

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Im Auftrage des Präsidiums herausgegeben von

JOACHIM-HERMANN SCHARF

Director Ephemeridum der Akademie

NEUE FOLGE

NUMMER 272

BAND 63

Das Elementare — Bestand und Wandel

Vorträge anlässlich der Jahresversammlung
vom 11. bis 14. April 1987 zu Halle (Saale)

Herausgegeben von

Joachim-Hermann SCHARF, Halle (Saale)

Director Ephemeridum der Akademie

Mit 195 Abbildungen und 15 Tabellen

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale) 1990

Inhaltsverzeichnis

1. Feierliche Eröffnung

SACKMANN, Horst: Begrüßungsansprache	8
BÖHME, Hans-Joachim: Grußansprache	11
BETHGE, Heinz: Bericht des Präsidenten der Akademie	17
<i>Laudatio</i> für Rostislaw KAISCHEW, Sofia, anläßlich der Verleihung der COTHENIUS-Medaille	33
<i>Laudatio</i> für Adolf WATZNAUER, Karl-Marx-Stadt, anläßlich der Verleihung der COTHENIUS-Medaille	35
<i>Laudatio</i> für Aleksandr Fedorovič ANDREEV, Moskau, anläßlich der Verleihung der CARUS-Medaille	38
<i>Laudatio</i> für Hannes LICHTÉ, Tübingen, anläßlich der Verleihung der CARUS-Medaille	40
<i>Laudatio</i> für Zdeněk LOJDA, Prag, anläßlich der Verleihung der SCHLEIDEN-Medaille	42
<i>Laudatio</i> für Jane GOODALL, Daressalam, anläßlich der Verleihung der MENDEL-Medaille	44
<i>Laudatio</i> für Eugen SEIBOLD, Freiburg, anläßlich der Verleihung der Ehrenmitgliedschaft	46

2. Wissenschaftliche Sitzungen

MOHR, H.: Das Elementare in den Wissenschaften – Möglichkeiten und Grenzen des Reduktionismus	51
HIRZEBRUCH, F.: Axiome, Definitionen, Begriffe in der Mathematik	61
SCHOPPER, H.: Gibt es Elementarteilchen?	79
BOROVIK-ROMANOV, A. S.: Magnetische Erscheinungen	91
GENZEL, L.: Molekül – Cluster – Mikrokristall – Kristall: Elemente der kondensierten Materie	105
HOPPE, R.: Der Raum – eine elementare Zäsur zwischen Wissen und Verstehen? (Beispiele aus der Anorganischen Festkörperchemie)	111
HÜNIG, S.: Vom Phlogiston zum Elektronentransfer – Wandel des Redoxbegriffes und Konsequenzen für seine Anwendung	129
NIKITIN, E. E.: Chemische Elementarreaktionen – Statik und Dynamik	145
SCELLENBERGER, A.: Elementare und komplexe Strukturierungsprozesse bei Proteinen	161
GROSS, H. J.: Viroide: infektiöse Nucleinsäuren als Krankheitserreger bei Pflanzen	181
PARTHIER, B.: Cytosymbiosen: Von <i>Chloronium mirabile</i> zum Gentransfer	193
GIERER, A.: Differenzierung und Formbildung in mehrzelligen Organismen	219

PARTHIER, B.: Bericht über die Podiumsdiskussion „Elementares und Komplexes am Beispiel der Zelle“	233
GEILER, G.: Grundlagen und Wechselbeziehungen der unspezifischen und spezifischen Abwehr	241
ALLGÖWER, M.: Bestand und Wandel in der Diagnostik	255
JORKE, D.: Therapiestrategie – Bestand und Wandel	269
BISCHOF, N.: Ordnung und Organisation als heuristische Prinzipien des reduktiven Denkens	285
BETKE, K.: Schlußwort	313
Englische Kurzfassungen der Beiträge	317

3. Anhang

JACOBI, R.-M.: Zusammenfassender Bericht über die Jahresversammlung 1987	331
BUCHBORN, E., und SANDER, E.: Bericht über den Diskussionskreis „Elemente der Diagnostik und die ärztliche Diagnose“	337
<i>Verzeichnis</i> der wissenschaftlichen Veranstaltungen der Deutschen Akademie der Naturforscher LEOPOLDINA zwischen den Jahresversammlungen 1985 und 1987	340

Ordnung und Organisation als heuristische Prinzipien des reduktiven Denkens

von Norbert BIRSCHOF (Zürich)¹

Mitglied der Akademie

Mit 15 Abbildungen



Norbert Birsch

¹ Hermann HAKEN, Mitglied der Akademie, in Verehrung und freundschaftlicher Verbundenheit zum 60. Geburtstag gewidmet

Idee und Erfahrung

Vor 10 Jahren fand auf der Jahresversammlung der LEOPOLDINA ein Rundtischgespräch zum Thema *Idee und Erfahrung* statt. Über »Erfahrung« brauchte man dabei nicht lange zu debattieren; schwieriger stand es hingegen um den Begriff der »Idee«. Man hätte darunter einfach die aus der Erfahrung gewonnene *Theorie* verstehen können; die Mehrzahl der Teilnehmer ging indessen von einer anspruchsvolleren Denkfigur aus, die der damalige Diskussionsleiter, C. F. VON WEIZSÄCKER, mit der paradoxen Formel »Man sieht nur, was man weiß« umschrieb.

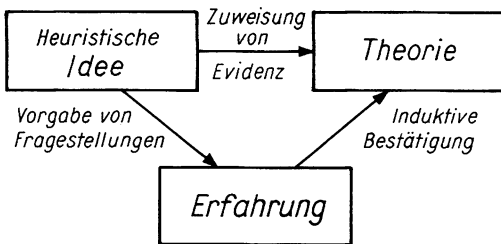


Abb. 1

Die Idee erscheint, so verstanden, der Erfahrung (und erst recht der Theoriebildung) nicht nach-, sondern vielmehr vorgeordnet: als ein *heuristisches Prinzip*, das die empirische Forschung durch Fragestellungen vorstrukturiert und den denkmöglichen theoretischen Antworten unabhängig von ihrer empirischen Bestätigung unterschiedliche Grade von Evidenz zuweist (Abb. 1).

Heuristische Ideen sind eigentümliche Phänomene. Beim Wort genommen, wirken sie oft heillos spekulativ; gleichwohl sind sie das Ferment wissenschaftlicher Kreativität. Sie können Erkenntnisprozesse in Gang setzen, ohne in einem überprüfbaren Sinn »wahr« zu sein. Als Theorien dürfen sie daher nicht mißverstanden werden. Zuweilen kommt freilich auch dies vor, besonders dann, wenn eine heuristische Idee sich in einem Forschungsgebiet festgesetzt hat, in dem sie keine Fruchtbarkeit zu entfalten vermag. Sie zieht sich dann vor der Erfahrung immer weiter in den illusorischen Selbstgenuß ihrer intuitiven Evidenz zurück – eine degenerative Erscheinung, die beispielsweise die psychologische Theoriebildung bis zur Gegenwart erheblich belastet hat (vgl. BISCHOF [1981]).

Wissenschaftstheoretisch gesehen ist der Stellenwert heuristischer Prinzipien eher schwierig zu bestimmen; um so unbestreitbarer ist indessen ihre wissenschaftspsychologische Relevanz. Von ihrer geistesgeschichtlichen Entwicklung hängt ab, welchen Verlauf unsere Erkenntnis nimmt, wo Fortschritt und Stagnation eintreten; sie sind es, die das Klima für die von KUHN (1981) beschriebenen Paradigmenwechsel vorbereiten oder blockieren.

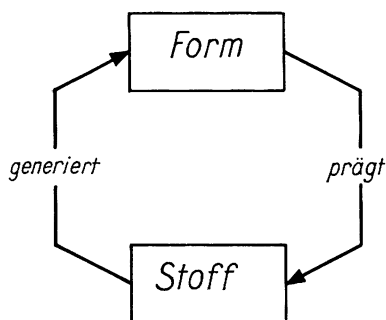
Von solchen *heuristischen Ideen der Naturwissenschaften* also soll hier die Rede sein. Dabei wird, wie ich zeigen zu können hoffe, die alte Frage nach Sinn und Grenzen der Reduktion, insbesondere bezüglich Biologie und Physik, in neuem Licht erscheinen. Insofern wird mein Referat den Bogen zurück zum Eröffnungsvortrag von Herrn MOHR schlagen und das dort Ausgeführte in die Dimension der Wissenschaftspsychologie hinein erweitern.

Wenn wir mit der nachmittelalterlichen *Physik* beginnen, so fallen vornehmlich 2 heuristische Ideen dieser Wissenschaft ins Auge, von denen die eine das Verhältnis von *Stoff* und *Form*, die andere das Wesen der natürlichen *Ordnung* betrifft. Beide Ideen stehen in einem inneren Zusammenhang, der sich allerdings erst bei tieferem Eindringen in ihren Gehalt erschließt.

Stoff und Form

Unter den griechischen Philosophen war PYTHAGORAS einer der ersten, der *Stoff* und *Form* als konstitutive Prinzipien der Wirklichkeit unterschieden hat. Er nannte die Form *peras*, das Bestimmende, und setzte ihr das *apeiron*, das Unbestimmte, entgegen. PLATON und ARISTOTELES sind ihm darin grundsätzlich gefolgt. Das Wesen der Dinge haftet in dieser Betrachtungsweise an ihrer Form. Die Materie ist nötig, damit die Form sinnfällig werden kann. Davon abgesehen aber hat sie keinerlei Charakter: Sie ist von sich aus amorph, widerstandslos jeder beliebig aufprägbaren Form gefügig.

Dieses Verständnis der Materie entsprach dem naiv technomorphen Denken der beginnenden abendländischen Zivilisation. Ihm waren ältere, noch an mythologische Inhalt anknüpfende Vorstellungen vorangegangen. Die früheste Frage der ionischen Naturphilosophie, mit THALES VON MILET beginnend, galt der *arché*, dem Urstoff des Universums, und der ist etwas wesentlich anderes als das pythagoräische *apeiron*: Ein schöpferisches Chaos, eine ungeheure Verdichtung der Wirklichkeit – nicht der charakterlose Sklave eines übergeordneten Formprinzips, sondern eine *Matrix*, wie später PARACELsus sagt, ein elementarer Muttergrund, der die Kraft hat, aus sich heraus die Fülle der Formen zu gebären.



Thalisch

Pythagoräisch

Abb. 2

Die beiden Betrachtungsweisen seien nachfolgend als die »thalische« und die »pythagoräische« Sicht gekennzeichnet (Abb. 2). Sie unterscheiden sich darin, daß jene dem Stoff, diese aber der Form den Primat über das jeweilige Gegenprinzip einräumt. Zu beiden existiert interessanterweise eine Parallele in der kognitiven Entwicklungspsychologie. Bis in das 6. Lebensjahr hinein empfindet das Kind gewissermaßen »pythagoräisch«: Die Identität der Dinge haftet an ihrer *Form*. Ein Junge wird zum Mädchen, wenn er ein Kleid anzieht; Wasser, in ein anders geformtes Gefäß umgegossen, ist nicht mehr »dasselbe« (und daher auch nicht mehr gleichviel) Wasser. Mit 7 Jahren etwa geht das Kind zur »thalischen« Auffassung über: Träger der Identität wird dann der *Stoff*, aus dem die Dinge gemacht sind. Ein Junge ist aus »männlicher Substanz« und kann sein Geschlecht daher nicht mehr wechseln. Das Wasser bleibt mit sich identisch (und konserviert daher auch sein Volumen), wenn man es umgießt.

Allerdings geht die »pythagoräische« Sicht dabei nicht völlig verloren; sie tritt nur in den Hintergrund, kann aber, selbst noch beim Erwachsenen, leicht wieder aktiviert werden. Für die Ideengeschichte gilt dasselbe: In der abendländischen Naturphilosophie sind die beiden Auffassungsweisen nicht nur in umgekehrter Reihenfolge aufgetaucht, sondern sie haben sich beide auch immer nebeneinander behauptet, dabei wechselte mehrfach ihr relatives

Gewicht. Nach der Vision des kosmogonischen Urstoffes von THALES bis EMPEDOKLES siegte in der PLATONISCH-ARISTOTELISCHEN Epoche bis zum Mittelalter die Form über die Materie. Die Renaissance leitete dann für einen Zeitraum, der bis an die Schwelle der Romantik reichte, den Umschwung zurück zum Primat der »Matrix« ein. Diesem erneuten Aspektwechsel verdankt die moderne Physik ihre entscheidende heuristische Starthilfe.

Physikalische Forschung setzt an konkreten Teileinheiten der Natur an, die man *Systeme* nennt. Beispiele für mechanische Systeme wären etwa eine Kugel auf einer schiefen Ebene, ein Pendel im Schwerfeld der Erde oder ein Satellit, der von einer Abschlußrampe her auf eine planetarische Umlaufbahn um einen Himmelskörper gebracht wird (Abb. 3).

In einem System laufen Prozesse ab, die der Physiker in *Regeln* wie dem Fallgesetz, dem Pendelgesetz und den KEPLERSCHEN Gesetzen einzufangen bestrebt ist. Diese Regeln enthalten grundsätzlich außer quantitativen auch *qualitative* Komponenten: Zum mathematischen Formalismus der Gesetzesaussage gehört immer auch eine empirische Interpretation der darin vorkommenden Größen durch die Angabe der Prozeduren, mit denen man die Größen *mißt*. Der Physiker spricht hier von »Dimensionen«, »Größenarten« oder einfach »physikalischen Qualitäten«.

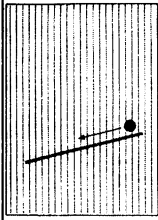
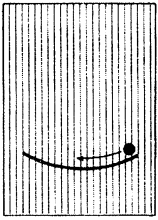
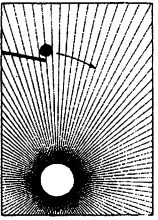
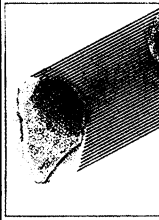
	<i>Schiefe Ebene</i>	<i>Pendel</i>	<i>Planet</i>	<i>Massen in Wechselwirkung</i>
<i>System</i>				
<i>Regel</i>	<i>Fallgesetz</i>	<i>Pendelgesetz</i>	<i>KEPLERs Ges.</i>	<i>NEWTONs Gesetze</i>
<i>Formel</i>	$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$	$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$	$T^2 \sim a^3$...	$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{(x_1 - x_2)^2}$ $F = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$
<i>Qualit.</i>	<i>Fallweg</i> <i>Fallzeit</i> <i>Erdbeschl.</i>	<i>Pendellänge</i> <i>Schwingungs-</i> <i>dauer</i> <i>Erdbeschl.</i>	<i>Hauptachsen-</i> <i>länge</i> <i>Umlaufzeit</i>	<i>Ort</i> <i>Zeit</i> <i>Masse</i> <i>Kraft</i>

Abb. 3

Es war ein schöner Anfangserfolg, daß sich konkrete Systemgesetze der angegebenen Art überhaupt formulieren ließen. Dieser Erfolg ermutigte die Wissenschaft zu einem gewagten Reduktionsabenteuer. Bei allen angeführten Beispielen, so argumentierte etwa NEWTON, handelt es sich um Körper, die sich unter dem Einfluß von Gravitationswirkungen bewegen. Man könnte also versuchen, von allem zu abstrahieren, was sie voneinander unterscheidet, sie zu einer *allgemeineren Systemklasse* — etwa »gravitierende Massen in Wechselwirkung« — zusammenzufassen und zuzusehen, ob sich für diese allgemeine Klasse vielleicht wiederum eine mathematische Beschreibung finden läßt. Bekanntlich ist das in der Tat der Fall. Die mathematische Ordnung wird bei diesem Reduktionsprozeß nicht etwa ausgedünnt, sondern sie bleibt voll erhalten; das allgemeine Gesetz ist formulierbar, und es erweist sich nicht als schwächer, sondern als noch mächtiger als die konkreten Systemgesetze.

In der Folgezeit ist die Physik auf diesem Wege beharrlich fortgeschritten. Die mathematischen Formalismen, die sich im Zuge immer kühnerer Zusammenfassung von Systemen zu Systemklassen ergaben, konvergierten folgerichtig auf die Gestalt der *Differentialgleichung*, also auf einen Gesetzestypus, der nicht einen bestimmten Prozeß, sondern eine Klasse *möglicher* Prozesse beschreibt (vgl. dazu im einzelnen auch v. WEIZSÄCKER [1985], S. 242ff.). Die Hoffnung ist ungebrochen, daß man in Fortsetzung dieses Programms schließlich zu so etwas wie einer »Weltformel« oder einer »*Theory of everything*« gelangen könne, der eine derart allgemein definierte physikalische Systemklasse zuzuordnen wäre, daß nichts im Universum mehr sich ihrem Geltungsbereich entzöge. Diese Hoffnung hat sich bis heute zwar noch nicht erfüllt; aber darauf kommt es hier nicht an: Was uns interessiert, ist die psychologische Attraktivität dieses Reduktionsprogramms. Denn sie bekundet die *Macht* der heuristischen Idee, die wir herauspräparieren wollen.

Bei der Transformation von spezielleren in allgemeinere Gesetze müssen in der Regel auch die physikalischen *Qualitäten* revidiert und reduziert werden. Auf dem Niveau der konkreten Systeme begegnet uns zunächst eine bunte Palette von Größen, für die keine gemeinsame Meßvorschrift definiert ist und die daher als qualitativ verschieden zu gelten haben. Die Nautik etwa verwendet sogar noch 2 inkommensurable Längenmaße, nämlich »Seemeilen« (längs der Wasseroberfläche) und »Faden« (für Tiefenlotungen). Der Grund für diese qualitative Aufsplitterung liegt darin, daß im Systemzusammenhang des Schiffsverkehrs keine Gesetze vorkommen, die solche Größen additiv verknüpfen. Genau dies ändert sich aber beim Übergang von systemspezifischen zu systemübergreifenden Gesetzen, so daß sich nun die Notwendigkeit ergibt, vormals inkommensurable Qualitäten auf oftmals faszinierend kontraintuitive Weise zu *allgemeineren Qualitäten* zusammenzufassen. Die Integration der Optik in den Elektromagnetismus oder der Akustik und Wärmelehre in die Mechanik bieten eindrucksvolle Beispiele hierfür.

Bei diesem Reduktionsprozeß verringert sich notwendigerweise die *Anzahl* inkommensurabler Qualitäten immer mehr, was zuweilen Anlaß zu der Auffassung gegeben hat, die Physik löse Qualitäten überhaupt in Quantitäten auf und münde somit letztlich in reine Mathematik. Dies ist indessen nicht wahr. Selbst wenn es, um ein aktuelles Beispiel zu nennen, der Elementarteilchenphysik gelingen sollte, die 4 verbleibenden Grundkräfte auf eine einzige, die vorerst noch legendäre »*Supergravity*«, zu reduzieren, bliebe diese dann immer noch eine *qualitative* Interpretation des Weltgesetzes, eine durch Meßvorgänge gewährleistete Brücke zwischen der Tautologie einer mathematischen Gleichung und der Empirie der realen Welt. In dieser einen Qualität wäre dann das Wesen der Materie überhaupt in tiefster Verdichtung begriffen.

Die beiden eben umrissenen Programme sollen nachfolgend als *logische* und *materielle Reduktion* bezeichnet werden (Abb. 4), eine Ausdrucksweise, deren Sinn sogleich deutlich werden wird.

Man kann den dargestellten Reduktionsprozeß als einen progressiven Abbau von *Struktur* verstehen, wenn man nämlich unter diesem Begriff all das zusammenfaßt, was ein Pendel von einer schiefen Ebene oder von einem Satelliten auf der Abschußrampe unterscheidet: *Die systemspezifische Einschränkung von Freiheitsgraden durch die Zwangskräfte starrer Wirkungskanalisation*. Strukturelle Besonderheiten gehen verloren, wenn man von den speziellen zu den allgemeineren Gesetzen fortschreitet, und sie müssen als *Randbedingungen* neu eingeführt werden, wenn man jene aus diesen zurückgewinnen will.

Verweilen wir einen Moment bei der Frage nach der Legitimität dieses Programms. Es gibt im wissenschaftlichen Vorgehen zulässige und unzulässige Formen von Reduktion; für die letztere reserviere ich nachfolgend den zumeist abwertend verstandenen Ausdruck

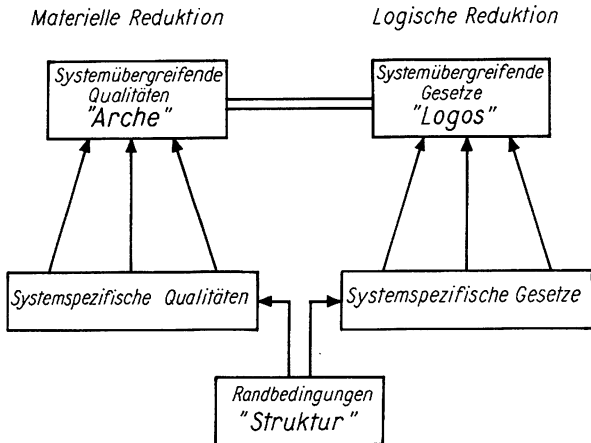


Abb. 4

»Reduktionismus«. Entgegen einer häufig – so etwa von LORENZ (1973a) und im Eröffnungsvortrag von Herrn MOHR – geäußerten Meinung bin ich mit HOYNINGEN-HUENE (1985, 1987) davon überzeugt, daß die Grenze für zulässige Reduktion keineswegs dort liegt, wo *emergente* Qualitäten auftreten. Auf »Emergenz« (oder, wie LORENZ sagt, »Fulguration«) beruft man sich dann, wenn beim Übergang von einem einfacheren zu einem komplexeren System »neue« Qualitäten in Erscheinung treten. Aber genau betrachtet sind »neue« Qualitäten solche, die unser Anschauungsapparat nicht durch graduelle Steigerung oder summative Überlagerung aus den vorgegebenen herzuleiten vermag. Diese Art von »Emergenz« ist wissenschaftstheoretisch völlig belanglos; sie sagt nur etwas über die Beschränktheit unseres Wahrnehmungsapparates aus. Wenn aus (makroskopischer) Bewegung unter geeigneten Bedingungen Wärme entsteht, so wird dies für unsere reine Anschauung immer eine Emergenz bleiben; gleichwohl ist der Thermodynamiker, der Wärme auf kinetische Energie reduziert, noch längst kein Reduktionist.

Die Pointe des Reduktionismus liegt vielmehr in etwas anderem: Reduktionismus ist *Sinnverleugnung*. Wir werden den Begriff »Sinn« später noch genauer zu bestimmen haben; vorerst genügt sein umgangssprachliches Verständnis, demzufolge »Sinn« das ist, was wir aufzudecken suchen, wenn wir das Bedürfnis verspüren, uns einen Sachverhalt zu erklären. Wenn nun die Erklärung einen Reduktionsakt einschließt und wenn das, *wovon* man bei diesem Akt abstrahiert, zum Systemgeschehen Sinn beisteuert, während man aber fälschlicherweise so tut, als stamme der Sinn aus dem, *worauf* man reduziert – dann genau liegt Reduktionismus vor.

Physikalische Reduktion, so haben wir gesagt, abstrahiert von der *Systemstruktur*. Um zu entscheiden, ob dieses Verfahren »reduktionistisch« zu nennen ist, kommt es also darauf an, ob die Systemstruktur als *Sinnträger* angesprochen werden kann. Genau das ist sie im Blickwinkel physikalischer Naturbetrachtung tatsächlich nicht; sie ist *Randbedingung*. Randbedingungen werden vorgegeben; sie sind empirisch aufweisbar, folgen aber nicht ihrerseits aus den das System beschreibenden Gesetzen. Die Systemstruktur legt Wirkungswege und Wirkungsrichtungen fest, erfährt aber von den beeinflussten Größen keine verändernde Rückwirkung. Deshalb ist auch irrelevant, aus welchem *Material* sie gefügt ist; sie muß nur Eigenschaften haben, die ihre Rückwirkungsimunität gewährleisten. Hinreichend hierfür ist in der Regel der *feste Aggregatzustand*, ihre eigentliche physikalische Qualität braucht man nicht zu kennen.

Aus physikalischer Perspektive haftet der Sinn der Naturgesetze letztlich an der *Qualität*, er ist intensiv, nicht extensiv. Er stammt aus dem Stoff, nicht aus der Form. Denn was übrigbleibt, wenn man Struktur immer weiter abbaut, sind nicht etwa die »Atome« DEMOKRITS, Mikro-Strukturen von hoher formaler Spezifikation. Wie SCHOPPER (in diesem Band, S. 79–89) deutlich gemacht hat, tritt beim Übergang zu immer kleineren Elementarteilchen die Ruheenergie gegenüber der Bindungsenergie zunehmend in den Hintergrund, bis schließlich die Rede von »Teilchen« als Trägern individueller Identität ihren Sinn verliert. Was für unsere überforderte Vorstellungsgabe übrigbleibt, ist, sagt SCHOPPER, eine Art »Brei«, Kraft und Stoff in einem: Und hierin erkennen wir eben die thalische *Arché* wieder, die Essenz, den Mutterboden der Wirklichkeit – reine Qualität, die noch nicht begonnen hat, sich in Formen zu artikulieren. Das soll gemeint sein, wenn von *materieller* Reduktion die Rede ist.

Die *Arché* ist in der Vorstellung des THALES zugleich von »Dämonen« erfüllt. Diese dämonische Potenz macht etwa, daß der Magnet das Eisen anziehen kann, sie erlaubt der *Arché*, Prozesse zu generieren und somit letztlich die Welt der Formen aus sich hervorzutreiben. Derselbe Gedanke findet sich, noch deutlicher artikuliert, ein Menschenalter später bei HERAKLIT VON EPHEOS. Während sich THALES den Urstoff noch als eine Art »Wasser« vorstellte, faßt HERAKLIT ihn abstrakter, als Inbegriff von *Dynamik*, als eine ruhelose Quelle von immer Neuem, für die ihm am ehesten das Feuer als Symbol tauglich scheint. Dieser Brand aber ist nicht chaotisch, ihm wohnt vielmehr zugleich der *Logos* inne, der allem Geschehen sein Maß verleiht: Das *Weltgesetz*, in dem beschlossen liegt, daß die *Arché* sich zu einem Kosmos entfalten kann. Wenn der Physiker die »Weltformel« sucht, dann ist er noch immer auf dem Wege nach dem *Logos* des HERAKLIT; er verfolgt das Programm einer *logischen* Reduktion.

Innerer und äußerer Sinn

Wir wenden uns nunmehr einer zweiten heuristischen Idee der Physik zu, für deren Verständnis uns eine von dem Verhaltensbiologen COLIN PITTENDRIGH (1958) eingeführte Unterscheidung von Nutzen sein kann. Sie betrifft die Begriffe *Ordnung* und *Organisation*.

Von »Organisation« sagt PITTENDRIGH, sie sei stets relativ. Eine Armee sei organisiert in bezug auf einen mutmaßlichen Gegner und einen Kriegsschauplatz, ein Zimmer in bezug auf Erholung oder eine bestimmte Arbeit. Organisation sei somit immer *zweckbezogen*. Und darin genau bestünde ihr Unterschied zu bloßer »Ordnung«. Der dümmste General und die beschränkteste Putzfrau können in einer Armee oder in einem Zimmer für »Ordnung« sorgen. Die Soldaten marschieren dann im Gleichschritt, und alle Papiere liegen rechtwinklig ausgerichtet auf dem Schreibtisch. Die Teile des Ganzen orientieren sich nur *aneinander*.

Etwas früher schon war der Gestaltpsychologe WOLFGANG METZGER (1954) zu einer ganz ähnlichen Unterscheidung gelangt. Er hatte sich mit der Frage auseinandergesetzt, was gemeint sei, wenn man ein Gebilde als »sinnvoll« bezeichne. Es gebe da 2 verschiedene Deutungsmöglichkeiten. Zum einen sei eine Konfiguration sinnvoll, wenn sie »in sich stimme«, wenn die Teile sich harmonisch ineinander fügen und sich nicht gegenseitig »beißen«. METZGER spricht hier von einem *inneren* Sinn. Andererseits könne man aber auch sagen, der Sinn eines Zeichens läge in seiner semantischen *Beziehung* zum bezeichneten Objekt, der Sinn eines Werkzeuges sei die damit auszuführende Tätigkeit, der Sinn eines Mittels der Zweck. In all diesen Fällen ergibt sich der Sinn eines Gebildes lediglich aus seiner Relation zu etwas außerhalb von ihm liegenden, er ist ein *äußerer* Sinn.

PITTENDRIGH und METZGER wollen erkennbar auf dasselbe hinaus, wenn sie auch die Wertakzente unterschiedlich setzen. Wir können sagen, daß sich Ordnung und Organisation gerade insofern unterscheiden, als Ordnung einen »inneren«, Organisation hingegen einen »äußeren Sinn« aufweist. Werttheoretisch betrachtet ist der innere Sinn *ästhetischer*, der äußere hingegen *teleologischer* Natur.

Ideengeschichtlich können wir beide Verankerungsformen des Sinnbegriffs bis ins griechische Altertum zurückverfolgen, wobei als wesentlich hervorzuheben ist, daß ihr faktisch bestehender Widerspruch hier zunächst noch nicht gesehen wird. Die Pyramide der Ideen gipfelt nach PLATON in der Idee des *Schönen*, und diese für die Sinne transparent zu machen ist zugleich das – freilich unerreichbare – *Ziel* der Erscheinungswelt. ARISTOTELES hat die PLATONische Idee als »Entelechie« in die konkrete Individuation der Erscheinungsdinge hereingenommen, und auch hier gilt, daß das Stoffliche um so vollkommener, proportionierter, harmonischer geformt erscheint, je reiner sich Entelechie in ihm verkörpert. Wiederum stellt dabei, diesseits der lunaren Sphäre jedenfalls, die vollendete Harmonie der Erscheinung einen prinzipiell asymptotischen Zustand dar, auf den alles Seiende nur unablässig hindrängt, ohne ihn je erreichen zu können: Der Stoff »sehne sich« nach der Form, sagt ARISTOTELES. Die Harmonie als »innerer« Sinn der Erscheinungsdinge ist also immer zugleich ihr »äußerer« Sinn, vorgegeben durch den unerfüllbaren Anspruch der Entelechie. Ich bezeichne diese charakteristische Verbindung der ästhetischen mit der teleologischen Wertdimension nachfolgend als die »entelechiale Klammer« (Abb. 5).

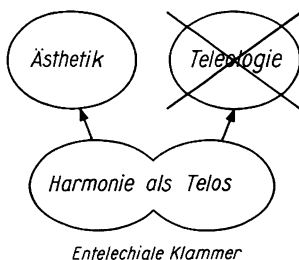


Abb. 5

Bis zum Ende des Mittelalters bleibt die entelechiale Klammer erhalten. Sie zu brechen war, neben der Wiederentdeckung der *Arché*, die zweite revolutionäre Tat der *Renaissance*. Jetzt löst sich die Symbiose der beiden Wertdimensionen: Der Harmoniegedanke schiebt sich in den Vordergrund, während die Teleologie allmählich aus der Physik verschwindet. Restbestände finalen Denkens halten sich noch bis ins 18. Jahrhundert, vor allem in der Interpretation der sogenannten Extremalprinzipien (z. B. des »eiligen Lichtstrahls« von HAMILTON); doch fehlt hier das *sine qua non* der Teleologie, nämlich die Denkmöglichkeit einer prinzipiellen Coexistenz des ausgezeichneten Prozesses mit seinen nichtoptimalen Alternativen. Als schließlich die Variationsrechnung die Äquivalenz der Extremalprinzipien mit den herkömmlichen Differentialgleichungen verstehen ließ, schwanden auch die letzten Relikte der entelechialen Klammer aus der Physik (v. WEIZSÄCKER 1985).

Die Naturbetrachtung wurde damit enthistorisiert, sie gründete sich nun, wie PRIGOGINE (1985) sagt, auf eine Philosophie des *Seins*, nicht des *Werdens*. In der Vorstellung der klassischen Physik strebt die Natur nicht länger nach Vollkommenheit, sie *ist* vollkommen. Schönheit und Harmonie sind nicht mehr, wie noch für das gesamte Mittelalter, eine räumlich an die Himmelsschale und zeitlich in die Eschatologie entrückte Sehnsucht der

irdischen Dinge, sondern – hier und jetzt – ein Kennmal der Wirklichkeit. So wird verständlich, daß keine geistesgeschichtliche Epoche die unendliche Harmonie der Natur feierlicher und enthusiastischer besungen hat als die Renaissance.

Harmonien in der Natur zu sehen, hieß nun nicht mehr, mit dem göttlichen Atemhauch des menschlichen Geistes die Natur zu überhöhen, zu Ende zu denken und damit letztlich hinter sich zu lassen, sondern es hieß, etwas real Bestehendes, den Kern ihrer empirischen Wirklichkeit Ausmachendes zu *finden*. Die Renaissance erhob den Harmoniegedanken zum *heuristischen Prinzip*.

Seitdem läuft das Suchen und Fragen des Physikers wie selbstverständlich im Kraftfeld der Erwartung ab, daß im Innern der Natur Ordnung, Ebenmaß und Proportion beheimatet seien. Und bieten sich für ein Problem mehrere Lösungen an, unter denen eine durch größere Geschlossenheit und »Eleganz«, also letztlich durch ihre intellektuelle *Ästhetik* besticht, so wird der Forscher eher geneigt sein, sie für wahr zu halten, selbst wenn die empirischen Beweismittel ihr keinerlei Vorrecht vor den Alternativen einräumen. Johannes KEPLER, der die Gesetze der Planetenbewegung bei dem Bemühen fand, eine »Harmonielehre der Sphärenmusik« zu entwerfen, weshalb er sie denn auch in seinem Hauptwerk *Harmonices Mundi* in *Notenschrift* formulierte, mag hier als repräsentatives Beispiel genügen.

Daß sich auch diese heuristische Idee in der Physik so hervorragend bewährt hat, ist ein beneidenswerter Glücksfall. Der tiefere Grund für die ästhetische Dimension der Natur liegt in der *Einfachheit* ihrer Gesetze, denn diese äußert sich eben auch in der *Redundanz* der Erscheinungen. Und Redundanz in der Vielfalt ist geradezu ein Synonym für Ästhetik. »Nature is pleased with simplicity«, hat NEWTON einmal gesagt. Damit ist nicht nur gemeint, daß die Naturgesetze häufig einfache Zahlenverhältnisse fordern, sondern insbesondere auch, daß der Zusammenhang der physikalischen Qualitäten keinen unentwirrbaren Kausalfilz bildet, in dem sich alles mit allem verhakt, daß physikalische Prozesse vielmehr oft von erstaunlich wenigen Einflußgrößen abhängen und insofern eher an die lucide Transparenz einer BACHschen Invention erinnern.

Der Physiker bezeichnet diesen Sachverhalt als *Symmetrie*. Symmetrisch ist ein Gebilde, wenn man an ihm eine Operation ausführen (z. B. rechts und links vertauschen) kann, ohne daß das Konsequenzen für seine Erscheinungsweise hat. Dementsprechend kann man auch von einem Systemgesetz sagen, es sei »symmetrisch« in bezug auf alle Transformationen, die es in sich selbst überführen, insbesondere also auch auf alle Größen, die überhaupt nicht in ihm vorkommen. Mit diesem Symmetriebegriff verwandt ist das Prinzip der *Erhaltung*. Auch bei dieser geht es ja darum, daß bestimmte Größen immun sind gegen die Veränderung anderer. Jedem Erhaltungssatz läßt sich mathematisch äquivalent ein Symmetriesatz zuordnen.

Einfachheit und Erhaltung bedeuten also im Grunde dasselbe wie Symmetrie. Wenn wir umgangssprachlich von Symmetrie reden, so denken wir primär an geometrische Gebilde, und wir empfinden Symmetrie als *ästhetische* Qualität, ja als *die* Fundamentalqualität der Ästhetik schlechthin. Für den Physiker ist Symmetrie zunächst das abstrakte Merkmal eines *Systemgesetzes*. Aber dieses Gesetz generiert Prozesse, die sich in Raum und Zeit entfalten und dann auch regelmäßig Symmetrie im ästhetischen Sinn aufweisen; davon wird noch zu sprechen sein.

Die Harmonie der Naturerscheinungen als Entfaltung der immanenten Einfachheit des Weltgesetzes und somit als Wegweiser zu diesem – das ist die zweite heuristische Idee, der die Physik ihren Erfolg verdankt. »You can recognize truth by its beauty and simplicity«, schreibt FEYNMAN (1973). Das hat nichts mehr mit der induktiven Rationalität der Positivisten gemein. Es ist PLATONISCHE Ideenmystik in neuzeitlichem Gewand: das Bekenntnis zur

Idee des Schönen, die einst auf die Erde geholt und an die Felsen geschmiedet wurde durch ARISTOTELES, und dann wieder von diesen befreit zur kosmischen Harmonie des Giordano BRUNO, zur Sphärenmusik KEPLERS, deren Klänge den Forscher locken und leiten, wenn er sich, ein blinder Seher, unbeirrbar hinabtastet zu den »Müttern«.

Indeterminismus und Irreversibilität

Heuristische Ideen, so wurde anfangs betont, legitimieren sich durch ihre Fruchtbarkeit, nicht durch ihre theoretische Richtigkeit. Die Ideen des formgenerierenden Urstoffs und der kosmischen Harmonie waren in der Physik derart erfolgreich, daß sie kaum in die Lage gerieten, ihren Status fragloser Selbstverständlichkeit kritischer Reflexion aussetzen zu müssen.

Und dennoch war ihr Erfolg nicht überall gleich durchschlagend. Im Feld der Naturerkenntnis taten sich Gebiete auf, an denen die Erwartungen der Physiker unvermutetem Widerstand begegneten. Das Problem lag dabei nicht etwa in theoretischer Inkonsistenz – formal-mathematisch waren durchaus Lösungen zur Hand –, sondern vielmehr darin, daß die Theorie sich nicht mehr in das beruhigende Bezugssystem bewährter heuristischer Ideen fügte.

So hatte etwa ursprünglich der Glaube an die Harmonie der Welt auch die Erwartung lückenloser *Naturkausalität* eingeschlossen. Denn Ordnung, so schien es, fordert Regelmäßigkeit, und die Unberechenbarkeit von Zufall oder Willkür macht Ordnung zunichte. ARISTOTELES noch hatte die in der Natur wirksamen Kräfte in *telos* und *bia* eingeteilt, in die entelechialen Führungsgrößen, die Ordnung schaffen wollen, und die nicht vorherbestimmbaren Zufallseinflüsse, die sie dabei stören. Aber diese Unterscheidung war mit der Abkehr vom teleologischen Weltmodell gegenstandslos geworden: Für Kräfte, die sich der Berechenbarkeit entziehen, war jetzt kein Platz mehr.

Es entstand folgerichtig das Bild von einer *deterministischen* Weltordnung. In seiner *schwachen* Formulierung besagt es, daß ein LAPLACEScher Genius, der über eine vollständige Beschreibung des gegenwärtigen Weltzustandes verfügt, jeden beliebigen Weltzustand in Vergangenheit oder Zukunft zu deduzieren in der Lage sein müßte. Stillschweigend mitgedacht ist meist außerdem die *stark-deterministische* Interpretation, derzufolge infinitesimal geringe Meßfehler, die diesem Genius unterlaufen, auch nur zu infinitesimal geringen Abweichungen in der Extrapolation zeitlich entfernter Systemzustände führen würden.

Die Wirklichkeit ist an dieser Stelle der heuristischen Erwartung entglitten. Bereits beim Versuch, in der klassischen Mechanik vom 2-Körper-Problem KEPLERS auf Systeme mit 3 Körpern überzugehen, scheiterte die stark deterministische Erwartung: Trajektorien, die in einem beliebig kleinen Gebiet des Phasenraumes entspringen, bleiben nicht infinitesimal benachbart, sondern divergieren in beliebigem Maßstab. Spätestens in Verbindung mit der quantentheoretischen Beschränkung der Meßgenauigkeit ist damit auch die schwache Interpretation des Determinismus hinfällig.

Die Abkehr von der stark deterministischen Erwartung hat ihren modernen Niederschlag im Konzept der *chaotischen Prozesse* gefunden. Daß die Gleichungen, die solche Prozesse generieren, oft noch erstaunlich einfach anmuten, stellt keinen Trost, sondern vielmehr das eigentliche Ärgernis dar; denn diese Einfachheit wird in den beschriebenen *Phänomenen* eben nicht auf die sinnenfällige Weise transparent, mit der der Determinismus rechnete.

Es stellte sich zwar eine gewisse Erleichterung ein, als deutlich wurde, daß eine als potentiell chaotisch enttarnte Natur letztlich doch der kosmischen *Harmonie* unterworfen bleibt. Das Chaos mag dem LAPLACESchen Genius trotzen; dem schauenden Auge aber

entfaltet es sich noch immer in atemberaubender Schönheit, wie PEITGEN und RICHTER (1986) in ihrem Buch *The Beauty of Fractals* eindrucksvoll demonstriert haben. Gleichwohl bleibt ein Rest von Unbehagen. In eine Welt, deren Gesetze nicht mehr auszuschließen gestatten, daß Jupiter oder vielleicht gar die Erde selbst irgendwann einen Haken schlagen und in die Tiefe des Alls enteilen könnten, ist wieder die ARISTOTELISCHE *Bia* eingedrungen, und die fordert von Alters her ein *Telos* als Gegengewicht. Auf den Weg, den die Renaissance so siegesgewiß eingeschlagen hatte, sind Schatten des Zweifels gefallen.

Ähnlich verhält es sich mit einer zweiten Art von Widerstand, die die Natur dem heuristischen Vorgehen der Physik entgegengebracht hat. Sie betrifft die Frage der *zeitlichen Reversibilität*.

Bekanntlich sind die Gesetze der klassischen Mechanik invariant gegen Zeitumkehr. Das ist nicht nur eine weitere fundamentale Symmetrie der Natur; es bestätigt vielmehr indirekt auch die Absage an die Teleologie: Eine Natur, die auf keine Ziele hingespant ist, schwebt in ewiger Gegenwart und vermag dem Zeitpfeil keine Richtung zuzuweisen.

Es ist das Ärgernis des 2. thermodynamischen Hauptsatzes, daß er der kosmischen Harmonie diese Unsterblichkeit raubt. Der Sinn der Welt erschließt sich jetzt nicht mehr aus einer Ordnung, in der sie beständig ruht, sondern von einem Endzustand her, auf den hin sie ohne Umkehr unterwegs ist. Die Sinnzuweisung erfolgt also, in METZGERS Terminologie, von »außen«. Schlimmer noch: Was sich dort außen als Ziel abzeichnet, ist der Wärmetod, ein Zustand totalen Ordnungsverlustes. Die Hoffnung der Renaissance wird gleichsam in ihr Gegenteil gewendet: Statt den Rekurs auf »äußere« Sinnggebung überflüssig zu machen, bleibt jetzt gerade der »innere« Sinn auf der Strecke.

Wenn die Rede von der »Selbstorganisation« des Universums heute so viel Faszination auslöst, so deshalb, weil hier der 2. Hauptsatz das Odium eines Widersachers der ästhetischen Heuristik verliert, weil nunmehr deutlich wird, daß die Thermodynamik *Ordnung* hervorzubringen in der Lage ist und somit selbst diese verlorene Seele der klassischen Physik am Schluß noch gelernt hat, das Hohelied der kosmischen Harmonie anzustimmen.

Aber das ist eben nur die halbe Wahrheit. Was nämlich auch die Theorie der Selbstorganisation nicht rückgängig machen konnte, ja umgekehrt gerade als ihr wesentliches Fundament akzeptieren mußte, war der Bruch der zeitlichen Symmetrie und damit der Gedanke kosmischer *Evolution*. Dieser aber verletzt auf jeden Fall den Dominanzanspruch der Harmonieheuristik. Die Tür bleibt offen, durch die einst die teleologische Leitvorstellung von etwas, was noch nicht ist, sondern erst werden soll, aus der Naturforschung vertrieben worden war.

Struktur und Funktion

Auch die andere heuristische Stütze physikalischer Naturerkenntnis, das »thalesche« Verständnis von Stoff und Form, gründet auf Voraussetzungen, die alles andere als selbstverständlich sind. Ist materielle Reduktion wirklich der Königsweg zu den Fundamenten jedes empirischen Problemfeldes? Salvador DALI malt Uhren, die weich und amorph geworden, zerschmolzen sind. Das ist wie ein Sinnbild für materielle Reduktion am falschen Objekt: Es gibt etwas Wesentliches an einer Uhr, das gleichgültig dagegen ist, ob sie aus Stahl, Holz oder Kunststoff gebildet wurde, und das verlorengelht, wenn man nur noch Materiequalitäten sieht. Es haftet nicht am Stoff, sondern an dem, was wir die *Struktur* genannt haben. Wenn das aber so ist, wie steht es dann um die zentrale Voraussetzung physikalischer Reduktion, daß nämlich die Systemstruktur kein Sinnträger sei?

Vergleichen wir hierzu den Physiker mit dem Vertreter einer scheinbar verwandten Disziplin, nämlich den *Techniker*. Offenbar haben strukturelle Daten für beide einen gänzlich verschiedenen Stellenwert. Für den Physiker unterscheidet sich ein falsch verdrahteter Operationsverstärker nahezu überhaupt nicht von einem intakten, und beide sind gleich belanglos, weil so komplex, daß das Wesentliche an den elektronischen Prozessen sich daran nicht einfach genug demonstrieren läßt: Die Ordnung der Naturerscheinungen, auf die der Physiker abzielt, wird durch komplizierte Verschaltungen nur verbaut.

Auch für den Techniker bleibt die Systemstruktur Objekt der *Machbarkeit*. Aber dieses Wort bedeutet für ihn etwas anderes als für den Physiker, der daraus nur Beliebigkeit, Willkür und daher eben die Untauglichkeit liest, Sinn zu tragen. Der Techniker will etwas ganz Spezielles und auf seine Weise durchaus Sinnvolles »machen«: er will die Struktur *reparieren*. Der Begriff der Reparatur kommt in der Physik nicht vor. Er bewegt sich auf der Wertdimension von »defekt« und »intakt«, die der für obsolet erklärten *teleologischen* Komponente des ARISTOTELISCHEN Denkens zugehört: »Defekt« ist ein Apparat, wenn er einen Zweck hat und diesen nicht mehr erfüllt.

Die Komplementarität zwischen physikalischem und technischem Denken kommt am besten im Programm der »Systemtheorie« zum Ausdruck; denn »System« heißt hier gerade soviel wie *Struktur* – im Gegensatz zur materialqualitativen *hardware*. Wenn für den Physiker die Systemstruktur kein Sinnträger ist, so gilt beim Techniker genau entsprechendes für die Stoffgrundlage, von der sein typisches Darstellungsmittel, das *Schaltbild*, daher auch konsequent abstrahiert.

Es sieht demnach so aus, als kehrte der Techniker wieder zum »pythagoräischen« Verständnis der Beziehung von Form und Materie zurück (vgl. Abb. 2): *Peras*, das Netzwerk formaler Beziehungen, scheint nun wieder zum Wesentlichen erhoben, der stoffliche Träger hingegen zum sinnentleerten *Apeiron* degradiert zu sein.

Das bedeutet freilich nicht, daß der Techniker nur noch in Quantitäten denken würde. Die durch Pfeile dargestellten Variablen im folgenden Schaltbild eines vermaschten Regelkreises (Abb. 6) sind *benannt*, den reinen Zahlenwerten wird also eine qualitative Spezifikation hinzugefügt. Nehmen wir an, daß es sich um eine Klimaanlage handeln soll. Die Zimmertemperatur heißt dann *Regelgröße*, ihre Stabilität wird durch eine *Störgröße*, den unkontrollierbaren Wärmeaustausch mit der Außenwelt, bedroht. Der Störung wirkt kompensatorisch eine *Stellgröße* entgegen dergestalt, daß ein »Regler«, der ganz oben gezeichnete Block, dem Raum die jeweilige Wärmedifferenz über die Klimaanlage zu- oder abführt. Der Regler

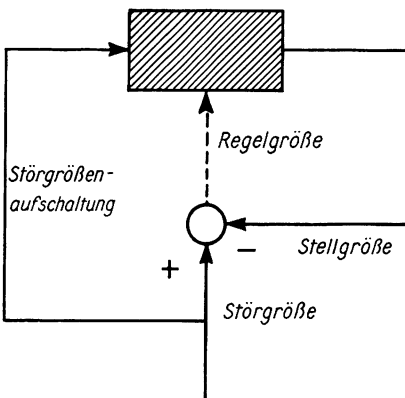


Abb. 6

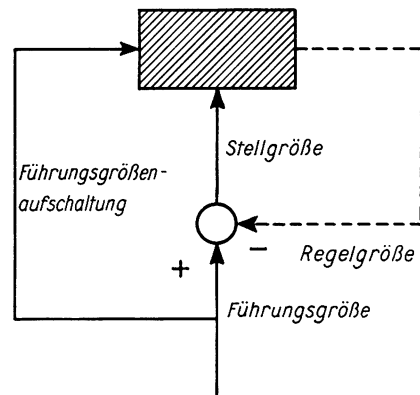


Abb. 7

braucht hierfür nur die Regelgröße ständig zu messen, die somit über das System negativ auf sich selbst zurückwirkt. Zur Verbesserung der Dynamik kann er zusätzlich (etwa über ein Außenthermometer) auch noch die Störgröße selbst berücksichtigen, unabhängig von ihrem Einfluß auf die Regelgröße; diese Wirkungsschleife heißt *Störgrößenaufschaltung*.

Was bedeutet nun ein Ausdruck wie »Regelgröße«? Über die *Materialqualität* der betreffenden Variablen sagt er nichts aus: Bei der Klimaanlage ist die Regelgröße eine Temperatur; bei einem Wasserstandsregler mißt man sie in Zentimetern. Andererseits bleibt die Regelgröße insofern spezifisch, als man sie nicht mit einer der anderen Variablen, zum Beispiel der »Stellgröße«, vertauschen kann. Die beiden haben im Systemzusammenhang eine unterschiedliche *Funktion* – die Regelgröße »soll« stabil bleiben, die Stellgröße »soll« eine Störgröße kompensieren.

Man könnte meinen, daß diese Rollenzuweisung eine bloße Implikation der Systemstruktur sei. Das trifft aber auch nicht zu. Dem Blockschaltbild allein läßt sich die Funktion der beteiligten Variablen nicht ansehen. Was wir eben als »Störgröße« identifiziert haben, könnte in einem anderen Zusammenhang, etwa bei einer Servolenkung, auch eine sogenannte »Führungsgröße« sein, die Vorgabe eines variablen Sollwertes, nach dem sich die Regelgröße zu richten hat und mit dem sie daher unmittelbar verglichen werden muß. In diesem Falle würden Stell- und Regelgröße ihre Rolle tauschen (Abb. 7).

Die Funktion fügt also zur Struktur noch etwas hinzu, das weder in dieser noch vollends in deren materiellem Substrat von sich aus enthalten wäre. Das neu Hinzukommende aber ist nichts anderes als eben »äußerer Sinn«. Wie METZGER (1954) ausgeführt hat, ist die *semantische Relation* ein Paradigma der äußeren Sinngebung, und mit diesem Begriff läßt sich in der Tat am besten die neue qualitative Ebene kennzeichnen, auf der Strukturen durch Ausdrücke wie »Stör-« oder »Regelgröße« interpretiert werden: Für den Techniker tritt an die Stelle der Materialqualität eine *semantische Qualität*.

Mit dem teleologischen Charakter der technischen Systembeschreibung hängt schließlich noch zusammen, daß die *reversible Zeit* der klassischen Dynamik im Bereiche technischer wie überhaupt kultureller Artefakte unbrauchbar ist: Kulturgüter aller Art unterliegen einem *Entwicklungsprozeß*, für sie läßt sich, wie LORENZ (1973a) mit Beispielen belegt, daher auch immer ein »Stammbaum« konstruieren.

Liegt also vielleicht doch auch in der Teleologie ein heuristisches Potential, das zwar nicht in der Physik, wohl aber in anderen empirischen Wissenschaften nutzbar zu machen ist? Und wenn ja, hängen *teleologische Heuristik*, *semantische Funktion*, *Systemstruktur* und *zeitliche Evolution* vielleicht ebenso tief zusammen wie Harmonieerwartung, Materialqualitäten, die Differentialgleichungen und die reversible Zeit der klassischen Mechanik?

Zweckmäßigkeit und Zielstrebigkeit

Diese Frage lenkt unseren Blick auf eine andere naturwissenschaftliche Grundlagendisziplin, nämlich die *Biologie*. Das zentrale Thema dieser Wissenschaft heißt *Morphologie*, und dahinter verbirgt sich nichts anderes als eben die Suche nach dem *Sinn der Systemstruktur*. GOETHE hat das richtig erkannt, aber nicht wirklich bewältigt, da er in der ARISTOTELISCHEN Naturphilosophie gefangen blieb (vgl. dazu MARKL [1984]). Wie auch CARUS und später vor allem DRIESCH erachtete er als das eigentliche Naturgeheimnis nicht so sehr die Angepaßtheit als vielmehr die harmonische Ganzheitlichkeit der Organismen, also den »inneren« Sinn als Quelle und Garant des »äußeren«. Das Problem dieser Perspektive liegt darin, daß weder Teleologie noch Ästhetik als Wegweiser zu wissenschaftlicher Erkenntnis taugen, solange sie in die entelechiale Klammer eingebunden bleiben. Die beiden Wertbereiche behindern einander wechselseitig in der Entfaltung ihrer heuristischen Potenz.

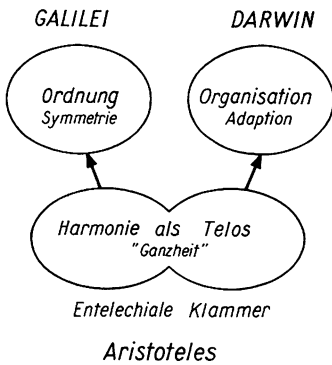


Abb. 8

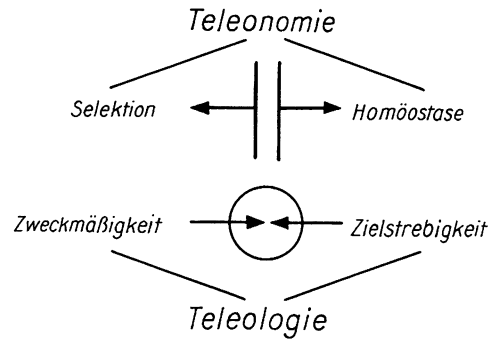


Abb. 9

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, worin eigentlich die Leistung DARWINs bestand: Er hat, ebenso radikal und konsequent wie die Renaissancephysik, die »äußere« Sinnggebung aus der Verklammerung mit der »inneren« gelöst, nur daß er von den beiden nunmehr getrennten Komplementen – Ordnung und Organisation – gerade das von der Physik als unbrauchbar erkannte zur heuristischen Idee erhob. Insofern erscheint DARWIN als der congeniale *Antipode* GALILEIS, der zu dessen Programm, die Naturwissenschaft von ARISTOTELES zu lösen, die andere Hälfte hinzufügte und es so vollendete (Abb. 8).

PITTENDRIGH (1958) hat in seiner schon erwähnten Arbeit diesen Gegensatz auf den Begriff zu bringen versucht, indem er die Rede von »Teleologie« der ARISTOTELISCHEN Tradition zu überlassen vorschlug und für die DARWINISTISCH fundierte Denkweise die Neubildung *Teleonomie* in Umlauf brachte. LORENZ und MONOD haben diesen Ausdruck übernommen und verbreitet.

PITTENDRIGHs Bereinigungsversuch war an sich verdienstvoll, blieb aber ziemlich oberflächlich. Seine Einlassungen klingen so, als bestünde der Fehler der ARISTOTELISCHEN Teleologie darin, vorweggenommene Endzustände als Kausalfaktoren einzuführen, oder anders ausgedrückt, *Zweckmäßigkeit* mit *Zielstrebigkeit* zu verknüpfen. Das Problem liegt aber keineswegs in der biologisch durchaus vernünftig interpretierbaren Annahme von Finalursachen, sondern vielmehr in der vitalistischen Unterstellung, diese seien *immaterieller* Natur.

Wenn wir dem Begriff der »Teleonomie« einen brauchbaren Sinn unterlegen wollen, müssen wir *beide* in der älteren »Teleologie« enthaltenen Dimensionen – Zweckmäßigkeit und Zielstrebigkeit – akzeptieren, aber auch präzisieren (Abb. 9). Für das Verständnis der biologischen *Zweckmäßigkeit* hat DARWIN mit seiner Formel vom *survival of the fittest* den Weg gewiesen; die Soziobiologie hat diesen Gedanken durch das Konzept der »Evolutionsstabilität« zu Ende entwickelt. Zweckmäßigkeit beruht demnach auf *Selektion*.

Die *Zielstrebigkeit* entmystifiziert zu haben, war das Verdienst WIENERS und VON HOLSTS und der von ihnen begründeten Tradition der *Biokybernetik*. Tatsächlich erkennt man beim Regelkreis die vorhin erwähnte ARISTOTELISCHE Unterscheidung von *telos* und *bia* im Gegensatz von »Führungs-« und »Störgröße« unmittelbar wieder, und zwar, entgegen DRIESCHS Vorhersage, ohne dabei den Boden naturwissenschaftlichen Denkens verlassen zu müssen. Zielstrebigkeit, so lautet nunmehr die Übersetzungsregel, bedeutet *Homöostase*, d. h. Stabilisierung von Systemzuständen um Sollwerte.

Wenn wir vorhin festgestellt haben, daß die Berechtigung der Harmonieheuristik in der Physik letztlich durch die Symmetrie der Naturgesetze gewährleistet sei, so könnte man

meinen, daß Selektion und Homöostase auf analoge Weise auch die teleonome Denkart der Biologen legitimieren könnten. Leider stoßen wir hier aber auf eine unvermutete Schwierigkeit: Selektion und Homöostase stehen nämlich, wie nachfolgend zu zeigen sein wird, in einem komplizierten *Ausschließungsverhältnis*.

Gestalt und Struktur

Der antike Gedanke einer *Arché* als Trägerin des *Logos* impliziert, daß sich geordnete Form aus ungeformtem Stoff entfalten könne. Materielle und logische Reduktion schließen von der Ordnung der Form auf das Gesetz des Stoffes. Man kann aber natürlich auch umgekehrt fragen, wie es eigentlich vor sich geht, wenn pure Stofflichkeit explizite Form generiert. Die Quantenmechanik zeigt, wie dies formalmathematisch möglich ist: Sie deutet physikalische Qualitäten als *Operatoren*; Operatoren aber haben Eigenfunktionen und stehen über diese in natürlicher Affinität zu spezifischen raumzeitlichen Konfigurationen.

Die Anfänge der in der Physik erst heute wirklich aktuell gewordenen Frage nach der Entstehung von Form sind vor allem mit dem Namen des Physikers und Psychologen Wolfgang KÖHLER verbunden, des Hauptvertreters der sogenannten *Berliner gestalttheoretischen Schule*. Die Meinung, der 2. Hauptsatz impliziere, daß natürliches Geschehen von sich aus keiner Ordnung fähig sei, wird heute mit guten Gründen in Frage gestellt (vgl. etwa v. WEIZSÄCKER [1985]). Bereits 1920 hat sich KÖHLER in einer umfangreichen Monographie kritisch mit ihr auseinandergesetzt.

Es sei irrig, sagt KÖHLER, wenn man überall, wo Prozesse oder unstarre Gebilde in der Natur dauerhafte Ordnung erkennen ließen, immer sogleich auf Schienen, Leitungen, Kanäle oder Schablonen – also, in unserer Terminologie, auf *Strukturen* – schlösse, die diese Ordnung erzwingen und aufrechterhalten. Ordnung könne durchaus von selbst entstehen und sich auch ohne den Zwang starrer Vorrichtungen behaupten. Überlasse man natürliches Geschehen sich selbst, so gehe es in Gleichgewichtszustände über, die durchaus nicht immer in chaotischem Durcheinander bestünden, sondern sich auch durch gestalthafte Harmonie auszeichnen könnten. Diese Harmonie sei dann zwar mangels starrer Stützen leicht zu stören, stelle sich dafür aber nach Abklingen der Störung von selbst wieder her. Im Unterschied zur kanalisierten »Zwangsordnung« spricht KÖHLER hier von »freier Ordnung«.

Damit ist ein Grundgedanke ausgesprochen, der heute mit Begriffen wie »Synergetik« oder »Selbstorganisation« gekennzeichnet wird (vgl. HAKEN [1938]). KÖHLER wußte noch nichts von synergetischen Phänomenen. Was er im Sinn hatte, war in erster Linie die Familie der »harmonischen Funktionen«, also der Lösungen der LAPLACESchen Differentialgleichung, wie sie sich etwa in der Form eines vom Winde geblähten Segels, in der Ladungsverteilung auf einem Konduktor oder im Verlauf elektromagnetischer Feldlinien manifestiert.

KÖHLERS Unterscheidung läßt sich an Hand eines von FEYNMAN (1964, S. 1–5) stammenden Beispiels verdeutlichen. Abbildung 10a zeigt ein Strömungsfeld, beschreibbar durch eine Differentialgleichung. Die Ordnung der Feldlinien würde Köhler als »frei« bezeichnen. Eine Zwangsordnung in seinem Sinne läge indessen vor, wenn man durch Vorgabe von Randbedingungen in diesem Feld einen Integrationsweg definiert, den Strömungsverlauf also etwa durch plötzliches Einfrieren des Mediums auf eine röhrenförmige Aussparung beschränkt (Abb. 10b, c).

Das Beispiel macht deutlich, daß wir in Abbildung 2 nicht nur das Prinzip des »Stoffes« doppelt zu interpretieren haben, nämlich im »thalischen« Sinn als *Arché* und im »pythagoräischen« als *Apeiron*, sondern parallel dazu auch das der »Form«. Die »pythagoräisch« verstandene Form haben wir *Struktur* genannt; im vorliegenden Beispiel würde etwa die ringförmige Röhre hierher gehören. Aber auch die Feldlinien in Abbildung 10a haben ihre Form, und diese wird dem

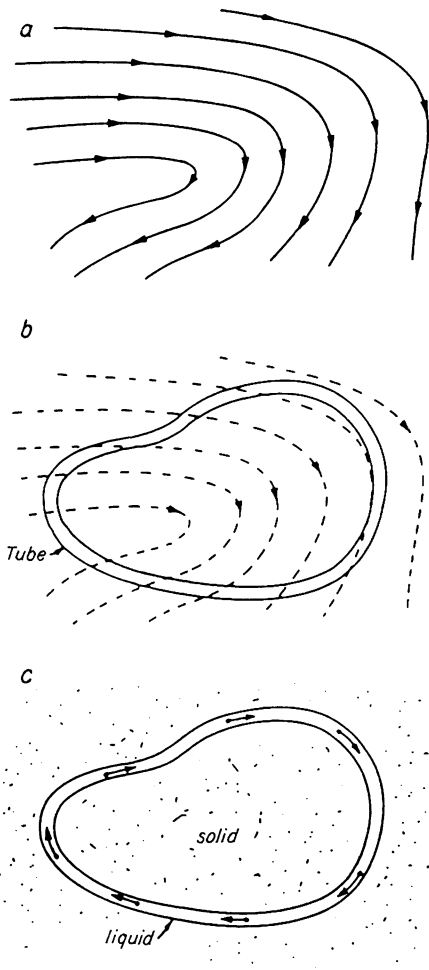


Abb. 10

Medium jedenfalls nicht, so wie sie ist, durch eine Vorlage aufgenötigt, sondern sie hängt wesentlich von den Mikroeigenschaften des Mediums selbst ab. In ihr offenbart die *Arché* ihren Eigencharakter.

Für diese zweite Art von Form bietet sich nun im Sinne KÖHLERS die Bezeichnung »Gestalt« an. »Struktur« sei also das Skelett der dem Systemgeschehen eine »Zwangordnung« verleihenden Randbedingungen, »Gestalt« hingegen jede Form von »freier Ordnung«, die sich innerhalb der gezogenen Grenzen autonom entfalten kann (Abb. 11).

Heutzutage bürgert sich eine etwas andere Terminologie ein. Man unterscheidet *dissipative* (d. h. auf synergetischen Fließgleichgewichten beruhende) und *konservative* Formen (die ihre Stabilität dem Umstand verdanken, daß die Bestandteile in einem Potentialminimum gefangen sind). Festkörper sind konservative Formen, und da »Strukturen« im Sinne unserer Definition wegen der zu fordernden Rückwirkungsimunität starr sein müssen, können wir sie in diesem Sinne auch immer als konservativ ansehen. Dissipative Muster sind im Gegensatz dazu Beispiele »freier Ordnung«, als »Gestalten«.

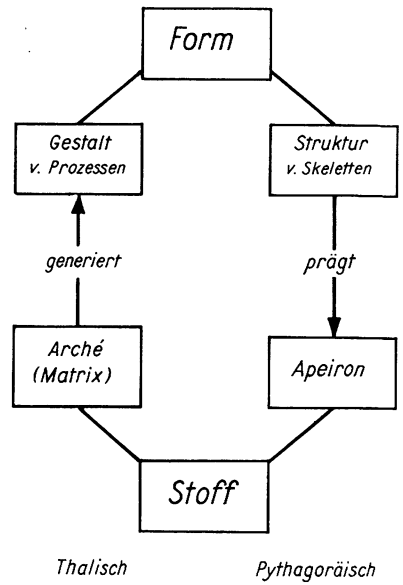


Abb. 11

Das am Schluß des letzten Abschnittes angekündigte Problem läßt sich nun in die These fassen, daß »Gestalten« zwar häufig als *homöostatisch* beschrieben werden können, im allgemeinen jedoch keine Möglichkeit besteht, auf sie das Prinzip der *Selektion* anzuwenden. Für »Strukturen« gilt gerade das Umgekehrte. Falls das zutrifft, entziehen sich *beide* im ersten Anlauf einer teleonomen Beschreibung. Wir wollen diese Konsequenz ventilieren, bevor wir die These im einzelnen begründen.

Autopoiese und Adaptation

Ich habe schon darauf verwiesen, daß die Rede von »Selbstorganisation« heute modisch geworden ist. Sie ist problematischer, als sie auf den ersten Blick erscheint. Sie verspricht, was schon ARISTOTELES nicht halten konnte – eine Rückbindung der »äußeren« an die »innere« Sinnggebung: Eine Neuauflage der *entelechialen Klammer*. Die Vorsilbe »Selbst-« verweist klar auf eine *innere* Sinnhaftigkeit der entstehenden Gebilde, und die üblichen Veranschaulichungen heben auch wirklich immer nur *ästhetische* Qualitäten hervor; man denke etwa an die schönen, aber ganz zweckfreien Spiralen der BELOUSOV-ZHABOTINSKY-Reaktion. Statt von »Selbstorganisation« wäre also klarer von »Selbstordnung« zu reden; aber die Wortwahl ist eben gar nicht so unschuldig. Der teleonome Bedeutungshof des Ausdrucks »Organisation« wird nämlich sehr wohl wahrgenommen und zu der Suggestion benutzt, Teleonomie könne in Harmonie aufgehen; der »äußere« Sinn folge also gewissermaßen als Beiprodukt aus dem »inneren«.

Ganz ähnlich pflegt man mit dem Begriff *Funktion* zu verfahren. Im Sprachgebrauch der Biologen ist er nahezu mit »Zweck« vertauschbar; aber er kann auch zum schlichten »Vollzug« neutralisiert werden – etwa im Sinne des schein tiefen GOETHE-Wortes »die Funktion ist das Dasein, in Tätigkeit gedacht«. Vor allem PRIGOGINE bedient sich in seinen naturphilosophischen Improvisationen zum Thema »Struktur und Funktion« gern dieser enharmonischen Verwechslung.

Wenn die Anzeichen nicht trügen, bereitet die heuristische Spaltung in einen GALILEI-schen und einen DARWINSchen Weg heute zunehmend Unbehagen; es regt sich die Sehnsucht nach dem verlorenen ARISTOTELISchen Paradies. Dieser Eindruck verstärkt sich, wenn man nicht nur den Kernbestand der nüchternen Forschung, sondern auch das Mycel philosophischer Spekulationen betrachtet, das im Umfeld solcher Quellen gedeiht. Ich denke dabei vor allem an die Gruppe um MATURANA und VARELA, deren sendungsbewußt vorgetragene Philosophie sich um Ausdrücke wie »Autopoiese« oder »Konstruktivismus« kristallisiert.

Konrad LORENZ hat einmal gesagt, der Huf des Pferdes sei eine perfekte »Abbildung« des Steppenbodens, die Körperform des Delphins eine »Abbildung« der hydrodynamischen Eigenschaften des Wassers. Statt »Abbildung« hätte er auch »Adaptation« sagen können; gemeint ist auf jeden Fall, daß biologische Strukturen einer »äußeren« Sinnggebung fähig und bedürftig sind.

Dieser Auffassung und der darauf gründenden Deutung der Evolution als eines »erkenntnisgewinnenden Prozesses« stellt VARELA (1979) ein Prinzip der »biologischen Autonomie« gegenüber. Der Sinn der Lebensvorgänge sei die Aufrechterhaltung der organismischen Identität und nicht deren Preisgabe an einen »Adaptation« fordernden Lebensraum. Die Umwelt sei kein Pol äußerer Sinnggebung, sondern allein eine Quelle von Störungen, deren sich der Organismus, solange er eben lebt, erfolgreich erwehrt.

Was sollte es, so wird sinnggemäß argumentiert, für einen Nutzen haben, die sechseckigen Waben der BÉNARD-Instabilität als eine »Abbildung« des vom Bunsenbrenner erzeugten

Temperaturgradienten zu bezeichnen! Das thermische Gefälle spiele hier doch allein die Rolle einer *Störung*, der gegenüber das Sechseckmuster innerhalb eines gewissen Bereichs eben in der Lage sei, seine eigene »Identität« aufrechtzuerhalten.

Dieser Prozeß der Selbstbehauptung wird »Autopoiese« genannt. Damit ist ein homöostatisches System gemeint, bei dem als Regelgröße nicht irgendein durch die Systemstruktur kanalisierter Prozeß, sondern vielmehr *diese Struktur selbst* fungiert. Wäre so etwas möglich, dann allerdings würde das System seine eigenen Randbedingungen kontrollieren und sich damit ständig selbst erschaffen. Der »innere Sinn« würde so zur Grundlage eines perfekten Solipsismus.

Identität und Fluktuation

Es lohnt sich, diese Idee auf ihre Tragfähigkeit hin auszuloten. Greifen wir dazu noch einmal auf die Darstellung eines Regelkreises in Abbildung 6 zurück. Sie beruht eigentlich auf einer paradoxen Voraussetzung. Die Anlage wäre ideal, wenn es ihr gelänge, die Regelgröße völlig von der Störgröße unabhängig zu machen. Hierzu müßten die Schwankungen der Störgröße genau synchron durch gleichgroße, aber entgegengerichtete Schwankungen der Stellgröße kompensiert werden, was wiederum voraussetzt, daß der Regler ständig über die Bewegungen der Störgröße informiert bleibt. Solange eine Störgrößenaufschaltung für diese Information sorgt, stellt sich hier kein Problem, abgesehen davon, daß der Regler so nur *vorhersehbare* Störungen erfassen kann. Der Grundgedanke der Regelung verzichtet aber gerade auf eine separate Störgrößenermittlung. Er geht davon aus, daß *die Regelgröße selbst* den Regler über die zu unternehmenden Schritte informiert. Wenn sie aber dazu in der Lage sein soll, dann darf sie eben *nicht* völlig unabhängig von der Störgröße werden! Der reine Regelungsprozeß kann offenbar nur funktionieren, wenn er *nicht zu gut* funktioniert, wenn ständig geringfügige *Fluktuationen* der Regelgröße zugelassen bleiben. Abbildung 6 erinnert an diese Notwendigkeit durch eine gebrochene Linie als Symbol für die Regelgröße.

Das Schema in Abbildung 6 beschreibt auch die Homöostase einer dissipativen Gestalt. Wir könnten die Form eines BÉNARD-Konvektionsmusters als *Regelgröße* auffassen. Die *Störgröße*, die man in der Synergetik als »Kontrollparameter« bezeichnet, wäre dann der Temperaturgradient. Ihrer Natur nach ist die thermische Energie der Ausbildung überdauernder Formen ja durchaus nicht förderlich; sie erzeugt viel eher Turbulenz als Stabilität. Wenn das im vorliegenden Fall anders ist, so deshalb, weil die zugeführte thermische Energie auch noch sogenannte »Ordnungsparameter« des Systems beeinflusst, insbesondere die *Geschwindigkeiten* der Konvektionsströme. Diese ihrerseits stehen aber natürlich in Wechselwirkung mit dem Weg, den die Strömung nimmt, also dem *Bewegungsmuster*: sie treten von der Systemtopologie her in die Rolle der *Stellgröße* ein. Dabei gilt auch die für homöostatische Prozesse obligatorische Vorzeichenumkehr, denn alle diese Einflüsse kompensieren einander gerade so, daß das Muster – innerhalb einer gewissen Bandbreite – stabil bleibt, wenn der Temperaturgradient schwankt.

Wir beobachten auch hier wieder, daß der Einfluß der Regelgröße auf den Ordnungsparameter auf einer zeitlichen Integration winziger Abweichungen beruht; die Ordnung des BÉNARD-Musters muß mikroskopisch fluktuieren, um sich die makroskopische Stabilität zu erhalten. Die von PRIGOGINE wiederholt hervorgehobene »Ordnung durch Fluktuation« leitet sich unmittelbar aus dem homöostatischen Charakter des Systems her.

Dissipative Gestalten werden also durch homöostatische Prozesse aufrechterhalten. Das genügt aber noch nicht, um sie in *teleonomem* Begriffen zu beschreiben. Hierfür müßte neben der Zielstrebigkeit auch Zweckmäßigkeit konstaterbar sein. Gibt es in unserem Beispiel irgendeine Legitimationsbasis für die Anwendung des *Selektionsprinzips*?

Bei technischen Regelsystemen existiert eine solche Basis in der Tat; denn sie werden *um der von ihnen erbrachten Homöostase willen* installiert. Bei den BÉNARD-Sechsecken ist das aber prinzipiell anders. Und zwar nicht etwa trivialerweise deshalb, weil niemand an ihnen interessiert ist; ein solches Interesse könnte immerhin hypothetisch konstruiert werden. Der wahre Grund liegt darin, daß dissipativen Mustern nicht einmal metaphorisch »Lebensfähigkeit«, »Individualität«, »Identität« oder sonstige Attribute zugeschrieben werden können, die die Möglichkeit *irreversibler Zerstörung* voraussetzen.

Ich kann den Bunsenbrenner unter ihnen drosseln – dann verschwinden sie. Ich kann ihn erneut aufdrehen, und sie sind wieder da, als wäre nichts gewesen. Synergetische Gestalten, so hat es HAKEN (1987) ausgedrückt, sind »unsterblich«. Wenn das aber zutrifft, dann haben sie auch keine »Identität«, die zu erhalten ihnen als eine Art Intention zugeordnet werden könnte: Sie sind zwar homöostatisch, dabei aber immun gegen jede Art von Selektion und daher eben auch nicht teleonom beschreibbar. Sie können schön sein, nie aber zweckmäßig, in ihnen manifestiert sich Ordnung, aber nicht Organisation.

Obwohl nun die Philosophen der »Autopoiese« ziemlich unbekümmerten Gebrauch von Ausdrücken wie »Identität« oder »Viabilität« machen, argumentieren sie insgesamt so, als wäre auch der *Organismus* eine dissipative Gestalt; und gerade damit versuchen sie die gängige biologische Praxis *ad absurdum* zu führen, ihn teleonom-semantisch zu interpretieren. Sie übersehen dabei aber einen wesentlichen Umstand: Während dissipative Muster im KÖHLERSchen Sinne grundsätzlich zu den »Gestalten« zählen, enthält jeder Organismus als integrierenden Bestandteil ein hochkomplexes System *konservativer* »Strukturen«, von der DNA über das Cytoskelett bis zu Blutgefäßen, Nervenbahnen, Sehnen und Knochen.

Konservative Strukturen aber sind, im Unterschied zu dissipativen Gestalten, sehr wohl irreversibel vernichtbar. Schon eine Schneeflocke läßt sich, sobald sie einmal geschmolzen ist, in ihrer ursprünglichen Form nicht mehr regenerieren. Starre Gebilde haben sich die Nichtumkehrbarkeit der Zeit einverleibt. Starrheit schafft raumüberbrückende Invarianzen; sie unterdrückt mikroskopische Individualität und setzt sich damit selbst dem Gesetz der großen Zahlen und demgemäß auch dem Zugriff des 2. Hauptsatzes aus.

Auf »Strukturen« kann man prinzipiell das *Selektionsprinzip* anwenden. Davon machen zum Beispiel die Geologen Gebrauch, denen schon lange aufgefallen ist, daß Gebirgsformationen in ihrer Linienführung oft ganz auffallend den von Architekten berechneten Stützen großer Bauwerke entsprechen. Die Natur, so drückt man sich aus, »bevorzugt« also *statisch günstige* Formen, weil »aus der Vielfalt der immer wieder durch Erosion und Verwitterung neu entstehenden Formen diejenigen sich am längsten halten, also selektioniert werden, welche am stabilsten sind« (GERBER 1969).

Allerdings besteht ein entscheidender Unterschied zwischen der Anwendung des Selektionsprinzips in Geologie und in Biologie: Der geologische Selektionsprozeß ist ein unaufhörlich fortschreitender *Abbauvorgang*; denn die statisch günstigste Endform ist die Ebene. Damit ist ein Sachverhalt von grundsätzlicher Bedeutung angesprochen: Reine »Strukturen« lassen sich ebensowenig *teleonom* beschreiben wie reine »Gestalten«, nunmehr aber aus dem entgegengesetzten Grund – Strukturen können zwar der Selektion unterliegen, aber sie sind keiner *Homöostase* fähig.

Dieses Unvermögen wird deutlich, wenn wir versuchen, die Idee der »Autopoiese« ernst zu nehmen, also in unserem homöostatischen Modell von Abbildung 6 nicht irgendeine Prozeßvariable (wie etwa die Raumtemperatur), sondern die Randbedingungen des Regelungsprozesses selbst, also einen auf seine strukturellen Komponenten reduzierten *Organismus* als Regelgröße einzusetzen (Abb. 12).

Wie jedes wachsende Kristall lehrt, sind Strukturen trotz ihrer Starrheit nicht invariant; sie

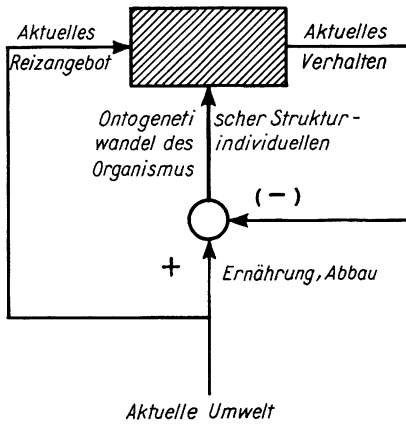


Abb. 12

können einer *Ontogenese* unterworfen sein, und diese läßt sich in der Tat durch das besagte Modell beschreiben. Die Störgröße bestünde in diesem Falle in Umwelteinflüssen, unter deren Einwirkung die organische Struktur zur Wohlform oder Mißbildung heranwächst. Als Störgrößenaufschaltung haben wir die von der Umwelt ausgehenden Reize einzusetzen, als Stellgröße diverse Verhaltensparameter.

Obwohl sich auf diese Weise eine formale Analogie zur Bildung einer dissipativen Gestalt konstruieren läßt, ist das so beschriebene System dennoch *nicht* als homöostatisch ansprechbar. Dies wird deutlich, wenn wir den Kreisprozeß zwischen Organismus und Verhalten betrachten, also zwischen »Regel-« und »Stellgröße«. Insofern die Veränderungen an der Struktur des Organismus *zeitlicher Irreversibilität* unterliegen, erfüllen sie nicht die essentielle Forderung an jede Regelgröße, *fluktuieren* zu können. Der Zustand dieser Struktur könnte sich, unter der Wirkung erosiver Umwelteinflüsse, nur vom adaptiven Optimum *wegbewegen*; die damit einhergehenden Änderungen in der Reiz-Verhaltens-Koppelung wären ihrerseits pathologisch und könnten nicht dazu beitragen, das strukturelle Optimum *wiederherzustellen*. Alle strukturerhaltende Adaptivität des Verhaltens bestünde in der Prävention von Schäden, nicht in deren Reparatur.

Enkrustation und Reproduktion

Weder »Gestalten« allein noch reine »Strukturen« liefern also den Schlüssel zum Verständnis der Organismenwelt. Verschiedene Autoren, darunter etwa EIGEN und WINKLER (1975) sowie HAKEN (1987), haben bereits darauf hingewiesen, daß Lebenserscheinungen auf einer komplizierten *Verknüpfung* dissipativer und konservativer Prozesse beruhen. Wie soeben gezeigt, sind beide Arten der Formbildung nötig, um *Homöostase* mit *Selektion*, Zielstrebigkeit mit Zweckmäßigkeit also, auf eine Weise verbinden zu können, die das Ergebnis *teleonom* beschreibbar macht.

Die geforderte Verknüpfung beruht auf 2 Prinzipien (Abb. 13), deren erstes ich mit dem Begriff *Enkrustation* kennzeichnen möchte. Gemeint ist ein Effekt, wie HAKEN (1981, S. 53) ihn in einer eindrucksvollen Photographie am Beispiel von hexagonalen Salzablagerungen in einem ausgetrockneten Natronsee zeigt. Ursprünglich waren hier offenbar im flüssigen Medium BÉNARD-Prozesse abgelaufen; diese aber erzeugten zeitüberdauernde Inhomogenitäten, an denen sich wiederum konservative Strukturen ansiedelten, mit dem Ergebnis, daß so etwas wie ein Salz-Skelett entstand, das die Austrocknung des Sees überdauerte.

ontogenetisch unausweichliche Mortalität der Individuen fordert also den Ausgleich durch Neuzugänge, und die Exemplare müssen einander so ähnlich sein, daß Mittelung sinnvoll ist, aber auch verschieden genug, um dem Mittelwert die für eine Regelgröße essentiellen *Fluktuationen* zu ermöglichen. Diese Voraussetzungen werden offenkundig durch den Vorgang der *Reproduktion mit endlicher Kopiergenauigkeit* erfüllt.

Auf dieser Betrachtungsebene ist dann in der Tat eine *Synthese* von Zweckmäßigkeit und Zielstrebigkeit erreicht. Der Genotyp der Species basiert nämlich zwar auf *Strukturen*, die dem irreversiblen Abbau unterliegen, verhält sich aber selbst wie eine *Gestalt*, die den Abbau homöostatisch kompensieren kann. Der Genotyp wird damit potentiell unsterblich; Mutationen halten ihn am Fluktuieren und erlauben ihm, durch Variation der von ihm gestifteten Verbindung von Reiz und Verhalten in negativem Feedback seine eigene Fortdauer zu gewährleisten. Gleichwohl bleibt der ganze Prozeß wegen des konservativen Charakters der zugrunde liegenden Strukturen ein historischer, was sich unter anderem daran zeigt, daß das Aussterben der gesamten Population prinzipiell möglich ist und dann irreversibel wäre.

Genetische und funktionelle Reduktion

Die vorangegangenen Erörterungen erlauben uns nun, das Programm der Biologie mit dem der Physik direkt zu vergleichen. Beide Wissenschaften gehen vom selben Ansatzpunkt aus – dem konkreten Einzelsystem. Es ist in beiden Fällen meist nicht dasselbe System; von daher läßt sich ein substantieller Unterschied indessen kaum konstruieren. Häufig wird gesagt, der Biologe beschäftige sich mit »lebenden«, der Physiker mit »unbelebten« Systemen. Wenn man jedoch nicht vitalistisch argumentieren will, laufen diese Kennzeichnungen nur auf unterschiedliche Grade von Kompliziertheit hinaus. Lebende Systeme, so wird dann etwa gesagt, seien so außerordentlich komplex, daß dieser Umstand eben eigene Methoden und eine vergleichsweise makroskopische Terminologie angemessen erscheinen lasse.

HOYNINGEN-HUENE (1985) bezeichnet diesen Standpunkt als lediglich *methodischen* Antireduktionismus, der nichts am *epistemologischen* Reduktionismus ändere, demzufolge gleichwohl (wenn auch umständlich) alle biologischen Begriffe durch physikalische definiert und alle biologischen Gesetze aus physikalischen deduziert werden könnten. Die eigentliche Diskussion werde aber um den epistemologischen Reduktionismus geführt. Im Rahmen dieser Diskussion steht auch das in diesem Vortrag Dargestellte. Es ersetzt allerdings die erkenntnistheoretische Frage durch eine erkenntnispsychologische und gelangt dabei zu der Position einer *heuristischen Antireduktionismus*.

Gleich der Physik ist auch die Biologie eine erklärende Wissenschaft. Erklärung, so sagten wir, ist immer Sinnzuweisung, und diese transzendiert eine bloße Bestandsaufnahme. Sie sucht, über die Bestimmung des »Was und Wie« hinaus, Antwort auf die Frage »Warum gerade so und nicht anders«. Und genau hier ist es, wo auch die Biologie nicht ohne ein *reduktives Programm* auskommen kann.

Dieses Programm kann ersichtlichermaßen nicht gleich dem der Physik auf irgendetwas zielen, für dessen Freilegung man Struktur beiseiteräumen müßte. Das Geheimnis der Organismenwelt gründet weder in einem biologischen »Urstoff« noch in einer biologischen »Weltformel«. Andererseits muß auch die Biologie in ihrem Gegenstandsfeld die Fülle der Erscheinungen überblickbar machen; wie aber sollte sie dies können, ohne zu reduzieren, und was sollte sie reduzieren, wenn nicht doch die Struktur! Wenn diese aber als organisiert gelten soll, wie wäre dann bei der Reduktion Sinnverlust zu vermeiden?

Daß es auf diese Frage gleichwohl eine konstruktive Antwort gibt, hat wiederum bereits die Antike gesehen. *Arché* und *Logos* sind eben nicht die beiden einzigen Zielmarken auf den Wegen, die das reduktive Denken in der Geistesgeschichte eingeschlagen hat. Wenn HERAKLIT den *Logos* noch als das Weltgesetz eines ewigen (und damit zeitlosen) Wechselspiels sich entfaltender und wieder ineinanderstürzender Gegensätze verstanden hat, so sprachen die Stoiker, 2 Jahrhunderte später, von den *Logoi spermatikoi*, von Keimkräften, Samen der Zukunft, die am Anfang von *Entwicklungslinien* stehen. Damit ist eine *dritte* Reduktionsmöglichkeit angedeutet, die überall dort sinnvoll ist, wo mit einer irreversiblen Zeit gerechnet werden muß: die *genetische Reduktion*.

Offenkundig spielt diese Reduktionsform in der Biologie eine zentrale Rolle. Sowohl die *ontogenetische* als auch die *phylogenetische* Fragestellung laufen, unbeschadet ihrer im vorigen Abschnitt besprochenen Unterschiede, darauf hinaus, organisierte Strukturen auf *Vorformen* zurückzuführen. Wie bei jeder Reduktion werden auch dabei *Randbedingungen* aufgehoben, aber diese liegen nunmehr, anders als in der Physik, prinzipiell *außerhalb* des untersuchten Systems: Sie bestehen in den Spezifikationen der *Ökologie*, auf die hin die Systemstruktur sich organisiert hat und unter deren nährendem Einfluß sie immer wieder neu entsteht (Abb. 15).

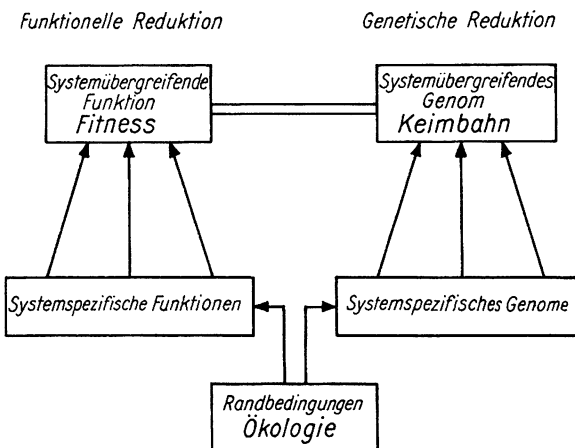


Abb. 15

Die ökologischen Bedingungen sind das biologische Pendant zur Systemstruktur in der physikalischen Betrachtungsweise (vgl. Abb. 4). Auch sie erscheinen als *arbiträr* in dem Sinn, daß man sie nicht aus Gesetzen deduzieren, sondern nur empirisch feststellen und als solche hinnehmen kann. Wenn man die Stammesgeschichte zurückverfolgt und dabei die rezenten Ökologien hinter sich läßt, begeht man also jedenfalls nicht den Fehler des Reduktionismus, *Sinnträger* unerlaubt als Randbedingungen zu behandeln.

Gleichwohl ist es hier anders als in der Physik, und das hängt mit dem prinzipiellen Unterschied von »äußerem« und »innerem Sinn« zusammen. Während nämlich im reduktiven Denken des Physikers der innere Sinn nur vom expliziten Status formal entfalteter Harmonie in den impliziten Status der Symmetrie der Naturgesetze transformiert wird und also *erhalten* bleibt, *schrumpft* der äußere Sinnradius unweigerlich beim Rückgang in der Zeit. Teleonomie hat, wie wir sagen, wesentlich eine historische Dimension, nur der innere, nicht aber der äußere Sinn kann daher einem »Erhaltungssatz« unterworfen sein.

Es ist diese Eigentümlichkeit der organisierten Form, die den Gedanken einer genetischen Reduktion lange Zeit so schwer vollziehbar und den einer ewigen *Präformation* so attraktiv

machte. Noch GOETHES »Urpflanze« war nicht viel mehr als eine Collage aus den wichtigsten pflanzlichen Formelementen; seine »Metamorphose« entsprach eher einer andauernden Umbildung innerhalb einer schon bestehenden Gestaltenfülle als dem, was wir seit DARWIN meinen, wenn wir »Evolution« sagen.

Als Konsequenz aus dem Gesagten folgt, daß das reduktive Denken des Biologen im Unterschied zu dem des Physikers nicht *abstrahierend* vorgehen darf. Genetische Reduktion besteht nicht in Weglassung, sondern in *Zuordnung*. Ihr Reduktionspol ist daher nicht eigentlich der isolierte Urkeim, etwa nach Art eines EIGENSCHEN Hypercyklus, sondern die gesamte *Keimbahn* bzw. der *Stammbaum*.

Ein vierter und letzter Reduktionsweg, der in der Naturphilosophie eingeschlagen worden ist, läßt sich als *funktionelle Reduktion* charakterisieren. Im Grunde hat ihn PLATON vorgezeichnet. Seine »Ideen« existieren nämlich, wiederum im Unterschied zum *Logos* der Vorsokratiker, auf einer Ebene *jenseits* des Stofflichen: Sie sind *normative Vorbilder*, Spender »äußerer« Sinnggebung, und zwar nicht nur für die Erscheinungswelt, sondern auch füreinander. PLATON gliedert sie zu einer Pyramide, wobei jede untergeordnete Idee *um einer höheren willen* da ist, und so weiter, Stufe für Stufe, bis hinauf zur absoluten Idee, die eben wegen ihres normativen Charakters nicht nur die Idee des Schönen, sondern zugleich die des *Guten* ist, der absolute Imperativ, auf den alles Sollen konvergiert.

Eine vergleichbare Pyramide des »Sollens«, eine Rangordnung dessen, was für das Leben »gut« heißt, existiert auch in der Organismenwelt; an ihrer Spitze steht das, was die moderne Evolutionsbiologie als *inclusive fitness* bezeichnet. Es erregt zwar Ärgernis, ist aber gleichwohl korrekt, wenn man diesen Sachverhalt auf die Formel bringt, in der Biologie stamme der Sinn aller systemspezifischen Funktionen letzten Endes aus dem Imperativ, sein Genom zu verbreiten.

Wie sich aus dieser Norm speziellere Funktionen herleiten lassen, und zwar nicht nur auf Grund der lange Zeit üblichen Plausibilitätsargumente, sondern basierend auf den nichttrivialen Ergebnissen raffiniert angelegter empirischer Forschung und anspruchsvoller Mathematik, haben HALDANE, FISHER, WRIGHT und in ihrem Gefolge die Vertreter der modernen Soziobiologie gezeigt.

Man bezeichnet diese Fragestellung heute gern als *ultimal*, weil sie auf die (evolutionstheoretischen) Letztursachen zielt. Sie spannt den Rahmen auf, der den organismischen Systemen äußeren Sinn verleiht. Das Hauptinteresse des Biologen gilt natürlich nach wie vor der Analyse dieser Systeme selbst. Diese Art der Forschung nennt man *proximal*. Es wäre nun aber ganz irrig, wollte man etwa annehmen, daß beim Übergang von der ultimalen zur proximalen Forschung auch eine Wende von äußerer zu innerer Sinnorientierung stattfindet. Die biologische Systemforschung bleibt von der physikalischen vielmehr prinzipiell dadurch unterschieden, daß sie sich heuristisch *immer am äußeren* Sinn orientiert. Vom inneren Sinn her gesehen, werden Strukturen nur als »Muster« verständlich. Unter dem Aspekt äußerer Sinnggebung erscheinen sie als »Baupläne«. Baupläne zu verstehen, ist das eigentliche Anliegen der biologischen Forschung. Dieses Verständnis erschließt sich nur einer technomorphen Fragestellung: Wenn ich diesen Organismus ausgehend von seinen phylogenetischen Vorformen, so auszustatten hätte, daß er die und die Adaptationsleistung zu vollbringen vermag, nach welchen Prinzipien würde ich ihn dann konstruieren?

Die Debatte über den Reduktionismus in den Naturwissenschaften gewinnt, wie im Vorangegangenen zu zeigen war, an Gehalt, wenn wir sie von der Ebene der Inhalte auf die der Heuristik verlagern. Von hier aus ergeben sich noch weitergehende Konsequenzen in *methodologischer* Hinsicht.

Der Stil der materiellen und logischen Reduktion begründet den Charakter der Physik als einer *Experimentalwissenschaft*. Wenn Randbedingungen keine Sinnträger sind, kann man sie beliebig manipulieren und sollte dies im Interesse möglichst störungsfreier Messung auch tun, anstatt sie einfach dem Zufall zu überlassen.

Damit hängt weiterhin ein Programm zusammen, das ich als *paradigmatische Forschung* kennzeichnen möchte. Da das physikalische Weltgesetz überall gleich präsent ist, genügt es, an beliebiger Stelle einen beliebig kleinen Ausschnitt aus der Natur zu untersuchen – dies allerdings so gründlich wie möglich. Die Idee, daß die punktuelle Vertiefung in das Individuallereignis und die horizonsprengende Allerkenntnis äquivalent sein müssen, gehörte wesentlich zum Pathos der Renaissance. Sie ist ausgesprochen in der Überzeugung GIORDANO BRUNOS, daß »im Minimum das Maximum enthalten« sei, und in PARACELSUS schönem Wort, »eine einzige Blum'« sei »genug, um die ganze Schöpfung zu verstehen«.

Der biologischen Reduktion hingegen ist es verwehrt, das Spätere auf das Frühere so rückzubeziehen, daß es sich darin auflöst. Daher ist sie mit paradigmatischer Forschung nicht vereinbar. Hier ist eine einzige Blume eben nicht genug; jede der tausendfältigen Formen hat ihre eigene Weise, äußeren Sinn zu entfalten, jede davon läßt die anderen besser verstehen, ohne sie ersetzen zu können. Der paradigmatischen steht hier eine *vergleichende* Betrachtung gegenüber.

Ferner induziert der bipolare Charakter der äußeren Sinnhaftigkeit eine ganz andere Einstellung gegenüber der Form, die die Natur annimmt, bevor man *experimentell* in sie eingreift. Die ökologischen Randbedingungen, denen die biologischen Systeme ihr Sosein verdanken, mögen historisch-geographischen Zufälligkeiten entspringen, werden dadurch aber noch längst nicht nach Belieben manipulierbar (HOYNINGEN-HUENE 1985). Wenn man die Umwelt eines Organismus durch Laborbedingungen ersetzt, dann hat man nicht nur, wie vergleichsweise in der Physik, einen beliebigen Parameterwert mit einem ebenso beliebigen anderen vertauscht. Man hat den Organismus dann vielmehr immer auch in eine für ihn *unnatürliche* Umwelt gestellt. Das mag legitim sein, denn die Fehlleistungen, die dann auftreten, können dazu beitragen, sein Verhalten in natürlicher Umgebung besser zu verstehen. Es ändert aber nichts daran, daß es sich um Fehlleistungen handelt, daß es im Unterschied zu ihnen ein *natürliches* Verhalten gibt und daß unter allen ökologischen Randbedingungen eine ausgezeichnet bleibt, nämlich die, an die der Organismus angepaßt ist. Etwas Vergleichbares läßt sich für die strukturellen Randbedingungen der Physik nicht geltend machen.

Welches das natürliche Verhalten in natürlicher Ökologie ist, kann sich dem Experiment nicht erschließen; es muß zuvor durch *Beobachtung* ermittelt werden. Das Postulat, daß alle Empirie bei der Beobachtung beginne, hat also in der Biologie einen über seine triviale Gültigkeit hinausgreifenden Sinn: Beobachtung ist hier, anders als in der Physik, durch das Experiment prinzipiell *nicht ersetzbar*, ein Sachverhalt, auf den LORENZ wiederholt und besonders eindrücklich in seiner Schrift *The fashionable fallacy of dispensing with description*. (1973b) hingewiesen hat.

Mit diesen Überlegungen schließt sich der Kreis. Ich habe herauszuarbeiten versucht, daß Physik und Biologie heuristisch komplementär und insofern nicht aufeinander reduzierbar sind. Es gibt, vom Denkstil her betrachtet, nicht einen einzigen, sondern zwei Prototypen der Naturforschung: Die Wissenschaft vom *Kosmos* und die vom *Organismus*. Jene fragt nach der *Ordnung*, diese nach der *Organisation* der Natur. Jene setzt die alte philosophische Suche nach einem *Urstoff* und seinem *Weltgesetz* fort, diese steht in einer ebenso alten Tradition, wenn sie die Erscheinungswelt zu ihren *Urkeimen* zurückverfolgt und aus einer Logik des *Sollens* versteht.

So ergibt sich ein balanciertes, symmetrisches Bild. Aber dieses Bild trifft eben nur die heuristischen Ideen, nicht die Realität der Forschungsinhalte. In der Realität stehen lebendige und unbelebte Substanz einander nicht gleichrangig gegenüber: die eine ist aus der anderen hervorgegangen. Auch Organismen bestehen aus Stoff, auch sie unterliegen dem Weltgesetz und sind auf beide materiell und logisch reduzierbar. Ihre Form ist daher nie allein zweckmäßig, sondern immer auch absichtslos schön. Umgekehrt trägt die Matrix tief in ihrem Schoß die Anlage zu zeitlicher Unwideruflichkeit, zu Historizität und Evolution. Und der *Logos* der Welt schwebt, wie schon die Bibel weiß, seit dem ersten Schöpfungstage über einem Chaos, einer unerschöpflichen Quelle von Nichtvorhersehbarkeit, die immer, wenn es ihr gefällt, sich starrer Symmetrie zu entwinden und in Freiräume der Kreativität vorzustößen vermag, in denen nicht mehr der Determinismus von »möglich oder unmöglich«, sondern die Funktionalität von »Erfolg oder Vernichtung« regiert.

Die Natur tut uns also nicht den Gefallen, sich säuberlich in 2 Gebiete aufzugliedern, die jeweils einer der beiden Erkenntnisstrategien menschlichen Forschergeistes optimal angemessen sind. Es gibt Zwischenzonen, in denen sich leicht auch die Besten verirren können. Die Molekulargenetik liegt am einen, die Verhaltensbiologie am anderen Rande dieses heuristischen Niemandslandes. Das nicht bedacht zu haben, war die Tragik des letzten großen Forschungsprogramms von Max DELBRÜCK, als er nämlich vergeblich versuchte, an *Phycomyces* den Erfolg der Bacteriophagenforschung zu wiederholen (vgl. dazu FISCHER [1985]). Als er die phototropische Reaktion dieses Pilzes zu untersuchen begann, geschah dies ja aus einer *strategischen* Erwartung heraus: Weil bei *Phycomyces* innerhalb derselben Zelle Licht nicht nur empfangen, sondern *ohne zwischengeschaltete Strukturen* auch unmittelbar in eine motorische Reaktion umgesetzt wird, erschien er als unüberbietbar *einfacher* Prototyp aller Reiz-Reaktions-Beziehung überhaupt. *Phycomyces* war als Objekt *paradigmatischer* Forschung ausersehen. DELBRÜCK hoffte, mit seiner Hilfe zu einer tieferen Einsicht in die Wahrnehmungsgesetzlichkeit zu gelangen als es seinerzeit WEBER und FECHNER vergönnt war.

Damit wären wir also wieder bei PARACELSUS: Der eine Pilz, der genug ist, um verstehen zu lassen, wie das Leben Wahrnehmung in Verhalten umsetzt, die protoplasmische *Arché*, die ihren *Logos* am ehesten dort offenbart, wo keine starren Strukturen sie gängeln; Einfachheit als Wegweiser zur universalen Ordnung – ein physikalischer Traum, der nicht Realität werden konnte, weil er am falschen Objekt geträumt wurde.

WERNER REICHARDT hat damals gegen DELBRÜCK eingewandt, Wahrnehmung und Motorik seien hochspezifische Funktionen und beruhen daher allemal auf einer komplizierten *Organisation* des intracellulären Geschehens. Die makroskopische Homogenität der plasmatischen Prozesse verschleierte nur diese Komplexität und verhindere ihre effiziente Analyse. Was dem Physiker besonders einfach vorkomme – der weitgehende Abbau struktureller Randbedingungen – sei biologisch gerade das Komplizierteste. Für REICHARDT war die Konsequenz, sich wieder den Arthropoden zuzuwenden, diesen strukturell rigidesten unter allen Lebewesen, weil nämlich hier die Komplexität der Funktionen noch am ehesten ihren Niederschlag in anatomischen Enkrustationen gefunden hat.

Es gibt heute keine Hinweise darauf, daß sich die Kluft zwischen physikalischem und biologischem Forschen schließen würde. Im Gegenteil scheint es manchmal, das Niemandsland breite sich aus. Um die *Verhaltensphysiologie*, die nach dem Willen ihres Begründers Erich von HOLST eine Brücke zu schlagen ausersehen war, ist es nach dessen allzu frühem Tod recht still geworden. Die biologische Heuristik hat sich zunächst in die Ethologie und dann weiter in die Soziobiologie verlagert und dort ohne Zweifel noch einmal eine Nachblüte erreicht. Aber es sieht so aus, als sei dieser Ansatz nun ausgereizt, und jedenfalls kommt doch die selbstgewählte Beschränkung auf *ultimale* Forschung einem Rückzug in die Etappe gleich.

Auf der anderen Seite des Rubikon vergräbt sich die Neurophysiologie, die mit der Erkundung der receptiven Felder zunächst mutig in das Vorfeld biologischer Semantik eingedrungen war, in letzter Zeit immer tiefer in neuroanatomische Detailprobleme und fühlt sich erkennbar am wohlsten, wo der schützende Port der Biochemie in Sichtweite bleibt.

In diesem Klima ist nun, mitten in der Wüste, der Same der »Selbstorganisation« aufgegangen. Die neue Idee profitiert vom Unbehagen über die stagnierende Situation, wovon sicher nicht die ernsthaften Forscher auf diesem Gebiet, wohl aber manche randständige Heilslehren sattsam profitieren. Die Hoffnung, die heute in den Sozialwissenschaften bis in ihre klinischen Anwendungsfelder hinein auf Konzepte wie »Autopoiese« gesetzt wird, kann schon erstaunen.

Gegenüber solchen »New Age«-Verheißungen dürfte nüchterne Zurückhaltung geboten sein. Das eigentliche Welträtsel, *der Sinn der Form*, ist unergründet und wird es noch geraume Zeit bleiben. Seit der Auflösung der entelechialen Klammer haben wir mit »Ordnung« und »Organisation« 2 Teile in der Hand, deren Komplementarität sich unseren Synthesewünschen hartnäckig verweigert. Wir können jede nur für sich denken. Zum Verständnis von Organisation haben wir nach wie vor *ausschließlich* das Modell der Selektion verfügbar, und soweit dazu Berechnungen angestellt worden sind, lassen diese immer wieder Zweifel aufkommen, ob die kosmologischen Zeiträume ausgereicht haben können, um die stupenden Adaptationsleistungen zu erklären, die uns in der Organismenwelt begegnen.

Die Rede von der »Selbstorganisation« weckt Hoffnungen, aus der Physik könnten der Biologie neue morphogenetische Ideen zuwachsen, mit deren Hilfe es gelingen könnte, den Umfang der überbordenden Zufälligkeit zu reduzieren. Aber was hier angeboten wird, löst überhaupt nicht das eigentliche Problem, es erklärt immer nur *Ordnung* und eben nicht *Organisation*. Es mag verständlich machen, warum bilaterale Organismen häufiger sind als unregelmäßig geformte, warum man eher 4 als 13 Extremitäten hat. Aber für die biologische Zentralfrage nach der *Angepaßtheit* dieser Zahlenverhältnisse erbringt das überhaupt nichts. »Selbstorganisation« klingt, als könnten Ordnungsvorgänge Organisation schaffen; aber wie das zugehen soll, bleibt vorerst rätselhaft. Wir sind vielleicht gut beraten, wenn wir der Nostalgie nach einem Paradies widerstehen, aus dem die Wissenschaft vertrieben wurde, als sie den Baum der Erkenntnis antastete und dazu die entelechiale Klammer brechen mußte.

Literatur

- BISCHOF, N.: Aristoteles, Galilei, Kurt Lewin – und die Folgen. In: MICHAELIS, W. (Ed.): Bericht über den 32. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Zürich 1980. Göttingen: Verlag für Psychologie 1981
EIGEN, M., und WINKLER, R.: Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall. München: Piper 1975
FEYNMAN, R. P.: The Character of Physical Law. Cambridge (Mass.): The MIT Press 1973
–, LEIGHTON, R. B., and SANDS, M.: The Feynman Lectures on Physics, Vol. II. Reading (Mass.): Addison-Wesley 1964

- FISCHER, P.: Licht und Leben. Ein Bericht über Max Delbrück, den Wegbereiter der Molekularbiologie. Konstanz: Universitätsverlag 1985
- GERBER, E.: Bildung und Formen von Gratgipfeln und Felswänden in den Alpen. Zeitschr. f. Geomorphologie. Suppl. 8, 94–118 (1969)
- HAKEN, H.: Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1981
- : Synergetik. Eine Einführung. Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie. Berlin: Springer 1983
- : Sind synergistische Systeme unsterblich? In: KAMPER, D., und WULF, C. (Eds.): Die sterbende Zeit. (Sammlung Luchterhand Bd. 724). Darmstadt: Luchterhand 1987
- HOYNINGEN-HUENE, P.: Zu Problemen des Reduktionismus der Biologie. *Philosophia Naturalis*. 22, 271–286 (1985)
- : Epistemological Reductionism in Biology: Intuitions, Explications, and Objections. In: HOYNINGEN-HUENE, P., und WUKETITS, F. M. (Eds.): *Molecular Biology and Organisms. Problems of Reductionism and System Theory in the Life Sciences* 29–44. Dordrecht: Reidel 1987
- KÖHLER, W.: Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. Eine naturphilosophische Untersuchung. Braunschweig: Vieweg 1920
- KUHN, T. S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. 5. Aufl. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1981
- LORENZ, K.: Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens. München: Piper 1973a
- : The fashionable fallacy of dispensing with description. *Naturwissenschaften* 60, 1–9 (1973b)
- MARKL, H.: Goethe und Darwin: Ökonomie oder Harmonie der Natur. *Jahrbuch des Freien Deutschen Hochstifts*. 88–112. Tübingen: Niemeyer 1984
- METZGER, W.: Psychologie. Die Entwicklung ihrer Grundannahmen seit der Einführung des Experiments. Darmstadt: Steinkopff 1954
- MOHR, H.: Das Elementare in den Wissenschaften – Möglichkeiten und Grenzen des Reduktionismus. *Nova acta Leopoldina* NF 63, Nr. 272, 51–60 (1990)
- PEITGEN, H.-O., and RICHTER, P. H.: *The Beauty of Fractals. Images of Complex Dynamical Systems*. Berlin: Springer 1986
- PITTENDRIGH, C.: Adaptation, Natural Selection, and Behavior. In: ROE, A., and SIMPSON, G. G. (Eds.): *Behavior and Evolution*, 390–416. New Haven: Yale University Press 1958
- PRIGOGINE, I.: Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. München: Piper 1985
- SCHOPPER, H.: Gibt es Elementarteilchen? *Nova acta Leopoldina* NF 63, Nr. 272, 79–89 (1990)
- VARELA, F. J.: *Principles of Biological Autonomy*. New York: North Holland 1979
- v. WEIZSÄCKER, C. F.: *Aufbau der Physik*. München: Hanser 1985

Prof. Dr. Norbert BISCHOF
 Psychol. Inst. d. Univ.
 Biol.-Math. Abt.
 Attenhoferstr. 9
 CH-8032 Zürich