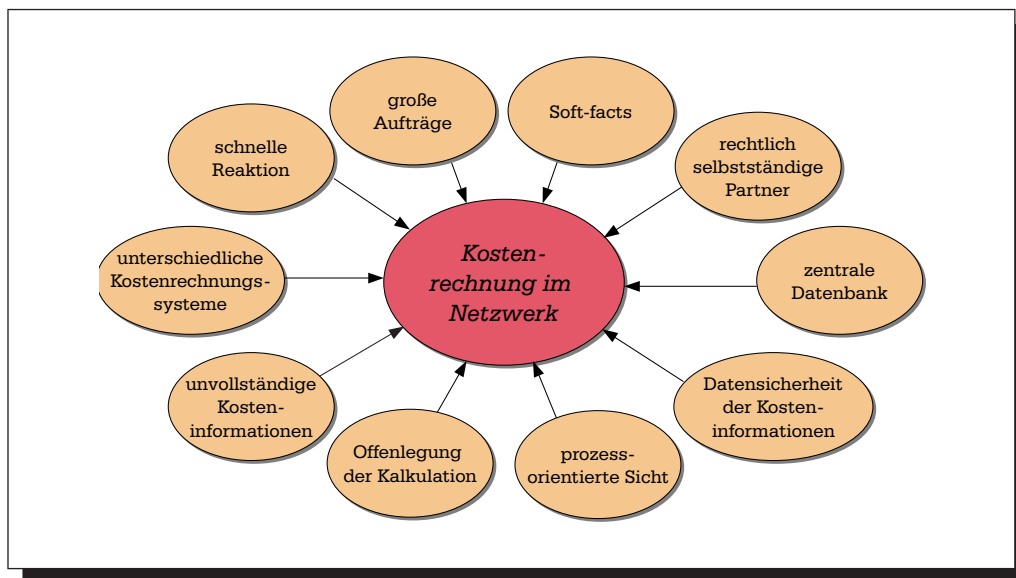


Abbildung 9.13: Anforderungen an die Netzwerkkostenrechnung

Aus Sicht des Netzwerk-Managements ergeben sich ebenfalls Anforderungen für eine Kostenrechnung (Abbildung 9.13)⁷⁰. Ausgangspunkt ist der arbeitsteilige, räumlich getrennte und auf die Kundenbedürfnisse abgestimmte Wertschöpfungsprozess im Netzwerk. Sinnvoll erscheint hier eine prozessorientierte und nicht verrichtungs- oder funktionsorientierte Betrachtung. Die unterschiedlichen Kosten sind entsprechend ihrer organisatorischen Zuordnung der Netzwerkebene oder KPZ-Ebene zuzuordnen. So kann der Individualität der Kostenrechnungen der Netzwerkpartner Rechnung getragen

⁶⁹Vgl. [Hes99b, S. 364].

⁷⁰Vgl. [Sch00f, S. 259].

werden. Damit eng verbunden ist die Gemeinkostenproblematik auf Netzwerkebene und ihre Integration in die Kostenrechnung. Für das Zustandekommen marktfähiger Leistungen ist eine Konkurrenz zwischen den KPZ erforderlich. So werden die KPZ adäquate Preise für ihre Leistung verlangen und nicht Informationsvorteile gegenüber dem Netzwerk nutzen⁷¹. Besteht diese Konkurrenz zwischen KPZ nicht, sollte die Möglichkeit der Offenlegung von Kalkulationsgrundlagen in Erwägung gezogen werden, um einem opportunistischen Verhalten einzelner KPZ entgegenzuwirken.

9.3.5 Kosten im Netzwerk

Für die Erreichung der angestrebten Kundeneffizienz und damit der Wettbewerbsfähigkeit des Netzwerkes ist eine detaillierte Analyse der Kosten erforderlich⁷². Die Anforderungen an die Netzwerkkostenrechnung⁷³ implizieren unterschiedliche Betrachtungsebenen im Netzwerk. Kosten im Netzwerk können einerseits auftragsneutral (unabhängig von einem Auftrag) und andererseits auftragsbezogen sein. Die auftragsneutralen Kosten können als relativ fix und als Gemeinkosten des Netzwerkes angesehen werden, da diese Leistungen zum Betrieb des Netzwerkes notwendig, aber nicht direkt einem konkreten Auftrag zuordenbar sind. Die auftragsbezogenen Kosten werden wiederum in sekundäre und primäre Kosten eingeteilt. Die sekundären Kosten sind als Gemeinkosten des Auftrages zu verstehen, während die primären Kosten aus den Teilleistungen der KPZ resultieren. Die Kompetenzen der KPZ als solche können aber nicht für die Zuordnung herangezogen werden. Vielmehr muss ein direkter Bezug zum konkreten Auftrag bestehen. Die Kosten einer KPZ, die sowohl auftragsunabhängig als auch auftragsbezogen Leistungen anbietet, sind innerhalb der KPZ entsprechend zu spalten (siehe Abbildung 9.14).

Wie oben festgestellt, sind die *auftragsneutralen Kosten* die Gemeinkosten des Netzwerkes, welche auch als Koordinierungs- und Planungskosten auf strategischer Netzwerkebene gesehen werden können. Derartige Kosten entstehen bspw. im Aufbau, Betrieb und Wartung der IT-Infrastruktur, der KPZ-Verwaltung und dem Netzwerkmarketing. *Auftragsbezogene Kosten* sind direkt den Aufträgen zuordenbare Kosten. Diese unterscheiden sich bezüglich der Tragweite der angebotenen Kompetenz im Netzwerk und sind einerseits die sekundären (koordinierenden) Kompetenzen und andererseits die primären (direkt in das Endprodukt eingehenden) Kompetenzen. Beispiele für sekundäre

⁷¹Vgl. Principal-Agency-Theory in [Hes99b, S. 357] und Abschnitt 7.3.

⁷²Siehe [Vei00, S. 3].

⁷³Vgl. Abschnitt 9.3.4.

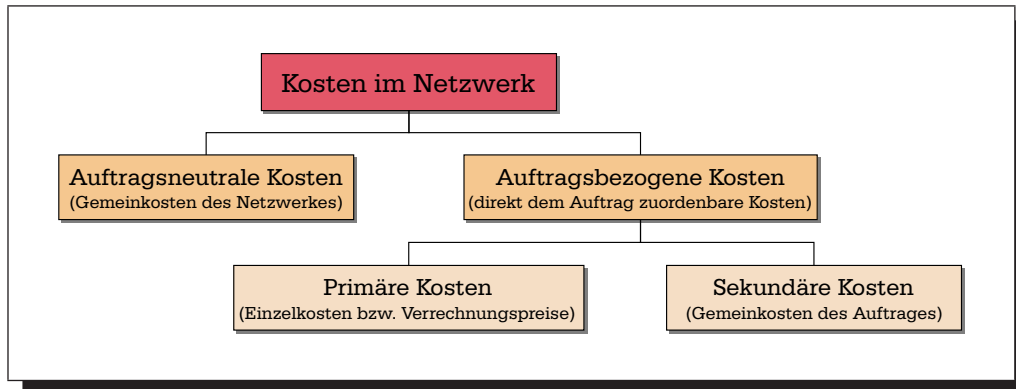


Abbildung 9.14: Kosten im Netzwerk

Kosten sind der IT-Betrieb, die Akquise und Verhandlungen mit dem Endkunden. Zu den primären Kosten zählen die Verrechnungspreise und die Logistikkosten für den Transport zwischen den KPZ.

9.3.6 Verrechnungspreise und Budgets

Innerhalb des Netzwerkcontrollings stellen Verrechnungspreise und Budgets geeignete Planungs- und Steuerungsinstrumente dar⁷⁴.

Budgets bieten sich insbesondere für auftragsneutrale Dienstleistungen wie IT-Betrieb oder Marketing an. Der Grund besteht in der begrenzten Möglichkeit, die detaillierte Kostenstruktur dieser Dienstleistungen zu erlangen. So sind Budgets oft die einzige Möglichkeit, übergeordnete Bereiche und deren Aufwand in einem vertretbaren Aufwand zu planen. Als Hilfsmittel der Budgetierung sind vereinbarte Stundensätze denkbar. Die Vorgabe der Budgets erfolgt in Anlehnung an Ausschreibungen für die betreffenden Leistungen. Aus diesen sind dann für das Netzwerk periodische Budgets für alle relevanten Bereiche zu bilden.

Verrechnungspreise (VP) stellen ein weiteres Steuerungsinstrument der Koordination im Netzwerk dar. Resultierend aus der arbeitsteiligen Leistungserstellung ergeben sich Leistungsverflechtungen, die in Form von netzwerkinternen Werten zum Erfassen des Austausches von Gütern und Leistungen erforderlich sind. Diese Werte können als VP im Netzwerk angesehen werden, welche mit innerbetrieblichen Verrechnungssätzen vergleichbar sind⁷⁵.

⁷⁴Vgl. [Vei99, S. 24 f.].

⁷⁵Vgl. [Coe83, S. 423 ff.].

Synonym zum Begriff der VP werden Verrechnungswerte, Transfer-, Lenk-, Knappheits- oder Bereichsabgabepreise verwendet. Die Motivation, VP im Netzwerk zu benutzen, leitet sich aus den Hauptfunktionen Lenkung, Erfolg und Abrechnung/Planung ab⁷⁶.

VP der Teilleistungen geben den wertmäßigen Anteil an der Gesamtleistung wieder. VP sind die Preise der Teilleistungen, die von den KPZ (Leistungsgebern) dem Netzwerk zur Auftragskalkulation angeboten und in der Auflösungsphase in Rechnung gestellt werden. Jede KPZ stellt dem Netzwerk entsprechend einer konkreten Anfrage bzw. eines konkreten Auftrages VP zur Verfügung. Grundsätzlich ist hier die Angabe von Vollkosten oder Teilkosten möglich. Die genaue Zusammensetzung der VP hängt aber stark von der Entscheidung der KPZ ab, interne Daten bekannt zu geben, und wird deshalb in Abschnitt 9.3.7.1 näher betrachtet.

Für VP sind verschiedene Wertansätze wie marktpreisorientierte oder kostenorientierte denkbar. Da aus marktpreisorientierten VP ein hoher Ermittlungsaufwand resultiert und keine Transparenz der Marktpreise gegeben ist, werden kostenorientierte VP herangezogen. Ihre Ermittlung ist einfacher, und sie können direkt aus dem Informationssystem der KPZ gewonnen werden. VP können auf Voll- oder variablen Kosten mit möglichen Gewinnaufschlägen oder Opportunitätskostenaufschlägen basieren⁷⁷.

9.3.7 Kostenrechnung im Netzwerk

Im Rahmen der Unternehmensrechnungen gibt es eine Reihe von Verfahren und Methoden für einzelne Unternehmen. Als Konzeptionsgrenze der etablierten Kostenrechnung ist fast ausschließlich das Unternehmen festzustellen. Ein Grund für die Fixierung der Kostenrechnung auf eine selbstständige Einheit kann in der Abhängigkeit der Kostenrechnung von der Finanzbuchhaltung gesehen werden. In Anlehnung an *Veil*⁷⁸ soll unter Netzwerkkostenrechnung folgendes verstanden werden.

Netzwerkkostenrechnung (NW-KLR): Unter einer NW-KLR wird im Weiteren ein netzwerkweites, operatives Instrument der Informationsversorgung verstanden. Sie erfüllt die Aufgabe, das Netzwerkmanagement über auftragsbezogene und auftragsneutrale Kosten des gesamten Netzwerkes zu informieren. Dabei ist in Ermitteln und Auswerten zu unterscheiden.

⁷⁶Mehr zu den Funktionen in [Büh99, S. 194 f.], [Coe83, S. 524 ff.].

⁷⁷Mehr zu VP in [Coe83].

⁷⁸Vgl. [Veil99, S. 32].

Beim Aufbau einer NW-KLR gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Einerseits besteht die Möglichkeit, ein eigenständiges, partnerunabhängiges Kostenrechnungssystem aufzubauen. Dafür wäre allerdings ein umfassender Zugriff auf die Finanzbuchhaltung der einzelnen Partner notwendig und käme einer Offenlegung der sensiblen Informationen gleich. Kosteninterdependenzen und Berechnungsmethoden der KPZ wären außerdem für eine eigenständige KAR, KSR und KTR notwendig. Eine zentrale Kostenrechnung aller mit sämtlichen Kostendetails ist somit nicht umsetzbar.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Dezentralisierung. Voraussetzung dafür sind entsprechende Kostenrechnungssysteme bei den KPZ. Das Aufbereiten und Auswerten der Partnerinformationen obliegt danach dem Netzwerk. Diese Organisationsform der NW-KLR erfolgt in Anlehnung an die Gestaltung der Konzernkostenrechnung⁷⁹. Das Vorgehen kann als dezentrales Beschaffen und zentrales Auswerten und Aufbereiten der Kosteninformationen verstanden werden. Für das Netzwerkcontrolling besteht die Aufgabe, die Trennung von Informationsentstehung und Informationsverwendung und die daraus entstehenden Inkonsistenzen zu entflechten. Abbildung 9.15⁸⁰ verdeutlicht den Informationsfluss im Netzwerk bzgl. der Kosten.

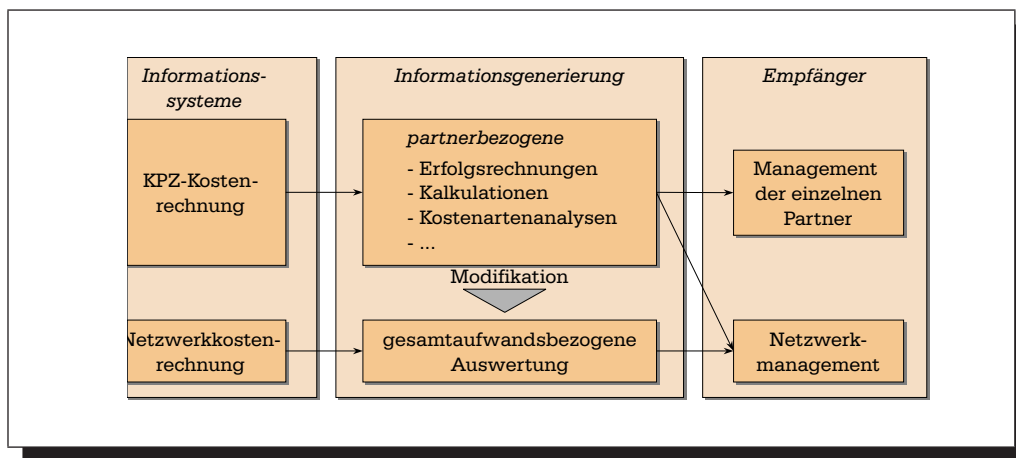


Abbildung 9.15: Kosteninformationsfluss im Netzwerk

Das Erfassen der auftragsbezogenen Kosten für die jeweiligen Teilleistungen erfolgt von den leistungserstellenden KPZ selbst. Dies beinhaltet die KAR, KSR und KTR. Das Bezugsobjekt der KTR auf KPZ-Ebene ist die Teillei-

⁷⁹Mehr zur Konzernkostenrechnung in [Wul95].

⁸⁰In Anlehnung an [Vei99].

stung. Die so gewonnenen Informationen werden in Form von Verrechnungspreisen vom Netzwerk übernommen.

Damit im Netzwerk Aussagen über die Gesamtleistung, also den Auftrag, getroffen werden können, ist eine KTR mit dem Bezugsobjekt Auftrag auf Netzwerkebene aufzubauen. Sie dient der Auftragskalkulation und der Wirtschaftlichkeitskontrolle. Für das Auswerten der Kosteninformationen sind damit verschiedene Rechnungen (Abbildung 9.16) zu implementieren.

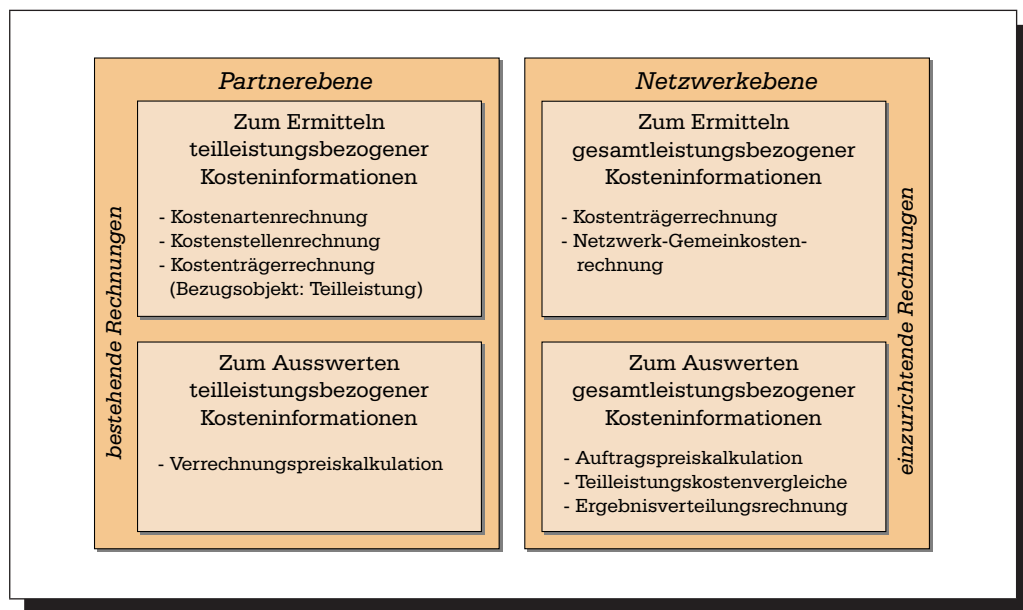


Abbildung 9.16: Rechnungen im Netzwerk

9.3.7.1 Verfahren für die Auftragskalkulation

Eine der wichtigsten Rechnungen ist die Auftragskalkulation, da diese zu Beginn jeder Kooperation zur Angebotserstellung notwendig wird. Die Kalkulation ist auch die Voraussetzung der anderen Auswertungsrechnungen. Deshalb werden im Folgenden drei Verfahren der Auftragskalkulation diskutiert. Das additive Verfahren, die Primärkostenrechnung und die Konsolidierungsrechnung entstammen der Konzernkostenrechnung und werden in Anlehnung an *Wullenkord*⁸¹ beschrieben.

⁸¹Vgl. [Wul95, S. 224 ff.].

Additionsverfahren: Die wohl einfachste Methode der Auftragskalkulation stellt die Additionskalkulation dar. Bei dieser Methode werden die Kosten der Teilleistungen (VP im Netzwerk) summiert. Voraussetzung dafür ist das Fehlen jeglichen Leistungsaustausches zwischen den KPZ. Bei Leistungsverflechtungen innerhalb eines Auftrages zwischen den KPZ liefert diese Methode durch Doppelerfassung von Kosten falsche Ergebnisse. Diese Doppelerfassung ergibt sich, da bei einer Leistungsverflechtung die Kosten der vorgelagerten KPZ in der Wertschöpfungskette als Einzelkosten der nachgelagerten KPZ erfasst werden und damit im Preis dieser KPZ mit enthalten sind. Die additive Methode kann also nur eingesetzt werden, wenn keine Leistungsverflechtung vorhanden ist oder nur der VP der letzten KPZ angesetzt wird⁸².

Primärkostenverfahren: Die Leistungsverflechtungen innerhalb des Netzwerkes führen nicht nur zur Doppelzählung, sondern können auch die Kostenstrukturen verfälschen. Für eine liefernde KPZ besteht der VP aus primären und sekundären Kosten plus Gewinnzuschlag. Bei der abnehmenden KPZ geht dieser VP nur als primäre Kostenposition ein. Somit werden aus sekundären Kosten der vorgelagerten KPZ Primärkosten, d. h. fixe Kosten der vorgelagerten KPZ werden zu variablen der nachgelagerten KPZ. Aus Netzwerksicht ist aber gerade die Kostenzusammensetzung interessant, da erst hierdurch Aussagen zu Preisuntergrenzen für Angebote möglich sind. Der Rückgriff auf unmodifizierte Kosteninformationen würde zu Fehlentscheidungen führen. Das Ziel der Primärkostenrechnung besteht also darin, die Kostenstrukturen im Netzwerk korrekt abzubilden. Die Primärkostenrechnung gliedert die Selbstkosten von Kostenträgern (hier Netzwerkauftrag) auf. Primäre Kosten fallen für alle außerhalb des Netzwerkes bezogenen Leistungen an und sekundäre demgegenüber für Leistungen innerhalb des Netzwerkes. Die Genauigkeit der so gewonnenen Kostenstruktur ist allerdings auch mit einem höheren Aufwand der Informationsgenerierung und Auswertung verbunden. Außerdem sind als Voraussetzungen für die Anwendung einheitliche Kostenkategorien aller KPZ zu nennen.

Konsolidierungsrechnung: Für das Beseitigen der Mehrfacherfassung von Kosten kommt in Konzernen die Konsolidierungsrechnung zum Einsatz. Diese Rechnung fasst die Rechnungssysteme der Konzernunternehmen (hier im übertragenen Sinne die KPZ) zusammen und beseitigt alle konzerninternen Kosten- und Erlöswirkungen. Die im Netzwerk betrachteten Kosten enthalten zusätzlich den Gewinnzuschlag. Bei der

⁸²Dies hat allerdings wenig gemein mit einer Addition.

Konsolidierung subtrahiert die KPZ die gesamten Kosten für empfangene Teilleistungen, die innerhalb des Netzwerkes geliefert wurden. Im Konzern wird die Konsolidierung von dem Unternehmen mit Marktzugang durchgeführt, also dem Unternehmen, das an letzter Stelle der Wertschöpfungskette innerhalb des Konzerns steht. Im Netzwerk kann dies von jeder KPZ durchgeführt werden. Damit ist unmittelbar die Nettowertschöpfung der KPZ ersichtlich.

9.3.7.2 Netzwerk-Gemeinkosten

Die im Abschnitt 9.3.5 beschriebenen auftragsneutralen Kosten sind als Gemeinkosten des Netzwerkbetriebes zu behandeln. Da derartige Kosten in der Regel schon vor konkreten Aufträgen entstehen und Unsicherheit in Bezug auf künftige Entwicklungen herrscht, ist es nicht sinnvoll, diese über Zuschlagsätze innerhalb der Auftragskalkulation einzubeziehen. Vor dem Hintergrund der prozessorientierten Herangehensweise im Produktionsnetzwerk ist außerdem die Plausibilität von Zuschlagsätzen zu hinterfragen. So sind bei stark wechselndem Produktionsprogramm, wie im Netzwerk, starre Zuschlagsätze und die Implikation fester Relationen zwischen Einzelkosten und Gemeinkosten nicht vorzufinden und führen zu falschen Kostenaussagen und Entscheidungen⁸³. Aus diesem Grund wird die Finanzierung über Budgets favorisiert.

Die Höhe der Budgets ist mittels Ausschreibungen zu ermitteln. Bei den Angeboten der KPZ ist auf die prozessuale Abhängigkeit zu achten, d. h. die KPZ müssen die Kosten für die Durchführung eines Arbeitsauftrags kalkulieren. Für die IT-Wartung bspw. sind die Kosten für ein Back-up zu ermitteln, Mit Hilfe der voraussichtlichen Häufigkeit des Arbeitsauftrages innerhalb einer Periode ist dann das Budget für Back-ups zu errechnen. Kostentreiber wäre in diesem Beispiel die Anzahl der Back-ups. Für andere leistungsmengeninduzierenden Prozesse⁸⁴ ergeben sich bspw. folgende Kostentreiber: für den IT-Bereich die Anzahl der Schnittstellenanpassungen oder Anzahl der Updates und für die KPZ-Verwaltung die Anzahl der Pflegemaßnahmen in der Kompetenzdatenbank des IMK wie Neuaufnahme oder Eliminierung von KPZ.

Um Kosteneffizienz zu erreichen, sollten Angebote von mehreren KPZ eingeholt werden. Insbesondere um monopolistisches Verhalten von KPZ entgegenzuwirken und vor dem Hintergrund einer kontinuierlichen und dauerhaften Leistungserbringung (der Netzwerkaufgaben) könnte zusätzlich die

⁸³Vgl. [Hor99], [Coo84, S. 78].

⁸⁴Vgl. zur Prozesskostenrechnung [Coe83, S. 193ff.].

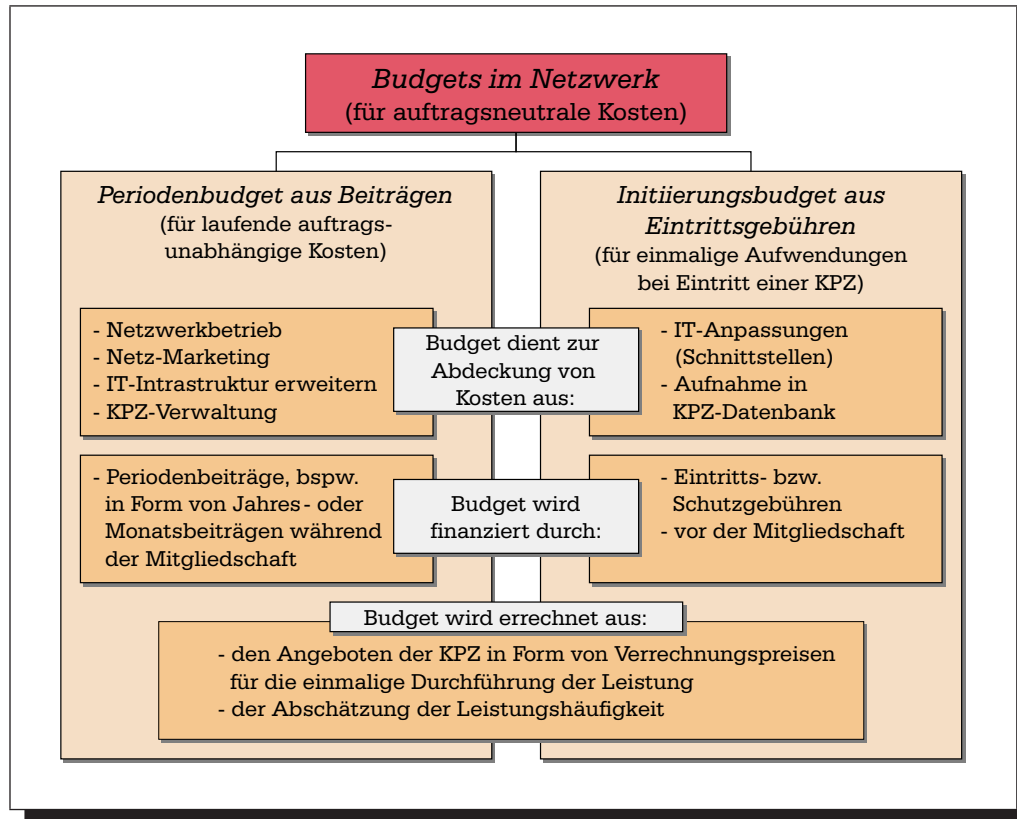


Abbildung 9.17: Netzwerkgemeinkosten finanziert über Budgets

Offenlegung der Kalkulationsgrundlagen sinnvoll sein. Die so ermittelten Budgets der Netzwerkgemeinkosten werden über Jahres- oder Mitgliedsbeiträge finanziert. Ferner sind die zuordenbaren Anpassungsmaßnahmen, bspw. für Softwareschnittstellen in Form von Mitglieds- oder Schutzgebühren bei Eintritt einer KPZ in das Netzwerk zu erheben. Für den Ausbau und die Entwicklung des Netzwerkes, Rückstellungen für zukünftige Gewährleistungsansprüche oder die Verteilung des Überschusses auf die KPZ, kann ergänzend ein Zuschlag auf den kalkulierten Auftragpreis addiert werden.

9.3.7.3 Auftragskalkulation

Die Abbildung der detaillierten Kostenstruktur des im Netzwerk gefertigten Erzeugnisses in Form einer herkömmlichen Kostenrechnung (Zuschlagskalkulation, Bezugsgrößenkalkulation, Prozesskostenrechnung) bei Unternehmen ist, wie weiter oben festgestellt, nicht möglich. Der Grund liegt in den feh-

lenden Informationen auf Netzwerkebene bezüglich der Kostenarten und der Kostenklassifikationen jeder einzelnen KPZ. Außerdem wird eine KPZ nur bei bestehendem Eigeninteresse bereit sein, die eigenen Kostendetails dem Netzwerk zu offenbaren. Aus diesem Grund werden zwei mögliche Methoden der Kosteninformationsgewinnung und anschließender Kalkulation vorgestellt. Diese unterscheiden sich in Bezug auf die an das Netzwerk gelieferte Informationsmenge. Damit eng verbunden ist die Aussagefähigkeit zur Kostenstruktur eines Produktes und die Möglichkeit der Verhandlung mit dem potenziellen Auftraggeber.

Wird lediglich der VP einer KPZ an das Netzwerk innerhalb des Ausrollprozesses⁸⁵ übermittelt, so stellt dies das mögliche Minimum an Kosteninformationen dar. Dabei wird der Angebotspreis einer KPZ (VP im Netzwerk) in kumulierter Form direkt an die nachfragenden KPZ weitergegeben und geht dort direkt in die Kalkulation ein. Damit erfolgt die Kalkulation auf KPZ-Ebene mit dem Angebotspreis (VP) der vorgelagerten KPZ in der Wertschöpfungskette. Diesem sind dann noch die eigenen Material- und Fertigungskosten, die Gemeinkosten und der Gewinnzuschlag hinzuzufügen. Am Ende dieses Vorganges erhält das Netzwerk von der letzten KPZ in der Wertschöpfungskette den Angebotspreis.

Neben der Weitergabe an die nachgelagerte KPZ erhält das Kostenrechnungsmodul im IMK ebenfalls den VP jeder KPZ mit ID und vorgelagerter KPZ. Damit kann die Wertschöpfung der KPZ eindeutig bestimmt werden. Da nur kumulierte Verrechnungspreise weitergegeben werden, kann keine detaillierte Kostenstruktur des Produktes im Netz erstellt werden. Aus den gewonnenen Informationen besteht lediglich die Möglichkeit, den Anteil der KPZ-Wertschöpfung innerhalb des Produktes zu ermitteln. Der Aufbau der Kostenstruktur und die Kosteninformationsgewinnung erfolgen dezentral in den KPZ.

Um den Verhandlungsspielraum mit dem Auftraggeber zu vergrößern ist es notwendig, Preisuntergrenzen – meist die variablen Kosten – der einzelnen KPZ zu kennen. Somit besteht die Möglichkeit, mit dem potenziellen Auftraggeber zu verhandeln. Dies gestaltet sich insofern schwierig, da mit der Bekanntgabe von Kosteninformationen die entsprechende KPZ Teile ihrer internen Kostenstruktur offen legt. Weil KPZ auch außerhalb des Netzwerkes ihre Leistung anbieten und Partner im Netzwerk gleichzeitig Konkurrenten auf dem freien Markt sein können, kann es zu Wettbewerbsverzerrungen kommen. Außerdem würde keine KPZ aus Selbstschutz einer nachgelagerten KPZ ihre Preisuntergrenze mitteilen, da diese dann nur mit der Preisuntergrenze

⁸⁵Vgl. Abschnitt 9.3.6.

weiter kalkuliert und sich einen Vorteil verschafft.

Um dieses Problem zu beseitigen, erfolgt die Bekanntgabe der Preisuntergrenzen nur an den zentralen IMK. Die KPZ ihrerseits benutzen für die Kalkulation die oben beschriebenen VP der vorgelagerten KPZ. Dieses Vorgehen setzt allerdings Vertrauen in das Informationssystem des Netzwerkes und in den Umgang mit sensiblen Daten voraus. Möglichkeiten der Verschlüsselung der Datenbank und Zugangsmechanismen sind dafür zu implementieren. Die Entscheidung zur Bekanntgabe der Preisuntergrenze trifft jede KPZ selbst und bestimmt damit gleichzeitig ihre Chancen den Zuschlag zu erhalten. Die Kosteninformationsgewinnung erfolgt dezentral in den KPZ. Mit Hilfe der zusätzlichen Preisuntergrenzen der KPZ ist der Aufbau einer detaillierteren Kostenstruktur zentral möglich. Im günstigsten Fall geben alle KPZ ihre Preisuntergrenzen bekannt und fördern ein Höchstmaß an Kostentransparenz im Netzwerk.

Für die eindeutige Zuordnung der Kosten zu den KPZ und zu den mit KPZ attribuierten PVP⁸⁶ ist es notwendig, die im Prozess vorgelagerten und nachfolgenden KPZ im IMK mit zu speichern. Über diese Vorgänger-Nachfolger-Beziehung in Verbindung mit den Verrechnungspreisen können die Wertschöpfungsanteile der einzelnen KPZ ermittelt werden.

9.3.7.4 Kalkulationsschema

Mit dem Ziel, Aussagen über die Kostenzusammensetzung des Erzeugnisses und dem aggregierten Angebotspreis in Abhängigkeit eines bestimmten Liefertermins zu treffen, können die vorher ermittelten Kosten zusammen mit den zuordenbaren Logistikkosten aggregiert werden. Im Ergebnis entstehen für alle möglichen KPZ-attribuierten PVP die Angebotspreise (sofern diese veröffentlicht wurden) und Termine, bezogen auf die primären Leistungen.

Ausgangspunkt für die Kalkulation sind die Kosteninformationen der KPZ, die mit Hilfe des EVCM-Konzeptes generiert wurden. In der Kalkulation werden anschließend die sekundären Kosten hinzugefügt. Abhängig von vorher festgelegten Vereinbarungen sind noch Aufschläge für die akquirierende KPZ, Gewährleistungsrückstellungen und eventuell ein Netzwerkgewinn zu addieren. Mit den Ergebnissen dieser Rechnungen können dem Kunden verschiedene Alternativen in Bezug auf Kosten, Termine und Technologien angeboten werden. Durch die Entscheidung des Kunden für eine Variante kann anschließend das Netzwerk entsprechend aktiviert werden.

⁸⁶Vgl. Abschnitt 9.2.

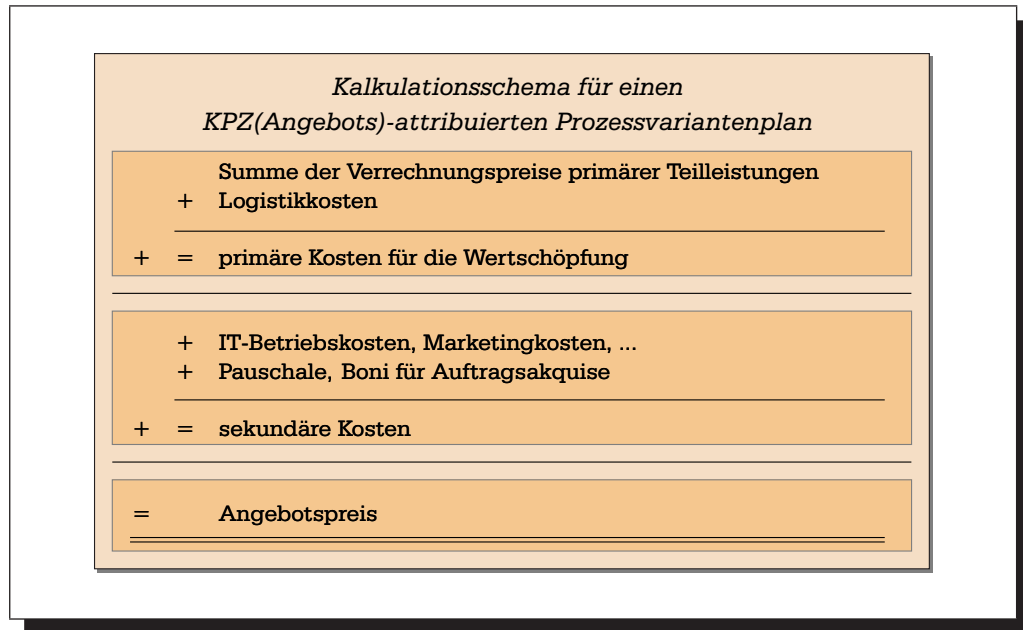


Abbildung 9.18: Kalkulationsschema eines KPZ-attribuierten PVP

9.3.7.5 Erfolgsverteilungsrechnung

Ist der Kundenauftrag erfüllt, schließt sich die Rechnungslegung der KPZ mit den entstandenen Ist-Kosten an das Netzwerk an. Dieses fakturiert mit dem Auftraggeber den Gesamtpreis. Sind die Ist-Kosten größer als der Angebotspreis oder kommt es zu Vertragsstrafen wegen Terminverzug oder Qualitätsmängeln und zur Senkung des Gesamtpreises, ist dieser Einnahmeverlust im Netzwerk entsprechend der Verursachung zu verteilen. Dazu werden die Prozessinformationen, die in Form des Monitorings innerhalb der Durchführung im IMK gesammelt wurden, verwendet. Zusätzlich erfolgt von den jeweils nachgelagerten KPZ eine Bewertung der liefernden KPZ hinsichtlich der Soft-facts. Diese Informationen finden auch Anwendung bei Gewährleistungsansprüchen oder späteren Aufträgen. Begründet in der Vorgehensweise bei der Ermittlung der VP im Netzwerk sind im Normalfall die Gewinne der KPZ in diesen schon enthalten. Aus diesem Grund erfolgt keine Verteilung eines möglichen Gewinnes an diese KPZ. Die KPZ erhalten die Ist-VP, soweit sie nicht gekürzt wurden. Kann hingegen ein Auftrag nur durch Verwendung variabler Kosten (Preisuntergrenzen) einer oder mehrerer KPZ eingeworben werden, ist der Überschuss (Gewinn) nach Begleichung der anderen Verbindlichkeiten (VP bzw. variable Kosten, Bonus für Akquise, Rück-

stellungen/Gewinnrücklagen soweit vereinbart) auf die KPZ zu verteilen, bei denen lediglich die variablen Kosten angesetzt wurden. Die Gewinnrücklagen (sofern gebildet) können am Jahresende aufgelöst und auf die KPZ entsprechend ihrer Beteiligung verteilt werden. Eine andere Möglichkeit besteht in der Senkung der Jahresbeiträge.

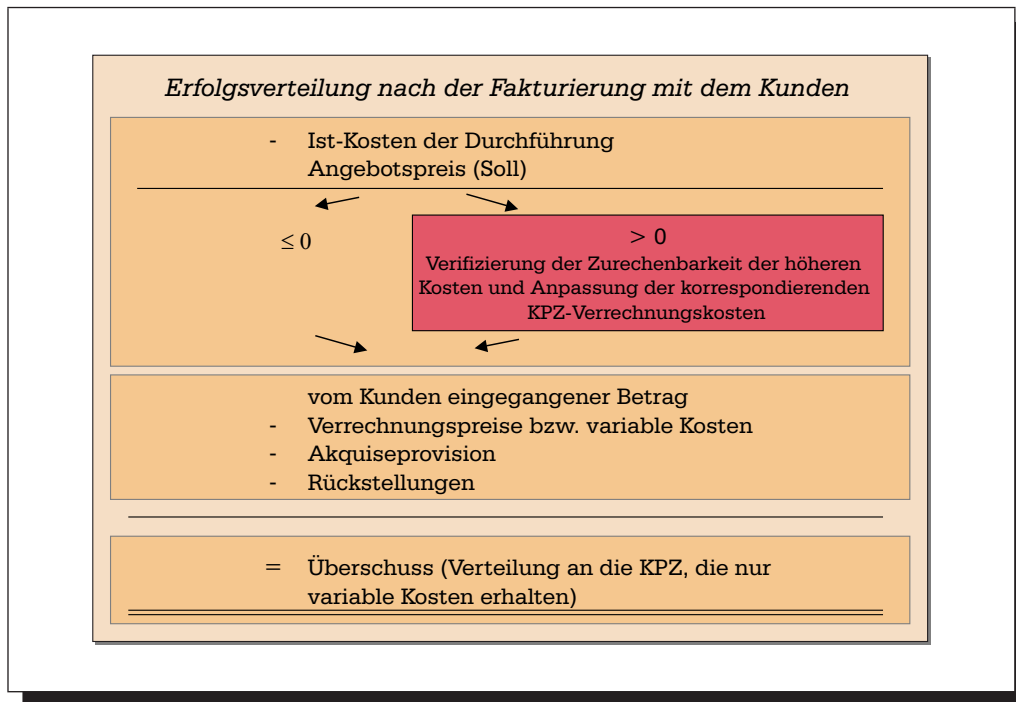


Abbildung 9.19: Ergebnisverteilungsschema im Netzwerk

9.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel bildet den Abschluss zum Phasenmodell des EVCM. Den zentralen Teil aus logistischer Sicht stellt hierbei die Auswahl der endgültigen Prozessalternative bei gleichzeitiger Zuordnung der Kompetenzzellen mit entsprechendem Angebot pro Netzwerkknoten dar. Nach der Beschreibung des Optimierungsproblems erfolgte die Auswahl der Methode. Hierbei standen neben klassischen Verfahren zahlreiche iterative Verbesserungsverfahren zur Auswahl, die in der Vergangenheit für ähnlich komplizierte, aber inhaltlich differente Sachverhalte eingesetzt wurden. Nach umfangreichen Analysen der

Problemstellung und der resultierenden Implikationen für das Optimierungsmodell fiel die Entscheidung zugunsten der Ant Colony Optimization. Die folgende Modellierung, Implementierung und zahlreiche Tests bestätigten die erhoffte Effizienz des Verfahrens für die Festlegung der endgültigen KPZN.

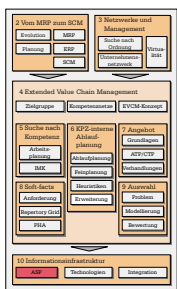
Der Abschnitt zur Bewertung und Erfolgsverteilung stellt grundlegende Aspekte und Konzepte des Controllings sowie der Kosten- und Leistungsrechnung in Bezug auf die Erfordernisse des Produktionsnetzwerkes vor. Die Erkenntnisse wurden vorwiegend aus der Literatur gewonnen und mit den aufgeworfenen Problemstellungen innerhalb des KPZN assoziiert. Anhand dieser erfolgte eine erste Ableitung möglicher Konzepte zur Lösung dieser Probleme. Dieser Abschnitt stellt den jüngsten Teil der Forschungsarbeiten zum KPZN dar und weist interdisziplinär auf logistikfremde Schnittstellen hin. In der nahen Zukunft werden im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 457 diese Arbeiten von Kollegen weiter geführt, die eine größere Kompetenz und Affinität in Bezug auf das Rechnungswesen besitzen. Es erscheint aus Sicht des Autors zwingend notwendig, diese funktionale Trennung von Controlling und Logistik beizubehalten.

Im abschließenden Kapitel soll letztlich noch die Frage nach den am besten geeigneten Informationstechnologien zur Umsetzung der EVCM-Philosophie beantwortet werden. Dieses Kapitel wird der vorliegenden Arbeit durch die Beschreibung des möglichen Übergangs vom Fachkonzept zum DV-Konzept⁸⁷ die notwendige Abrundung verleihen. An diesem Punkt terminiert die betriebswirtschaftliche Beschreibung des logistikorientierten EVCM-Konzeptes.

⁸⁷Siehe [Sch95a, S. 17].

cettenreichtum des Application Service Providing (ASP)–Konzeptes vorge stellt, denn wird allen potenziellen KPZ über einen ASP die Möglichkeit geboten, eine gemeinsame Softwarebasis zur effizienten Arbeit im Netzwerk zu nutzen, kann dadurch die Mitwirkung innerhalb eines KPZN motiviert werden. Mit diesem Konzept soll u. a. dem Anfangsinvestitionsvolumen einer derartigen Systemarchitektur entgegengewirkt und die Beseitigung von Medienbrüchen vorangetrieben werden. Zweitens erfolgt die Vorstellung einer möglichen Realisierung des ASP–Konzeptes unter Benutzung zukunftswei sender Software–Technologien. Drittens wird an zwei Beispielen die bereits vollzogene Integration in eine vorhandene ERP/SCM–Welt dargestellt.

Eine vollständige Beschreibung der realisierten Arbeiten¹ zum Informationsinfrastrukturkonzept würde zum einen den Umfang dieses Kapitels sprengen und zum anderen den Schwerpunkt des Managementkonzeptes in Richtung eines IT–Konzeptes verschieben. Dies wäre nicht im Sinne der vorliegenden Arbeit.



10.1 Application Service Providing

Betriebliche Standard–Software und den Umgang mit ihr zu vereinfachen ist seit den Anfängen der elektronischen Datenverarbeitung eines der Hauptziele der Entwickler. Ständig wurden im Verlauf der Geschichte der IT neue Verfahren und Vorgehensweisen, Alternativen und Modelle vorgestellt. So ist die Schwellen–Technologie der nächsten Jahre, das Konzept des ASP, die Konsequenz einer rasanten Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte.

10.1.1 Historie

Ausgangspunkt der Entwicklung hin zum dezentralen Internet waren die so genannten Mainframes bzw. Großrechner². Mit deren Einführung Mitte der 60er Jahre begann das Zeitalter der elektronischen Informationsverarbeitung.

¹Die Umsetzung des Konzeptes war Themenschwerpunkt im vom Autor geleiteten Arbeitskreis *Logistische Informationssysteme*. In diesem Zusammenhang entstanden zahlreiche eigene Publikation [Tei01i, Tei01q, Tei02c, Tei02i, Tei02a] und ergänzende Diplomarbeiten [Sch00e, Bre01c, Sie01, Wen02, Vog02], die in enger Zusammenarbeit mit dem Autor und unter Benutzung des von ihm zur Verfügung gestellten Wissens in Form von teilweise nicht publizierten Konzepten entstanden. Die folgenden Abschnitte entlehnen aus den genannten Publikationen die wichtigsten Aspekte und bringen diese in ihren inhaltlichen Zusammenhang.

²Vgl. [Han97, S. 514] oder [Zil93, S. 961].

Ermöglicht durch die Entwicklung des Mikroprozessors im Jahr 1969 durch die *Intel Corp.* entstand Mitte der 70er Jahre ein neuer Typ Rechner: der Personal Computer oder kurz PC, der als so genanntes *Stand-Alone-System* eingesetzt werden konnte, einzelplatzorientiert war, und dessen Architektur (Prozessor, Speicher, Schnittstellen) standardisiert wurde. In den frühen 80er Jahren setzte sich dieser gegenüber den Zentralrechnern durch. Viele Software-Entwickler konzentrierten sich auf diese neuen Systeme.

Ende der 80er Jahre begann der Trend zur Dezentralisierung. Es entwickelte sich die *Client-/Server-Architektur*³. Durch die zunehmende Standardisierung der Vernetzung (Ethernet⁴ und Local Area Network (LAN)⁵) wurde diese Entwicklung forciert. Ein Client-/Server-System wird als kooperative Informationsverarbeitung bezeichnet, bei dem heterogene Computersysteme (bzgl. Hard- und Software) zusammenarbeiten können. Client und Server nehmen dabei unterschiedliche Aufgaben wahr. Client-Prozesse fordern Leistungen vom Server an, sind also Besteller. Der Begriff Client kann zwei Bedeutungen haben: zum einen ein Programm, welches von einem anderen Programm Dienstleistungen in Anspruch nimmt und zum anderen ein Rechner, der von einem anderen Rechner Dienste anfordert. Server-Prozesse hingegen liefern Dienste. Für die Übertragung der Daten entstand eine Vielzahl von Netzwerktopologien⁶ und Netzwerkprotokollen.

Anfangs dienten die Netze der reinen Datenübertragung zwischen Client und Server. Im Laufe der Zeit entwickelten sich die Anforderungen weiter und es entstanden verschiedene Dienste wie Applikations-Server, Datenbank-Server und Transaktions-Server. Durch die Einbindung von Großrechnern in das Client-/Server-Netzwerk entwickelten sich komplexe IT-Infrastrukturen innerhalb der Unternehmen, durch welche der Aufwand zur Wartung und Instandhaltung dieser Systeme erheblich stieg. Ein effizientes IT-Infrastrukturmanagement wurde für die Firmen unerlässlich. Dies hatte seine Ursachen auch darin, dass bei zahlreichen Unternehmen eine Vielzahl von Herstellern als Lieferanten für Hard- und Software vertreten waren. Unterschiedliche Produkte verschiedener Hersteller zu harmonisieren, stellte eine enorme Herausforderung für die betroffenen Unternehmen dar.

Prägend für den Anfang der 90er Jahre war die explosionsartige Verbreitung des Internets, dessen Ursprünge in einem Projekt (*ARPANet*) des Militärs der USA zu Beginn der 60er Jahre liegen. Ziel dieses Projektes war die Ent-

³Siehe [Gip97, S. 147 f.] oder [Thi98b].

⁴Siehe [Hal97, S. 302].

⁵Siehe [Det99].

⁶Struktur der physikalischen Verbindungen zwischen den Knoten eines Netzes, z. B.: Baum-, Bus- oder Ringstruktur.

wicklung eines Rechnernetzwerkes, welches auch nach einem Teilausfall funktionsfähig blieb. Somit entstand das erste Netzwerk mit dezentraler Struktur, welches eine paketorientierte Datenübermittlung (TCP/IP-Protokoll) verwendete. Freigegeben für öffentliche Interessen, vergrößerte sich der Umfang der Nutzer und der Nutzung sehr schnell. Durch die zunehmende Verschmelzung von Informations- und Kommunikationstechnologien wurde das Internet mit der grundlegenden Sprache HTML⁷ mehr und mehr auch für Unternehmen interessant. Entwicklungen wie der grafische Informationsdienst WWW⁸ und der Web-Browser⁹ spielten eine wichtige Rolle, da die Kommunikation mit anderen Internetnutzern, die Nutzung von Informationsangeboten und die Möglichkeit der Publikation eigener Informationen über das Internet wesentlich vereinfacht wurden.

Nachdem im Jahre 1998 die ersten Browser Java-fähig¹⁰ wurden, konnten die mit Java entwickelten Programme (sog. Java-Applets¹¹) über das Internet von jedem Rechner ausgeführt werden. Durch die neue Möglichkeit der Nutzung von Anwendungen entwickelten sich die *Thin Clients*¹². Mit dieser minimalen Ausstattung werden die Administration und die Wartung wesentlich vereinfacht. Die verwendeten Programme und Daten werden nicht auf dem Thin Client installiert und verwaltet, sondern auf einem Server im Netzwerk¹³.

Neue Entwicklungen deuten darauf hin, dass in den kommenden Jahren die Thin Clients um die sog. *Embedded Devices* (Geräte mit verschiedenen integrierten Funktionen wie E-Mail und Browser) erweitert werden. Geräte dieser Art können Mobiltelefone oder PDA sein, welche über einen integrierten Browser Anwendungen von einem Server nutzen. In Abbildung 10.2¹⁴ ist die Entwicklung zusammenfassend illustriert.

ASP knüpft an diese Entwicklung an. Es ist keine neue Idee¹⁵, Software über ein Netz zu nutzen, stellt aber im Umfeld betrieblicher Standardsoftware,

⁷Siehe [Nie00].

⁸Siehe [Now97, S. 974].

⁹Netscape Navigator, Internet Explorer und Opera.

¹⁰SUN Microsystems begann Anwendungen speziell auf die Anforderungen des Internet anzupassen und zu entwickeln. 1995 wurde die objektorientierte Programmiersprache Java vorgestellt, welche einen vom Betriebssystem unabhängigen Programmablauf ermöglichte. Siehe [Sch97a, S. 1008 ff.].

¹¹Applikationen, die auf Interaktionen reagieren und in HTML-Seiten eingebunden werden können.

¹²Thin Clients besitzen nur die nötigste Hard- und Software.

¹³Siehe [Win00b, S. 765].

¹⁴Darstellung in Anlehnung an [Sou01, S. 4].

¹⁵Email-Anbieter wie *GMX* (<http://www.gmx.de>) oder Suchdienste-Anbieter wie *Yahoo* (<http://www.yahoo.com>) werden bereits seit Jahren über das Internet genutzt. Dabei kam

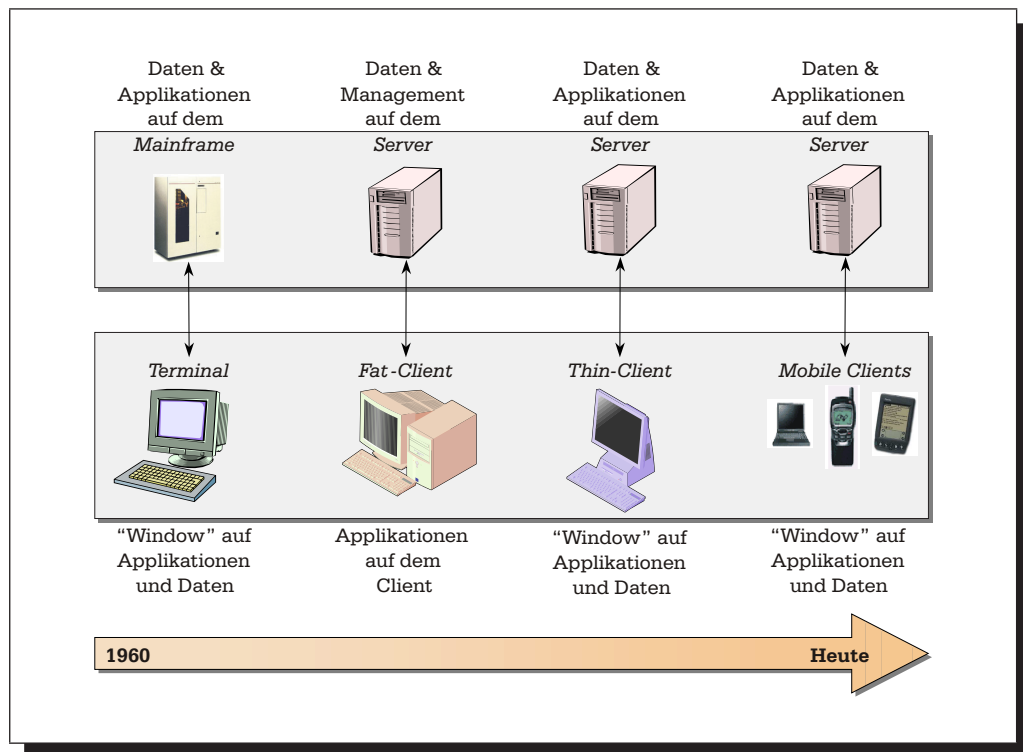


Abbildung 10.2: Entwicklung vom Mainframe zum Mobile Computing

insbesondere SCM, ein Novum dar. Anwendungen laufen auf einem zentralen Server und der Nutzer kann von jeder beliebigen Lokation und zu jedem Zeitpunkt auf den eigenen Datenbestand zugreifen. Der Server steht aber nicht mehr im eigenen Unternehmen, sondern beim ASP oder einem Partner des ASP.

Erste Anwendungen, welche zurecht als ASP bezeichnet wurden, kamen Mitte der 90er Jahre auf. Danach entwickelte sich ASP mit einer enormen Geschwindigkeit zum Hype. Fast jede Firma aus dem IT-Bereich hatte im Hoch der Entwicklung, etwa im Jahr 2000, ASP-Angebote (zumindest dem Namen nach). Keiner wollte die neue Welle verpassen. Sehr bald jedoch kristallisierten sich Probleme heraus. So blieben die von den anbietenden Unternehmen

niemand auf die Idee, die komplette Suchmaschine auf dem eigenen Rechner zu installieren. In Deutschland gibt es ebenfalls prominente Beispiele für bereits seit Jahren verwendete, dem ASP vergleichbare Anwendungskonzepte. So bietet DATEV (eine 1966 gegründete Genossenschaft für Steuerberater, Wirtschaftsprüfer und Rechtsanwälte mit dem Zweck, Selbsthilfe bei der Buchführung per EDV anzubieten) seinen Mitgliedern eine zentrale Verarbeitung der Daten an. Dieses Angebot wurde ständig erweitert und modernisiert.

erzielten Umsätze und Nutzerzahlen des ASP-Modells weit hinter den Erwartungen und Schätzungen der großen Marktforschungsunternehmen¹⁶ zurück. Diese prognostizierten für das Jahr 2005 ein Marktvolumen zwischen 5 Milliarden US\$ und 25 Milliarden US\$¹⁷, was einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum im dreistelligen Bereich entspricht. In den USA vollzieht sich die Entwicklung schneller als auf dem gesamten (eher konservativen) europäischen Markt. Ein großer Teil der amerikanischen Unternehmen nutzt bereits heute ASP oder setzt sich mit dem Gedanken auseinander, es zukünftig einzusetzen.

Tatsächlich wurde bis dato nur ein Bruchteil der prognostizierten Zahlen erreicht, die Entwicklung blieb hinter den Erwartungen zurück. Mit der selben Geschwindigkeit, mit der sich ASP zum Hype entwickelte, wandelte sich die Meinung vieler Beteiligten. Plötzlich wollte kein Unternehmen mit diesem Modewort in Zusammenhang gebracht werden, da es in Verbindung mit Rückschlägen und Unternehmenspleiten stand. Dieser negative Trend vollzog sich parallel zum allgemeinen Internet-Crash.

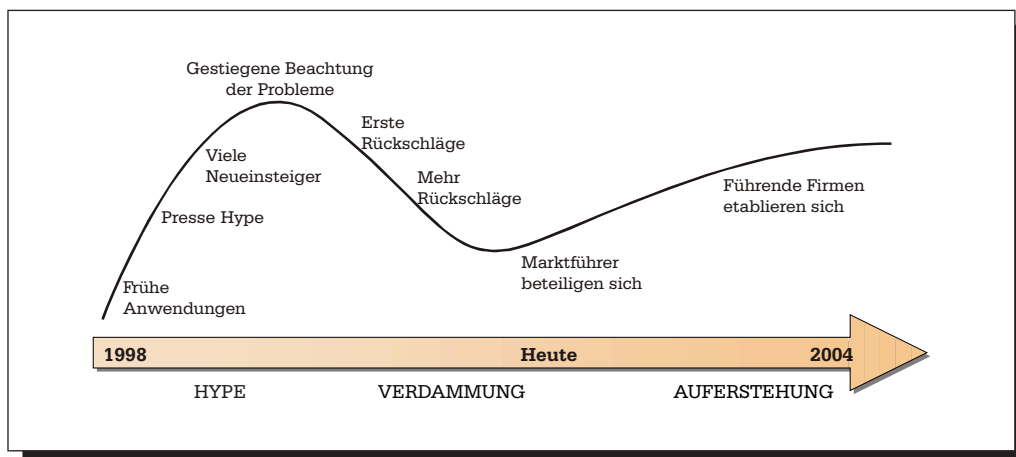


Abbildung 10.3: Entwicklung des ASP in der Öffentlichkeit

Neue Begriffe und Umschreibungen des gleichen Geschäftsmodells kamen auf, vor allem deshalb, weil die ersten Anwendungen nicht ausgereift waren und Unsicherheiten in Bezug auf das neue Angebot kundenseitig unterschätzt wurden. Die Entwicklung der gesamten ASP-Industrie wird anhand der Ab-

¹⁶Studien zum ASP u. a. von Gartner Group, IDC, und der Meta Group.

¹⁷Die Abweichungen ergeben sich aus den verschiedenen Erfassungs- und Auswertungsmethoden und den betrachteten Leistungen.

bildung 10.3¹⁸ verdeutlicht. Auch wenn ASP-Anbieter mittlerweile unter anderem Namen firmieren und sich die Industrie noch weiter konsolidieren wird, bleibt die erfolgsversprechende Idee. Wichtig erscheint an dieser Stelle die konzeptuelle Mächtigkeit des ASP und die zu erwartenden gravierenden Auswirkungen auf die traditionellen SCM-Strukturen innerhalb der IT-Industrie.

10.1.2 Inhaltliche Aspekte des ASP-Konzeptes

Application Service Providing eindeutig zu definieren, ist auch heute noch eine schwierige Aufgabe. Im Laufe der Entwicklung dieses Geschäftsmodells etablierten sich spezifische Definitionen und Ansichten je nach Blickwinkel und Schwerpunkt des Verfassers¹⁹. Dieser Abschnitt soll einige wichtige Aspekte des ASP mit Relevanz für das EVCM betrachten.

10.1.2.1 Der Begriff des ASP

Zu Beginn der Entwicklung des ASP als Teilbereich des E-Business wurden viele verschiedene Definitionen bekannt. Den verwirrenden Zustand der Begriffe beschreibt *Matzke* mit den Worten „*Das Akronym ASP wird momentan so schwammig definiert, dass man gar nicht mehr weiß, was es eigentlich ist.*“²⁰. Von Vertretern großer Firmen und von Wissenschaftlern wurden Versuche unternommen, allgemein gültige Definitionen zu formulieren und das Konzept des ASP treffend zu umreißen. Einige der Vorschläge lauten wie folgt²¹:

- „*Beim ASP geht es um das zur Verfügung stellen von Anwendungsfunktionalität und damit verbundener Dienste über ein Netzwerk an mehrere Kunden bei nutzungsabhängigen Entgelten.*“
(*P. Dück - Gartner Group*)
- „*Application Service Provider bieten IT-Services über das Web auf Outsourcing- oder Leasing Basis, indem sie Anwendungen und Desktop-Dienste von zentral gemanagten Daten-Zentren über vorhandene Netze bereitstellen und dabei die Gesamtkosten pro Anwender reduzieren.*“
(*R. Römer - Microsoft*)

¹⁸Darstellung in Anlehnung an [Cor01].

¹⁹Verschiedene mit der Abkürzung ASP verbundene Begrifflichkeiten, auch aus anderen Bereichen der Wirtschaft, sind in [Max00, S. 2] aufgeführt.

²⁰Vgl. [Bre01a, S. 15].

²¹Vgl. [Kre00c, S. 18].

Um Standards innerhalb des ASP, auch in Bezug auf Begrifflichkeiten und Definitionen zu schaffen, gründeten sich in den Industrienationen Interessenvertretungen und Konsortien, deren Mitglieder aus allen Bereichen der IT-Industrie kommen. Innerhalb des deutschen ASP-Konsortiums, welches im März 2000 gegründet wurde, entstand folgende Definition:

- *„Application Service Providing (ASP) ist ein Dienstleistungskonzept für das Bündeln von Diensten wie [...]. Application Service Provider bieten ihren Kunden über den Web- bzw. WAP-Browser Zugang zu den für sie zusammengestellten Diensten über das Internet, virtuelle private Netze (VPN) und Direktverbindungen, um diese Dienste im Büro und unterwegs zu nutzen. Die Software verbleibt im Eigentum des ASP-Anbieters [...]. Die für die Bereitstellung der ASP-Dienstleistungen notwendige Infrastruktur befindet sich im Daten-Zentrum des ASP-Anbieters. [...].“²²*

Das ASP-Industry Consortium (ASPIC)²³ definiert die Tätigkeit eines ASP in den beiden folgenden Alternativen:

- *„An ASP manages and delivers application capabilities to multiple entities from a data center across a wide area network.“²⁴*
- *„An ASP deploys, hosts and manages access to packaged application to multiple parties from a centrally managed facility. The applications are delivered over networks on a subscription basis. This delivery model speeds implementation, minimizes the expenses and risks incurred across the application life cycle, and overcomes the chronic shortage of qualified technical personnel available in-house.“²⁵*

Von *Forit Research* stammt die folgende Definition, welche im Rahmen einer im Jahr 2000 erschienenen Studie veröffentlicht wurde:

- *„Application Service Provider verwalten eine Vielzahl von Anwendungen auf einem zentralen Server. Sie bieten dem Kunden die Möglichkeit gegen Gebühren über das Internet oder über ein privates Netzwerk auf die gewünschten Anwendungen zuzugreifen. Der Kunde muss die*

²²Im Internet unter: <http://www.asp-konsortium.de>.

²³Der amerikanische Dachverband der ASP-Industrie, gegründet im Mai 1999, erreichte innerhalb der ersten zwölf Monate mehr als 500 Mitglieder.

²⁴Vgl. [Kle99, S. 3].

²⁵Vgl. [Kre00a, S. 3].

*benötigte Software somit nicht mehr selbst kaufen, einführen und betreuen, sondern mietet sich die gewünschten Anwendungen bei einem Application Service Provider. Die Abrechnung geschieht entweder auf einer festgelegten monatlichen Basis oder die Bezahlung erfolgt je nach Nutzungshäufigkeit oder Nutzungsintensität.*²⁶

Zusammenfassend und unter Beachtung zahlreicher weiterer Definitionen²⁷ kann ASP als wirtschaftliches und technisches Konzept verstanden werden, bei dem die folgenden charakteristischen Merkmale²⁸ im Vordergrund stehen:

Applikationszentriertheit: Zentrale Leistung ist die Bereitstellung und das Management der angebotenen Software.

Verkauf des Softwarezugangs: Einräumung der Möglichkeit zur Nutzung der angebotenen Software für die Kunden. Ausgaben für Eigenentwicklung, Lizenzen, Server und IT-Fachkräfte sind für diese obsolet.

Zentrales Applikationsmanagement: Die angebotenen Dienste werden durch den Anbieter zentral betrieben. Dieser ist vollständig allein verantwortlich. Der Kunde findet sich lediglich in der Rolle des Nutzers wieder.

One-to-Many-Service: Die angebotenen Anwendungen werden durch einen großen Kundenkreis genutzt. Dem Kunden steht lediglich ein Geschäftspartner (der ASP) gegenüber, auch wenn an der Leistungserstellung mehrere Unternehmen beteiligt sind.

Mittelfristige Vertragslaufzeit: Im Gegensatz zum klassischen Outsourcing ist die Kooperation für eine mittelfristige Perspektive ausgelegt.

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Konzeptes der Sofwaremiete kam es zu einer wahren Flut neuer Begriffe und damit verbundener Angebote, welche sich lediglich durch Nuancen vom eigentlichen Konzept des Application Service Providing unterscheiden und in der Literatur teilweise auch synonym verwendet werden²⁹.

Die Abgrenzung eines „echten“ ASP zu anderen Service Providern ist praktisch schwierig, da sich viele Anbieter mehr als nur einer Anbietergruppe

²⁶Ebenda.

²⁷Siehe u. a. [Vog02, S. 22 ff.].

²⁸Vgl. [Gil99b, S. 3].

²⁹Wichtige Begriffe und deren Abgrenzung zum ASP werden in [Sun01d, S. 9] beschrieben.

zuordnen lassen. Ein ASP steht in Verbindung zum Endkunden (Anwender), er aggregiert die Dienstleistungen zu einem Gesamtpaket und tritt mit diesem dann den Kunden gegenüber. Die Funktionen eines ASP lassen sich nicht abschließend und vollständig aufzählen, da der gesamte ASP-Markt als Gemeinschaft von Unternehmen fungiert, welche miteinander in einer dynamischen Beziehung stehen, bei der die Bereitstellung der Application Services für den Kunden Schwerpunkt ist.

Oft werden die Begriffe *Application Hosting* und *Application Management* in Zeitschriften synonym zum ASP verwandt, allerdings ist dies nicht korrekt. Beim Application Hosting ist der Kunde Eigentümer der Softwarelizenz. Er selbst ist für die Unterstützung, Wartung und Updates der Software verantwortlich und beseitigt auftretende Softwareprobleme. Der Dienstleister stellt lediglich die Hardware, auf der die Software läuft und ist verantwortlich für deren reibungslosen Betrieb. Beim Application Management ist der Kunde ebenfalls im Besitz der Softwarelizenz. Unabhängig davon, ob die Software auf der Hardware des Dienstleisters oder des Kunden läuft, ist der Dienstleister für den reibungslosen Einsatz der Hard- und Software verantwortlich. Zusätzlich unterstützt er den Kunden durch ergänzende Angebote, z. B. Schulungen, Vor-Ort-Service und Hotline-Dienste³⁰.

10.1.2.2 Abgrenzung zum Outsourcing

Überlegungen der Unternehmensleitung, Teile der Wertschöpfungskette an externe Unternehmen auszulagern, sind im Wesentlichen von der Frage des Make-or-Buy, also der Entscheidung zwischen Fremdbezug oder Eigenherstellung von Produkten und Dienstleistungen, geprägt. Werden die Wörter *Outside*, *Ressource* und *Using* in der dargestellten Weise kombiniert, ergibt sich der Begriff Outsourcing³¹. Bei Auslagerung von Teilen der computergestützten Informations- bzw. Datenverarbeitung wird von IT-Outsourcing gesprochen, innerhalb dessen sich drei Felder unterscheiden lassen³²:

Service Outsourcing: Umfasst Aufgaben im Bereich der Systemintegration.

Als Grundlage dieser Dienstleistungen dient das Pflichtenheft, in welchem Ziele, Einsatz, Leistungen und Umgebung festgelegt werden.

Projekt Outsourcing: Diese Form umfasst die komplette Auslagerung von Software- und Beratungsprojekten an Dritte. Dabei werden Werkver-

³⁰Vgl. [Bö01, S. 30].

³¹Vgl. [Sti97, S. 523 f.].

³²Siehe [Sch98c].

trag (der Externe muss die im Vertrag vereinbarten Leistungen erbringen und ist für diese verantwortlich) und Dienstvertrag (die Entlohnung an den Externen erfolgt nach dem verursachten Aufwand) unterscheiden.

Rechenzentrum Outsourcing: Wird diese Form gewählt, stellt der Outsourcing-Dienstleister gegen Bezahlung Rechenkapazitäten zur Verfügung. Enthalten sind meist auch zusätzliche Leistungen wie Datenarchivierung und/oder Netzdienstleistungen.

Eine andere Einteilung der verschiedenen Outsourcing-Alternativen verwendet die Unterscheidung in *Full* und *Selective Outsourcing*³³. Unter dem Full Outsourcing wird die komplette Auslagerung des IT-Betriebes eines Unternehmens an einen Dienstleister verstanden. Angebote können von einfachen Problemlösungen zur Übernahme komplexer ERP- und/oder Hostsysteme bis zu ganzen Geschäftsprozessen (Business Process Outsourcing - BPO) reichen. Beim Selective Outsourcing hingegen wird eine Entscheidung über eine Auslagerung im Einzelfall getroffen, abhängig davon, ob dadurch ein zusätzlicher Nutzen erreicht wird. Als Beispiel kann das VPN genannt werden. In diesem Segment ist der Preisverfall am deutlichsten. Vorteil dieser Variante des Outsourcing ist, dass die Möglichkeit besteht, die betroffene Leistung beim jeweils besten Anbieter zu beziehen. Ein klarer Nachteil ist die Tatsache, dass nur bedingt komplexe Applikationen wie Product Data Management (PDM) nutzbar werden.

Die ursprünglichen Gründe für das Outsourcing sind u. a. die folgenden³⁴:

- Kostensenkung und reduzierte Kapitalbindung,
- Flexibilität,
- erhöhte Qualität und Effizienz und
- verbesserte Kompetenz.

Die Konzentration auf das eigene Kerngeschäft ermöglicht den konsequenten Ausbau der Schlüsseltechnologien und -kompetenzen. Flexibilität und Innovationsfähigkeit können durch das freigewordene Kapital erhöht werden. Fixkosten werden zum großen Teil durch variable Kosten ersetzt. Dadurch

³³Eine umfassende Darstellung und Beschreibung dieser Unterteilung findet sich in [Hel01, S. 95].

³⁴Vgl. [Kop00, S. 5].

wird eine verbesserte Analyse der Kostenstruktur ermöglicht. Ein weiterer wichtiger Teilaspekt ist die Verlagerung eines Teilrisikos auf einen externen Partner. Zusätzlich wird durch die Auslagerung teures IT-Fachpersonal eingespart.

Den genannten Vorteilen stehen aber auch Nachteile gegenüber, die nicht unwesentlich sind. So wird durch das Eingehen langfristiger Verträge³⁵ die Gefahr einer Abhängigkeit erhöht. Außerdem gehen Kompetenzen im eigenen Unternehmen verloren. Der zusätzliche Koordinationsaufwand für Kontrolle, Messung und Abrechnung der Dienste kann unerwartet hoch ausfallen. Die Vergabe der IT an externe Partner ist auch mit einem Risiko im Hinblick auf den Datenschutz verbunden, denn es bestehen zwar gesetzliche Regelungen, aber der Umgang ist auch Vertrauenssache.

Die Motivstruktur war, wie die gesamte Branche auch, einem Wandel ausgesetzt. Die heutigen Gründe zum Auslagern sind u. a. die folgenden³⁶:

- Kerngeschäftsstrategie,
- Personalmangel,
- beschleunigter Technologiewandel,
- kürzere Projektlaufzeiten (time-to-market) und
- steigende technische Komplexität (E-Business Aktivitäten, Sicherheit).

Die Kerngeschäftsstrategie umfasst eine Konzentration auf die mit der Wertschöpfung im Unternehmen direkt verbundenen Teilprozesse. Alle Geschäftsprozesse, die nicht direkt den eigenen Kernkompetenzen zuordenbar sind, können ausgelagert werden. Der zweite Aspekt, der Personalmangel, hat sich erst in den letzten Jahren zu einem wichtigen Faktor entwickelt. IT-Fachkräfte sind am Arbeitsmarkt schwer zu finden und damit sehr teuer. Gerade für klein- und mittelständische Unternehmen kann dies zum echten Problem werden. Dazu kommt der beschleunigte Technologiewandel. Kaum hat die eigene IT-Abteilung ein vor Jahren begonnenes Projekt endgültig abgeschlossen, ist der erreichte Stand bereits wieder veraltet und neue Herausforderungen müssen bewältigt werden. Hinzu kommt die ständig anwachsende Komplexität der betriebswirtschaftlichen Software (z. B. durch die Kopplung von Shops an das Warenwirtschaftssystem) sowie die notwendige Sicherheit

³⁵Outsourcing-Verträge werden i. d. R. für eine relativ lange Laufzeit abgeschlossen (mindestens 12 Monate).

³⁶Vgl. [Kop00, S. 6].

des IT-Systems und der darin enthaltenen Daten. Wäre dieser komplette Bereich auslagerbar, ist die IT ständig und schnell auf dem neuesten Stand (geringere time-to-market), da bei den externen Partnern die nötige Man-Power und das Know-how zur Verfügung stehen.

Application Service Providing wird als evolutionäre Weiterentwicklung des klassischen IT-Outsourcing bezeichnet. Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten sind klar definiert. In Abbildung 10.4³⁷ werden die beiden Modelle gegenübergestellt.

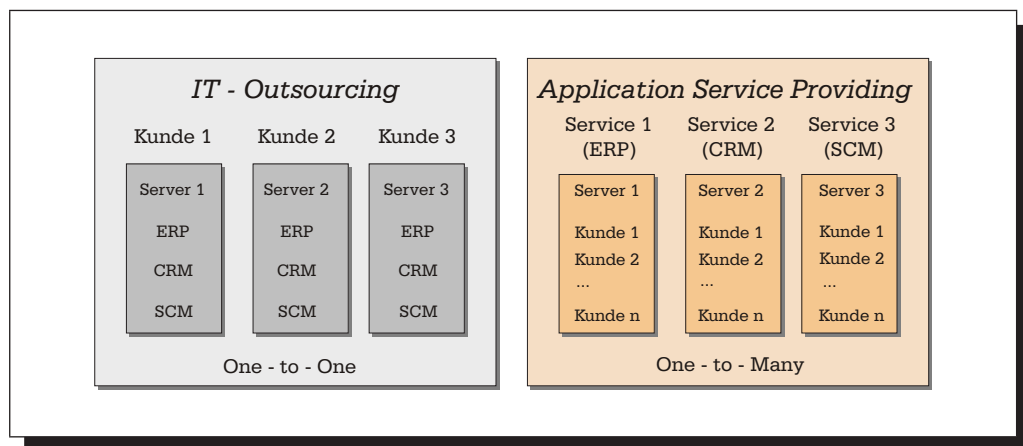


Abbildung 10.4: Überblick zu ASP und IT-Outsourcing

Der wesentliche Unterschied der Konzepte liegt in der Konzipierung der Beziehungen zum Kunden. Beim klassischen IT-Outsourcing wird eine maßgeschneiderte Lösung für den Kunden entwickelt und implementiert (One-to-One). Beim ASP hingegen wird ein Angebot an viele potenzielle Kunden gerichtet (One-to-Many), und die Nutzung des Angebotes wird diesen ohne aufwändige Anpassung an spezielle Wünsche ermöglicht. ASP bietet standardisierte Lösungen, individuelles Customizing wird oft nur in sehr geringem Maße angeboten. Ein Vorteil der mit dem ASP-Prinzip einhergehenden Standardisierung ist die Überwindung von IT-Grenzen. Hatten früher viele Firmen eine eigene, genau spezifizierte Unternehmens-IT, welche kaum oder nur durch zusätzlichen Aufwand in der Lage war, mit anderen externen Systemen zu kommunizieren und Daten auszutauschen, werden diese technologischen Grenzen durch die Standardisierung verringert. Unerwünschter Nebeneffekt ist die damit verbundene Gefahr, unternehmensinterne Vorteile innerhalb von

³⁷Darstellung in Anlehnung an [Sta01, S. 56].

Geschäftsprozessen durch die Anpassungen an das ASP-Angebot zu verlieren.

Die wichtigsten Fragen bei der Entscheidung zwischen ASP und Outsourcing beziehen sich auf die verbleibenden Kontrollmöglichkeiten (Upgrades, Patches usw.), die geplante Dauer der Vertragsbeziehung und die Customizing-Ansprüche der Kunden. Analog zu heutigen Tendenzen in Bezug auf das ASP entwickelte sich vor einigen Jahren auch das Outsourcing. In den USA entschieden sich mehr und mehr Unternehmen für Outsourcing, während in Deutschland (und Europa) noch über Bedenken hinsichtlich der Punkte Sicherheit der Daten, Know-how-Verlust, Gefahr der Abhängigkeit vom Dienstleister und Machtverlust diskutiert wurde. Im Laufe der Zeit zeigten sich die Vorteile aber als überwiegend.

10.1.2.3 Abrechnungsmodelle

Mitentscheidend über Erfolg und Misserfolg eines ASP-Anbieters ist eine übersichtliche und für den Kunden leicht nachvollziehbare Abrechnungsmethode. Der Kunde sollte nie das Gefühl haben, zu viel für die empfangenen Leistungen zu bezahlen. Der Anbieter hingegen muss zumindest seine Kosten decken. Doch wie werden die entstehenden Kosten korrekt gemessen und den initiierenden Kunden zugeordnet? Generell werden die in Abbildung 10.5 aufgeführten Varianten unterschieden.

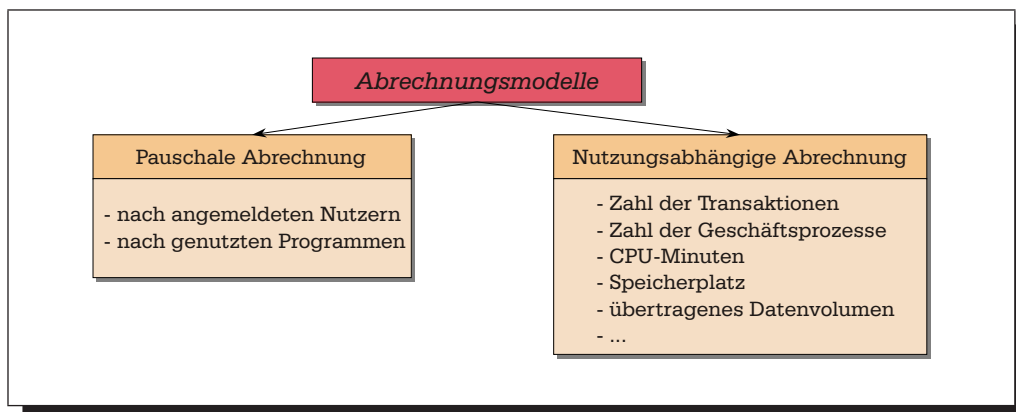


Abbildung 10.5: Abrechnungsmodelle

Bis heute dominieren *Flat-Rate-Angebote* pauschaler Abrechnung, bei denen feste Preise (pro Arbeitsplatz, pro Nutzer, pro Anwendung usw.)

für bestimmte Dienstleistungen vereinbart werden, den Markt der ASP-Dienstleistungen. Die Ursachen hierfür liegen in der einfacheren technischen Realisierung. Flat-Rates werden von vielen Anwendern aufgrund der simplen Struktur und der guten Planbarkeit der Kosten bevorzugt, allerdings fallen diese auch an, wenn ein Mitarbeiter erkrankt oder im Urlaub ist. Für Kunden, die bestimmte Anwendungen nur unregelmäßig nutzen, sind solche Angebote ebenfalls ungeeignet.

Flat-Rates werden oft zu unterschiedlichen Tarifen angeboten. Abhängig von der jeweiligen Kundengruppe kann zwischen einem Angebot zu niedrigem Tarif für Small- und Home Offices (SOHO), einem Tarif für die mittlere Nutzung für klein- und mittelständische Unternehmen und einem auf umfangreiche Nutzung ausgelegtes Tarifangebot für große Unternehmen gewählt werden. Die kalkulierten Preise für die unterschiedlichen Gruppen basieren auf geschätzten Nutzungshäufigkeiten und -intensitäten. Es verbleibt für den Anbieter die Unsicherheit, ob die Einnahmen die entstandenen Kosten wirklich decken³⁸. Denkbar sind auch Prepaid-Modelle wie beim Mobilfunk. Dabei erwirbt der Kunde eine gewisse Leistungsmenge zu einem Preis und kann dann solange mit dem Angebot arbeiten, bis dieses Kontingent aufgebraucht ist. Allerdings erfordert diese Variante ein so genanntes Hot-Billing, also eine Abrechnung in Echtzeit. Realisierung und Einsatz eines solchen Systems erweisen sich aber als sehr schwierig und komplex³⁹.

Zunehmend werden sich von der tatsächlichen Nutzung abhängige Abrechnungssysteme durchsetzen, da bei Flat-Rates i. d. R. zu wenig oder zu viel bezahlt wird. Nutzungsabhängige Abrechnungsmethoden sind aber wesentlich schwieriger zu kalkulieren und zu realisieren. Bei diesen dynamischen Abrechnungsmethoden können in Anspruch genommene Leistungen zusammen mit fixen Kostenelementen berechnet werden, die als Basis eine Art Grundgebühr (z. B. für die Bereitstellung der Hardware, Service und Support oder der Anbindung zum Rechenzentrum) verwenden. Durch die große Bandbreite potenzieller Berechnungsgrundlagen, Zählvariablen und deren Kombinationsmöglichkeiten sind zahlreiche, verschiedene Abrechnungsmodelle realisierbar. Je nach Betrachtungsschwerpunkt der Abrechnungsmethode kann Billing wie folgt systematisiert werden⁴⁰:

Anwenderorientiertes Billing: Basiert auf Nutzerumgebung, Anwenderakquise, Umfang des Kundensupports, allgemeinen Umlage- und Billingkosten.

³⁸Vgl. auch [Sch01d, S. 72].

³⁹Siehe [Bod02].

⁴⁰Vgl. [Jor01, S. 77].

Ressourcenorientiertes Billing: Beruht auf verursachten Server-Hardware- und Server-Software-Kosten, genutzten Prozessor- und Storagekapazitäten, Kosten für Back-ups und Replikationsverkehr.

Infrastrukturorientiertes Billing: Basis bilden die Hosting- oder Rechenzentrumskosten, der serverseitige Datenverkehr, der Zugang zu ASP-Angeboten durch den Anwender (inkl. Datenverkehr), Service Level und Betriebsverträge, zusätzliche Hard- und Software.

Anwendungsorientiertes Billing: Verrechnung der Kosten für Software, Integration und Anpassung, Anwendungsumgebung, Zusatzsoftware, Lizenznutzung und Monitoring.

In ein nutzungsabhängiges Preismodell fließen die Parameter Funktionsintensität (Anzahl, Wert der benutzten Transaktionen), Nutzungsintensität (Anzahl der Transaktionen), Zeitintensität (Dauer der tatsächlichen Nutzung), Serviceintensität (mit oder ohne Endgerätenutzung, Helpdesk), Nutzungsverteilung (peak/off peak), leistungsunabhängige Komponenten (Grundpreis für Systemverfügbarkeit, Rabatt zum n-jährigen Jubiläum) ein⁴¹. Um die verschiedenen möglichen Rechnungsgrundlagen zu messen (für jedes Angebot wird eine Nutzungseinheit definiert) und den einzelnen Kunden zuzuordnen, sind komplexe Anwendungen nötig. Es sind Aufgaben wie die Aufzeichnung der messbaren Ereignisse, deren Bewertung und Erstellung der Kundenrechnung mit den jeweils für den Kunden zutreffenden Tarifen, die ausgeführt werden müssen.

In der Rechnung kann der Kunde dann detailliert nachvollziehen, welche Leistungen in welchem Umfang und in welcher Qualität genutzt wurden und welche Kosten dadurch entstanden. Die Zuordnung angeforderter Leistungen zu bestimmten Kunden muss unterschiedliche Verfahren unterstützen. Verwendet ein Kunde z. B. das *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), wäre eine Leistungszuordnung nach der empfangenden IP-Adresse nutzlos. Bei anderen Kunden kann diese Methode aber sehr nützlich sein. Desweiteren kann dem Kunden die Möglichkeit eingeräumt werden, auch während der Abrechnungsperiode in die aktuellen Zahlen Einblick zu nehmen. Die Anzahl der kostenintensiven Rückfragen zu Abrechnungen kann durch ein solches System gesenkt werden, was im Interesse beider Parteien liegt und den Gedanken des *Customer-Self-Service* unterstützt⁴².

Die Erfassung der notwendigen Daten, welche die erbrachten Leistungen widerspiegeln, ist bei der Rechnungserstellung ein wichtiges Problem. Diese

⁴¹Vgl. [Küc01, S. 168].

⁴²Vgl. [Kre00a, S. 87].

entstehen innerhalb der verwendeten Hard- oder Software in einem herstellereigenen Format und müssen vom Billing-System gelesen werden. Um dies zu vereinfachen, wird an verschiedenen internationalen Standards gearbeitet, u. a. am IPDR⁴³, mit dessen Hilfe Daten, die auf der Basis von IP-Verbindungen zustande kommen, protokolliert werden können. Die erfassten Daten müssen nach ihrer Sammlung zentral verarbeitet werden, um eine doppelte Abrechnung von Teilleistungen zu verhindern. Redundanzen in der Abrechnung können somit vermieden werden. Auch die sichere, getrennte Speicherung der relevanten Daten über einen festgelegten Zeitraum wird vom Billing-System verwaltet⁴⁴.

Um die Vielfalt der genannten Anforderungen und Probleme bewältigen zu können, ist es vorteilhaft, Billing-Systeme, die bestimmte Merkmale aufweisen, einzusetzen. Die vom ASP angebotenen Anwendungen sollten einfach und flexibel verwaltet werden können, z. B. durch eine Schnittstelle zu einem zentralen Applikationsmanagement. Billing-Systeme, die eine offene und modulare Struktur aufweisen und skalierbar sind, werden sich tendenziell eher am Markt behaupten. Das Freischalten von Anwendungen durch den Kunden selbst (Self-Provisioning) muss ermöglicht werden, ohne dass ein Mitarbeiter des Anbieters dies erst manuell in das Billing-System einzutragen hat. Komplexe Billing-Systeme verwalten verschiedene Kundensegmente, Tarifmodelle und deren Zuordnung. Sie sind in der Lage, Änderungen zu simulieren, um den Anbieter bei der Entwicklung neuer Tarifmodelle und der Untersuchung von Veränderungen bestimmter Kosten zu unterstützen⁴⁵.

Im Rahmen der Arbeit im deutschen ASP-Konsortium wird ASP-Billing als Prozess mit den in Abbildung 10.6⁴⁶ dargestellten Teilschritten beschrieben. Billing hat sich in der Welt der Telekommunikation als Begriff für einen Teil-, aber auch als Bezeichnung für den Gesamtprozess etabliert. Die verwendete Berechnungsbasis muss für den Kunden einfach nachvollziehbar sein, um ein Vertrauensverhältnis aufbauen zu können⁴⁷. Eine gut strukturierte, übersichtliche Rechnung vereinfacht dem Kunden das Verständnis der genutzten Dienste und eine Zuordnung nach dem Verursacherprinzip zu bestimmten Kostenstellen, Abteilungen oder Mitarbeitern im Unternehmen. ASP-Anbieter können die Abrechnung der angebotenen Dienste ihrerseits

⁴³IP Detail Record, im Internet unter: <http://www.ipdr.org>.

⁴⁴Vgl. [Bod00, S. 84].

⁴⁵Bekannte auf dem Markt befindliche Systeme sind u. a. *Transbillion* von *Catenic*, *Openinformer* von der *Uni-X Software*, *Distributed Billing Engine* von *Mannesmann (MD-BE)*, *Infranet* von *Portal Software* und *BillingWare* (beruhend auf dem Billing and Accounting System Exchange Protokoll) der *Internet Online AG*.

⁴⁶Darstellung in Anlehnung an [Bod02].

⁴⁷Vgl. [Sta01, S. 61] und [Hag01, S. 153 ff.].

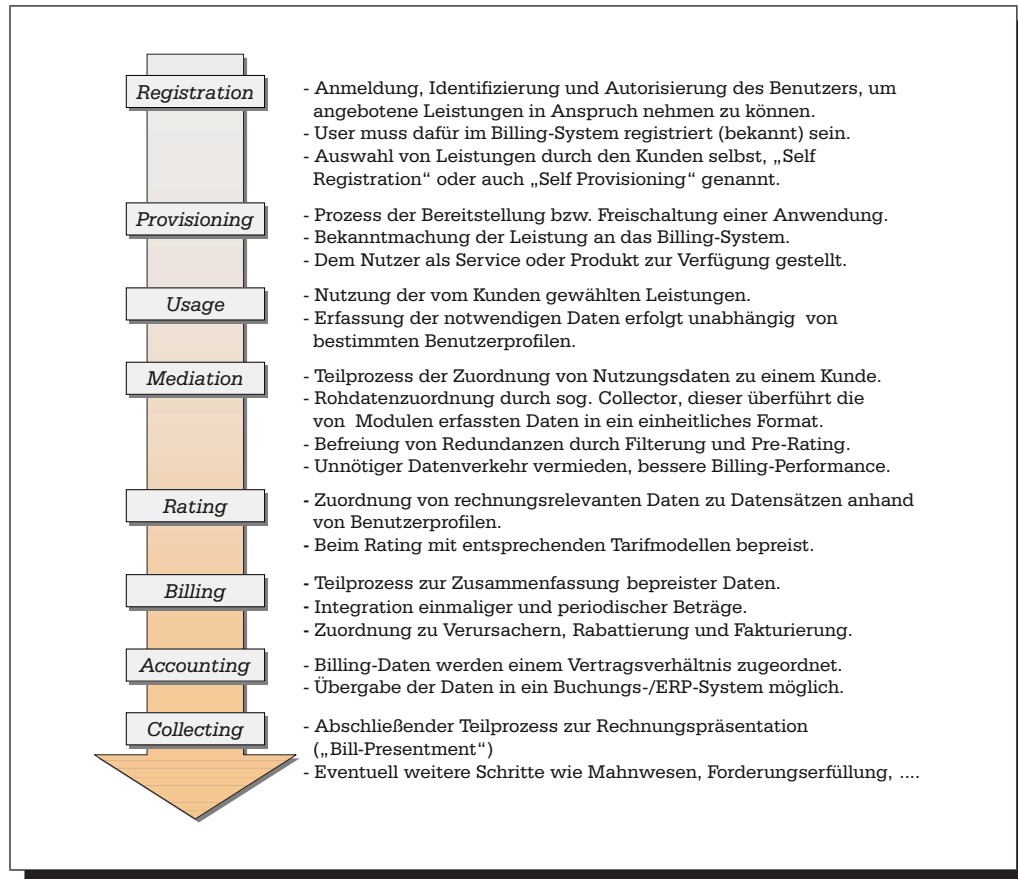


Abbildung 10.6: ASP-Billing als Prozesskette

an einen Partner auslagern, dessen Kerngeschäft die Abrechnung erbrachter Dienstleistungen ist.

10.1.3 Informationstechnische Merkmale

ASP müssen eine Vielzahl unterschiedlicher Kompetenzen und Dienste bündeln. Erst deren fehlerfreie, harmonische Kombination ermöglicht den Erfolg der angebotenen Dienstleistung auf dem Markt. Nur qualitativ hochwertige Einzelbestandteile und professionell gestaltete Verfahrensweisen ermöglichen ein konkurrenzfähiges ASP-Angebot, denn eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied. Daher sollten alle Bestandteile redundant ausgelegt sein, um bei Ausfall eines Teils der Kette trotzdem den Betrieb aufrecht erhalten zu können. Es ist davon auszugehen, dass Kooperationen auf der

Anbieterseite den Markt bestimmen werden, da die einzelnen Kompetenzen zu unterschiedlich und zu schwierig sind, um von einem Anbieter allein bewältigt werden zu können. In den folgenden Unterabschnitten werden einzelne Bereiche vorgestellt, die eine entsprechende Relevanz für die Umsetzung der Methoden in den oben beschriebenen Kapitel aufweisen. Aspekte der Datensicherheit werden nicht betrachtet.

10.1.3.1 Systemarchitektur

Zur Sicherstellung der optimalen Performance einer Applikation für jeden Kunden und der optimalen Auslastung der Serverressourcen werden *Load Balancing*-Verfahren verwendet. Mit Hilfe eines dynamischen Routing⁴⁸ werden Kundenaufträge auf dem am geringsten ausgelasteten Server bearbeitet.

Die Hardware kann auf verschiedene Weise auf einzelne Kunden zugeschnitten werden. Betreibt ein ASP-Anbieter speziell für einen Kunden eine eigenständige Lösung mit allen Bestandteilen, die dieser Kunde dann exklusiv nutzt, wird dies als *Dedicated Hosting* oder *Single-Tenancy-Modell* bezeichnet. Greifen hingegen mehrere Kunden auf identische Ressourcen zu und teilen sich diese, wird die Bezeichnung *Shared Hosting* oder *Multi-Tenancy-Modell* verwendet.

In Bezug auf die entstehenden Kosten ist *Dedicated Hosting* die kostenintensivere Variante, da die gesamte Hardware (Server, Firewall, Load Balancer, Internet Standleitung usw.) speziell für einen Kunden angeschafft und betrieben wird. Es gibt keine gemeinsame Nutzung von Ressourcen durch mehrere Kunden. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Architektur ist in Abbildung 10.7⁴⁹ illustriert.

Abhängig von erwarteter Auslastung und Leistungsanforderung kann die Funktionalität von Web-, Applikations- und Datenserver auf einem Server vereint werden. Steigt der Bedarf, kann ein weiterer Server hinzugezogen werden. Für ASP-Anbieter entsteht ein steigender Verwaltungsaufwand, da viele kleinere Systeme administriert werden müssen, der Platzbedarf größer ist und mehr Energie verbraucht wird. Da auch die einzelnen Systeme für hohe Auslastungen konfiguriert sind, steigt der Anteil der nicht genutzten Ressourcen im Unternehmen. Viele Kunden bevorzugen diese Möglichkeit, da mit dieser Architektur (physische Trennung) einige der Sicherheitsbedenken ausgeräumt werden, welche mit dem Auslagern unternehmenskritischer

⁴⁸Unter dynamischem Routing wird die flexible Gestaltung der Wege von Datenpaketen in und zwischen Netzen verstanden.

⁴⁹Darstellung in Anlehnung an [Sun01e, S. 14].

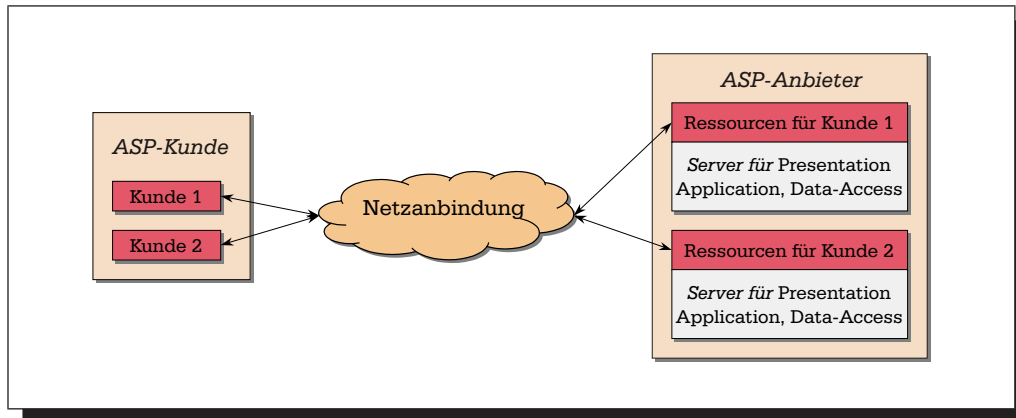


Abbildung 10.7: Architektur einer Dedicated Hosting Lösung

Anwendungen und Daten verbunden sind. Große Unternehmen werden bevorzugt *Dedicated Hosting* anwenden, da der finanzielle Aspekt bei diesen nicht im Vordergrund steht.

Anwendung und Betrieb von *Shared Hosting* sind flexibler, vorhandene Ressourcen werden effizienter genutzt und die Kapazität lässt sich leicht erhöhen, falls die Anforderungen einzelner Kunden oder bestimmter Kundengruppen wachsen. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Umgebung ist in Abbildung 10.8⁵⁰ illustriert.

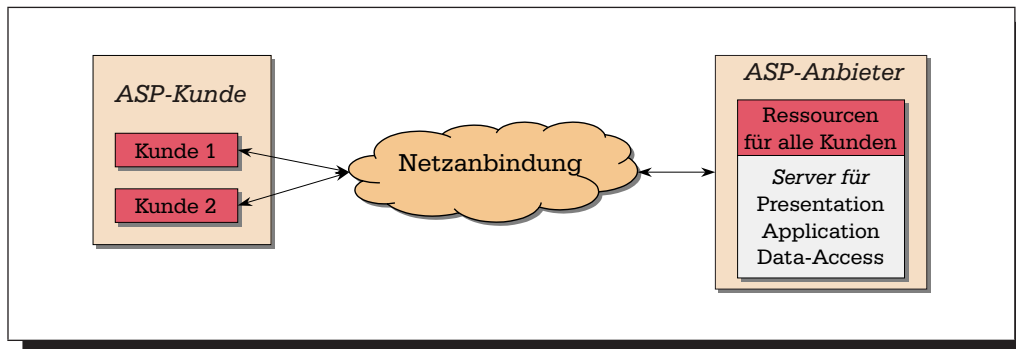


Abbildung 10.8: Architektur einer Shared Hosting Lösung

Zusätzlich liegt ein Kostenvorteil in der Realisierung erweiterter Funktionen, z. B. Clustering auf weniger, aber größeren Maschinen. Alle Kunden profitie-

⁵⁰Darstellung in Anlehnung an [Sun01e, S. 15].

ren von der verbesserten Leistung und Verfügbarkeit. Im Rahmen von Service Level Agreements (SLA) garantierte CPU- und Arbeitsspeicheranteile werden über den Einsatz von Ressourcenverwaltungssoftware gesichert. Um den von den Kunden erwarteten Schutz der Daten zu gewährleisten, werden verschiedene moderne Verfahren verwendet, welche der physischen Trennung sehr nahe kommen. Mehrere Kunden eines ASP-Anbieters, vorwiegend klein- und mittelständische Unternehmen, nutzen identische Ressourcen, ohne dass dies Auswirkungen auf deren Arbeit haben sollte. Vorurteile im Hinblick auf Leistung und Sicherheit auf Seiten der Kunden trüben einige wichtige Vorteile des Hosting von Anwendungen⁵¹.

10.1.3.2 Application Server

Application Server und deren Betrieb stehen im Mittelpunkt der ASP-Angebote und somit auch dieses Abschnitts. Ihre Dienste werden im Inter- oder Intranet zur Verfügung gestellt. Im Gegensatz zu klassischen Client-/Server-Applikationen, die auf einem 2-Schichten-Modell aufbauen, welches durch einige Nachteile in Bezug auf Wartung, Sicherheit und Ressourcennutzung gekennzeichnet ist, basiert eine moderne betriebswirtschaftliche Standardsoftware auf einem Drei-Schichten-Modell. Es erfolgt eine zumindest logische Trennung zwischen Präsentationsaufgaben (Client Tier), Businesslogik (Middle Tier) und Datenzugriff (Resource Tier). Innerhalb der Client Tier werden die von der Businesslogik geschickten Ergebnisse aufbereitet und visualisiert. Clients, die dies ausführen, können unterschiedlichen Typs sein (Webbrowser, Java-Applets). Innerhalb der Middle Tier befinden sich Regeln, Verfahrensweisen und Prozessdefinitionen, die speziell auf einen Kunden abgestimmt sein können. Sie werden als Business Rules bezeichnet, welche in Komponenten verpackt für die Bearbeitung der Daten zuständig sind. Die Middle Tier fungiert als Vermittlungsinstanz zwischen Daten und Clients. Ihr sind gewöhnlich mehrere Applikations-Server zugeordnet. Die Resource Tier stellt der Middle Tier die benötigten Daten zur Verfügung. Als Instanzen dieser Schicht können objektorientierte und relationale Datenbanksysteme genannt werden.

Zu den Aufgaben eines Applikations-Servers gehören u. a.⁵²:

Einbindung von Programmierumgebungen: Eine spezielle Programmierumgebung muss an die Spezifikationen des Applikations-Servers angepasst und in diese eingebunden werden.

⁵¹Vgl. [Sun01e, S. 15].

⁵²Siehe [Rei99].

Ressourcenmanagement: Load Balancing, Skalierbarkeit usw. gehören zu den wichtigsten Aufgaben von Applikations-Servern, da der Bedarf an Ressourcen wie Prozessorleistung und Durchsatzrate bei WWW-Anwendungen schwer zu eruiieren ist.

Ausführungsumgebung: Container, spezielle Umgebungen für Komponenten der Geschäftslogik, bilden das Bindeglied zwischen Applikations-Server und der einzelnen Komponente, welche vom Container gesteuert und überwacht wird.

Transaktionsmanagement: Transaktionen bestehen aus logisch zusammenhängenden Aktionen. Eine Transaktion ist atomar und sollte nur ausgeführt werden, wenn alle Aktionen durchführbar sind.

Datenanbindung: Komponenten können nur bei Versorgung mit Daten ihre volle Leistung entfalten. Der Applikations-Server sollte also verschiedene ausgefeilte Mechanismen beinhalten, welche den Komponenten den Zugriff auf einzelnen Ressourcen ermöglichen.

Die angeführten Aufgaben stellen den maximalen Funktionsumfang dar. Pakete, welche alle der genannten Funktionen unterstützen, sind meist in Produktfamilien organisiert. Aus den erwähnten Aufgaben ergibt sich eine Gruppierung in die vier Bereiche Web Development Tools, Site Management Tools, Runtime Services und Programming Tools, die von modernen Applikations-Server Produktfamilien unterstützt werden sollten⁵³.

Der Markt für Applikations-Server hat sich in den letzten Monaten vor allem durch den Trend hin zur Verwendung der Basistechnologie J2EE⁵⁴ entwickelt. Ausdruck dessen ist u. a., dass die *SAP* als Marktführer für ERP/SCM-Software mit ihren neuen Produkten auf die J2EE-Technologie setzt. Ohne schon in diesem Abschnitt weiter auf Details der verschiedenen Technologien und andere Gründe eingehen zu können, wurde für das EVCM ebenfalls das J2EE als Technologie festgelegt. In Abbildung 10.9⁵⁵ erfolgt eine Einteilung der Technologien, die zur Auswahl standen.

Als Hardware-Hersteller sind vor allem die großen Unternehmen *IBM*, *SUN* und *HP* mit ihren Produkten vertreten, bei denen die Verwendung von *UNIX* dominiert. Bei den Datenbankherstellern ist *IBM* aufgrund der hauseigenen Datenbank *DB2* vertreten. Der Bereich der unabhängigen Hersteller ist sehr

⁵³Siehe [Put01].

⁵⁴Java 2 Enterprise Edition: Java Development Kit mit zusätzlichen Packages wie Enterprise JavaBeans, Java Server Pages, Servlets, JavaMail und Web Application Server.

⁵⁵Darstellung in Anlehnung an [Cim01].

J2EE-basierte Lösungen		
Hardware-Hersteller: - IBM WebSphere - SUN iPlanet - HP BlueStone Total-e-Server	Datenbank-Hersteller: - Oracle 9iAS - SyBase EAServer - IBM WebSphere	Unabh. Hersteller: - BEA WebLogic - Lutris Enhydre
Corba		Microsoft-Technologien
- projektbezogene Implementierung des Standards		- .NET - Commerce-Server

Abbildung 10.9: Application Server Markt – Überblick

vielschichtig und unübersichtlich. Ein nicht unwesentlicher Marktanteil wird von sog. Open-Source-Produkten wie *Tomcat*, *Jboss* und *Jonas* abgedeckt. Innerhalb der nicht auf J2EE basierenden Lösungen sind *Macromedia Coldfusion* und *PHP*⁵⁶ dominierend, allerdings ist deren Bedeutung insgesamt rückläufig. Die Entwicklung im Bereich der Applikations-Server wurde von Microsoft unterschätzt. Über die Etablierung der neuen *.Net*-Technologie⁵⁷ versucht Microsoft seine Stellung in diesem Marktsegment zu verbessern⁵⁸.

10.1.3.3 Web-Centric Anwendungen

Das Spektrum der Anwendungen, welche im Rahmen eines ASP-Dienstes angeboten werden können, ist sehr breit. Alle gängigen Anwendungen wie Bildungssoftware oder Entscheidungs- und Managementsysteme haben ein entsprechendes Potenzial⁵⁹. In Abbildung 10.10⁶⁰ sind verschiedene Applikationen hinsichtlich ihrer Markteintrittsbarrieren eingeordnet.

E-Business-Anwendungen zählen aufgrund der enormen Wachstumsraten im Bereich E-Commerce zu den erfolgversprechendsten Anwendungsbereichen. Das Ausgliedern von Internet-Shops ist bereits gängige Praxis, weiterhin

⁵⁶PHP Hypertext Preprocessor, früher auch Professionell Homepage Construction Kit.

⁵⁷Technologie zur Internet-Programmierung und zur Realisierung global verteilter Anwendungen.

⁵⁸Es wird spannend, ob die aktuellen Neuerwerbungen von *Microsoft*, wie das *Navision*-Produkt *Axapta*, zukünftig auf diese Technologie aufsetzen werden.

⁵⁹Vgl. [Leo00, S. 226 f.].

⁶⁰Darstellung in Anlehnung [Zil00, S. 24].

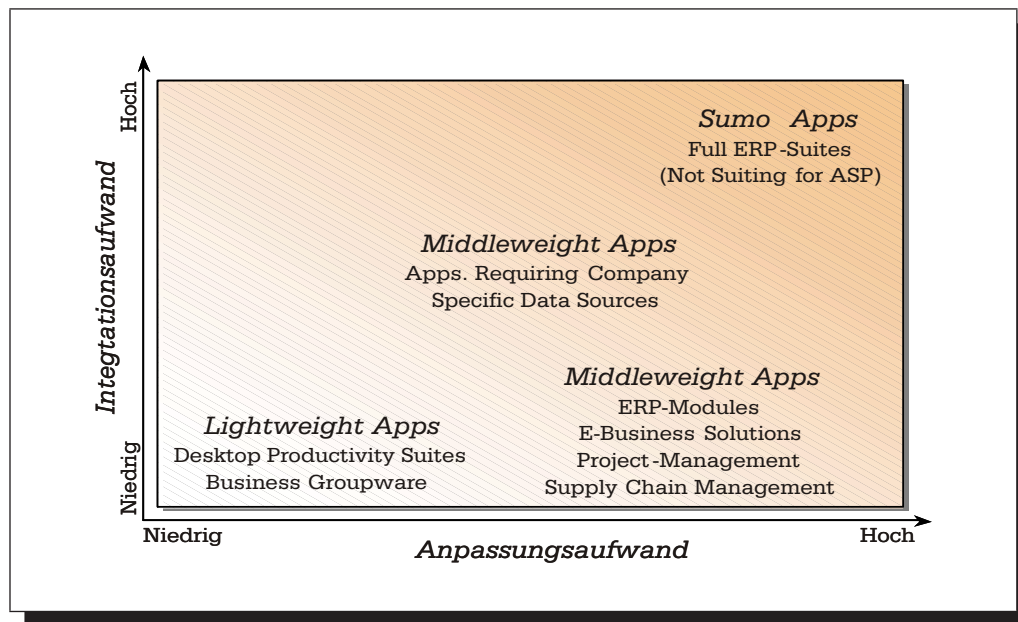


Abbildung 10.10: Markteintritts-Barrieren für ASP-Applikationen

können E-Procurement-Anwendungen⁶¹ genannt werden. Auch Messaging-ASP erfreut sich weiterhin großer Beliebtheit. Während sich Kunden bei der Auslagerung unternehmenskritischer Anwendungen oft zögerlich verhalten, wird die Auslagerung von E-Mail-Anwendungen als unproblematisch betrachtet. Speziell für kleine und mittlere Unternehmen sind ERP und Customer Relationship Management (CRM) Anwendungen als ASP-Angebote sehr interessant, da der Erwerb dieser Anwendungen auf herkömmliche Art aufgrund der hohen Erstinvestitionen für diese Unternehmen oft nicht finanzierbar ist.

Die größten Barrieren in Bezug auf ASP sind die Integration der bisherigen Anwendungen und die oft nur begrenzt angebotene Anpassung. Unabhängig davon sind auch technische Voraussetzungen zu erfüllen, da nicht alle Anwendungen von Beginn an ASP-fähig sind. Derzeit erlangen insbesondere zwei Arten von ASP-Anwendungen Bedeutung: Web-basierende (Web-Centric), Terminal-Server-basierende (Web-Enabled)⁶².

Web-Enabled Applications oder Terminal-Server-basierende Anwendungen sind Anwendungen, die ursprünglich nicht für ASP entwickelt wurden, aber

⁶¹Beschaffungszeiten und -kosten werden durch den Einsatz von E-Procurement-Anwendungen, welche den Beschaffungsprozess automatisieren, gesenkt.

⁶²Siehe [Gei00].

mittels verschiedener Hilfsmittel Web-enabled wurden. Prinzipiell kann dies mit jeder heute angebotenen Software, jeder Windows-Anwendung geschehen. Die kritischen Punkte sind die Umleitung der Ein- und Ausgaben und das Handling des auf dem Server entstehenden Traffics. Positiv ist, dass die gesamte Programmlogik bereits vorliegt und damit nur kurze Zeit benötigt wird, bis diese Anwendung auch als ASP-Dienst angeboten werden kann. Der Anbieter kann also zeitnah agieren. Dieser Aspekt sollte nicht unterschätzt werden, denn alle Experten sehen den Faktor „*time-to-market*“ als einen der wichtigsten im Zeitalter des E-Business. Durch die bereits fertige Anwendungslogik kann der Anbieter Kosten sparen, also einen Preisvorteil erzielen, der auch an die Kunden weitergegeben werden kann. Web-Enabled-Anwendungen arbeiten mit Remote Display Protokollen (RDP), d. h. die Anwendungen laufen vollständig auf dem Server und lediglich die Ein- und Ausgaben finden auf dem Client-Rechner statt.

Anwendungen, die Web-Enabled sind, haben auch kundenseitige Nachteile. So ist die Installation einer speziellen Software auf der Client-Seite nötig. Browser-Plug-Ins müssen geliefert werden, evtl. ist auch die Installation einer Java-Engine erforderlich. Die Bedeutung der Nachteile steigt, wenn bedacht wird, dass im Rahmen des E-Business eine Ausweitung der Geschäftsprozesse bis zum Endkunden beabsichtigt ist. Bei diesem kann die Installation eines Clients oder eines Plug-Ins als echter Nachteil der Lösung betrachtet werden⁶³. Eine weitere negative Eigenschaft wird in der benötigten Bandbreite gesehen. Zwar liegen die Mindestanforderungen mit 20Kbps sehr niedrig, jedoch kann der Bedarf sehr schnell steigen, gewinnen multimediale Inhalte weiter an Bedeutung. Mit einem interaktiven Gantt-Diagramm stößt die Web-Enabling-Technologie schnell an ihre Grenzen. Somit wird diese Form der ASP-Angebote oft als Übergangslösung gesehen. Die bekanntesten Vertreter dieser Variante sind *Microsoft Terminal Server*, *Citrix MetaFrame* und *Tarantella*.

Nachdem in der Anfangszeit des ASP die Web-Enabled Anwendungen dominierten (etwa bis zum Jahr 2001), werden derzeit mehr und mehr reine ASP-Anwendungen, sog. *Web-Centric Anwendungen* etabliert. Diese werden von Beginn der Entwicklung an für den Einsatz von Web-Browsern als User Interface ausgelegt und sind bereits durch diese grundlegende Entscheidung für ASP geeignet. In diese neue Gruppe der Anwendungen gliedern sich alle CGI-, HTML-, XML- und Java-basierten Programme. Hinsichtlich der beiden Faktoren *time-to-market* und Kosten ist diese Variante in Bezug auf vorhandene Software im Nachteil, da die gesamte Programmlogik und auch das Benutzerinterface neu implementiert werden müssen. Problematisch ist

⁶³Vgl. [Car01, S. 69 f.].

die Einbindung von Schnittstellen zu den lokalen Systemen.

Vorteilhaft ist diese Alternative aber im Hinblick auf die benötigten Programme beim Kunden. Es wird lediglich ein Web-Browser vorausgesetzt, also keine spezielle Client-Software. Im Gegensatz zum Web-Enabling laufen die Applikationen nicht vollständig auf dem Server. Bildschirmausgaben und Anwendereingaben werden auf dem Client unter Benutzung des MVC-Konzeptes ausgeführt. Etablierte Beispiele für Web-Centric Anwendungen sind im Bereich ERP das Angebot von *SAP* (www.mysap.com), im Bereich CRM die Lösung von *Onyx* und im Bereich CM die Angebote von *Imperia*, *Info-Office* und *EINSTEINet*. Die bekanntesten Vertreter von Web-Centric Software sind *Enterprise JavaBeans (EJB)*, *MS Windows DNA* und *Citrix Vertigo*, wobei für die informationstechnische Realisierung des EVCM lediglich EJBs aufgrund der Entscheidung für J2EE eine Rolle spielen.

Ein Bestandteil der Enterprise Java Plattform von Sun ist die Enterprise JavaBeans-Technologie. Sie beschreibt ein Modell zur Entwicklung und Verteilung von wiederverwendbaren Java-Server-Komponenten. Diese sind Softwaremodule, die zu lauffähigen Applikationssystemen kombiniert werden können. Die Enterprise JavaBeans-Architektur erweitert die bereits seit einiger Zeit als JavaBeans bekannten Module um Server-Komponenten. Applikationen, basierend auf einer verteilten Multi-Tier Architektur, bei der Teile der Businesslogik auf den Server übertragen werden, können nun durch diese Technologie entwickelt werden. Wird die neue Technologie verteilter Objekte mit bereits bewährten OLTP-Technologien (Online Transaction Processing) kombiniert, entsteht ein robuster Java Applikations-Server, der sich durch hohe Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit als Arbeitsumgebung für Web-basierte Applikationen empfiehlt. Die EJB-Architektur wird also zu einer neuen Leitlinie für die Portabilität von Applikationen nach dem WORA-Prinzip⁶⁴. Für Server-Komponenten war es bisher nicht möglich, befähigt durch eine Java-Engine entsprechende Java-Programme unter jedem Betriebssystem ablaufen zu lassen. Dafür sind zusätzliche Dienste nötig, die von der Java Engine bisher nicht angeboten wurden. Durch die EJB-Technologie wird eine Reihe hardware- und betriebssystemunabhängiger Programmierschnittstellen für alle Java Server ermöglicht⁶⁵. Es darf erwartet werden, dass auch andere ERP/SCM-Hersteller (als die *SAP*) ihre betriebswirtschaftliche Standardsoftware zukünftig auf der J2EE-Basis gründen.

Der folgende Abschnitt beschreibt die Anwendung der J2EE-Technologie zur Umsetzung der relevanten Methoden des EVCM als ASP-Funktionalitäten, die allen Kompetenzzellen gleichsam zur Verfügung stehen.

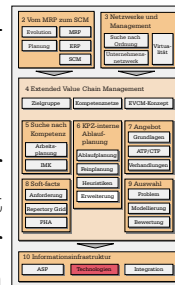
⁶⁴Write once run anywhere.

⁶⁵Vgl. [Car01, S. 76].

10.2 Aspekte einer informationstechnischen Realisierung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden eine ganze Reihe verschiedener Teilaufgaben und Abläufe des EVCM-Modells beschrieben. Dieser Abschnitt stellt nun geeignete Technologien zur Realisierung und Integration dieser Teilbereiche näher vor. Im Grunde ist ein technologisches Instrumentarium entsprechend der Definition in Abschnitt 4.3.1.4 gesucht oder, der ARIS-Konzeption von *Scheer*⁶⁶ folgend, die Überführung des betriebswirtschaftlichen Fachkonzeptes in ein DV-Konzept.

Der IMK ist dezentral organisiert und enthält die Gesamtheit der informationstechnisch notwendigen Voraussetzungen für die Umsetzung des EVCM-Konzeptes⁶⁷. Für den Entwurf einer technologischen Infrastruktur muss zunächst eine feinere Unterscheidung der vom IMK bereitgestellten Funktionalitäten getroffen werden.



10.2.1 EVCM als verteilte Applikation

Es wird angenommen, dass die einzelnen KPZ an das ERP des jeweiligen Unternehmens angeschlossen sind. Während der Genese eines temporären Wertschöpfungsnetzes benötigt das EVCM-System aktuelle Daten aus den ERP-Systemen wie Lagerbestände und Kapazitätsauslastung. Da von unterschiedlichen ERP-Systemen seitens der KPZ ausgegangen werden muss, wird ein individuelles Integrationsmodul benötigt, welches dem EVCM-System Zugriff auf alle benötigten Daten ermöglicht. Die Verarbeitung der bei den KPZ eintreffenden Anfragen und die Generierung von Antworten sollten ebenfalls KPZ-seitig stattfinden, da hier die benötigten Daten vorliegen. Andernfalls entstünde ein beträchtlicher Kommunikationsaufwand, der eine automatische Netzwerkgenese stark verlangsamt. Alle anderen Funktionen können von einer zentralen Instanz erledigt werden, die direkten Zugriff auf die Stammdaten des KPZN und die Domänenontologie hat. Auch die Steuerung des Aus- und Einrollprozesses kann sinnvoll nur an zentraler Stelle realisiert werden⁶⁸.

Diese Funktionsaufteilung impliziert eine Art Client-Server-Architektur. Die Menge der KPZ stellt dabei – zusammen mit dem Integrationsmodul und den

⁶⁶Siehe [Sch95a, S. 17].

⁶⁷Dieser Abschnitt basiert auf folgenden Publikationen des Autors: [Tei02l, Tei02h, Tei02g, Tei02f, Iva02].

⁶⁸Nicht verwechselt werden sollten die begrifflichen Kategorien zentral und hierarchisch!

lokalen Bestandteilen der EVCM-Logik des IMK – die Clients dar, während die zentralen Daten und Dienste des IMK als Server aufgefasst werden. Beide Seiten müssen über eine Kommunikationsinfrastruktur miteinander verbunden sein. Wie beschrieben liegen Teile der EVCM-Logik auf der Seite der KPZ. Die Generierung einer Antwort durch eine KPZ im Zuge des Einrollens kann als Dienst aufgefasst werden, der vom zentralen Teil des IMK angefordert wird. Damit werden quasi die Rollen von Client und Server vertauscht. Trotz dieser Einschränkung einer stringenten Rollenverteilung sollen im Folgenden die dezentralen Komponenten auf der Seite der KPZ als Client und die zentralen Bestandteile des IMK als Server bezeichnet werden. Abbildung 10.11 verdeutlicht diesen zunächst groben Architekturansatz⁶⁹.

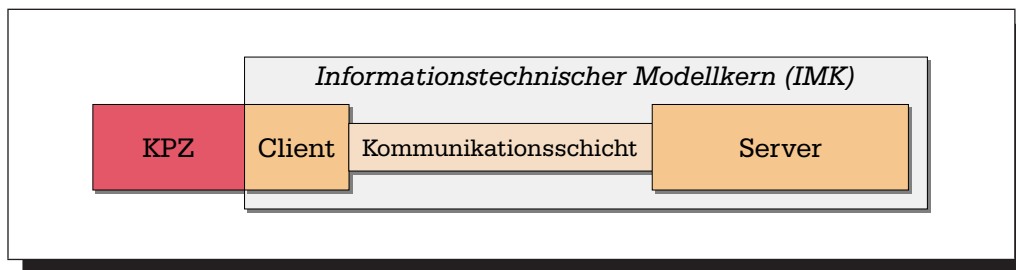


Abbildung 10.11: EVCM - Grober Architekturansatz

Um eine solche verteilte, unternehmensübergreifende Applikation zu implementieren, existiert eine unüberschaubare Bandbreite von Möglichkeiten. Eine sinnvolle Integration unternehmensübergreifender Prozesse kann aber nur auf Basis anerkannter Standards für Datenaustausch und -bearbeitung erfolgen. Aber selbst, wenn eine Eigenentwicklung auf der Grundlage dieser Standards erfolgt, erfordert sie umfangreiches Expertenwissen. Gesucht sind also Lösungsansätze, die den Anforderungen des EVCM-Netzwerkes entsprechen, auf anerkannten Standards basieren und eine einfache, schnelle und preiswerte Entwicklung erlauben. Im Folgenden sollen kritische Punkte aufgelistet werden, die bei der Entwicklung verteilter Unternehmensapplikationen berücksichtigt werden müssen⁷⁰.

Entfernte Methodenaufrufe: Es wird eine Logik benötigt, die Client und Server über das Netzwerk verbindet.

⁶⁹Zum Begriff der *Architektur* und zu deren Rolle in der Anwendungsentwicklung siehe [Foe01].

⁷⁰Siehe [Rom02, S. 6].

Load Balancing/Lastverteilung: Clientzugriffe müssen auf der Serverseite so verteilt werden, dass Antwortzeiten minimiert werden.

Ausfallmanagement: Wie können Clientzugriffe ohne Unterbrechung umgeleitet werden bzw. welche Ausfallzeiten sind vertretbar, wenn Teile des Netzwerkes oder Server versagen?

Datenhaltung/Back-end Integration: Wie wird die Persistenz wichtiger Daten garantiert? Wie wird Konsistenz, Transaktionssicherheit und die Anbindung bereits vorhandener Systeme oder Daten gewährleistet?

Dynamische Wartung: Wie können im laufenden Betrieb Server gewartet und neue Komponenten integriert werden?

Problemrevision: Wo wird aufgezeichnet, wenn etwas schief geht, so dass sich Problem und seine Ursache identifizieren und beheben lassen?

Systemmanagement: Alarmiert die Software im Falle eines Systemversagens den Administrator?

Threading: Im Falle vieler gleichzeitig zugreifender Clients muss der Server die Fähigkeit besitzen, diese gleichzeitig zu bedienen, d. h. er muss „multi-threading“ beherrschen.

Message Oriented Middleware (MOM): Bestimmte Arten von Zugriffen sollten asynchron über Nachrichten erfolgen, insbesondere wenn Client und Server (wie im EVCN) lose gekoppelt sind.

Lebenszyklus Management der Objekte: Der Server muss interne Objekte erzeugen und zerstören können, um eine Balance aus Clientenzugriffen und vorhandenen Hardwareressourcen zu finden.

Ressourcenmanagement: Der Server muss die Zugriffslast möglichst optimal auf vorhandene Ressourcen verteilen.

Sicherheit: Server und Datenbanken müssen gegen unerlaubten Zugriff und Sabotage geschützt werden. Registrierten Nutzern müssen entsprechende individuelle Zugriffsrechte zugeteilt werden können.

Caching: Wenn bestimmte Daten von vielen Clients benötigt werden, sollten sich diese im Speicher des Servers befinden, um unnötige Datenbankzugriffe und damit Zeit zu sparen.

Zusammengenommen bilden diese serverseitigen Dienste die so genannte Middleware. Eine weitere, für eine Entscheidung wichtige Rahmenbedingung wird durch die heterogene Struktur der IT-Landschaft des KPZN gesetzt. Unterschiedliche, bereits vorhandene Hard- und Softwaresysteme müssen mit vertretbarem Aufwand integriert werden. Das Betreiben einer vorhandenen Anbindung an das EVCM-System liegt in der Verantwortung der KPZ und entzieht sich zentraler Kontrolle. Das System muss damit in besonderem Maße fehlertolerant sein und temporäre Ausfälle von KPZ verkraften können. Eine zweckmäßige Lösung im obigen Sinne entlastet den Entwickler von der Implementierung einer Vielzahl der oben aufgeführten Middleware-Dienste, so dass er sich weitgehend auf die Betrachtung der eigentlichen Applikationslogik konzentrieren kann. Der Bedarf einer solchen vereinheitlichenden Abstraktionsschicht wurde schon vor einigen Jahren von der Softwareindustrie erkannt. Sie entwickelte Applikations-Server, um den Kunden die Möglichkeit zu geben, Middleware-Dienste einkaufen zu können, anstatt sie selbst zu entwickeln. Der Applikations-Server liefert dabei die Umgebung, in der die Softwarekomponenten für die eigentliche Applikationslogik laufen.

10.2.2 Corba, J2EE und .NET

Unter den Herstellern gab es keine Übereinkunft über einheitliche Schnittstellendefinitionen und darüber, was Softwarekomponenten eigentlich sind und was sie leisten sollen. Diese proprietären Lösungen führten zu Herstellerabhängigkeit, Problemen bei der Verknüpfung unterschiedlicher Applikations-Server und zu hohem Aufwand bei der Portierung von Softwarekomponenten⁷¹.

Ab Mitte der 90er Jahre begann sich die Corba-Technologie (Common Object Request Broker Architecture) der Object Management Group (OMG)⁷² im industriellen Umfeld zu etablieren. Die Corba-Spezifikation standardisiert einige Middleware-Dienste wie Persistenz, Transaktionsmanagement, Messaging, Verteilungstransparenz für die Softwarekomponenten und Anfragesprachen. Ein großer Vorteil ist dabei die Unabhängigkeit von der Programmiersprache, in der kommunizierende Softwarekomponenten geschrieben sind.

Mit dem Aufkommen des Internets wurde eine Anbindung von Unternehmensapplikationen im Rahmen des E-Business immer wichtiger. Das Unternehmen *Sun Microsystems* erkannte diesen Trend frühzeitig und setzte mit

⁷¹Siehe [Rom02, S. 5].

⁷²Siehe <http://www.omg.org> und zum Katalog der Corba Spezifikationen [Obj02].

der Einführung der Java 2 Enterprise Edition (J2EE)⁷³ im Jahr 1999 einen mittlerweile weitgehend akzeptierten Standard im Bereich der Applikations-Server. J2EE basiert auf der von *Sun* entwickelten Programmiersprache Java. Unabhängigkeit von der zugrundeliegenden Hardwareplattform und eine breite Unterstützung der Internet-Technologien sind wichtige Eigenschaften von Java. Die Plattformunabhängigkeit entsteht, da Java-Programme in einer plattformabhängigen, so genannten Virtuellen Maschine ablaufen, welche den plattformunabhängigen Code zunächst interpretieren muss. Dieser zusätzliche Aufwand für die Plattformabhängigkeit bedeutet einen gewissen Performanzverlust. Trotzdem erscheint dieser Aufwand in einer heterogenen Umgebung wie dem KPZN gerechtfertigt. Im Gegensatz zu Corba ist die J2EE-Welt von vornherein auf Java als Programmiersprache begrenzt. Eine detaillierte Gegenüberstellung von Corba und J2EE liefert *Hollunder*⁷⁴.

Klare Vorteile des J2EE-Ansatzes liegen in den Bereichen Standardisierung von Internetanwendungen, größere Zahl genormter Infrastrukturdienste, flexible Konfigurierbarkeit von Komponenten und Verfügbarkeit durchgängiger Entwicklungsumgebungen. Vorteile von Corba hingegen sind der mögliche Einsatz vieler Programmiersprachen und die daraus resultierende bessere Integration von bestehenden Systemen sowie ausgereifere Spezifikationen. Allerdings muss es in Bezug auf den Einsatz von J2EE und Corba keine exklusive Entscheidungen geben. Corba Komponenten können problemlos in die J2EE-Welt integriert werden. Standardmäßig wird in J2EE sogar dasselbe Kommunikationsprotokoll IIOP benutzt (Inter-Internet ORB Protokoll, ORB - Object Request Broker). Einige Applikations-Server verfügen sogar über die Möglichkeit, Corba und J2EE Komponenten in derselben Umgebung ablaufen zu lassen.

Im Gegensatz zu diesen Ansätzen steht die relativ neue .NET (oder auch DotNet) Plattform der Firma *Microsoft*⁷⁵. .NET ist eine Produkt-Suite für internetbasierte Unternehmensapplikationen. Demgegenüber sind J2EE und Corba keine Produkte, sondern Standards für die Entwicklung von Produkten, die von den Herstellern implementiert werden. Es existieren zur Zeit ca. 50 verschiedene Applikations-Server auf J2EE-Basis (und die meisten liefern dabei auch eine breite Unterstützung von Corba). Die verbreitetsten kommerziellen J2EE-Applikations-Server sind Weblogic der *BEA* und Websphere von *IBM*. Diesen High-End-Servern stehen auch OpenSource Implementierungen wie Jboss/Apache gegenüber (die aber genauso die J2EE-Spezifikationen erfüllen müssen). Kunden können sich den für sie passenden

⁷³Homepage von J2EE: <http://java.sun.com/j2ee>.

⁷⁴Siehe [Hol01a].

⁷⁵Homepage von .NET: <http://www.microsoft.com/net/>.

Applikations-Server auswählen. Der J2EE-Standard sorgt für eine reibungslose Kommunikation und Austauschbarkeit von Komponenten zwischen verschiedenen Applikations-Servern.

Wesentliche Vorteile von .NET gegenüber J2EE ergeben sich aus der Integration einer Vielzahl von Programmiersprachen und der besseren Unterstützung der Extensible Markup Language (XML), die sich (neben den etablierten EDI Lösungen) zunehmend als Standard im unternehmensübergreifenden Datenaustausch durchsetzt. Eine detaillierte Gegenüberstellung von J2EE und .NET würde an dieser Stelle jedoch zu weit führen⁷⁶.

Applikations-Server auf J2EE-Basis dominieren zur Zeit den Markt. *Gartners* Research Director *Mark Driver* geht von einer Koexistenz von J2EE und .NET im Jahr 2005 aus, wobei beide ca. 40% Marktanteil halten⁷⁷. Drei Gründe führten dazu, für ein DV-Konzept des EVCM-Modells im Folgenden den J2EE-Ansatz zu verfolgen. Zunächst ist J2EE seit einigen Jahren verfügbar und viele Hersteller haben den Standard implementiert. Die konstituierenden Haupttechnologien gelten als ausgereift und praxiserprobt. Demgegenüber kann aufgrund der Neuheit vieler .NET-Technologien und -Konzepte zu deren Reifegrad noch keine Aussage getroffen werden. Desweiteren scheint der plattformunabhängige J2EE-Ansatz in Netzwerken mit heterogener IT-Architektur angemessener als .NET, das – zumindest nach dem jetzigen Stand – ein Windows Betriebssystem erfordert⁷⁸. Schließlich ist die freie Verfügbarkeit aller Spezifikationen sowie kostenloser Entwicklungsumgebungen und Implementierungen der J2EE-Plattform zu nennen. Ferner ist zu erwarten, dass sich .NET und J2EE durch den Druck der Anwender aufeinander zu bewegen. Schon jetzt bietet die Schnittstelle für die Web Services einen Ansatzpunkt für die Integration der beiden Systemwelten⁷⁹. Es steht zu erwarten, dass in naher Zukunft die Entscheidung eines Unternehmens für eine der beiden Lösungen keine strategische Bedeutung mehr haben wird. Vielmehr ist eine problemlose Koexistenz und Kooperation der beiden Systeme auch innerhalb eines Unternehmens wahrscheinlich⁸⁰.

10.2.3 Java 2 Enterprise Edition (J2EE)

J2EE bietet einen komponentenbasierten Ansatz für das Design, die Entwicklung und die Implementierung von Unternehmensapplikationen. Sie folgt dem

⁷⁶Siehe [Vaw02] und [Far02].

⁷⁷Siehe [Gru02].

⁷⁸Vgl. [Far02].

⁷⁹Siehe [Plu02].

⁸⁰Vgl. [Rei02].

bewährten Multi-Tier-Prinzip für verteilte Systeme, unterstützt die Wiederverwendung der Komponenten, integriert die Extensible Markup Language (XML) für den Datenaustausch, liefert ein einheitliches Sicherheitsmodell und ein flexibles Transaktionsmanagement. Wie bereits erläutert, ist J2EE kein Produkt, sondern eine Spezifikation von *Sun Microsystems*. Sie legt fest, welche Dienste ein J2EE-Produkt anbieten muss und welche Regeln dabei einzuhalten sind. J2EE ist nur eine von drei Java-Plattformen.

- *Java 2 Platform, Micro Edition (J2ME)*⁸¹:
Entwicklungsplattform für java-fähige Kleingeräte (Handhelds, PDA, Handies, Pager etc.), eingeschränkte Form der Java Programmiersprache aufgrund von Performanz und Kapazitätsbeschränkungen dieser Geräte.
- *Java 2 Platform, Standard Edition (J2SE)*⁸²:
Liefert alle für die Entwicklung von Applets und Stand-alone-Anwendungen benötigten Dienste und Bibliotheken.
- *Java 2 Platform, Enterprise Edition (J2EE)*⁸³:
Enthält die Schnittstellen aller für die Entwicklung serverseitiger Unternehmensapplikationen notwendigen Technologien und Dienste und bündelt diese in einer integrierten Plattform.

10.2.3.1 J2EE Technologien

Die Technologien der J2EE Spezifikation sind aufeinander abgestimmt und greifen ineinander. Sie lassen sich in Komponenten- und Kommunikationstechnologien sowie Middleware-Dienste unterteilen⁸⁴. Die Komponententechnologien werden benutzt, um den wichtigsten Applikationsteil abzubilden, die Geschäftslogik. Die Laufzeitumgebung für die Komponenten wird durch so genannte Container bereitgestellt. Zu den Komponententechnologien gehören Java Server Pages (JSP), Servlets und Enterprise JavaBeans (EJB).

Die Kommunikationstechnologien enthalten unterschiedliche Mechanismen für die Kommunikation verschiedener Teile einer J2EE-Applikation. Dazu gehören die Internet Protokolle HTTP, TCP/IP und SSL⁸⁵, die Protokolle

⁸¹Siehe [Sun02e].

⁸²Siehe [Sun02b].

⁸³Siehe [Sun01c].

⁸⁴Vgl. [All00, S. 23].

⁸⁵HTTP: Hypertext Transfer Protocol, TCP/IP: Transmission Control Protocol over Internet Protocol, SSL: Secure Socket Layer

für den entfernten Methodenzugriff RMI und RMI-IIOP⁸⁶ sowie Dienste für den asynchronen Nachrichtenaustausch in Form des Java Message Service (JMS) und JavaMail.

Middleware-Dienste versorgen die Komponenten mit Zusatzfunktionen oder geben diesen spezielle Eigenschaften, um ihre Aufgabe effizient und zuverlässig erfüllen zu können. Dazu gehören JDBC für den Datenbankzugriff, JTA für das Transaktionsmanagement und JNDI⁸⁷ als Namens- und Verzeichnisdienst. Abbildung 10.12⁸⁸ verdeutlicht das Zusammenspiel der einzelnen J2EE-Technologien.

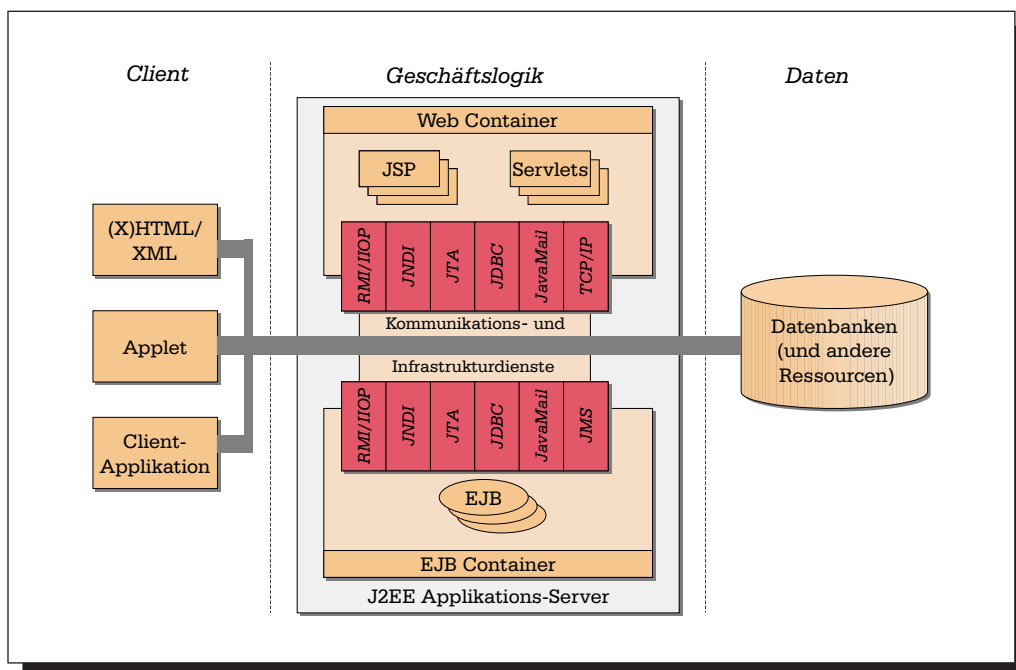


Abbildung 10.12: J2EE-Architektur

10.2.3.2 Multi-Tier-Architektur

Wie bereits in Abbildung 10.12 ersichtlich, lassen sich die einzelnen Elemente einer J2EE-Architektur verschiedenen Schichten zuordnen. Damit folgt J2EE dem allgemein akzeptierten Multi-Tier Ansatz für verteilte Anwendungen. Entsprechend Abbildung 10.13⁸⁹ können J2EE-Architekturen drei

⁸⁶RMI: Remote Method Invocation, RMI-IIOP: RMI over Inter-Internet ORB Protocol

⁸⁷JDBC: Java Database Connectivity, JTA: Java Transaction Service, JNDI: Java Naming and Directory Interface

⁸⁸Siehe [All00, S. 17].

⁸⁹Siehe [Sun02d, S. 3].

oder vier Schichten aufweisen. Allgemein werden diese Varianten aber als 3-Tier-Architektur angesehen, da sie über drei verschiedene Bereiche verteilt sind: die Client Schicht, die vor allem der Präsentation dient, die J2EE-Server Schicht, welche die Geschäftslogik enthält sowie die Datenschicht. Das klassische 2-Tier-Client-Server-Modell wird so durch den Einschub des Applikations-Servers zwischen Client und Datenbank erweitert.

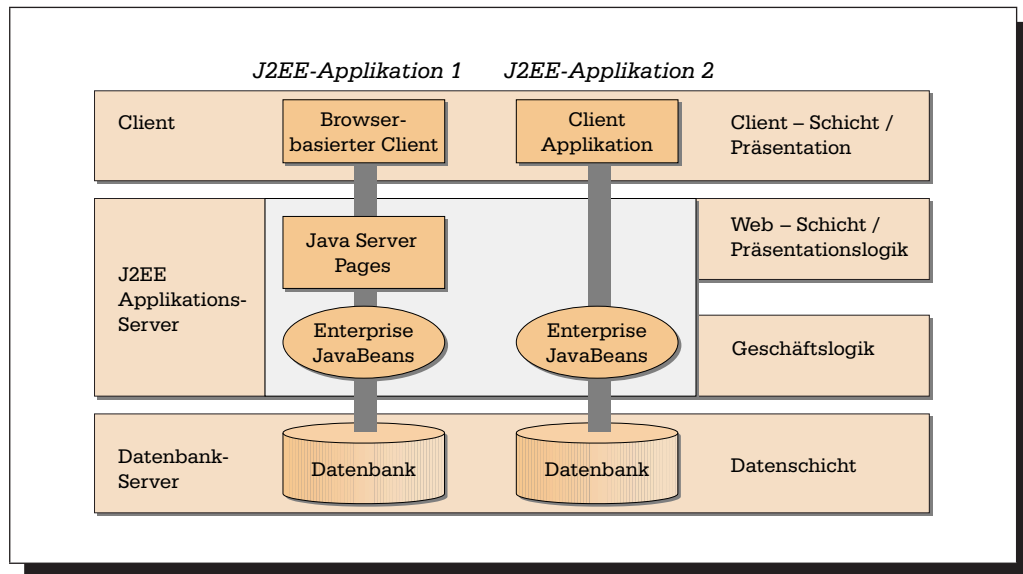


Abbildung 10.13: Multi-Tier-Architektur

10.2.3.3 J2EE Komponenten

J2EE-Komponenten sind funktional abgrenzbare Software-Einheiten innerhalb der J2EE-Applikation, die über definierte Schnittstellen mit anderen Komponenten oder einer Datenbank kommunizieren:

- Client-Applikationen und Applets sind client-seitige Komponenten,
- Servlets und Java Server Pages (JSP) sind Web Komponenten auf der Serverseite und
- Enterprise JavaBeans (EJB) enthalten die Geschäftslogik der Applikationen und laufen auf der Serverseite

Alle J2EE-Komponenten sind in der Java Programmiersprache geschrieben. Der Unterschied zu „normalen“ Java Klassen ist, dass J2EE-Komponenten als Teil einer J2EE-Applikation zusammen mit Hilfsklassen über eine bestimmte Prozedur in die Laufzeitumgebung des Servers eingesetzt werden müssen. Dabei erfolgt eine Überprüfung auf Vollständigkeit der mitgelieferten Beschreibung, Einhaltung der J2EE-Spezifikation, Korrektheit und auf fehlerfreies Zusammenspiel mit bereits eingesetzten Komponenten⁹⁰. Der J2EE-Server verwaltet zur Laufzeit die eingesetzten Komponenten und versorgt sie mit den benötigten Middleware Diensten und Kommunikationstechnologien.

10.2.3.4 J2EE Container

Serverseitige J2EE-Komponenten wie JSP und EJB sind allein nicht ablauffähig, das heißt sie benötigen für ihre Ausführung eine auf sie abgestimmte Umgebung, den bereits erwähnten Container. Ein Applikations-Server auf J2EE-Basis stellt zwei verschiedene Container zur Verfügung. Der *Web Container* liefert die Umgebung für JSP und Servlets und der *EJB Container* verwaltet die Komponenten der Geschäftslogik, die Enterprise JavaBeans. Schon in Abbildung 10.12 wurde die zentrale Rolle der Container in der J2EE-Architektur verdeutlicht.

Ein J2EE-Container hat im Wesentlichen drei Aufgaben. Zunächst ist er für das Management der Komponenten zuständig, denen er als Laufzeitumgebung dient. Außerdem bildet der Container eine Schnittstelle zwischen den serverseitigen J2EE-Komponenten und den Clienten, die diese benutzen. Die dritte und bezüglich der Vereinfachung der Komponentenentwicklung wesentlichste Aufgabe des Containers ist die Bereitstellung von Schnittstellen zu Middleware-Diensten und Kommunikationstechnologien.

Beim Einsetzen einer Komponente in den Container wird diesem über eine spezielle Textdatei, dem *Deployment Descriptor*, gleichzeitig mitgeteilt, wie dieser die Komponente zu behandeln hat, welche Dienste sie in Anspruch nimmt und über welche Schnittstellen der Zugriff erfolgen soll. Das bedeutet, dass für jede Komponente individuelle Einstellungen getroffen werden können, ohne deren Quellcode verändern zu müssen. Beispielsweise könnte einer EJB in Container A der Zugriff auf eine bestimmte Datenbank ermöglicht werden, während dieselbe EJB in Container B dieses Recht nicht erhält. Dieser Ansatz zwingt den Entwickler zu einer strikten Trennung von Geschäfts- und Infrastrukturlogik. Letztere implementiert er nicht, sondern adressiert die für eine bestimmte Komponente benötigten Dienste im Deployment De-

⁹⁰Vgl. [Sin02, S. 208].

scriptor. Dadurch wird eine hohe Stabilität und Herstellerunabhängigkeit der Geschäftslogik erreicht. Die Komponenten lassen sich problemlos zwischen verschiedenen Applikations-Servern austauschen und in überschaubarer, definierter Weise an neue Anforderungen anpassen. Abbildung 10.14⁹¹ illustriert den Aufbau eines Containers.

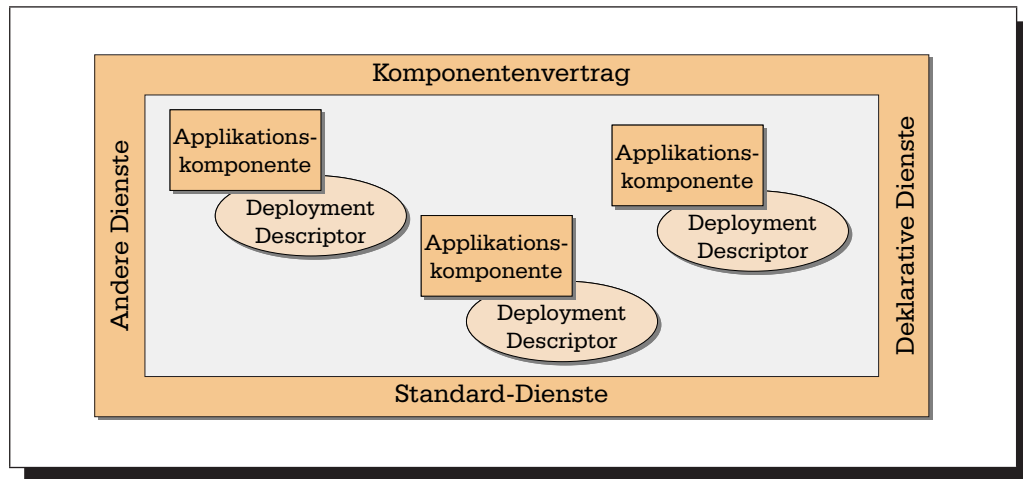


Abbildung 10.14: Aufbau eines J2EE-Containers

Der Entwickler einer J2EE-Applikation kodiert also die Komponenten und beschreibt diese und die benötigten Zusatzinformationen für das Komponentenmanagement im Deployment Descriptor. Die Elemente in den Randbereichen der Abbildung 10.14 werden vom Container bereitgestellt und sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

10.2.3.4.1 Komponentenvertrag

Wie bereits erwähnt, ist der Container die Laufzeitumgebung für die eingesetzten Komponenten. Das heißt, er muss in der Lage sein, Instanzen dieser Komponenten zu erzeugen, Methodenaufrufe an die richtige Instanz weiter zu leiten und Instanzen wieder zu zerstören⁹². Um dem Container dieses Lebenszyklus-Management zu ermöglichen, muss die Komponente gewisse Regeln einhalten. Technisch bedeutet das, dass die Quellcode-Klasse der Komponente eine Erweiterung einer definierten Java-Klasse aus der J2EE-Klassenbibliothek sein muss, von der sie die benötigten Methoden für das Lebenszyklus-Management erbt.

⁹¹In Anlehnung an [All00, S. 18].

⁹²Vgl. [Raj02a].

Diese Verfahrensweise ist noch für einen zweiten Aspekt von Bedeutung. Normalerweise werden die J2EE-Komponenten von einem Clienten (KPZ) auf einem entfernten Computer gerufen. Diese Aufrufe erfolgen nicht direkt, sondern werden zunächst vom Container aufgefangen und dann an die richtige Instanz weitergeleitet. Dieser Mechanismus ist ein wichtiges J2EE-Prinzip und wird auch als *Interposition*⁹³ bezeichnet. Der Entwickler braucht diesen Mechanismus nicht zu implementieren, aber er muss wiederum die für die jeweilige Komponente richtigen Klassen der J2EE-Klassenbibliothek als „Schablone“ benutzen, um die Interposition damit implizit zu ermöglichen.

Auf diese Weise wird erreicht, dass der Entwickler solche komplizierten Verfahrensweisen nicht berücksichtigen muss und sich auf die Geschäftslogik seiner Komponente konzentrieren kann. Andererseits zwingt ihn dieses Vorgehen zur impliziten Implementierung aller notwendigen Dienste und gewährleistet somit Portabilität der Komponenten und deren fehlerfreies Zusammenspiel mit der Laufzeitumgebung.

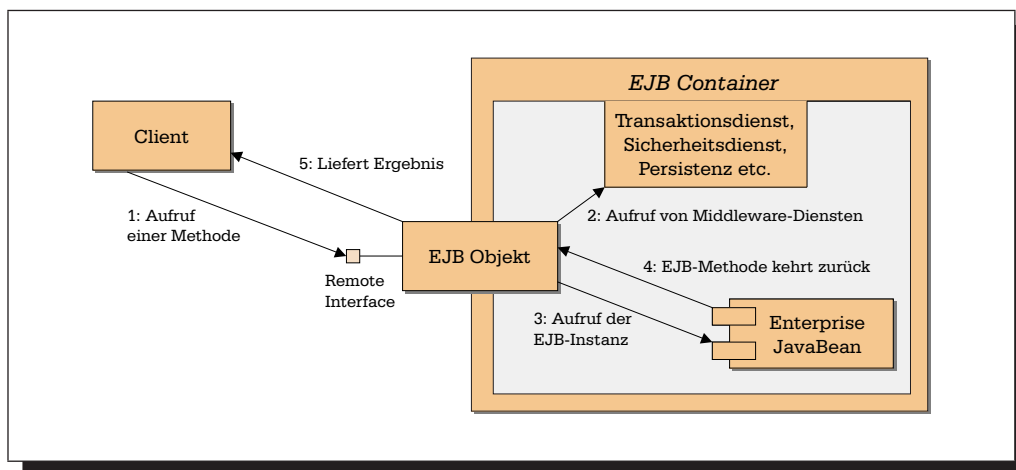


Abbildung 10.15: Interposition

Abbildung 10.15⁹⁴ zeigt die Interposition am Beispiel des EJB-Containers. Clientenzugriffe auf eine bestimmte EJB werden vom EJB-Objekt abgefangen, welches den Eintrittspunkt in den Container realisiert. Dieses Objekt ist transparent für den Clienten und die EJB, obwohl jegliche Kommunikation darüber abläuft. Es dient dem Container als Instrument, Methodenzugriffe in Middleware-Dienste wie Transaktionen, Sicherheit und Persistenz einzubetten. Über den mittelbaren Zugriff mit dem Container als Mediator wird

⁹³Siehe [All00, S. 873].

⁹⁴In Anlehnung an [Rom02, S. 40].

in einer J2EE-Applikation also die Trennung in Geschäfts- und Infratrakturlogik realisiert.

10.2.3.4.2 Standard-Containerdienste

Die J2EE-Spezifikation definiert eine Reihe von Java-Standard-Erweiterungen, die jeder J2EE-basierte Applikations-Server implementieren muss. Ein J2EE-Container stellt diese Dienste wie JDBC, JTA, JNDI und JMS den eingesetzten Komponenten zur Verfügung. Alle von den Komponenten dabei benötigten Ressourcen (Datenbankverbindungen, Warteschlangen für Nachrichten usw.) werden vom Applikations-Server zentral über JNDI verwaltet⁹⁵. Die J2EE-Architektur erlaubt, einen Container auf mehrere Server zu verteilen. Ein solcher Container bündelt mehrere Java Virtual Machines (JVM) zu einer gemeinsamen Laufzeitumgebung. Der einheitliche Zugriff über JNDI sorgt dabei für Ortstransparenz. Das heißt, der zugreifende Client muss nicht wissen, auf welchem Server sich benötigte Ressourcen oder Komponenten befinden, sondern adressiert diese nur über ihren JNDI-Namen. Komponenten können dadurch auch zur Laufzeit lastabhängig auf verschiedene Server verteilt werden. Dieses Load Balancing gehört zu den Standardfunktionen der meisten J2EE-Applikations-Server. Der einheitliche Zugriff über JNDI-Namen erlaubt auch eine problemlose Skalierung des Systems durch Clustering. Nach der Integration eines neuen Servers werden dessen Ressourcen vom Container mitverwaltet und in das Load Balancing einbezogen.

10.2.3.4.3 Deklarative Dienste

Abhängig von der Art der Komponente können im Deployment Descriptor verschiedene Dienste wie Transaktionen, Sicherheit und Persistenz deklariert werden. Es besteht auch die Möglichkeit, diese Dienste explizit aufzurufen. Ein Datenbankzugriff, der in eine Transaktion eingebettet ist, kann so auf herkömmliche Weise programmiert werden. Das widerspräche allerdings dem Prinzip der Trennung von Geschäfts- und Infrastrukturlogik, wodurch solche Komponenten unflexibler, fehleranfälliger und weniger portabel wären. Die elegantere Variante ist, dem Container mit Hilfe des Deployment Descriptors mitzuteilen, welche Methoden der Komponente innerhalb einer Transaktion stattfinden sollen und dem Container das Transaktionsmanagement zu überlassen. Möglich werden diese deklarativen Dienste durch das bereits beschriebene Prinzip der Interposition. Im Falle deklarerter Transaktionen startet der Container die Transaktion, bevor er den Methodenaufruf an die Instanz

⁹⁵Vgl. [All00, S. 20].

der Komponente weiterleitet und beendet diese, wenn der Methodenaufruf zurückkehrt⁹⁶. Der Vorteil hierbei ist die hohe Flexibilität, mit der Komponenten und Dienste kombiniert werden können. Der Entwicklungsprozess verringert sich in seiner Komplexität, da Komponenten und Dienste nicht integriert, sondern sequenziell betrachtet werden können. Die Dienstzuordnung kann sehr spät erfolgen und selbst zur Laufzeit der Komponente relativ problemlos verändert werden, indem der zugehörige Deployment Descriptor ausgetauscht wird⁹⁷.

10.2.3.4.4 Andere Container Dienste

Einige Dienste sollen an dieser Stelle noch vorgestellt werden, um das mächtige Konzept des Containers noch besser zu veranschaulichen und die Entscheidung für J2EE nachvollziehbar zu gestalten.

Entfernter und lokaler Zugriff: J2EE-Komponenten sind selbst nicht netzwerkfähig. Der Container macht sie verfügbar, indem er ein netzwerkfähiges Objekt vorschaltet. Entfernte Methodenaufrufe werden von diesem Objekt empfangen und an die richtige Instanz der Komponente weitergeleitet. Das auch hier zum Einsatz kommende Instrument der Interposition macht die J2EE-Komponenten netzwerkfähig, ohne das der Entwickler auch nur eine Zeile Code dafür schreiben muss.

Einige Komponenten benötigen keine Netzwerkfähigkeit, da sie ausschließlich von anderen Komponenten innerhalb desselben Containers benutzt werden. Für diesen Fall implementiert der Container Objekte für den lokalen Zugriff, welcher im Vergleich zum entfernten Zugriff wesentlich performanter ist. Verfügt eine Komponente ausschließlich über lokale Schnittstellen, lässt sie sich allerdings nicht verteilen, sondern muss zusammen mit den nutzenden Komponenten im selben Container verbleiben. Deshalb können solche Komponenten beim Load Balancing nicht berücksichtigt werden. Skalierbarkeit durch Clustering ist dann nur eingeschränkt möglich.

Die von *Sun* im Nachhinein eingeräumte Möglichkeit des lokalen Zugriffs widerspricht im Grunde der ursprünglich verfolgten Philosophie der uneingeschränkten Verteilbarkeit der J2EE Komponenten. Diese Maßnahme ist als Antwort auf die starke Kritik an der Performanz der entfernten Methodenaufrufe zu verstehen. In der Tat lassen sich beim überlegten Einsatz lokaler Schnittstellen enorme Performanzgewinne erzielen. Im Entwicklungsprozess sollte aber eine sorgfältige Abwägung des Trade-offs zwischen Flexibilität und Performanz erfolgen.

⁹⁶Vgl. [Raj02b].

⁹⁷Vgl. [Sin02, S. 246 ff.].

Persistenz: Die meisten Komponenten der Geschäftslogik operieren direkt oder indirekt auf Daten, die in einer Datenbank auf einem permanenten Speicher abgelegt sind. Datenbankzugriffe werden in Transaktionen gekapselt, um einerseits die Datenkonsistenz zu garantieren (wenn verschiedene Komponenten gleichzeitig dieselben Daten verändern möchten) und andererseits den jeweils aktuellen Stand der Daten auf einem permanenten Speicher abzusichern, so dass bei einem Systemausfall keine Daten verlorengehen. Diese häufig benötigten Funktionen für jede Anwendung neu zu kodieren ist ineffektiv, erfordert beträchtliches Know-how sowie Entwicklungszeit und stellt zudem eine ernst zu nehmende Fehlerquelle dar. J2EE erlaubt die Konstruktion datenhaltender EJB, welche im Deployment Descriptor als persistent gekennzeichnet werden. Der Zugriff auf diese Komponenten ist wesentlich schneller im Vergleich zum Datenbankzugriff. Sie dienen den zugreifenden Komponenten quasi als Cache. Der Container kümmert sich im Hintergrund um die Verknüpfung dieser Komponenten mit der Datenbank und gewährleistet so die Persistenz.

Ressourcenmanagement: Der Container verwaltet die von den eingesetzten Komponenten benötigten Ressourcen wie Threads, HTTP Sockets, Datenbankverbindungen usw. Je nach auftretender Last erzeugt oder zerstört er solche Ressourceninstanzen.

Instanzpooling: Wie oben beschrieben ist der Container verantwortlich für das Lebenszyklus-Management der eingesetzten Komponenten. Wenn Clienten auf eine Komponente zugreifen möchten, erzeugt er dynamisch neue Instanzen oder gibt unbenutzte Instanzen zur Wiederverwendung frei. In der Regel wird dabei jedem Zugriff genau eine Instanz zugeordnet, das heißt, parallele Zugriffe werden auf separate Instanzen verteilt. Die dynamische Verwaltung einer Menge von Instanzen einer eingesetzten Komponente wird als Instanzpooling bezeichnet.

Nebenläufigkeit: Über den Mechanismus der Verteilung paralleler Zugriffe auf separate Instanzen garantiert der Container auch die Threadsicherheit der Applikation. Jeder Instanz wird für die Bearbeitung der gerufenen Methode ein Thread zugeteilt. Vor der Verteilung serialisiert der Container die Zugriffe. Treffen mehr Zugriffe ein, als Instanzen erzeugt werden können (durch vorab definierte Pool-Obergrenzen oder die Begrenzung des Arbeitsspeichers), werden die zusätzlichen Zugriffe vom Container in einer Warteschlange verwaltet.

Im nächsten Abschnitt sollen die Komponenten der Geschäftslogik, die Enterprise JavaBeans näher erläutert werden. Sie werden, wie auch allgemein in der J2EE-Plattform, beim abschließend vorgestellten Konzept einer J2EE-basierten EVCN-Systemarchitektur eine zentrale Rolle einnehmen. Dafür ist das Verständnis der wichtigsten Konzepte der Enterprise JavaBean-Technologie notwendig.

10.2.4 Enterprise JavaBeans (EJB)

Enterprise JavaBeans (EJB) sind portable, herstellerunabhängige, serverseitige Softwarekomponenten für den Einsatz in J2EE-basierten, verteilten Multi-Tier-Architekturen. Der Entwickler wird durch die J2EE-Architektur gezwungen, Geschäfts- und Infrastrukturlogik zu trennen und definierte Schnittstellen zwischen beiden Schichten zu implementieren. EJB werden entweder in der untersten Schicht einer Multi-Tier-Architektur benutzt, um auf Daten zugreifen zu können oder in der Mittelschicht, um eine wiederverwendbare Geschäftslogik abzubilden. In der aktuellen EJB-Spezifikation 2.0⁹⁸ definiert Sun drei verschiedene Arten von EJB:

Session Beans: Mit Session Beans werden Prozesse der Geschäftslogik modelliert. Sie lassen sich in der Regel mit Verben beschreiben, da definierte Aktionen stattfinden (z. B. Auftrag annehmen, Produkt finden). Es können auch mehrere, logisch miteinander verkettete Aktionen, so genannte Workflows mit Session Beans realisiert werden (z. B. Auftragsbearbeitung, Einkaufsassistent). Die Instanz einer Session Bean repräsentiert einen einzelnen Clienten innerhalb der Applikation. Um eine Aktion auszuführen, ruft der Client Methoden dieser Instanz - in der Regel über das Netzwerk - auf. Wie schon der Name vermittelt, kann sich die Beziehung zwischen Client und Session Bean als interaktive Sitzung vorgestellt werden. Solange der Client mit dem Server verbunden bleibt, operiert er auf ein und derselben Instanz. Beendet er die Sitzung, terminiert auch die Session Bean (oder wird vom Container zur Wiederverwendung freigegeben). Sie ist nicht persistent, anfallende Daten werden nicht auf einem permanenten Speicher gesichert.

Entity Beans: Entity Beans dienen der Modellierung der Geschäftsdaten. Sie sind gewissermaßen Cache-Objekte zwischen Geschäftslogik und Datenbank, die einen schnellen Zugriff auf regelmäßig benötigte Daten erlauben. Entity Beans sind üblicherweise mit Substantiven beschreibbar (wie Konto, Produkt, Auftrag). Sie repräsentieren zumeist eine bestimmte Tabelle einer relationalen Datenbank. Session Beans bedienen

⁹⁸Siehe [Sun01a].

in der Regel Clients und operieren auf Daten, die ihnen durch Entity Beans bereitgestellt werden.

Message Driven Beans: Message Driven Beans bilden ähnlich Session Beans Aktionen ab. Der Zugriff erfolgt aber nicht über Methodenaufrufe, sondern über Nachrichten (Messages). Sie bieten damit asynchron kommunizierenden Clients den Eintrittspunkt in die serverseitige Geschäftslogik. Eintreffende Nachrichten werden von den Message Driven Beans aus einer Warteschlange entnommen, also nach dem FIFO-Prinzip (First In First Out) bearbeitet. Die Bearbeitung erfolgt entweder unter Nutzung von Entity Beans oder wird an Session Beans weitergeleitet. Abbildung 10.16⁹⁹ verdeutlicht die Interaktion zwischen Clients und den verschiedenen EJB-Ausprägungen.

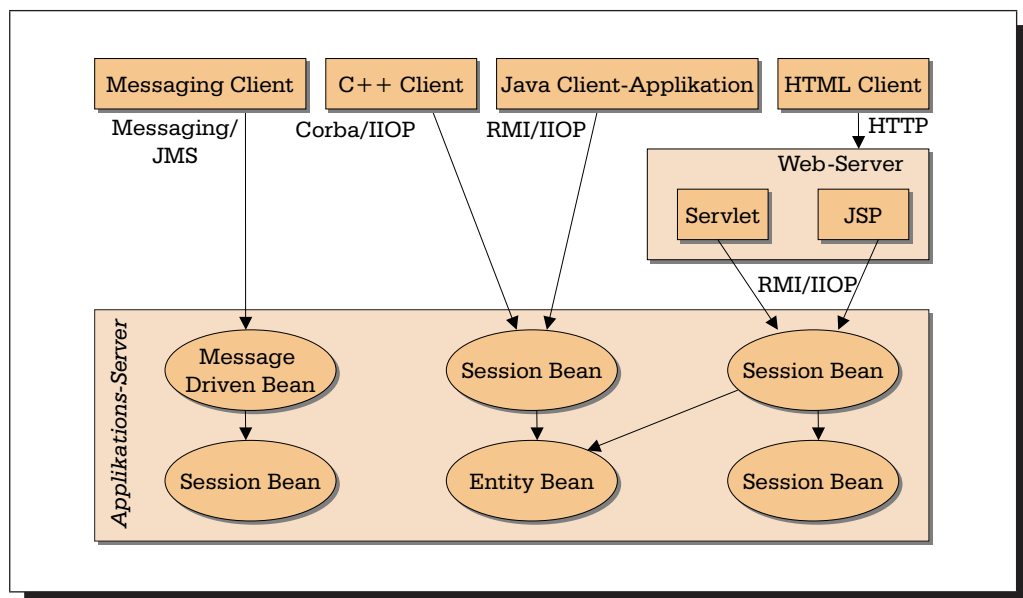


Abbildung 10.16: Clients interagieren mit dem EJB-Komponentensystem

10.2.4.1 Bestandteile einer EJB

Eine EJB besteht nicht aus einer einzelnen, monolithischen Datei, sondern einer Sammlung verschiedener Java- und Text-Dateien. Die Logik einer EJB ist

⁹⁹In Anlehnung an [Rom02, S. 32].

in der *Enterprise Bean Klasse* enthalten. Das ist im Grunde eine „normale“ Java Klasse. Sie muss aber bestimmten Regeln folgen, damit der Container die EJB ansprechen und verwalten kann. Zu jedem EJB Typ existieren definierte Schnittstellen, die von der Enterprise Bean-Klasse implementiert werden müssen. Beispielsweise wird eine Session Bean erst zur Session Bean durch Implementierung der Schnittstelle `javax.ejb.SessionBean` der J2EE-Klassenbibliothek.

Da Clienten nicht direkt mit einer EJB interagieren können, muss die Dateisammlung einer EJB Schnittstellen für den Zugriff enthalten. Im *Remote Interface* werden alle Methoden definiert, die von Clienten oder anderen entfernten Komponenten gerufen werden können. Das ist die Schnittstelle nach außen. Clienten „sehen“ von der EJB nur, was offengelegt wird. Auch Remote Interfaces müssen den Regeln der EJB-Spezifikation genügen. Zum Beispiel wird eine EJB erst durch Implementierung der Java-Schnittstelle `javax.ejb.EJBObject` netzwerkfähig, also über das Netzwerk aufrufbar. Die Abläufe beim Zugriff des Clienten auf das Remote Interface wurden bereits in Abbildung 10.15 gezeigt. Damit der Client auf eine bestimmte Instanz einer EJB zugreifen und damit der Container den Zugang zu einer neuen Instanz erzeugen kann, ist eine weitere Schnittstelle, das *Home Interface* notwendig.

Mit der EJB-Spezifikation 2.0 ist es möglich, EJB über lokale Schnittstellen anzusprechen. Dabei entfällt nahezu der gesamte Kommunikations-Overhead, der bei entfernten Aufrufen über das Netzwerk entsteht. Rufe über lokale Schnittstellen einer EJB sind daher um ein Vielfaches schneller, sie beschränken sich allerdings auf Komponenten im selben EJB-Container. Diese Eigenschaft hat zu einem neuen Design-Ansatz für EJB-Architekturen geführt. Dabei werden nur wenige (Session-)EJB mit Remote Interfaces ausgestattet und bilden als Ansprechpartner für die Clienten alle benötigten Methoden der Geschäftslogik in aggregierter Form ab. Grobkörnige Methoden werden somit nicht auf Client-Seite durch schrittweise Abarbeitung von Teilaktionen erzeugt. Vielmehr erfolgt eine Zerlegung dieser Methoden innerhalb der serverseitigen Geschäftslogik in Teilaktionen, die dann auf lokal angesprochene, spezialisierte EJB verteilt werden. Beispielsweise könnte „Gantt erzeugen“ eine einzige aggregierte Methode sein, die mit allen notwendigen Parametern vom Client gerufen wird und dann auf der Serverseite in Teilschritte zerlegt und realisiert wird. Clienten greifen also über eine einfache, abstrahierende Schnittstelle auf ein komplexes Subsystem zu. Dieses Prinzip wird auch *Facade-Pattern*¹⁰⁰ genannt und findet inzwischen häufig Anwendung in EJB-Architekturen.

¹⁰⁰Vgl. dazu [Bie01, S. 23] und [Ram02].

Neben Performanzgewinnen ist ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes eine saubere Trennung von Geschäftslogik und der Präsentation auf der Client-Seite. Je weniger Schnittstellen existieren, desto einfacher ist es, ein Teilsystem zu verändern. So könnte die gesamte Geschäftslogik hinter der Eintritts-Bean (der „Fassade“) ausgetauscht werden, ohne im Client eine Zeile Code ändern zu müssen. Wie bereits im Abschnitt über Container angesprochen ist der Preis für den Performanzgewinn die eingeschränkte Flexibilität der Komponenten. Dieser Umstand erfordert Sorgfalt bei der Analyse der Geschäftslogik und deren Zerlegung in aggregierte Methoden und bedienendes Subsystem. Lokale Schnittstellen sind optional. Sie sind als Ersatz für den entfernten Zugriff oder als Ergänzung implementierbar. Letzteres ist aber nur selten sinnvoll, da sich eine Unterscheidung in nutzende (entfernter Zugriff) oder bedienende (lokaler Zugriff) Komponente innerhalb der serverseitigen Geschäftslogik fast immer treffen lässt. Wie beim entfernten Zugriff bestehen auch die lokalen Schnittstellen aus zwei Elementen. Das *Local Interface* übernimmt die Rolle des Remote Interfaces und das *Local Home Interface* ist das Pendant zum Home Interface.

Neben der Enterprise Bean-Klasse und den Schnittstellen enthält eine EJB noch Textdateien zur Beschreibung der EJB selbst, ihrer Einbettung in den EJB-Container und gegebenenfalls der Interaktion mit der Datenbank. Die wichtigste dieser Textdateien ist der vom Hersteller des jeweiligen Applikations-Servers unabhängige Deployment Descriptor. Hier beschreibt der Entwickler, wie der Container das Lebenszyklusmanagement der EJB durchführen soll, ob die EJB Persistenz erfordert (nur Entity Beans), welche Methoden der Container in Transaktionen einbetten soll, welche Sicherheitsdienste benötigt werden usw.

Der Deployment Descriptor ist also das Schlüsseldokument zur Beschreibung der Infrastrukturlogik, die hauptsächlich durch den Container realisiert wird. Beim Einsetzen der EJB in den Container liest dieser den Deployment Descriptor und konfiguriert die Laufzeitumgebung individuell für jede EJB. Die meisten Hersteller von J2EE-basierten Applikations-Servern unterstützen die Änderung der Infrastrukturlogik auch im laufendem Betrieb, einfach durch Austausch des Deployment Descriptors. Dieser Aspekt ist wichtig für die Konzeption der EVCM-Funktionen als Application Service.

Jede EJB enthält auch *proprietäre Elemente*. Sun legt mit seiner Spezifikation lediglich fest, was ein J2EE-Produkt leisten muss und wie seine Schnittstellen auszusehen haben. Wie die Implementierung erfolgt, ist jedem Hersteller überlassen. Dieser Ansatz hat dazu geführt, dass derzeit ca. 50 verschiedene J2EE-Applikations-Server existieren, wobei die Produkte von IBM und BEA, Websphere und Weblogic den Markt dominieren. Die Kunden profitie-

ren vom vielfältigen Angebot und der stetigen Verbesserung der Produkte aufgrund des starken Konkurrenzkampfes. Andererseits müssen die an sich herstellerunabhängigen, portablen EJB beim Einsetzen in den Container eines J2EE-Applikations-Servers mit herstellerebenen Zusatzinformationen versehen werden. Nur so lassen sich die oft weit über die Spezifikation hinausgehenden Funktionen der Server konfigurieren (wie Load Balancing, Instanzpooling, Clustering und Monitoring des Systembetriebs).

Auch die Verknüpfung der Entity Beans mit einer Datenbank erfolgt in einer herstellerabhängigen Beschreibungsdatei, da *Sun* nicht vorschreiben kann, wie eine Datenbankverbindung implementiert werden muss und welche Datenbankprodukte unterstützt werden. Für alle beschreibenden Textdateien hat sich mittlerweile das XML-Format durchgesetzt. Durch ihre selbstbeschreibende Natur ist diese Repräsentation auch Nicht-Java-Programmierern intuitiv verständlich. Auch die herstellerabhängigen Beschreibungsdateien stellen damit in der Praxis kein großes Hindernis dar. Außerdem bieten inzwischen selbst kleinere Hersteller von J2EE-Applikations-Servern Werkzeuge mit grafischer Benutzeroberfläche an, welche die Erzeugung der Beschreibungsdateien weitestgehend automatisieren¹⁰¹.

Sind alle Elemente einer EJB erzeugt und fehlerfrei, kann sie in den Container eingesetzt werden. Dabei findet eine Überprüfung auf Korrektheit, Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit statt. Ferner wird kontrolliert, ob Konflikte mit bereits eingesetzten EJB auftreten. Nach dieser allgemeinen Einführung in die EJB-Technologie, sollen die einzelnen EJB-Arten in den folgenden Abschnitten noch näher erläutert werden.

10.2.4.2 Session Beans

Session Beans repräsentieren einen einzelnen Clienten innerhalb der J2EE-Applikation. Sie werden für die Modellierung einzelner Aktivitäten oder Prozesse benutzt. Obwohl sich die Aktivitäten einer Session Bean persistent auswirken können, sind sie selbst keine persistenten Objekte. Es gibt zwei Arten von Session Beans: *Stateful Session Beans* und *Stateless Session Beans*.

Bei *Stateful Session Beans* wird der Zustand eines Objektes durch die Werte der Instanzvariablen bestimmt. In einer *Stateful Session Bean* repräsentieren die Instanzvariablen den aktuellen Zustand einer Sitzung mit einem bestimmten Clienten. Zum Beispiel könnte der Warenkorb für eine EVCM-Anfrage mit einer *Stateful Session Bean* realisiert werden. Er wird „leer“ einer neuen KPZ zugeordnet und verwaltet im Laufe einer Sitzung alle Produkte,

¹⁰¹Siehe [Sin02, S.164] und [Sun02c].

die die KPZ im Ausrollvorgang nachfragt. Dieser interne Zustand wird auch Konversationsgedächtnis¹⁰² genannt. Beendet die KPZ die Sitzung, wird die entsprechende Stateful Session Bean entfernt, der interne Zustand geht verloren. Im Falle des Warenkorbbeispiels würde die KPZ normalerweise vorher „zur Kasse gehen“, um die ausgewählten Produkte vertraglich zu binden. Erst dann erfolgt eine permanente Speicherung der Daten.

Im Abschnitt über J2EE-Container wurde bereits das Konzept des Instanzpooling vorgestellt. Die Instanz einer Stateful Session Bean trägt einen individuellen Zustand, solange sie mit einem Clienten verbunden ist. Auch wenn der Client lange Zeit keine Aktion ausführt, kann die Instanz aufgrund ihrer Einzigartigkeit keinem anderen Clienten zugeordnet werden. Also muss der Container so viele Instanzen erzeugen, wie gleichzeitig Clienten zugreifen (begrenzt durch die Ressourcen des Servers bzw. festgelegte Schranken für die Poolgröße).

Eine *Stateless Session Bean* besitzt kein Konversationsgedächtnis für den assoziierten Clienten (KPZ). Die Instanzvariablen können einen internen Zustand darstellen, aber nur für die Dauer eines Methodenaufrufs. Kehrt die Methode zurück, existiert auch kein Zustand mehr. Das bedeutet, dass alle Instanzen einer Stateless Session Bean identisch sind, es sei denn, sie sind gerade durch einen Methodenaufruf blockiert. Der Container kann einem rufenden Clienten also eine beliebige, gerade unbenutzte Instanz zuweisen. Dieselbe Instanz kann damit viele, hintereinander zugreifende Clienten bedienen und wird nicht durch gerade „untätige“ Clienten blockiert. Für eine bestimmte Anzahl assoziierter Clienten kann die Poolgröße bedienender Stateless Session Beans viel geringer ausfallen, während bei Stateful Session Beans das Verhältnis 1:1 ist. Durch die Identität der Bean Instanzen und die damit verbundene Austauschbarkeit ist die Verwaltung des Bean-Pools für den Container vergleichsweise einfacher und performanter als bei Stateful Session Beans.

10.2.4.3 Entity Beans

Eine Entity Bean repräsentiert Geschäftsobjekte entweder aus der realen Welt wie Produkt oder Kunde oder im Sinne einer Abstraktion wie Bestellung, Vertrag oder Herstellungsverfahren.

Auch eine Session Bean kann auf Daten zugreifen. Sie kann aber niemals eine objektorientierte Repräsentierung dieser Daten sein. Daten werden üblicherweise von mehreren Komponenten benötigt. Der Zugriff wird gemein-

¹⁰²Engl.: Conversational State.

sam geteilt. Eine Session Bean kann aber immer nur von einem Clienten gleichzeitig genutzt werden und müsste die Daten mittels Instanzvariablen darstellen. Entity Beans dagegen werden über einen Speichermechanismus, der Persistenz garantiert, mit einer relationalen Datenbank verknüpft. Typischerweise korrespondiert eine Entity Bean mit einer bestimmten Tabelle der Datenbank wie zum Beispiel „Kunde“. Eine Instanz dieser Entity Bean ist dann mit einer Zeile in dieser Tabelle, also den Daten eines bestimmten Kunden (KPZ), assoziiert. Eine Entity Bean Instanz repräsentiert also diesen einen Kunden, inklusive seiner Daten innerhalb der Applikation.

Um die Entity Beans und ihre Verwendung genauer zu den Session Beans abzugrenzen, sollen deren Eigenschaften im Folgenden näher erläutert werden. Entity Beans sind persistent, erlauben mehrfachen Zugriff, besitzen einen Primärschlüssel und können Teil eines Beziehungsschemas zu anderen Entity Beans sein.

Persistenz: Der Zustand einer Entity Bean wird über einen Speichermechanismus gesichert, der sie persistent macht. Dieser Zustand existiert also über die Lebensdauer des Anwendungsprozesses oder des Applikations-Serverprozesses hinaus. Bezüglich der Sicherheit kann der Zustand einer Entity Bean mit den Daten in einer Datenbank verglichen werden. Die Assoziation zwischen Entity Bean und Datenbank kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Die dafür notwendigen Datenbankzugriffe können in der Entity Bean Klasse selbst kodiert sein. In diesem Fall wird von *Bean Managed Persistence* gesprochen. Die andere, wesentlich komfortablere Möglichkeit ist, dem Container diese Aufgabe zu überlassen und Persistenz lediglich im Deployment Descriptor zu deklarieren. Der Container generiert dann automatisch die dafür notwendigen Datenbankzugriffe. Diese Form heißt *Container Managed Persistence*.

Mehrfacher, geteilter Zugriff (Shared Access): Entity Beans werden als Datenobjekte von anderen Komponenten der J2EE-Applikation gemeinschaftlich geteilt, das heißt viele Clienten können parallel auf die Entity Bean zugreifen. Die Datenkonsistenz wird dabei über Transaktionen gewährleistet, welche ebenfalls durch den Container bereitgestellt werden.

Primärschlüssel: Jede Instanz einer Entity Bean wird über einen eindeutigen Schlüssel identifiziert. Dieser Primärschlüssel erlaubt den Clienten das Auffinden einer bestimmten Instanz.

Beziehungsschema: So wie die Tabellen in einer Datenbank ein relationales Schema aufweisen, kann auch eine Entity Bean in Beziehung zu anderen

Entity Beans treten. Beispielsweise können die Entitäten Kunde und Auftrag miteinander in Beziehung stehen. Ein Kunde kann mehrere Aufträge auslösen, wogegen sich ein Auftrag eindeutig einem Kunden zuordnen lässt. Wenn Bean Managed Persistence gewählt wurde, muss auch das Beziehungsschema über verknüpfende Methoden in den Entity Bean Klassen modelliert werden. Im Falle von Container Managed Persistence werden die Beziehungen im Deployment Descriptor modelliert. Das ist auch intuitiv der richtige Ort für die Beschreibung, wenn die Beziehungen als Infrastrukturlogik auf Objektebene betrachtet werden. Der Container übernimmt die Verwaltung des Beziehungsschemas (*Container Managed Relationships*).

Wie oben erwähnt, realisiert der Container bei *Container Managed Persistence* die notwendigen Datenbankzugriffe, um eine Entity Bean persistent zu machen. Das heißt, jede Aktion, die den Zustand der Daten in der Entity Bean verändert, wirkt sich persistent auf die zugrundeliegende Datenstruktur aus. Durch die Mediation des Containers ist der Code der Entity Bean-Klasse nicht an eine bestimmte Datenbank gekoppelt. Auch das Beziehungsschema wird im Fall der hier angenommenen *Container Managed Relationships* explizit im Deployment Descriptor modelliert. Entity Beans lassen sich somit beliebig neu in Beziehung setzen, ohne den Quellcode zu verändern. Wieder fällt die Konsequenz des J2EE-Ansatzes auf, der eine saubere Trennung der Schichten einer Multi-Tier Architektur erzwingt, um Portabilität und Anpassbarkeit der Komponenten zu garantieren.

Die Assoziation zwischen Beziehungsschema und dem relationalen Schema einer konkreten Datenbank erfolgt in proprietären Beschreibungsdateien des Applikations-Server-Herstellers. Hier werden einzelne Entity Beans mit den korrespondierenden Tabellen der Datenbank verknüpft. Dasselbe erfolgt auf Ebene der Attribute. Entity Bean Felder werden mit den korrespondierenden Tabellenspalten der Datenbank verbunden. Dieses *Mapping* wird normalerweise nicht für die Tabellenspalten, die Fremdschlüssel enthalten, durchgeführt. Während die Relation zwischen den Tabellen einer Datenbank implizit über diese Fremdschlüssel erfolgt, wird das Beziehungsschema der Entity Beans explizit im Deployment Descriptor festgelegt. Eine zusätzliche Abbildung der Fremdschlüssel-Beziehungen würde eine unnötige Redundanz einführen und könnte zu Fehlern führen. Abbildung 10.17 verdeutlicht noch einmal die durch Entity Beans und EJB-Container eingeführten vermittelnden Trennschichten zwischen Geschäftslogik und Datenschicht, welche eine weitestgehende Unabhängigkeit der beiden Seiten gewährleisten.

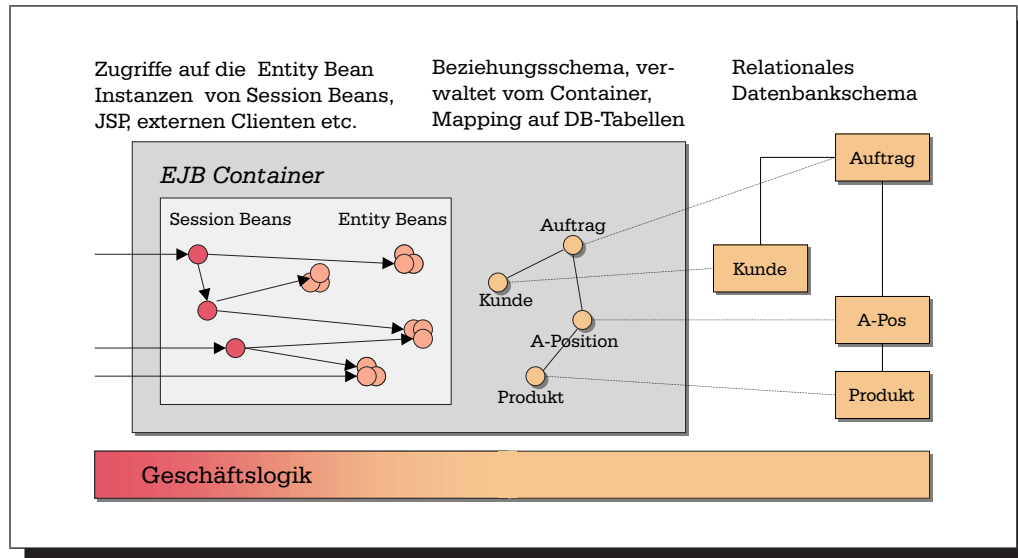


Abbildung 10.17: Übergang von der Geschäftslogik zur Datenschicht

Die Persistenz einer Entity Bean wird erreicht, indem der Container deren Datenfelder zur Laufzeit automatisch mit der Datenbank synchronisiert. Deswegen werden diese Felder auch als *persistente Felder*¹⁰³ bezeichnet. Daneben werden im Deployment Descriptor noch *Beziehungsfelder*¹⁰⁴ (als Pendant zum Fremdschlüssel) deklariert, welche die Beziehungen zu anderen Entity Beans definieren. Diese beiden Feldtypen konstituieren im Grunde das Entity Bean Datenschema. Jede Einzelbeziehung zwischen zwei Entity Beans wird durch die zusätzlichen Eigenschaften *Multiplizität*¹⁰⁵ und *Beziehungsrichtung* detailliert. Für die Multiplizität werden vier verschiedene Varianten unterschieden:

- (1:1) Jede Instanz einer Entity Bean steht in Beziehung mit genau einer Instanz einer anderen Entity Bean, zum Beispiel: Anfrage – Angebot, wenn zu jeder Anfrage genau ein Angebot erstellt wird.
- (1:n) Eine Entity Bean Instanz kann in Beziehung zu mehreren Instanzen einer anderen Entity Bean stehen. Ein Kunde kann zum Beispiel mehrere Bestellungen aufgeben.

¹⁰³ Sun: *persistent fields*.

¹⁰⁴ Sun: *relationship fields*.

¹⁰⁵ Sun: *Multiplicity*; im deutschen Sprachgebrauch, insbesondere für das relationale Schema auch Kardinalität.

- ($n:1$) Viele Instanzen der Entity Bean stehen in Beziehung mit einer einzelnen Instanz einer anderen Entity Bean. Es handelt sich also um den zuletzt genannten Fall aus Sicht der anderen Bean: verschiedene Bestellungen können vom selben Kunden stammen.
- ($n:m$) Die Instanzen zweier Entity Beans stehen in vielfacher Beziehung zu den Instanzen der jeweils anderen Bean. Das Verhältnis von Kunde und Lieferant kann von dieser Art sein. Ein Kunde kann von mehreren Lieferanten beliefert werden und jeder Lieferant bedient mehrere Kunden. Diese Beziehung ist im EVCN typisch zwischen den KPZ.

Ergänzt wird die Multiplizität durch die Richtung der Beziehung. Dabei werden *unidirektionale* und *bidirektionale* Beziehungen unterschieden. In einer bidirektionalen Beziehung besitzen beide Entity Beans ein Beziehungsfeld, das die andere Bean referenziert. Eine Entity Bean erhält über das Beziehungsfeld „Kenntnis“ von der anderen Entity Bean und Zugang zu deren Daten. Aus den losgelöst existierenden Datenobjekten wird damit ein semantisches Beziehungsgeflecht. Bei einer unidirektionalen Beziehung hat nur eine der beiden Entity Beans ein Beziehungsfeld. Nur diese „weiß“ von der anderen und kann deren Daten nutzen. Beim Entwurf des Entity Bean Schemas wird diese Beziehung mit einem gerichteten Graphen dargestellt. Die Quelle ist dabei die Entity Bean, welche die Daten bereitstellt, und die Senke die Entity Bean, welche die Daten nutzt. In Abbildung 10.18 ist ein kleines Beispiel modelliert, das die Verwendung von Multiplizität und Beziehungsrichtung verdeutlichen soll.

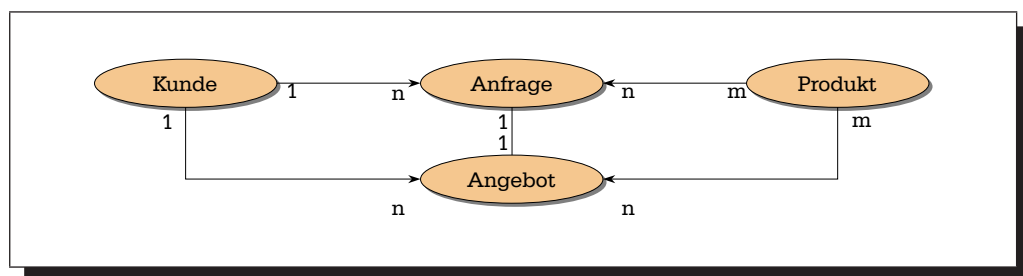


Abbildung 10.18: Entity Bean Schema

Ein Kunde (KPZ) kann mehrere Anfragen stellen und in jeder mehrere Produkte nachfragen. Umgekehrt kann ein Produkt in mehreren Anfragen enthalten sein. Jede Anfrage lässt sich eindeutig einem Kunden zuordnen. Für ein Angebot sind die Beziehungen zu Kunde und Produkt analog zu interpretieren. Zu jeder Anfrage wird genau ein Angebot erstellt. Kunde und

Produkt werden von Anfrage und Angebot als Datenquellen benutzt und „wissen“ selbst nichts von diesen semantisch höher gelagerten Entitäten.

Beim Aufbau des Beziehungsschemas ist es sinnvoll, zyklische Referenzierungen zu vermeiden. Im abgebildeten Beispiel würde so ein Zyklus zwischen Kunde, Anfrage und Angebot entstehen, kämen nur bidirektionale Beziehungen zum Einsatz. Im operativen Einsatz kann ein solches Design zu Problemen der Datenintegrität führen. Unidirektionale Beziehungen können, wie in diesem Beispiel, ein geeignetes Mittel sein, solche Zyklen zu vermeiden, ohne das gesamte Schema reorganisieren zu müssen.

10.2.4.4 Message Driven Beans

Seit der EJB-Spezifikation 2.0 besteht die Möglichkeit, eine J2EE-Applikation asynchron über Nachrichten (Messages) anzusprechen. Erreicht wird das über die Anbindung der EJB-Technologie an die Message Oriented Middleware (MOM), die in Form des Java Message Service (JMS) bereitgestellt wird. Eine vertiefende Beschreibung von JMS und der Rolle der asynchronen Kommunikation innerhalb des EVCM folgt im nächsten Abschnitt.

Realisiert wird die Anbindung der EJB-Technologie durch Message Driven Beans, also EJB, die durch Nachrichten gesteuert werden. Die Nachrichten werden unter Benutzung des JMS im Netzwerk verteilt. Sind sie für eine Message Driven Bean bestimmt, ist ihre Zieladresse eine korrespondierende Warteschlange auf der Serverseite. Die Message Driven Bean „hört“ diese ab und bearbeitet eintreffende Nachrichten nach dem FIFO Prinzip.

Normalerweise werden Message Driven Beans nur dafür benutzt, die Brücke zur asynchronen Kommunikation zu bilden. Für die eigentliche Bearbeitung im Sinne der Geschäftslogik werden Session Beans aufgerufen. Da der Zugang ausschließlich über JMS erfolgt, benötigt eine Message Driven Bean keine weiteren Schnittstellen. Ähnlich der Stateless Session Bean besitzt sie keinen internen Zustand, ihre Instanzen sind identisch. Der EJB-Container kann daher auch die Message Driven Beans leicht verwalten. Trifft eine Nachricht ein, wählt er für die Bearbeitung aus dem Pool identischer Instanzen eine freie aus. Da eine JMS-Warteschlange von vielen Clienten adressierbar ist, können Message Driven Beans mehrere Clienten gleichzeitig bedienen. Streng genommen erfolgt durch die Warteschlange eine Serialisierung. Da aber am Ende mehrere Instanzen für die Bearbeitung bereitstehen, kann durchaus von einem gleichzeitigen Ansprechen der Message Driven Bean gesprochen werden. Entscheidungsdeterminanten für den Einsatz von Message Driven Beans sind weniger durch deren eigene Merkmale gegeben. Vielmehr

kann sich während des Architektur- und Kommunikationsdesigns einer Applikation herausstellen, dass eine Entkopplung von Client und Server, und damit deren asynchrone Kommunikation, für einige Aufgaben Vorteile bietet. Die damit einhergehende Entscheidung für eine MOM bedeutet für eine J2EE-Applikation die Verwendung von JMS und Message Driven Beans.

10.2.5 Kommunikation im EVCM

In den vorangegangenen Abschnitten wurde zunächst J2EE als geeignete Plattform für ein EVCM-System beschrieben und anschließend die Komponenten zur Darstellung der Geschäftslogik – die Enterprise JavaBeans – im einzelnen vorgestellt. Bevor die Umsetzung in ein konkretes Architekturmodell gezeigt wird, soll in diesem Abschnitt die Client und Server verbindende Kommunikationsschicht näher erläutert und für das EVCM geeignete Technologien vorgestellt werden. Wie zu Beginn dargestellt, werden die dezentralen Teile der IMK-Logik KPZ-seitig als Client und alle zentralen Bestandteile als Server bezeichnet. Die Gründe für eine Kommunikation beider Seiten können vielfältig sein. Die daraus folgenden unterschiedlichen Kommunikationsprozesse sollen im Folgenden vorgestellt, die jeweils spezifischen Anforderungen untersucht und daraus erste Schlüsse auf die Realisierung gezogen werden.

(1) *Netzwerkgenese*: Der IMK hat die Aufgabe, nach Eintreffen einer Anfrage ein temporäres Wertschöpfungsnetz, das KPZN, aus dem Ressourcenpool der KPZ zu generieren. Die Selektion der KPZ wird sinnvollerweise von den zentralen Bestandteilen der IMK-Logik (also vom Server) durchgeführt, da die dafür benötigten Daten in Form der KPZ-Angebotsvektoren bereits zentral vorliegen. Der Server verteilt anschließend die Anfrage über definierte Kommunikationskanäle an die attribuierten KPZ. Diese empfangen und verarbeiten die Anfrage mit den dezentralen Bestandteilen der IMK-Logik (also den Clienten) unter Benutzung der ERP-Daten des Unternehmens, das die KPZ repräsentiert.

Je nach Ergebnis der Bearbeitung sendet die KPZ eine Antwort oder eine Unteranfrage, wiederum über definierte Kommunikationskanäle, an den Server. Dieser erstellt für jede Initialanfrage eine interne Repräsentation des entstehenden KPZN mit allen damit verbundenen Einzeldaten. Auch wenn eine KPZ „wüsste“, an wen sie innerhalb des Ressourcenpools eine Unteranfrage direkt stellen könnte, kann sie die Kommunikation nicht auf direktem Wege herstellen. Vielmehr muss der Server in jeden einzelnen Kommunikationsschritt bei der Genese des KPZN

involviert sein, um dessen Repräsentation generieren zu können. Nach dem Rücklauf der Kommunikation übernimmt der Server die weitere Bearbeitung. Antworten von KPZ werden an diejenigen KPZ weitergeleitet, die die Anfrage dazu gestellt haben (Einrollprozess).

Daneben muss der Server viele parallel entstehende KPZN aufgrund verschiedener, parallel zu bearbeitender Initialanfragen gleichzeitig verwalten, deren Genese steuern und die Repräsentation des jeweiligen Netzes den dafür berechtigten KPZ per Monitoring verfügbar machen¹⁰⁶. Die bei der Kommunikation übertragenen Daten müssen also neben den Basisinformationen wie Leistung, Preis, Menge, Liefertermin und -wahrscheinlichkeit auch Angaben für die Einordnung innerhalb eines bestimmten KPZN enthalten. Bei der Darstellung der komplexen Kommunikationsabläufe, die im Zuge der Netzwerkgenese entstehen, wird deutlich, dass synchrone Methodenaufrufe als Kommunikationsmittel ausscheiden. Ein synchroner Methodenaufruf setzt detailliertes Wissen des Senders über den Empfänger voraus. Er muss die Methode mit dem exakten Namen und den richtigen Parametern rufen. Für die Dauer des entfernten Methodenrufes ist das rufende Programm blockiert und kann erst nach erfolgreicher Rückkehr der Methode weiterarbeiten¹⁰⁷. Das bedeutet, der Sender muss gesicherte Annahmen über Zustand, Verfügbarkeit und Antwortzeitverhalten des Empfängers treffen können. Das ist im KPZN praktisch unmöglich.

In einem dynamisch erzeugten, temporären Netzwerk wie dem KPZN laufen viele voneinander unabhängige, parallele Einzelkommunikationen ab. Der Zustand dieses Netzwerkes ist nicht deterministisch. Gesicherte Annahmen zum Kommunikationspartner zu machen, erscheint nur in Richtung Server vernünftig. Die Prozesse der Netzwerkgenese beinhalten aber normalerweise mehrere, aufeinander aufbauende Einzelschritte, über deren Verlauf zu Beginn keine Aussage getroffen werden kann. Zur Verdeutlichung: stellt eine KPZ eine Unteranfrage, kann das zum Ausrollen eines Anfragebaumes über mehrere Ebenen führen. Würde die Anfrage über einen synchronen Methodenruf erfolgen, wäre die KPZ bis zum vollständigen Einrollen dieses Baumes und der Übermittlung der Ergebnisse blockiert. Die Methoden kehren aber nur korrekt zurück, wenn alle ausgelösten Prozesse fehlerfrei ablaufen. Das ist in einem nicht deterministischen Netzwerk nicht garantierbar. Wird die Kette der aufeinander aufbauenden Prozesse an einer Stelle durch einen Fehler oder den Ausfall einer KPZ unterbrochen, gibt es keine

¹⁰⁶Jede KPZ ist berechtigt, den Teil des KPZN zu sehen, dessen Genese sie durch ihre Anfrage ausgelöst hat. In der Repräsentation als Baumstruktur also den Anfrageast unterhalb dieser KPZ.

¹⁰⁷Vgl. [Gra01].

Möglichkeit, ein Resultat zu generieren oder Zwischenzustände zu speichern. Die synchrone Kommunikation über Methodenrufe muss daher als völlig ungeeignet für die Netzwerkgenese verworfen werden.

Die asynchrone Kommunikation bietet einen Ausweg, der den oben gestellten Anforderungen nahezu vollständig gerecht wird¹⁰⁸. Dabei kommunizieren die Partner über den asynchronen Austausch von Nachrichten. Es muss lediglich ein Kommunikationskanal bekannt sein, an den die Nachrichten geschickt werden. Zum Empfänger müssen keinerlei Annahmen getroffen werden, noch nicht einmal dessen Identität muss dem Sender bekannt sein. Über diesen Mechanismus wird die Kommunikation komplett von der Bearbeitung getrennt. Dieses Paradigma erscheint der geschilderten Komplexität eines dynamischen Netzwerkes sehr viel angemessener. Eine KPZ schickt nun eine Unteranfrage als Nachricht an einen definierten Kommunikationskanal und kann danach weiterarbeiten. Der Server entnimmt die Anfrage, bearbeitet sie und schickt sie an die Kommunikationskanäle der selektierten KPZ. Irgendwann treffen die Resultate der Unteranfrage dann wieder als Nachricht bei der ursprünglich anfragenden KPZ ein. Da Kommunikation und Bearbeitung getrennt sind, ist es einfacher, auf Fehler zu reagieren. Bestätigt eine KPZ nicht innerhalb eines gewissen Zeitraumes den Empfang einer an sie gerichteten Nachricht, kann entschieden werden, diese KPZ bei der weiteren Netzwerkgenese zu ignorieren, das heißt, nicht länger auf eine Antwort zu warten. Da der Server den aktuellen Zustand des entstehenden KPZN mitführt und berechtigten KPZ zur Verfügung stellt, können diese entstehende Probleme bei der Abarbeitung ihrer (Unter-)Anfrage evaluieren und geeignet reagieren. Sie können zum Beispiel eine Antwort generieren, bevor alle alternativen Ergebnisse einer (Unter-) Anfrage vorliegen. Die Umsetzung der asynchronen Kommunikation erfolgt mit JMS.

- (2) *Optimierungsprobleme:* Das EVCM-Konzept sieht leistungsfähige Algorithmen für die Lösung verschiedener Optimierungsprobleme im Netzwerk, bzw. innerhalb der KPZ vor. Beispielhaft soll hier die Anfrage einer KPZ nach Optimierung ihrer Reihenfolgeplanung auf die Anforderungen an die Kommunikation untersucht werden. Eine solche Anfrage kann zum Beispiel innerhalb der Netzwerkgenese gestellt werden, wenn eine KPZ die Güte ihrer Antwort (früherer Liefertermin, größere Menge) verbessern möchte oder eine positive Antwort erst durch eine optimierte Reihenfolgeplanung möglich wird. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Optimierung aufgrund der Komplexität des Problems einige Zeit in Anspruch nehmen kann, trotz der Leistungsfähigkeit der einge-

¹⁰⁸Vgl. [Mas01].

setzten Algorithmen. Eine Blockierung als Resultat eines synchronen Methodenaufrufes erscheint wiederum nicht sinnvoll. Vielmehr wird die zu optimierende Reihenfolgeplanung in einer Nachricht beschrieben und an den Lösungsalgorithmus geschickt. Nach erfolgreicher Optimierung sendet dieser die Lösung als Nachricht zurück.

- (3) *Verwaltung zentraler KPZ-Daten:* Die Pflege der zentral gespeicherten Leistungs- und Produktprofile erfolgt eigenverantwortlich durch jede KPZ. Für diesen Zweck können sie die Daten einsehen, ändern oder löschen. Es findet also eine direkte Interaktion zwischen Server und *einem* Client statt. Diese Vorgänge sind nicht zeitkritisch und auch nicht an andere Prozesse gekoppelt. Eine asynchrone Kommunikation wäre an dieser Stelle uneffektiv und wenig praktikabel. Vielmehr sprechen die Randbedingungen für den Einsatz der synchronen Kommunikation über Methodenaufrufe. Datenkonsistenz und -integrität werden über die Einbettung der Datenbankzugriffe in Transaktionen sichergestellt.
- (4) *Monitoring:* Beim Monitoring fordert der Client die aktuelle Repräsentation des entstehenden KPZN, dessen Genese er ausgelöst hat, in visualisierter Form an. Durch unregelmäßig eintreffende Antworten und Unteranfragen beteiligter KPZ ändert sich der Zustand dieser Repräsentation. Die gesamten Beschreibungsdaten bei jeder Änderung als Nachricht an den Client zu schicken, wäre umständlich und würde zudem eine Logik auf Client-Seite erfordern, welche diese Daten in übersichtlicher Form präsentiert, etwa als Baumstruktur des Wertschöpfungsnetzes. Eine solche Logik würde aber auf Daten operieren, die auf der Server-Seite verwaltet werden. Besser wäre, die Logik zentral auf den dortigen Daten arbeiten zu lassen und nur das visualisierte Ergebnis zu übertragen. Für diesen Zweck verbindet sich der Client für die Dauer des Monitoring mit dem Server. Während dieser Sitzung wird auf der Server-Seite bei jeder Änderung des betreffenden KPZN die Visualisierung aktualisiert und in der grafischen Benutzeroberfläche der Client-Applikation dargestellt. Wiederum erscheint also eine synchrone Kommunikation für diesen Zweck geeigneter.
- (5) *Entscheidungsunterstützung:* Nach Abschluss des Einrollprozesses kann sich ein Anfrager alle Möglichkeiten anzeigen lassen, die das KPZN auf seine Anfrage generiert hat. Wie schon beim Monitoring liegen die dafür notwendigen Daten auf der Server-Seite. Deshalb findet auch hier die Kommunikation synchron innerhalb einer Sitzung statt, in der sich der Client mit dem Server verbindet.

Abbildung 10.19 stellt nochmals die Merkmale synchroner und asynchroner Kommunikation gegenüber. Die technischen Abläufe bei einer synchro-

nen Kommunikation über entfernte Methodenaufrufe sollen hier nicht vertiefend erläutert werden. Demgegenüber besitzt die asynchrone Kommunikation eine herausragende Bedeutung bei der Realisierung des EVCM-Konzeptes. Deshalb soll im Folgenden deren Umsetzung und Integration in die J2EE-Architektur in Form des JMS dargestellt werden.

<i>Synchrone Kommunikation</i>	<i>Asynchrone Kommunikation</i>
<p>Starke Kopplung von Client und Server</p> <p>das rufende Programm muss die genauen Schnittstellen des gerufenen Programms kennen</p> <p>rufendes Programm ist bis zur Rückkehr des entfernten Methodenaufrufs blockiert</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lose Kopplung von Client und Server • Kommunikation zwischen Komponenten durch asynchronen Austausch von Nachrichten • Sender schickt Nachrichten an vorab definierte Kommunikationskanäle für einen oder mehrere Empfänger, garantierte Zustellung • Sender arbeitet nach dem Absenden sofort weiter, Entkopplung von Kommunikation und Bearbeitung

Abbildung 10.19: Synchrone vs. Asynchrone Kommunikation

10.2.5.1 Asynchrone Kommunikation mit JMS

Für die IMK-Funktionen Netzwerkgenese und Optimierung soll die Kommunikation asynchron über den Austausch von Nachrichten erfolgen. Der Java Message Service bietet die dafür geeignete Technologie der J2EE-Plattform. JMS ist, wie die anderen J2EE-Technologien, kein Produkt, sondern zunächst nur eine Spezifikation von Sun¹⁰⁹, die von den Herstellern implementiert werden muss. JMS gehört mittlerweile zum J2EE-Standard, das heißt jeder Hersteller eines J2EE-Applikations-Servers muss auch die JMS Schnittstelle implementieren.

Im Zusammenhang mit asynchroner Kommunikation fällt oft der Begriff der *Message Oriented Middleware (MOM)* oder synonym dazu der Begriff des *Messaging*. Eine MOM ermöglicht Komponenten verteilter Applikationen synchron oder asynchron über Nachrichten zu kommunizieren. Sie garantiert die Zustellung dieser Nachrichten durch die implizite Bereitstellung der dafür notwendigen Dienste. Das asynchrone Zustellen von Nachrichten wird

¹⁰⁹Siehe [Sun99].

dabei über Warteschlangen realisiert, das heißt der Sender schickt die Nachricht nicht direkt an den Empfänger, sondern an eine vorab definierte Warteschlange, die als persistenter Speicher fungiert¹¹⁰. Der Empfänger entnimmt die Nachrichten aus der Warteschlange nach dem FIFO-Prinzip. Über die MOM erfolgt die Kommunikation, also unabhängig von der Verfügbarkeit des Kommunikationspartners. Viele MOM implementieren Zusatzfunktionen wie die prioritätsgesteuerte Weiterleitung von Nachrichten und Load Balancing Strategien. Die garantierte Zustellung wird über eine transaktionsähnliche Verfahrensweise erreicht. Erst wenn der Empfänger den korrekten Empfang der Nachricht bestätigt hat, wird diese aus dem persistenten Speicher der Warteschlange gelöscht. Im Falle eines Fehlers kann eine zweite Zustellung erfolgen. Der Java Message Service als Teil eines J2EE-Applikations-Servers soll im Folgenden als MOM betrachtet werden, welche sich nahtlos in die J2EE-Architektur integriert. Jede Komponente einer J2EE-Applikation kann JMS nutzen.

Die Funktionsweise einer MOM ist ähnlich der Übertragung von E-Mails, nur dass die Kommunikationspartner ausschließlich Softwarekomponenten sind und die Erzeugung und Verarbeitung der Nachrichten automatisch erfolgt. Das vom E-Mail-Versand bekannte Prinzip ein Sender – ein Empfänger (von E-Mail-Listen einmal abgesehen) wird im JMS Point-To-Point Modell (PTP) genannt. Daneben existiert noch ein Publish-Subscribe Modell, welches analog zur Nachrichtenverteilung in einer Newsgroup funktioniert. Ein Sender publiziert seine Nachricht in einem so genannten Topic. Empfänger abonnieren dieses Topic und empfangen dann alle darin publizierten Nachrichten¹¹¹.

Für die asynchrone Kommunikation im EVCM während der Netzwerkgenese und der Optimierung kommt ausschließlich das PTP-Modell zum Einsatz, da jeweils eine bestimmte KPZ mit dem Server kommuniziert oder umgekehrt. Nachrichten im EVCM sind Initialanfragen, Unteranfragen und Antworten im Rahmen der Netzwerkgenese sowie kodierte Optimierungsprobleme und dazugehörige Lösungsinstanzen (zum Beispiel eine kodierte Reihenfolgeplanung). JMS unterstützt verschiedene Arten von Nachrichten. So können einzelne Bitfolgen, serialisierte Java Objekte oder auch Textnachrichten übertragen werden. Für die letzte Form unterstützen im Prinzip alle Hersteller von Applikations-Servern das XML Format, dass sich mittlerweile neben EDI als Standard im unternehmensübergreifenden Datenaustausch etabliert hat. Im nächste Abschnitt soll XML als geeignetes Format für den Repräsentation der EVCM-Nachrichten näher erläutert werden.

¹¹⁰Vgl. [Gra01].

¹¹¹Für eine detailliertere Beschreibung der technischen Einzelheiten und der Funktionsweise von JMS sei auf die Spezifikation [Sun99], das *Sun* Tutorial [Sun01b] und auf [Mon00] verwiesen.

10.2.5.2 Datenaustausch mit XML

XML ist eine Sprache zur universellen, standardisierten Beschreibung von Dokumenten. Zum Thema XML gehören eine ganze Reihe von Technologien für das Beschreiben, Erstellen, Lesen, Interpretieren und Konvertieren dieser Dokumente¹¹². XML ist eine so genannte Tag-Sprache, die eine strenge Trennung von Daten bzw. Inhalt, der Struktur und der Präsentation realisiert¹¹³.

Wie von der mit XML eng verwandten Beschreibungssprache für browserinterpretierte Internetinhalte HTML bekannt ist, besteht ein XML-Dokument aus Inhalten, die in *Tags* eingeschlossen sind. Um diese Klammerung eindeutig zu gestalten, existiert in einer korrekten XML-Datei zu jedem Start-Tag immer ein passendes Ende-Tag. Die Tags beschreiben, wie der Empfänger den Inhalt interpretieren soll. Es sind Metadaten zur Festlegung der Semantik. Zusätzlich können Tags mit Attributen versehen werden. Hierarchisierung und Gruppierung der Daten, eben die Struktur des Dokumentes, werden durch die Schachtelung der Tags erreicht. Sie sind ein mächtiges Instrument, das einerseits die Dokumentinhalte von dessen Struktur trennt und gleichzeitig die Struktur realisiert. Durch diese Eigenschaft sind XML-Dokumente selbstbeschreibend. Kommunikationspartner müssen sich aber auf die genaue Bedeutung der Tags verständigen, um die Inhalte korrekt interpretieren und verarbeiten zu können.

Welche Tags mit welchen Attributen zulässig sind und welche Strukturen sie bilden können, wird exakt in einer gesonderten Datei, der Document Type Definition (DTD) festgelegt. Für das EVCM heißt das, dass für jeden zu übertragenden Dokumenttyp eine DTD verfügbar sein muss, mit der die erzeugten XML-Dokumente auf ihre Korrektheit überprüft werden können. Die Summe der syntaktischen Anforderungen, denen ein XML-Dokument genügen muss, wird als „Wohlgeformtheit“ bezeichnet¹¹⁴. Ein neuer Ansatz, bei dem auf eine gesonderte Beschreibung der Dokumentensyntax verzichtet wird, ist *XML Schema*¹¹⁵. Dabei erfolgt die Definition im Dokument selbst über standardisierte, syntaktische Metadaten innerhalb der Tags.

Seit seiner Einführung 1997 hat XML nicht nur eine große Akzeptanz gefunden, es setzt sich auch mehr und mehr als Standard für die unternehmensübergreifende Kommunikation durch. Auf EDI basierende, bestehende Systeme werden sehr wahrscheinlich noch einige Jahre im operativen Betrieb verbleiben. EDI-Lösungen sind normalerweise proprietär, vergleichsweise unflexibel und teuer. Bei Neuentwicklungen setzt sich zunehmend das plattform-

¹¹²Für eine umfassende Darstellung sei auf [And00] und [Kot00a] verwiesen.

¹¹³Vgl. [Wen02, S. 50].

¹¹⁴Zu Wohlgeformtheit siehe [Bra00].

¹¹⁵Die Spezifikation ist in den drei Teilen Einführung [Fal01], Strukturen [Tho01] und Datentypen [Bir01] beschrieben.

munabhängige, flexibel anpassbare XML durch. Es existieren eine Vielzahl ausgereifter und zumeist freier Werkzeuge für die Erzeugung, Validierung, Interpretation und Verarbeitung von XML-Dokumenten. XML hat in den wenigen Jahren seines Bestehens eine weite Verbreitung im Praxiseinsatz erreicht und gilt als ausgereifte Technologie. Auch in Java und J2EE ist XML fest verankert¹¹⁶. Nahezu alle Hersteller von J2EE-Applikations-Servern unterstützen XML als Beschreibungssprache für Softwarekomponenten und als Format für den Datenaustausch. Die Entscheidung, XML für die Beschreibung der EVCN-Dokumente einzusetzen, stellt damit nur eine logische Konsequenz dar.

10.2.6 Eine J2EE-basierte Architektur für das EVCN

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Technologien der J2EE-Plattform sollen nun in ein Architekturkonzept für das EVCN integriert werden. Ausgangspunkt soll noch einmal Abbildung 10.11 sein, in der eine Aufspaltung des IMK in Client, Server und verbindende Kommunikationsschicht vorgenommen wurde. Der IMK wird im Folgenden als verteilte J2EE-Applikation angesehen. Abbildung 10.20 zeigt eine detailliertere Stufe der Architektur unter Einbeziehung eines J2EE-Applikations-Servers.

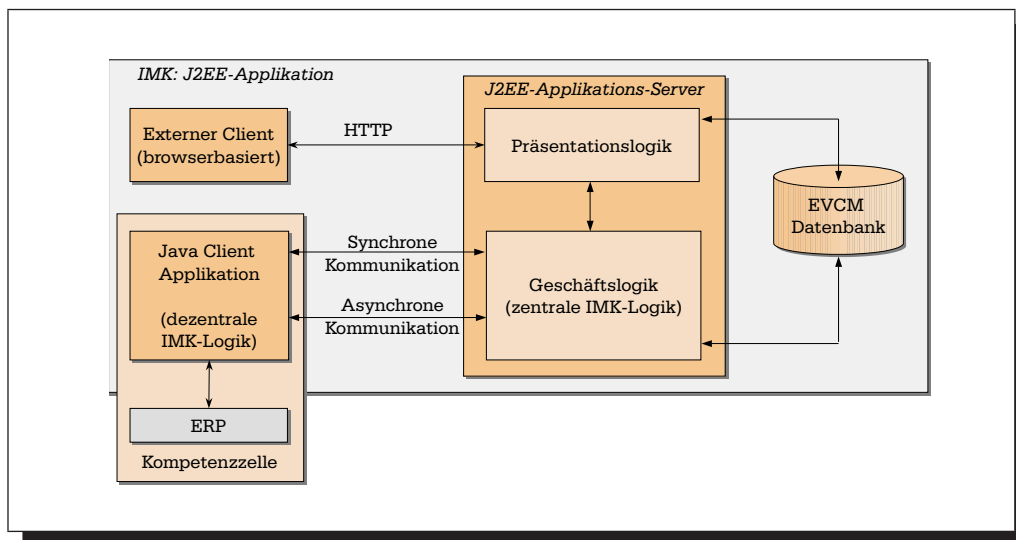


Abbildung 10.20: J2EE-basierte Architektur

¹¹⁶Vgl. [Hol01b] und *Sun XML-Pack* [Sun02a].

10.2.6.1 Klienten und deren Anbindung

Im EVCM sind zwei verschiedene Arten von Klienten vorgesehen. Wie oben erläutert wird der dezentrale Teil der IMK-Logik auf Seite der KPZ als Klient betrachtet. Ihm steht die gesamte IMK-Funktionalität über die verbindende Kommunikationsschicht zur Verfügung und ist aktiv an der Netzwerkgenese beteiligt. Dabei operiert er auf den Daten aus dem ERP der KPZ. Die Erläuterung der ERP-Anbindung erfolgt im nächsten Abschnitt. Technisch erfolgt die Umsetzung als Java Client-Applikation, die integrativer Bestandteil der gesamten J2EE-Applikation ist. Sie verfügt über eine grafische Benutzeroberfläche für die menschliche Interaktion mit dem IMK wie dem Stellen von Anfragen, dem Monitoring der dadurch ausgelösten Netzwerkgenese, der manuellen Beantwortung von Anfragen bei komplexen Entscheidungen und der Pflege der zentral gespeicherten Leistungsprofile der KPZ.

Die Java Client-Applikation ist über zwei verschiedene Kommunikationskanäle mit dem Server verbunden. Wie im letzten Abschnitt dargestellt, kommen für die verschiedenen Funktionen entweder eine synchrone oder eine asynchrone Kommunikation zum Einsatz. Letztere wird über eine Message Oriented Middleware realisiert, die in der J2EE-Plattform durch den Java Message Service bereitgestellt wird. Synchron wird mit einer J2EE-Applikation standardmäßig über RMI/IIOP kommuniziert (Remote Method Invocation, also entfernter Methodenaufruf, basierend auf dem von Corba übernommenen Übertragungsprotokoll Inter-Internet ORB Protocol). RMI kommt bei Klienten zum Einsatz, die in der Java Programmiersprache implementiert sind. Wenn das nicht der Fall ist, kann Corba für die Kommunikation benutzt werden, das ebenfalls auf IIOP aufsetzt.

Die zweite Form eines EVCM Klienten soll den externen Zugriff herstellen. Damit können Anfragen von externen Kunden an das EVCM herangetragen und die Genese des KPZN per Monitoring überwacht werden. Die Menge der ermittelten Produktionsmöglichkeiten ist auch im externen Klienten visualisierbar. Die Selektion der jeweils optimalen Lösung wird durch die Modellierung der Präferenzen unterstützt.

Da dieser Client-Typ nicht aktiv an der Netzwerkgenese beteiligt ist, besteht auch keine Notwendigkeit, ihm über eine MOM die asynchrone Kommunikation zu ermöglichen. Außerdem erfordert er keine lokale Logik, da keine lokalen Daten bearbeitet werden müssen. Vielmehr besteht ein großes Interesse, diesen Client-Typ als *Thin Client* auszubilden. Das bedeutet, die Präsentation erfolgt über den Browser des Klienten, alle Teile der Logik, auch die Präsentationslogik, liegen auf der Serverseite. Die Kommunikation erfolgt dabei über das Internet mittels HTTP (Hypertext Transfer Protocol).

Das EVCM-System lässt sich somit durch die Angabe einer Internetadresse ansprechen und nutzen. Die Einbindung in Marktplätze von Drittanbietern erfolgt auf gleiche Weise durch das Setzen eines Links auf die EVCM-Seite.

J2EE unterstützt diese Thin Clients durch die Komponenten Java Server Pages und Servlets, welche im Web Container des Applikations-Servers laufen und die Präsentationslogik realisieren. Für die Realisierung der Geschäftslogik greifen sie auf Enterprise JavaBeans zu. JSP erzeugen dynamische HTML Seiten, die im Browser des Clienten interpretiert und angezeigt werden. Alle für den externen Clienten genannten Funktionalitäten lassen sich so umsetzen.

Prinzipiell wäre es möglich, Thin Clients auch für die KPZ einzusetzen. Praktisch heißt das, die gesamte Logik befindet sich auf die Serverseite. Die Verwaltung der Applikation selbst wäre damit leichter realisierbar. Ein Update findet nur auf dem Server statt, die Clienten bleiben völlig unberührt. Der Trend der Anwendungsentwicklung geht eindeutig in diese Richtung, da signifikante Kosteneinsparungen erzielt werden können. Auch für die zu implementierende Variante, EVCM den KPZ über ASP verfügbar zu machen, sind Thin Clients eine optimale Lösung, da auf der Clientseite keine Software installiert und gewartet werden muss. Es gibt außer den mittlerweile selbstverständlichen Voraussetzungen wie Internetanschluss und Browser keine technischen Schranken für den EVCM-Beitritt einer KPZ. Die finanziellen Schranken wären durch den EVCM-Betreiber klar determiniert und nicht durch schwer kalkulierbare Nebenkosten der Implementierung belastet. Die Liste von Vorteilen des Thin Client Konzeptes ist lang. Doch für erste Tests wurde aus pragmatischen eine andere Variante für den EVCM-Prototyp gewählt.

Das derzeit ausschließende Kriterium ist durch die lokal gebundenen ERP-Daten gegeben, auf die während der Netzwerkgenese intensiv zugegriffen wird. Was würde passieren, wenn eine zentrale, serverseitige Logik im Rahmen der Bearbeitung einer Anfrage auf den dezentralen ERP-Daten operieren würde? Für jeden Einzelschritt müssten die benötigten ERP-Daten über das Netzwerk bezogen werden. Die Kommunikation während der Netzwerkgenese erfolgt aber, wie im letzten Abschnitt erläutert, durch den asynchronen Austausch von Nachrichten, um Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz zu garantieren. Der dadurch entstehende Kommunikations-Aufwand würde die Genese des KPZN erheblich verlangsamen. In wenigen Jahren wird jedoch eine entsprechende Bandbreite für die Übertragung dieser Daten durch verbesserte Informationstechnologien zur Verfügung stehen.

Würde auf der Verwendung von Thin Clients aufgrund der zahlreichen Vortei-

le, insbesondere in Bezug auf das ASP-Konzept, insistiert, wäre die logische Konsequenz, *alle* für die Netzwerkgenese notwendigen Daten zentral zu halten. Wie die Pflege der Leistungsprofile, müsste auch die Verwaltung dieser Daten eigenverantwortlich durch die KPZ erfolgen. Zu einem gewissen Grad ist das vorstellbar. Datenbankhersteller liefern mittlerweile ausgereifte Werkzeuge für die Synchronisierung von Datenbanken im Netzwerk. Zeitlich wäre die Synchronisierung von der Netzwerkgenese entkoppelt und könnte außerdem von einem separaten System der verteilten Applikation durchgeführt werden. Das ausschließliche Operieren auf zentralen Daten würde die Netzwerkgenese erheblich beschleunigen. Der Preis wäre aber die Verwaltung einer gigantischen Datenflut auf der Server-Seite. Auch müssten Daten, die nicht direkt aus dem ERP bezogen, sondern auf Anfrage erst von diesem generiert werden (zum Beispiel eine Reihenfolgeplanung), in einheitlicher Weise von der serverseitigen Logik erzeugt werden. Diese Probleme haben zur Entscheidung geführt, vorerst auf Thin Clients für die KPZ zu verzichten. Dennoch ist dieser Ansatz im Zuge der weiteren technologischen Entwicklung die interessanteste Alternative.

10.2.6.2 Architektur der Serverseite

Die zentralen Bestandteile der IMK-Logik bilden gemeinsam mit der EVCM-Datenbank zur Verwaltung aller zentral benötigten Daten die Server-Seite. Die Plattform für die Logik wird durch einen J2EE-Applikations-Server bereitgestellt. Dieser verfügt über einen Web-Container für die Komponenten der Präsentationslogik, JSP und Servlets und einen EJB-Container für die Komponenten der Geschäftslogik, die Enterprise JavaBeans. Beide Komponentenarten operieren auf den Daten der EVCM-Datenbank. Sie realisieren für die Clienten die Funktionen Netzwerkgenese (im Zusammenspiel mit der dezentralen Logik der Clienten), Optimierung, Verwaltung der EVCM-Datenbank, Monitoring und Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl der für einen Anfrager optimalen Produktionsmöglichkeit. Um das Architekturkonzept in einem überschaubaren Rahmen zu halten, wurde eine Beschränkung auf diese fünf Funktionalitäten vorgenommen. Stellvertretend sollen diese unter Verwendung der J2EE-Technologien zu einer integrierten J2EE-Applikation modelliert werden. Abbildung 10.21 liefert einen Überblick der Architektur der EVCM-Applikation.

Wie schon bei der Darstellung der Kommunikation soll auch die Realisierung der Geschäftslogik und deren Datenbankbindung für die fünf Funktionen getrennt erläutert werden.

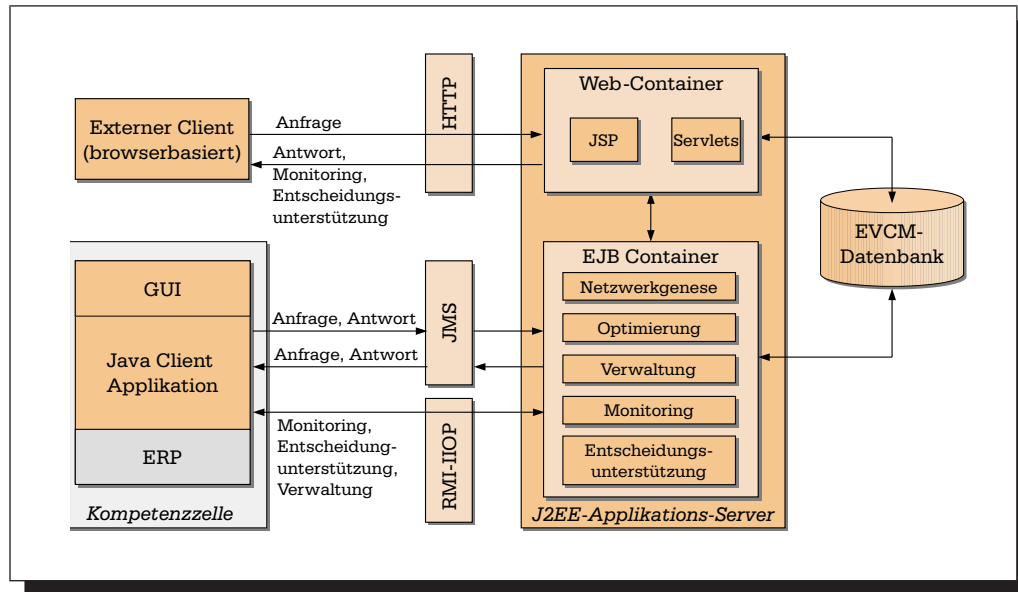


Abbildung 10.21: Architekturkonzept für das EVCM

- (1) *Netzwerkgenese:* Innerhalb der Netzwerkgenese erfolgt die Kommunikation zwischen Client (KPZ) und dem Server asynchron über den JMS. Sowohl Client als auch Server können die Nachrichten sowohl senden als auch empfangen. Während der Netzwerkgenese vorkommende Nachrichten sind Anfragen (vereinfacht für Produktionsaufträge, Kundenanfragen usw.) und Antworten. Eine Anfragenachricht sendet die KPZ an die serverseitige JMS-Warteschlange für Anfragen, eine Antwort an die Warteschlange für Antworten.

Spezialisierte Message Driven Beans entnehmen am jeweiligen Ende der Warteschlange die Nachrichten nach dem FIFO-Prinzip. Die Message Driven Beans dienen nur als Überbrückung zwischen MOM und Geschäftslogik und leiten die Nachricht sofort an Session Beans weiter, welche die Bearbeitung übernehmen. Die Message Driven Bean-Instanz, die eine Anfrage aus der Warteschlange entnommen hat, ruft eine Session Bean-Instanz auf, die die Anfrage auf Zulässigkeit überprüft, das heißt, ob der Sender autorisiert ist, eine Anfrage zu stellen. Ist die Anfrage legitim, fährt sie fort, die Konformität der Anfrage mit der Domänenontologie zu überprüfen. Dafür baut sie eine direkte Verbindung zur Datenbank auf. Ist auch diese Überprüfung erfolgreich, wird die Anfrage durch die Erzeugung einer Instanz der Entity Bean „Anfrage“ zum persistenten Datenobjekt. Scheitert eine der Überprüfun-

gen, wird eine Fehlermeldung generiert und als JMS-Nachricht an den Absender der Anfrage geschickt. Für das Abschicken von Nachrichten verwaltet der J2EE-Applikations-Server clientspezifische Warteschlangen (also für jeden registrierten EVCM-Teilnehmer eine). JMS stellt die Nachricht zu, sobald der Client verfügbar ist.

Die Kommunikation mit einem externen Clienten erfolgt nicht über JMS, sondern über dynamisch von JSP erzeugte HTML Seiten. Die Rückmeldungen der Session Beans gehen also nicht als Nachricht an eine Warteschlange, sondern direkt an die JSP, welche den Kontakt zum externen Clienten aufrecht erhält.

In der weiteren Bearbeitung erfolgt die Selektion geeigneter KPZ, welche die Anfrage aufgrund ihres Leistungsprofils erfüllen könnten. Diese Aufgabe wird wieder von einer spezialisierten Session Bean übernommen, die sich mit der Datenbank verbindet. Findet sie geeignete KPZ, erzeugt sie für jede eine Instanz der Entity Bean „KPZ“. Danach generiert die Session Bean Anfrage-Nachrichten und sendet sie an die Warteschlangen der betreffenden KPZ.

Eine weitere Session Bean übernimmt die Verwaltung der internen Repräsentation des entstehenden KPZN. Dies erfolgt durch die Abfrage des Beziehungsschemas, das die verschiedenen Entity Beans bilden. Die Abfrage erfolgt ähnlich einer Datenbankabfrage, nur dass sie auf den im EJB-Container verwalteten Entity Bean-Instanzen operiert. Die Abfrage liefert dann zum Beispiel, welche Instanz des Typs „KPZ“ mit welcher Instanz des Typs „Anfrage“ verbunden ist, also welche KPZ die Anfrage gestellt hat.

Das Ergebnis der Abfrage beinhaltet nicht nur die Objektreferenzen, sondern alle Daten der Objekte, also konkret alle Attribute der Anfrage wie Menge, Lieferdatum usw. Abbildung 10.22 zeigt das Entity Bean-Schema für die Netzwerkgenese. Für eine erste Implementierung werden die Leistungen der KPZ nur über hergestellte Produkte beschrieben, weshalb die Entity Bean „Produkt“ heißt. Ist eine Anfrage eine Unteranfrage zu einer Initialanfrage, wird sie in die jeweilige Repräsentation des KPZN eingeordnet.

Die Bearbeitung einer Antwort erfolgt in ähnlicher Weise. Nach der Entnahme der Nachricht aus der Warteschlange übernimmt eine Session Bean die Erzeugung einer Entity Bean Instanz zur Repräsentation der Antwort. Jedes Antwortdokument enthält Angaben, auf welche Anfrage sich die Antwort bezieht und zu welcher Initialanfrage beide gehören. Die Session Bean zur Verwaltung der internen Repräsentation

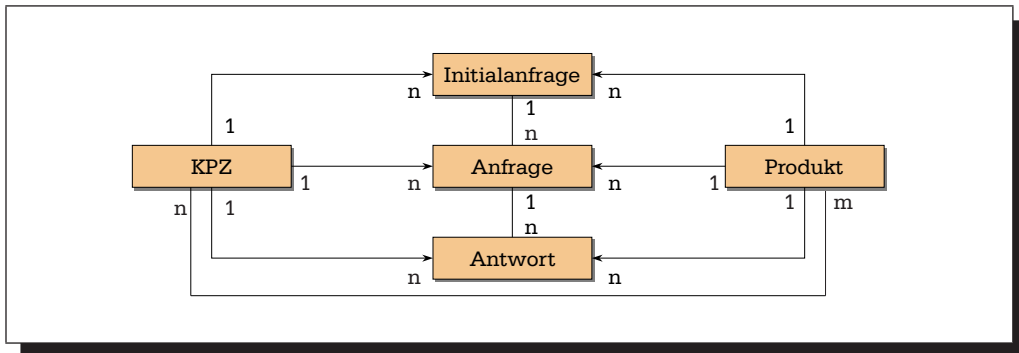


Abbildung 10.22: Entity Bean Schema für die Netzwerkgenese

des KPZN kann damit die Antwort im richtigen KPZN an der richtigen Stelle einordnen.

- (2) *Monitoring und Entscheidungsunterstützung*: Für das Monitoring erfolgt der Zugriff wie oben beschrieben synchron über entfernte Methodenaufrufe im Rahmen einer Sitzung. Dazu verbindet sich der Client mit einer Session Bean für das Monitoring. Diese ruft eine Instanz der Session Bean auf, welche die interne Repräsentation des KPZN verwaltet. Diese „Verwaltungs-Bean“ ermittelt den Zustand aus dem Beziehungsschema der Entity Beans und leitet die Angaben an die Monitoring Bean weiter. Diese übernimmt die Darstellung des Teils des KPZN, für den der Client berechtigt ist. Jede Änderung des KPZN wird innerhalb der Sitzung an den verbundenen Client weitergeleitet.

Die Realisierung der Entscheidungsunterstützung nach dem Ende des Einrollprozesses erfolgt in ähnlicher Weise. Eine Session Bean greift für diesen Zweck auf die Daten der Verwaltungs-Bean zu. Die Daten der einzelnen Produktionsmöglichkeiten werden dem Client für die Entscheidungsunterstützung in einem Koordinatensystem visualisiert, indem er gleichzeitig seine Präferenzen modellieren kann, um so die für ihn optimale Möglichkeit zu finden. Für extern zugreifende Clients erfolgt die Kommunikation mit dem Umweg über den Web-Container. Eine JSP übernimmt dabei die Darstellung von Monitoring und Entscheidungsunterstützung.

- (3) *Verwaltung der KPZ-Daten*: Die KPZ verbindet sich mit einer Session Bean, die eine direkte Datenbankverbindung zu den entsprechenden Daten der KPZ herstellt. Die Kommunikation innerhalb dieser Sitzung

erfolgt wiederum synchron. Änderungen der Datenbankeinträge werden in Transaktionen gekapselt um Datenkonsistenz und -integrität zu gewährleisten.

- (4) *Optimierung*: Im Rahmen der Optimierung erfolgt die Kommunikation asynchron über JMS. Der Grund dafür ist die Dauer, welche die Algorithmen für die Optimierung der relevanten, komplexen Probleme wie zum Beispiel die Reihenfolgeplanung benötigen. Das zu optimierende Problem ist in einer Nachricht kodiert und wird vom Client an die serverseitige Eingangswarteschlange für Optimierungsprobleme gesendet. Eine Message Driven Bean entnimmt diese und leitet sie an eine Session Bean weiter. Diese ruft, je nach Art des Problems, geeignete Optimierungsalgorithmen mit den aus der Nachricht gewonnenen Parametern auf. Da die Optimierungsalgorithmen in der Regel nicht in Java programmiert sind¹¹⁷, kommt Corba/IIOP zur Kommunikation zwischen Session Bean-Instanz und Algorithmus zum Einsatz, das als Kommunikationsdienst vom J2EE-Applikations-Server angeboten wird.

Abbildung 10.23 illustriert abschließend die unterschiedlichen Kommunikationsmethoden und das Zusammenspiel der Enterprise JavaBeans in den serverseitigen Schichten für Geschäftslogik und Daten für die Umsetzung des EVCM-Konzeptes.

¹¹⁷Vgl. [Sch01a].

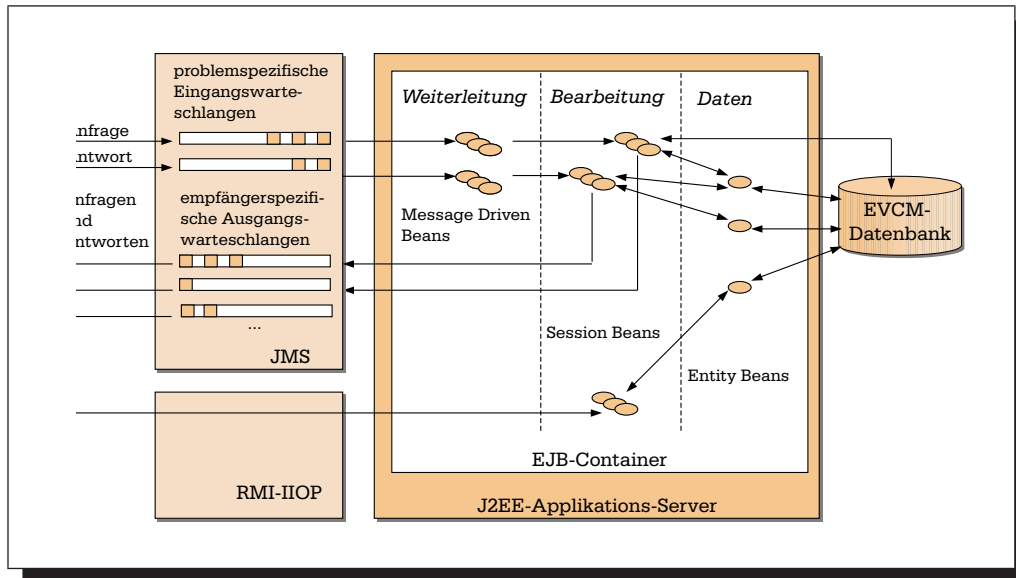
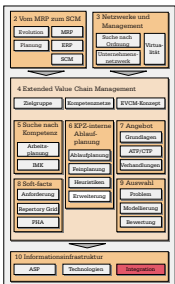


Abbildung 10.23: Detaillierte Architektur der Serverseite

10.3 ERP–Anbindung



Die Online-Integration von ERP/SCM-Systemen muss im Rahmen bestimmter Anforderungen und Einschränkungen erfolgen. Sie fordert die permanente Kopplung der beteiligten Systeme, eine äußerst geringe Latenz durch Kommunikationsvorgänge und von allen Systemen die stete Sichtbarkeit der aktuellen Daten, d. h. Änderungen am Datenbestand durch ein System sind ohne bzw. nach nur sehr geringer Verzögerung auch für alle anderen Systeme sichtbar. Weiterhin ist die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Kommunikation über das Internet wesentlich höher, als im lokalen Netzwerk, wodurch auch die permanente Kopplung nicht in jedem Fall vorausgesetzt werden kann. Das Integrationskonzept muss dafür entsprechende Failover-Lösungen enthalten, die einen unterbrechungsfreien Betrieb sowohl des ERP/SCM- als auch des EVCM-Systems gewährleisten.

Da das EVCM-System mit einer Reihe von ERP/SCM-Systemen zusammenarbeiten soll, dient die Integration mit *Navision Axapta* als Referenzprojekt für die Visualisierung des Aus- und Einrollprozesses einerseits und die Integration mit *SAP R/3* für den Abgleich fertigungsspezifischer Daten andererseits. Beide Produkte wurden aufgrund ihrer marktwirtschaftlichen Dominanz als Beispielprojekte gewählt¹¹⁸.

¹¹⁸Regelmäßig erreicht die *SAP* mit ihren Produkten in Deutschland einen Marktanteil

10.3.1 SAP

Die beispielhafte Anbindung der APS-Funktionalität des EVCM an das *SAP R/3*-System ist ein wichtiger Bestandteil zum Nachweis der Durchgängigkeit des Konzeptes. Hierbei kommt es vor allem darauf an, die Daten zu integrieren, die Auskunft über die Auslastung der Ressourcen innerhalb der Kompetenzzelle geben¹¹⁹.

Per Definition schließt sich die Fertigungssteuerung der Auftragsfreigabe an, beinhaltet diese aber nicht.¹²⁰ Nachdem das *SAP R/3*-System Entscheidungen bzgl. Eigen- und Fremdbeschaffung vorgeschlagen hat, müssen diese umgesetzt werden. Um die Eigenfertigung anzustoßen, werden die Planaufträge in Fertigungsaufträge (FAUF) umgesetzt. Dabei werden Fertigungsaufträge eröffnet und angelegt, wobei i. d. R. eine Durchlaufterminierung, Kostenermittlung und Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt werden. Nach der Freigabe der FAUF kann die eigentliche Fertigung durchgeführt werden.

Daten werden als Erscheinungsform der Information definiert und stellen zweckorientiertes Wissen dar¹²¹. Sie sind die Basis jedes Informationssystems. Die wichtigste Klassifikation betrieblicher Daten erfolgt basierend auf ihrer Lebensdauer und den Abhängigkeiten zwischen ihnen. Es gibt dabei die Klassen¹²²:

Stammdaten: Stammdaten werden über einen längerfristigen Zeitraum benötigt, weshalb sie auch *Bestandsdaten* genannt werden.¹²³ Ihre Änderungshäufigkeit ist gering und die Lebensdauer ist nicht bekannt. Die Stammdaten bilden die Basis für weitere abgeleitete Daten. Deshalb ist die Pflege und Aktualisierung wichtig. Stammdaten dienen als Kopiervorlagen bzw. Referenz für die Bewegungsdaten. Alle Belege im Unternehmen werden von Stammdaten abgeleitet.

von rund 50%. Der zweitstärkste Anbieter *Navision* liegt im Bereich einstelliger Prozentpunkte (8,5%). Die Statistik (URL: <http://www.tse-hamburg.de>) für das Jahr 2000 wurde auf Basis von 8.600 Unternehmen der verarbeitenden Industrie mit mehr als 50 Mitarbeitern erstellt. Daher wurden auch Anbieter von Softwarelösungen für Klein- und mittelständische Unternehmen berücksichtigt, die als Zielgruppe des KPZN fungieren. *Navision* wies im Geschäftsbericht 2000/2001 vom 21. August 2001 127.968 Installationen [Nav01, S. 6] aus und ist im KMU-Bereich Marktführer.

¹¹⁹Die Integration von APS und *SAP R/3* erfolgte im Rahmen der Diplomarbeit von Schwarz [Sch00e], an deren Erstellung der Autor mitwirkte. Aus dieser wurden die wesentlichen Gedanken übernommen. Detaillierte Angaben sind in selbiger nachzulesen.

¹²⁰Vgl. [Wie97, S. 325].

¹²¹Diese Definition entstand in Anlehnung an [Sel88, Sp. 1125].

¹²²Vgl. [Loo99].

¹²³Vgl. [Wed90, S. 67].

Bewegungsdaten: Bewegungsdaten haben von Anfang an eine begrenzte Gültigkeit und einen konkreten Zeitbezug. Sie durchlaufen einen typischen, durch Statusinformationen gekennzeichneten Lebenszyklus.

Die anfallenden Daten müssen organisiert werden. Das erfolgt zum einen durch die Strukturierung (*logische Datenorganisation*) und zum anderen durch die Speicherung (*physische Datenorganisation*). Im Weiteren interessiert dabei nur der logische Aufbau der Datenorganisation.

Aufgrund der betrieblichen Komplexität ist eine Modellierung der Daten notwendig, denn erst durch diese Abstraktion ist die Menge der Daten und der Beziehungen zwischen ihnen beherrschbar. Weiterhin ist erst durch ein Datenmodell die effiziente Speicherung der Daten in einer Datenbank realisierbar. Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich auf *semantischer Ebene* modelliert, d. h., dass von konkreten Datenbanken unabhängige Datenmodelle verwendet werden. Alle Modelle werden im *Entity-Relationship-Modell* (ERM) bzw. im SAP spezifischen *Strukturierten-ERM* (SAP-SERM) erstellt.

10.3.1.1 Der Fertigungsauftrag als Integrationsobjekt

Zu den Bewegungsdaten zählen u. a. die Planaufträge, Fertigungsaufträge, Bestellungen, Lagerbestände, Materialbewegungsbelege. Allgemein bilden Aufträge grundsätzlich die Basis für die Durchführung von Aufgaben im Unternehmen¹²⁴. In der Fertigungssteuerung ist das zentrale Bewegungsdatum der Fertigungsauftrag, der aus diesem Grund im Folgenden detailliert diskutiert werden soll.

Ein Fertigungsauftrag beschreibt zielgerichtete Handlungen zum Erreichen eines gewünschten Outputs. Jeder Fertigungsauftrag aggregiert dabei eine Folge von Arbeitsvorgängen eines Arbeitsplans, eine Menge von Komponenten aus einer Stückliste und unterliegt einem Status, der die Phase im Lebenszyklus kennzeichnet. Interessante Termine im FAUF sind frühester, geplanter und spätester Start- und Fertigstellungstermin. Im *SAP R/3*-System besitzen FAUF die *Belegart*¹²⁵ Auftrag und haben den *Auftragstyp*¹²⁶ PP-Fertigungsauftrag. Die Struktur eines Fertigungsauftrages ist durch einen

¹²⁴Vgl. [REF91a, Bd. 2, S. 40].

¹²⁵Die Belegart dient der groben Differenzierung von Geschäftsvorfällen. Neben dem Auftrag gibt es noch den Materialbuchhaltungs- und den Finanzbuchhaltungsbeleg. Siehe dazu [SAP98].

¹²⁶Auftragstypen werden im R/3-System in Abhängigkeit von der Anwendung unterschieden, so gibt es bspw. den CO-innerbetrieblichen Auftrag. Innerhalb dieser Typen ist die Definition anwenderspezifischer Auftragsarten möglich. Siehe dazu [SAP98].

charakteristischen *Lebenszyklus* gekennzeichnet, der in Abbildung 10.24 dargestellt ist¹²⁷.

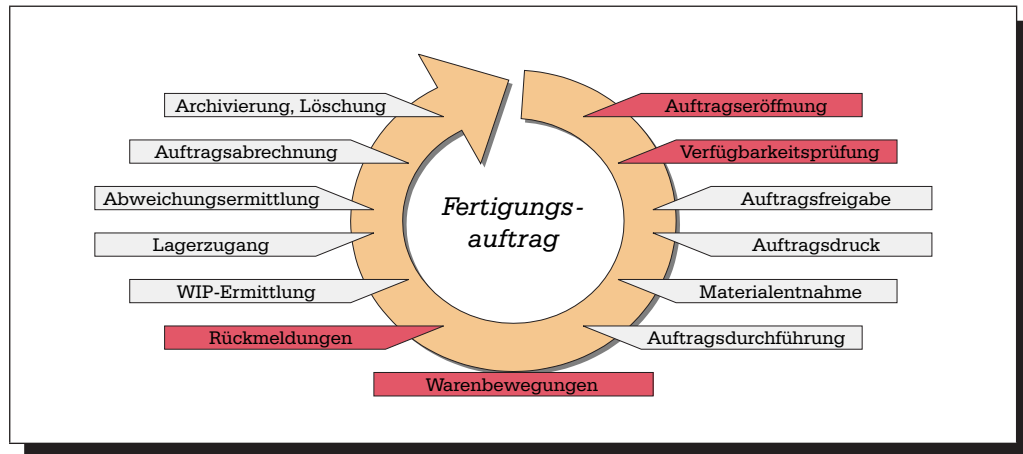


Abbildung 10.24: Lebenszyklus des Fertigungsauftrages

Die Generierung eines Fertigungsauftrages wird *Fertigungsauftragseröffnung* genannt. Dabei werden alle Daten in den Fertigungsauftrag kopiert. Das sind in erster Linie die notwendigen Komponenten aus der Stückliste und die technologischen Vorgänge aus dem Arbeitsplan. Im Anschluss an die Eröffnung des FAUF wird über die *Verfügbarkeitsprüfung* ermittelt, ob genügend Ressourcen für die Abarbeitung vorhanden sind. Der nächste Schritt ist die *Fertigungsauftragsfreigabe*¹²⁸, die im Kern ausschließlich eine Änderung von Statuskennzeichen ist. Dieser Schritt ist sehr wichtig, da er den Übergang von der Arbeitsvorbereitung zur *Fertigungssteuerung*¹²⁹ markiert.

Im Anschluss daran erfolgt der *Auftragsbelegdruck* und die *Auftragsdurchführung* mit den *Warenbewegungen*¹³⁰. Ist der Fertigungsauftrag vollständig oder zumindest teilweise fertiggestellt, kann die *Rückmeldung*¹³¹ erfolgen. Der

¹²⁷Diese Grafik wurde modifiziert übernommen aus [SAP96, S. 5/3]. Die Darstellung bezieht sich auf den Fertigungsauftrag im *SAP R/3*-System, da davon auszugehen ist (das zeigt auch [Loo99]), dass die Abbildung dieses Bewegungsdatums in der Software strukturell umfassend erfolgte.

¹²⁸Erst nach erfolgreicher Verfügbarkeitsprüfung ist eine Freigabe möglich, was mit der Darstellung in [Tei98b, S. 35] konform ist.

¹²⁹Vgl. dazu [Tei98b, S. 6], in der ebenfalls die Durchlaufterminierung nicht als Bestandteil der Fertigungssteuerung betrachtet wird und diese ausschließlich die Ecktermine und damit den Rahmen für die Fertigungssteuerung definiert.

¹³⁰Das sind in der Phase der Durchführung hauptsächlich Warenentnahmen.

¹³¹Bei der nur teilweisen Fertigstellung erfolgt eine Teilrückmeldung.

Lebenszyklus wird fortgesetzt durch die *Ermittlung der Ware in Produktion*, dem *Verbuchen des Lagerzugangs* der hergestellten Materialien und der *Abweichungsermittlung* bspw. zwischen Plan- und Ist-Kosten. Aus den Abweichungen können in übergeordneten Planungsebenen Rückschlüsse für die zukünftige Planung gezogen werden. So führt bspw. die permanente Unterschreitung der Ist-Zeiten zu einer verzerrten Kapazitätssituation. Beendet wird die Existenz des Bewegungsdatums FAUF durch die *Abrechnung* und die *Archivierung* und *Löschung*.

Begleitendes Merkmal jeder Phase des Lebenszyklus sind die Status des Fertigungsauftrages. Status dokumentieren den aktuellen Stand im Lebenszyklus eines Objektes. Dieser kann betriebswirtschaftliche Vorgänge uneingeschränkt erlauben, mit Warnung erlauben oder verbieten. Das Ändern eines Status zieht u. U. Bearbeitungseinschränkungen nach sich¹³².

Aufgrund von Abweichungen, die durch die Implementierung der jeweiligen Software entstehen, können gravierende Unterschiede in den Datenmodellen auftreten. Aus diesem Grund ist der erste Schritt, die Datenmodelle des R/3-Systems mit dem APS abzugleichen. Beim Datenmodell des R/3-Systems ist die Darstellung nicht vollständig möglich, da ca. 10.000 Tabellen¹³³ existieren. Aus diesem Grund zeigt die Abbildung 10.25¹³⁴ nur einen Ausschnitt des Datenmodells, der das Business-Objekt¹³⁵ Fertigungsauftrag beinhaltet.

Aufgrund der Fülle an Daten, die im R/3-System gespeichert werden, stellte sich weniger die Frage, welche Daten überhaupt geliefert werden können, sondern welche Daten für die Schnittstelle notwendig sind. Im Rahmen des Funktionsnachweises des EVCM wurden die folgenden Schwerpunkte für eine Erst-Implementierung des Downloads festgelegt:

- alle FAUF-Kopfdaten der *freigegebenen* FAUF,
- alle Statusobjekte, die dem Kopf eines FAUF zugeordnet sind,

¹³²Vgl. [SAP98].

¹³³Siehe [Men98, S. 23].

¹³⁴Eine vergleichbare Darstellung ist im SAP R/3 enthalten unter dem Pfad: *Werkzeuge* → *Business-Engineer* → *Business-Navigator*; umschalten auf *Komponentensicht*; dort nach *PPS* verzweigen und *FAUF* auswählen; jetzt Schaltfläche *BO-Datenmodell* anklicken und über *Hilfsmittel* → *Grafik*; ist das folgende Datenmodell abrufbar. Basis der Datenmodellierung im R/3 ist das strukturierte ERM der SAP (SAP-SERM). Eine Erklärung des SERM findet sich in [Fer94, S. 101 ff.]. Das SAP-SERM wird in [Moo97] detailliert dargestellt.

¹³⁵Die SAP AG unternimmt schon seit einigen Jahre Anstrengungen, die Wiederverwendbarkeit der Programme zu erhöhen, weshalb objektorientierte Ansätze sukzessiv integriert werden. Die Kapselung von Attributen, Methoden und Ereignissen und die Definition einer Schnittstelle führen zu Business-Objekten.

10.3.1.2 Die Implementierung der Schnittstellen

Moderne Client–Server–Architekturen ermöglichen eine große Freiheit bei der Wahl der Anwendungssoftware. Durch diese Technologie hat ein Unternehmen die Möglichkeit, für jede Aufgabe die leistungsfähigste Software zu nutzen. Diese größere Freiheit im Vergleich zu Mainframe–Systemen erfordert allerdings einen erhöhten Kommunikationsaufwand. Das R/3–System bietet zur Kopplung von externen Systemen mehrere Möglichkeiten, die vor der Implementierung eingehend untersucht wurden¹³⁶. Es sei erwähnt, dass es eine Vielzahl von weiteren Produkten und Technologien für Schnittstellen gibt, welche in den meisten Fällen aber auf die untersuchten Basistechnologien zurückzuführen sind. Außerdem können die Technologien keineswegs voneinander losgelöst betrachtet werden. So nutzen BAPI bspw. bei asynchroner Verwendung die IDocs der ALE als Datencontainer. Eine Klassifikation der Technologien ermöglicht die Trennung in *Übertragungs-* und *Verarbeitungstechniken*, wobei diese Klassen nicht disjunkt sind. Für die Beschreibung der Technologien selbst sowie deren Vergleich sei auf *Schwarz*¹³⁷ verwiesen. An dieser Stelle erfolgt nur die Zusammenfassung der Resultate der Integration.

Welche der Möglichkeiten zur Integration bietet die meisten Freiheitsgrade bei der Implementierung und die größten Potenziale bei der späteren Nutzung? Um eine Auswahl treffen zu können, müssen die Anforderungen an die Schnittstelle definiert werden. Primäre Anforderungen resultieren dabei aus der Festlegung der Verarbeitungsrichtung, dem Timing, der Verarbeitungsart, der Releasefähigkeit und der Verfügbarkeit.

Verarbeitungsrichtung: Mit der Verarbeitungsrichtung wird gekennzeichnet, inwieweit mit einer Technologie Daten aus dem R/3–System ins externe System (*Download*) oder umgekehrt (*Upload*) übertragen werden können.

Timing: Das Timing bestimmt, ob der Zugriff auf das System gleichzeitig oder zeitlich versetzt erfolgt. Beim gleichzeitigen bzw. *synchronen* Zugriff werden die Daten direkt ausgetauscht. Das versetzte bzw. *asynchrone* Zugreifen läuft in der Regel über eine Datei ab, die vom „gebenden“ System temporär abgelegt wird und vom „nehmenden“ System später eingelesen wird. Technologien sind entweder synchron, asynchron oder beides. Für die zu implementierende Schnittstelle ist es wichtig, dass die Übertragung der ERP-Daten aus Performanzgründen *synchron* erfolgt. Für das APS ist es notwendig, dass eine Aktualisierung

¹³⁶Siehe hierzu [Sch00e, S. 69 ff.].

¹³⁷Ebenda.

der Datenbasis sofort in die Optimierung eingeht. Werden veränderte Daten nicht schnellstmöglich in die Optimierung integriert, ist die Qualität des Ergebnisses nicht ausreichend für die Ansprüche des EV-CM. Es kommen somit von vornherein nur Technologien zum Einsatz, die einen synchronen Transfer ermöglichen. Daraus folgt auch, dass die Standard–Schnittstelle für die Optimierung in der Produktion, die von der *SAP AG* vorgeschlagen wird, in ihrer Grundstruktur im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden kann. Weiterhin ist die ALE–Technologie aus Laufzeitgründen eher uninteressant. Das resultiert hauptsächlich aus dem Overhead an Daten. Wenn ein externes Optimierungssystem nur wenige Daten wie die Ecktermine benötigt, dann werden trotzdem viel mehr Daten innerhalb der IDocs mit ausgegeben.

Verarbeitungsart: Die Verarbeitungsart bestimmt darüber, ob eine Technologie eine Benutzeraktion unterstützt oder ohne jegliche Benutzerschnittstelle im Hintergrund ablaufen kann. Grundsätzlich soll die Schnittstelle unabhängig von Benutzereingriffen ablaufen, was die meisten Technologien unterstützen.

Releasefähigkeit: Über die Releasefähigkeit ist zu sagen, dass sie in der Praxis die wichtigste Anforderung an eine Schnittstelle ist, da betriebswirtschaftliche Standardsoftware in regelmäßigen Abständen auf den aktuellen gesetzlichen und technischen Stand gebracht werden muss. Wenn die Schnittstellen bei jeder dieser Updates angepasst werden müssen, entstehen sehr hohe Kosten.

Verfügbarkeit: Grundvoraussetzung für die Verwendung einer Technologie ist die Verfügbarkeit im R/3–System. Dabei ist vor allem bei BAPI darauf hinzuweisen, dass diese junge Technik noch nicht für alle Business–Objekte implementiert ist.

Basierend auf der Kenntnis der Technologien und ihrer Verwendbarkeit entstand die Abbildung 10.26. Im oberen Teil der Tabelle sind die verarbeitenden Technologien aufgeführt, im unteren Teil die übertragenden Technologien¹³⁸. Die Realisierung der Schnittstelle über BAPI würde alle Kriterien erfüllen, da bei dieser Technologie die Schnittstelle auch über Releasewechsel hinweg konstant bleibt und bspw. über einen RFC definiert darauf zugegriffen werden

¹³⁸Diese Trennung ist allerdings nicht vollständig möglich, da einige verarbeitende Techniken einen bestimmten Übertragungsweg verlangen. So steht ALE immer in Verbindung mit einer Dateischnittstelle, was sich auch im Timing widerspiegelt.

<i>Technologie</i>	<i>Verarbeitungsrichtung</i>	<i>Timing</i>	<i>Verarbeitungsart</i>	<i>Releasefähigkeit</i>	<i>Verfügbarkeit</i>
Verarbeitung als itab	✓	✓	✓	☒	✓
BI und CT	✓	✓	✓	☒	✓
ALE (IDoc)	✓	☒	✓	✓	✓
BAPI	✓	✓	✓	✓	☒
File I/O	✓	☒	✓	☒	✓
RFC	✓	✓	✓	✓	✓

Abbildung 10.26: Einschätzung der Technologien bzgl. der Auswahlkriterien

kann. Allerdings wurde für den Fertigungsauftrag noch keine BAPI durch die SAP realisiert, weshalb im Rahmen dieser Arbeit andere Technologien eingesetzt wurden. Zur Verarbeitung in Download-Richtung werden die Daten über einen Report in einer internen Tabelle zusammengestellt. In Upload-Richtung sollen die Daten aus einer internen Tabelle über Batch-Input und Call-Transaction verarbeitet werden. Zur Übermittlung soll im Rahmen der Implementierung der Verarbeitung ein RFC genutzt werden.

Die Schnittstellenprogrammierung erfolgt in der Programmiersprache des SAP R/3-Systems: ABAP/4. Ziel der Implementierung ist die Funktionsfähigkeit der Schnittstelle im R/3-Systems zu gewährleisten, wobei auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu achten ist. Jedes Programm bzw. jede Funktion wird im ABAP mit einem eindeutigen Namen bezeichnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Wiederverwendung wird der in Abbildung 10.27 an einem Beispiel dargestellte Namensschlüssel verwendet¹³⁹.

Im ABAP beginnen alle Programme der SAP mit „A...X“, wohingegen der Namensraum der Programme externer Entwickler auf „Y“ und „Z“ beschränkt ist. Nach dem „Y“ stehen die Initialen des Autors. Kennzeichnend für alle Programme, die im Rahmen dieser Arbeit programmiert wurden, ist, dass sowohl einzelne als auch mehrere Datensätze verarbeitet werden können.¹⁴⁰

¹³⁹Aufgrund unterschiedlicher Restriktionen innerhalb des ABAP, muss an einigen Stellen von diesem Nummernsystem abgewichen werden. So ist es zwingend notwendig, bei Funktionen „Y“ und „TT“ zu trennen.

¹⁴⁰Für eine umfassende Beschreibung der Programmiersprache ABAP/4 siehe [Men98] und [Mat99]. Für die Bedienung des SAPGUI siehe [CDI96]. Für die Bedienung und Struktur der ABAP-Workbench siehe [SAP98, Pfad: Bibliothek → BC → ABAP-Workbench-

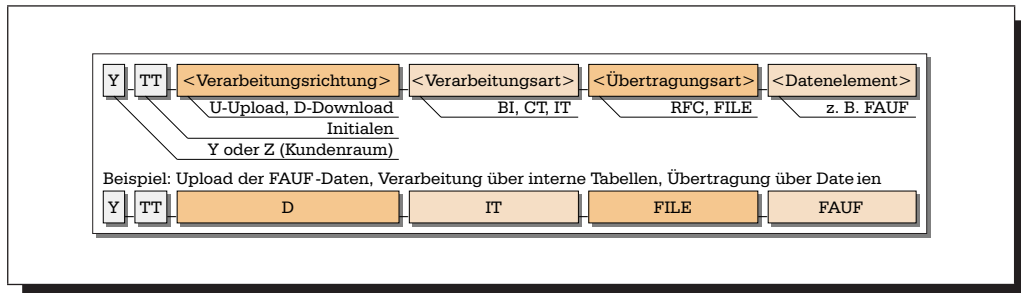


Abbildung 10.27: Nummernschlüssel der Programme und Funktionen

10.3.1.2.1 Download über itab und RFC

Im vorherigen Abschnitt wurden die Daten als File auf Veranlassung des R/3-Systems auf dem Client abgelegt und anschließend von der externen Optimierungsmethode abgeholt. Anders geschieht der Download beim RFC. Das externe System holt sich *selbstständig* die benötigten Daten vom R/3-System. Dazu baut es anfänglich eine Verbindung zum R/3-System auf, stößt die Verarbeitung selbstständig an und nimmt anschließend die Daten ohne den Umweg über Dateien entgegen. Ein RFC kann ausschließlich auf vorhandene Funktionsbausteine im R/3-System zugreifen. Aus diesem Grund wurde der Funktionsbaustein Y_TT.D.IT.RFC.FAUF entwickelt, der eine vergleichbare Funktionalität bietet wie obiger Report.

Der Hauptunterschied zwischen Funktionsbausteinen und ABAP-Unterprogrammen ist eine *eindeutig definierte Schnittstelle*. Durch dieses Vorgehen wird die Weitergabe von Eingabe- und Ausgabeparametern standardisiert. Die Schnittstelle beinhaltet auch die Unterstützung von *Ausnahmebehandlungen*. Mit der Definition von Ausnahmen können mögliche Fehler abgefangen werden.

Mehrere Funktionsbausteine können zu einer Funktionsgruppe zusammengefasst werden. Die Funktionsgruppe stellt das *Rahmenprogramm* für die enthaltenen Funktionsbausteine und deren Unterprogramme dar. Im Rahmenprogramm SAPLY_TT_SCHNITTSTELLE¹⁴¹ sind alle notwendigen Funktionen enthalten. In dieser Funktionsgruppe erfolgen die Definitionen, die mit der gesamten Schnittstelle in Verbindung stehen. Das heißt, dass bestimmte Definitionen im Quelltext stehen, die erst für den späteren Upload benötigt werden. Aus diesem Grund werden in Abbildung 10.28 nur die notwendigen

Tutorial].

¹⁴¹Das ist die Bezeichnung, unter der das Rahmenprogramm intern gespeichert wird. Mit dieser Bezeichnung ist es nur über den ABAP-Editor anzeigbar.

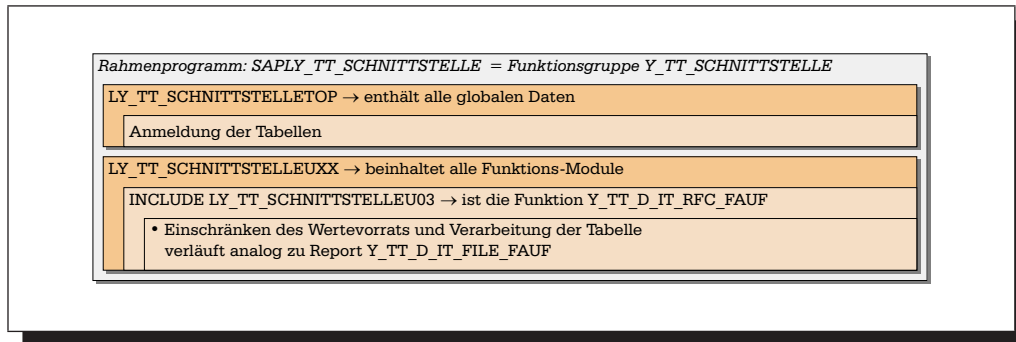


Abbildung 10.28: Struktur des Programms Y_TT_D_IT_RFC_FAUF

Anweisungen aufgeführt.

Alle erforderlichen Parameter für die Außensicht der Funktion werden im *Function Builder* über spezielle Eingabemasken definiert. Dabei können Import- und Exportparameter, Tabellen und Ausnahmen festgelegt und dokumentiert werden. Die Schnittstelle wird durch das R/3-System generiert und steht als Kommentar am Anfang der Funktion. Nur intern genutzte Daten und Tabellen können direkt am Anfang der Funktion deklariert oder in den *globalen Daten* festgelegt werden. Durch diese Definition entfällt ebenfalls die Programmierung der Übertragung, da diese über die Schnittstellendefinition erfolgt. Die Programmierung der Selektion und Verarbeitung kann bei Funktionen auf die konkreten Inhalte begrenzt werden.

Nach der Programmierung der Funktion wird die *RFC-Schnittstelle* generiert. Nach erfolgreicher Compilierung auf dem Client erfolgt durch den Start des Programms der Verbindungsaufbau vom Client zum R/3-System. Tabellen fungieren sowohl in Import-, als auch in Exportrichtung als Datencontainer. Nach Inputwerteprüfung erfolgt der Call an die Funktion im R/3 und anschließend stehen die Ergebnisse zur Anzeige zur Verfügung. Es ist zu erkennen, dass bei den Tabellen alle Strukturinformationen mit übertragen werden, weshalb auf ihre zusätzliche Bereitstellung verzichtet wird.

Vorteil der Funktion im Vergleich zum Programm ist die Möglichkeit, den Download der Daten durch das externe Programm zu veranlassen. Weiterhin entfällt die Ablage in Dateien. Der einzige Nachteil, der aber systembedingt auftritt, ist die Übertragung aller Daten im R/3-internen Format, d. h. es werden keinerlei Umformatierungen durchgeführt oder führende Nullen gelöscht. Das erschwert anfänglich das Verständnis für die Datenstrukturen, dürfte aber bei späteren Projekten auch Vorteile bringen, da der Programmierer am externen System ohne Umwege die Darstellung der Daten im R/3 nach-

vollziehen kann.

10.3.1.2.2 Upload über BI und RFC

Nachdem alle Daten durch das Optimierungssystem bearbeitet oder Rückmeldungen vorgenommen wurden, müssen diese Änderungen ins R/3–System übertragen werden, um eine konsistente Datenhaltung mit global gültigen Daten zu gewährleisten. Es muss gewährleistet werden, dass die Änderungen konsistent verbucht und Berechtigungen überprüft werden. Der Upload gliedert sich in zwei Schwerpunkte. Das ist zum einen das *Laden* der Daten auf dem Client, was mit dem Funktionsbaustein WS_UPLOAD erfolgt. Zum anderen erfolgt die *Verarbeitung* der Daten über CALL_TRANSACTION. Bei der Übertragung der veränderten Daten über RFC ist das externe System für den Beginn des Uploads verantwortlich. Es wurden die in Abbildung 10.29 aufgeführten drei Funktionsbausteine erstellt.

<i>Datenelement</i>	<i>Inhalt</i>	<i>Verarbeitung</i>
Status auf Vorgangsebene	Y TT U CT RFC STATUS	Call Transaction
Termine im FAUF-Kopf	Y TT U CT RFC TERMINE_KOPF	Direkte Verbuchung
Termine auf Vorgangsebene	Y TT U CT RFC TERMINE_VORGANG	Direkte Verbuchung

Abbildung 10.29: Übersicht der Upload-Funktionen beim RFC

Die erstellten Funktionen sind derselben Funktionsgruppe zugeordnet, der auch die Funktionsbausteine des Downloads über RFC angehören: der Funktionsgruppe Y_TT_SCHNITTSTELLE. Deren Aufbau soll im Folgenden kurz vertieft werden. Die Abbildung 10.30 zeigt die Struktur des Rahmenprogramms SAPLY_TT_SCHNITTSTELLE, das der Funktionsgruppe Y_TT_SCHNITTSTELLE entspricht.

Das Rahmenprogramm ist das gleiche wie beim Download über RFC. In der Darstellung beim Download wurde aber nur das angezeigt, was für den Funktionsaufruf notwendig war. Wie in Abbildung 10.30 zu erkennen ist, sind die Funktionen für den Upload umfangreicher strukturiert. Die Funktion Y_TT_U_CT_RFC_STATUS hat dabei die in Abbildung 10.31 dargestellte Struktur.

Alle anderen Strukturteile, die bei der Übertragung via File I/O notwendig wären, entfallen aufgrund der Übergabe der Parameter in der Schnittstellendefinition. Der gleiche Effekt tritt auch bei den beiden Funktionsbausteinen auf, mit denen die Umterminierung durchgeführt wird. Einziger Unterschied ist neben der Art der Verarbeitung das *Sperren* und *Entsperren* des bearbeiteten Datenobjekts. Die Struktur der Funktionen zur Umterminierung ist in Abbildung 10.31 enthalten.

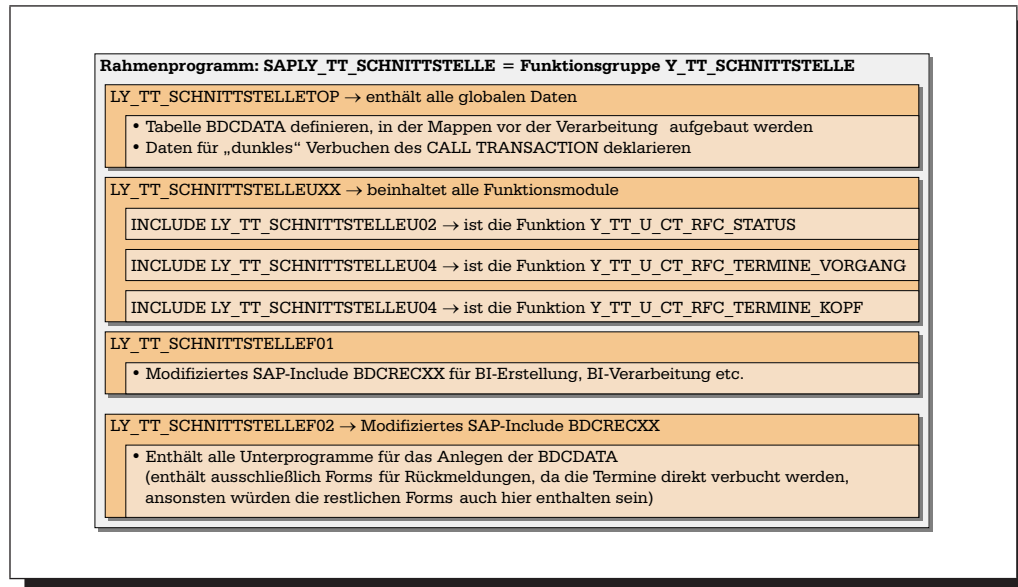


Abbildung 10.30: Struktur des Programms SAPLY_TT_SCHNITTSTELLE

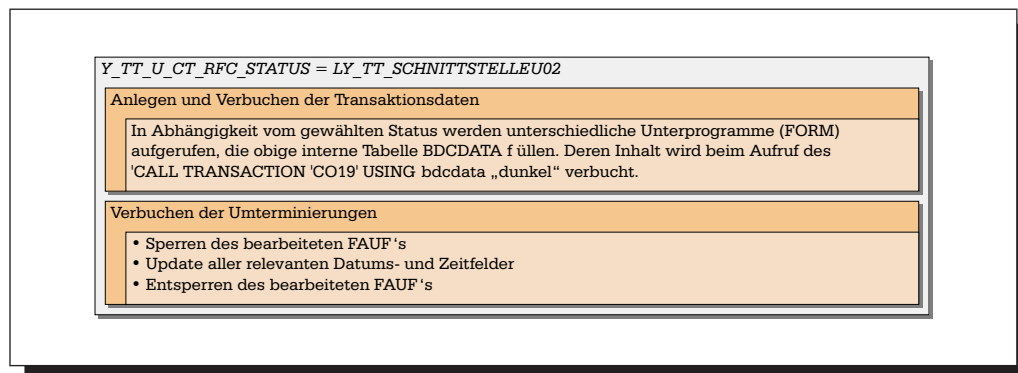


Abbildung 10.31: Struktur der Upload-Funktion beim RFC

Die Vor- und Nachteile des CALL_TRANSACTION und der direkten Verbuchung entsprechen der Wertung der Reports für den Upload. Zusätzliche Vorteile resultieren aus der Art der Übertragung. So kann die Verbuchung vom externen System kontrolliert werden, und die Daten können ohne Umweg über Dateien dem R/3-System übergeben werden. Weiterhin ist die Programmierung der Funktionsbausteine sehr übersichtlich, was zu einer großen Flexibilität bei etwaigen Erweiterungen führt. Dem steht ein erhöhter Aufwand beim Aufbereiten der Daten gegenüber. Da die Daten über die Schnitt-

stelle direkt und ohne Konvertierung ins R/3 gelangen, muss die Übergabe im R/3–eigenen Format erfolgen.

10.3.1.3 Testergebnisse

Notwendige Voraussetzung für den Test des RFC in Zusammenarbeit mit dem APS ist ein relevantes Testszenario. Die Testdaten wurden entsprechend dem *Fisher–Thompson 10 × 10 Benchmark–Test–Daten* angelegt¹⁴². Bei der Anzeige oder Bearbeitung der modifizierten FAUF fielen keinerlei Besonderheiten auf. Problematisch war die Betrachtung des Umfeldes innerhalb der Planung. So wurden durch den Upload keine Änderungen in der *Planungsvormerkdatei*¹⁴³ geschrieben, die aber bei jeder Änderung der planungsrelevanten Daten erfolgen muss. Ausdruck dieser Inkonsistenz ist weiterhin, dass in der *Aktuellen Bedarfs-/Bestandsliste* die Termine nicht verändert werden. Diese Probleme sind auf eine einfache Weise lösbar, ohne dass weitreichende Änderung in den eigenen Reports und Funktionen zu programmieren sind. Dazu muss der FAUF über CT geöffnet und gleich wieder gespeichert werden¹⁴⁴. Wichtig ist dabei, dass das Terminierungskennzeichen auf 3 gesetzt wird, da ansonsten vom System eine Umterminierung erfolgen würde.

Praktisch konnte die Integration in Richtung fertigungsrelevante Daten eines ERP/SCM–Systems am Beispiel von *SAP R/3* nachgewiesen werden. Die Laufzeit der Programme zur Datenübernahme entsprach den Anforderungen des EVCM–Systems.

10.3.2 Axapta

Der interne Aufbau von Axapta kann aufgrund des unvollständigen Einblicks in den Quellcode nicht genau analysiert werden. Es ist jedoch möglich, Angaben zur Grobstruktur zu machen. In der Datenebene befindet sich ein relationales Datenbanksystem wie der *Microsoft SQL Server* oder *Oracle*. Dieses beinhaltet alle Daten einer *Axapta*-Installation. Darauf aufsetzend enthält

¹⁴²Siehe [Mut63, S. 235 ff.].

¹⁴³In der Planungsvormerkdatei werden zu allen dispositionsrelevanten Materialien Einträge verwaltet, die kennzeichnen, ob die Planungsobjekte dieses Materials beim nächsten MRP–Lauf berücksichtigt werden sollen. Dabei gibt es Einträge für eine Veränderungsplanung aller zukünftiger Ereignisse und die Veränderungsplanung im Planungshorizont.

¹⁴⁴Es soll an dieser Stelle abschließend darauf hingewiesen werden, dass dieser Teil der Schnittstellenimplementierung durch die zukünftige Entwicklungen im Bereich der BAPI obsolet wird.

der *Axapta*-Kernel einen Data Access Layer, der Datenbankoperationen der Anwendung in Zugriffe auf das DBMS umsetzt.

Der Kernel stellt eine komplette Ausführungsumgebung für Anwendungsobjekte wie Jobs, Klasseninstanzen, Tabellen mit Triggern und Methoden, Queries, Forms und Reports zur Verfügung. Diese Anwendungsobjekte werden in einer integrierten Entwicklungsumgebung erstellt. Die Programmiersprache ist eine an Java und C++ angelehnte 4GL-Sprache namens X++, die in einen Zwischencode übersetzt wird, der dann vom Application Object Execution Layer des Kerns interpretiert wird. Diese Verfahrensweise ist vergleichbar mit der Virtual Machine von Java und Java-Programmen in Form von Bytecode, der von dieser interpretiert wird.

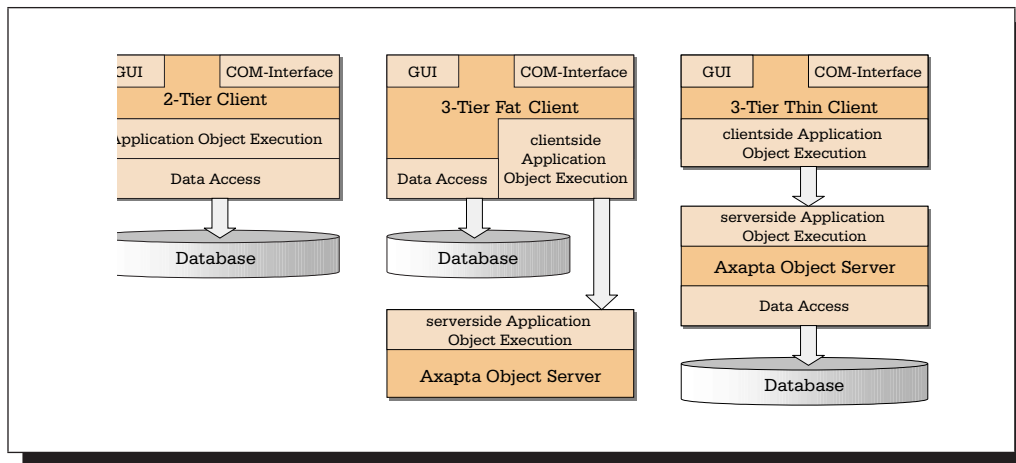


Abbildung 10.32: Systemarchitektur von *Axapta*

Axapta kann in den Modi 2-Tier und 3-Tier betrieben werden. Die Architekturen sind in Abbildung 10.32 schematisch dargestellt. Im 2-Tier-Betriebsmodus befinden sich Data Access und Application Object Execution zusammen mit der Benutzerschnittstelle in einem Client. Das DBMS zur Verwaltung der *Axapta*-Datenbank ist auf einem zentralen Server installiert. Auf jedem Nutzerarbeitsplatz ist zumindest die Installation des Clients nötig, die X++-Anwendung kann auf einem zentralen Fileserver abgelegt werden, wodurch Änderungen an der X++-Anwendung auch sofort für jeden Arbeitsplatz verfügbar sind. Durch die hohen Ressourcenanforderungen des 2-Tier-Clients müssen alle Arbeitsstationen entsprechend großzügig ausgestattet sein sowie über den Zugang eines Datenbanksystems verfügen.

Die 3-Tier-Variante basiert auf einem zentralen *Axapta Object Server* (AOS), welcher die X++-Anwendung verwaltet. Hier ist eine Unterscheidung in ser-

verseitige und clientseitige Ausführung für nichtvisuelle Anwendungsobjekte möglich. Der Application Object Execution Layer ist also als verteiltes System ausgeführt. Der Client enthält die Benutzerschnittstelle und einen Application Object Execution Layer für die Ausführung visueller Komponenten sowie für clientseitig auszuführende Teile der nichtvisuellen Komponenten. Je nachdem, ob der Datenzugriff durch den Client oder den AOS erfolgt, wird von einem 3-Tier Fat Client oder 3-Tier Thin Client gesprochen.

Neben der grafischen Benutzerschnittstelle kann der Client auch über ein COM-Interface, den so genannten COM-Connector, durch andere Programme oder Scripts angesprochen werden. Der COM-Connector bietet nur Zugriff auf alle nichtvisuellen Anwendungsobjekte (Jobs, Klasseninstanzen und Tabellen). Da alle Anwendungsobjekte im X++-Quellcode vorliegen, können Anpassung und Erweiterung in der integrierten Entwicklungsumgebung durchgeführt werden. Damit ist eine hohe Flexibilität gegeben, mit der sehr viele Anforderungen seitens des Nutzers, besonders in Bezug auf die Interoperabilität mit anderen Programmen, erfüllbar sind. Nachteilig wirkt sich die mangelhafte Dokumentation der Standard-Anwendungsobjekte aufgrund der hohen Komplexität des Systems aus, wodurch mit einem erhöhten Entwicklungsaufwand zu rechnen ist¹⁴⁵.

Aus Sicht des ERP-Systems *Axapta* erfolgt die Integration ausschließlich auf Datenebene. Die Schnittstellen sind in Form eines relationalen Datenmodells im Data Dictionary des ERP-Systems definiert. Hinsichtlich der ERP-Integration können die einzelnen Relationen in drei Klassen eingeteilt werden:

Private Relationen: Relationen, die ausschließlich ERP-eigene Daten enthalten, die nicht aus externen Datenquellen stammen, heißen *private*. Sie sind in der Systemdatenbank des ERP-Systems gespeichert.

Shared, single master Relationen: Relationen der Klasse *shared* enthalten Daten, die aus einem externen System stammen oder in einem externen System verwendet werden. Die Datenhoheit und damit das ausschließliche Recht für schreibende Zugriffe liegt entweder vollständig bei einem externen EVCN-System oder beim ERP-System (*single master*). Bei einer Verteilung der Daten auf mehrere Rechnerknoten durch Kopieren muss nur unidirektional synchronisiert werden.

Shared, multi master Relation: Der Unterschied zur vorher genannten Klasse besteht in der vertikalen Partitionierung einer Relation hinsichtlich der

¹⁴⁵An dieser Stelle sollte die sehr detaillierte Rechteverwaltung innerhalb von *Axapta* erwähnt werden. Diese bezieht sich auf sämtliche Anwendungsobjekte, der Datenzugriff kann bis auf die Ebene der Tabellenfelder mit Zugriffsrechten versehen werden.

Masterrolle für einzelne Attribute. Für einen Teil der Attribute besitzt das ERP-System die Datenhoheit, für den anderen Teil das externe EVCM-System. Bei verteilt vorliegenden Daten ist eine bidirektionale Synchronisation notwendig.

Die Zugehörigkeit der im Data Dictionary definierten Relationen zu den einzelnen Klassen variiert in Abhängigkeit von der konkreten Konfiguration, die für den aktuellen Nutzer gilt. Für jede Relation können so genannte Entitätenvarianten für spezielle Ausprägungen einer Spezifikation definiert werden, welche die ursprüngliche Relationendefinition durch Überschreiben verschiedener Konfigurationsfelder abändern. Für die Relation selbst ist die DAU anzugeben, über die der Zugriff erfolgen soll. Dies legt bereits fest, ob die Relation *private* bzw. *shared* ist. Auf Attributebene können durch Setzen verschiedener Flags die dem ERP-System erlaubten Operationen (*select*, *insert*, *update*, *delete*) bestimmt werden, wodurch die Masterrolle für jedes Attribut separat festgelegt wird. Die Relationen Kundenauftrag, Produktionsauftrag, Bestände, Kapazitäten usw. gehören alle im Rahmen der Integration eines ERP-Systems zur Klasse *shared*, da sie vom EVCM zur unternehmensübergreifenden Abstimmung der Wertschöpfungskette manipuliert werden müssen. Auf programmiertechnische Details soll an dieser Stelle bewusst verzichtet werden.

Die Oberfläche ist als X++-Anwendung realisiert worden, die client-seitig in der Präsentationsschicht durch die Laufzeitumgebung die Baumstruktur erzeugt und server-seitig im Application Object Layer die in Kapitel 7 beschriebenen Funktionen zur Angebotsgenerierung beinhaltet.

Abbildung 10.33 zeigt die Oberfläche des Inquiry-Managers, welcher den Ausroll- und Einrollprozess visualisiert¹⁴⁶. Dieser greift auf die oben beschriebenen Daten zurück und initiiert die Prozesse, die in Kapitel 7 ausführlich beschrieben wurden. Ergebnis sind spezifische Antworten auf die Anfragen vorgelagerter KPZ. Die verschiedenen Qualitäten der Antworten der Follow-Tier-Supplier werden durch unterschiedliche Symbole repräsentiert. Die einzelnen Anfrageergebnisse können im EVCM-Monitor als Baumstruktur aufbereitet eingesehen werden.

In der Kompetenzzelle trifft eine Anfrage für ein Produkt mit der internen Nummer F6 779 30 ein. Für das ATP (Lager), CTP (Produktion) und externe Beschaffung werden parallel Unteranfragen generiert. Der ATP-Lauf ermittelt, dass im *Lager* zum erforderlichen Zeitpunkt die entsprechende Menge

¹⁴⁶Die Programmierarbeiten am *Axapta* wurden von Mitarbeitern der *CBS GmbH* realisiert.

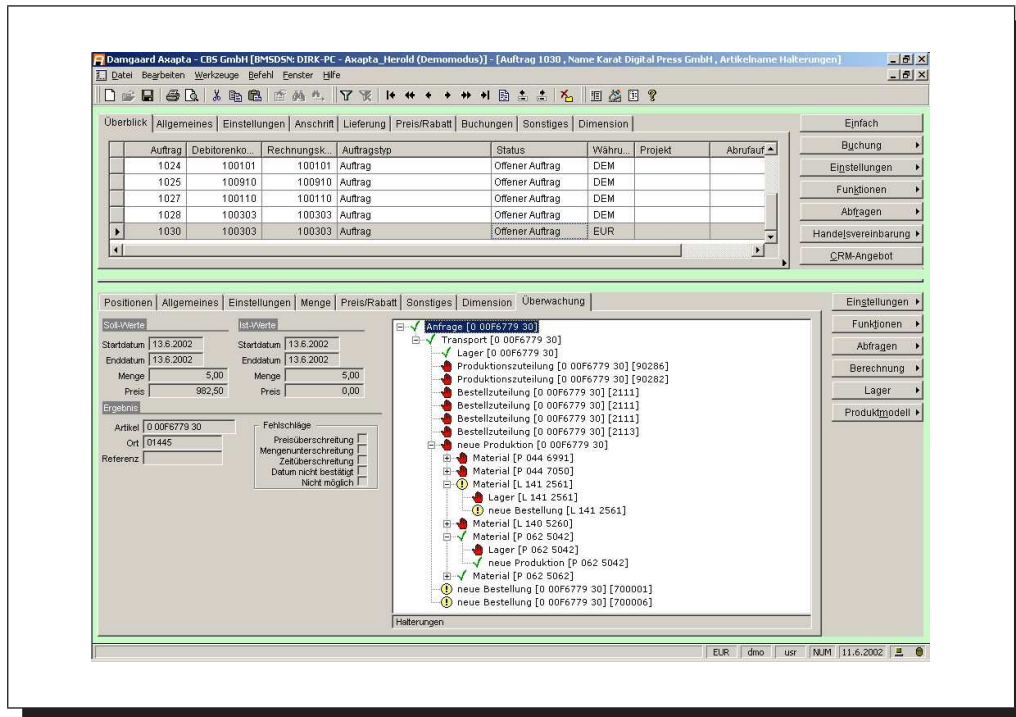


Abbildung 10.33: EVCM–Monitor der Antwortgenerierung

des Produktes zur Verfügung steht. Das Ergebnis wird durch das Symbol ✓ repräsentiert. Die beiden nächsten Zeilen geben Aufschluss darüber, dass das CTP zunächst feststellt, dass Fertigungsaufträge zum Produkt freigegeben sind (*Produktionszuteilung*). Das Symbol 🖱️ zeigt an, dass beide für andere Anfragen reserviert sind. Weiterhin wurden externe Beschaffungsaufträge zum Produkt gefunden (*Bestellzuteilung*), die ebenfalls andersweitig benötigt werden. Die folgende Zeile (*neue Produktion*) versucht in einem weiteren CTP–Lauf einen neuen Produktionsauftrag zu simulieren. Zunächst erfolgt eine Stücklistenauflösung. Für die resultierenden Bedarfe werden pro Material rekursiv dieselben Anfragen ausgeführt. Das Symbol ⚠️ weist darauf hin, dass die Anfrage partiell erfüllbar ist. Lediglich zu Wunschtermin oder -menge gibt es Abweichungen. Durch Anklicken der entsprechenden Zeile können genauere Informationen (u. a. Lieferwahrscheinlichkeit) abgerufen werden. Der letzte Eintrag im Antwort-Baum zeigt die Antworten des eigentlichen Ausrollprozesses des EVCM, die die Schnittstelle zu den nachgelagerten Kompetenzzellen (im Beispiel zweimal *neue Bestellung*) repräsentieren. Weiterhin wird in der zweiten Zeile berücksichtigt, dass das fertige Produkt noch zum Kunden transportiert werden muss. Daraus resultierende Kosten

und Zeiten fließen in die Berechnung ein.

Aus den erhaltenen Antworten wird abschließend eine aggregierte Antwort generiert, die an den Anfrager weitergeleitet wird. Im Beispiel resultiert aus der 100%-igen Verfügbarkeit der nachgefragten Menge im Lager eine sichere Antwort an den Anfrager. Termine und Mengen werden gespeichert, um bei einer Auftragsannahme eine Auftragsverfolgung über den gesamten Prozess der Wertschöpfung hinweg gewährleisten zu können.

10.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel gab einen Überblick zur informationstechnischen Gestaltung der Funktionalitäten des EVCM-Konzeptes. Im Mittelpunkt der Betrachtung standen vor allem konzeptuelle Überlegungen zur Verteilung dieser Funktionen innerhalb eines IT-Netzwerkes für das KPZN. Hierfür wurde vor allem das innovative ASP-Konzept vorgestellt und diskutiert. Im Abschnitt 10.2 erfolgte die Vorstellung der zentralen Technologien, die für die Zukunft zur Umsetzung von ASP geeignet erscheinen.

Aufgrund der erreichten Einsichten und Ergebnisse kann aus heutiger Sicht behauptet werden, dass sich das ASP als zentrales Konzept im Rahmen des Betriebes von Unternehmensnetzwerken etablieren wird. Vorteile, die sich aus der Verwendung einer solchen IT-Architektur ergeben, lassen erkennen, dass eine Win-Win-Situation eintritt, also alle Beteiligten ökonomische Vorteile realisieren. Die spezielle Verwendung zur Optimierung der Wertschöpfungskette ist jedoch auch mit Problemen verbunden. Entscheidet sich ein dem Unternehmensnetzwerk angeschlossenes Unternehmen für den Betrieb einer eigenen Lösung oder die Nutzung fremder Angebote, wird ein erheblicher Integrationsaufwand entstehen, um die Mitarbeit zu ermöglichen. Am Beispiel von *SAP R/3* und *Navision Axapta* wurde sowohl in Richtung Produktionsdaten als auch für Oberflächenintegration angedeutet, welche Wege effektiv beschritten werden können.

Desweiteren müssen in der Realisierungs- und Testphase auftretende Detailprobleme erkannt und beseitigt werden. Eine Untersuchung der Robustheit der verwendeten Teile und des gesamten Modells ist notwendig, um ein abschließendes Fazit zu ziehen. Die im Rahmen der Forschungsarbeiten des SFB 457 durchgeführten Untersuchungen und Tests bzgl. einzelner Teilaspekte berechtigen zur Hoffnung auf einen effektiven und robusten Einsatz der vorgeschlagenen Methodik. Allerdings ist es unrealistisch, unter akademischen Bedingungen eine derart umfangreiche Software zu erstellen, die praktischen Erfordernissen genügen würde. Weiterhin wurde bewusst auf die Beschreibung der instrumentalisierenden Ebene der programmtechnischen Umsetzung verzichtet. Von der Darstellung der zahlreich entstandenen UML-Diagramme und Pseudocodes zur Modellierung der vorgestellten Methoden wird ebenfalls abgesehen. Diese würden mindestens eine Arbeit gleichen Umfangs hervorbringen.

„The farther back you can look, the farther forward you are likely to see.“

Sir Winston S. Churchill

Kapitel 11

Fazit

Die vorliegende Arbeit versucht, den Bogen zu spannen von sozial- und betriebswirtschaftlichen über ingenieurtechnische bis zu informatorischen Wissenschaftsdisziplinen, die zur vollständigen Bewältigung der konzeptuellen Denkleistung für ein Managementkonzept hierarchieloser Produktionsnetzwerke erforderlich sind. Der Umfang der Arbeit ist ein Indiz für die Komplexität dieses Problems. Aus dieser Sicht ist keines der Kapitel entbehrlich. Die Kapitel dokumentieren ihrerseits nur die wichtigsten bearbeiteten Aufgaben des Autors innerhalb des Sonderforschungsbereiches *Regionale Hierarchielose Produktionsnetze* als auch an der Professur für Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre unter Leitung von Prof. Dr. Käschel, an welchem die Forschung zu Netzwerken und APS-Systemen schon seit einigen Jahren fester Bestandteil der täglichen Arbeit ist. Der tatsächliche Arbeitsumfang würde zahlreiche weitere Seiten füllen.

Diese Arbeit bietet eine inhaltliche Struktur zu den über 70 Publikationen der letzten drei Jahre zu Themen des Extended Value Chain Managements, die der Autor allein oder als Mitautor verfasst hat¹. Diese Beiträge sind zu einem Großteil „doppelt blind“ begutachtet und sowohl einem betriebswirtschaftlichen als auch einem informatischen wissenschaftlichen Fachpublikum zugänglich gemacht worden. Über die Hälfte der Beiträge wurde im Ausland publiziert und referiert, wobei der Anteil der internationalen Tagungsbeiträge mit 34 Publikationen sich dadurch begründet, dass zu den entsprechenden Fachtagungen die Diskussion mit den „Vordenkern“ der jeweiligen Wissensgebiete gesucht wurde. Im Rückblick haben diese Diskussionen das Konzept des EVCM auch stark positiv beeinflusst. Vor allem die Konzepte zur Soft–fact–Integration (Kapitel 8) über die Polyedrale Analyse einerseits

¹An jedem Kapitelanfang wurden die wichtigsten Beiträge referenziert.

und die Generierung einer Tupelmengende von Antworten auf eine Lieferanfrage und der Quantifizierung einer Lieferwahrscheinlichkeit als Transparenzfaktor (Kapitel 7) haben neben dem EVCM-Konzept als Ganzem international Anerkennung gefunden und sind als Weiterentwicklung der entsprechenden Wissenschaftsgebiete besonders zu würdigen.

Die vorliegende Schrift selbst soll (und wird vermutlich auch) nicht den Eindruck vermitteln, dass die Arbeiten zu einem Managementkonzept für virtuelle Produktionsnetze ohne fokales Unternehmen als abgeschlossen gelten können. Vielmehr wurde die theoretische Basis in Form eines Grundkonzeptes geliefert, wie derartige Netze generiert und betrieben werden können. Das Phasenmodell des KPZN bildet hierzu den Rahmen. Die einzelnen funktionalen Bestandteile der Phasen müssen in der nahen Zukunft weiter ausgebaut² werden. Das eine derartig breit angelegte Forschungsarbeit auch unterschiedliche Bearbeitungsstände in den einzelnen Kapiteln aufweist, ist aus Sicht des Autors unumgänglich.

Mit dem Schreiben des letzten Abschnitts verbindet der Autor die Hoffnung, dass das Konzept in einigen Jahren in dieser oder einer ähnlichen Form Eingang in den methodischen Kern der ERP/SCM-Systeme finden wird und weitere Potenziale der Wertschöpfung erschliessen hilft.

²Möglicherweise kann die wissenschaftlich vertiefende Arbeit im finanziellen Rahmen des zweiten Antragszeitraumes des SFB 457 erfolgen.

Literaturverzeichnis

- [Ada75] D. Adam. *Optimale Losgröße*. in: E. Grochla, W. Wittmann (Hrsg.) Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1975.
- [Ada88] J. Adams, E. Balas, D. Zawack. *The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling*. Management Science Vol. 34, Nr. 3, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1988.
- [Ada90] D. Adam. *Produktionsdurchführungsplanung*. in: H. Jacob (Hrsg.) Industriebetriebslehre, Handbuch für Studium und Praxis. Gabler Verlag, Wiesbaden, 4. Auflage, 1990.
- [Ada92] D. Adam. *Schriften zur Unternehmensführung, Band 38/39 (Doppelband)*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992.
- [Ade01] J. Aderhold, M. Meyer, F. Ziegenhorn. *Wie funktionieren Netzwerke*. in: T. Teich (Hrsg.) Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Ahr96] V. Ahrens, H.-P. Wiendahl. *Planning and Control in Self-organized Production Systems*. in: F. Schweitzer (Hrsg.) Self-Organization of Complex Structures - From Individual to collective Dynamics. vol. II: Biological and Ecological Dynamics, Socio-Economic Processes, Urban Structure Formation and Traffic Dynamics, Gordon and Breach Publ., London, 1996.
- [Ake70] G. A. Akerlof. *The Market for Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism*. in: Quarterly Journal of Economics, 83, pp. 488–500, 1970.
- [All00] S. Allamaraju, K. Avedal, R. Browett. *Professional Java Server Programming J2EE Edition*. Wrox Press, Birmingham, 2000.
- [Alt96] C. Altstötter-Gleich. *Theoriegeleitete Itemkonstruktion und -auswahl*. Verlag Empirische Pädagogik, Landau, 1996.

- [And00] R. Anderson. *XML professionell*. Wrox Press, MITP Verlag, Bonn, 2000.
- [Ant65] R. N. Anthony. *Planning and control systems: A framework for analysis*. Cambridge, Massachusetts, 1965.
- [App98] W. Appel, R. Behr. *Towards the theory of virtual organizations*. VO-Newsletter Vol. 2, No. 2, URL: <http://www.virtual-organization.net>, 24.07.2000, 1998.
- [Arn95] O. Arnold, W. Faisst, M. Härtling, P. Sieber. *Virtuelle Unternehmen als Unternehmenstyp der Zukunft?* in: Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung, Heft 185, S. 8–23, 1995.
- [Ash70] W. R. Ashby. *An Introduction to Cybernetics*. Chapman & Hall, London, 1970.
- [Atk77] R. Atkin, J. Casti. *Polyhedral Dynamics and Geometry of Systems*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), RR-77-006, Laxenburg, Österreich, 1977.
- [Aug96] H. Augustin. *PPS-Systeme der 4. Generation*. Carl Hanser Verlag, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung 91 (1996) 7-8, S. 352, 1996.
- [AWF96] AWF. *Projektinitiative: Vitale Fabrik*. Eschborn, 1996.
- [Bäc92] T. Bäck. *Evolutionary Algorithms: Comparison of Approaches*. Arbeitspapier, Universität Dortmund, Fachbereich Informatik, Dortmund, 1992.
- [Bac01] U. Backes-Gellner, B. Wolff. *Personalmanagement*. in: P.-J. Jost (Hrsg.) Die Prinzipal-Agenten-Theorie in der Betriebswirtschaftslehre, Stuttgart, Schäffer-Poeschel Verlag, 2001.
- [Bai95] C. Baitsch. *Unternehmenskulturen und Transformationsprozess - ein Interpretationsversuch*. in: R. Lang (Hrsg.) Wandel von Unternehmenskulturen in Ostdeutschland und Osteuropa, S. 257–269. Hampp Verlag, München, Mering, 1995.
- [Bak74] K. R. Baker. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. Wiley, New York, 1974.
- [Bak93a] W. Bakos, B. Brynjolfsson. *Information Technology, Incentives and the optimal number of suppliers*. in: Journal of Management and Information Systems, Heft 2, S. 37–53, 1993.
- [Bak93b] J. Y. Bakos, E. Brynjolfsson. *From Vendors to Partners: Information Technology, Incomplete Contracts in Buyer-Supplier Relationships*. in: Journal of Organizational Computing, 3(1993)3, 1993.

- [Bal69] E. Balas. *Maschine Sequencing via Disjunctive Graphs: An Implicit Enumeration Algorithm*. in: *Operations Research* 17 (6) 1969, pp. 941–957, 1969.
- [Bal97] R. Balling. *Kooperationen, Strategische Netzwerke, Joint Ventures und andere Organisationsformen zwischenbetrieblicher Zusammenarbeit in Theorie und Praxis*. Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main, 1997.
- [Bam96] I. Bamberger, T. Wrona. *Der Ressourcenansatz und seine Bedeutung für die Strategische Unternehmensführung*. in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Heft 2, S. 130–153, 1996.
- [Bar85] J. F. Bard. *User's Manual for AHP*. University of Texas, Austin, Department of Mechanical Engineering, 1985.
- [Bau96] J. Baus. *Controlling*. Cornelsen Girardet Verlag, Berlin, 1996.
- [Bau98] S. Bauer, E. Stickel. *Auswirkungen der Informationstechnik auf die Entstehung kooperativer Netzwerk-Organisationen*. in: *Wirtschaftsinformatik*, Heft 5, S. 434–442, 1998.
- [Bau00] A. Baumann. *Kompetenzzellenbasierte regionale Produktionsnetze*. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Heft 26, TU Chemnitz, 2000.
- [Bau01] H. Baum, U. Dammann. *Konzeption einer Zwei-Ebenen-Kooperation*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Bec91] J. Becker. *CIM-Integrationsmodell. Die EDV-gestützte Verbindung betrieblicher Prozesse*. Springer Verlag, Berlin, 1991.
- [Bec93] J. Becker, M. Rosemann. *Logistik und CIM. Die effiziente Material- und Informationsflußgestaltung im Industrieunternehmen*. Springer Verlag, Berlin, 1993.
- [Bec97] C. Bechtel, J. Jayaram. *Supply Chain Management: A Strategic Perspective*. in: *International Journal of Logistics Management*, No. 1, pp. 15–34, 1997.
- [Bec98] T. C. Beck. *Kosteneffiziente Netzwerkkooperation*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1998.
- [Bec99] H. Beckmann. *Supply Chain Management Systeme – Aufbau und Funktionalität*. in: R. Hossner (Hrsg.) *Logistik Jahrbuch 1999*, S. 166–171, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Düsseldorf, 1999.
- [Bee73] S. Beer. *Kybernetische Führungslehre - The Brain of the Firm*. Herder & Herder, New York, 1973.

- [Bee85] S. Beer. *Diagnosing the System for Organisation*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, New York, 1985.
- [Bee89] S. Beer. *The VSM: its provenance, development, methodology, and pathology*. in: R. Espejo et al. (Ed.) *The Viable System Model - Interpretations and Applications of Stafford Beer's VSM*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, New York, 1989.
- [Bee94] S. Beer. *The Heart of Enterprise*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, New York, 1994.
- [Beh95] W. Behme. *ZP Stichwort: Virtuelle Unternehmen*. in: *Zeitschrift für Planung*, Heft 6, S. 297-300, 1995.
- [Beh00] S. Behrens. *Produktionstheoretische Perspektiven der Virtuellen Unternehmung*. in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 2*, S. 157-176, 2000.
- [Bel96a] K. Bellmann, A. Hippe. *Kernthesen zur Konfiguration von Produktionsnetzwerken*. in: K. Bellmann et al. (Hrsg.) *Management von Unternehmensnetzwerken*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996.
- [Bel96b] K. Bellmann, U. Mildenerger. *Komplexität und Netzwerke*. in: K. Bellmann et al. (Hrsg.) *Management von Unternehmensnetzwerken: interorganisationale Konzepte und praktische Umsetzung*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996.
- [Bel99] K. Bellmann. *Produktion im Netzwerkverbund - Strategischer Faktor im globalen Wettbewerb*. in: K. Nagel, R. F. Erben u. F. T. Piller (Hrsg.) *Produktionswirtschaft 2000*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Ber92] J. Berthel. *Informationsbedarf*. in: E. Frese (Hrsg.) *Handwörterbuch der Organisation*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1992.
- [Ber93] K.-H. Berghäuser, O. Grimm, F. J. Jansen. *PDE-Kennzahlen im Regelkreis der Produktion*. in: *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung*, Heft 3/1993, S. 102-104, 1993.
- [Ber96] G. Bergmann. *Zukunftsfähige Unternehmensentwicklung: realistische Visionen einer anderen Betriebswirtschaftslehre*. Vahlen Verlag, München, 1996.
- [Ber97a] P. L. Berger, T. Luckmann. *Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie*. Fischer-Taschenbuch-Verlag, Frankfurt am Main, 1997.
- [Ber97b] Berliner Kreis. Wissenschaftsforum für Produktentwicklung e. V. *Neue Wege zur Produktentwicklung*. BMBF Rahmenkonzept Produktion 2000, Karlsruhe, 1997.

- [Ber97c] M. Bernien. *Anforderungen an eine qualitative und quantitative Darstellung der beruflichen Kompetenzentwicklung*. in: Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management Berlin (Hrsg.) Kompetenzentwicklung '97, Münster, New York, München, Berlin, 1997.
- [Ber00] M. G. Bernhard, W. Lewandowski, H. Mann. *Service-Level-Management in der IT - Wie man erfolgskritische Leistungen definiert und steuert*. Symposium, Düsseldorf, 2000.
- [BfW98] Bundesministerium für Wirtschaft. *Kleinere und mittlere Unternehmen. Früherkennung von Chancen und Risiken*. Arbeitsheft, 1998.
- [Büh99] R. Bühner. *Betriebswirtschaftliche Organisationslehre*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1999.
- [Bie93] C. Bierwirth, H. Kopfer, D. Mattfeld, T. Utecht. *Genetische Algorithmen und das Problem der Maschinenbelegung*. Universität Bremen, Lehrstuhl für Logistik, Bremen, 1993.
- [Bie94] C. Bierwirth. *A Generalized Permutation Approach to Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms*. Universität Bremen, Lehrstuhl für Logistik, Bremen, 1994.
- [Bie01] A. Bien. *Enterprise Java Frameworks*. Addison-Wesley, Bonn, München, Paris, 2001.
- [Bir01] P. V. Biron, A. Malhotra. *XML Schema Part 2: Datatypes*. W3C Recommendation May 2001, URL: <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>, 30.12.2001, 2001.
- [Bla87] J. Blazewicz. *Selected Topics in scheduling theory*. Annals of Discrete Mathematics 31, S. 1–60, 1987.
- [Bla92] M. Blaxill. *Hersteller brauchen vor allem robuste Produktionsverfahren*. Harvard Manager, Heft 1, S. 84–93, 1992.
- [Bla96] J. Blazewicz, K. Ecker, E. Pesch, G. Schmidt, J. Weglarz. *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1996.
- [Blo97] J. Bloech, G. B. Ihde (Hrsg.). *Vahlens großes Logistiklexikon*. Vahlen-Verlag, München, 1997.
- [Blo98] J. Bloech, R. Bogaschewski, U. Götze, F. Roland. *Einführung in die Produktion*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1998.
- [Bö93] G. Böhme. *Fuzzy-Logik: Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993.

- [Bö01] K. O. Böhm, A. Wurdack. *Application Service Providing - Eintrittskarte in die standardisierte digitale Ökonomie.* in: W. Köhler-Frost (Hrsg.) *Application Service Providing - Die neue Herausforderung für Unternehmen.* KS-Energy-Verlag, Berlin, 2001.
- [Boc87] S. F. Bocklisch. *Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren.* Verlag Technik, Berlin, 1987.
- [Bod00] C. Bode. *Grundlagen des ASP-Billing.* in: ASP-Magazin, 6/2000. H&T Verlagsgesellschaft, München, 2000.
- [Bod02] C. Bode. *Arbeitskreis 2: Billing.* URL: <http://www.asp-konsortium.de>, 24.06.2002, 2002.
- [Boe99] H. Boekhoff, H.-H. Erbe. *Organisationales Lernen: Kritischer Erfolgsfaktor für Virtuelle Unternehmen?* in: *Industrie Management*, Heft 6, S. 73–76, 1999.
- [Bog92] R. Bogaschewski. *Lean Production – Patentrezept für westliche Unternehmen?* in: *Zeitschrift für Planung*, Heft 4, 1992.
- [Bol89] F. Bolay, A. Waldrapp, A. White. *Fertigungsplanungs- und Steuerungssysteme.* Elektrisches Nachrichtenwesen, Heft 2, S. 107-114, 1989.
- [Bon84] E. Bonomi, J. L. Lutton. *The N-city Travelling Salesman Problem: Statistical Mechanics and the Metropolis Algorithm.* SIAM Revue, No. 26, pp. 551–568, 1984.
- [Bon88] A. Bond, L. Gasser. *An Analysis of Problems and Research in DAI.* Readings in Distributed Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, S. 3-35, 1988.
- [Bon99] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz. *Swarm Intelligence - From Natural to Artificial Systems.* Oxford University Press, New York, New Jersey, 1999.
- [Boo92] F. Boos, A. Exner, B. Heitger. *Soziale Netzwerke sind anders.* in: *Zeitschrift für Organisationsentwicklung*, 11 (1992) 1, Basel, 1992.
- [Boo98] R. P. Bood. *Charting Organizational Learning: A comparison of multiple mapping techniques.* in: C. Eden, J. C. Spender (Ed.) *Managerial and Organizational Cognition. Theory, Methods and Research*, S. 210–230. Sage, London, 1998.
- [Bot93] H. H. Bothe. *Fuzzy - Logic.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993.
- [Bot96] Volkmar Botta. *Lean Management - Überlegungen zur Effizienten Gestaltung von Produktionsnetzwerken.* in: H. Wildemann (Hrsg.) *Produktions- und Zuliefernetze*, TCW, München, 1996.

- [Bow59] E. H. Bowman. *The Schedule-Sequencing Problem*. in: Operations Research (7), 1959.
- [Brü95] W. Brüggemann. *Ausgewählte Probleme der Produktionsplanung*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1995.
- [Brü96] D. Brütsch, F. Frigo-Mosca. *Virtuelle Organisation in der Praxis*. in: IO Management, Heft 9, S. 33-35, 1996.
- [Bra99] H. Brauer. *Enterprise Resource Planning (ERP) - Ein Anbieter- und Produktvergleich - neuere Trends*. PPS-Kongreß Proceedings, 21. PPS-Kongreß, Berlin, 4.-6. November 1999, S. 219-226, Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung e. V., Berlin, 1999.
- [Bra00] T. Bray, J. Paoli. *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition)*. W3C Recommendation October 2000, URL: <http://www.w3.org/TR/2000/REC-xml-20001006>, 13.01.2001, 2000.
- [Bre01a] F. von Bredow. *Der Boom blieb aus*. in: ASP-Magazin, 6/2001. H&T Verlagsgesellschaft, München, 2001.
- [Bre01b] L. Brehm, R. Ferencak. *Potenziale von SCM-Software für das Management unternehmensübergreifender Prozesse*. in: Tagungsband 3. Paderborner Frühjahrstagung, April 2001, Frauenhofer ALB, Paderborn, 2001.
- [Bre01c] A. Brehmer. *Konzepte zur Online-Integration eines ERP-Systems mit einer web-basierten SCM-Lösung*. Diplomarbeit, BA Glauchau, 2001.
- [Bre02a] W. R. Bretzke. *Available to Promise: Lieferzeitzusagen müssen belastbar werden*. URL: <http://www.mylogistics.de/de/news/themen/key/news28012/jsp>, 24.06.2002, 2002.
- [Bre02b] W. R. Bretzke. *Supply Chain Event Management: Mehr als nur ein neues Schlagwort in der Logistik*. URL: <http://www.mylogistics.de/de/news/themen/key/news25886/jsp>, 24.06.2002, 2002.
- [Bro87] I. N. Bronstein, K. A. Semendjajew. *Taschenbuch der Mathematik*. Teubner Verlag, Leipzig, 23. Auflage, 1987.
- [Bro93] C. Bronder. *Kooperationsmanagement: Unternehmensdynamik durch strategische Allianzen*. Campus Verlag, Frankfurt am Main, New York, 1993.
- [Bro99] Brockhaus Lexikon. *Der Brockhaus*. Bertelsmann Verlag, Leipzig, Mannheim, Band 15, 1999.
- [Bru81] P. Brucker. *Scheduling*. Akademische Gesellschaft, Wiesbaden, 1981.

- [Bru91] R. Bruns, H.-J. Appelrath. *Ein universelles Modell für Ablaufplanungsmodelle*. in: Wirtschaftsinformatik, Heft 6, 1991.
- [Bru95] P. Brucker. *Scheduling algorithms*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995.
- [Bru96] R. Bruns. *Wissensbasierte Genetische Algorithmen*. Infix, Sankt Augustin, 1996.
- [Büs99] J. Büschken. *Virtuelle Unternehmen - die Zukunft?* in: Die Betriebswirtschaft, Heft 6, S. 778–791, 1999.
- [Bul95] H. J. Bullinger, W. Brettreich-Teichmann, H.-P. Fröschle. *Das virtuelle Unternehmen - Koordination zwischen Markt und Hierarchie*. in: Office Management, Heft 12, S. 18–22, 1995.
- [Bul98] R. Bultje, J. van Wijk. *Taxonomy of virtual organizations, based on definitions, characteristics and typology*. VO-Newsletter Vol. 2, No. 3, URL: <http://www.virtual-organization.net>, 24.07.2000, 1998.
- [Bul99a] H.-J. Bullinger, C.-U. Lott. *Target Management - Das Unternehmen vom Markt her gestalten und führen*. in: K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller (Hrsg.) Produktionswirtschaft 2000. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Bul99b] B. Bullheimer, R. F. Hartl, C. Strauss. *A New Rank Based Version of the Ant System - A Computational Study*. in: Central European Journal for Operations Research and Economics, 1999.
- [Bun97] P. Buneman. *Adding structure to unstructured data*. Database Programming Languages, 1997.
- [Bun00] M. Bund. *Modulare Organisation*. in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Heft 6, S. 343–346, 2000.
- [Bur97] R. S. Burt. *The Contigent Value of Social Capital*. in: Administrative Science Quarterly, Vol. 42, No. 2, pp. 339–365, 1997.
- [Bus87] U. Busch. *Entwicklung eines PPS-Systems*. Price Waterhouse (Hrsg.), Verlag Erich Schmidt, Berlin, 1987.
- [Bus97] U. Buscher. *Verrechnungspreise aus organisations- und agencytheoretischer Sicht*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1997.
- [Byr93] J.A. Byrne. *The virtual corporation*. in: International Business Week, 08.02.1993, pp. 36–40, 1993.
- [Cam98] S. Camazine, J. L. Deneubourg, N. R. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz, E. Bonabeau. *Self-Organized Biological Superstructures*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1998.

- [Car01] B. Carli. *Software für Application Service Provider - Oder: Wie wird Software fit fürs WEB?* in: W. Köhler-Frost (Hrsg.) *Application Service Providing - Die neue Herausforderung für Unternehmen*. KS-Energy-Verlag, Berlin, 2001.
- [Cat93] A. Catina, G.M. Schmitt. *Die Theorie der Persönlichen Konstrukte*. in: J. W. Scheer, A. Catina (Hrsg.) *Einführung in die Repertory Grid Technik*. Band I: Grundlagen und Methoden, S. 11–23. Huber Verlag, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [CDI96] CDI. *SAP R/3 Materialwirtschaft*. Markt und Technik, Buch- und Software-Verlag, Haar bei München, 1996.
- [Che94] C.-H. Cheng, D.-L. Mon. *Evaluation weapon system by Analytical Hierarchy Process based on fuzzy scales*. *Fuzzy Sets and Systems* Vol. 63 1994, pp. 1–10, North-Holland, 1994.
- [Che96] H. W. Chesbrough, D. J. Teece. *When ist virtual virtuos?* in: *Harvard Business Review*, Jan./Feb., pp. 65–73, 1996.
- [Che00] J. Chen. *NiagaraCQ: A Scalable Continuous Query System for Internet Databases*. in: *SIGMOD 2000*, pp. 379–390, 2000.
- [Chu63] C. W. Churchman. *Introduction to Operations Research*. New York, 1963.
- [Cim01] J. C. Cimetiere. *Serverwatch: Does the App Server Market still exist?* TechMetrix Research, URL: <http://serverwatch.internet.com/articles/appsmkt/index.html>, 13.01.2002, 2001.
- [Coa37] R. H. Coase. *The Nature of the Firm*. in: *Economica*, Heft 11, pp. 386–405, 1937.
- [Coa60] R. H. Coase. *The Problem of social cost*. in: *The Journal of Law and Economics*, pp. 1–44, 1960.
- [Coa78] R. H. Coase. *Das Problem der sozialen Kosten*. in: H.-D. Assmann, C. Krehner, E. Schanze (Hrsg.) *Ökonomische Analyse des Rechts*. Athenäum-Verlag, Kronberg, 1978.
- [Coa84] R. H. Coase. *The New Institutional Economics*. in: *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 140. Jg, 1984.
- [Coa88] R. H. Coase. *The Firm, the Market, and the Law*. Chicago University Press, Chicago, 1988.
- [Coe83] A. G. Coenenberg. *Kostenrechnung und Kostenanalyse*. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1983.

- [Col91] A. Colorni, M. Dorigo, V. Maniezzo. *Distributed Optimization by Ant Colonies*. in: Proceedings of ECAL91-European Conference of Artificial Life, pp. 134–142, Elsevier Publishing, Paris, 1991.
- [Con67] R. W. Conway, W. L. Maxwell, L. W. Miller. *Theory of Scheduling*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1967.
- [Coo84] R. Cooper, R. S. Kaplan. *Integrierte Kostensysteme - Verheißung und Gefahr zugleich*. in: Harvard Business Manager, Heft 1, pp. 76–86, 1984.
- [Cor92] H. Corsten. *Produktionswirtschaft*. Oldenbourg Verlag, München, 3. Auflage, 1992.
- [Cor01] Corio. *Electronic Markets and the Race to Liquidity: Improving Gross Margins by Streamlining the Supply Chain*. Corio Intelligent Exchange - Business White Paper. Corio, San Carlos, USA, 2001.
- [Cou02a] Supply Chain Council. *Supply chain operations reference-model - Version 5.0*. Technical Paper, Pittsburg, Pennsylvania, URL: <http://www.supply-chain.org/slides/SCOR5.0OverviewBooklet.pdf>, 24.06.2002, 2002.
- [Cou02b] Supply Chain Council. *Homepage*. URL: <http://www.supply-chain.org>, 24.06.2002, 2002.
- [Cou02c] Supply Chain Council. *Supply Chain Council: SCOR Version 5.0! Introduction Web Cast*. URL: <http://www.supplychainworld.org/WebCast/intro.htm>, 24.06.2002, 2002.
- [Cus98] Customer Centric, Inc. *ERP History*. 2040 Pioneer Court Suite 13 San Mateo, California 94403, URL: <http://www.customercentric.com/toppage1.htm>, 28.09.1999, 1998.
- [Dan66] G. B. Dantzig. *Lineare Programmierung und Erweiterungen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1966.
- [Dan94] J. Dangel. *Business Process Reengineering: Radikale Umgestaltung von Geschäftsprozessen*. in: IO Management, Heft 5, 1994.
- [Dav83] R. Davis, R. G. Smith. *Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving*. in: Artificial Intelligence, Vol. 20 (1983), pp. 63-109, 1983.
- [Dav85] L. Davis. *Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms*. in: J. Grefenstette (Ed.) Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and their Applications, pp. 136–140, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1985.
- [Dav93] W. H. Davidow, M. S. Malone. *Das virtuelle Unternehmen - Der Kunde als Co-Produzent*. Campus Verlag, Frankfurt am Main, New York, 1993.

- [DB00] DG-Bank. *Kooperationen im Mittelstand - Studie der DG-Bank*. URL: <http://www.mittelstandsstudie.de>, 12.12.2000, 2000.
- [Del98] Delphi. *Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik*. FhG-ISI, Symbolog GmbH, Bad Homburg, 1998.
- [Dem82] M. A. H. Dempster, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan. *Deterministic and Stochastic Scheduling*. Reidel-Verlag, Dordrecht, 1982.
- [Den99] A. Denner. *Beitrag zur Planung und Steuerung des Zeitablaufes von Simultaneous Engineering-Projekten*. Shaker-Verlag, Aachen, 1999.
- [Des97] F. Deser. *Chaos und Ordnung im Unternehmen*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1997.
- [Det99] K. O. Detken. *Local Area Networks. Grundlagen, Internetworking und Migration*. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1999.
- [Die94] M. Dietrich. *Transaction Cost Economics and Beyond*. Routledge Publ., London, 1994.
- [Die99] D.-S. Dieckmann. *Internationale Unternehmensnetzwerke und regionale Wirtschaftspolitik*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Die01a] U. Dietel, R. Lang. *Unternehmensplanung und -steuerung in virtuellen Produktionsmodellen*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 3, S. 120–124, 2001.
- [Die01b] M. Dietzsch, K. Althaus, D. Rother. *Das Modell des Kompetenzzelleninternen QM-Systems*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Din82] W. Dinkelbach. *Entscheidungsmodelle*. de Gruyter Verlag, Berlin, New York, 1982.
- [DIN00] DIN EN. *ISO 9000*. Beuth-Verlag, Berlin, 2000–12, 2000.
- [Dit97] L. Dittmann. *Anwendung des Ameisensystems auf das SAT Problem*. Studienarbeit, Fakultät für Informatik, TH Darmstadt, 1997.
- [Dö98] H. Döring. *Kritische Analyse der Leistungsfähigkeit des Transaktionskostenansatzes*. Universität, Göttingen, 1998.
- [Dob02] I. Dobos, K. Richter. *An extended production/recycling model with stationary demand and return rates*. in: Proceedings of Twelfth International Working Seminar on Production Economics, Igls/Innsbruck (Austria), February 18-22, 2002, Vol. 1, pp. 47–60, 2002.
- [Dom93] W. Domschke, A. Scholl, S. Voß. *Produktionsplanung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993.

- [Dom97] W. Domschke. *Logistik: Rundreisen und Touren*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1997.
- [Dom00] W. Domschke, A. Scholl. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Dor96a] M. Dorigo, L. M. Gambardella. *Ant Colonies for the traveling salesman problem*. Technical Report, IRIDIA/96-3, Universite Libre de Bruxelles, Belgium, 1996.
- [Dor96b] M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni. *The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agentst.* in: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part B, 26(1), pp. 29–42, 1996.
- [Dor97] M. Dorigo, L. M. Gambardella. *Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem.* in: IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1(1), pp. 53–66, 1997.
- [Dor99] M. Dorigo, G. DiCaro. *The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic.* in: D. Corne, M. Dorigo, F. Glover (Ed.) *New Ideas in Optimization*. McGraw-Hill, pp. 11–32, 1999.
- [Dor02] M. Dorigo. *Ant Colony Optimization Home Page*. URL: <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>, 24.06.2002, 2002.
- [Dre94] A. Drexler, B. Fleischmann, H.-O. Günther, H. Stadtler, H. Tempelmeier. *Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme*. Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Vol. 46, 1994.
- [Dro96] G. Drosdowski (Hrsg.). *Duden - Die Deutsche Rechtschreibung*. Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 1996.
- [Dü01a] H. Dürr, J. Mehnert. *Arbeitsplanung im hierarchielosen Produktionsnetz*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Dü01b] M. Dürr, J. Mehnert, T. Teich. *Integration of decentral developing an process planning competence into the model of extended value chain management.* in: Proceedings of the 12th DAAAM International Symposium 2001, Jena, Germany, October 24-27, 2001, pp. 125–126, 2001.
- [Due90] G. Dueck, T. Scheuer. *Threshold Accepting: A general purpose optimization algorithm appearing superior to Simulated Annealing.* Journal of Computational Physics, Vol. 90, pp. 161–175, 1990.
- [Due93] G. Dueck, T. Scheuer, H.-M. Wallmeier. *Toleranzschwelle und Sintflut: neue Ideen zur Optimierung*. Spektrum der Wissenschaft, Heft 3, S. 42–51, 1993.

- [Dug96] W. M. Dugger. *Transaction Cost Economics and the State*. in: C. Pitelis (Ed.) *Transaction Costs, Markets and Hierarchies*, Basil Blackwell, Oxford, 1996.
- [Dus98] S. Duschek. *Kooperative Kernkompetenzen - Zum Management einzigartiger Netzwerkressourcen*. in: *Zeitschrift für Organisation*, Heft 4, 1998.
- [Dut94] E. Dutz, C. Fermerling. *Prozeßmanagement in der Entsorgung*. in: *Die Betriebswirtschaft*, Heft 2, 1994.
- [Ebe97] M. Ebers. *Explaining Inter-Organizational Network Formation*. in: M. Ebers (Hrsg.) *The Formation of Inter-Organizational Networks*, Oxford Uni Press, New York, 1997.
- [Edw02] J. D. Edwards. *Homepage*. URL: <http://www.jdedwards.com>, 24.06.2002, 2002.
- [Egg01] C. Eggenhofer, S. Rossmann. *Aufbau eines Logistik-Controlling mit Hilfe der Balanced Scorecard*. Maerkische Fachhochschule Iserlohn, URL: <http://www.hausarbeiten.de/archiv/bwl/bwl-log.pdf>, 18.12.2001, 2001.
- [Eid86] B. Eidenmüller. *Neue Planungs- und steuerungskonzepte bei flexibler Serienfertigung*. in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 38, 7/8 1986.
- [Ell80] T. Ellinger, R. Haupt. *Ablauforganisation*. in: E. Grochla (Hrsg.) *Handwörterbuch der Organisation*, 2. Auflage. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1980.
- [Elm96] E. Elmayer, A. Preuß. *18 Unternehmen proben die virtuelle Fabrik*. in: *Impulse*, Heft 11, S. 58-60, 1996.
- [Eng90] A. Engel. *Beyond CIM: Bionic Manufacturing in Japan*. in: *IEEE Expert*, 1990.
- [Erp96] J. Erpenbeck, V. Heyse. *Berufliche Weiterbildung und berufliche Kompetenzentwicklung*. in: *Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management Berlin (Hrsg.) Kompetenzentwicklung '96*, Waxmann Verlag, Münster, New York, München, Berlin, 1996.
- [Erp99] J. Erpenbeck, V. Heyse. *Die Kompetenzbiographie. Strategien der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen und multimediale Kommunikation*. Waxmann Verlag, Münster, New York, München, Berlin, 1999.
- [Eve98] W. Eversheim, S. Schuth, C. F. Bremer, A. Molina. *Globale virtuelle Unternehmen*. in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Heft 3, S. 62-64, 1998.

- [Fad78] D. K. Faddejew, W. N. Faddejewa. *Numerische Methoden der Mathematik*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1978.
- [Fal00] M. Fallböhmer. *Generieren alternativer Technologieketten in frühen Phasen der Produktentwicklung*. RWTH Aachen, 2000.
- [Fal01] D. C. Fallside. *XML Schema Part 0: Primer*. W3C Recommendation May 2001, URL: <http://www.w3.org/TR/xmlschema-0/>, 28.01.2002, 2001.
- [Fan94] G. Fandel, P. François, K.-M. Gubitz. *PPS-Systeme*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1994.
- [Fan97] G. Fandel, P. Francois, K.-M. Gubitz. *PPS- und integrierte betriebliche Softwaresysteme*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2. Auflage, 1997.
- [Far02] J. Farley. *Microsoft.NET vs. J2EE: How Do They Stack Up?* O' Reilly & Associates, Inc., URL: http://java.oreilly.com/news/farley-0800_print.html, 24.06.2002, 2002.
- [Feg87] H. Feger. *Netzwerkanalyse in Kleingruppen: Datenarten, Strukturregeln und Strukturmodelle*. in: F. U. Pappi (Hrsg.) *Methoden der Netzwerkanalyse*, S. 203–252. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1987.
- [Fel99] M. Feldmann. *Naturalanaloge Verfahren. Metaheuristiken zur Reihenfolgeplanung*. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1999.
- [Fer94] O. K. Ferstl, E. J. Sinz. *Grundlagen der Wirtschaftsinformatik*. Oldenbourg Verlag, München, 2. Auflage, 1994.
- [Fis00] M. Fischer, B. Meier, T. Teich, A. Vogel. *Inner city disposal of waste with ant colony optimization*. in: M. Dorigo et al. (Ed.) *Proceedings of ANTS 2000 - From Ant Colonies to Artificial Ants*, Second International Workshop on Ant Algorithms, Brussels, Belgium, September 7-9, 2000, pp. 51–58, 2000.
- [Fis01] M. Fischer. *Controlling in Produktionsnetzwerken*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2001.
- [Fis02] M. Fischer, A. Vogel, T. Teich. *Real World Shop Floor Scheduling by Ant Colony Optimization*. in: *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, New York, July 9–13, 2002, pp. 1273, Morgan Kaufmann, 2002.
- [Fle98] B. Fleischmann. *Der Unterschied zwischen MRP und Planung*. i: *Industrielle Informationstechnik*, Heft 2, S. 52–55, Carl Hanser Verlag, München, 1998.

- [Fle00a] B. Fleischmann. *Distribution and Transport Planning*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2000.
- [Fle00b] B. Fleischmann, H. Meyr, M. Wagner. *Advanced Planning*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Fle01a] E. Fleisch. *Das Netzwerkunternehmen*. Springer, Berlin, 2001.
- [Fle01b] B. Fleischmann, H. Meyr. *Supply Chain Planning*. in: H.-J. Sebastian, T. Grünert (Hrsg.) *Logistik Management - Supply Chain Management und e-Business*, Teubner Verlag, Stuttgart, 2001.
- [Foe01] M. Foegen, J. Battenfeld. *Die Rolle der Architektur in der Anwendungsentwicklung*. in: *Informatik Spektrum*, Nr. 5, S. 290–301, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [Fon96] M. Fontanari. *Kooperationsgestaltungsprozesse in Theorie und Praxis*. Dunker und Humblot Verlag, Berlin, 1996.
- [Fon98] J. Fontaine, H.-J. Götz, K. Hoppe. *Outsourcing - Teil I: Grundlagen, Zielsetzungen und Möglichkeiten*. in: *Brauerei Forum* Nr. 12/1998, S. 357–360, Berlin, 1998.
- [For61] J. W. Forrester. *Industrial Dynamics*. New York, London, 1961.
- [Fra77] F. Fransella, D. Bannister. *A Manual for Repertory Grid Technique*. Academic Press, London, 1977.
- [Fra99] Fraunhofer. *Marktstudie Supply Chain Management Software. Planungssysteme im Überblick*. Fraunhofer Gesellschaft, Institut für Produktionstechnik und Automatisierung und Institut für Materialfluss, Stuttgart, 1999.
- [Fra00] U. Franke, O. Jockel. *Virtuelle Logistik*. *Industrie Management*, 16. Jg., Heft 4, 2000.
- [Fre82] S. French. *Sequencing and Scheduling - An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop*. Wiley, Chichester, 1982.
- [Fre93] H.-U. Frehr. *Total Quality Management – Unternehmensweite Qualitätsverbesserung*. Hanser Verlag, München, 1993.
- [Fre94] E. Frese. *Wirtschaftslexikon*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 13. Auflage, 1994.
- [Fre98] J. Freiling. *Kompetenzorientierte strategische Allianzen*. in: *IO Management*, Heft 6, S. 23-29, 1998.

- [Fre01a] M. Freitag. *Kompetenzen für Netzwerkentwicklung und -betrieb*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Fre01b] M. Freitag. *Wissensmanagement als Führungsaufgabe*. in: F. Jetter, R. Skrotzki (Hrsg.) *Management-Wissen Führungskompetenz: Lernimpulse für Führungskräfte*, Metropolitan Verlag, Düsseldorf, Berlin, 2001.
- [Fri94] B. Fritzsche. *A growing neural gas network learns topologies*. in: *Proceedings of the 1994 NIPS Conference*, Denver, 1994.
- [Fri98] U. Friemuth, P. von Wrede. *Produzieren in Netzwerken*. in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Heft 3, S. 92–95, 1998.
- [Fri00] M. Friedrich. *Konzeption eines Componentware-basierten Supply-Chain-Management-Systems für kleine und mittlere Unternehmen*. Bayrischer Forschungsverbund Wirtschaftsinformatik, URL: http://www.wi1.uni-erlangen.de/veroeffentlichungen/download/forwin_bericht_005_friedrich.pdf, 14.11.2000, 2000.
- [Fro95] M. Fromm. *Repertory Grid Methodik*. Deutscher Studien Verlag, Weinheim, 1995.
- [Gai83] M. Gaitanides. *Prozessorganisation: Entwicklung, Ansätze und Programme prozessorientierter Organisationsgestaltung*. Vahlen Verlag, München, 1983.
- [Gam95] L. M. Gambardella. *Ant-Q: Reinforcement Learning Approach to the Traveling Salesman Problem*. in: *Proceedings of ML-95, 12th International Conference on Machine Learning*. Morgan Kaufmann, pp. 252–260, 1995.
- [Gar79] M. R. Garey, D. S. Johnson. *Computers and Intractability*. W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1979.
- [Gei00] J. Geiger. *Welche Applikationen sind für ASP geeignet? Eine Übersicht*. EINSTEINet AG, URL: <http://www.einsteinet.de>, 24.06.2002, 2000.
- [Gei01] H. Geimer, T. Becker. *Mit dem Supply Chain Operations Reference-Modell (SCOR) Prozesse optimieren*. in: O. Lawrenz et al. (Hrsg.) *Supply Chain Management*. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 2001.
- [Geo95] G. Georgi. *Job Shop Scheduling in der Produktion*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1995.
- [Ger00] T. J. Gerpott, S. Böhm. *Strategisches Management in virtuellen Unternehmen*. in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Ergänzungsheft 2, S. 13–36, 2000.

- [Gif60] B. Giffler, G. L. Thompson. *Algorithms for Solving Production-Scheduling Problems*. Operations Research 8 (1960) 4, pp. 487–503, 1960.
- [Gil99a] U. Gilbert. *Vertrauen in virtuellen Unternehmen. Die Bedeutung von Vertrauen für die erfolgreiche Zusammenarbeit in virtuellen Unternehmen*. in: IO Management, Heft 12, S. 30–34, 1999.
- [Gil99b] C. Gillan. *The ASPs Impact on the IT-Industry*. IDC Bulletin. International Data Cooperation, URL: <http://www.idc.com/store/free/pdfs/20323.pdf>, 18.10.2001, 1999.
- [Gil00] R.M. Gillenkirch. *Principal Agent Theorie und empirische Ergebnisse zur Erfolgsabhängigkeit der Managerentlohnung*. in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Heft 6, S. 347-348, 2000.
- [Gip97] H. Gipper, M. Gräf. *Client-/Server-Architektur*. in: H.J. Schneider (Hrsg.) Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1997.
- [Gö86] A. Göpfert. *Optimierung und optimale Steuerung*. Akademie Verlag, Berlin, 1986.
- [Gö99] U. Götze, B. Mikus. *Strategisches Management*. Verlag der GUC, Chemnitz, 1999.
- [Gö00a] O. Görlitz, R. Neubert, W. Benn. *Access to Distributed Environmental Databases with ICIX Technology*. in: Online Information Review Journal, MCB University Press, 2000.
- [Gö00b] O. Görlitz, R. Neubert, W. Benn. *Guiding the Customer's Search in E-Business with the Intelligent Cluster Index*. in: B. Stanford-Smith, P. T. Kidd (Ed.) E-business: Key Issues, Applications and Developments. Proceedings of the eBusiness and eWork 2000 Conference and Exhibition, IOS Press, Madrid, Spain, 2000.
- [Gö00c] U. Götze, C. Bosse. *Kostenrechnung und Kostenmanagement*. Verlag der GUC, Chemnitz, 2000.
- [Gö02a] O. Görlitz, R. Neubert, T. Teich. *Automated Negotiations of Supply Contracts for flexible Production Networks*. in: Proceedings of Twelfth International Working Seminar on Production Economics, Igls/Innsbruck, Austria, February 18-22, 2002, vol. 2, pp. 135–144, 2002.
- [Gö02b] O. Görlitz, R. Neubert, T. Teich, W. Benn. *Extended Value Chain Management on Electronic Marketplaces*. in: International Journal of e-Business Strategy Management, Vol. III No.3, Winthrop Publications Limited, London, pp. 243–252, 2002.

- [Goe00] M. Goetschalcks. *Strategic Network Planning*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2000.
- [Gol89] D. E. Goldberg. *Sizing Populations for Serial and Parallel Genetic Algorithms*. in: J. D. Schaffer (Ed.) *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms and their Applications*, pp. 70–79, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Gol92] D. E. Goldberg, K. Deb, J. H. Clark. *Genetic Algorithms, Noise and the Sizing of Populations*. *Complex Systems*, Vol. 6, pp. 333–362, 1992.
- [Gol93] D. E. Goldberg, K. Deb, J. H. Clark. *Accounting for the Noise in the Sizing Populations*. in: L. D. Whitley (Ed.) *Foundations of Genetic Algorithms 2*, pp. 127–140, Morgan Kaufman, San Mateo, 1993.
- [Gol96] G. H. Golub, C. F. van Loan. *Matrix Computations*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, Third Edition, 1996.
- [Gos89] S. Goss, S. Aron, J. L. Deneubourg, J. M. Pateels. *Self-organized shortcuts in the argentine ant*. in: *Nature Science*, Heft 76, pp. 579–581, 1989.
- [Gör97] A. Göransson, G. Schuh. *Das Netzwerkmanagement in der virtuellen Fabrik*. in: G. Müller-Stewens (Hrsg.) *Virtualisierung von Organisationen*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Gra59] P. P. Grassé. *La Reconstruction du Nid et les Coordinations Interindividuelles chez bellicositermes natalensis et cubitermes sp. La Théorie de la Stigmergie: Essai d'interprétation du Comportement des Termites Constructeurs*. in: *Insectes Sociaux*, 6, pp. 41–81, 1959.
- [Gra79] R. L. Graham, E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan. *Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling*. A survey. *Annals of Discrete Mathematics* 5, 1979.
- [Gra81] S. C. Graves. *A review of production scheduling*. *Operations Research* 29, pp. 646–657, 1981.
- [Gra93] S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan, H. P. Zipkin. *Logistics of production and inventory*. *Handbooks in operations research and management science*, Vol. 4, North-Holland, Amsterdam, London, New York, Tokyo, 1993.
- [Gra01] U. Grasemann, K. Bergner, U. Gröttrup, J. Lorenz. *Unter einem Dach – Einsatz-Szenarien und Vergleichstest von JMS-Systemen*. in: iX, Heft 4, S. 76–82, Heise Verlag, Hannover, 2001.

- [Gre86] J. J. Grefenstette. *Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 16, No. 1, pp. 122–128, 1986.
- [Gri96] J. Griese, P. Sieber. *Die virtuelle Fabrik - Ein Überblick*. in: Industrie Management, Heft 6, S. 15–17, 1996.
- [Gri99] J. Griese, P. Sieber. *Virtualisierung von Industriebetrieben*. in: K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller (Hrsg.) Produktionswirtschaft 2000. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Gri00] J. Griese, P. Sieber. *Virtualität als Kernkompetenz in Unternehmensnetzwerken*. in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 2, S. 75–95, 2000.
- [Gro95] J. Grobe, A. Lichte. *Funktionsbeschreibung Modul Produktionsplanung*. Unveröffentlichtes Manuskript der Forschungsgruppe Produktionsorientierte Wirtschaftsinformatik der Technischen Universität Berlin, Berlin, 1995.
- [Gro97] N. Gronau. *Management von Produktion und Logistik mit SAP R/3*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 2. Auflage, 1997.
- [Gru02] S. Gruenwedel. *Trends in the Java App Dev Market*. Fawcette.com, URL: http://www.fawcette.com/reports/javaone/032702/javapro_presents, 24.06.2002, 2002.
- [Gü94a] H.-O. Günther; H. Tempelmeier. *Produktion und Logistik*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1994.
- [Gü94b] H.-O. Günther, M. Gronalt. *Montageplanung in der Elektronikfertigung*. in: H. Corsten (Hrsg.) Handbuch Produktionsmanagement. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Gut51] E. Gutenberg. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band 1: Die Produktion*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1. Auflage, 1951.
- [Gut58] E. Gutenberg. *Sortenproblem und Losgröße*. in: E. Grochla, W. Wittmann (Hrsg.) Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1958.
- [Gut83] E. Gutenberg. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band 1: Die Produktion*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 24. Auflage, 1983.
- [Hab92] M. Habich, H. Kath, W. Maßberg. *Dezentrale Dispositionsentscheidungen synchronisieren*. Die Arbeitsvorbereitung 1/92, S. 36-40, 1992.

- [Hac86] W. Hacker. *Arbeitspsychologie*. Deutscher Verlag der Wissenschaft, Berlin, 1986.
- [Hac89] R. Hackstein. *Produktionsplanung und -steuerung (PPS)*. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1989.
- [Hag01] H. Hagemeyer. *Grundlagen eines Billing und Accounting von ERP-Lösungen*. in: W. Köhler-Frost (Hrsg.) *Application Service Providing - Die neue Herausforderung für Unternehmen*. KS-Energy-Verlag, Berlin, 2001.
- [Hak89] H. Hakansson. *Corporate Technological Behaviour: Co-operation and Networks*. Routledge, London, 1989.
- [Hal97] H. Halfar, L. Hieber. *Ethernet*. in: H. J. Schneider (Hrsg.) *Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1997.
- [Ham93] M. Hammer, J. Champy. *Reengineering the Cooperation*. Collins Publishers, New York, 1993.
- [Ham94] M. Hammer. *Business Reengineering: Die Radikalkur für das Unternehmen*. Campus, Frankfurt, 1994.
- [Han94] H. Hanusch, T. Kuhn. *Einführung in die Volkswirtschaftslehre*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 3. Auflage, 1994.
- [Han97] W. R. Hansen. *Mainframe*. in: H. J. Schneider (Hrsg.) *Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1997.
- [Har95] M. Hartmann. *Merkmale zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen für die mehrstufige Serienfertigung bei turbulenten Aufgaben*. Dissertation, TU Magdeburg, 1995.
- [Hay67] F. A. Hayek. *Studies in philosophy, politics and economics*. Routledge & Kegan Paul, London, S. 40, 1967.
- [Hay75] F. A. Hayek. *Die Irrtümer des Konstruktivismus*. Tübingen, 1975.
- [Hay79] F. A. Hayek. *Law, Legislation and Liberty*. Bd. III: *The Political Order of a Free People*, London, 1979.
- [Hec91] R. Hechtfisher. *Kapazitätsorientierte Verfahren der Losgrößenplanung*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1991.
- [Hec99] B. Heckerott. *Virtuelle Netze schaffen Vertrauensinseln*. in: *IO Management*, Heft 4, S. 58-60, 1999.

- [Hei89] C. E. Heinrich. *Das MRP II-Planungskonzept (Manufacturing Resource Planning) und dessen Realisierung mit Standardsoftware, dargestellt am System R/2 der SAP AG.* in: G. Zäpfel (Hrsg.) *Neuere Konzepte der Produktionsplanung und -steuerung*, S. 95–112, Trauner Verlag, Linz, 1989.
- [Hei91] M. Hein, W. Tank. *Kommunizierende wissensbasierte Systeme.* in: H.-J. Bullinger (Hrsg.) *Handbuch des Informationsmanagements im Unternehmen - Technik, Organisation, Recht, Perspektiven*, Band I, Beck Verlag, München, 1991.
- [Hei99] H. Heinzel. *Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in Netzwerken.* in: J. Milberg, G. Reinhart (Hrsg.) *Produzieren in Netzwerken*, Seminarberichte iwB, Nr. 45. Utz Verlag, München, 1999.
- [Hel92] F. Helmedag. *Warenproduktion mittels Arbeit - Zur Rehabilitation des Wertgesetzes.* Metropolis Verlag, Marburg, 1992.
- [Hel96] R. Helm, A. Mehlhorn, M. Strohmayr. *Die Vertrauensproblematik bei zwischenbetrieblichen Kooperationen.* in: *Zeitschrift für Planung*, Heft 1, S. 73–90, 1996.
- [Hel98] B. Hellingrath. *PPS-Anbieter auf SCM-Kurs.* in: *Logistik Heute*, Heft 9, S. 88–90, 1998.
- [Hel00] F. Helmedag. *Zur Vermarktung des Rechts: Anmerkungen zum Coase-Theorem.* in: D. Wolf et al. (Hrsg.) *Auf der Suche nach dem Kompaß: Politische Ökonomie als Bahnsteigkarte fürs 21. Jahrhundert.* Papy-Rossa Verlag, Köln, 2000.
- [Hel01] M. Held. *Outsourcing vs. Application Service Providing? Entscheidungskriterien für IT-Manager.* in: W. Köhler-Frost (Hrsg.) *Application Service Providing - Die neue Herausforderung für Unternehmen.* KS-Energy-Verlag, Berlin, 2001.
- [Hes98] T. Hess. *Unternehmensnetzwerke: Abgrenzung, Ausprägung und Entstehung.* Arbeitsbericht Nr. 4, Abteilung Wirtschaftsinformatik II, Universität Göttingen, 1998.
- [Hes99a] T. Hess. *ZP Stichwort: Unternehmensnetzwerke.* in: *Zeitschrift für Planung*, Heft 2, S. 225–230, 1999.
- [Hes99b] T. Hess, M. Schuhmann. *Erste Überlegungen zum Controlling in Unternehmensnetzwerken.* in: J. Engelhard, E. Sinz (Hrsg.) *Kooperation im Wettbewerb.* Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Hes99c] T. Hess, T. Veil. *Controlling in Unternehmensnetzwerken - erste Erfahrungen aus der Praxis.* in: *Controller Magazin*, Heft 6, S. 446–449, 1999.

- [Hes01] P. Hessinger. *Vernetzte Wirtschaft und ökonomische Entwicklung. Organisatorischer Wandel, Institutionelle Einbettung und zivilgesellschaftliche Perspektiven*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 2001.
- [Heu98] U. Heuser, W. Rosenstiehl. *Internetsuche und Neuronale Netze: Stand der Technik*. Arbeitsbericht WSI 98-10, Universität Tübingen, 1998.
- [Heu00] U. Heuser. *Automatische Internet-Katalogisierung mit Hilfe des Hierarchischen Radius-basierten Competitive Learnings*. Logos Verlag, Berlin, 2000.
- [Hil92] R. Hildebrand, P. Mertens. *PPS-Controlling in Kennzahlen und Checklisten*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1992.
- [Hil97] M. Hilb. *Management der Human-Ressourcen in virtuellen Organisationen*. in: G. Müller-Stewens (Hrsg.) *Virtualisierung von Organisationen*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Hin98] H. H. Hinterhuber, F. Bailom, G. Handlbauer, K. Matzler. *Kundenzufriedenheit durch Kernkompetenzen*. in: H. Wildemann (Hrsg.) *Innovation in der Produktionswirtschaft*. TCW Transfer-Centrum-Verlag, München, 1998.
- [Hip97] A. Hippe. *Interdependenzen von Strategien und Controlling in Unternehmensnetzwerken*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997.
- [Hir98] W. Hirn. *Starke Bande*. in: *Manager Magazin*, Heft 5, S. 134-147, 1998.
- [Höp94] M. Höpf. *Holonic Manufacturing Systems: the basic concept and a report of the IMS case 5*. in: J. K. H. Knudsen (Ed.) *Sharing CIM Solutions: Proceedings of the Tenth CIM Europe Annual Conference*, Kopenhagen, IOS Press, Amsterdam, 1994.
- [Hö02] M. Höbig. *Modellgestützte Bewertung der Kooperationsfähigkeit produzierender Unternehmen*. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 2002.
- [Hod93] G. M. Hodgson. *Transaction Costs and the Evolution of the Firm*. in: C. Pitelis (Ed.) *Transaction Costs, Markets and Hierarchies*, Basil Blackwell, Oxford, 1993.
- [Hof95] W. Hoffmann, A.-W. Scheer, C. Hanebeck. *Geschäftsprozeßmanagement in virtuellen Unternehmen*. in: *Institut für Wirtschaftsinformatik*, Heft 119. Universität des Saarlandes, 1995.
- [Hof01a] T. Hofmann. *Die vernetzte Produktion über Unternehmensgrenzen hinweg*. Diplomarbeit, Technische Universität Chemnitz, 2001.
- [Hof01b] U. Hofmann. *Netzwerk-Ökonomie*. Physica-Verlag, Heidelberg, 2001.

- [Hol75] J. H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [Hol01a] B. Hollunder. *Koexistenz von Corba und J2EE*. Computerwoche 23, München, 2001.
- [Hol01b] A. Holubek. *Das Web Services Pack als Plattform für die webzentrierte Entwicklung*. in: Java Magazin, Heft 9, S. 37–39, Software und Support Verlag, Frankfurt am Main, 2001.
- [Hop01] W. Hopfenbeck, M. Müller, T. Peisl. *Wissensbasiertes Management – Ansätze und Strategien zur Unternehmensführung in der Internet-Ökonomie*. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 2001.
- [Hor94] P. Horvath. *Controlling*. Vahlen Verlag, München, 1994.
- [Hor99] P. Horvath, R. Mayer. *Prozeßkostenrechnung - Konzeption und Entwicklungen*. in: Kostenrechnungspraxis, Sonderheft 2, S. 15–28, 1999.
- [Hor00] P. Horvath & Partner. *Das Controllingkonzept*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 2000.
- [Hun00] M. G. Hunter, J. E. Beck. *Using Repertory Grids to Conduct Cross-Cultural Information Systems Research*. in: Information System Research, Vol. 11, No. 1, pp. 93–101, 2000.
- [Hus01] O. Husmann. *Lean Logistik im DaimlerChrysler Werk Hamburg*. Mensch & Technik III/2001, S. 10–11, 2001.
- [Ish94] T. Ishida. *Parallel, Distributed and Multiagent Production Systems*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1994.
- [Ish95] T. Ishida. *Parallel, Distributed and Multiagent Production Systems - A Research Foundation for Distributed Artificial Intelligence*. URL: <http://www.lab7.kuis.kyoto-u.ac.jp/96/paper/fai/ICMAS95INVITED.ps>, 16.08.1996, 1995.
- [iT02] i2 Technologies. *Homepage*. URL: <http://www.i2.com>, 24.06.2002, 2002.
- [Iva02] D. A. Ivanov, T. Teich. *Entwicklung des regionalen Produktionspotenzials durch die Projektierung von regionalen Produktionsnetzwerken*. in: Tagungsband von Organisation und Management von Umstrukturierungs- und Entwicklungsprozessen in den regionalen Unternehmen, Novotscherkassk, Russland, März 22, 2002, Band 1, S. 9–17, 2002.
- [Jä00] H. Jähn. *Theoretische Analyse betrieblicher Einflussfaktoren bei der Bildung hierarchieloser Produktionsnetzwerke*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2000.

- [Jen98] T. Jensen, R. Kleber. *Forschungsschwerpunkte*. Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre insb. Produktion und Logistik, URL: <http://www.uni-magdeburg.de/bwl6/forschung.html>, 14.06.1999, 1998.
- [Jen99] T. Jensen. *Planen ganz nach Bedarf*. in: Industrielle Informationstechnik, Heft 1, S. 33–34, Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [Jö00] K. Jörgens, S. Süß. *Scheitert die Realisierung Virtueller Unternehmen am realen Menschen?* in: IO Management, Heft 7/8, S. 78–84, 2000.
- [Joh54] S. M. Johnson. *Optimal Two- and Three-Stage Production Schedules with Setup-times Included*. Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 1, 1954.
- [Joh83] D. S. Johnson. *The NP-completeness column: An ongoing guide*. J. Algorithms 4, pp. 189–203, 1983.
- [Jon75] K. De Jong. *An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems*. University of Michigan, Ann Arbor, 1975.
- [Jor01] G. Jordan. *Das Vertrauen kommt mit der Rechnung*. in: ASP-Magazin, 1/2001. H&T Verlagsgesellschaft, München, 2001.
- [Jü92] U. Jürgens. *Lean Production in Japan – Mythos und Realität*. in: Lean Production – Schlanke Produktion, Proceedings der Hans Böckler Stiftung, Düsseldorf, 1992.
- [Jun99a] V. Jung. *Kommunikation macht nicht satt*. in: VDI Nachrichten 17(1999), Düsseldorf, 1999.
- [Jun99b] W. Junghanns. *Praxiserfahrung bei der Implementierung von durchgängigen Prozessketten*. in: Proceedings 21. PPS-Kongreß, Berlin, 4.–6. November 1999, S. 55–73, Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung e. V., Berlin, 1999.
- [Kä94] R. Kämpf, B. Wilhelm. *Vom fraktalen Unternehmen zum kooperativen Standortverbund*. in: IO Management, Heft 6, S. 47–50, 1994.
- [Kä97a] J. Käschel, G. Köbernik, B. Meier, T. Teich. *Ein Algorithmus für das Erkennen unzulässiger Lösungsinstanzen des Job Shop Problems*. TU Chemnitz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, WWDP 10/97, Chemnitz, 1997.
- [Kä97b] J. Käschel, G. Köbernik, B. Meier, T. Teich. *Ein genetischer Algorithmus für das Job Shop Problem*. Arbeitsbericht der TU Chemnitz-Zwickau 8/97, Chemnitz, 1997.

- [Kä99a] J. Käschel, G. Köbernik, B. Meier, T. Teich. *Genetic Algorithm, Avoiding of Deadlocks and Gantt-Chart-Generation for the Job Shop Scheduling Problem*. in: W. Banzhaf et al. (Ed.) Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Orlando, Florida, July 13-17, 1999, vol. 1, p. 792, Morgan Kaufmann, 1999.
- [Kä99b] J. Käschel, G. Köbernik, T. Teich, B. Zacher. *Algorithms for the Job Shop Problem - a comparison of different methods*. in: Proceedings of the European Symposium on Intelligent Techniques, Crete, Greece, p. 74, 1999.
- [Kä99c] J. Käschel, T. Teich. *Betreibungs- und Koordinationsstrukturen*. in: S. Wirth et al. (Hrsg.) Sonderforschungsbereich 457: Hierarchielose regionale Produktionsnetze. Theorien, Modelle, Methoden und Instrumentarien. Finanzierungsantrag 2000, 2001, 2002 zum Sonderforschungsbereich 457, TU Chemnitz, S. 633–676, Chemnitz, 1999.
- [Kä00a] J. Käschel, T. Teich. *Hierarchielose regionale Produktionsnetzwerke - ein neuer Sonderforschungsbereich an der TU Chemnitz mit Beteiligung der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät*. in: CWG-Dialog, Heft 3, S. 1–5, 2000.
- [Kä00b] J. Käschel, T. Teich, B. Meier. *Ansätze zur Bildung regionaler Produktionsnetzwerke aus quantitativer ökonomischer Perspektive*. in: S. Wirth et al. (Hrsg.) Tagungsband von Vernetzt planen und produzieren, Chemnitz, Oktober 12-14, 2000, S. 51–58, 2000.
- [Kä00c] J. Käschel, T. Teich, B. Meier. *Bi-directional production data recording*. in: Proceedings of Eleventh International Working Seminar on Production Economics, Igls/Innsbruck, Austria, February 21-25, 2000, vol. 2, pp. 201–210, 2000.
- [Kä00d] J. Käschel, T. Teich, B. Meier. *Evolutionary algorithms - hope for computer assisted shop floor scheduling?* in: Proceedings of International Conference on Integrated Production Management, IFIP WG 5.7, Tromsø, Norway, June 28-30, 2000, pp. 63–68, 2000.
- [Kä00e] J. Käschel, T. Teich, B. Meier, M. Fischer. *Real-World Applications: Evolutionary Real-World Shop Floor Scheduling using Parallelization and Parameter Coevolution?* in: W. Banzhaf et al. (Ed.) Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Las Vegas, Nevada, July 8-12, 2000, pp. 697–701, Morgan Kaufmann, 2000.
- [Kä00f] J. Käschel, T. Teich, B. Zacher. *An empirical study of manual shop floor scheduling in job shop environments*. TU Chemnitz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, WWDP 30/2000, Chemnitz, 2000.

- [Kä01] J. Käschel, T. Teich. *Reihenfolgeplanung in Produktionsnetzwerken*. in: B. Jahnke, F. Wall (Hrsg.) *IT-gestützte betriebswirtschaftliche Entscheidungsprozesse*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2001.
- [Kä02a] J. Käschel, T. Teich. *Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre*. Verlag der GUC, Chemnitz, 2002.
- [Kä02b] J. Käschel, T. Teich, B. Zacher. *Real time dynamic shop floor scheduling using evolutionary algorithms*. in: *International Journal of Production Economics*, Elsevier Science, Netherlands, issue 73 no. 3, 2002.
- [Kah94a] A. Kah. *Profitcenter-Steuerung*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1994.
- [Kah94b] J. Kahlert, H. Frank. *Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control*. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 1994.
- [Kah96] E. Kahle. *Produktion*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1996.
- [Kal99] B. Kaluza, T. Blecker. *Dynamische Produktdifferenzierungsstrategie und Produktionsnetzwerke*. in: K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller (Hrsg.) *Produktionswirtschaft 2000*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Kal00a] B. Kaluza, T. Blecker. *Produktions- und Logistikmanagement in Virtuellen Unternehmen und Unternehmensnetzwerken*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Kal00b] B. Kaluza, T. Blecker. *Technologiemanagement in Produktionsnetzwerken und Virtuellen Unternehmen*. in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Ergänzungsheft 2, S. 137–156, 2000.
- [Kan76] A. H. G. Rinnooy Kan. *Machine scheduling problems: Classification, complexity and computations*. The Hague: Nijhoff, 1976.
- [Kap87a] P. Kappelhoff. *Blockmodellanalyse: Positionen, Rollen und Rollenstrukturen*. in: F. U. Pappi (Hrsg.) *Methoden der Netzwerkanalyse*, S. 101–128. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1987.
- [Kap87b] P. Kappelhoff. *Cliquenanalyse. Die Bestimmung von intern verbundenen Teilgruppen in Netzwerken*. in: F. U. Pappi (Hrsg.) *Methoden der Netzwerkanalyse*, S. 39–63. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1987.
- [Kap00] P. Kappelhoff. *Der Netzwerkansatz als konzeptioneller Rahmen für eine Theorie interorganisationaler Netzwerke*. in: J. Sydow, A. Windeler (Hrsg.) *Steuerung von Netzwerken*, Westdeutscher Verlag, Opladen, 2000.
- [Kar90] U. Karmarkar. *Just-in-Time, Kanban oder was?* in: *Harvard Manager*, Heft 3, S. 84–91, 1990.

- [Kau00] S. Kauffeld. *Das Kasseler Kompetenz-Raster (KKR) zur Messung der beruflichen Handlungskompetenz*. in: E. Frieling et al. (Hrsg.) *Flexibilität und Kompetenz: Schaffen flexible Unternehmen kompetente und flexible Mitarbeiter?*, Waxmann Verlag, Münster, New York, München, Berlin, 2000.
- [Küc01] P. R. Küchler. *Vermarktungsstrategien für Application Service Providing: Ideen zum Verkauf - Auch wenn das Marktsegment boomt?* in: W. Köhler-Frost (Hrsg.) *Application Service Providing - Die neue Herausforderung für Unternehmen*. KS-Energy-Verlag, Berlin, 2001.
- [Kel91] G. A. Kelly. *The Psychology of Personal Constructs*. Routledge, London, 1991.
- [Kel96] G. Keller, K. Popp. *Referenzmodelle für Geschäftsprozesse*. in: *Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung*, S. 94–117, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1996.
- [Kem98] G. A. Kemmner, R. Mayer. *Virtuelle Unternehmen*. in: *Kunststoffe*, Heft 3, S. 280–282, 1998.
- [Ker67] W. Kern. *Optimierungsverfahren in der Ablaufplanung*. Girardet, Essen, 1967.
- [Ker94] H. Kernler. *PPS der 3. Generation: Grundlagen, Methoden, Anregungen*. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1994.
- [Ket79] H. Kettner, J. Jendralski. *Fertigungsplanung und Fertigungslenkung - ein Sorgenkind der Produktion*. VDI-Zeitschrift 121, 9/1979.
- [Kie91] A. Kieser. *Innovation und Kooperation*. in: R. Wunderer (Hrsg.) *Kooperation*, S. 159–173. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1991.
- [Kie93] A. Kieser. *Evolutionstheoretische Ansätze*. in: A. Kieser, H. Kubicek (Hrsg.) *Organisationstheorie*, Kohlhammer, Stuttgart, 1993.
- [Kie96] A. Kieser. *Moden und Mythen des Organisierens*. in: *Die Betriebswirtschaft* 56 (1), 1996.
- [Kil73] W. Kilger. *Optimale Produktions- und Absatzplanung*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1973.
- [Kil00] C. Kilger, L. Schneeweiss. *Demand Fulfilment and ATP*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Kin98] S. Kinkel, R. Schneider, J. Wengel. *Regionale Vernetzung und produktbegleitende Dienstleistungen im Zeichen der Globalisierung*. in: *Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering*, Heft 5, S. 274–280, 1998.

- [Kin00] S. Kinkel, G. Lay. *Notnagel regionale Kooperation? Verbreitung und Nutzen regionaler Kooperationen in der deutschen Investitionsgüterindustrie*. in: Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung, Nr. 19, November, 2000.
- [Kir82] S. Kirkpatrick, C. Gelatt, M. Vecchi. *Optimization by simulated annealing*. IBM Research Report RC 9355, 1982.
- [Kir83] S. Kirkpatrick, C. Gelatt, M. Vecchi. *Optimization by simulated annealing*. Science, Vol. 220, pp. 671–680, 1983.
- [Kis90] K.-P. Kistner, M. Steven. *Produktionsplanung*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1990.
- [Kis93] K.-P. Kistner, M. Steven. *Produktionsplanung*. Physica-Verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 1993.
- [Kle94] S. Klein. *Virtuelle Organisation*. in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Heft 6, S. 309–311, 1994.
- [Kle99] B. Klemenhagen. *Application Service Providers (ASP) - Spotlight Report*. Framing the IT Services Industry. Cherry Tree & Co., Edina, USA, 1999.
- [Kli99] R. Kling, K. L. Kraemer, J. Allen, Y. J. Bakos, V. Gurbaxani, M. Elliot. *Transforming Coordination: The Promise and Problems of Information Technology in Coordination*. in: T. Malone et al. (Ed.), *Coordination Theory and Collaboration Technology*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, New Jersey, 1999.
- [Klo99] F. Klocke, M. Weck, G. Trommer, O. Brömsen. *Vom Bauteilentwurf zur Fertigungsfolge - Konstruktionsbegleitende Generierung und Bewertung von Fertigungsalternativen*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (1999) 9, 1999.
- [Klo00] F. Klocke, M. Fallböhrer, G. Trommer, A. Kopner. *Methods and Tools Supporting Modular Process Design*. Robotics and Integrated Manufacturing, Vol. 16/6 2000, 2000.
- [Kno00] G. Knolmayer, P. Mertens, A. Zeier. *Supply Chain Management auf Basis von SAP-Systemen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Kö96] S. König. *Management wandelbarer Produktionsnetzwerke*. in: H. J. Warnecke, H.-J. Bullinger (Hrsg.) *Gewinnen am Standort Deutschland - Beispiele für Quantensprünge*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1996.

- [Kö97] W. König, F. Klocke. *Fertigungsverfahren. Band 1-5*. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995-1997.
- [Kö99] G. Köbernik. *Moderne Methoden für die Fertigungssteuerung bei Werkstattfertigung*. Josef Eul Verlag, Lohmar, Köln, 1999.
- [Kö00] T. Köhne, G. Koch. *Die Virtuelle Versicherung*. Institut für Versicherungswirtschaft der Universität St. Gallen, St. Gallen, 2000.
- [Koc97] C. Kocian, G. N. Correa, A.-W. Scheer. *Das virtuelle Zentrum*. in: Information Management, Heft 3, S. 59–64, 1997.
- [Kon99] U. Konradt. *Partner im virtuellen Unternehmen*. in: Harvard Business Manager, Heft 3, pp. 103–107, 1999.
- [Kop00] M. Koppitz. *IT-Outsourcing - Chancen und Risiken neuer Organisationsformen für IT-bezogene Geschäftsprozesse*. Universität Duisburg. RAG INFORMATIK GmbH, Gelsenkirchen, 2000.
- [Kor99] H. von Kortzfleisch. *Virtuelle Unternehmen - Sammelrezension*. in: Die Betriebswirtschaft, Heft 5, S. 664–685, 1999.
- [Kor02] B. Koring, A. Walter, T. Teich. *Einsatzmöglichkeiten von e-Learning in Netzwerken*. in: M. Freitag, I. Winkler (Hrsg.) Kooperationsentwicklung in zwischenbetrieblichen Netzwerken. Perspektiven für die Praxis, DWV, 2002.
- [Kos76] E. Kosiol. *Organisation der Unternehmung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2. Auflage, 1976.
- [Kot91] W. Kotschenreuther. *Unterstützung der Störungsbewältigung in der Produktion durch Verteilte Wissensbasierte Systeme*. Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg, 1991.
- [Kot00a] A. Kotok. *A Survey of XML Business Data Exchange Vocabularies*. NN, URL: <http://www.xml.com/pub/a/2000/02/23/ebiz/index.html>, 05.04.2000, 2000.
- [Kot00b] H. Kotzab. *Zum Wesen von Supply Chain Management vor dem Hintergrund der betriebswirtschaftlichen Logistikkonzeption - erweiterte Überlegungen*. in: H. Wildemann (Hrsg.) Supply Chain Management, TCW, München, 2000.
- [Kra91] H. Krallmann. *Verteilte Wissensbasierte Systeme in der Fertigung*. in: Computer Magazin, 20. Jg., Heft 4/5, S. 26–31, 1991.
- [Kra94] D. Kramer. *Kostenorientierte Reihenfolgeplanung*. Verlag Josef Eul, Bergisch Gladbach, Köln, 1994.

- [Krc00] H. Krcmar. *Informationsmanagement*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Kre90] H. Kreikebaum. *Industrielle Unternehmensorganisation*. in: M. Schweizer (Hrsg.) *Industriebetriebslehre*. Vahlen Verlag, München, 1990.
- [Kre97] M. Krebs, R. Rock. *Unternehmensnetzwerke - eine intermediäre oder eigenständige Organisationsform?* in: J. Sydow, A. Windeler (Hrsg.) *Management interorganisationaler Beziehungen*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1997.
- [Kre98] M. Krebs. *Die virtuelle Unternehmung als Wissensorganisation: Potentiale und Grenzen des Wissensmanagements*. Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, Arbeitspapiere des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft, Wuppertal, 1998.
- [Kre00a] R. Kreft. *ASP - Ein zukunftsweisendes Geschäftsmodell verändert den IT-Markt*. in: A.W. Scheer (Hrsg.) *E-Business, Wer geht? Wer bleibt? Wer kommt?* Physica-Verlag, Heidelberg, 2000.
- [Kre00b] S. Kreidler. *Ökonomik der industriellen Bearbeitung*. Verlag Eco-Performance, Zürich, 2000.
- [Kre00c] V. Kretschmer. *ASP takes off*. in: *ASP-Magazin*, 6/2000. H&T Verlagsgesellschaft, München, 2000.
- [Kry97a] U. Krystek, W. Redel, S. Repegather. *Erfolgsfaktoren und Elemente der Virtualität*. in: *Gablers Magazin*, Heft 3, S. 12-15, 1997.
- [Kry97b] U. Krystek, W. Redel, S. Repegather. *Grundzüge virtueller Organisationen: Elemente u. Erfolgsfaktoren, Chancen u. Risiken*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997.
- [Kü82] H.-U. Küpper. *Ablauforganisation*. Fischer Verlag, Stuttgart, 1982.
- [Kü93] H. Kühnle. *Wege zur Fraktalen Fabrik*. in: *IO Management*, Heft 4, S. 66-71, 1993.
- [Kü95] H.-U. Küpper. *Controlling: Konzeption, Aufgaben und Instrumente*. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1995.
- [Kü97a] H. Kühnle, H.-W. Ahrend, W. Reising. *Fraktale Fabrik*. in: *wt- Produktion und Management*, S. 111-114, 1997.
- [Kü97b] H.-U. Küpper. *Controlling*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Kü99] F. Kürten. *Überschaubarer Aufwand*. in: *Industrielle Informationstechnik*, Heft 1, S. 27-32, Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [Kü01] H.-U. Küpper. *Controlling*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 2001.

- [Kuh92] R. Kuhn. *Technologieplanungssystem Fräsen. Wissensbasierte Auswahl von Werkzeugen, Schneidkörpern, und Schnittbedingungen*. Universität Karlsruhe, 1992.
- [Kuh98a] A. Kuhn, B. Hellinggrath, M. Kloth. *Anforderungen an das Supply Chain Management der Zukunft*. Management & Consulting, 13. Jg., Heft 3, 1998.
- [Kuh98b] A. Kuhn, H. Beckmann. *Die partizipative Fabrik*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 3, S. 87-91, 1998.
- [Kur99] K. Kurbel. *Produktionsplanung und -steuerung: methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen*. Oldenbourg Verlag, München, 4. Auflage, 1999.
- [Laa87] P. J. M. Van Laarhoven, E. H. L. Aarts. *Simulated Annealing: Theory and Applications*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1987.
- [Lan98] K.W. Lange. *Die virtuelle Fabrik*. in: Betriebs-Berater, Heft 23, S. 1165–1171, 1998.
- [Lan01] O. Langer, W. Benn. *Semistructural Databases meet Multi-Agent-Systems*. in: Proceedings of the 16th International Conference on Production Research, Prague, Czech Republic, 2001.
- [Lau93] H. Laux, F. Liermann. *Grundlagen der Organisation*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993.
- [Law85] E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan, D. B. Shmoys. *The Traveling Salesman Problem*. John Wiley & Sons, 1985.
- [Law93] E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan, D. B. Shmoys. *Sequencing and Scheduling: Algorithms and Complexity*. in: S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan, H. P. Zipkin (ed.) Logistics of production and inventory, vol. 4, North-Holland, Amsterdam, London, New York, Tokyo, 1993.
- [Lek93] Lektorat des BI-Wissenschaftsverlags. *Duden Informatik: ein Sachlexikon für Studium und Praxis*. Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 1993.
- [Len84] J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan. *New directions in scheduling theory*. Operations Research Letters 2, pp. 255–259, 1984.
- [Leo00] N. Leong. *Application Service Providers, a Market Overview*. in: SCN Education B. V. (Ed.) ASP - Application Service Providing - The Ultimate Guide to Hiring Rather than Buying Applications. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden, 2000.

- [Lie84] R. Liedl. *Ablaufplanung bei auftragsorientierter Werkstattfertigung - Analyse situationsspezifischer Strukturdefekte und ihrer Lösungsmöglichkeiten*. LitVerlag, Münster, 1984.
- [Lin97] F. A. Linden. *Wachsen im Netz*. in: Manager Magazin, Heft 7, S. 103–113, 1997.
- [Lit00] P. Littmann, S.A. Jansen. *Oszillodox. Virtualisierung - die permanente Neuerfindung der Organisation*. Klett Cotta Verlag, Stuttgart, 2000.
- [Loo97] P. Loos, T. Allweyer. *Dezentrale Planung und Steuerung in der Fertigung - quo vadis*. in: A.-W. Scheer (Hrsg.) *Organisationsstrukturen und Informationssysteme auf dem Prüfstand*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1997.
- [Loo99] P. Loos. *Grunddatenverwaltung und Betriebsdatenerfassung als Basis der Produktionsplanung und -steuerung*. in: H. Corsten, B. Friedl (Hrsg.) *Produktionscontrolling*, S. 227–252, Vahlen Verlag, München, 1999.
- [Loo02] H. S. Loos, B. Fritzke. *JavaApplet DemoGNG*.
URL:http://www.neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de/VDM/research/gsn/DemoGNG/GNG_d.html, Ruhr-Universität Bochum, 24.06.2002, 2002.
- [Mac93] K. Macharzina. *Unternehmensführung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1993.
- [Mal96] Fredmund Malik. *Strategie des Managements komplexer Systeme*. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 5. Auflage, 1996.
- [Mal98] T.W. Malone, R.J. Laubacher. *The dawn of the E-Lance economy*. in: Harvard Business Manager, Sept/Oct, pp. 145–153, 1998.
- [Mal99] T.W. Malone, R.J. Laubacher. *Vernetzt, klein und flexibel - die Firma des 21. Jahrhunderts*. in: Harvard Business Manager, Heft 2, pp. 28–36, 1999.
- [Man63] A. S. Manne. *On the Job-shop Scheduling Problem*. in: J. F. Muth, G. L. Thompson (Ed.) *Industrial Scheduling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.
- [Man94] V. Maniezzo, M. Dorigo, A. Colorni. *The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem*. Technical Report IRIDIA/94-28, Université Libre de Bruxelles, Belgium, 1994.
- [Man99] N. G. Mankiw. *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1999.

- [Mar74] A. Marettek. *Budgetierung*. in: E. Grochla, W. Wittmann (Hrsg.) Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre, Sp. 1031–1038, 1974.
- [Mar76] J. G. March, H. A. Simon. *Organisation und Individuum. Menschliches Verhalten in Organisationen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1976.
- [Mar91] T. M. Martinetz, K. J. Schulten. *A neural-gas network learns topologies*. in: T. Kohonen, K. Mäkisara, O. Simula und J. Kangas (Eds.): *Artificial Neural Networks*, North-Holland, Amsterdam, pp. 397–402, 1991.
- [Mas01] B. Maso. *JMS: A Solution in Search of a Problem?* Java-Zone, URL: <http://www.java-zone.com/free/articles/MasoJMS02/Maso02-1.asp>, 28.02.2002, 2001.
- [Mat99] B. Matzke. *ABAP/4: Die Programmiersprache des SAP-Systems R/3*. Addison-Wesley, Bonn, München, Paris, 1999.
- [Mat01] X. Matschke. *Das Prinzipal-Agent-Modell adverser Selektion*. in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 8, S. 435-437, 2001.
- [Max00] M. C. Maxwell. *ASP Grows Up*. Andrews Consulting Group, Cheshire, USA, 2000.
- [Mef92] H. Meffert, H. Wagner. *Qualifikation und Ausbildung von Führungskräften*. in: *Zeitschrift für Planung* Nr. 3/1992, 1992.
- [Mei99] H. Meinhövel. *Defizite der Principal-Agent-Theorie*. Verlag Josef Eul, Bergisch Gladbach, Köln, 1999.
- [Mei01] H. Meier, T. Teich, H. Schallner. *Order Management in Non-Hierarchical Production Networks using Genetic Algorithms*. in: *Proceedings of Prolamat 2001*, Budapest, Hungary, November 7, pp. 382–393, 2001.
- [Men93] G. Mensch. *Budgetierung – Ein Ansatz zur inhaltlichen Abgrenzung*. in: *Der Betriebswirt*, Heft 6, S. 819–827, 1993.
- [Men98] U. Mende. *Softwareentwicklung für R/3*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [Mer81] P. Mertens, L. Weigand. *Vorteile abgestufter dezentralisierter EDV-Konzepte in einem Großbetrieb*. in: *Online* 10, S. 744–760, 1981.
- [Mer89] P. Mertens, R. J. N. Hildebrand, W. Kotschenreuther. *Verteiltes wissensbasiertes Problemlösen im Fertigungsbereich*. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 8. Jg., S. 839–854, 1989.
- [Mer93] P. Mertens, J. Griese. *Integrierte Informationsverarbeitung. Band 1: Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 9. Auflage, 1993.

- [Mer94a] P. Mertens. *Virtuelle Unternehmen*. in: *Wirtschaftsinformatik* 36 (1994) 2, 1994.
- [Mer94b] P. Mertens. *Prognoserechnung*. Physica-Verlag, Heidelberg, 5. Auflage, 1994.
- [Mer95] P. Mertens, W. Faisst. *Virtuelle Unternehmen - eine Organisationsstruktur für die Zukunft?* in: *Technologie und Management*, Heft 2, S. 61–68, 1995.
- [Mer96] P. Mertens, W. Faisst. *Virtuelle Unternehmen - eine Organisationsstruktur für die Zukunft?* in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 5, S. 280-285, 1996.
- [Mer97] P. Mertens, W. Faisst. *Virtuelle Unternehmen: Idee, Informationsverarbeitung, Illusion*. in: A.-W. Scheer (Hrsg.) *Organisationsstrukturen und Informationssysteme auf dem Prüfstand*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1997.
- [Mer98] P. Mertens, J. Griese, D. Ehrenberg. *Virtuelle Unternehmen und Informationsverarbeitung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- [Mer99a] P. Mertens, A. Zeier. *ATP - Available-to-Promise*. *Wirtschaftsinformatik* 41 (1999) 4, S. 378–379, 1999.
- [Mer99b] P. Mertens, W. Faisst, A. Zeier. *Rechnergestützte Koordination von Geschäftspartnern beim Auftragsdurchlauf*. in: P. Faller (Hrsg.) *Transportwirtschaft im Umbruch*, S. 353–361, Linde, Wien, 1999.
- [Mer00] D. Merkle, M. Middendorf, H. Schmeck. *Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling*. in: *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, Las Vegas, Nevada, S. 697–701, 2000.
- [Mey99] H. Meyr. *Simultane Losgrößen- und Reihenfolgeplanung für kontinuierliche Produktionslinien*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Mey00a] H. Meyr, J. Rohde, H. Stadtler, C. Sürie. *Supply Chain Analysis*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2000.
- [Mey00b] H. Meyr, J. Rohde, M. Wagner. *Architecture of Selected APS*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2000.

- [Mey02a] M. Meyer, J. Aderhold, T. Teich. *Optimisation of social structure in business network by Grid-technique and Polyhedral analysis*. in: Proceedings of the 10th North American Personal Construct Network, , July 10-14, Vancouver, Canada, 2002.
- [Mey02b] M. Meyer, J. Aderhold, T. Teich. *Personal Management and Controlling in Business Networks - Optimization of the social structure by Grid-technique and Polyhedral analysis*. in: Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, vol II, July 14-18, Orlando, Florida, pp. 67–72, 2002.
- [Mil84] R. E. Miles, C. C. Snow. *Fit, Failure and the Hall of Fame*. in: California Management Review, No. 3 (Spring), pp. 10–28, 1984.
- [Mil86] R. E. Miles, C. C. Snow. *Organizations: New concepts for new forms*. in: California Management Review, No. 3 (Spring), pp. 62–73, 1986.
- [Mil92] R. E. Miles, C. C. Snow. *Causes of Failure in Network Organizations*. in: California Management Review, No. 4 (Summer), pp. 53–72, 1992.
- [Mil99] T. Milo, D. Suci. *Index Structures for Path Expressions*. in: Proceedings of the International Conference on Database Theory, 1999.
- [Mit69] J. C. Mitchel (ed.). *Social Networks in Urban Situations*. Manchester University Press, Manchester, 1969.
- [Mit95] J. Mittelstraß (Hrsg.). *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Ernst Poeschel Verlag GmbH, Stuttgart, 1995.
- [MM70] H. Müller-Merbach. *Optimale Reihenfolgen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1970.
- [MM76] H. Müller-Merbach. *Morphologie heuristischer Verfahren*. in: Zeitschrift für Operations Research, Band 20, S. 69–87, Physica-Verlag, Würzburg, 1976.
- [MM81] H. Müller-Merbach. *Heuristics and their design: a survey*. in: European Journal of Operations Research, vol. 8, pp. 1–23, 1981.
- [Mon00] R. Monson-Haefel, D. Chappell. *Java Message Service*. O' Reilly & Associates, Inc., Cambridge, Peking, 2000.
- [Moo97] A. Moos, G. Daues. *Datenbank-Engineering*. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 1997.
- [Mow86] A. Mowshowitz. *Social Dimensions of Office Automation*. in: M. C. Yovits (Ed.) *Advances in Computers*, vol. 25. Academic Press, Inc., Orlando, San Diego, New York, Austin, 1986.

- [Mow97] A. Mowshowitz. *Virtual Organization*. in: Communications of the ACM, Heft 9, pp. 30–37, 1997.
- [Mü95] T. Müthlein. *Virtuelle Unternehmen*. Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung, Heft 185, S. 68–77, 1995.
- [Mü97a] G. Müller. *Fuzzy Logic*. URL: <http://www.gerhardmueller.de/docs/FuzzyLogic/FuzzyLogic.ps.gz>, 24.06.2002, 1997.
- [Mü97b] G. Müller-Stewens. *Auf dem Weg zur Virtualisierung der Prozessorganisation*. in: G. Müller-Stewens (Hrsg.) Virtualisierung von Organisationen. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Mü97c] G. Müller-Stewens. *Das Netzwerkmanagement in der virtuellen Fabrik*. in: G. Müller-Stewens (Hrsg.) Virtualisierung von Organisationen. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Mü97d] G. Müller-Stewens. *Grundzüge einer Virtualisierung*. in: G. Müller-Stewens (Hrsg.) Virtualisierung von Organisationen. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Muc95] D. Much, H. Nicolai. *PPS-Lexikon*. Cornelsen Girardet, Berlin, 1995.
- [Mül93] J. Müller. *Verteilte Künstliche Intelligenz: Methoden und Anwendungen*. BI-Wissenschafts-Verlag, Mannheim, Leipzig, Wien; Zürich, 1993.
- [Mut63] J. F. Muth; G. L. Thompson. *Industrial Scheduling*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.
- [Nag99] K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller (Hrsg.). *Produktionswirtschaft 2000*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Nav01] Navision. *Annual Report 2000/2001*. URL: http://www.navision.com/de/mediafiles/newdoc/FACTSHEETS_PDF/6/Annual_Report-2000-2001/engl.pdf, 24.06.2002, 2001.
- [Neu93] K. Neumann, M. Morlock. *Operations Research*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993.
- [Neu00] R. Neubert, O. Görlitz, W. Benn. *Incorporating Knowledge Technology in Databases*. KnowTech 2000 Conference and Exhibition, Leipzig, 2000.
- [Neu01a] R. Neubert, O. Görlitz, J. Mehnert. *IT Unterstützung der Genese von Fertigungsnetzen*. in: T. Teich (Hrsg.) Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Neu01b] R. Neubert, O. Görlitz, W. Benn. *Towards Content-Related Indexing in Databases*. 9. GI-Fachtagung, Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft, Oldenburg, 2001.

- [Neu01c] R. Neugebauer, P. Wieland, C. Hochmuth. *Fertigungskompetenzzellen*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Neu02a] R. Neubert, O. Görlitz, T. Teich. *Abgleich von Angebots- und Anforderungsvektoren von Kompetenzzellen für die automatische Generierung von Prozessketten*. in: *PPS-Management* 7 (2002) 1, S. 60–63, 2002.
- [Neu02b] R. Neubert, O. Görlitz, W. Benn, T. Teich. *Obstacles for Neural Network Application in the ICIx Database Index*. in: *Proceeding of International Joint Conference on Neural Networks 2002, Honolulu, USA, May 12-17, 2002*, pp. 2351–2357, 2002.
- [Nie96] U. Nieländer. *Zur optimalen Konfigurierung und Steuerung diskreter Systeme, insbesondere Fertigungssysteme, mittels Evolutionärer Algorithmen und Simulation*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 1996.
- [Nie00] J. Niederst. *HTML. Kurz und gut*. O' Reilly & Associates, Inc., Santa Clara, California, 2000.
- [Nis94] V. Nissen. *Evolutionäre Algorithmen*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Nol99] U. Nolte. *Transaktionskostenbasierte Modellierung und Simulation von Personalressourcen in virtuellen Unternehmen*. Institut für Betriebswirtschaft und Fabrikssysteme, TU Chemnitz, 1999.
- [Nor34] F. Nordsieck. *Grundlagen der Organisationslehre*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1934.
- [Not94] M. Noth. *Regulierung bei asymmetrischer Informationsverteilung*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Now97] R. Nowak. *WWW*. in: H. J. Schneider (Hrsg.) *Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1997.
- [Obe91] T. Obermeier. *Kapazitätsorientierte Produktionsplanung bei variantenreicher Serienfertigung am Beispiel des Siemens Gerätewerks Regensburg*. Dissertation, Regensburg, 1991.
- [Obj02] Object Management Group. *Catalog of OMG CORBA(TM)/IIOP(TM) Specifications*. Object Management Group, Inc., URL: http://www.omg.org/technology/documents/corba_spec_catalog.htm, 24.06.2002.
- [Oet94] S. Oeters, O. Voitke. *DV-gestützte Produktionsplanung*. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, Wiesbaden, 1994.
- [Olb94] T. J. Olbrich. *Das Modell der virtuellen Unternehmen*. in: *Information Management*, Heft 4, S. 28–36, 1994.

- [Orl75] J. Orlicky. *Material Requirements Planning*. McGraw-Hill, Inc., New York, London, Tokyo, 1975.
- [Ort01] L. Ortmann. *Lieferzusagen machen und einhalten im Rahmen einer Supply Chain Collaboration*. in: Collaborative Business Solutions, Online Verlag, 2001.
- [Ost00] M. Osterloh, J. Frost, I. von Wartburg. *Prozeßmanagement als Kernkompetenz: Wie Sie Business Reengineering strategisch nutzen können*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000.
- [Ott01] A. Otto. *Aufgaben des kostenorientierten Controllings zur Steuerung der Supply Chain*. Kostenrechnungspraxis, Sonderheft 3, S. 80–84, 2001.
- [o.V99] o.V. *Future of ERP*. URL: <http://erp.india.hypermart.net>, 27.01.2001, 1999.
- [o.V02] o.V. *Langenscheidts Fremdwörterbuch online*. URL: <http://www.langenscheidt.aol.de>, 24.06.2002, 2002.
- [Pag01] P. Pagé, T. Ehring. *Electronic Business und New Economy*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [Pap87a] F. U. Pappi. *Die Netzwerkanalyse aus soziologischer Perspektive*. in: F. U. Pappi (Hrsg.) *Methoden der Netzwerkanalyse*, S. 11–38. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1987.
- [Pap87b] F. U. Pappi (Hrsg.). *Methoden der Netzwerkanalyse*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1987.
- [Pap88] L. Papula. *Mathematik für Ingenieure 1*. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 1988.
- [Pap95] Y. Papakonstantinou, H. Garcia-Molina, J. Widom. *Object Exchange across heterogeneous Information Sources*. IEEE International Conference on Data Engineering, pp. 251–260, 1995.
- [Par87] H. Van Dyke Parunak. *Manufacturing Experience with the Contract Net*. in: M. N. Huhns (Ed.) *Distributed Artificial Intelligence*, pp. 285–310, London, Los Altos, 1987.
- [Par88] H. Van Dyke Parunak. *Distributed Artificial Intelligence Systems*. in: A. Kusiak (Ed.) *Artificial Intelligence - Implications for CIM*, pp. 225–251, Kemsten, 1988.
- [Par90] H. Van Dyke Parunak. *Distributed AI and Manufacturing Control: Some Issues and Insights*. in: Y. Demazeau (Ed.) *Decentralized A. I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent-World*, Cambridge, pp. 81–101, Amsterdam, North-Holland, 1990.

- [Pau84] R. Paulik. *Kostenorientierte Reihenfolgeplanung bei Werkstattfertigung, Eine Simulationsstudie*. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 1984.
- [Pay97] D. de Pay. *Transaktionskostentheorie*. in: H. Corsten (Hrsg.) Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 3. Auflage, 1997.
- [Pei92] H.-O. Peitgen. *Bausteine des Chaos: Fraktale*. Klett-Cotta Verlag, Berlin, 1992.
- [Pet97] J. Petermann, U. Riedel. *Kooperation als Überlebensstrategie*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 9, S. 409-410, 1997.
- [Pfa98] D. Pfaff, P. Zweifel. *Die Principal-Agent Theorie*. in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium 1998, S. 184-190, 1998.
- [Pfe94] W. Pfeiffer, E. Weiß. *Technologieorientierte Wettbewerbsstrategien*. in: H. Corsten (Hrsg.) Handbuch Produktionsmanagement, S. 276-291, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Pic82] A. Picot. *Transaktionskostenansatz in der Organisationstheorie*. in: Die Betriebswirtschaft, Heft 2, S. 267-284, 1982.
- [Pic90] A. Picot, H. Dietl. *Transaktionskostentheorie*. in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Heft 4, S. 178-184, 1990.
- [Pic91] A. Picot. *Ein neuer Ansatz zur Gestaltung der Leistungstiefe*. in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Heft 4, S. 336-357, 1991.
- [Pic96] A. Picot, R. Reichwald, R. T. Wigand. *Die grenzenlose Unternehmung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996.
- [Pic97] A. Picot, H. Dietl, E. Franck. *Organisation - Eine ökonomische Perspektive*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Pic98] A. Picot, R. Reichwald, Rolf T. Wigand. *Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 3. Auflage, 1998.
- [Pic99a] A. Picot, H. Dietl, E. Franck. *Organisation*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 1999.
- [Pic99b] A. Picot, R. Reichwald. *Führung in virtuellen Organisationsformen*. in: K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller (Hrsg.) Produktionswirtschaft 2000. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Pic01] A. Picot, R. Reichwald, R. T. Wigand. *Die grenzenlose Unternehmung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 4. Auflage, 2001.

- [Pio98] J. Piontek. *Kooperationsform der Zukunft*. in: Logistik Heute, Heft 5, S. 43-48, 1998.
- [Plo95] G. Plossl. *Orlicky's Material Requirements Planning*. McGraw-Hill, Inc., New York, London, Tokyo, 1995.
- [Plu02] D. Plummer, D. Smith, W. Andrews. *What Web services will and won't do*. Gartner Research, Stamford, URL: <http://www.gartner.com> Resource ID: 352932, 03.06.2002, 2002.
- [POM02] POM Prof. Tempelmeier GmbH. *Available-to-promise (ATP)*. URL: <http://www.advanced-planning.de/advancedplanning-293.htm>, 24.06.2002, 2002.
- [Por98] M. E. Porter. *Clusters and the new economic of competition*. in: Harvard Business Manager, Heft Nov./Dec., pp. 77-90, 1998.
- [Por99] M. E. Porter. *Unternehmen können von regionaler Vernetzung profitieren*. in: Harvard Business Manager, Heft 3, S. 51-63, 1999.
- [Pos86] C. Posthoff, D. Bochmann, K. Haubold. *Diskrete Mathematik*. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig, 1986.
- [Pra90] C. K. Prahalad, G. Hamel. *The core competence of the corporation*. in: Harvard Business Review, 68(1990), pp. 79-93, 1990.
- [Pra96] C. Prange, G. Probst, C.-C. Rühling. *Lernen zu kooperieren - Kooperieren um zu lernen*. in: Zeitschrift für Organisation, Bd. 65, Heft 1, S. 10-16, 1996.
- [Pre97] P. R. Preissler. *Controlling*. Oldenbourg Verlag, München, 1997.
- [Pro87] G. J. B. Probst. *Selbst-Organisation*. Parey, Berlin, Hamburg, 1987.
- [Pro94] B. Probst. *Die Ordnung von sozialen Systemen: Resultat von Organisieren und Selbstorganisation*. in: Zeitschrift für Führung und Organisation (1994)8, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1994.
- [Pug68] D. S. Pugh. *Dimensions of Organization Structure*. in: Administrative Science Quarterly, Heft 13. 1968.
- [Put01] A. Putscher, K. Erdem, C. Sommer. *Präsentationsunterlagen für VO WebEngineering*. Wirtschaftsuniversität Wien, URL: <http://www.wu-wien.ac.at/usr/h96b/h9625793>, 24.06.2002, 2001.
- [Qua99] Quantiv. *The Future of ERP*. Quantiv Limited, Thornley House, Carrington Business Park, Carrington, Manchester M31 4ZU, URL: <http://www.quantiv.com/quantiv/quantiv-technology.htm>, 02.03.2000, 1999.

- [Rae93] A. Raeithel. *Auswertungsmethoden für Repertory Grids*. in: J. W. Scheer, A. Catina (Hrsg.) Einführung in die Repertory Grid Technik, Band I: Grundlagen und Methoden, S. 41–67. Huber Verlag, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [Raj02a] G. S. Raj. *EJB Containers*. Web Corncopia©, URL: <http://www.execpc.com/~gopalan>, 28.05.2002, 2002.
- [Raj02b] G. S. Raj. *EJB Servers*. Web Corncopia©, URL: <http://www.execpc.com/~gopalan>, 28.05.2002, 2002.
- [Ram02] V. Ramachandran. *Design Patterns for Building Flexible and Maintainable J2EE Applications*. Sun, Java Developer Connection (TM), URL: <http://developer.java.sun.com/developer/technicalArticles/J2EE/despat>, 05.03.2002, 2002.
- [Rat94] Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion (Hrsg.). *Duden, Das große Fremdwörterbuch*. Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 1994.
- [Rec73] I. Rechenberg. *Evolutionstrategien*. Friedrich Frommann Verlag, Stuttgart, 1973.
- [Ree93] C. R. Reeves. *Using Genetic Algorithms with small Populations*. in: S. Forrest (Ed.) Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms and their Applications, pp. 92–99, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1993.
- [REF91a] REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. *Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Steuerung, Teil 1–6*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1991.
- [REF91b] REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. *Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Steuerung, Teil 1-6*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1991.
- [Reh79] G. Rehwinkel. *Erfolgsorientierte Reihenfolgeplanung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1979.
- [Rei65] S. Reiter, G. Sherman. *Discrete Optimizing*. Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Applied Mathematics 13, pp. 864–889, 1965.
- [Rei93] R. Reichwald. *Die Wirtschaftlichkeit im Spannungsfeld von betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis*. Arbeitsberichte des Lehrstuhls für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre Band 1, München, 1993.

- [Rei94] G. Reinelt. *The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications*. in: Lecture Notes in Computer Science, Band 840. Springer Verlag, 1994.
- [Rei95] G. Reinhart, J. Milberg (Hrsg.). *Unternehmensorganisation: Schlüssel für eine effiziente Produktion*. Utz Verlag, München, 1995.
- [Rei96a] G. Reinhart, B. Mehler, K. Schliffenbacher. *Virtuelle Unternehmen - Chance für produzierende Betriebe in Deutschland*. in: Industrie Management, Heft 6, S. 6-9, 1996.
- [Rei96b] M. Reiss. *Grenzen der grenzenlosen Unternehmung*. in: Die Unternehmung, Heft 3, S. 195-206, 1996.
- [Rei96c] M. Reiss. *Organisatorische und personelle Barrieren*. in: Office Management, Heft 5, S. 10-13, 1996.
- [Rei96d] M. Reiss. *Personelle und organisatorische Grenzen der Virtuellen Unternehmung*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 6, S. 268-272, 1996.
- [Rei97a] R. Reichwald. *Neue Arbeitsformen in der vernetzten Unternehmung: Flexibilität und Controlling*. in: A. Picot (Hrsg.) Information als Wettbewerbsfaktor, Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Rei97b] G. Reinhart, K. Schliffenbacher. *Zehn Unternehmen erproben in Augsburg den Verbund auf Zeit*. in: Blick durch die Wirtschaft (FAZ), 26.11.1997, Ausgabe 228, 1997.
- [Rei97c] M. Reiss. *Virtuelle Organisation auf dem Prüfstand*. in: VDI-Zeitschrift, Heft 1/2, S. 24-27, 1997.
- [Rei99] H. Reibold. *Im Test: Application Server bis 30.000 DM*. ZDNet, URL: http://www.zdnet.de/produkte/artikel/sw/199906/webappserver01_01-ec.html, 18.11.2000, 1999.
- [Rei00a] G. Reinhart, S. Brandner. *Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken*. in: Industrie Management 1 (2000) 1, S. 8-12, 2000.
- [Rei00b] G. Reinhart, V. Weber, W. Rudorfer. *Marktresponsive Supply Chains auf Basis kompetenzzentrierter Unternehmensnetzwerke*. in: Industrie Management, Heft 1, S. 35-40, 2000.
- [Rei00c] M. Reiss. *Netzwerkunternehmer: Fallstudien netzwerkintegrierter Spin-offs, Ventures, Start-ups und KMU*. Vahlen Verlag, München, 2000.
- [Rei02] M. Reiter. *Trendanalyse - Hohe Integrationskosten nerven Mittelstand*. in: Computerzeitung, Nr. 23, S. 9, Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 2002.

- [Rho01] M. Rhode, M. Rittenbruch, V. Wulf. *Auf dem Weg zur virtuellen Organisation*. Physica-Verlag, Heidelberg, 2001.
- [Ric88] K. Richter, P. Bachmann, S. Dempe. *Diskrete Optimierungsmodelle: effektive Algorithmen und näherungsweise Lösung*. Verlag Technik, Berlin, 1988.
- [Ric96a] K. Richter. *The extended EOQ repair and waste disposal model*. in: International Journal of Production Economics, Elsevier Science, Netherlands, issue 45, pp. 443–447, 1996.
- [Ric96b] K. Richter. *Modellierungsansätze für kombinierte Wiederverwendungs- und Entsorgungsprozesse*. in: H. Wildemann (Hrsg.) Produktions- und Zuliefernetze. TCW Transfer-Centrum Verlag, München, 1996.
- [Ric99] K. Richter, I. Dobos. *Analysis of the EOQ repair and waste disposal model with integer setup numbers*. in: International Journal of Production Economics, Elsevier Science, Netherlands, issue 59, pp. 463–467, 1999.
- [Rie81] R. Riedl. *Biologie der Erkenntnis - die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft*. Berlin, 1981.
- [Rie00] P. Riebel. *Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung. Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmensrechnung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000.
- [Rij79] C. J. van Rijsbergen. *Information Retrieval*. Butterworths, London, 1979.
- [Rin99] K. Ring, N. Ward-Dutton. *Enterprise Application Integration: Making the right Connections*. Ovum, London, 1999.
- [Rob99] H.-P. Robert. *Von der unternehmenszentrischen zur kundenzentrischen Prozeßkette – Mit Supply Chain Management in die Zukunft*. in: PPS-Kongreß Proceedings, 21. PPS-Kongreß, Berlin, 4.–6. November 1999, S. 135–147, Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung e. V., Berlin, 1999.
- [Roh00] J. Rohde, M. Wagner. *Master Planning*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer, Berlin, 2000.
- [Rom94] H. Rommelfanger. *Fuzzy Decision Support-Systeme: Entscheiden bei Unschärfe*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 1994.
- [Rom02] E. Roman, S. Ambler, T. Jewell. *Mastering Enterprise JavaBeans - Second Edition*. Wiley Computer Publishing, New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapur, Toronto, 2002.

- [Ros00] P. M. Rose. *Analyse ausgewählter Methoden zur Identifikation dynamischen Kernkompetenzen*. Hampp Verlag, München, 2000.
- [Rot01] S. Roth. *Screening- und Signaling-Modelle*. Wirtschaftswissenschaftliches Studium, S. 372–378, 2001.
- [Rou95] O. Rousek. *Integrative Anreizsysteme*. J. W. Goethe-Universität, Frankfurt am Main, 1995.
- [Roy64] S. Roy, B. Sussmann. *Les problèmes d'ordonnancement avec contraintes disjonctives*. Technical Report Note DS 9 bis, SEMA, Paris, 1964.
- [Rud99] W. Rudorfer. *Wandlungsfähigkeit in Produktionsstrukturen und kooperationsnetzwerken*. in: J. Milberg, G. Reinhart (Hrsg.) *Produzieren in Netzwerken*, Seminarberichte iwB, 45. Herbert Utz Verlag, München, 1999.
- [Saa80] T. L. Saaty. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York, 1980.
- [Saa90] T. L. Saaty. *Exposition of AHP in Reply to Dyer*. *Management Science* 36, pp. 259-268, 1990.
- [SAP96] SAP. *Schulungsunterlagen zum Kurs LO250: Konfiguration und Organisation PP, R/3-System Release 3.0*. SAP AG, Walldorf, 1996.
- [SAP98] SAP. *R/3-System Release 4.0B – Online Documentation auf CD*. SAP AG, Walldorf, 1998.
- [SAP99a] SAP. *mySAP Exchanges Funktionen*. SAP AG, URL: <http://www.sap-ag.de/germany/solutions/exchanges/keycapabilities.asp>, 28.06.2000, 1999.
- [SAP99b] SAP. *SAP's Release Strategy*. SAP AG, URL: <http://www.sap-ag.de/germany/media/mcenter.asp?ID=42>, 08.02.2000, 1999.
- [SAP01] SAP. *SAP Advanced Planner and Optimizer: Production Planning and Detailed Scheduling*. SAP AG, Walldorf, 2001.
- [SAP02a] SAP. *SAP Advanced Planner and Optimizer*. SAP AG, URL: <http://www.sap.com/solutions/scm/apo>, 28.05.2002, 2002.
- [SAP02b] SAP AG. *ATP-Menge - Logistik Allgemein (LO)*. URL: http://help.sap.com/saphelp_46b/helpdata/de/6d/e92c7dd435d1118b3f0060b03ca329/content.htm, 24.06.2002, 2002.
- [Sch79] P. Schwarz. *Morphologie von Kooperationen*. Mohr Verlag, Tübingen, 1979.

- [Sch83] A.-W. Scheer. *Computergestützte Produktionsplanung und -steuerung*. in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 53/1983.
- [Sch88] A.-W. Scheer. *Wirtschaftsinformatik, Informationssysteme im Industriebetrieb*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2. Auflage, 1988.
- [Sch91] C. Schneeweiß. *Planung 1: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991.
- [Sch92a] C. Schneeweiß. *Einführung in die Produktionswirtschaft*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 1992.
- [Sch92b] M. Schweitzer. *Industriebetriebslehre: das Wirtschaften in Industrieunternehmen*. Vahlen Verlag, München, 1992.
- [Sch93a] J. W. Scheer. *Planung und Durchführungen von Repertory Grid-Untersuchungen*. in: J. W. Scheer, A. Catina (Hrsg.) Einführung in die Repertory Grid Technik. - Band I: Grundlagen und Methoden, S. 24–40. Huber Verlag, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [Sch93b] J. W. Scheer, A. Catina. *Psychologie der Persönlichen Konstrukte und Repertory Grid-Technik*. in: J. W. Scheer, A. Catina (Hrsg.) Einführung in die Repertory Grid Technik. - Band I: Grundlagen und Methoden, S. 8–10. Huber Verlag, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993.
- [Sch94a] K. Scholl, K. Niemand. *Die fraktale Fabrik in der Praxis*. in: IO Management, Heft 6, S. 42–46, 1994.
- [Sch94b] E. Schöneburg, F. Heinzmann, S. Feddersen. *Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien*. Addison-Wesley, Bonn, München, Paris, 4. Auflage, 1994.
- [Sch94c] M. Schroeder. *Fraktale, Chaos und Selbstähnlichkeit - Notizen aus dem Paradies der Unendlichkeit*. Spektrum Verlag, Oxford, 1994.
- [Sch95a] A.-W. Scheer. *Wirtschaftsinformatik, Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 6. Auflage, 1995.
- [Sch95b] C. Schulte. *Logistik*. München, .2 Auflage, 1995.
- [Sch96a] A.-W. Scheer, W. Hoffmann, P. Hirschmann. *Die Initiierung virtueller Unternehmen*. in: Industrie Management, Heft 6, S. 10–14, 1996.
- [Sch96b] C. Scholz. *Virtuelle Organisation: Konzeption und Realisation*. in: Zeitschrift für Organisation, S. 204–210, 1996.

- [Sch96c] A. Schröder. *Management virtueller Unternehmungen*. Campus Verlag, Frankfurt am Main, New York, 1996.
- [Sch97a] S. Schiffer, J. Templ. *Internetdienste*. in: P. Rechenberg, G. Pomberger (Hrsg.) *Informatik - Handbuch*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1997.
- [Sch97b] R. H. Schmidt, E. Terberger. *Grundzüge der Investitions- und Finanzierungstheorie*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997.
- [Sch97c] C. Scholz. *Strategische Organisation*. Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech, 1997.
- [Sch97d] G. Schuh, B.R. Katzy, S. Eisen. *Der Praxistest ist bestanden*. in: *Gablers Magazin*, Heft 3, S. 8-11, 1997.
- [Sch98a] R. Schiller. *Unternehmensnetzwerke bei kleinen und mittleren Unternehmen - Ergebnisse einer empirischen Fallstudie*. in: U. Winand et al. (Hrsg.) *Unternehmensnetzwerke und virtuelle Organisationen*, Schäffer-Poeschel Verlag Stuttgart, 1998.
- [Sch98b] K. Schliffenbacher, W. Rudorfer. *Produzieren in virtuellen Unternehmen*. in: *Planung + Produktion*, Heft 5, S. 18-21, 1998.
- [Sch98c] R. Schneider. *Die Faszination des Outsourcings*. ISB GmbH. URL: <http://www.isb-ka.de/zeitung/01-98/artikel3.htm>, 24.02.1998, 1998.
- [Sch98d] G. Schuh, J. Strack, L. Tockenbürger. *Controlling in der Virtuellen Fabrik*. in: *Kostenrechnungspraxis*, Heft 2, S. 23-24, 1998.
- [Sch98e] G. Schuh, K. Millarg, A. Göransson. *Virtuelle Fabrik - Neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1998.
- [Sch98f] G. Schuh, S. Eisen, T. Friedli. *Business Networks - Flexibilität im turbulenten Umfeld*. Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung, Heft 200, S. 25-39, 1998.
- [Sch98g] M. Schwarz. *Das MRP II-Konzept und seine Ausprägung bis zur Fertigungssteuerung (in Verbindung mit SAP R/3)*. Seminararbeit an der Professur für Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 1998.
- [Sch99a] A.-W. Scheer. *Supply Chain Management: Die Antwort auf neue Logistikanforderungen*. IDS Scheer AG, Saarbrücken, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes, DSAG-Kongreß, Saarbrücken, URL: <http://www.sap-ag.de/germany/media/mcenter.asp?ID=42>, 12.04.2000, 1999.

- [Sch99b] J. Schengili. *Über die Mauern der Fabrik hinaus*. in: Industrielle Informationstechnik, Heft 2, S. 17–19, Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [Sch99c] H. Schickel. *Controlling internationaler strategischer Allianzen*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Sch99d] R. Schneider. *Weitsicht, die sich auszahlt*. in: SAP-Info, Nr. 61, S. 35–36, SAP AG, Walldorf, 1999.
- [Sch99e] G. Schreyögg. *Organisation - Grundlagen moderner Organisationsgestaltung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 3. Auflage, 1999.
- [Sch99f] G. Schuh, M. Dierkes, T. Friedli. *Electronic Business-to-Business Commerce am Beispiel der virtuellen Fabrik*. in: Industrie Management, Heft 1, S. 9–13, 1999.
- [Sch99g] G. Schuh, T. Friedli. *Die virtuelle Fabrik*. in: K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller. (Hrsg.) Produktionswirtschaft 2000. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Sch99h] H. Schweier, E. Jehle. *Controlling logistischer Netzwerke - konzeptionelle Anforderungen und Ansätze zur instrumentellen Ausgestaltung*. in: Industrie Management, Heft 5. S. 83–87, 1999.
- [Sch00a] E. Scherm, S. Süß. *In der Diskussion: Virtuelle Unternehmen*. in: Das Wirtschaftsstudium, Heft 3, S. 311–313, 2000.
- [Sch00b] C. Scholz. *Strategische Organisation: Multiperspektivität u. Virtualität*. Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech, 2000.
- [Sch00c] C. Scholz. *Virtualisierung als Wettbewerbsstrategie für den Mittelstand?* in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 2, S. 201–211, 2000.
- [Sch00d] C. Scholz. *Personalmanagement*. Vahlen Verlag, München, 5. Auflage, 2000.
- [Sch00e] M. Schwarz. *Optimierung in der Fertigungssteuerung mit SAP R/3*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2000.
- [Sch00f] H. Schweier, F. Stüllenberg. *Netzwerk-Controlling*. in: Controlling, Heft 4/5, S. 295–260, 2000.
- [Sch01a] J. Schatzmann, R. Donehower. *Performanzprobleme, Teil 1*. in: Java Spektrum, Heft 5, S. 38–53, 101communications Verlag, Troisdorf, 2001.
- [Sch01b] W. Scholl, R. Drews. *Handbuch Mathematik*. Orbis Verlag, München, 2001.

- [Sch01c] C. A. Schumann. *Knowledge Management*. in: W. O. Riemann (Hrsg.) *Wirtschaftsinformatik*, Oldenbourg Verlag, 2001.
- [Sch01d] S. Schwerdtner. *Usage Based Billing - Von Flat Rates zur nutzungs-basierten Abrechnung*. in: *ASP-Magazin*, 2/2001. H&T Verlagsgesellschaft, München, 2001.
- [See75] H. Seelbach. *Ablaufplanung*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1975.
- [See91] T. D. Seeley, S. Camazine, J. Sneyd. *Collective Decision-Making Honey Bees: How Colonies Choose Among Hectar Sources*. in: *Behavioural Ecology and Sociobiology*, Heft 28, pp. 277–290, 1991.
- [Sel88] R. Sellien, H. Sellien (Hrsg.). *Gabler Wirtschafts-Lexikon*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 12. Auflage, 1988.
- [Seu01] S. Seuring. *Supply Chain Costing*. Vahlen Verlag, München, 2001.
- [Sha84] M. J. P. Shaw. *The Design of a Distributed Knowledge-Based System for the Intelligent Manufacturing Information System*. Purdue University, Ann Arbor, 1984.
- [Sha87a] M. J. P. Shaw. *A distributed scheduling method for computer integrated manufacturing: the use of local area networks in cellular systems*. in: *International Journal of Production Research*, vol. 25, pp. 1285–1303, 1987.
- [Sha87b] M. J. P. Shaw. *Dynamic scheduling in Cellular Manufacturing Systems: A Framework for Networked Decision Making*. in: *International Journal of Production Research*, vol. 7, S. 83-94, 1987.
- [She92] J. W. Sheridan. *The CIM evolution: Bringing people back into the equation*. in: *Industry Week*, 20.4.1992, 1992.
- [Shi88] J. P. Shim, D. L. Olson. *A Note on the Analytical Hierarchy Process. Expert Choise vs. Spreadsheet*. Mississippi State University, 1988.
- [Sie74] T. Siegel. *Optimale Maschinenbelegungsplanung - Zweckmäßigkeit der Zielkriterien und Verfahren zur Lösung des Reihenfolgeproblems*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1974.
- [Sie99] G. Siestrup. *Produktkreislaufsysteme*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999.
- [Sie00] T. Sieth. *Optimization Extension Workbench (APX)*. SAP AG, Aktuellste Powerpoint-Show zu APX, erhalten via E-Mail, 2000.
- [Sie01] M. Sieste. *Konzeption einer hostbaren Systemlösung zur Umsetzung des Extended Value Chain Managements*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2001.

- [Sih98] W. Sihn, T. Hägele. *Added Value Networks. Wettbewerbsvorteile durch Unternehmensnetzwerke.* in: Technologie und Management, Heft 5, S. 10–14, 1998.
- [Sim92] D. Simon. *Zeitgerechte Produktionssteuerung.* Technica 5/92, 1992.
- [Sin02] I. Singh, B. Stearns, M. Johnson and the Enterprise Team. *Designing Enterprise Applications with the J2EE(TM) Platform, Second Edition.* Addison-Wesley, Boston, San Francisco, New York, 2002.
- [Sla76] P. Slater (ed.). *The measurement of intrapersonal space by grid technique. Vol 1: Explorations of intrapersonal space.* Wiley, London, New York, Sydney, Toronto, 1976.
- [Smi94] P. Smith Ring, A. H. Van de Ven. *Development Processes of Cooperative Interorganizational Relationships.* in: Academy of Management Review, Vol. 19, No. 1, pp. 90–118, 1994.
- [Sol68] R. M. Solow. *Ein Beitrag zur Theorie des wirtschaftlichen Wachstums.* in: H. König (Hrsg.) Wachstum und Entwicklung der Wirtschaft. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln, Berlin, 1968.
- [Som96] K. Sommerlad. *Virtuelle Unternehmen - juristisches Niemandsland?* Office Management, Heft 7/8, S. 22–23, 1996.
- [Son96] K. Sonntag. *Lernen im Unternehmen.* Beck Verlag, München, 1996.
- [Sou01] Sound Consulting. *Understansing the ASP-Market: An ISV's Guide to Transpositioning from Packaged Product to Online Service.* URL: http://www.citrix.com/ebusiness/pdf/ISV_Guide_ASPs.pdf, 24.6.2002, 2001.
- [Spe00] D. Specht, J. Kahmann. *Regelung kooperativer Tätigkeit im virtuellen Unternehmen.* in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 2, S. 55-73, 2000.
- [Spr90] K. Spremann. *Asymmetrische Information.* in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Heft 5/6, S. 561–586, 1990.
- [Öst00] H. Österle, E. Fleisch, R. Alt. *Business Networking: Shaping Enterprise Relationships on the Internet.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Sta90] G. Stalk, T. Hout. *Zeitwettbewerb.* Campus Verlag, Frankfurt, 1990.
- [Sta92] E. Staud, M. Torberg, H. Linne, J. Bock, F. Thielemann. *Kooperationshandbuch - Ein Leitfaden für die Unternehmenspraxis.* Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1992.
- [Sta99] W. Staehle. *Management.* Vahlen Verlag, München, 8. Auflage, 1999.

- [Sta00a] U. Staber. *Steuerung von Unternehmensnetzwerken: Organisationstheoretische Perspektiven und soziale Mechanismen*. in: J. Sydow, A. Windeler (Hrsg.) *Steuerung von Netzwerken*, S. 58–88. Westdeutscher Verlag, Opladen, 2000.
- [Sta00b] H. Stadtler. *Production Planning and Scheduling*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2000.
- [Sta00c] H. Stadtler. *Supply Chain Management - An Overview*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer Verlag, Berlin, 2000.
- [Sta01] H. Stamm. *Vom IT-Outsourcing zum Application Service Providing*. in: W. Köhler-Frost (Hrsg.) *Application Service Providing - Die neue Herausforderung für Unternehmen*. KS-Energy-Verlag, Berlin, 2001.
- [Ste93] P. A. Steinbuch. *Fertigungswirtschaft*. Friedrich Kiehl Verlag, Ludwigshafen (Rhein), 5. Auflage, 1993.
- [Ste95] C. Steinle, H. Bruch, A. Unruhe. *Grenzenlose Unternehmen - virtuelle Realität der Unternehmenspraxis*. in: *IO Management*, Heft 12, S. 27-29, 1995.
- [Ste99a] R. von Stengel. *Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Ste99b] M. Steven. *Organisation von virtuellen Produktionsnetzwerken*. in: K. Nagel, R. F. Erben, F. T. Piller (Hrsg.) *Produktionswirtschaft 2000*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Ste02] R. Steck. *Feature-Technologie in der Praxis*.
URL: <http://www.die-textwerkstatt.de/referenz/fachartikel/feature1/feature1.htm>, 18.04.2002, 2002.
- [Sti97] E. Stickel, H.-D. Groffmann, K.-H. Rau. *Gabler Wirtschaftsinformatik Lexikon*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997.
- [Sto76] H. J. Stommel. *Betriebliche Terminplanung*. de Gruyter Verlag, Berlin, New York, 1976.
- [Sto98] C. Stockmann. *Die virtuelle Bank: Eine Begriffsklärung*. in: *Wirtschaftsinformatik*, Heft 4, S. 273–280, 1998.
- [Str75] H. Streim. *Heuristische Lösungsverfahren - Versuch einer Begriffsklärung*. in: *Zeitschrift für Operations Research*, vol. 25, no. 3, pp. 143–162, 1975.
- [Str99a] G. Strickert. *SCM - Vision oder Illusion?* in: *Industrielle Informationstechnik*, Heft 1, S. 20–21, Carl Hanser Verlag, München, 1999.

- [Str99b] G. Strickert. *Was verlangen die Anwender und was bieten die IV-Systeme heute und in Zukunft?* in: PPS-Kongreß Proceedings, 21. PPS-Kongreß, Berlin, 4.–6. November 1999, S. 239–263, Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung e. V., Berlin, 1999.
- [Stu96] T. Stuetzle, H. H. Hoos. *Improving the Ant System: A Detailed Report on the Max-Min Ant System*. Technical Report AIDA-96-12, TH Darmstadt, Fachgruppe Intellektik, 1996.
- [Stu97] T. Stuetzle, H. H. Hoos. *The Max-Min Ant System and Local Search for the Traveling Salesman Problem*. in: Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp. 309–314, 1997.
- [Stu00] T. Stuetzle, H. Hoos. *MAX-MIN Ants System*. in: FGCS - Future Generation Computer Systems, vol. 16, Number 8 - Special Issue: Ant Algorithms, pp. 889–914. Elsevier Science, Amsterdam, 2000.
- [Sun99] Sun. *Java(TM) Message Service v1.0.2 - Specification*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/products/jms/docs.html>, 24.06.2002, 1999.
- [Sun01a] Sun. *Enterprise JavaBeans(TM)-2.0 Specification*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/products/ejb/docs.html>, 02.03.2002, 2001.
- [Sun01b] Sun. *Java(TM) Message Service - Tutorial*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/products/jms/tutorial>, 14.01.2002, 2001.
- [Sun01c] Sun. *Java 2 Enterprise Edition(TM)- v1.3 Specification*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/j2ee/download.html#platformspec>, 19.02.2002, 2001.
- [Sun01d] Sun Microsystems. *Die Elemente des ASP-Marktes - Anleitung zum Aufbau einer ASP-Infrastruktur*. URL: <http://www.sun.de>, 24.06.2002, 2001.
- [Sun01e] Sun Microsystems. *Migration vom ISV zum ASP: Der Leitfaden für Business Software-Anbieter auf dem Weg zum Application Service Provider*. SUN Microsystems, URL: <http://www.sun.de>, 24.06.2002, 2001.
- [Sun02a] Sun. *Java(TM) XML Pack - Sammlung aller benötigten Spezifikationen und Bibliotheken*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/xml/downloads/javaxmlpack.html>, 24.06.2002, 2002.
- [Sun02b] Sun. *Java 2 Platform, Standard Edition(TM)v 1.4 - Overview*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/j2se/1.4/index.html>, 13.05.2002, 2002.

- [Sun02c] Sun. *Enterprise JavaBeans(TM) Tutorial*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://forte.sun.com/ffj/articles/entitybeans.html>, 24.06.2002, 2002.
- [Sun02d] Sun. *Java 2 Enterprise Edition(TM)-Tutorial*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, URL: <http://java.sun.com/j2ee/download.html#tutorial>, 24.06.2002, 2002.
- [Sun02e] Sun. *Java 2 Platform, Standard Edition(TM)*. Sun Microsystems, Inc., Palo Alto, <http://java.sun.com/j2me>, 24.06.2002, 2002.
- [Swi89] M. Switalski. *Hierarchische Produktionsplanung: Konzeption und Einsatzbereich*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1989.
- [Syd92] J. Sydow. *Strategische Netzwerke - Evolution und Organisation*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992.
- [Syd95a] J. Sydow. *Netzwerkbildung und Kooperation als Führungsaufgabe*. in: A. Kieser et al. (Hrsg.) *Handwörterbuch der Führung*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1995.
- [Syd95b] J. Sydow. *Netzwerkorganisation*. in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 12, S. 629–634, 1995.
- [Syd96a] J. Sydow. *Erfolg als Vertrauensorganisation?* in: *Office Management*, Heft 7/8, S. 10–13, 1996.
- [Syd96b] J. Sydow, B. van Well. *Wissensintensiv durch Netzwerkorganisation. Strukturtheoretische Analyse eines wissensintensiven Netzwerkes*. in: G. Schreyögg, P. Conrad (Hrsg.) *Managementforschung* 6, Berlin, 1996.
- [Syd97] J. Sydow. *Mitbestimmung und neue Unternehmensnetzwerke*. Verlag Bertelsmann Stiftung, Gütersloh, 1997.
- [Syd98] J. Sydow, U. Winand. *Unternehmensvernetzung und -virtualisierung: Die Zukunft unternehmerischer Partnerschaften*. in: U. Winand, K. Natusius (Hrsg.) *Unternehmensnetzwerke und virtuelle Organisationen*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1998.
- [Sys89] G. Syswerda. *Uniform Crossover in Genetic Algorithms*. in: J. D. Schaffer (Ed.) *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms and their Applications*, pp. 2–9, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Tap99] D. Tappe, K. Mussäus. *Efficient Consumer Response als Baustein im Supply Chain Management*. *Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung*, Heft 207, dpunkt Verlag, Heidelberg, 1999.
- [Tei90] T. Teich. *Analyse komplexer Strukturen. Arbeitsbericht*. Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 1990.

- [Tei95] T. Teich, G. Köbernik. *Steuerung, Konfiguration und Simulation von komplexen Systemen am Beispiel von Aufzugsanlagen*. Abschlussbericht, Thyssen Aufzüge GmbH, Neuhausen a. d. F., 1995.
- [Tei98a] T. Teich. *Aufzüge mit Köpfchen*. in: Zeitschrift für Wirtschaft, Wissenschaft und Technik, Heft 5, S. 23, 1998.
- [Tei98b] T. Teich. *Optimierung von Maschinenbelegungsplänen unter Benutzung heuristischer Verfahren*. Verlag Josef Eul, Lohmar, Köln, 1998.
- [Tei99] T. Teich. *Produktionsplanung: Von der Natur abgeschaut*. in: Automobilproduktion, Heft 3, S. 112, 1999.
- [Tei00a] T. Teich. *Mobileit-S: Untersuchung von Reihenfolgeproblemen bei der Auftragsbearbeitung mit Hilfe der Fuzzy-Logik*. Schlussbericht zum BMBF-Programm Produktion 2000, TU Chemnitz, Chemnitz, 2000.
- [Tei00b] T. Teich. *Reihenfolgeplanung in vernetzten Produktionsstrukturen*. in: W. Maßberg et al. (Hrsg.) *Mobileit-S: Modellbasierter Baukasten für integrierte Fertigungsleitsysteme mit Simulationskern*, Shaker Verlag, Aachen, 2000.
- [Tei01a] T. Teich. *Controlling und Transaktionskostenansatz in Produktionsnetzen*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Tei01b] T. Teich. *Das EVCM-Betreiberkonzept für hierarchieloser Produktionsnetzwerke*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Tei01c] T. Teich. *Die Transaktionskostentheorie als Gestaltungsinstrument Hierarchieloser Regionaler Produktionsnetze*. in: T. Teich (Hrsg.) *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*, Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Tei01d] T. Teich. *EVCM - Ein Betreibermodell für hierarchielose Produktionsnetzwerke*. in: S. Wirth et al. (Hrsg.) *Tagungsband von Vernetzt planen und produzieren*, Chemnitz, September 20-21, 2001, S. 159–162, 2001.
- [Tei01e] T. Teich. *Extended Value Chain Management (EVCM) als Betreibermodell hierarchieloser Produktionsnetzwerke*. in: M. Engelen, J. Homann (Hrsg.) *Gemeinschaften Neuer Medien 2001*, Verlag Josef Eul, Lohmar, Köln, 2001.
- [Tei01f] T. Teich. *Extended Value Chain Management für Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*. in: W. Dangelmaier, U. Pape, M. Rütter (Hrsg.) *Die Supply Chain im Zeitalter von E-Business und Global Sourcing*, ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2001.

- [Tei01g] T. Teich. *Koordination von Netzwerken aus der Sicht der Produktionswirtschaft*. in: Eversheim (Hrsg.) Tagungsband zum Kolloquium: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung, Aachen, Februar 15, 2001, Abschnitt 7, S. 1–18, 2001.
- [Tei01h] T. Teich. *Management for non-hierarchical production networks*. in: Proceedings of the 12th DAAAM International Symposium 2001, Jena, Germany, October 24-27, 2001, pp. 483–484, 2001.
- [Tei01i] T. Teich, B. Meier, H. Schallner. *Application Service Providing for Shop Floor Scheduling in Non-Hierarchical Regional Production Networks using Genetic Algorithms*. in: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, San Francisco, California, July 7-11, 2001, p. 1455, Morgan Kaufmann, 2001.
- [Tei01j] T. Teich, G. Köbernik. *Optimierung komplexer Bediensysteme*. Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Tei01k] T. Teich, H. Dürr, J. Mehnert. *Prozessplanung innerhalb des Extended Value Chain Management (EVCM) Betreibermodells*. in: PPS-Management 6 (2001) 3, S. 38–42, 2001.
- [Tei01l] T. Teich, H. Meier, H. Schallner. *Organizational Framework for Non-Hierarchical Production Networks*. in: Proceedings of the 10th IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing, Vienna, Austria, September 20-22, 2001, 2001.
- [Tei01m] T. Teich (Hrsg.). *Hierarchielose Regionale Produktionsnetzwerke*. Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.
- [Tei01n] T. Teich, J. Käschel, M. Fischer. *Kostenallokation bei der Konfiguration von Produktionsnetzwerken*. in: S. Wirth et al. (Hrsg.) Tagungsband von Vernetzt planen und produzieren, Chemnitz, September 20-21, 2001, S. 151–154, 2001.
- [Tei01o] T. Teich, J. Mehnert, H. Dürr. *Planung und Bewertung verteilter Prozessketten in hierarchielosen Produktionsnetzwerken*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 96 (2001) 6, S. 308–313, 2001.
- [Tei01p] T. Teich, M. Fischer, A. Vogel. *Cost Aggregation and Profit Distribution in Non-hierarchical Production Networks*. in: Research Workshop Cost Management in Supply Chains, Oldenburg, Germany, September 24-25, 2001.
- [Tei01q] T. Teich, M. Fischer, A. Vogel, H. Schallner. *Application Service Providing for Supply Web Management in Non-Hierarchical Production Networks*. in: Proceedings of the 17th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, vol. 1, Durban, South Africa, July 10-12, 2001, pp. 493–501, 2001.

- [Tei01r] T. Teich, M. Fischer, A. Vogel, H. Schallner, J. Fischer. *Solving the Job Shop Scheduling Problem using Ant Algorithms*. in: Proceedings of the 17th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, vol.1, Durban, South Africa, July 10-12, 2001, pp. 604–611, 2001.
- [Tei01s] T. Teich, M. Fischer, A. Vogel, J. Fischer. *A new Ant Colony Algorithm for the Job Shop Scheduling Problem*. in: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, San Francisco, California, July 7-11, 2001, p. 803, Morgan Kaufmann, 2001.
- [Tei01t] T. Teich, M. Fischer, A. Vogel, J. Fischer. *Shop Floor Control using Ant Colony Optimization*. in: Proceedings of the 10th IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing, Vienna, Austria, September 20-22, 2001, 2001.
- [Tei01u] T. Teich, R. Neubert, O. Görlitz. *Hierarchielose Regionale Produktionsnetze - Modell und Lösungsansätze*. in: PPS-Management 6 (2001) 1, S. 42–49, 2001.
- [Tei02a] T. Teich. *Architektur des Extended Value Chain Management Systems*. in: W. Dangelmaier, A. Emmrich, D. Kaschula (Hrsg.) Modelle im E-Business, ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2002.
- [Tei02b] T. Teich. *The Extended Value Chain Management - aspects of intelligent co-ordination in supply webs*. in: B. Katalinic (Ed.) DAAAM International Scientific Book 2002, DAAAM International Vienna, 2002.
- [Tei02c] T. Teich, A. Heuke, D. Grossmann. *Architektur des Extended Value Chain Management Systems*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 4, S. 180–183, 2002.
- [Tei02d] T. Teich, A. Heuke, D. Grossmann, R. Neubert. *Distributed Scheduling in Extended Value Chain Management*. in: Proceedings of Twelfth International Working Seminar on Production Economics, Igls/Innsbruck, Austria, February 18-22, 2002, vol. 3, pp. 545–554, 2002.
- [Tei02e] T. Teich, D. A. Ivanov. *A Cooperative Learning Approach to SCM in Virtual Enterprises Using Heuristic Algorithms and Multi-Agent Systems*. in: Proceedings of the 13th DAAAM International Symposium 2002, Vienna, Austria, October 23-26, 2002, 2002.
- [Tei02f] T. Teich, D. A. Ivanov. *Modellierung von Logistikketten unter Benutzung von heuristischen Verfahren*. in: Tagungsband von Logistik – moderne Entwicklungstendenzen, St. Petersburg, Russland, April 25-26, 2002, S. 116–120, 2002.

- [Tei02g] T. Teich, D. Grossmann, A. Heuke. *System Architecture of Extended Value Chain Management*. in: Proceedings of the 18th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, Porto, Portugal, July 3-5, 2002, pp. 675–681, 2002.
- [Tei02h] T. Teich, J. Käschel, D. Grossmann, A. Heuke, H. Jähn. *Distributed Scheduling in Extended Value Chain Management*. in: Proceedings of International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing, Dresden, Germany, July 15–17, 2002, pp. 319–328, 2002.
- [Tei02i] T. Teich, J. Käschel, L. Zschorn. *ATP und CTP in Produktionsnetzwerken - Ein neuer Ansatz unter Verwendung von Lieferwahrscheinlichkeiten*. in: *Industrie-Management*, 18 (2002) 2, S. 11–14, 2002.
- [Tei02j] T. Teich, L. Zschorn. *ATP and CTP in Production Networks - The usage of Probabilities of Delivery for an automatic optimizing of the Supply Chain*. in: Proceedings of 18th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, Porto, Portugal, July 03–05, 2002, pp. 285–292, 2002.
- [Tei02k] T. Teich, L. Zschorn. *Automatic procurement in production networks - Introducing the probabilities of delivery to quantify the uncertainties in supply and production processes*. in: Proceedings of 3rd CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Ischia/Naples, Italy, July 03–05, 2002, pp. 37–42, 2002.
- [Tei02l] T. Teich, L. Zschorn, D. Grossmann, A. Heuke. *System Architecture of Extended Value Chain Management*. in: Proceedings of 3rd CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME 2002), Ischia/Naples, Italy, July 03-05, 2002, pp. 505–510, 2002.
- [Tei02m] T. Teich, L. Zschorn, H. Jähn. *Management of production networks - a new approach to work with Probabilities of Delivery*. in: Proceedings of International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing, Dresden, Germany, July 15–17, 2002, pp. 762-781, 2002.
- [Tei02n] T. Teich, L. Zschorn, M. Fischer, O. Görlitz. *Management of Production Networks - A new approach to work with probabilities of delivery*. in: Proceedings of Twelfth International Working Seminar on Production Economics, Igls/Innsbruck, Austria, February 18-22, 2002, vol. 3, pp. 555–566, 2002.
- [Tei02o] T. Teich, L. Zschorn, R. Neubert, O. Görlitz. *Fuzzy-Logic in the Supply Chain Management - An approach to quantify the uncertainties in production and supply processes*. in: Proceeding of IEEE International Conference on Fuzzy Systems 2002, Honolulu, USA, May 12-17, 2002, pp. 324–330, 2002.

- [Tei02p] T. Teich, M. Fischer, A. Vogel, H. Jähn. *Real World Shop Floor Scheduling by Ant Colony Optimization*. in: M. Dorigo et al. (Ed.) Proceedings of ANTS'2002 - From Ant Colonies to Artificial Ants: Second International Workshop on Ant Algorithms, Brussels, Belgium, September 12-14, 2002, 2002.
- [Tei02q] T. Teich, M. Fischer, H. Jähn. *Auftragsbezogene Partnerselektion in Unternehmensnetzwerken unter Benutzung einer multikriteriellen Zielfunktion innerhalb einer Ant Colony Optimization*. in: M. Engelen, J. Homann (Hrsg.) Gemeinschaften Neuer Medien 2002, Verlag Josef Eul, Lohmar, Köln, 2002.
- [Tei02r] T. Teich, M. Fischer, J. Käschel. *Non-Hierarchical Production Networks - Order Fulfillment and Costing*. in: S. Seuring, M. Goldbach (Ed.) Cost Management in supply chains, Physica Verlag, 2002.
- [Tei02s] T. Teich, M. Fischer, J. Käschel, J. Sommerer. *Möglichkeiten der Effizienzsteigerung in Produktionsnetzwerken*. in: W. Dangelmaier, A. Emmrich, D. Kaschula (Hrsg.) Modelle im E-Business, ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2002.
- [Tei02t] T. Teich, M. Fischer, J. Sommerer. *Nur Wirtschaftlichkeitsberechnung in Unternehmensnetzwerken?* in: Industrie-Management, 18 (2002) 4, S. 14–17, 2002.
- [Tei02u] T. Teich, M. Meyer, J. Aderhold. *A New Tool for Human Resource Management in Business Networks: Combining Grid-technique and Polyhedral analysis*. in: K. S. Pawar, F. Weber, K. D. Thoben (Ed.) Proceedings of the 8th International Conference on Concurrent Enterprising and Ubiquitous Engeneering in the Collaborative Economy, June 17-19, Roma, Italy, pp. 3–10, 2002.
- [Tem92a] H. Tempelmeier. *Material-Logistik, Quantitative Grundlagen der Materialbedarfs- und Losgrößenplanung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1992.
- [Tem92b] H. Tempelmeier. *Supply Chain Planning with Advanced Planning Systems*. Arbeitspapier, Universität Köln, Lehrstuhl für Produktionsmanagement, 1992.
- [Tem99] H. Tempelmeier. *Material-Logistik*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 1999.
- [Tem01] H. Tempelmeier. *Supply Chain Planning with Advanced Planning Systems*. in: Proceedings 3rd Aegean International Conference on Design and Analysis of Manufacturing Systems, Tinos Island, Greece, May 19–22, 2001.

- [Ter94] E. Terberger. *Neo-institutionalistische Ansätze*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Ter97] E. Terberger. *Agency-Theorie*. in: H. Corsten (Hrsg.) Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 3. Auflage, 1997.
- [Thi98a] I. Thiem. *Ein Strukturmodell des Fertigungsmanagements*. Shaker-Verlag, Aachen, 1998.
- [Thi98b] W. von Thienen. *Client/Server - Moderne Informationstechnologie im Unternehmen*. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden, 1998.
- [Tho01] H. S. Thompson. *XML Schema Part 1: Structures*. W3C Recommendation May 2001, URL: <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/>, 28.01.2002, 2001.
- [Tie99] E. Tiemeyer. *Supply Chain Management*. in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, Heft 3, S. 100–107, REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V., Darmstadt, 1999.
- [Tro01] G. Trommer. *Methodik zur Konstruktionsbegleitenden Generierung und Bewertung alternativer Fertigungsfolgen*. Shaker-Verlag, Aachen, 2001.
- [Tsc00] M. Tschandl. *Phasenmodell der Entstehung eines virtuellen Unternehmens. Initiierung, Akquisition und Kooperationsmanagement*. in: IO Management, Heft 12, S. 76–85, 2000.
- [Tur97] M. Turoff. *Virtuality*. in: Communications of the ACM, Heft 9, S. 50–55, 1997.
- [Tut99] A. Tuteja. *Enterprise Resource Planning: What's there in it?* URL: <http://www.nl.com.br/international/products/nl98/erp.htm>, 08.01.00, 1999.
- [Uhl98] E. Uhlmann, C. Schröder. *Agile Produktion als Antwort auf den Wandel der Märkte*. in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 93, Heft 5, S. 180–184, 1998.
- [Uni99] Unisoft. *The UNISOFT Manufacturing Framework redefines the CIM Environment*. UNISOFT Corporation, Milford, Connecticut, URL: <http://www.unisoft-cim.com/flow1.html>, 28.05.2000, 1999.
- [Upt96] D.M. Upton, A. McAfee. *The real virtual factory*. in: Harvard Business Manager, July/Aug., pp. 123–133, 1996.

- [Vaw02] C. Vawter, E. Roman. *J2EE vs. Microsoft.NET*. Middleware-Company, URL: <http://www.theserverside.com/resources/articles/J2EE-vs-DO-TNET/article.html>, 24.06.2002, 2002.
- [Vei99] T. Veil, T. Hess. *Kostenrechnung zur Unterstützung des operativen Netzwerkcontrolling*. Arbeitsbericht Nr. 5 der Abteilung Wirtschaftsinformatik II, Universität Göttingen, 1999.
- [Vei00] T. Veil, T. Hess. *Kalkulation in Unternehmensnetzwerken*. Arbeitsbericht Nr. 3 der Abteilung Wirtschaftsinformatik II, Universität Göttingen, 2000.
- [Ven98] N. Venkatraman, J. Henderson. *Real strategies for virtual organizations*. in: Sloan Management Review, Heft 1, pp. 33-48, 1998.
- [vG98] E. von Glasersfeld. *Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ergebnisse, Probleme*. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1998.
- [Vog00] U. Vogel. *Informationsmodell für die Organisation des Produktentwicklungsprozesses im virtuellen Unternehmen*. Shaker-Verlag, Aachen, 2000.
- [Vog01] A. Vogel, M. Fischer, T. Teich. *Urban Disposal of Waste with Ant Colony Optimization*. in: Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, Seoul, Korea, July 22-27, 2001, pp. C6 1–9, 2001.
- [Vog02] A. Vogel. *ASP zur Fertigungsoptimierung mit Ant Colony Optimization in Unternehmensnetzwerken*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2002.
- [Vri98a] M. de Vries. *Das virtuelle Unternehmen - Formentheoretische Überlegungen zu Grenzen eines grenzenlosen Konzeptes*. in: A. Brill, M. de Vries (Hrsg.) *Virtuelle Wirtschaft*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1998.
- [Vri98b] M. de Vries. *Das Virtuelle Unternehmen - hohle Phrase oder eierlegende Wollmilchsau?*
URL: <http://www.uni-wh.de/de/wiwi/virtwirt/unterneh/devries.htm>, 24.07.2000, 1998.
- [Wag93] A. Wagenhofer, R. Ewert. *Linearität und Optimalität in ökonomischen Agency Modellen*. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1993, S. 373–388, 1993.
- [Wag99] P.-O. Wagner. *Finanzdienstleister im Electronic Commerce*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Wag00] M. Wagner. *Demand Planning*. in: H. Stadtler, C. Kilger (Hrsg.) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2000.

- [Wal99] F. Wall. *Planungssysteme in Netzwerkartigen Unternehmen*. Wittener Diskussionspapier Nr. 39, Universität Witten, Herdecke, 1999.
- [Wal01] A. Walter. *Evaluierung von Qualifizierungsmaßnahmen für Gruppenleiter - eine empirische Längsschnittanalyse*. in: P. Pawlowski, U. Wilkens (Hrsg.) *Zehn Jahre Personalarbeit in den neuen Bundesländern. Transformation und Demographie*. Schriftenreihe Arbeit, Organisation und Personal im Transformationsprozeß, Bd. 16, S. 151–174. Hampp Verlag, München, Mering, 2001.
- [Wal02] A. Walter, T. Teich. *Die polyedrale Analyse als Instrument des Personalmanagements in Netzwerken*. in: M. Freitag, I. Winkler (Hrsg.) *Kooperationsentwicklung in zwischenbetrieblichen Netzwerken*. Perspektiven für die Praxis, DWV, 2002.
- [War92] H.-J. Warnecke. *Die fraktale Fabrik*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1992.
- [War93] H.-J. Warnecke. *Revolution der Unternehmenskultur - Das fraktale Unternehmen*. Rowohlt-Verlag, Reinbek, 2. Auflage, 1993.
- [War94] H.-J. Warnecke. *Das Gruppenprinzip als Grundlage dezentraler Produktionsstrukturen*. in: H. Corsten (Hrsg.) *Handbuch Produktionsmanagement*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [War95] H. J. Warnecke, H. J. Bullinger. *Fraktales Unternehmen: Gewinnen im Wettbewerb; Impulse und Erfahrungsaustausch, IPA-IAO-FhG Forschung und Praxis, Bd. T46*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995.
- [War99] H. J. Warnecke, J. Braun. *Vom Fraktal zum Produktionsnetzwerk: Unternehmenskooperation erfolgreich gestalten*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1999.
- [Was99] O. Wassermann. *Mit beherrschten Supply Chain - Netzwerken zum virtuellen Unternehmen*. in: PPS-Kongreß Proceedings, 21. PPS-Kongreß, Berlin, 4.–6. November 1999, S. 77–88, Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung e. V., Berlin, 1999.
- [Web93] K. Weber. *Mehrkriterielle Entscheidungen*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1993.
- [Web94] G. F. Weber, I. Walsh. *Die virtuelle Organisation*. in: *Gablers Magazin*, Heft 6-7, S. 24–28, 1994.
- [Web97] J. Weber. *Ausrichtung des Controlling auf interne Märkte*. in: A.-W. Scheer (Hrsg.) *Organisationsstrukturen und Informationssysteme auf dem Prüfstand*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1997.

- [Wed90] H. Wedekind. *Bestandsdaten, Bewegungsdaten, Stammdaten*. in: P. Mertens (Hrsg.) *Lexikon der Wirtschaftsinformatik*, S. 67, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2. Auflage, 1990.
- [Wed99] T. Wedel. *Auch im Mittelstand führt an Supply Chain Management kein Weg vorbei...* in: *Industrielle Informationstechnik*, Heft 5, S. 14–16, Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [Weh99] T. Wehner, E. Endres. *Störungen zwischenbetrieblicher Kooperation - Eine Fallstudie zum Grenzmanagement in der Automobilindustrie*. in: J. Sydow (Hrsg.) *Management von Netzwerkorganisationen*, S. 215–260. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Wei94] Mark Weigelt. *Dezentrale Produktionssteuerung mit Agenten-Systemen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Wei95] U. Weingarten. *Ressourceneinsatzplanung bei Werkstattproduktion*. Physica-Verlag, Heidelberg, 1995.
- [Wei98] J. Weibler, J. Deeg. *Virtuelle Unternehmen - Eine kritische Analyse*. in: *Zeitschrift für Planung*, Heft 9, S. 107–124, 1998.
- [Wel92] M. K. Welge, A. Al-Laham. *Planung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992.
- [Wen88] E. Wenger, E. Terberger. *Die Beziehung zwischen Agent und Prinzipal als Baustein einer ökonomischen Theorie der Organisation*. in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Heft 10, S. 506–514, 1988.
- [Wen02] U. Wendt. *Kommunikation zwischen E-Business-Applikationen*. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2002.
- [Wer01] H. Werner. *Supply Chain Management*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2001.
- [Wes96] E. Westkämper. *Gestaltung flexibler Produktionsstrukturen durch dynamisches Produktionsmanagement*. *Zeitschrift für Logistik*, Heft 2, Zürich, 1996.
- [Wes00] E. Westkämper. *Auf dem Weg zum virtuellen Unternehmen*. in: B. Kaluza, T. Blecker (Hrsg.) *Produktions- und Logistikmanagement in Virtuellen Unternehmen und Unternehmensnetzwerken*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
- [Whi89a] D. Whitley. *The GENITOR Algorithm and Selection Pressure: Why Rank-Based Allocation of Reproductive Trials is best*. in: J. D. Schaffer (Ed.) *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms and their Applications*, pp. 116–121, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1989.

- [Whi89b] D. Whitley, J. Knauth. *GENITOR: A different Genetic Algorithm*. Technical Report CS-88-101, Colorado State University, Department of Computer Science, Fort Collins, 1989.
- [Whi91] D. Whitley, T. Starkweather, S. McDaniel, K. Mathias. *A Comparison of Genetic Sequencing Operators*. in: R. K. Belew, L. B. Booker (Ed.) Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms and their Applications, pp. 69–76, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1991.
- [Wic96] H. Wicher. *Virtuelle Organisation*. in: Das Wirtschaftsstudium, Heft 6, S. 541–542, 1996.
- [Wie87] H. P. Wiendahl. *Belastungsorientierte Fertigungssteuerung - Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1987.
- [Wie90] H.-P. Wiendahl, H.-G. v. Wedemeyer. *Das Dilemma der Fertigungssteuerung*. in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Heft 4, S. 407–422, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 1990.
- [Wie92] H. P. Wiendahl. *Grundlagen der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1992.
- [Wie96] H. P. Wiendahl. *Produktionsmanagement in wandelbaren Pproduktionsnetzen - Merkmale, Anforderungen und Instrumente*. Tagung Dezentrale Produktionsstrukturen, Hannover, 1996.
- [Wie97] H.-P. Wiendahl. *Betriebsorganisation für Ingenieure*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 4. Auflage, 1997.
- [Wie99] H.-P. Wiendahl. *Bedeutung der klassischen PPS- und MRP-Funktionen und ihre Integration in neue Logistikkonzepte*. in: PPS-Kongreß Proceedings, 21. PPS-Kongreß, Berlin, 4.–6. November 1999, S. 203–215, Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung e. V., Berlin, 1999.
- [Wig84a] O. W. Wight. *Manufacturing Resource Planning: MRP II. Unlocking America's Productivity Potential*. Oliver Wight Limited Publications, Inc., Essex Junction, VT 05452, 1984.
- [Wig84b] O. W. Wight. *Production and Inventory Management in the Computer Age*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984.
- [Wig93] O. W. Wight. *The Executive's Guide to Successful MRP II*. John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1993.
- [Wil86] H. Wildemann. *Losgrößenbestimmung für Werkstatt und Beschaffung*. Schriftenreihe Produktionsplanung und Produktionssteuerung, Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e V., 1986.

- [Wil87] H. Wildemann, H.-P. Hoffmann. *Termin- und Kapazitätsplanung, in: PPS-Fachmann, Band 3*. Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW) e.V., Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1987.
- [Wil90] O. E. Williamson. *Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus*. J. C. B. Mohr-Verlag, Tübingen, 1990.
- [Wil94] H. Wildemann. *Die modulare Fabrik*. TCW Transfer-Centrum Verlag, München, 1994.
- [Wil95] H. Wildemann. *Schnell lernende Unternehmen*. TCW Transfer-Centrum Verlag, München, 1995.
- [Wil96a] H. Wildemann. *Produktions- und Zuliefernetze*. TCW Transfer-Centrum Verlag, München, 1996.
- [Wil96b] O. E. Williamson. *Economics and Organization: A Primer*. in: California Management Review, No. 2, pp. 131–146, 1996.
- [Wil97] H. Wildemann. *Koordination von Unternehmensnetzwerken*. in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Heft 4, S. 417–439, 1997.
- [Wil98] O. E. Williamson. *Transaction Cost Economics, How it works, Where it is headed*. in: The Economist, Heft 1, 1998.
- [Wil00] H. Wildemann. *Kernkompetenzen und E-Technologien*. TCW Transfer-Centrum Verlag, München, 2000.
- [Win00a] G. Winkler. *Mit virtuellen Unternehmen zu mehr Schnelligkeit, Flexibilität und Effizienz*. in: PPS Management, Heft 1, S. 42–44, 2000.
- [Win00b] P. Winkler. *M+T Computerlexikon*. Wilhelm Heyne Verlag, München, 2000.
- [Win01] H. Winkler. *Ausgefeilte Logistik im europäischen Airbus-Produktionsverbund*. Mensch & Technik III/2001, S. 4–9, 2001.
- [Wir98] S. Wirth, A. Baumann. *Innovative Unternehmens- und Produktionsnetze*. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Heft 8, TU Chemnitz, 1998.
- [Wir99] S. Wirth et al. *Sonderforschungsbereich 457: Hierarchielose regionale Produktionsnetze. Theorien, Modelle, Methoden und Instrumentarien. Finanzierungsantrag 2000, 2001, 2002 zum Sonderforschungsbereich 1513*. Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Chemnitz, 1999.
- [Wir01a] S. Wirth. *Der kompetenzzellenbasierte Vernetzungsansatz für Produktion und Dienstleistung*. in: T. Teich (Hrsg.) Regionale Hierarchielose Produktionsnetzwerke. Verlag der GUC, Chemnitz, 2001.

- [Wir01b] S. Wirth. *Wertschöpfung durch vernetzte Kompetenz*. Huss-Verlag, München, 2001.
- [Wit73] E. Witte. *Ablauforganisation*. in: E. Grochla (Hrsg.) *Handwörterbuch der Organisation*, 1. Auflage. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1973.
- [Wö90] G. Wöhe. *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. Vahlen Verlag, München, 17. Auflage, 1990.
- [Woh01] O. Wohlgemuth, T. Hess. *Die strategische Lücke im Supply Chain Management*. in: H.-J. Sebastian, T. Grünert (Hrsg.) *Logistik Management - Supply Chain Management und e-Business*, Teubner Verlag, Stuttgart, 2001.
- [Wol99] S. Wolff. *Supply Chain Management in Europa erfolgreich realisiert*. in: R. Hossner (Hrsg.) *Logistik Jahrbuch 1999*, S. 156–159, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Düsseldorf, 1999.
- [Woo96] M. Wooldridge, J. P. Müller, M. Tambe. *Intelligent Agents II: Agent Theories, Architectures and Languages*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1996.
- [Wüt97] H. Wüthrich, A. Philipp, M. H. Frentz. *Vorsprung durch Virtualisierung - Lernen von virtuellen Pionierunternehmen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997.
- [Wüt98a] H. Wüthrich, A. Philipp. *Grenzenlose Chancen durch Virtualisierung?* in: ZFO, Heft 4, S. 201-206, 1998.
- [Wüt98b] H. Wüthrich, A. Philipp. *Virtualisierung als zukunftsweisende Management-Herausforderung!?* in: Die Unternehmung, Heft 5/6, S. 253–270, 1998.
- [Wüt98c] H. Wüthrich, A. Philipp. *Virtuell ins 21. Jahrhundert!?* *Wertschöpfung in temporären Netzwerkverbänden*. in: *Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung*, Heft 200, S. 9–24, 1998.
- [Wüt98d] H. Wüthrich, A. Philipp. *Virtuelle Unternehmensnetzwerke*. in: *IO Management*, Heft 11, S. 38–43, 1998.
- [Wul95] A. Wullenkord. *Kosten- und Erfolgs-Controlling im Konzern*. Vahlen Verlag, München, 1995.
- [Yao99] K. Yaoyuenyong. *MRP, MRP II and ERP*. URL: <http://std.cpc.ku.ac.th/~g4165318/mrp.html>, 28.11.1999, 1999.
- [Zä82] G. Zäpfel. *Produktionswirtschaft, Operatives Produktions-Management*. de Gruyter Verlag, Berlin, New York, 1982.

- [Zä88] G. Zäpfel, H. Miessbauer. *Bestandskontrollierende Produktionsplanung und -steuerung*. in: D. Adam (Hrsg.) *Fertigungssteuerung I - Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1988.
- [Zä94] G. Zäpfel, H. Miessbauer. *Entwicklungsstand und -tendenzen von PPS-Systemen*. in: H. Corsten (Hrsg.) *Handbuch Produktionsmanagement*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Zad73] L. Zadeh. *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3(1), Januar 1973, p. 28, 1973.
- [Zah92] E. Zahn. *Erfolg durch Kompetenz: Strategie der Zukunft*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1992.
- [Zah94] E. Zahn. *Produktion als Wettbewerbsfaktor*. in: H. Corsten (Hrsg.) *Handbuch Produktionsmanagement*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- [Zel86] S. Zelewski. *Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Eine informationstechnisch-betriebswirtschaftliche Analyse*. Band 1-3, Witzschlick, Bonn, 1986.
- [Zel91] S. Zelewski. *PPS-Expertensysteme*. in: S. Spang, W. Kraemer (Hrsg.) *Expertensysteme - Entscheidungsgrundlage für das Management*, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 1991.
- [Zel93] S. Zelewski. *Multi-Agenten-Systeme für die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen: ein verteiltes Problemlösungskonzept auf der Basis von Kontraktnetzen*. Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft, Arbeitsbericht Nr. 46, Universität Köln, 1993.
- [Zer99] A. Zerdick, A. Picot, K. Schrape, A. Artope, K. Goldhammer, U. T. Lange, E. Vierkant, E. Lopez-Escobar, R. Silverstone. *Die Internet-Ökonomie - Strategien für die digitale Wirtschaft*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1999.
- [Zie87] R. Ziegler. *Positionen in sozialen Räumen. Die multivariante Analyse multipler Netzwerke*. in: F. U. Pappi (Hrsg.) *Methoden der Netzwerkanalyse*, S. 64–100. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1987.
- [Zil93] M. G. Zilahi-Szabó. *Wirtschaftsinformatik*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1993.
- [Zil00] L. Zilz. *Die ASP-Vorteile auf einen Blick*. Systems 2000 - Star21 Networks, URL: <http://www.star21.de>, 18.11.2001, 2000.

- [Zim87] H. J. Zimmermann. *Methoden und Modelle des Operations Research*. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, Wiesbaden, 1987.
- [Zim89] G. Zimmermann. *Neuere Ansätze (OPT, Fortschrittszahlen, EOD) zur Lösung der Probleme herkömmlicher Dispositionsmethoden (MRP)*. in: G. Zäpfel (Hrsg.) *Neuere Konzepte der Produktionsplanung und -steuerung*, S. 181–195, Trauner Verlag, Linz, 1989.
- [Zim92] W. Zimmermann. *Operations Research, Quantitative Methoden der Entscheidungsvorbereitung*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1992.
- [Zim97] F. O. Zimmermann. *Konzeptionelle Aspekte virtueller Unternehmen*. URL: <http://www.uni-siegen.de/others/student/vwi/vision/virtuell.htm>, 24.07.2000, 1997.
- [Zäp89] G. Zäpfel. *Strategisches Produktionsmanagement*. de Gruyter Verlag, Berlin, New York, 1989.
- [Zäp96] G. Zäpfel. *Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement*. de Gruyter, Berlin, New York, 1996.
- [Zäp98] G. Zäpfel, B. Piekarz. *Regelkreisbasiertes Supply Chain Controlling*. in: H. Wildemann (Hrsg.) *Innovation in der Produktionswirtschaft*. TCW Transfer-Centrum Verlag, München, 1998.
- [Zub98] M. Zuberbühler. *Virtualität statt Bürokratie*. in: *IO Management*, Heft 11, S. 44-48, 1998.
- [Zwe79] W. von Zwehl. *Wirtschaftliche Losgrößen*. in: W. Kern (Hrsg.) *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1979.

Index

- .NET, 566, 567
- ABAP/4, 612
 - Namensraum, 612
- Ablauforganisation, 23, 223, 288
 - Gegenstand, 288
 - räumlich, 290
 - sachlich, 288
 - zeitlich, 289
 - horizontale Koordination, 23
 - konzeptionelle Festlegung, 23
 - vertikale Koordination, 23
 - zeitliche Koordination, 23
 - Ziele, 290
- Ablaufplan, 309
 - aktiver, 314
 - semiaktiver, 312
 - unverzögerter, 315
- Ablaufplanung
 - Dilemma, 294
- Absatz- und Produktionsplanung, 30
- Abschreckungskosten, 195
- Advanced Planner and Optimizer, 73
 - Core Interface, 76
 - Optimization Extension Workbench, 77
 - technologische Basis, 76
- Advanced Planning and Scheduling
 - SAP, 75
 - Systeme, 47
- adverse selection, 132, 421
- Agency-Costs, 132, 426
 - Bindungskosten, 426
 - Kontrollkosten, 426
 - residual loss, 426
- Agency-Gewinn, 427
- AHP, 264
 - Eigenwertverfahren, 269, 510
 - Entscheidung, 272
 - Lösungsverfahren, 267
 - Systemanalyse, 266
- Akzeptanzrate, 413
- Algorithmen, 325
 - finite, 326
 - iterative, 325
 - konvergierend, 326
 - Systematik, 325
- American Production and Inventory Control Society, 46
- Anfragevorgang, 223
- Angebot, 375–378, 401, 411–413
 - Generierung, 375, 386, 393, 394, 399, 413
 - Inhalt, 376–378, 385, 390
 - Menge, 397
 - Vergleichbarkeit, 416
- Angebotsgenerierung, 226
- Angebotsvektor, 188, 216, 240, 493
- Anpassung
 - Intensität, 256
 - zeitlich, 256
- Anpassungskosten, 196
- Anreizsystem, 427
 - Gundmodell, 427
- Anschlussplanung, 23
- Ant Colony Optimization, 491,

- 498, 499, 509
- Einführung, 499
- Meta-Heuristik, 507
- Realisierung, 509
- Ant Colony System, 505, 506, 509
- Ant System, 502, 505
 - MAX-MIN, 508
- Ant-Q, 506
- Antwortgenerierung, 223
- Applet, 571
- Application Hosting, 546
- Application Management, 546
- Application Server, 557, 566, 596
- Application Service Providing, 538
- Arbeitsgangreihenfolge, 308
- Arbeitsplanung
 - Angebotsvektor, 240
 - Aufbauorganisation, 242
 - Fertigungsalternativen, 243
 - Fertigungsfolge, 243
 - Fertigungsszenarien, 240
 - Informationsebenen, 245
 - Nachfragevektor, 240
 - operative Technologieplanung, 245
 - Zwischengeometrie, 242
 - Zwischenprodukt, 243
- Arbeitsvorgang
 - Unterbrechbarkeit, 360
- ASP, 538, 540, 598
 - Abrechnungsmodell, 550
 - Billing, 551
 - Flat-Rate, 550
 - Hot Billing, 551
 - Pauschale, 550
 - Historie, 538
 - IT-Merkmale, 554
 - Systemarchitektur, 555
 - Web-Centric, 559
- ASP-Konzept, 543
 - Applikationsmanagement, 545
 - Applikationszentriertheit, 545
 - Begriff, 543
 - One-to-Many-Service, 545
- ASP-Outsourcing, 546
- Assoziationsmaß, 278
- Asynchrone Kommunikation, 579, 588, 592, 593, 600
- ATP, 225, 375, 380–386, 396–399
 - Allocated ATP, 399
 - ATP-Menge, 385, 397
 - Prüfzeitraum, 75
- Aufbauorganisation, 22, 228, 242
 - dezentral, 22
 - zentral, 22
- Auftrag, 307
- Auftragscharakteristika, 301
- Auftragsfolge, 292, 309
- Auftragsfreigabe, 18, 302
- Auftragsmanager, 213
- Ausführungskosten, 196
- Ausnahmebehandlungen, 613
- Ausrollprozess, 223
- Axapta, 617
 - Architektur, 618
- Bearbeitungszeit, 302
- Beendigungskosten, 197
- Belegungsplanung
 - Spezialprobleme, 358
- Belegungszeit, 291
- Beschaffungsauftrag, 32
- Beschaffungsplanung, 63
- Beschleunigungskosten, 254
- Betriebskalender, 359
- Bewegungsdaten, 606
- Bewertung, 513
 - AHP, 264
 - multikriteriell, 263
- Bezugsgröße, 254
- Billing
 - anwendungsorientiert, 551, 552
 - infrastrukturorientiert, 552

- ressourcenorientiert, 552
- Bionic Manufacturing, 112
- Boltzmann-Verteilung, 330
- Brückenexperiment, 501
- Broker, 152, 153, 213
- Budgets, 518, 524
- Bullwhip-Effekt, 50
- Business Process Reengineering
 - , 110
- Chromosom, 340
- Client Applikation, 571
- Closed Loop MRP, 29, 30
- Cluster, 278
 - hypothese, 279
 - Assoziationsmaß, 278
 - Dicesche Koeffizient, 278
 - Euklidischer Koeffizient, 278
- Clusteranalyse, 476
- Container, 572
- Controlling, 141, 235
 - Informationsbedarf, 515
 - Konzeption, 514
 - Netzwerk, 491, 515
 - Rationalitätssicherung, 513
- Corba, 566, 597
- Crossover, 354
 - GOX, 355
 - GPBX, 356
- CTP, 225, 375, 378, 380, 403, 410
- Daten, 605
 - global, 614
- Datenmodellierung, 606
- Datenorganisation
 - logisch, 606
 - physisch, 606
- Deckungsbeitrag, 517
- Dedicated Hosting, 555
- Dekomposition, 237
- Demand Planning, 74
- Deployment Descriptor, 572, 573, 575, 581
- Detailed Scheduling, 75
- Dicesche Koeffizient, 278
- difference method, 469
- Digraph, 497
- Durchlaufdiagramm, 296
- Durchlaufterminierung, 19
 - Grob-, 63
 - kurzfristig, 67
- Durchlaufzeit, 290, 295, 303
- Durchlaufzeitsyndrom, 37, 289
- DV-Konzept, 563, 568
- Dynamisierung, 170
- economies, 13
 - of scale, 13
 - of scope, 13
 - of skill, 134
 - of speed, 14
- EDI, 151, 595
- Effizienzstandard, 192
- Eigennutzstreben, 192
- Eigenwertverfahren, 269
- Einrollprozess, 223
- Einzelwirtschaften, 5
- EJB, 569, 571, 578, 599
 - Bestandteile, 579
 - Beziehungsrichtung, 586
 - Beziehungsschema, 584, 585, 587, 601
 - Entity Beans, 578, 583
 - Facade Pattern, 580
 - Mapping, 585
 - Message Driven Beans, 579, 588
 - Multiplizität, 586
 - Persistenz, 584
 - Session Beans, 578, 582
- EJB Container, 572, 599
- Embedded Devices, 540
- Enterprise Buyer, 73
- Enterprise Resource Planning, 43
 - Architektur, 45

- Definition, 47
- Prozesse, 45
- Entity–Relationship–Modell, 606
- Entkopplungspunkt, 65
- Entscheidungskosten, 195
- Entsperren, 615
- Erfüllungsgrad
 - einer Regel, 396, 407–410
 - eines Rahmenvertrages, 403, 407
- Erfahrungskurveneffekt, 14
- Erfolgsverteilung, 513, 533
- Erkenntnisobjekt, 4
- Ersetzungsschema, 350
- Euklidischer Koeffizient, 278
- EVCN, 167, 491
 - Ablauforganisation, 223
 - Anfragevorgang, 223
 - Angebotsgenerierung, 226
 - Antwortgenerierung, 223
 - ASP, 598
 - ATP, 225
 - Aufbauorganisation, 228
 - Ausrollprozess, 223
 - Client, 597
 - CTP, 225
 - Datenaustausch, 589, 595
 - Definition, 232
 - Dynamisierung, 170
 - Einrollprozess, 223
 - Globalisierung, 169
 - Informationsinfrastrukturmodell, 229
 - KMU, 168
 - Kommunikation, 589, 593
 - Konzeptueller Rahmen, 231
 - Lebenszyklus, 231
 - Netzwerkgenese, 589, 599
 - Outsourcing, 226
 - Systemarchitektur, 563, 564, 596, 599, 603
 - Thin Clients, 597, 598
 - Vernetzung, 171, 172
 - Zielgruppe, 167
- Evolutionäre Verfahren, 338
- Exakte Verfahren, 322
- Exploitation, 346
- Exploration, 346
- externe Effekte, 133
- Exzentrizität, 482, 483, 494
- Fabrik
 - Fraktale, 89, 90
 - partizipative, 160
 - Virtuelle, 159, 160, 162
- Facade Pattern, 580
- Fachkompetenz, 183, 494
- Faktorspezifität, 198
- Feature, 247
 - baum, 247
- Fehlerkreis der Produktionssteuerung, 38
- Feinplanung, 298
- Feinterminierung, 19
- Fertigungsalternativen, 243
 - Aufwandsgerechtigkeit, 243
 - Bewertung, 244
 - Ganzheitlichkeit, 244
 - Planungskonkretisierung, 244
- Fertigungsauftrag, 32, 606
 - Abrechnung, 608
 - Abweichungsermittlung, 608
 - Archivierung, 608
 - Belegdruck, 607
 - Durchführung, 607
 - Eröffnung, 607
 - Freigabe, 607
 - Löschung, 608
 - Lebenszyklus, 607
 - Rückmeldung, 607
 - Teilrückmeldung, 607
 - Verfügbarkeitsprüfung, 607
 - Ware in Produktion, 608

- Warenbewegung, 608
- Fertigungsfolge, 243
- Fertigungssteuerung, 17
- Fertigungsszenarien, 240
- Flow Shop Problem, 300
- focussing, 474
- Fraktale Fabrik, 111
- Function Builder, 614
- Fuzzy-Logik, 393, 404, 414

- Gantt-Diagramm, 311
- Gegenstromverfahren, 23
- Gen, 341
- Genese, 106
- Genetische Algorithmen, 343
 - Basiszyklus, 344
 - Bestandteile, 345
 - Bewertung, 344
 - Crossover, 354
 - Ersetzungsschema, 344, 350
 - Exploration, 346
 - Exploitation, 346
 - Kodierung, 347
 - Mutation, 356
 - Populationsgröße, 349
 - Populationskonzept, 349
 - Populationsstruktur, 352
 - Rekombination, 354
 - Repräsentation, 344
 - Selektion, 344, 352
- Genotyp, 341
- Global ATP, 75
- Globalisierung, 169
- Grid-Matrix, 468, 470, 471
- Growing Neural Gas, 280, 282
- Grundablauf der Logistik, 38

- Handhabungskosten, 196
- Handlung
 - verdeckt, 427
- Herausforderungen, neue, 26
- Heuristik, 220, 323, 497

- Eröffnungsverfahren, 324
- Verbesserungsverfahren, 324
- Heuristikwert, 494, 509
- hidden action, 132
- hidden characteristics, 423
- hidden information, 131
- hidden intension, 424
- Holonic Manufacturing, 112
- Hybrid, 125, 194, 198
- Hybride Algorithmen, 507

- ICIX, 277, 493, 511
 - Matching, 282
- IMK, 273, 495, 510, 521, 531
 - ICIX, 283
 - Komponenten
 - Datenbank, 275
 - Domänenontologie, 273
 - Kandidatenauswahl, 275
 - Verbindungswissen, 276
 - Suche, 277
- Indexbaum, 283
- Informationsasymmetrie, 421
- Informationsbedarf
 - Analyse, 516
 - Merkmale, 516
 - objektiver, 516
 - subjektiver, 516
- Informationsinfrastrukturkonzept, 537
- Informationsinfrastrukturmodell, 229
- Informationskosten, 194
- Integration
 - vertikale, 130
- intermediär, 122, 161
- Internet, 145, 150
- Interposition, 574
- Ist-Kosten, 533
- IuK-Technologie, 135, 170, 517

- J2EE, 566, 568

- Architektur, 570
- Container, 572
- Deployment Descriptor, 572, 573, 575, 581
- EJB, 569, 571, 578, 599
- EJB Container, 572, 599
- Entity Beans, 578, 583
- Instanzpooling, 577
- Interposition, 574
- JMS, 588, 593, 597
- JSP, 569, 571, 598, 599
- Komponenten, 571
- Message Driven Beans, 579, 588, 600
- Persistenz, 577, 584
- Ressourcenmanagement, 577
- Servlet, 569, 571, 598, 599
- Session Beans, 578, 582, 600
- Spezifikation, 569
- Technologien, 569
- Transaktion, 575
- Web Container, 572, 598
- XML, 596
- Java, 567
- Job Shop Problem, 300
- Job Shop Scheduling, 306
- Joint Venture, 118
- Kalkulation, 377
 - Auftragskalkulation, 527, 529, 530
 - Schema, 532
 - Verfahren, 527
 - Additionsverfahren, 527
 - Konsolidierungsrechnung, 528
 - Primärkostenverfahren, 528
- Kapazität, 358
- Kapazitätsart, 358, 368
- Kapazitätsterminierung
 - kurzfristig, 67
 - mittelfristig, 63
- Kapazitätstyp, 359, 363
- Kernkompetenz, 12, 134, 145, 155, 158, 161, 179, 180, 184, 195
- KMU, 168, 521
- Kompetenz
 - fachlich, 183
 - methodisch, 183
 - personal, 183
 - sozial, 184
- Kompetenzprofil, 188
- Kompetenzsuche, 237
- Kompetenzzelle, 126, 127, 178–182, 195, 210–214, 491
 - Angebot, 494, 497
 - Auswahl, 491
 - Autonomie, 188
 - Begriff, 182
 - Bewertung, 491
 - Definition, 186
 - Größe, 188
 - Kompetenzbereiche, 183
 - Kompetenzprofil, 188
 - Ordnungsrahmen, 183
 - Suche, 273
- Kompetenzzellennetz, 209, 214
 - Angebotsvektor, 216
 - Nachfragevektor, 216
 - Prozessketten, 215
 - Prozessschritt, 216
 - Prozessvariantenplan, 216
 - Vision, 214
- Komplexität, 317
- Komplexitätsgrad, 129, 130
- Konnektivität, 481, 482, 494
- Kontrollkosten, 195
- Kooperationseffektivität, 175
- Kooperationseffizienz, 175
- Kooperationsform, 88
 - Joint Venture, 88
 - Strategische Allianzen, 88
 - Unternehmensnetzwerke, 88

- Kosten, 376
 - auftragsbezogen, 523
 - auftragsneutral, 523, 529
 - Bezugskosten, 377
 - Einzel, 518
 - fix, 518
 - Gemeinkosten, 518, 529
 - im Netzwerk, 523
 - Informationsgewinnung, 531
 - Koordination, 517
 - Lagerbindungskosten, 379
 - Opportunität, 517
 - Opportunitätskosten, 377, 418
 - primär, 523
 - sekundär, 523
 - Transportkosten, 377
 - variabel, 518
- Kosten- und Leistungsrechnung, 519
 - Herausforderung, 521
 - Kostenartenrechnung, 520
 - Kostenstellenrechnung, 520
 - Kostenträgerrechnung, 520
 - Netzwerkkostenrechnung, 525
- Kostensatz, 254
- Kostentreiber, 529
- KPZ-Angebotsnetz, 494
- KPZN, 209, 492

- Lagerkosten, 254
- Lean Logistic, 389, 390
- Lean Production, 109
- Lebenszyklus, 231
- Leerkosten, 253
- Leerzeit, 291
- Lieferantenauswahl, 376
- Lieferkette, 48
- Liefertermin, 378
 - Ermittlung, 379, 381, 382, 391
- Liefertreue, 378, 388
- Lieferwahrscheinlichkeit, 378, 391, 393, 396, 401, 410, 415

- Liegezeit, 290
- Local Updating Rule, 506
- Logistics Execution System, 73
- Logistikkette, 48
- Lokale Suchverfahren, 327
 - Simulated Annealing, 329
 - Sintflut-Methode, 336
 - Threshold Accepting, 333
- Losgrößenbildung, 289
- Losgrößenplanung, 66

- makespan, 304
- Management
 - Verhaltensregeln, 104
- Managementkonzept, 91
 - atmendes, 107
 - Bionic Manufacturing, 112
 - bionisches, 107
 - Business Process Reengineering, 110
 - flexibles, 108
 - Fraktale Fabrik, 111
 - fraktales, 107
 - hierarchieloses, 108
 - Holonic Manufacturing, 112
 - holonisch, 107
 - Lean Production, 109
 - lernendes, 107
 - modulares, 107
 - robustes, 108
 - Segmentierte Fabrik, 109
 - segmentiertes, 107
 - Total Quality Management, 109
 - virtuelles, 108
 - Virtuelles Unternehmen, 112
 - vitales, 107
 - wandelbares, 108
- Managmenttheorie
 - konstruktivistisch–
technomorph, 102

- systemtheoretisch–
 - kybernetische, 103
- Manufacturing Resource Planning,
 - 29, 32
 - Evolution, 29
 - Kritik, 43
 - Optimierung, 37
 - SAP R/3, 38
- Marktbenutzungskosten, 202
- Maschine, 308
- Maschinenauslastung, 306
- Maschinenbelegungsplanung, 299
 - Auftragscharakteristika, 301
 - Formale Beschreibung, 299
 - Maschinencharakteristika, 300
 - Optimalitätskriterien, 303
- Maschinencharakteristika, 300
- Maschinenfolge, 307, 308
- Maschinenstundensatz, 254
- Maschinenstundensatzrechnung,
 - 255
- Master Plan, 383, 385, 396
- Master Production Schedule, 62
- Material Requirements Planning,
 - 28, 29
 - Kritik, 43
- Materialbedarfsplanung, 64
 - bedarfsorientiert, 64
 - verbrauchsorientiert, 64
- Materialkosten, 254
- Mengen-Split, 262
- Message Oriented Middleware,
 - 588, 593, 597
- Messaging, 593
- Metaheuristiken, 325
- Methode, 220
- Methodenkompetenz, 183, 494
- Middleware, 566
- Modell, 219, 321
- Modell lebensfähiger Systeme, 105
- Modularisierung, 178–180
- moral hazard, 132, 205, 425
- Morphologie, 210
- MRP, 28
- MRP II, 29
- Multi-Tenancy-Modell, 555
- Multi-Tier-Architektur, 569, 570,
 - 578
- Mutation, 106, 356
- Nachbarschaft, 321
- Nachfragevektor, 216, 240, 493
- Natural analoge Verfahren, 497
- Neoklassik, 123, 131, 132, 178
- Network Design, 73
- Netzwerk
 - Definition, 97
 - dynamisches, 151, 211, 212
 - flexibles, 148
 - Kategorisierung, 93
 - ökonomisch, 95
 - sozial, 94
 - technisch, 94
 - Kompetenzzellen-, 214
 - kurzfristiges, 162
 - langfristiges, 162, 167
 - Managementtheorie, 104
 - Ordnung, 91
 - stabiles, 194
 - statisches, 194, 210, 211
 - strategisches, 120, 121, 209
 - Systemische Ansätze, 97
 - konstruktivistisch–
 - technomorph, 102
 - Ordnungsbildung, 100
 - Selbstorganisation, 103
 - systemtheoretisch–
 - kybernetische, 103
 - Verhaltensregeln, 104
 - Neue Institutionelle Ökonomie,
 - 126, 127, 134
 - Neuronale Netze, 280
 - nutzbare Menge, 400

- Nutzenfunktion, 378
- Offenbarungsstrategie, 434
- Open Shop Problem, 300
- operative Technologieplanung, 245
- Opportunismus, 205
- Optimalitätskriterien, 303
 - Fälligkeitszeitpunkt, 304
 - Fertigstellungszeit, 303
 - reguläre Zielfunktion, 303
- Outsourcing, 226, 546
 - Selective, 547
 - Full-, 547
 - Projekt, 546
 - Rechenzentrum, 547
 - Service, 546
- Peitschen-Effekt, 50
- Persönlichkeitskompetenz, 183
- Persistenz, 577, 584
- Personalstundensatz, 254
- Phänotyp, 341
- PHA, 494
- Pheromon, 502, 510
 - Update, 512
- Planung, 20
- Planungs- und Steuerungsinstrumente, 517
- Planungsinstrumente, 24
- Planungskonzept, 20
 - Evolution, 42
- Planungskonzepte, 17
- Planungsobjekte, 21
- Planungsorganisation, 22
- Planungsvorlauf, 29
- Planungszeitraum, 30
- Polyedrale Analyse, 444, 460, 464, 477, 478, 490
 - Beispiel, 479
 - Ergebnisinterpretation, 482
 - Modellbeschreibung, 479
 - Modellbewertung, 487
- Populationsgröße, 349
- Populationskonzept, 349
 - Ersetzungsschema, 350
 - Populationsgröße, 349
 - Populationsstruktur, 352
 - Startpopulation, 350
- Populationsstruktur, 352
- Preismechanismus, 189
- Preisuntergrenze, 517, 531, 532
- Prinzipal-Agenten-Theorie, 127, 131–134, 420
 - adverse selection, 132
 - hidden action, 132
 - hidden information, 131
 - moral hazard, 132
- Produktgruppe, 31
- Produktionsfähigkeit, 411, 412, 414
- Produktionsfaktoren, 5
- Produktionsnetz, 124–127, 130, 135, 166, 167, 180, 181, 211
- Produktionsplanung, 17, 75
- Produktionsprogrammplanung, 62
- Produktionswirtschaft
 - Dilemma, 25
- Produktkomplexität, 412, 413
- Produktstruktur, 238
- Programmplanung, 30
- Prozessschritt, 216
- Prozessvarianten, 492
- Prozessvariantenplan, 216, 492
 - elementarisierter, 492
 - kategorisierter, 492
 - KPZ-attribulierter, 493–495
- Qualität, 376, 377
- Rückmeldung, 615
- Rüstkosten, 253
- Rüstzeit, 291, 302
 - reihenfolgeabhängig, 370
 - reihenfolgeabhängige, 291
 - reihenfolgeunabhängig, 370

- Radardiagramm, 455
 Rahmenprogramm, 613
 Rationalität, 204
 begrenzte, 130, 134
 Rechnungswesen, 519
 Reihenfolgebeziehung, 302
 Reihenfolgeplanung, 19, 68, 289
 Rekombination, 106, 354
 Rekombinationsgesetz, 339
 Repertory Grid, 460
 Auswertung, 472
 Clusteranalyse, 476
 Handverfahren, 473
 Hauptkomponentenanalyse, 475
 Polyedrale Analyse, 478
 Durchführung, 470
 Elementbestimmung, 467
 Konstruktbestimmung, 469
 Untersuchungsgegenstand, 465
 Ressourcenbasierter Ansatz, 134
 Ressourcenpool, 162, 209, 210
 Risikoauslese, 205

 SAP-SERM, 606
 Scheduling, 68, 311
 Schichtplan, 359, 363
 Schnittstelle
 Releasefähigkeit, 611
 Timing, 610
 Verarbeitungsart, 611
 Verarbeitungsrichtung, 610
 Verfügbarkeit, 611
 SCOR
 Ebenen, 55
 Messgrößen, 57
 Prozesskategorie, 56
 Prozesstypen, 53
 SCOR-Modell, 51, 493
 Screening, 424, 437
 Second-Best-Lösung, 426
 Segmentierte Fabrik, 109

 Selbstorganisation, 103
 Selektion, 106, 352
 Roulette, 353
 Semistrukturellen Datenbanksysteme, 274
 Sequencing, 309
 Ablaufgraph, 310
 Disjunktiver Graph, 310
 Konjunktiver Graph, 308
 Maschinenfolgegraph, 308
 Servicegrad, 378, 392
 Shared Hosting, 555
 shirking, 205
 Sicherheitsbestand, 399, 402
 Signalling, 424
 Simple-Matching Koeffizient, 278
 Simulated Annealing, 329
 Simultaneous Engineering, 238
 Simultanplanung, 24
 Single-Tenancy-Modell, 555
 Sintflut-Methode, 336
 Soft-facts, 444, 445, 460, 494
 Definition, 444
 Integration, 443
 Soft-fact-Controlling, 459
 Soft-skills, 478
 Softwarekomponenten, 566, 578
 Sozialdarwinismus, 104
 Sozialkompetenz, 184, 494
 Sperren, 615
 Spezifität, 129, 130
 Splitten, 261
 Stückliste, 238
 Stammdaten, 605
 Startpopulation, 350
 Status, 608
 Stigmergy, 502
 Stillstandszeit, 291
 Stock Control Software, 29
 Strategie
 make-to-configure, 382

- make-to-order, 382, 384
- make-to-stock, 382, 383
- Push, 382
- Strategische Allianz, 118
- Structural Hole Theory, 458, 459
- Suchkosten, 194
- Sukzessivplanung, 24
- sunk costs, 425
- Supply Chain Cockpit, 73
- Supply Chain Council, 52
- Supply Chain Management
 - Absatzplanung, 65
 - Available to Promise, 70
 - Definition, 48
 - Defizite, 80
 - Ausnahmeregelungen, 82
 - Datenintegration, 81
 - Prozessintegration, 81
 - Reziprozität, 81
 - Systemintegration, 82
 - Demand Planning, 65
 - Distributionsplanung, 69
 - Master Planning, 61
 - Prinzipien, 49
 - Produktionsplanung, 66
 - SCOR-Modell, 51
 - SNP, 60
 - Transportplanung, 69
- Supply Chain Network, 48
- Supply Network Planning, 74
- Supply Web, 48
- Swarm Intelligence, 499
- Synchrone Kommunikation, 592
- Systemarchitektur, 555, 564, 596, 599, 603
 - Dedicated Hosting, 555
 - Multi-Tenancy-Modell, 555
 - Shared Hosting, 555
 - Single-Tenancy-Modell, 555
- Systemische Ansätze
 - evolutionär, 105
 - Genese, 106
 - Mutation, 106
 - Rekombination, 106
 - Selektion, 106
 - kybernetisch, 105
 - Modell lebensfähiger Systeme, 105
- Tabu Search, 327
- Tagesprogramm, 360
- Tauschparadigma, 192
- Technologien, 563
- Terminüberschreitungskosten, 253
- Terminüberschreitungzeit, 290
- Terminabweichung, 304
- Termingrobplanung, 289
- Terminplanung, 67
- Theorie, 217
- Theorie der Verfügungsrechte, 132–134
- Theory of Personal Constructs, 461
- Thin Client, 540
- Threshold Accepting, 333
- Total Quality Management, 109
- Trail-Matrix, 503
- Transaktion, 575
- Transaktionskosten, 128
 - Kostenverlauf, 202
 - Vertragsschema, 200
- Transaktionskostenansatz, 128, 232
- Transaktionskostentheorie, 127, 134, 180, 189
- Transportation Planning, 74
- Travelling Salesman Problem, 502
- Überlappen, 258
- Unsicherheit, 129–131
 - dynamische, 411, 412
 - Handhabung, 390
 - statische, 411, 412
- Unternehmen, 178, 190

- Virtuelles, 121, 153, 158, 162, 167, 181, 209, 211, 214, 233, 234
- Unternehmensapplikation, 564
- Unternehmensnetzwerk, 118, 175
 - Definition, 122
 - Definition allgemein, 119
- Value-Added-Service, 173
- Vehicle Scheduling, 74
- Venn-Diagramm, 316
- Verdunstungsrate, 504
- Vereinbarungskosten, 195
- Verfügbarkeitsprüfung, 378–383, 385–387, 391
 - modifizierte, 392
- Verhalten
 - opportunistisches, 180, 195
- Verhaltensprinzip, 204
 - Opportunismus, 205
 - Rationalität, 204
- Verhandlungen, 375, 415, 417
- Verhandlungskosten, 195
- Verrechnungspreise, 517, 524, 531
- Vertragsschema, 200
- Verzögerungsbit, 367
- Verzögerungskosten, 254
- Virtuelle Maschine, 567
- Virtuelles Unternehmen, 12, 112
 - dynamic network, 152
- Visibility-Matrix, 503

- Wartezeit, 290, 304
- Web Container, 572
- Web Services, 568

- XML, 568, 595
 - DTD, 595
 - Tags, 595
 - Wohlgeformtheit, 595
 - XML Schema, 595

- Zeit-Split, 262

- Ziele, 290
 - indifferente, 294
 - komplementäre, 294
 - konkurrierende, 294
 - Zeitziele, 290
 - Zielbeziehungen, 293
- Zielfunktionswert, 510, 512
- Zielkonflikt
 - Preis-Liefertermin, 377, 378
- Zugriffswahrscheinlichkeit, 400, 403
- Zwischengeometrie, 242
- Zwischenprodukt, 243
- Zykluszeit, 290, 304