

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



Technische Universität Wien

DIPLOMARBEIT

Kausalität und Emergenz

**Voraussetzungen einer allgemeinen System-Ontologie und
-Epistemologie**

Ausgeführt am Institut für
Gestaltungs- und Wirkungsforschung
der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von
Ao. Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Hofkirchner

durch
Bert Klauninger
Bräuhausgasse 42/9
1050 Wien

Wien, am 15. Oktober 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Abstract	1
1.2	Motivation	3
1.3	Ziele	4
1.4	Danksagung	5
2	Die Entwicklung des Kausalitätsbegriffs	6
2.1	Aristoteles' Kausalitätsmodell	6
2.2	Die griechische Naturphilosophie	7
2.2.1	Das mythische Zeitalter	8
2.2.2	Die Geburt der Philosophie	9
2.2.3	Heraklit und Parmenides – Statik und Dynamik	10
2.2.4	Die Atomisten	12
2.3	Der klassische Idealismus	13
2.3.1	Sokrates und Plato - die Ideenlehre	13
2.3.2	Aristoteles	14
2.3.3	Die christliche Philosophie des Mittelalters	19
2.4	Renaissance und Rationalismus	20
2.4.1	Ockhams Rasiermesser	20

2.4.2	Galileo und Newton	21
2.4.3	Descartes	22
2.4.4	Leibniz	24
2.5	Empirismus und Positivismus	24
2.6	Zusammenfassung	28
2.6.1	Metaphysik des Mechanizismus	28
3	Die Überwindung des Mechanizismus	30
3.1	Die Krise in Mathematik und Logik	31
3.1.1	Das Hilbertsche Programm	31
3.1.2	Kurt Gödel	32
3.1.3	Alan Turing	32
3.2	Thermodynamik geschlossener Systeme	34
3.3	Der nachrichtentechnische Informationsbegriff	35
3.4	Was ist Leben?	37
3.5	Kybernetik	40
3.6	Allgemeine Systemtheorie	42
3.7	Konstruktivismus	44
3.8	Selbstorganisationstheorie	48
3.8.1	Synergetik	48
3.8.2	Infodynamik und hierarchische Systemtheorie	49
3.8.3	Information und Selbstorganisation	51
4	Dialektik von Kausalität und Emergenz	53
4.1	Dialektik	53
4.1.1	Hegel – der deutsche Idealismus	53

<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	iii
4.1.2 Materialismus	55
4.1.3 Dialektischer Materialismus	56
4.2 Der Begriff der Emergenz	57
4.3 Determinismus vs. Indeterminismus	59
4.3.1 Zufall und Notwendigkeit	59
4.3.2 Deterministisches Chaos	60
4.3.3 Propensitäten	64
4.4 Zweckursachen neu betrachtet	65
4.5 Kausalität und Emergenz – ein integratives Bild	67
5 Onto-Epistemologische Betrachtungen	70
5.1 Der Zusammenhang zwischen Ontologie und Epistemologie	70
5.2 Annahmen zur Konstruktion einer OE	72
5.2.1 Philosophischer Realismus	72
5.2.2 Materialistischer Monismus	73
5.2.3 Systemparadigma	74
5.2.4 Kausalität und Emergenz	75
5.3 Modell der Interaktion von Systemen	75
5.3.1 Das Wirkungsfeld	76
5.3.2 Interaktion	77
5.4 Zusammenfassung	79
6 Schlusswort	81
Literaturverzeichnis	82

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Abstract

Until nowadays, mechanistic thinking is dominating the natural sciences. In mechanism the world appears as a clockwork in which all events are completely determined by linear relationship of causes and effects. This approach implies a world view which is *static* (the world consists of objects and their relations), *deterministic* (each event is completely determined by its causes) and *reductionistic* (each whole can be completely reduced to and explained by its parts).

On the other hand, a new paradigm is rising in physics, biology, sociology, cognitive sciences and information sciences: a *dynamical* (the world consists of processes rather than of objects), *dialectical* (processes are mutually producing each other) and *holistic* (the whole is more than the sum of its parts) world view.

This paper is trying to examine the historical development of the *causality* notion starting from ancient Greek philosophy until the birth of mechanism in Renaissance and Enlightenment. Then I will describe the problems of the mechanist view which arose in different sciences (maths, logic, physics, biology, ...). An analysis of General Systems Theory, cybernetics, information sciences, theory of self-organisation and synergetics will reveal a manifoldness of new, non-mechanistic approaches.

The central question of this paper will concern the notion of *emergence*: How is it possible that new system properties can emerge that are not deterministically redu-

cible to the old properties? I will show that there is no contradiction between causality and emergence if we take a dialectical approach to describe the relationship between necessity and random.

Finally, I will apply this dialectical conception of causality to sketch a possible ontology and epistemology, based on materialism, dialectics and systems thinking, which could be useful for further discussions about the philosophical foundations of a unified theory of time, space, matter and information, which seems to be ahead.

1.2 Motivation

Bei meiner Beschäftigung mit dem Begriff Information erkannte ich bald, dass in der traditionellen Informatik ein nachrichtentechnisch *verkürzter* Informationsbegriff verwendet wird, der viele Aspekte außerhalb der technischen Anwendungen von Informationsverarbeitung und -übertragung nicht erfassen kann. Die Fragestellung, wie Information im Universum generiert wird, führte mich zum Begriff der Emergenz. Wenn im Universum tatsächlich neue Information entsteht (was unsere Beobachtungen nahelegen), so ist dies mit dem deterministischen Kausalitätsbegriff der klassischen Naturwissenschaften unvereinbar.

Es geht mir in dieser Arbeit nun darum, zu zeigen, dass Kausalität (der Zusammenhang von Ursachen und Wirkungen) und Emergenz (das spontane Entstehen von neuen Qualitäten) nicht in Widerspruch zueinander stehen, sondern dass Zufall und Notwendigkeit Teilaspekte eines neuen, nichtdeterministischen, dynamischen und dialektischen Kausalitätsbegriffes darstellen.

Dazu möchte ich das Paradigma der klassischen Naturwissenschaften analysieren und zeigen, wo es scheiterte. *Mechanismus* („Die Welt ist nichts als ein komplexes Uhrwerk“) und *Reduktionismus* („Jedes System kann vollständig durch seine Teile beschrieben werden“) sind auch heute noch in den meisten Naturwissenschaften vorherrschend. Der Versuch, innerhalb der Wissenschaften komplexe Sachverhalte auf einfache Gesetze zu reduzieren, hat durchaus seine Berechtigung. Jedoch sind nicht alle Eigenschaften eines Systems reduzierbar. Ein Gehirn z.B. denkt, ein Neuron nicht. Das Neuron leitet Reize, die beteiligten Moleküle verändern nur ihre elektrischen Eigenschaften.

Offenbar stellt sich die Welt als hierarchischer Stufenbau von Systemen dar, wobei neue Ebenen jeweils neue Eigenschaften oder Qualitäten aufweisen. Die Vorstellung vom Auftreten neuer, nichtreduzierbarer Qualitäten ist unvereinbar mit dem mechanistischen Weltbild: *Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.*

Seit Renaissance und Aufklärung lassen sich in den Einzelwissenschaften immer stärkere Spezialisierungstendenzen beobachten, die schließlich dazu führten, dass sich in jedem Fachbereich eine eigene Fachsprache heranbildete, und mit der Zeit ein interdisziplinärer Austausch immer schwieriger wurde. Diese Arbeit ist *transdisziplinär* in dem Sinne, dass sie versucht, die Einzelwissenschaften (Logik, Physik, Biologie, Soziologie, Informatik) zu transzendieren und deren Grundlagen von einer Metaebene aus zu betrachten. Ein Gemeinsames der verschiedenen Diszipli-

nen kann nur in der Philosophie gefunden werden, die als allgemeinste Ebene des menschlichen Denkens eine Metawissenschaft zu den Wissenschaften darstellt.

1.3 Ziele

Ich möchte im Folgenden zunächst versuchen, die historische Entwicklung der Naturphilosophie und der zugrunde liegenden Kausalitätsvorstellungen im Sinne einer Bestandsaufnahme nachzuvollziehen. Danach werde ich untersuchen, wo das mechanistische Paradigma scheiterte und welche nicht-mechanistischen Ansätze seitdem entstanden sind, wobei ich mein Augenmerk besonders auf Kybernetik, Systemtheorie, Konstruktivismus, Synergetik und Selbstorganisationstheorien richten werde. Schließlich werde ich ontologische und epistemologische Voraussetzungen vorstellen, die mir zur Konstitution einer vereinheitlichten Theorie von Raum, Zeit, Materie und Information notwendig erscheinen. Im Einzelnen möchte ich folgende Fragen behandeln:

- Wie hat sich unser Begriff der Kausalität, ausgehend von der ionischen Naturphilosophie um 600 v.Chr. bis zur Renaissance und Aufklärung, entwickelt? Wie kam es zur Herausbildung des mechanistischen Paradigmas?
- Welche Entwicklungen in den Einzelwissenschaften führten zum Scheitern dieses Paradigmas? Welche Alternativen wurden vorgeschlagen?
- Wie lässt sich die Vorstellung eines dynamischen Universums, in dem ständig Neues entsteht (Emergenz) mit dem Ursache-Wirkung-Denken der Kausalität vereinbaren?
- Wie könnte eine Ontologie (Lehre des Seins) aussehen, die aufgrund der bisherigen Ergebnisse und unter Berücksichtigung der menschlichen Erkenntnismöglichkeit konstruiert wird?

Im Folgenden ist jeder dieser Fragen ein Kapitel gewidmet. Vielleicht kann diese Arbeit einen kleinen Beitrag zur Diskussion über die gemeinsamen philosophischen Grundlagen der Wissenschaften liefern.

1.4 Danksagung

In erster Linie möchte ich Wolfgang Hofkirchner für seine tatkräftige Unterstützung danken. Er war es, der mein Interesse für diese Materie geweckt und mir den Einstieg in die Welt der Wissenschaft und Forschung ermöglicht hat. Mein besonderer Dank gilt Bettina, die eine großartige Bereicherung meines Lebens war und ist. Weiters danke ich meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben, sowie meinen Großeltern.

Ich möchte auch allen Freunden (Martin, Rainer, Martin & Kathrin, Maxx & Ina, Mario & Claudia, Bernhard & Anita, Gernot, Martina & Michi, Georg, Oli, Fritzi, Jan, Wolfgang, Axel, Ossi und allen, die ich vergessen habe) meinen Dank dafür aussprechen, dass sie für mich da waren. Im Besonderen sei hier noch Florian („Joe“) Wieser erwähnt, dem ich für seine Tätigkeit als Lektor und für etliche interessante Diskussionen danken möchte.

Meinen Studienkollegen, die noch im Studium stehen, wünsche ich viel Erfolg und alles Gute für die Zukunft.

Diese Diplomarbeit wurde in den Jahren 2001–2003 unter der Verwendung der Software *Linux*, *emacs*, *xfig* und \LaTeX realisiert. Mein Dank gilt auch den Entwicklern von Open Source Software, die ständig bemüht sind, die EDV-Welt etwas besser zu machen.

Kapitel 2

Die Entwicklung des Kausalitätsbegriffs

Das Prinzip der Kausalität stützt sich auf die (unbeweisbare) Hypothese, dass Ereignisse, welche immer wieder in einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge auftreten, miteinander auf bestimmte Weise verknüpft sind: Das zeitlich zuerst auftretende Ereignis (Ursache) bringt das spätere (Wirkung) hervor. In diesem Kapitel werde ich versuchen, die Entwicklung des Kausalitätsbegriffes von den Anfängen der Naturphilosophie um 600 v. Chr. bis zur Herausbildung der mechanistischen Vorstellung von Kausalität zu skizzieren.

Das vorliegende Kapitel beschränkt sich auf die Analyse der Wissenschaftsentwicklung im abendländischen Raum, *nicht* um anzudeuten, der abendländische Zugang zur Weltbeschreibung sei anderen (etwa der traditionellen chinesischen oder arabischen Philosophie) überlegen, sondern nur deshalb, weil der Mechanizismus, der beinahe die ganze Welt erobern konnte, eng mit dem abendländischen Denken verbunden ist.

2.1 Aristoteles' Kausalitätsmodell

Im Folgenden werden einige naturwissenschaftliche Weltbilder dargestellt und die ihnen zugrunde liegenden Kausalitätskonzepte analysiert. Als Koordinatensystem

dafür soll *Aristoteles'* System der vier Ursachen (*αἰτίαι*) verwendet werden¹. Die Kategorien von Aristoteles sind bis heute sehr gebräuchlich, wenn es darum geht, Überlegungen über Kausalzusammenhänge im Universum darzustellen. Deshalb möchte ich meinen chronologischen Ausführungen über die griechische Philosophie vorgreifen und eine kurze Vorschau auf die Kausalitätslehre des Aristoteles bringen. Eine ausführlichere Darstellung des Aristotelischen Weltbildes folgt in Abschnitt 2.3.2.

Aristoteles unterscheidet vier Formen der Ursache:

- *causa materialis*: Die materiellen Grundlagen, von denen ein Ereignis abhängt. Als Beispiel kann der Bau eines Hauses dienen. Hier sind die Materialursachen durch das Baumaterial repräsentiert, das zwar notwendig, aber nicht hinreichend für die Entstehung des Hauses ist.
- *causa formalis*: Die Gesetzmäßigkeiten, welche die Rahmenbedingungen bilden. In Bezug auf unser Hausbaubeispiel stellen die Baupläne die Formalursachen dar.
- *causa efficiens*: Die Kraftwirkungen, die nötig sind, um ein Ereignis hervorzu- bringen; in unserem Beispiel die Tätigkeit der Bauarbeiter. Diese Form der Kausalität ist die einzige, welche auch Eingang in die mechanistischen Naturwissenschaften gefunden hat.
- *causa finalis*: Die Zweckursache. Zum Beispiel der Zweck des zu bauenden Hauses als Schutz vor Wind und Wetter, als Wohnstätte für eine bestimmte Gruppe von Menschen.

2.2 Die griechische Naturphilosophie

Vermutlich betreibt der Mensch Philosophie, seitdem er als Art existiert. Im Laufe der menschlichen Geschichte fand bis heute eine fortlaufende Deanthropomorphi-

¹Es stellt sich die Frage, warum die Anzahl der Ursachen gerade *vier* betragen sollte. Tatsächlich scheint es ja mannigfaltige Ursachen zu geben, und man könnte wohl ein gleichberechtigtes System mit einer anderen Zahl von Kategorien entwickeln, doch die Aristotelischen Kategorien lassen sich gut mit der Dialektik von synchroner und diachroner Emergenz in Einklang bringen, wie ich in Kapitel 4 zeigen werde.

sierung des Wissens statt, die den Menschen von einer mystischen, religiösen Weltanschauung bis zur Entwicklung von Quantentheorie, Relativität und Selbstorganisationslehre führte. Es ist also beobachtbar, dass sich die *Kultur*, die Gesamtsumme menschlichen Denkens, stetig weiterentwickelt (*philosophia perennia*) und es scheint, als ob sie sich dabei immer weiter einer bestimmten Wirklichkeit nähert.

Fest steht, dass die Wurzeln unserer Wissenschaften im antiken Griechenland liegen. Der Beginn der abendländischen Philosophie wird zumeist mit dem Übergang von einer mythologischen Weltanschauung zu einem rationalen Denken, der sich vor etwa 2600 Jahren vollzogen hat, gleichgesetzt ([Rus96], S.13).

2.2.1 Das mythische Zeitalter

Die ältesten überlieferten Werke griechischen Denkens stellen die Schriften Homers dar. Hier wird uns ein Einblick in das Denken der archaischen Zeit gewährt, zumal die von Homer etwa 800 v. Chr. verfassten Epen von einer weiter zurückliegenden Zeit (um 1200 v. Chr.) erzählen und schon über etliche Generationen mündlich tradiert worden waren, ehe Homer sie niederschrieb.

In Ilias und Odyssee wird uns ein Weltbild präsentiert, in dem der Mensch als Spielball überirdischer Mächte erscheint. Die Götter sind hier noch personifizierte und anthropomorphe Prinzipien (zum Beispiel entspricht Poseidon dem Prinzip Meer, Ares dem Krieg, Athene der Weisheit, Aphrodite der Liebe), denen der Mensch machtlos gegenübersteht und denen er huldigt, um sie milde zu stimmen. Diese Vorstellung korrespondiert mit anderen Epen von Völkern auf ähnlicher Entwicklungsstufe (z.B. nordischer Sagenkreis, babylonische und ägyptische Schöpfungsmythen).

Zu jener Zeit war es noch nicht Praxis, die Gesetze der Welt durch Experimente zu überprüfen und so zu versuchen, die Welt zu verstehen. Vielmehr vertrauten die Menschen auf Götterverehrung, Orakelsprüche und auf alte Überlieferungen. Wissen war nur im Sinne von praktischem Wissen (Handwerkskunst, Landwirtschaft) zu erwerben, jedoch nicht im Sinne von Wissen über die Ordnung der Welt an sich.

2.2.2 Die Geburt der Philosophie

Etwa um 600 v. Chr. begann sich eine neue Disziplin zu etablieren: die Naturwissenschaft. Grundmotivation für die Naturphilosophen (Vorsokratiker) war die Überzeugung, dass der Mensch Fragen über die Beschaffenheit der Welt stellen und durch Forschen und Nachdenken auch Antworten (Erkenntnisse) erlangen kann. Instrumentarium zur Wahrheitsfindung ist der $\lambda\acute{o}\gamma\omicron\varsigma$ (lat. *ratio*) – etwa „Verstand“ oder „Geist“.

An Allem und Jedem kann und darf gezweifelt werden. Die Wahrheit von Aussagen muss unabhängig von Tradition, Religion, gesellschaftlichem Rang und Alter des Lehrenden gelten – und letztendlich auch unabhängig von der Existenz eines beobachtenden Subjekts. Ziel ist also die objektive Wahrheitsfindung.

Daraus ergeben sich drei Forderungen, denen seither jede wissenschaftliche Aussage genügen muss [Kle98]:

- *Empirie*: Jeder Mensch muss sich prinzipiell durch eigene Erfahrung von der Wahrheit der Aussage überzeugen können.
- *Kongruenz*: Die neue Aussage muss mit allen anderen Bewusstseinsinhalten, die aufgrund von Erfahrung entstanden sind, zusammen widerspruchsfrei denkbar sein.
- *Allgemeingültigkeit*: Die Gültigkeit der Aussage ist unabhängig vom zeitlichen und räumlichen Kontext zu fordern (*sub specie aeternitatis*).

Die erste naturphilosophische Schule entstand in Milet an der ionischen Küste, wo *Thales* um 600 v. Chr. die Frage stellte, was denn die Grundsubstanz sei, aus der die Welt bestehe. Hier tritt zugleich zum ersten Mal die Reduktion als Methode zu Tage. Es wird versucht, die Mannigfaltigkeit des Seienden auf wenige einfache Bestandteile zu reduzieren und die offenbare Komplexität der Welt aus einfachen Wechselwirkungen herzuleiten. Für Thales war das Wasser die Ursubstanz, aus dem alles Andere bestand.

Dass Thales bereits die mathematische Berechenbarkeit von Aspekten der Realität erkannt hat, geht aus der Episode hervor, dass er nach dem Bericht von Herodot die Sonnenfinsternis des Jahres 585 v. Chr. errechnet haben soll ([Rus96], S.20f).

Die nachfolgenden Naturphilosophen beschäftigten sich nun weiter mit der Frage nach der Substanz alles Seienden. Für Anaximander stellte „das Unbegrenzte“ (το ἄπειρον) den Urstoff dar, bei Anaximenes war es die Luft.

Pythagoras von Samos (um 530 v. Chr.) versuchte einen weiteren Schritt der Abstraktion. Aufgrund seiner mathematischen Entdeckungen und seiner experimentellen Beobachtungen kam er zu dem Schluss, dass die Zahlen (das bedeutete damals die Natürlichen Zahlen) und ihre Relationen (die Rationalen Zahlen) als Substanz anzusehen seien, da alles Seiende nur aufgrund von Zahlenverhältnissen sei².

Aufgrund dessen könnte man Pythagoras als Vorläufer der Idealisten bezeichnen, da nach seiner Vorstellung die Zahlen (als Ursubstanz) wirklicher als die sinnlich wahrnehmbare Welt waren. Hier wurde auch endgültig das alte Götterbild der archaischen Zeit beiseite geschafft. Die Pythagoreer waren zwar spirituell, lehnten aber den griechischen Polytheismus ab.³

Die Kausalitätsvorstellung der Pythagoreer reduziert sich (um in der Aristotelischen Terminologie zu bleiben) auf die *causa formalis*. Das zentrale Naturgesetz von den harmonischen Verhältnissen bildet die Grundlage für alle Ereignisse im Universum.

2.2.3 Heraklit und Parmenides – Statik und Dynamik

Heraklit wurde um 500 v. Chr. in Ephesos in Kleinasien geboren. Von seinem Werk sind nur wenige Fragmente überliefert, weshalb er auch als „der Dunkle“ bezeichnet wird. Seine Fragmente bilden ein Sammelsurium von Aphorismen und Metaphern.

„Kampf ist der Vater aller Dinge“ - mit diesem bekannten Satz drückt Heraklit seine Ansicht aus, dass in jedem Seienden eine implizite Spannung von Gegensätzlichkeiten vorhanden sei. ([DLS91] Heraklit B48, B62, B88) Als Ursubstanz postuliert er das Feuer, das ihm als Sinnbild der Veränderlichkeit der Welt und der Spannung zwischen den Gegensätzen erscheint.

²Es stellte sich bald heraus, dass selbst innerhalb der Geometrie Figuren konstruierbar waren, die nicht mehr durch Natürliche Zahlen und deren Verhältnisse beschrieben werden konnten (Quadratur des Kreises – π , Diagonale des Einheitsquadrates – $\sqrt{2}$).

³Bereits einige Jahre zuvor hatte *Xenophanes* (565 v. Chr.) eine vernichtende Kritik am anthropomorphen Gottesbild formuliert, indem er bemerkte, wenn Rinder, Pferde und Löwen Hände hätten und sich Bilder von ihren Göttern machen könnten, so wären diese Götter Löwen, Pferde und Rinder, genauso wie die des Menschen eben den Menschen ähneln ([DLS91], Xenophanes B15).

Heraklits berühmtester Satz: πάντα ῥεῖ (alles fließt). Damit drückt er eine Idee aus, die später für die Systemtheorie von immenser Wichtigkeit sein wird, nämlich die des Werdens, des ewigen Flusses.⁴

Ein Fluss bleibt derselbe, doch das Wasser, das ihn durchfließt, ist einer kontinuierlichen Veränderung unterworfen. Eine Person bleibt dieselbe, obwohl ihre materiellen Bestandteile ununterbrochen gegen andere ausgetauscht werden. Ähnliche Beispiele lassen sich bei allen selbstorganisierenden Systemen finden. Nach Bertalanffy ist das, was trotz dynamischer Veränderung von Materie und Energie im System konstant bleibt, die Organisation ([Ber49], S.46ff, [Ber70], S.101ff).

Die *Eleaten* nahmen den entgegengesetzten Standpunkt, nämlich den einer statischen Welt, ein. *Parmenides* von Elea (Südtalien) wirkte in der ersten Hälfte des 5. Jahrhunderts v. Chr. Sein Hauptwerk stellt das Gedicht *Über die Natur* (ἔκ φύσεως) dar, in welchem er die Lehren seiner Vorgänger aufgreift und kritisiert.

Seiner Meinung nach geht alle Naturphilosophie vor ihm von zwei Begriffen aus: von dem der Ursubstanz und dem des leeren Raumes. Nun können wir von der Materie bezeichnend sagen: „Sie ist“, und vom leeren Raum „Er ist nicht“. Parmenides meint nun, von dem, was nicht sei, könne man nicht so sprechen, als ob es sei. So meint er, was nicht ist, könne nicht einmal gedacht werden. Das einzige, was ist, ist das ἐστὶν („Es ist“).

Einige Folgerungen treten sogleich hervor: Da dieses „Es ist“ alles ist, was ist, muss auch die gesamte Welt überall von Materie erfüllt sein. Diese Ansicht wird die Naturwissenschaft bis ins 18. Jahrhundert hinein als Altlast mit sich schleppen (*horror vacui*).

Parmenides formuliert hier auch zum ersten Mal den Satz vom ausgeschlossenen Dritten, der für die gesamte nachfolgende Logik, Mathematik und Naturwissenschaft bedeutsam sein wird. Was ist, ist. Was nicht ist, ist nicht: „Denn es ist nichts Anderes und es wird nichts Anderes sein außer dem Seienden.“ ([DLS91], Parmenides B8)

So trivial dieser Satz auf den ersten Blick anmuten mag, drückt er doch aus, dass eine Aussage entweder mit der Realität übereinstimmt oder es nicht tut. Eine dritte Möglichkeit gibt es nicht. Es ist auch nicht möglich, von ein und derselben Aussage zu behaupten, sie sei zugleich wahr und falsch. Mit dieser Sichtweise stellt er

⁴In diesem Sinne steht Heraklit vielleicht den traditionellen fernöstlichen Lehren weit näher als die gesamte folgende abendländische Philosophie.

sich den Heraklitianern entgegen. Parmenides bezeichnet diese als verrückt, da er die Gegensätze, die laut Heraklit allen Dingen innewohnen, als widersprüchlich betrachtet.

Eine weitere Folgerung des oben beschriebenen Weltbildes des Parmenides besteht in der Unveränderlichkeit der Welt. *Nichts* existiert nicht, und aus etwas, das nicht existiert, kann nicht *etwas* entstehen.

Jenes „Es“ muß in jeder Beziehung gleich und kann nicht unendlich sein, da das Unvollkommenheit bedeutete. Es ist unerschaffen und ist ewig; weder kann es aus dem Nichts entstanden sein oder ins Nichts zurückkehren, noch vermöchte es aus etwas zu stammen, da es außer ihm nichts gibt. So gelangen wir zum Bild einer Welt, die eine feste, endliche, einheitlich materielle Kugel ohne Zeit, ohne Bewegung und Wechsel darstellt. [...] Wenn das unsere Sinnesorgane verletzt, umso schlimmer für sie! Wir müssen also jede Sinneserfahrung als Illusion abschreiben, und das ist es genau, was Parmenides dachte.
([Rus96], S. 37)

Hier zeigen sich zwei konträre philosophische Positionen, welche bis heute zu Kontroversen führen, nämlich einerseits die einer statischen, objektorientierten und andererseits die einer dynamischen, prozessorientierten Weltanschauung. Nach Heraklit ist das Bleibende nur Schein, wogegen das eigentliche Sein im Werden besteht. Parmenides sieht es genau umgekehrt.

Beide Philosophen reduzieren sämtliche Ursachen auf *causae formales*, da die Substanz des Seienden ohnehin festgelegt ist und nur die gesetzmäßigen Bedingungen die Realität aufspannen.

2.2.4 Die Atomisten

Einen radikal-reduktionistischen Ansatz verwendeten die Atomisten - namentlich *Demokrit* von Abdera und *Leukipp* von Milet (um 420 v.Chr.). Indem sie annahmen, dass sich alles Seiende aus kleinsten Bestandteilen zusammensetze, schufen sie ein Weltbild, in dem große Komplexität durch sehr einfache Grundbestandteile (Atome), die keine weitere Eigenschaft außer ihrer Existenz haben, und Gesetzmäßig-

keiten (elastischer Stoß zwischen den Atomen) entsteht.⁵

Alle Eigenschaften, welche auf der atomaren Ebene noch nicht vorhanden sind (wie etwa Farbe oder Geschmack), stellen bloße Illusionen dar. Dies impliziert auch, dass sowohl das Ich-Subjekt als auch die Entitäten Gott, Seele und dergleichen nur als Illusionen existierten und deshalb keinen Wirklichkeitscharakter aufweisen. Die griechischen Atomisten begründeten damit auch den Materialismus, welcher bis heute nichts an Bedeutung verloren hat, sondern sich zu einer differenzierten Weltanschauung weiterentwickelt hat.

Hier findet sich eine Reduktion auf die Wirkursache (*causa efficiens*), da einzig und allein der elastische Stoß zwischen den Atomen die Realität darstellt. Die Relation von Ursache und Wirkung ist strikt deterministisch, andere Formen der Ursächlichkeit kommen nicht in Betracht.

Epikur von Samos, ebenfalls Atomist, führt allerdings erstmals einen impliziten Indeterminismus ein, da er davon ausgeht, dass die Bewegung der Atome gewissen Abweichungen (*Deviationen*) unterworfen seien, die selbst keine weitere Ursache hätten.

2.3 Der klassische Idealismus

2.3.1 Sokrates und Plato - die Ideenlehre

Sokrates wurde um 470 v. Chr. in Athen geboren. Er selbst verfasste keine Schriften, sondern verbrachte seine Zeit – ganz nach sophistischer Tradition – damit, mit seinen Mitmenschen zu diskutieren (*διαλέγεσθαι*) sowie jungen Athenern seine Ideen zu vermitteln. So stammt alles, was wir über ihn wissen, aus den Schriften seiner Schüler, allen voran Plato. Im Jahre 399 v. Chr. wurde Sokrates zum Tod verurteilt, da ihm Verführung der Jugend und staatsfeindliche Aktivitäten angelastet wurden.

⁵Auch die Systemtheorie stellt sich der Aufgabe zu erklären, wie Komplexität aus Einfachheit entsteht. Sie vermeidet es jedoch, die Eigenschaften, welche nicht bereits auf der niedrigsten Ebene vorhanden sind, sondern sich als emergente Qualitäten auf höheren Ebenen zeigen, als Illusionen zu disqualifizieren. Beispielsweise gibt es in der Chemie keine Gefühle oder Triebe – in der Biologie jedoch schon. Würde man nun daher sagen, dass Gefühle weniger wirklich als chemische Reaktionen sind? In der Physik gibt es keine chemischen Reaktionen, sondern nur das Wirken der vier Grundkräfte im Rahmen von Feldern und Partikeln. Ist dadurch die chemische Reaktion nur eine Illusion?

Sokrates stellt deswegen einen so wichtigen Meilenstein der Philosophie dar, weil er einerseits die Ideen der Naturphilosophen (deswegen auch als *Vorsokratiker* bezeichnet) aufgriff und andererseits das Subjekt wieder „aus der Versenkung“ holte.

Der klassische Idealismus geht auf *Plato* (428 v. Chr.) zurück, der die *Ideen*, perfekte Konzepte, deren fehlerhafte Abbilder die sinnlich wahrnehmbaren Dinge der Welt darstellten, als höchste Stufe der Wirklichkeit ansah. Ideen sind ewig und unvergänglich, außerhalb von Zeit und Raum. Der Mensch ist in der Lage, die Ideen zu schauen, da seine Seele vor der Geburt in der Welt der Ideen beheimatet war. Jedes menschliche Erfinden ist somit eigentlich ein Erinnern an die Ideenwelt. Dieser Gedanke beeinflusste Generationen von Philosophen, Theologen und Wissenschaftlern über einen Zeitraum von 2400 Jahren – von Aristoteles über Leibniz, Spinoza, Kant bis hin zu Hegel.

Bei Plato findet sich ein auf die *causa materialis* verkürzter Kausalitätsbegriff, wobei hier mit Materie die Welt der *Ideen* gemeint ist. Diese Substanz gilt ihm hinreichend für alle Ereignisse in der Welt.

Um 387 v. Chr. gründete Plato in Athen eine Schule, die nach dem legendenhaften Helden *Akados* den Namen „Akademie“ bekam. Gelehrt wurden Arithmetik, Geometrie, Astronomie und Musik. Diese erste Vorläuferin der Universitäten konnte sich über 900 Jahre lang behaupten und brachte etliche geniale Köpfe hervor. Derjenige Schüler der Akademie, welcher den größten Einfluss auf das abendländische Denken ausübte, war Aristoteles.

2.3.2 Aristoteles

Aristoteles wurde um 384 v. Chr. in Thrakien geboren. Im Alter von 18 Jahren begann er sein Studium an der Akademie in Athen. Während seiner Studententätigkeit entstanden umfangreiche biologische und naturwissenschaftliche Schriften, die von späteren Herausgebern unter dem Titel *Physik* subsumiert wurden. Die naturwissenschaftlichen Betrachtungen Aristoteles' sind heute größtenteils überholt und stellen nur noch ein historisches Dokument dar.⁶

⁶Ein oft zitierter Irrtum des Aristoteles, der sich noch bis ins 19. Jahrhundert fortsetzte, betraf etwa die Urzeugung, also die Idee, dass sich unter gewissen Umständen aus anorganischer Materie (Schmutz) Organismen wie Würmer spontan bilden könnten. Diese Idee wurde erst im 19. Jahrhundert von *Louis Pasteur* endgültig widerlegt.

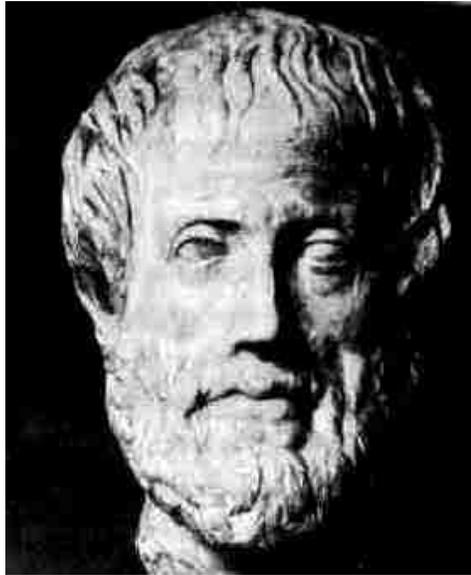


Abbildung 2.1: Aristoteles

In seinen späteren Lebensjahren versuchte Aristoteles, ein theoretisches Fundament der Philosophie zu entwickeln, das an Stelle der Sokratischen Ideenlehre treten sollte. Da diese vierzehn Bücher über die Anfangsgründe der Philosophie chronologisch nach denen der Physik entstanden, wurden sie von späteren Biographen unter dem Titel $\mu\epsilon\tau\grave{\alpha}$ $\tau\alpha$ $\phi\acute{\upsilon}\sigma\iota\kappa\alpha$ (nach der Physik) zusammengefasst. Daraus hat sich der Begriff Metaphysik entwickelt, der später zu einem Synonym für Überlegungen zu den ersten Gründen der Philosophie geworden ist.

Die Erste Philosophie ist jene Wissenschaft, welche die Prinzipien des Seienden untersucht oder, wie sich Aristoteles ausdrückte, das Seiende schlechthin und insoferne es Seiendes ist, das Seiende als Seiendes. Alle anderen Wissenschaften betrachten eine bestimmte Art, einen bestimmten Bereich des Seienden. [...] Die Erste Philosophie aber hat die Aufgabe, das Seiende ganz allgemein und im ganzen zu bestimmen.

([Kle98], S.8)

Die aristotelische Logik

Aristoteles kann als Schöpfer der wissenschaftlichen Logik angesehen werden. Er hinterließ zahlreiche Schriften zur Logik, die später von seinen Anhängern im sogenannten *Organon* zusammengefasst wurden. Hier entwickelte Aristoteles eine einstellige Prädikatenlogik der ersten Stufe und damit das erste vollständig in Gestalt eines Axiomensystems dargestellte formale System ([BK74], S.722).

Ausgehend von der Urteilstheorie stellt Aristoteles fest, dass die Vernunft des Menschen gleichzeitig der Ordnung der Welt entspricht. Wenn ich als Mensch einen Satz aufstelle, so stellt dieser nicht nur eine willkürliche Verbindung von Subjekt und Prädikat dar, sondern indem ich den Satz äußere, räume ich diesem gleichzeitig einen Geltungsanspruch ein. Wenn ich sage: „Die Rose ist rot“, so meine ich, dass der Rose in Wirklichkeit eine Eigenschaft „rot“ zukommt.

Die aristotelische Logik baut auf drei Axiomen auf:

- Satz vom Widerspruch (a und $\text{non-}a$): *omnis determinatio est negatio*. Betrachte ich ein Objekt a , so erfasse ich damit gleichzeitig die Mannigfaltigkeit der Welt, die nicht a ist.
- Satz vom zureichenden Grund: Kein Ereignis in der Welt geschieht ohne zureichenden (notwendigen) Grund.
- Satz vom ausgeschlossenen Dritten: Entweder a oder $\text{non} - a$ müssen wahr sein. Eine dritte Möglichkeit gibt es nicht.

Der Begriff *Logik* stammt vom Wort \acute{o} $\lambda\acute{o}\gamma\omicron\varsigma$, meint also die Wissenschaft vom Verstand, der zugleich der Ordnung der Dinge entspricht. *Ontologie* (dieser Begriff wurde erst in der Neuzeit geprägt) und *Logik* sind bei Aristoteles dasselbe.

Gedanken zur Kausalität

Aristoteles war der erste Philosoph, der sich explizit mit dem Zusammenhang von Ursache und Wirkung beschäftigte, wobei für ihn ontische, ontologische und epistemologische Ebene untrennbar verbunden waren ([Pä98], S.14). In seiner Physik kritisiert er folgende Punkte an der vorangegangenen Naturphilosophie (ebenda, S.12):

- Aristoteles' Lehrer Plato betrachtete die Materie (*Substanz*) als Ursprung aller Kausalität.
- Pythagoreer sowie Eleaten betrachteten *formale Bedingungen* als hinreichend für ihren Kausalbegriff.
- Die Heraklitianer wie auch die Atomisten bauten ihren Kausalbegriff allein auf das Wechselspiel zwischen Ruhe und Bewegung auf (*Wirkursachen*).
- Die Frage des Zwecks (*finale Ursachen*) eines Ereignisses blieb bislang, abgesehen von Religion und Mythos, unbeachtet.

Nach der Meinung von Aristoteles sind alle diese vier Aspekte der Kausalität zu berücksichtigen, womit er sein Modell der vier *causae* (*materialis, formalis, efficiens, finalis*) begründet.

Die Festlegung auf genau vier Ursachen (nicht mehr und nicht weniger) ist natürlich problematisch. Neuere Autoren, die sich mit Aristotelischer Kausalität beschäftigen, versuchen immer wieder, die vier Ursachen zu vereinigen. Cassirer zum Beispiel stellt formale, materielle und finale Gründe als Spezialfälle der Wirkgründe dar ([Cas94], S.87ff). Pätzold weist allerdings darauf hin, dass in einer solchen Interpretation der Begriff des „Ganzen“ auf der Strecke bleibt:

Den Gesichtspunkt der „Ganzheit“, wenn man ihn denn für nötig hält, kann man in Aristoteles' Kausaltheorie nicht finden, wenn man eine der Ursachen für dominant erklärt und die anderen im Sinne der Letztbegründung aus ihr deduzieren zu können glaubt.

([Pä98], S.12)

Einen anderen Ansatz schlägt *John Collier* vor. Er betrachtet die vier Ursachen nicht als Einheit, sondern als vier Pole der Kausalität. Sein Konzept bezeichnet er, analog zur Dialektik, als *Tetralectics*.

Da alle Ereignisse in der Welt ihre Ursachen aufweisen, stellt sich letztendlich die Frage nach der ersten Ursache in der Kausalkette des Seienden – nach der *prima causa* oder dem ersten Bewegter. Damit greift Aristoteles bereits den monotheistischen Religionen vor und äußert eine wichtige Idee, die bis heute unter Philosophen sowie Naturwissenschaftlern vieldiskutiert ist. Darin dürfte auch der entscheidende Grund bestehen, warum seine Schriften einen so starken Einfluss auf die christliche Philosophie ausüben konnten.

Die Rolle der Zweckursachen

Um die Aristotelische Position besser zu beleuchten, ist es nötig, auf seine Substanzmetaphysik einzugehen. Zentrale Aussage der Aristotelischen Logik ist ja die Übereinstimmung unserer Vernunft mit der Ordnung der Welt, also der Einheit von Logik und Ontologie. Da sich diese Forderung aus der Urteilstheorie erhebt, ist die Ordnung der Welt demnach das syllogistisch verbundene System von Urteilen.

Dieses hat jedoch entsprechend der Subjekt-Prädikat-Struktur zwei Pole: Subjekte, welche nicht wieder Prädikate von anderen Subjekten sind, sondern Letzt-Subjekte auf der einen Seite, und Prädikate, welche nicht mehr als Subjekt in Betracht kommen, Letzt-Prädikate auf der anderen Seite.

([Kle98], S.19)

Als Letzt-Subjekte gelten Aristoteles die sinnlich wahrnehmbaren Individuen (auch οὐσία oder Substanz, daher die Bezeichnung Substanzmetaphysik), als Letzt-Prädikate die Kategorien. Daraus, dass die Individuen nicht mehr Prädikat eines anderen Subjektes sein können, kommt ihnen eine Eigenschaft zu, die als *Entelechie* bezeichnet wird. Sie tragen also ihren Zweck in sich. Diese Anschauung ist für die Systemtheorie von Bedeutung. Betrachtet man ein selbstorganisierendes System von einem internen Standpunkt aus (vgl. *internalist view* bei Salthe ([Sal96], S.95f) – also so, als ob wir selbst das System „wären“, so existieren auf dieser Ebene Ziele (Finalursachen). Wichtigste Finalursache jedes lebenden Systems ist sicherlich die Aufrechterhaltung der eigenen Homöostase bzw. der eigenen Grenze zur Umwelt. Diese Zweckursachen sind jedoch vom Standpunkt eines externen Beobachters nicht evident, da sie allein in der Realität des Systems selbst existieren.

Es sei hier noch kurz auf die ethischen Implikationen der oben beschriebenen Vorstellung hingewiesen. Da alle Menschen Entelechien, Letzt-Subjekte sind, bedeutet dies auch, dass ein Mensch den anderen immer auch als Zweck, nie ausschließlich als Mittel behandeln soll. Auf diesem Gedanken fußt der Kategorische Imperativ von *Immanuel Kant* (1724-1804).

Die Dialektik von Allgemeinem und Besonderem

Alles Seiende bewegt sich bei Aristoteles zwischen den beiden Polen, den Letzt-Subjekten als konkreteste und den Letzt-Prädikaten als allgemeinste Entitäten. Dazwischen liegt eine Hierarchie von mehr oder weniger besonderen Allgemeinheiten, die jeweils in Bezug auf Art (*εἶδος*, *differentia specifica*, das Besondere) und Gattung (*γένος*, *genus proximus*, das Allgemeinerere) unterscheiden.⁷

Betrachtet man einen der beiden Pole (Substanz/Kategorie) als „wirklicher“ als den Anderen, so gelangt man je nachdem zur Position eines naiven Materialismus oder Idealismus. Aristoteles war der Erste, der ein Modell zur Integration beider Aspekte, eine Dialektik von Allgemeinem und Besonderem, von Abstraktem und Konkretem, entwarf. Der Gedanke von der Polarität zwischen materieller und idealer Wirklichkeit zieht sich durch die gesamte abendländische Philosophie, findet aber vor Allem im deutschen Idealismus Hegels und Schellings – und darauf aufbauend auch im Marxismus/Leninismus – Niederschlag.

Die Auffassung des dialektischen Materialismus vom Verhältnis zwischen Allgemeinem und Einzelem baut wesentlich auf einen materialistischen Monismus auf. Die Welt ist die Gesamtheit der unendlich vielfältigen einzelnen Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungsformen der Materie. Als Einzelnes weisen diese Materieformen jedoch verschiedene gemeinsame Merkmale und Eigenschaften auf, die ihre Zugehörigkeit zu gewissen Klassen von Objekten bestimmen und ihr Allgemeines ausmachen.

([BK74], S.59)

2.3.3 Die christliche Philosophie des Mittelalters

Dadurch, dass die Schriften von Aristoteles mit dem christlichen Weltbild gut vereinbar waren, wurden sie durch die selektive Phase des Mittelalters hindurch überliefert und bildeten eine wichtige Grundlage für jegliche wissenschaftliche Betätigung in der christlichen Scholastik. Vor allem auf Thomas von Aquin und Nikolaus von Autrecourt übten Aristoteles' Schriften großen Einfluss aus.

⁷Hierin lässt sich der Ursprung der Hierarchischen Systemtheorien erkennen. Vgl. dazu die *specification hierarchy* von Salthe ([Sal96], S.52ff, siehe auch Kapitel 3.8.2).

Zu jener Zeit beschränkte sich die Forschungstätigkeit auf reine Exegese. Es wurde nicht für notwendig erachtet, eigene Untersuchungen anzustellen und neue Ideen zu entwickeln. Eine Theorie, die im Widerspruch zur Heiligen Schrift stand, konnte den Urheber das Leben kosten. So wurden die naturwissenschaftlichen Ideen klassischer Autoren beinahe unreflektiert übernommen – selbstverständlich nur, soweit sie dem Dogma der Römischen Kirche nicht widersprachen. Es fand also eine selektive Überlieferung statt, und es ist anzunehmen, dass so viele antike Werke verloren gegangen sind.

Auch die Aristotelische Kausallehre wurde teilweise übernommen, konnte man doch Gott mit der Rolle des Ersten Bewegers und der letzten *causa finalis* der Welt identifizieren. So stellt der Kausalitätsbegriff der Scholastik eine Reduktion auf *causae formales* und *finales* dar: Gott ist das Gesetz und der Zweck. Alles was geschieht, geschieht durch sein Wirken, die Materie ist Gottes Werk.

2.4 Renaissance und Rationalismus

2.4.1 Ockhams Rasiermesser

Um 1290 wurde *Wilhelm von Ockham* in England geboren. Er sollte wie kein Anderer die wissenschaftliche Methodik der nachfolgenden Jahrhunderte prägen. Der gelehrte Franziskaner griff als einer der Ersten die alten Forderungen der Eleaten (vgl. 2.1.2.) auf und begann, die Dogmen seiner Zeit zu hinterfragen und zu kritisieren. So war es nur eine Frage der Zeit, bis er bei der Kirche in Ungnade fiel und mit Exkommunikation bestraft wurde. Er erhielt vom gleichgesinnten Kaiser Ludwig dem Bayern Asyl in München, wo er die Suche nach der Wahrheit bis zu seinem Tod im Jahre 1349 fortsetzen konnte.

Ockham lehnte jegliche Metaphysik – und damit auch die Kausalität Aristoteles' – ab. Wirklichkeit besitzt nur das individuelle Einzelding, und dies allein kann Gegenstand der Erfahrung sein, die ein unmittelbares und sicheres Wissen ergibt. Alles Wissen muss sich deshalb aus der Beobachtung der Einzeldinge ableiten. Der Wichtigste Satz Ockhams wird auch als „Ockhams Rasiermesser“ bezeichnet: „Entitäten sollten nicht unnötig vervielfacht werden“. Was überflüssig zur Erklärung empirischer Phänomene ist, soll weggelassen werden. Wenn eine einfache Erklärung für eine Erscheinung ausreicht, ist es unnützlich, eine kompliziertere zu verwenden. Da-

mit begründet Ockham eine Methodologie, welche die Wissenschaftsgeschichte der folgenden Jahrhunderte kennzeichnet.

Ein falsch verstandenes Rasierrmesser-Prinzip liegt auch dem wissenschaftlichen Reduktionismus zugrunde, der sich in den folgenden Jahrhunderten verbreitete und von den vier Ursachen des Aristoteles als einzige die *causa efficiens* übrig ließ.

Beginnend mit dem Kritizismus Ockhams konnten große Fortschritte in den Wissenschaften verbucht werden. Von zentraler Bedeutung war die „kopernikanische Wende“, die Wiederentdeckung des heliozentrischen Systems durch den polnischen Astronomen Nikolaus Kopernikus (um 1543), der den Menschen aus dem Zentrum an den Rand des Universums rückte – nicht bloß im metaphorischen Sinn. Tycho Brahe, Johannes Kepler, Giordano Bruno und schließlich Galileo Galilei führten sein Werk fort, und erst im Laufe der Jahrhunderte ließ der heftige Widerstand der Kirche gegen das neue Weltbild nach.

Der technische Fortschritt hatte unter Anderem die Druckkunst hervorgebracht, und so war es möglich, neue Schriften einer Vielzahl von Menschen zur Verfügung zu stellen, was sich fördernd auf unabhängiges Denken auswirkte. Man begann nun über Sachverhalte, die bislang als unumstößlich gegolten hatten, neu nachzudenken.

2.4.2 Galileo und Newton

Galileo Galilei (1564-1642) war neben Ockham derjenige, der die Methodologie der Wissenschaften für die nächsten Jahrhunderte festlegte. Physik besteht darin, alles Messbare zu messen und alles Nichtmessbare messbar zu machen. Was nicht gemessen, sondern bloß wahrgenommen werden kann, ist demnach *per definitionem* kein Gegenstand der Physik. ([Kle98], S.12)

Hatte bis in die frühe Neuzeit die Physikkonzeption von Aristoteles gegolten, so widerlegte Galilei diese durch Anwendung seiner Methodik von Theoriebildung und Experiment. Was die Dynamik betrifft, kam er zu folgenden Erkenntnissen:

- Es gibt keinen bevorzugten Ruhezustand für einen Körper
- Nicht die kreisförmige, sondern die geradlinige Bewegung ist „natürlich“

Sir Isaac Newton (1642 - 1727) hatte die Möglichkeit, die Resultate von Galilei und an-

deren aufzugreifen und daraus eine Konzeption der Dynamik zu entwickeln, die für menschliche Größenordnungen bis heute gültig ist. Die Basis für Newtons Überlegungen bilden drei Axiome, die jedoch nicht idealistisch sind, sondern durch Anwendung von Galileos Methode von Hypothesenbildung und Experiment entstanden sind:

- Alle Körper, auf die keine Kraft einwirkt, bewegen sich geradlinig und mit beständiger Geschwindigkeit (vgl. Galilei)
- Kraft ist die Ursache aller nicht-einheitlichen Bewegung ($F = m \cdot a$)
- *actio est reactio*

In der Kausalität eines Galilei oder Newton trat also die Kraft als Ursache aller Bewegung auf. Es schien, als hätte man den Schlüssel zum Weltall entdeckt.

In die Epoche der Aufklärung fallen etliche weitere wissenschaftliche und technische Entdeckungen, die ebenfalls dazu beitrugen, unser Weltbild zu verändern und noch heute überraschend modern wirken. So z.B. Gilberts Entdeckung des Magnetismus, Huygens Wellentheorie des Lichtes, Boyles Abkehr von der abergläubischen Alchimie und Grundlegung der wissenschaftlichen Chemie, Harveys Beschreibung des Blutkreislaufes, um nur einige zu nennen.

Hier bewährte sich die monokausale Denkrichtung, und von Johannes Kepler bis Pierre-Simon Laplace waren die Wissenschaftler begeistert, wie das Universum (quasi als Uhrwerk) ihren Berechnungen folgte. Somit stellte die Reduktion auf die *causa efficiens* das neue Paradigma der Naturwissenschaften dar.

2.4.3 Descartes

René Descartes (1596 - 1650) übte einen starken Einfluss auf die Wissenschaftstheorie der Neuzeit aus. In seinem Werk „Diskurs über die Methode“ propagierte er die Benützung der Mathematik als richtigen Gebrauch unseres Erkenntnisapparates.

Betrachte man die Geschichte der Philosophie, so meinte Descartes, sei jegliche Meinung irgendwann einmal von irgendjemanden vertreten worden. Um diese Antinomien (Geist/Materie, statisch/dynamisch, Zufall/Notwendigkeit) aufzulösen, verwendete er das Mittel der Introspektion. Er war bereit, alles wegzuerwerfen und nur

Logik, Geometrie (damaliger Begriff für Mathematik) und Algebra zur Konstruktion seines Weltbildes zu verwenden. ([Rus96], S.278)

- Nichts als klare Erkenntnis ist anzunehmen (*clara et distincta cognitio*).
- Jedes Problem ist in so viele Teile zu zerlegen, wie es seiner Lösung förderlich ist (Paradigma des Reduktionismus).
- Es ist immer sorgfältig zu prüfen, dass nichts übersehen wurde.

Nun erscheint Descartes alles anzweifelbar – außer dem Zweifel des Zweifelnden selbst. So kommt er zu seinem vielzitierten Satz *cogito ergo sum*, der den Ausgangspunkt seiner Metaphysik darstellt. René Descartes hielt diesen Satz für unbezweifelbar, doch die Empiristen übten Kritik daran (z.B. Thomas Hobbes: „Ich gehe spazieren, also bin ich“).

Da Gott wahrhaft ist, belügt er uns nicht. Wir haben eine Vorstellung von Körpern (*res extensa*), also müssen diese existieren. Der Mensch mit seinem kognitiven Apparat passt jedoch nicht in dieses Schema, so dass das Bewusstsein (*res cognitans*) als eigene, unabhängige Entität angesehen werden muss.

In seiner Gedanklichkeit kann der Geist unmöglich etwas mit der Materie zu tun haben. Darum stellen Geist und Körper zwei Welten, also zwei unabhängige Substanzen dar (Dualismus). Diese beiden Prinzipien treffen einzig und allein im menschlichen Gehirn (Zirbeldrüse) zusammen.

Die Anhänger Descartes' versuchten, das Problem, warum in unserer Erfahrung Geist und Körper sehr wohl aufeinander einwirken, zu lösen. *Arnold Geulincx* (1624-1669) begründete den Occasionalismus. Er war der Meinung, Gott hätte beide Welten unabhängig voneinander geschaffen, hätte diese jedoch im Schöpfungsakt synchronisiert, vergleichbar wie zwei Uhrwerke, die nach einer Synchronisierung für immer die gleiche Zeit anzeigen.

Das Kausalitätskonzept von René Descartes ist strikt deterministisch, ohne diese Tatsache überhaupt zu reflektieren. So wird er zum Vater des Mechanismus.

Descartes baut seine Physik auf Ausdehnung und Bewegung auf. Diese Konzepte sind unabhängig von unserer sinnlichen Erfahrung und angeboren. Ideen sind „echte Erkenntnisse“, die durch das reine Denken entstehen. Sinnliche Wahrnehmung ist

zweitrangig und fehlerhaft. Hier wird der Zusammenhang zwischen dem Mechanizismus und der Metaphysik der Eleaten (Parmenides, vgl. Kapitel 2.2.3) deutlich sichtbar.

2.4.4 Leibniz

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716) entwickelte eine Alternative zum kartesischen Dualismus. Seiner Meinung nach gibt es unendlich viele verschiedene Substanzen, die unausgedehnt sind (Monaden). Diese Monaden können in keinerlei Kausalverbindung zueinander stehen („Monaden sind fensterlos“) [Sch92].

Raum und Zeit sind bloße Sinneserscheinungen, keine Realitäten. Keine zwei Monaden sind gleich, da sie ansonsten dasselbe wären (vgl. Pauli-Prinzip der Quantenphysik). Auch die menschlichen Seelen sind Monaden und daher unteilbar und unsterblich.

Nun stellt sich die Frage, wie dann die Kausalzusammenhänge im Universum erklärbar sind. Hier greift Leibniz wieder auf den Occasionalismus von Geulinx zurück, erweitert diesen auf unendlich viele Substanzen. So kommt er zum *Satz der Prästabilierten Harmonie*. Jede Monade spiegelt das Weltall wider. Gott hat die Monaden beim Schöpfungsakt in ihren Bahnen so eingerichtet, dass sie parallel laufen, da alle Monaden unvollkommene Abbilder der Supermonade Gott sind (Holographisches Weltbild).

Was die Kausalität betrifft, geschehen bei Leibniz alle Dinge aus hinreichenden Gründen heraus, allein der freie Wille des Menschen ist nicht dem strengen Zwang der logischen Gesetze unterworfen. Hier wird der kartesische Determinismus benützt, um auf der Grundlage der aristotelischen Logik (vgl. Kapitel 2.3.2) eine durch und durch idealistische Konzeption zu unterstützen.

2.5 Empirismus und Positivismus

Ergänzend zu den bisher erwähnten philosophischen Standpunkten, welche zur Herausbildung des Mechanizismus führten, sei noch der Empirismus erwähnt. Diese auf einem absoluten Erkenntnispessimismus wurzelnde Position ist nicht zu den monokausalen Philosophien zu zählen; vielmehr kennen Empirismus und Positivismus

mus überhaupt keine Kausalität. Damit stehen sie in einer gewissen Nähe zum radikalen Konstruktivismus, der im Kapitel 3 beschrieben wird. Es handelt sich hierbei also nicht unbedingt um einen mechanistischen Zugang, jedoch um eine vermeintliche Alternative, die, wie ich zeigen werde, in eine Sackgasse führte.

Der klassische Empirismus, wie er von *David Hume* (1711-1776) begründet wurde, stellt erstmals explizit die Frage nach der Möglichkeit der Erkenntnis: Was können wir wissen? Hume gibt die Antwort: Nur das, was uns in der Sinneswahrnehmung gegeben ist. Alle Bewusstseinsinhalte des Menschen, die sich auf die Außenwelt beziehen, leiten sich von den Sinnesdaten ab. Jedes Messergebnis, jede Beobachtung, jede Vorstellung von einem Ding ist unmittelbar oder mittelbar durch sinnliche Erfahrung gegeben. Damit ist uns allein die Welt der Erscheinungen, der Phänomene, gegeben, nicht aber die Welt der Dinge selbst.

Diese Voraussetzung macht jede Form der Metaphysik sinnlos. Wissenschaftliche Tätigkeit muss sich allein auf die Beschreibung der Phänomene beschränken und ist nicht berechtigt, aus der Wahrnehmung der Phänomene irgendwelche Rückschlüsse auf Naturgesetze oder die Dinge hinter den Erscheinungen zu ziehen.

Für *John Stuart Mill* (1806-1873) besteht das in der Anschauung „positiv Gegebene“ (so prägt Mill den Begriff *Positivismus*) nur in der augenblicklichen Wahrnehmung und niemals in allgemeinen Gesetzen oder absoluten Wahrheiten. Um dieses Gegebene zu verarbeiten, steht uns die induktive Logik zur Verfügung. Die Sätze der Logik und Mathematik selbst sind jedoch genauso verallgemeinerte Beobachtungen wie die Naturgesetze; so wäre es theoretisch denkbar, dass eines Tages ein logischer Satz durch Beobachtung widerlegt werden könnte.

Ernst Mach (1838-1916) greift die Ideen von Hume, Berkeley, Locke, Mill und Comte auf und formuliert den *Empiriokritizismus*: Alle Aussagen, gleich welcher Art, können grundsätzlich in Aussagen über Sinnesdaten umgeformt werden. Dinge sind nützliche Konstruktionen für das tägliche Leben, haben aber keine ontische Bedeutung. Metaphysik ist unmöglich, da jegliche Erkenntnis allein aus Sinnesdaten resultiert und es so keine wahren Sätze *a priori* geben kann.

Dieses Weltbild hat auch schwerwiegende Implikationen auf die Frage nach der Kausalität: In der Natur gibt es keine Ursache und Wirkung.

Verbindungen von Ursachen und Wirkungen seien demnach nur Konstruktionen, die der Mensch aus seiner Wahrnehmung von sich immer wiederholenden zeitlichen Abfolgen von Ereignissen synthetisiert. Weil wir z.B. immer wieder beobach-

ten, wie Gegenstände in geradliniger Bahn zur Erde fallen, konstruieren wir einen kausalen Zusammenhang, der als Naturgesetz der Gravitation dargestellt wird.

Rudolf Carnap war im Jahre 1926 als Privatdozent nach Wien gekommen und zu einer Gruppe von Wissenschaftlern gestoßen, die sich regelmäßig zu Diskussionsabenden trafen. 1928 gab sich die Gruppe dann offiziellen Status mit der Gründung des Vereins „Ernst Mach“, besser bekannt als der *Wiener Kreis*. Neben Carnap waren Schlick, Neurath, Kraft und der junge Popper Mitglieder. Ziel war es, die Wissenschaften auf ein unangreifbares epistemologisches Fundament zu stellen, wobei hier die Ideen des Positivismus und Empiriokritizismus sowie die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Logik (vor Allem *Russells* „Principia Mathematica“ und *Wittgensteins* „Tractatus Logico-Philosophicus“ die entscheidenden Werkzeuge bilden sollen.

Wittgenstein sah die logischen Sätze sämtlich als Tautologien an, Sätze also, in denen sich die Wahrheitswerte – wahr oder falsch – ihrer Teilsätze gegenseitig aufheben. Daraus folgt also, dass durch die Anwendung eines logischen Satzes auf einen „sinnvollen“ (durch Sinneswahrnehmung entstandenen) Satz keine über den Inhalt des sinnvollen Satzes hinausgehende Erkenntnis gewonnen werden kann. Damit ist auch die Rolle, die der Philosophie zukommt, definiert:

Der Zweck der Philosophie ist die logische Klärung von Gedanken. Das Resultat der Philosophie sind nicht 'philosophische Sätze', sondern das Klarwerden von Sätzen.

([Wit84], 4.112)

Der Zweck der Philosophie erschöpft sich also in der Kontrolle der Logik eines vorliegenden Satzes. Alle berechnete Philosophie ist Sprachkritik.

Was aber ist das in der Erfahrung unmittelbar und primär Gegebene? Anknüpfend an *Kant* geht Carnap davon aus, dass hier jeweils eine Totalität erlebt wird: Wahrnehmungen, Gedanken, Wünsche, Emotionen sind in einander verflochten. Solche Erlebnisse sind aber immer subjektiv und grundsätzlich nicht mitteilbar. Was jedoch objektiv und mitteilbar ist, sind die Beziehungsverhältnisse zwischen den Sinnesdaten. Carnap legt dar, dass alle wissenschaftlichen Aussagen reine Strukturaussagen (in Form von hypothetischen Sätzen – „wenn A, dann B“) und deshalb objektiv seien.

Es zeigen sich zwei grundsätzliche Probleme des Neopositivismus:

- Wenn die Logik zur Klärung eines sinnvollen Satzes eingesetzt wird, muss davon ausgegangen werden, dass die Logik ein *apriori* darstellt. Wenn eine objektive Klärung von empirischen Daten durch die Logik möglich ist, so ergibt sich daraus eine objektive Existenz der Logik als ein apriori-synthetisches Werkzeug, also kommt ihr metaphysische Bedeutung zu, was der Zielsetzung des Positivismus, ohne Metaphysik auszukommen, widerspricht.
- Wenn alle Erkenntnis auf Sinnesdaten zurückführbar ist, der Erfahrungsfluss aber subjektiv ist, wieso sollten dann gerade Beziehungsverhältnisse zwischen subjektiven Inhalten objektiv und mitteilbar sein?

Neurath versuchte, diese Probleme dadurch zu lösen, dass er die Bezugnahme auf eine außersprachliche Wirklichkeit völlig aufgab. Die einzige Realität seien nur die geschriebenen oder gesprochenen *Protokollsätze* als die von Anfang an intersubjektiv beobachtbaren Äußerungen eines physikalischen Körpers. Damit beißt sich freilich die Katze in den Schwanz, da das Konzept eines physikalischen Körpers selbst Teil einer außersprachlichen Wirklichkeit sein muss, um die Existenz von Protokollsätzen überhaupt zu ermöglichen.

Der Begriff *Wahrheit* als Übereinstimmung eines Satzes mit der Wirklichkeit wurde durch „Kohärenz innerhalb eines Sprachsystems“ ersetzt. Es zeigte sich nun, dass es möglich ist, verschiedene in sich widerspruchsfreie Sprachsysteme zu entwerfen, die aber miteinander unverträglich sind, was zu einem philosophischen Relativismus führt.

Insgesamt ist das Programm des Wiener Kreises als gescheitert zu betrachten, freilich nicht ohne der nachfolgenden Philosophie ein wichtiges Erbe zu hinterlassen. Generell erscheint mir der positivistische Ansatz allzu erkenntnispessimistisch. Reduziert man die Rolle der Wissenschaft allein auf die Beschreibung von Phänomenen, so liefert sie keine neue Erkenntnis. Die Probleme der mechanistischen Wissenschaften werden durch die Aufgabe von metaphysischen Konzepten wie Naturgesetze oder Kausalität nicht gelöst, sondern nur aus der Betrachtung ausgeklammert. Davon abgesehen entbehrt auch der „metaphysikfreie“ Neopositivismus nicht einer eigenen Metaphysik, die als Grundlagen einerseits die Logik als Sprache für objektiv mitteilbare Strukturaussagen, andererseits die positiv gegebenen Sinneswahrnehmungen im Erfahrungsfluss annimmt.

Natürlich kann die Existenz von Naturgesetzen nicht einwandfrei bewiesen werden, aber unsere gesamte Erfahrungswelt legt nahe, dass es objektive Zusammen-

hänge zwischen verschiedenen Teilen der Welt gibt. Dies kann eine ontologische Basis liefern, die eine viel befriedigendere Wissenschaftskonzeption als die des Positivismus ermöglicht.

2.6 Zusammenfassung

2.6.1 Metaphysik des Mechanizismus

Nachdem wir die Entwicklung der abendländischen Naturphilosophie der letzten zweieinhalb Jahrtausende hinsichtlich der Kausalitätsauffassung nachvollzogen haben, gilt es, zu fragen, welche philosophischen Positionen den Mechanizismus kennzeichnen. Hier lassen sich einige Grundsätze nennen:

- Es existiert nur eine Form der Ursächlichkeit (*causa efficiens*).
- Diese wirkt strikt deterministisch, ist also im Prinzip vollständig berechenbar.
- Jede Erkenntnis muss unabhängig vom erkennenden Subjekt gelten.
- Jede Aussage muss sich durch geeignete Experimente beweisen oder widerlegen lassen.
- Jedes Problem kann vollständig in seine Bestandteile zerlegt werden.
- Die unnötige Verdopplung von Entitäten ist zu vermeiden. Die einfachste Beschreibung eines Sachverhaltes ist auch die zutreffende.

Karen Gloy liefert folgende Definition:

Das mechanistische Paradigma läßt sich durch vier Merkmale charakterisieren, von denen drei theoretischer Art sind und eines ethischer: *erstens* durch die Subjekt-Objekt-Spaltung, *zweitens* durch die Mechanizität, *drittens* durch das Experiment und *viertens* durch das Herrschafts-Knechtschaftsverhältnis.

([Glo96], S.99)

Neben den wissenschaftlichen Bedingungen wird hier eine weitere, soziale Komponente ins Spiel gebracht. Da die Zeit, in der die mechanistischen Wissenschaften entstanden, von hierarchischen Abhängigkeitsverhältnissen gekennzeichnet war, fanden diese auch Eingang in das wissenschaftliche Weltbild, das damit geeignet war, den *status quo*, das Gesellschaftssystem mit allen seinen Ungerechtigkeiten wissenschaftlich zu legitimieren. Im Zeichen dieser Zeit ist auch der starre Determinismus zu sehen, der keine Eigenverantwortung und kein freies Handeln des Individuums erlaubt.

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war dieses Weltbild von großen Erfolgen auf den Gebieten der Einzelwissenschaften begleitet, und für ein Infragestellen des mechanistischen Paradigmas bestand kein praktischer Grund.

Kapitel 3

Die Überwindung des Mechanizismus

Die Forderung nach einer „neuen Physik“ ergab sich nicht allein aus Schwierigkeiten auf dem Gebiet der Physik selbst, sondern vor Allem aus den Problemen in den Grenzbereichen zwischen verschiedenen Einzelwissenschaften. Beobachtet man etwa ein organisches System, das ja zweifellos auch ein physikalisches darstellt, so zeigen sich neue Qualitäten, welche nicht vollständig auf die physikalischen Systemeigenschaften reduziert werden können. Im Folgenden sei kurz dargestellt, welche Probleme das mechanistische Denken in Mathematik und Logik, Physik und Biologie verursachte und wie Systemtheorie, Kybernetik und Selbstorganisationstheorie als Antwort darauf entstanden sind.

Auffällig ist, dass Wissenschaftler aus verschiedensten Fachbereichen (Physik, Biologie, Kommunikationswissenschaft, Psychologie) ähnliche Ansätze zur Grundlegung einer neuen nicht-mechanistischen Wissenschaft erarbeitet haben. In diesem Kapitel wird versucht, einige solche Ansätze darzustellen, wobei eine durchgehende chronologische Schilderung nicht möglich ist, da sich die verschiedenen Strömungen teilweise parallel entwickelt haben.

3.1 Die Krise in Mathematik und Logik

3.1.1 Das Hilbertsche Programm

Im Jahre 1902 stellte der britische Logiker und Philosoph *Bertrand Russell* sein berühmtes Paradoxon vor. Er thematisierte die zahlentheoretische Fragestellung, wie die Menge aller normalen Mengen beschaffen sei. ([Pen91], S.98ff) Eine normale Menge ist definiert als Menge, die kein Element von sich selbst darstellt (nicht selbstreferenziell). Nun ergeben sich für diese Menge aller normalen Mengen zwei Möglichkeiten:

- *Sie ist normal.* Dann folgt aus der Definition, dass sie sich selbst enthalten muss, weil sie ja die Menge aller normalen Mengen darstellt. Damit kann sie aber nicht normal sein.
- *Sie ist nicht normal.* Dann folgt aus der Definition, dass sie sich selbst nicht enthalten kann, also normal sein muss.

Dies stellt die klassische Form eines Paradoxons dar, wie sie etwa im Satz „Alle Kreter sind Lügner“ (Epimenides der Kreter) oder im Satz „Dieser Satz ist falsch“ vorkommt.

Der Nachweis der Existenz solcher Selbstwidersprüche innerhalb der reinen Mathematik erschütterte weltweit die Wissenschaftler. Es handelt sich nicht um einen konstruierten Spezialfall, sondern um eine große Klasse von Paradoxa, die sich aufgrund der Zahlendefinition von Frege über weite Bereiche der Zahlentheorie erstreckt. Der große Mathematiker *David Hilbert* versuchte nun, solche Widersprüchlichkeiten zu vermeiden, indem er mit seinen *Grundlagen der Geometrie* ein umfassendes System entwickelte, das als *Hilbertsches Programm* bekannt wurde.

Es sollte für jedes mathematische Spezialgebiet alle korrekten mathematischen Argumentationstypen enthalten. Überdies wollte Hilbert die Möglichkeit schaffen, zu beweisen, daß das System frei von Widersprüchen sei. Dann wäre die Mathematik ein für alle Mal auf ein unangreifbar sicheres Fundament gestellt worden.

([Pen91], S.98)

Im Jahre 1931 brachte der damals 25-jährige *Kurt Gödel* Hilberts Gedankengebäude endgültig zum Einsturz.

3.1.2 Kurt Gödel

Indem er das Verfahren der Gödel-Numerierung entwickelte, wodurch Aussagen über Zahlen als Zahlen codiert werden konnten (also auch selbstreferentielle Aussagen wie „Dieser Satz ist falsch.“), zeigte er, dass kein hinreichend komplexes formales System zugleich vollständig und widerspruchsfrei sein kann. Im Besonderen sagt dieser Unvollständigkeitssatz auch aus, dass es unmöglich ist, innerhalb eines solchen formalen System die eigene Widerspruchsfreiheit zu beweisen.

Jedes formale System beinhaltet Aussagen, die innerhalb des Systems nicht bewiesen, doch von einem Meta-System aus als wahr erkannt werden können. Erweitert man nun das ursprüngliche System so, dass es diese neuen Aussagen miteinbezieht, entsteht wieder eine neue Klasse von „Gödel-Aussagen“, und so weiter *ad infinitum*.

Damit wurden zum ersten Mal die Grenzen der formalen Logik deutlich. Das Hilbertsche Programm war endgültig gescheitert, und unser Bild der exakten Wissenschaften veränderte sich nachhaltig.

3.1.3 Alan Turing

Der brillante englische Wissenschaftler *Alan Turing* (1912-1954) war im Zweiten Weltkrieg maßgeblich an der Entschlüsselung des deutschen Enigma-Codes beteiligt. Außerdem war er derjenige, der das Konzept einer vollautomatischen Rechenmaschine (ACE, *Automatic Computing Engine*) entwickelte, eines Automaten, der alle algorithmisch lösbaren Aufgaben berechnen könnte.

Turing verwendete die einfachste Konzeption eines solchen universellen Automaten und konnte nun zeigen, dass es kein Kriterium gibt, das bei gegebenem Algorithmus und gegebenen Eingabedaten einen Rückschluss darauf erlaubt, ob der Algorithmus terminiert, d.h. ob die Maschine mit einem Resultat halten wird, oder nicht. Algorithmen mit ungewissen Terminierungseigenschaften sind jedoch praktisch nutzlos, da nicht sicher ist, ob sie in endlicher Zeit ein Ergebnis produzieren werden oder nicht [Hof79].



Abbildung 3.1: Kurt Gödel (links) und Albert Einstein

Gewisse Resultate sind Ergebnisse eines terminierenden Algorithmus, sie sind *Turing-berechenbar*. Andere Resultate sind das nicht. Diese entsprechen den „Löchern“ in einem formalen System, welche die nach Gödel unbeweisbaren Aussagen hinterlassen.¹

Interessant für den weiteren Verlauf dieser Schrift ist, dass hier von Gödel und Turing erstmals Unzulänglichkeiten in der reinen Logik und Mathematik, welche ja spätestens seit Newton die allgemeinsten Grundlagen der mechanistischen Naturwissenschaften bildeten, gezeigt werden konnten. Damit kann der logische Reduktionismus alleine nicht als ausreichend angesehen werden, um die Welt adäquat zu beschreiben.

¹Andere Wissenschaftler entwickelten äquivalente Modelle, so z.B. das Lambda-Kalkül von Church. Die *Church-Turing-These* sagt aus, dass jede (im intuitiven Sinn) berechenbare Funktion auch Turing-berechenbar ist, oder anders ausgedrückt, dass jedem denkbaren Algorithmus eine Turing-Maschine entspricht.

3.2 Thermodynamik geschlossener Systeme

Die Geschichte der *Systemtheorie* beginnt mit der statistischen Physik bzw. der Thermodynamik. Diese von *Ludwig Boltzmann* ins Leben gerufene Disziplin beschäftigt sich mit dem Zusammenhang von lokalen Gesetzmäßigkeiten (Mikro-Ebene) und globalen (Makro-Ebene).

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik sagt aus, dass in einem geschlossenen System die Summe der Energie immer gleich bleibt. Der zweite Hauptsatz beschreibt die zeitliche Entwicklung der makroskopischen Größe Entropie (S), welche sich in einem abgeschlossenen System nur vergrößern oder konstant halten kann. In einem geschlossenen System ist also die Zunahme von Ordnung, wie wir sie in unserer Umgebung wahrnehmen, wenn nicht unmöglich, so doch allzu unwahrscheinlich.

Boltzmann versuchte, die makroskopische Größe S auf die mikroskopischen Vorgänge zurückzuführen: $S = k \log W$ bzw.

$$S = -k \sum_{i=1}^n w_i \log w_i$$

Hier steht W für die statistisch bestimmte Wahrscheinlichkeit, dass sich das System in einem bestimmten makroskopischen Zustand befindet. Die Zahl k ist die Boltzmannkonstante. Je größer die Zahl der Realisierungsmöglichkeiten, welche bei mikroskopischer Betrachtung demselben Zustand des makroskopischen Systems entsprechen, desto näher kommt W an 1 heran. Aufgrund der Eigenschaften des Logarithmus weisen sowohl $W=0$ (also Zustände, die nie auftreten) als auch $W=1$ (Zustände, die immer auftreten) eine Entropie gleich 0 auf. Die Entropie ist also ein Maß für die Unsicherheit über den zu erwartenden Zustand des betrachteten Systems, oder auch für dessen innere Ungeordnetheit.

Interessant ist, dass hier erstmals ein Qualitätssprung zwischen Mikro- und Makroebene beschrieben wird. Die makroskopischen Eigenschaften wie Temperatur, Druck, Entropie sind nicht auf die mikroskopischen Zustände der beteiligten Teilchen reduzierbar. Auf der Ebene der Teilchen gibt es keine Entropie. Hier spielt die Zeitrichtung keine Rolle, da die Trajektorien nicht zwischen Vergangenheit und Zukunft unterscheiden. Doch die Eigenschaft S auf der Makro-Ebene erfährt mit fortschreitender Zeit ein irreversibles Wachstum.

Ilya Prigogine benutzte deshalb die Entropie, um das Konzept des *Zeitpfeils* zu ent-

werfen. Zeit sei demnach keine physikalische Größe, sondern der Übergang von unwahrscheinlicheren zu wahrscheinlicheren Systemzuständen. Da die Gesamtentropie des Universums stets zunimmt, beobachten wir ein Vergehen der Zeit in eine Richtung [Pri79].

3.3 Der nachrichtentechnische Informationsbegriff

Im Jahre 1948, also zur gleichen Zeit, als Kybernetik und allgemeine Systemtheorie formuliert wurden, veröffentlichten *Claude E. Shannon* und *Warren Weaver* ihre „Mathematical Theory of Communication“. Es handelt sich hierbei um ein mathematisches Modell zur Beschreibung von technischer Nachrichtenübermittlung, wie sie zum Beispiel beim Telegraphen oder Telefon Anwendung fand. Dazu definieren sie ein Kommunikationssystem folgendermaßen:

It consists essentially of five parts: 1. An *information source* which produces a message or sequence of messages to be communicated to the receiving terminal. [...] 2. A *transmitter* which operates on the message in some way to produce a signal suitable for transmission over the channel. [...] 3. The *channel* is merely the medium used to transmit the signal from transmitter to receiver. [...] During transmission, or at one of the terminals, the signal may be perturbed by noise. [...] 4. The *receiver* ordinarily performs the inverse operation of that done by the transmitter, reconstructing the message from the signal. 5. The *destination* is the person (or thing) for whom the message is intended.

([SW63], S.33f)

Ontologische Basis dieses Zugangs ist ein naiver Realismus. Information wird als externes Faktum angesehen, das sich im Besitz des Absenders (source) befindet. Nachdem sie so codiert wurde, dass es über den Kanal übertragen werden kann, trifft sie beim Empfänger ein, der sie decodiert und nun selbst im Besitz der vollständigen Information ist. Störungen in der Kommunikation können nur von inadäquater Codierung/Decodierung oder vom Rauschen (noise) im Kanal herrühren. Dieses Informationskonzept erinnert an die Vorstellung der Atomisten, die Dinge würden kleine Abbilder ihrer selbst (εἰδολα) aussenden, wodurch ihre Erkenntnis durch das menschliche Auge, auf das sie treffen, ermöglicht würde. Dieser Realismus wurde

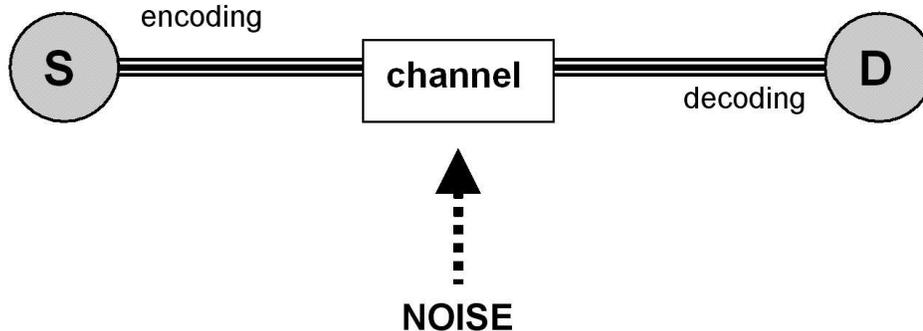


Abbildung 3.2: Das Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver

vom Konstruktivismus vernichtend kritisiert. Ich werde in Kapitel 5 einen dritten Ansatz jenseits von Realismus und Konstruktivismus zur Beschreibung von Interaktion und Kommunikation vorstellen.

Shannon und Weaver suchen auch nach einer Möglichkeit, Information zu quantifizieren. Je „überraschender“ die empfangene Nachricht für den Empfänger ist, desto mehr Information soll sie enthalten. Dabei stoßen sie auf die allgemeine Formel:

$$H = -K \sum p_i \cdot \log p_i$$

K ist eine Konstante, p_i steht für die Auftrittswahrscheinlichkeit des Zeichens an der i -ten Stelle der Nachricht. Verwendet man für \log den *Logarithmus Dualis*, also den Logarithmus zur Basis 2, und setzt $K = 1$, so liegt der Informationsgehalt H in der Einheit *Binary Digit* oder kurz *bit* vor.

Interessanterweise entspricht dieser Ausdruck genau der Boltzmannschen Formel zur Berechnung der Entropie eines geschlossenen Systems. Nun stellt sich die Frage, wie Entropie, also Unordnung, gleich Information sein kann. *Peter Fleissner* und *Wolfgang Hofkirchner* weisen darauf hin, dass der thermodynamische Entropiebegriff oft unreflektiert in andere Wissenschaften, so z.B. in die Informationstheorie, übernommen wurde:

By Boltzmann's correct step to link the energy oriented measure of entropy to an energy-structural measure of micro states many epigones app-

lied the entropy concept to other dimensions of reality without any further look whether linking the two aspects in the new field of application remains correct as well. Order of any material structure on the macroscopic level was more and more identified with negentropy, and its connexion to available energy was taken for granted. [...] The order produced (falsely identified with low thermodynamic entropy) does not give rise to any amount of free energy. The same holds for the familiar Shannon-entropy. There is no longer any connection to thermodynamics, but merely pure structures of signals, devoid of any material basis.

[FH97]

So sind nach Fleissner und Hofkirchner dem thermodynamischen und dem nachrichtentechnischen Entropiebegriff allenfalls der Name und die Formel gemeinsam, sie haben jedoch grundsätzlich verschiedene Bedeutung, da der Bezug zwischen Mikro- und Makroebene ein anderer ist. Das Verhältnis der auftretenden Zeichen (Mikroebene) zum Informationsgehalt (Makroebene) kann nicht mit dem Verhältnis der Gasteilchen zur thermodynamischen Entropie des Gesamtsystems gleichgesetzt werden, da im Entropiebegriff von Shannon kein Bezug zu Materie und Energie enthalten ist.

Seit den 1940er-Jahren beschäftigten sich Wissenschaftler der unterschiedlichsten Disziplinen nun mit dem scheinbaren Widerspruch zwischen dem zweitem Hauptsatz der Thermodynamik und der Entstehung von Ordnung. Einer der Pioniere auf diesem Gebiet war *Erwin Schrödinger*.

3.4 Was ist Leben?

1944 erschien Schrödingers Buch „Was ist Leben?“, in dem er eben diese Frage stellt. Er kommt zu der Ansicht, dass die klassische Physik keine befriedigende Antwort zu bieten hat. In Anlehnung an *Albert Einstein* („One can best feel in dealing with living things how primitive physics still is“ [Cla72]) erbt Schrödinger die Forderung nach einer „neuen Physik“.

Den Ausgangspunkt bildet die Frage nach den Trägern der Erbsubstanz, der Gene (die Struktur der DNS war zum damaligen Zeitpunkt noch nicht bekannt). Dabei fördert er folgendes Paradoxon zu Tage:

- Atome sind (gemessen an menschlichen Maßstäben) sehr klein.
- Das Funktionieren eines Organismus verlangt exakte physikalische Gesetze.
- Physikalische Gesetze beruhen auf Atomstatistik, sind daher nur näherungsweise genau.
- Ihre Genauigkeit beruht auf der großen Zahl der beteiligten Atome.
- Nur hinreichend große Ansammlungen von Atomen bieten genug Stabilität zur Resistenz gegen die thermische Bewegung.
- Gene behalten jedoch ihre Struktur i.a. über unzählige Generationen bei, sind also höchst resistent.
- Dennoch besteht ein Gen nur aus wenigen (ca. 1000) Atomen.

Um dieses Paradoxon aufzulösen, führt Schrödinger ein neues Paradigma ein: „Ordnung aus Ordnung“. Thermodynamisch betrachtet sind geordnete Strukturen extrem unwahrscheinliche und zufällige Zustände, Inseln der Ordnung in einem chaotischen Universum. Erwin Schrödinger löst das Problem der Aufrechterhaltung von stationären Zuständen durch die Beschreibung der negativen Entropie (*Negentropie*), die den Grad der Ordnung eines Systems bezeichnet. Lebende Systeme können ihre Homöostase aufrecht erhalten, indem sie negative Entropie aus ihrer Umwelt importieren und innere Entropie nach außen abgeben. Für Pflanzen stellt das Sonnenlicht eine hochwertige Negentropiequelle dar, für Tiere die hochgeordneten Moleküle (z.B. Zucker), die sie aufnehmen. In beiden Fällen ist die abgegebene Wärmeenergie niederwertiger als die importierte hochwertige Energie. Die Entropiedifferenz entspricht dem Maß der Ordnung, die durch diesen Prozess im Organismus entstanden ist.

Damit bereitet „Was ist Leben?“ einen Brückenschlag zwischen Thermodynamik und Informationstheorie vor und stellt so einen wichtigen Grundstein der modernen Selbstorganisationstheorien dar.

Der Biophysiker *Robert Rosen* verfolgt einen eher mathematisch-logischen Ansatz. In Analogie zum Theorem von *Gödel* geht er davon aus, dass eine Beschreibung des Lebens auf jeden Fall das formale System der zeitgenössischen Physik sprengt:

[...] an explicit set of conditions that formally demarcate those material systems that are organisms from those that are not. [...] No such list

means that there is no algorithm, no decision procedure, whereby we can find organisms in a presumably larger universe of inorganic systems. [...] This possibility is already a kind of noncomputability assertion, one that asserts that the world of lists and algorithms is too small to deal with the problem, too nongeneric.

([Ros00], S.2f)

Die klassische Herangehensweise an das Phänomen Leben wäre also, ein organisches System als ein materielles System plus einer Liste zusätzlicher Attribute (*differentiae specifica*), welche die Unterscheidung zwischen Leben und Nicht-Leben ermöglichte, zu betrachten. Wenn sich eine solche Liste nicht aufstellen lässt, wovon Rosen ausgeht, so widersetzt sich das Phänomen Leben jedem Versuch einer vollständigen formalen Beschreibung.

Die Verfechter der orthodoxen Position wie etwa *Jacques Monod*, mussten annehmen, das Leben sei ein extrem unwahrscheinlicher und seltener Spezialfall in der Klasse der physikalischen Systeme.

Biology is marginal because – the living world constituting but a tiny and very „special“ part of the universe – it does not seem likely that the studies of living things will ever uncover general laws applicable outside the biosphere.

[Mon71]

Im Gegensatz dazu nahm Rosen an, dass die Betrachtung des Lebens durchaus zu der Konstituierung einer neuen Physik beitragen könnte, wobei nun die klassischen physikalischen Systeme genau so wie die lebenden Systeme Spezialfälle einer neuen, umfassenderen Klasse von Systemen darstellen würden.²

²Analog dazu, wie die Untersuchung von speziellen Problemen der Zahlentheorie zu der Erkenntnis führte, dass die rationalen Zahlen bloß als Spezialfall der unendlich größeren Klasse der reellen Zahlen zu sehen sind. Nicht zu vergessen, dass auch die Erweiterung der klassischen Mechanik zur Quantenphysik und zur Physik der Relativität aus experimentellen Untersuchungen von „Spezialfällen“ (UV-Katastrophe, Doppelspaltexperiment, Michelson-Versuch, ...) resultieren. Die Untersuchung von vermeintlichen Spezialfällen kann also durchaus die Entwicklung neuer, allgemeinerer Theorien notwendig machen.

3.5 Kybernetik

1948 begründete *Norbert Wiener* die Kybernetik als Theorie der Regelung und Kommunikation bei Tier und Mensch.

Ausgangspunkt für die Betrachtungen von Wiener sind die Analogien von Sinnesorganen und künstlichen Sensoren, von Muskelzellen und Effektoren im Rahmen eines Mechanizismus, der sich nun nicht mehr auf lineare Kausalität beschränkt, sondern *Rückkoppelung* miteinbezieht:

The organs by which impressions are received are the equivalents of the human and animal sense organs. They comprise photoelectric cells and other receptors for light, radar systems, receiving their own short Hertzian waves; hydrogen-ion-potential recorders, which may be said to taste; thermometers; pressure gauges of various sorts; microphones; and so on. The effectors may be electrical motors or solenoids or heating coils or other instruments of very diverse sorts. Between the receptor or sense organ and the effector stands an intermediate set of elements, whose function is to recombine the incoming impressions into such form as to produce a desired type of response in the effectors. [...] The machines of which we are now speaking are not the dream of the sensationalist nor the hope of some future time. They already exist as thermostats, automatic gyrocompass ship-steering systems, self-propelled missiles [...] and the like.

([Wie61], S.42f)

Durch die Maschinen-Analogie, die er verwendet, entwickelt Wiener eine formale Darstellung von rückgekoppelten Systemen, die von den stattfindenden Energie- und Materieflüssen abstrahiert, wie *John Mingers* feststellt:

The central underlying idea was that thinking – cognition – could be explored and explained on the basis of mechanisms, logic, and mathematics. In other words, the brain could be regarded as a machine that worked on logic and that, ultimately, the mechanism of mind was separable from its biological substratum and could be realized in other media.

([Min95], S.190)

Obwohl Wiener Mathematiker war, ließ sich das Modell eines selbstregulierenden Systems in weiten Bereichen von Physik, Technik, Biologie, Psychologie und Soziologie erfolgreich verwenden. Das System reguliert – in Abhängigkeit vom Input – seinen Output an die Umwelt. Ein kybernetisches System erster Ordnung ist also ein Regelkreis, eine Feedbackschleife, welche die Aufgabe erfüllt, eine Homöostase aufrecht zu erhalten (z.B. Heizung mit Thermostat; Zweck ist die Konstanthaltung der Raumtemperatur).

Durch ihre formal-logische Formulierung erscheint seine Kybernetik zu schwach, um komplexe nichtlineare Systeme zu beschreiben. Im Prinzip ist auch die Kybernetik erster Ordnung mechanistisch, da von einer exakten mathematisch-logischen Darstellbarkeit der Systeme ausgegangen wird, also wieder auf das „zu kleine Universum“ der formalen Systeme zurückgegriffen wird, wie Rosen es kritisiert. Die Kybernetik stellt zwar einen Fortschritt gegenüber der linearen Kausalität der klassischen Theorien dar, kommt jedoch nicht über die Zirkularität hinaus. In kybernetischen Systemen erster Ordnung können keine Differenzierungs- bzw. Selbstorganisationsprozesse stattfinden, weil diese die Einfuhr von Energie und Materie erfordern ([Ber70], S.121), was von Wiener nicht berücksichtigt wird.

Heinz von Foerster erweiterte schließlich die Ideen Wieners, um komplexe Interaktionen zwischen System und Umwelt darstellen zu können. Von Foerster bezieht sich auf das Nervensystem eines Lebewesens, das so organisiert sein muss, dass es eine stabile Realität errechnet ([Foe85]). Mit „Realität“, ist hier die innere Realität des Nervensystems gemeint, die jedoch bei der Untersuchung der Selbstreferenz des Systems eliminiert wird. Diese Reduktion führt mathematisch ausgedrückt zu einer rekursiven Funktion. Da Foerster für das Nervensystem Stabilität fordert, sollte sich die Rekursion irgendwann auf einen Fixwert (Attraktor) einpendeln. Dieser Fixwert wird mit dem mathematischen Begriff *Eigenwert* bezeichnet. In dieser rekursiven Berechnung geht die Umwelt immer als Störung mit ein, so dass das System nur stabil werden kann, indem es seine innere Struktur an die Störungen der Umwelt anpasst. Information existiert für Foerster nur innerhalb eines Systems; in der Umwelt ist sie nicht definiert.

Seine Theorie nennt Foerster auch *Kybernetik zweiter Ordnung*, da sie von der Beobachtung der Beobachtung handelt. Die Beobachtung erster Ordnung kann sich niemals selbst beobachten, ist also ihr eigener blinder Fleck. Erst durch die rekursive Anwendung von Beobachtungen ist die Entstehung einer Systemrealität möglich. Damit ist Foerster zu den Begründern des Konstruktivismus (vgl. Kapitel 3.7) zu

zählen.

3.6 Allgemeine Systemtheorie

Als entschiedener Kritiker des mechanistischen Weltbildes versucht *Karl Ludwig von Bertalanffy* (1901-1972) ein Gegenprogramm zu postulieren, welches er als „organismisches Weltbild“ bezeichnet. Obgleich Bertalanffy als Biologe sein Hauptaugenmerk auf biotische Systeme (Organismen) richtet, sucht er nach Erkenntnissen, die sich auf allgemeinere Klassen von Systemen ausdehnen lassen.

Bertalanffys neues Paradigma unterscheidet sich vor allem in folgenden drei Punkten von dem klassisch-naturwissenschaftlichen Standpunkt ([Ber70], S.14):

- *Holistisch statt reduktionistisch*: Betrachtung des lebenden Systems als ein Ganzes im Gegensatz zur bis dato üblichen bloß analytischen und summativen Methodik. Es wird primär versucht, das System als ein Ganzes zu betrachten und zu begreifen. Eine bloße Reduktion auf die Einzelteile führt zu keiner neuen Erkenntnis über das System als solches.
- *Dynamisch statt statisch*: Ein System ist nicht nur eine Menge von Objekten und deren Beziehungen zueinander, sondern es ist auch ein kontinuierlicher Prozess, welcher sich auf sich selbst bezieht (selbstreferenziell).
- *Innere Ziele statt äußere Vorgaben*: Das System (zumindest insofern es ein lebendes System ist) reagiert nicht bloß auf seine Umwelt (Environmentalismus), sondern es wird aus sich selbst heraus aktiv. Es ist bestrebt, seine eigene Organisation und seine Grenze zur Umwelt auch bei geänderten Umweltbedingungen aufrecht zu erhalten.

Jegliche Weiterentwicklung erfolgt nach Bertalanffy im Rahmen eines existenten Indeterminismus, der nicht approximativ in einen Determinismus übergeführt werden kann (Freiheit).

Die *Allgemeine Systemlehre* wurde von Bertalanffy ins Leben gerufen und baut auf den Vorstellungen des sächsischen Naturphilosophen *Gustav Theodor Fechner* (1801-1887) auf. Es handelt sich dabei um eine Disziplin, die sich mit den allgemeinen

Eigenschaften und Gesetzen von Systemen beschäftigt, also um eine Ontologie, welche eine Grundlage für alle Einzelwissenschaften bilden sollte.

Neu war der Gedanke, die Welt nicht als Ansammlung ihrer Einzelteile, sondern als Organisation anzusehen. Nach Ludwig von Bertalanffy ist schon das Atom eine Organisation, wobei hier die Bohrschen Quantenbedingungen als Organisationsbedingungen wirken. In größerem Maßstab, bei den Molekülen, treten neue Bedingungen hinzu, so zum Beispiel die Gitterkräfte bei der Kristallisation. Schließen sich Moleküle zu Makromolekülen zusammen, wie es etwa bei den Grundbausteinen des Lebens der Fall ist, wirken zusätzlich die Van-der-Waalsschen Kräfte als neue Organisationsbedingungen, usw.

Bertalanffy wird oft als Vertreter der Kybernetik höherer Ordnung eingestuft. Tatsächlich entwickelte er seine Ideen zeitgleich mit Heinz von Foerster, auf den er sich auch in seinen späteren Werken bezieht [Ber70]. Nach seiner Auffassung ist die Kybernetik höherer Ordnung im Gegensatz zu der erster Ordnung geeignet, komplexe dynamische Wechselwirkungen zwischen mehreren Subsystemen zu beschreiben, die zu Differenzierungs- und Ordnungsprozessen im System führen können.

Im Mittelpunkt von Bertalanffys Werk steht der Begriff des offenen Systems. Die klassische Thermodynamik beschäftigt sich ausschließlich mit dem idealen Konzept eines geschlossenen Systems. Daher rührt der scheinbare Widerspruch zwischen dem zweiten Hauptsatz und der Zunahme an Ordnung, die wir in unserer Umgebung erleben. Nach Bertalanffy ist die Entropieabnahme in einem offenen System sehr wohl mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik vereinbar. Es ist nur zu berücksichtigen, dass das offene System hochwertige Energie importieren und minderwertige dissipieren kann. Dadurch ist es in der Lage, innere Entropie zu exportieren und so den Grad seiner Organisation aufrecht zu erhalten oder zu vergrößern.³

Ein offenes System kann sich im zeitunabhängigen Zustand des „Fließgleichgewichtes“ (*flow equilibrium*) entwickeln; dann ist die Entwicklung unabhängig von den Anfangsbedingungen. Ein Fließgleichgewicht ist ein Zustand, der fern vom thermodynamischen Gleichgewicht durch Entropieexport aufrechterhalten werden kann. Andere Ausdrücke dafür wären *stationärer Zustand*, *relatives Gleichgewicht*, *steady state* oder *Homöostase*.

³Diesen Sachverhalt beschrieb Bertalanffy zur gleichen Zeit, als Schrödingers Buch „Was ist Leben?“ erschien, das sehr ähnliche Ideen enthält

In geschlossenen Systemen ist das Gleichgewicht definiert als ein Zustand maximaler Entropie (diesem Zustand entspricht die größte Wahrscheinlichkeit). Für ein offenes System ist laut Bertalanffy dieses Gleichgewicht noch zu definieren ([Ber70], S.134). Den Vorschlag von Ilya Prigogine, es als Zustand minimaler Entropieproduktion zu definieren, hält er für unzureichend. Er hofft, dass diese Problem gelöst wird, sobald es zu einer „weiteren Verallgemeinerung und Vereinheitlichung der Thermodynamik, Informationstheorie und Molekulargenetik“ ([Ber70], S.139) kommt.⁴

Auf der Ebene der Biologie übt sich Bertalanffy, wie auch die meisten seiner Nachfolger, in Darwinismus-Kritik. Nach der strikt darwinistischen Sichtweise wäre die Evolution lediglich „one damned thing after the other“, ein sinnloser und zufälliger Ablauf, erzählt von „McBeths kosmischem Idioten“ ([Ber70], S.101) – also die Vorstellung, dass Ordnung im Universum nur zufällig zustande kommt.

Aber die Gedanken Bertalanffys enden nicht auf der Ebene der Biologie. Vor allem in den späten Jahren seines Schaffens stellt er Menschen und Gesellschaft in den Mittelpunkt seines Interesses. Er übt leidenschaftliche Kritik an der „Roboter-Psychologie“ des Behaviorismus: Es würden bei der behavioristischen Versuchspraxis genau jene Effekte gemessen, die wirklich deterministisch ablaufen – bei Ratten wie bei Menschen ([Ber70], S. 210). Weder Mensch noch Skinner-Ratte sind jedoch deterministische Automaten. Bei dieser Form der Psychologie handelt es sich um eine Projektion des von der Automatisierung geprägten Zeitgeistes jener Zeit auf die menschliche Ebene (Paradigma: alles ist eine Maschine).

Alternativ dazu propagiert Bertalanffy ein neues Menschenbild. Wie dieses aussehen soll, wird von Bertalanffy folgendermaßen charakterisiert: „Ganzheitlich, von allen Wissenschaften getragen. Schlüsselbegriffe: Symbolismus und System“ ([Ber70], S.37).

3.7 Konstruktivismus

Seit Parmenides sind immer wieder Zweifel angemeldet worden, ob die Welt vom Subjekt überhaupt erkannt werden kann. Außer Frage schien es damals, dass es eine „objektive“ Wirklichkeit gibt, die wir mittels unserer Sinne – wenn auch nur unvoll-

⁴Es stellt sich die Frage, ob die rasante Entwicklung der letzten Jahre in den oben genannten Disziplinen die Grundlage für diese Vereinheitlichung bereits hervorgebracht hat. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werde ich einige Ansätze zu dieser Vereinheitlichung skizzieren.

kommen – erfassen können. In der Kritik der reinen Vernunft hat Kant diese Vorstellung relativiert, indem er Raum und Zeit als Ordnungskategorien der menschlichen Erfahrung auffaßte, sie also aus dem Bereich der absoluten Wirklichkeit in den der *Phänomenologie* rückte. Dies hat der Physiker *Hermann von Helmholtz* gegen Ende des 19. Jahrhunderts zum Ausgangspunkt seiner erkenntnistheoretischen Überlegungen gemacht. Für ihn sind Raum und Zeit (anknüpfend an Hume und Kant) keine Gegebenheiten einer objektiven Welt, sondern unvermeidliche Begriffswerkzeuge unserer Vernunft. Daraus hat *Ernst von Glasersfeld* folgende Konsequenz gezogen:

Wenn Zeit und Raum aber Koordinaten oder Ordnungsprinzipien unseres Erlebens sind, dann können wir uns Dinge jenseits der Erlebenswelt überhaupt nicht vorstellen, denn Form, Struktur, Ablauf von Vorgängen oder Anordnungen irgendwelcher Art sind ohne dieses Koordinatensystem im wahrsten Sinn des Wortes undenkbar.

([Wat91], S.23)

Diese Betrachtungsweise stellt die Möglichkeit menschlicher Erkenntnis von vornherein in Frage. Für Heinz von Foerster gilt: „Die Umwelt, so wie wir sie wahrnehmen, ist unsere Erfindung“ ([Wat03], S.40). Die Begründung dieser Behauptung besteht darin, dass im Konstruktivismus alles Wissen über die Umwelt in Form von Sinnesdaten vorliegt, eine Annahme, die auch dem Neopositivismus des Wiener Kreises zugrunde liegt. Nun entstehen Sinnesdaten durch Perzeptoren, die durch Reize stimuliert werden und elektrochemische Erregungsmuster erzeugen, welche über das Nervensystem weitergeleitet und verarbeitet werden. Von Foerster argumentiert, dass die Erregungsmuster nichts über die Qualität des auslösenden Reizes aussagen. Erkennen definiert er als „Errechnen einer Wirklichkeit“ (vgl. Kapitel 3.5). Durch Reduktion gelangt er zur rekursiven Definition von Erkennen als „Errechnung einer (Errechnung einer (Errechnung einer (...)))“ – also hört die objektive Wirklichkeit auf zu existieren, und nur durch die selbstreferenzielle Anwendung der Berechnung entsteht für das System Realität.

Die chilenischen Biologen *Humberto R. Maturana* und *Francisco J. Varela* unterstützen diese Sichtweise durch ihre erkenntnisbiologischen Forschungen. Kernaussage ist auch hier, dass es unsinnig ist, von einer objektiven Wirklichkeit zu sprechen. Wirklichkeit entsteht nur durch Beobachtung, und beobachten bedeutet handeln ([MV87], S.32):

- Jedes Tun ist Erkennen, und jedes Erkennen ist Tun.

- Alles Gesagte ist von jemandem gesagt.

Maturana und Varela entwickelten auch das Konzept der *Autopoiese* (ebenda, S.55f), das die spezielle Fähigkeit aller lebenden Systeme beschreibt, sich selbst zu reproduzieren. Ein autopoietisches System zeichnet sich vor allem durch drei Eigenschaften aus:

- *Selbstreferentialität*: Die eigenen Zustände werden nur intern gesteuert, sind also nicht fremdbestimmt.
- *Operative Geschlossenheit*: Das System nimmt nur eigene Zustandsveränderungen wahr, ein Reiz von außen kann nur Selbstveränderung initiieren, die dann wahrgenommen wird.
- *Strukturelle Kopplung zur Umwelt*: Das System wählt seine Außenkontakte selbst aus.

Indem auch das menschliche Nervensystem als autopoietisches System beschrieben wird, stützt dieses Konzept den erkenntnistheoretischen Konstruktivismus: das System hat keinen Zugang zur Außenwelt, sondern nur zu seinen internen Strukturen, die bereits Produkte der Kopplung zur Umwelt sind.

Gegen den Konstruktivismus wurde der Vorwurf erhoben, er führe letzten Endes zum *Solipsismus*⁵. Maturana argumentierte dagegen:

Als lebende Systeme existieren wir in vollständiger Einsamkeit innerhalb der Grenzen unserer individuellen Autopoiese. Nur dadurch, daß wir mit anderen durch konsensuelle Bereiche Welten schaffen, schaffen wir uns eine Existenz, die diese unsere fundamentale Einsamkeit übersteigt, ohne sie jedoch aufheben zu können. [...] Wir können uns nicht sehen, wenn wir uns nicht in unseren Interaktionen mit anderen sehen lernen und dadurch, daß wir die anderen als Spiegelungen unserer selbst sehen, auch uns selbst als Spiegelung des anderen sehen.

([Sch87], S.117)

⁵Nur das Ich enthält in seinem Bewusstsein die objektive Realität. Die Außenwelt existiert nur in meiner Vorstellung.

Dies bedeutet also, dass es verschiedene Systeme gibt, die sich ineinander spiegeln. Denkt man nun an das größte System, innerhalb dessen alle anderen Systeme interagieren (vielleicht nicht als reales System, sondern als regulatives Prinzip der reinen Vernunft wie bei Kant), sind wir wiederum bei der *Welt* oder der *objektiven Wirklichkeit* angelangt. Eine konstruktivistische Sichtweise, die eine real stattfindende Interaktion zwischen den Systemen eingesteht, kann also nicht mehr radikal konstruktivistisch sein.

Eine andere Verteidigung gegen den Solipsismusvorwurf stammt von von Foerster und wird in Form des Gleichnisses vom Herrn mit der Melone dargebracht:

Er behauptet, die einzige Realität zu verkörpern, und alles übrige existiere nur in seiner Vorstellung. Er kann indessen nicht leugnen, daß seine Vorstellungswelt von Geistergestalten bewohnt ist, die ihm nicht unähnlich sind. Folglich muß er einräumen, daß diese Wesen ihrerseits darauf bestehen können, sich als einzige Realität, alles sonst aber als Produkt ihrer Einbildung zu betrachten. Auch ihre Vorstellungswelt wäre dann von Geistergestalten bevölkert, darunter von ihm, dem Herrn mit der Melone. Gemäß dem Relativitätsprinzip ist eine Hypothese zurückweisbar, sofern sie auf zwei Fälle nur jeweils gesondert, nicht aber gleichzeitig zutrifft [...]; so wird mein solipsistischer Standpunkt unhaltbar, sobald ich ein weiteres autonomes Lebewese neben mir erfinde.

([Foe03], S.58f)

Hier verwechselt von Foerster Denken mit Sein: nur, weil ich an ein anderes autonomes Wesen denke, muss es deshalb nicht existieren. Selbstreferenz alleine schafft noch keine Realität.

Generell scheint mir der Radikale Konstruktivismus zu relativistisch und erkenntnis pessimistisch. In Kapitel 5 werde ich die Grundideen zu einer Ontologie und Erkenntnistheorie skizzieren, welche auf die Rolle des Konstruktionsprozesses in der Interaktion zwischen Systemen eingeht, ohne dabei den Bezug zur objektiven Wirklichkeit zu verlieren.

3.8 Selbstorganisationstheorie

Die Frage, wie es zur Entstehung von Ordnung kommen kann, wurde zu einem Hauptthema der Wissenschaft des 20. Jahrhunderts. Ansätze zu einer Erklärung von Strukturierungsprozessen, die quasi „von selbst“ ablaufen, kamen von Schrödinger, Bertalanffy, Rosen und unzähligen Anderen. Seit einigen Jahrzehnten arbeiten Wissenschaftler an einer Theorie der *Selbstorganisation*. Die Selbstorganisationstheorie ist mit der Systemtheorie gut vereinbar, da Organisationsprozesse *vom Standpunkt des Systems aus* betrachtet werden können. Das *Selbst*, welches sich organisiert, ist also das beteiligte System.

3.8.1 Synergetik

Der Begriff *Synergetik* wurde 1969 von *Hermann Haken* im Rahmen der Laserforschung geprägt [Hak95]. Die Synergetiktheorie soll eine interdisziplinäre Theorie zur Erklärung von Vorgängen in selbstorganisierenden Systemen sein. Dabei gibt es drei Anforderungen an solch ein System:

1. Offenheit bezüglich Energie- und Materieaustausch mit der Umwelt
2. Zustand fern vom thermodynamischen Gleichgewicht
3. Autokatalytische Prozesse, die sich selbst und andere auf gegenseitiger Basis verstärken

Solche Systeme sind längere Zeit auf einer Organisationsebene stabil, durch gewisse Einwirkungen können aber Fluktuationen auftreten. Nach einiger Zeit der Instabilität sind sie dann auf einer anderen Organisationsebene stabil. Die Teile des Systems sollten dabei heterarch sein, d. h. in ihrem Einfluß auf das System gleichberechtigt.

Trotz dieser Gleichberechtigung stellen sich laut Haken Ordnungs- und Kontrollparameter ein. Den Ordnungsparameter kann man mit Gruppenzwang vergleichen: er erzeugt gewissermaßen die Ordnung auf der neuen Organisationsstufe. Das System wird vom Ordnungsparameter „versklavt“, alles muss sich danach richten. Dabei kann bei mehreren Ordnungsparametern Selektion zur Auswahl eines einzelnen

führen – die schwächeren werden unterdrückt, da immer nur ein Ordnungsparameter das System beeinflussen kann. Der Kontrollparameter ist zur Beschreibung des Systems wichtig – nur wenn er eine gewisse gleichbleibende Größe hat, kann Ordnung entstehen, wird er aber willkürlich geändert, reagiert das System unvorhersagbar. Meist übernimmt die in das System einfließende Energie die Rolle des Kontrollparameters, wie es etwa bei den *Bénard-Zellen*⁶ der Fall ist.

Die Synergetik beruht auf einer rein mathematischen Theorie und ist deshalb laut Haken auf viele Bereiche übertragbar. Wichtige Beispiele für die Theorie sind der Gaslaser (bei der Emission eines Laser-Pakets ist zwar im Vorhinein unbekannt, welche Polarisationssebene die Lichtquanten aufweisen, aber es ist sicher, dass sie für alle Quanten die gleiche sein wird), Halbleiter oder Elektromagnetismus. Auch das „Umkippen“ eines Gewässers kann man mit dieser Theorie beschreiben. Selbst in den Sozialwissenschaften wird die Synergetik als Metapher verwendet: so sieht Haken die „vorherrschende öffentliche Meinung“ oder die Mode als Ordnungsparameter in Bereichen unserer Gesellschaft.

Als eine Theorie der Selbstorganisation sollte die Synergetik auch wichtiger Bestandteil einer *vereinheitlichten Theorie von Information und Thermodynamik* sein. Die Schaffung einer solchen Theorie stellt sicherlich eine der größten interdisziplinären wissenschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit dar.

3.8.2 Infodynamik und hierarchische Systemtheorie

Eine Reihe zeitgenössischer Autoren arbeiten an Theorien zur Vereinheitlichung von Thermodynamik und Informationstheorie. Beispielhaft soll hier das Werk des Biologen *Stanley N. Salthe* erwähnt werden. Salthe bezeichnet seine Theorie als *infodynamics*, als Wissenschaft von der Änderung der Komplexität (*change in complexity*).

Salthe beschreibt Entwicklung als die Zunahme von Komplexität. Nun begibt er sich auf die Suche nach einer geeigneten Definition dieses Begriffes. Dabei betrachtet er unter anderem:

⁶Bei diesem bekannten Experiment zur Demonstration der Selbstorganisation, das vom französischen Physiker Henri Bénard (1874-1938) erstmals durchgeführt wurde, wird eine visköse Flüssigkeit von unten her erhitzt, wodurch sich ab einem gewissen Temperaturgradienten zwischen Oberfläche und Boden der Flüssigkeit spontan wabenartige Strukturen, die Bénard-Zellen, bilden. Welche Struktur diese Zellen annehmen, ist im Vorhinein unbekannt (Zufall); dass sie aber auftreten und in der gesamten Flüssigkeit vom gleichen Typ sind, ist sicher (Notwendigkeit).

- Den Begriff der *information capacity* von Shannon und Weaver (vgl. Kapitel 3.3)
- Die Definition von *Kolmogoroff*, wonach die minimale Menge an Information, die notwendig ist, um die Struktur eines Systems zu spezifizieren, eine Maßzahl für die Komplexität des Systems darstellt
- Das Konzept der Intropie (*intropy*) von *John Collier*, wonach die Komplexität ein Konstrukt des Beobachters ist, wobei „Beobachter“ für jedes System steht, das mit einem anderen interagiert

Veränderungen in der Newtonschen Dynamik sind immer physikalisch (wenn nicht sogar thermodynamisch) reversibel, wogegen Veränderungen der Komplexität irreversibel sind. Die Entwicklung eines Systems bringt also Irreversibilität mit sich. Nach Salthes Anschauung impliziert Veränderung immer eine Art Indeterminismus. Im Entwicklungsprozess, welcher stets auch ein Spezialisierungsprozess ist, werden Freiheitsgrade „aufgebraucht“.

Die Klassische Thermodynamik nimmt den Standpunkt eines externen Betrachters (*externalist view*) ein, wohingegen gleichgewichtsferne Thermodynamik (*non-equilibrium thermodynamics*) eine interne (*internalist*) Sichtweise – also das System betrachtend, als ob man selbst Kern des Systems wäre – nahelegt. Nach Salthes Meinung existiert in der externen Sichtweise Ordnung nur als flüchtiges Phänomen, welches von sehr speziellen und seltenen Rahmenbedingungen abhängt, wogegen in der internen Sichtweise die Ordnung als Resultat von Selbstorganisation überall dort zu finden ist, wo massive Materieakkumulationen auftreten. Er selbst propagiert den internen Standpunkt, von dem er meint, dass er in der Vergangenheit vernachlässigt worden ist.

Hierarchien

Salthe unterscheidet zwei Typen von Hierarchie:

- *scalar hierarchy*: Systeme beinhalten immer andere Systeme. Diese Kapselung von Supersystemen und Subsystemen ist nach beiden Enden hin offen. Je nach der gewählten Skalierung wird ein bestimmter Ausschnitt aus dieser unendlichen *Matrijoschka*-ähnlichen Systemverschachtelung sichtbar. Diese Art der Hierarchie kann nur die synchrone Sicht eines Systems, also die Entwicklung entlang der Zeitachse, wiedergeben.

- *specification hierarchy*: Diese entspricht dem klassischen Konzept eines hierarchischen Baumes, wobei die höher gelegenen Knoten allgemeiner und die untergeordneten spezifischer sind (vgl. Substanzmetaphysik von Aristoteles). Innerhalb dieser Hierarchie können synchroner und diachroner Aspekt (das Verhältnis zwischen dem Ganzen und seinen Teilen) dargestellt werden.

Als Biologe ist Salthe, wie Bertalanffy, ein Kritiker des Darwinismus, den er als Mythos bezeichnet und ihm einen eigenen Mythos, die *developmental world view* entgegengesetzt. Die Welt befindet sich im ständigen Werden, wobei Komplexität nicht durch Zufall entsteht, sondern durch Selbstorganisation der beteiligten Systeme aktiv generiert wird. Ich möchte nun näher auf das Verhältnis von Information und Selbstorganisation eingehen.

3.8.3 Information und Selbstorganisation

Der Begriff Information stammt vom lateinischen Verb *informare*, was soviel wie „formen“ oder „prägen“ bedeutet. Dieser Begriff brachte eine Vielzahl von Konnotationen mit sich, bis er seit der Mitte des 20. Jahrhunderts als Synonym für „alles, was nachrichtentechnisch übertragen werden kann“ verwendet wurde. Damit erfuhr der Informationsbegriff, theoretisch gestützt etwa von Shannon und Weaver (vgl. Kapitel 3.3), eine technologische Verkürzung.

Für *Wolfgang Hofkirchner* ist Information Resultat von Selbstorganisationsprozessen:

Die mechanischen Ursache-Wirkungs-Beziehungen sind dadurch gekennzeichnet, daß der Einfluß des zwischen Ursache und Wirkung dazwischengeschalteten Systems eine vernachlässigbare Größe darstellt, daß das System die Einwirkung, die es von außen erfährt, quasi passiv erleidet, daß es fremdbestimmt wird, fremdorganisiert. [...] Selbstorganisierende Systeme zeigen demgegenüber eine Eigenaktivität, die in der Vermittlung der Ursache zur Wirkung zur bestimmenden Einflußgröße wird: Das System bestimmt selbst, welche Wirkung es auf eine Ursache hin zeigt, es spiegelt die Ursache und die bestimmte Wirkung wider, es reflektiert seine Umwelt auf seine je eigene, unverwechselbare Art und Weise. Die bestimmte Ursache und die bestimmte Wirkung sind nicht mehr notwendig miteinander verbunden.

([Hof98], S.81)

Information und Selbstorganisation stellen so „zwei Seiten einer Medaille“ dar – weder ist Selbstorganisation ohne Erzeugung und Verarbeitung von Information möglich, noch entsteht Information ohne Selbstorganisation. Information existiert in Form von Zeichen. Das Zeichen tritt in sozialen Systemen in verschiedenen Ebenen auf (ebenda, S.88f):

- *Daten*: Auf der untersten Ebene werden Signale von der Außenwelt durch das System wahrgenommen und bilden Daten. Umgelegt auf die Semiotik von *Charles W. Morris* entsprechen die Daten den Zeichen auf der *syntaktischen Ebene*.
- *Wissen*: Die interpretierten Daten formen das Wissen des Systems – die möglichst wahre Erkenntnis von tatsächlichen und möglichen Zusammenhängen zwischen System und Umwelt. Wissen entspricht Zeichen auf der *semantischen Ebene*.
- *Weisheit*: Das bewertete Wissen erzeugt Weisheit als möglichst richtige Anleitung und Anweisung zum Handeln. Weisheit ist auf der *pragmatischen Ebene* angesiedelt.

Diese Informationsprozesse der Wahrnehmung, Interpretation und Bewertung sind Selbstorganisationsprozesse.

Eine einheitliche Theorie der Information gerät ins Blickfeld der wissenschaftlichen Anstrengungen. Weil er sich durch die Veränderungsdynamik eines Systems definiert und zwischen dem Prozeß der Erzeugung eines Qualitätssprungs im System und dessen Resultat, dem Sprung selber, der im System seinen Niederschlag findet, unterscheidet, rückt der einheitliche Informationsbegriff einer solchen vereinheitlichten Theorie der Information die in Alltag und Technik noch weit verbreitete dingliche Auffassung von der Information als verkürzt zurecht, beläßt ansonsten aber das Kanalmodell für seinen Bereich in seinem Recht.

(ebenda, S.97)

Das nächste Kapitel setzt sich zum Ziel, die Bedingungen eben solcher *Qualitätssprünge* zu betrachten und zu untersuchen, wie sich hier das Verhältnis von Determinismus und Freiheit darstellt.

Kapitel 4

Dialektik von Kausalität und Emergenz

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Frage, wie der Begriff der Kausalität mit dem der Emergenz (Auftreten von neuen Qualitäten) vereinbar ist. Der Schlüssel liegt hier in einer *Dialektik von Zufall und Notwendigkeit*. Daher scheint es sinnvoll, zuerst die Prinzipien der Dialektik zu beschreiben, dann das Phänomen *Emergenz* in seiner Vielschichtigkeit zu skizzieren. Am Ende des Kapitels steht der Vorschlag des Verfassers für ein integratives Bild, das Kausalität sowie synchrone und diachrone Emergenz auf dialektische Weise in sich vereinigt.

4.1 Dialektik

4.1.1 Hegel – der deutsche Idealismus

Im Zentrum der Philosophie von *Georg W. F. Hegel* (1770-1831) steht der *Weltgeist*, dessen Entwicklung sich in der Weltgeschichte niederschlägt. Grundlage für diese Ausprägung des Idealismus bildet die auf Plato zurückgehende Annahme, der Geist stelle das eigentliche Sein dar, wogegen es sich bei der sinnlich wahrnehmbaren Welt nur um Schein handle. Die Entwicklung des Weltgeistes hin zum absoluten Geist – dem Höchsten und Wahrsten – erfolgt *dialektisch*.

Die Dialektik ist für Hegel das fundamentalste Naturgesetz. Geht man nämlich da-

von aus, dass sich die Welt im ständigen Werden befindet (vgl. Heraklit, Kapitel 2.2.3), so tritt das Problem zutage, wie etwas, das (noch) nicht ist, entstehen kann.

Auf die Frage: was ist das Jetzt? antworten wir also zum Beispiel: das Jetzt ist Nacht. Um die Wahrheit dieser sinnlichen Gewißheit zu prüfen, ist ein einfacher Versuch hinreichend. Wir schreiben diese Wahrheit auf; eine Wahrheit kann durch Aufschreiben nicht verlieren; eben so wenig dadurch, daß wir sie aufbewahren. Sehen wir jetzt, diesen Mittag, die aufgeschriebene Wahrheit wieder an, so werden wir sagen müssen, daß sie schal geworden ist.

Das Jetzt, welches Nacht ist, wird aufbewahrt, d. h. es wird behandelt als das, für was es ausgegeben wird, als ein Seiendes; es erweist sich aber vielmehr als ein Nichtseiendes. Das Jetzt selbst erhält sich wohl, aber als ein solches, das nicht Nacht ist, ebenso erhält es sich gegen den Tag, der es jetzt ist, als ein solches, das auch nicht Tag ist, oder als ein Negatives überhaupt. Dieses sich erhaltende Jetzt ist daher nicht ein unmittelbares, sondern ein vermittelndes; denn es ist als ein bleibendes und sich erhaltendes dadurch bestimmt, daß anderes, nämlich der Tag und die Nacht nicht ist.

([Heg86], S.84)

Der erste Schritt des dialektischen Verfahrens ist also das Aufstellen der *These*: das Jetzt ist Nacht. Nun zeigt sich, dass diese These in anderem Kontext nicht mehr gilt und so negiert werden muss: das Jetzt ist Tag (*Antithese*). Eine neue Ebene der Wahrheit kommt durch die *Negation der Negation* zustande: das Jetzt ist etwas, von dem Tag und Nacht nur zwei besondere Seinsformen, *Momente*, darstellen. Dieser dritte Schritt im dialektischen Verfahren führt zur *Synthese*, in der sowohl These als auch Antithese aufgehoben sind.

Der Begriff *aufgehoben* beinhaltet dreierlei Bedeutungen:

- aufgehoben im Sinne von *ausgelöscht*; das Alte ist durch das Neue vernichtet
- aufgehoben im Sinne von *bewahrt*; das Alte ist im Neuen enthalten
- aufgehoben im Sinne von *hinaufgehoben*; das Neue stellt eine höhere Stufe in der dialektischen Entwicklung der Welt dar

Die These stellt etwas *Konkretes* dar. Ihre Negation ist ein *abstrakt Allgemeines*. Durch die Negation der Negation entsteht nun das *konkret Allgemeine*, die dialektische Vereinigung von Konkretem und Allgemeinem.

Die Geschichte des Werdens des Weltgeistes besteht in der Rücknahme seiner *Entfremdung*. In der anorganischen Natur befindet sich der Geist im Zustand totaler Selbstentfremdung. Er hat sich schöpferisch gestaltend in die Materie *entäußert*. Darüber stuft sich die Pflanzenwelt und dann die Tierwelt, wobei der Geist sich selbst schon etwas näher kommt. Im Menschen tritt der Geist bereits als *subjektiver Geist* auf, der jedoch für die gesamte Menschheit die Form einer objektiven Gesamtleistung, des *objektiven Geistes*, annimmt. An der Spitze dieser evolutionären Pyramide steht der *absolute Geist*, der vollkommen *bei sich* ist. In diesem ist die gesamte Geschichte seiner Entwicklung aufgehoben, und so sind der Geist und sein Werden Eins. Diese Vorstellung wird mit Recht als Pantheismus charakterisiert, da die Welt den Gott hervorbringt, durch dessen Entäußerung die Welt entsteht.

Die Dialektik funktioniert nur unter der Voraussetzung, dass die Welt ein Ganzes ist, und dass auch ihre Teile wiederum Ganzheiten sind, was von Hegel auch angenommen wird:

Das Wahre ist das Ganze. Das Ganze aber ist nur das durch seine Entwicklung sich vollendende Wesen. Es ist von dem Absoluten zu sagen, daß es wesentlich Resultat, daß es erst am Ende das ist, was es in Wahrheit ist.

(ebenda, S. 24)

4.1.2 Materialismus

Obwohl Hegel mit seinem Weltbild ganz im Trend der damaligen Zeit lag und ihm die Rolle des preußischen Staatsphilosophen zukam, entwickelte sich bald Kritik an seiner Lehre. Grundsätzlich bildeten sich unter seinen Schülern zwei Fraktionen heraus. Man konnte nämlich gemäß Hegels Weltgeistlehre annehmen, dass die gegenwärtige Ordnung (die gottgegebene Monarchie) bereits die höchste und dem absoluten Geist am nächsten stehende Staatsform sei, dann war man Rechtshegelianer. Die Linkshegelianer waren der Meinung, die momentane Ordnung sei nur ein Zwischenschritt und würde sich in dialektischer Bewegung zu immer vollkommeneren Gesellschaftsordnungen hin entwickeln (z.B. zur Demokratie).

Einer seiner prominentesten Schüler, *Ludwig Feuerbach* (1804-1872), stellte sich entgegen seinem Meister auf den Standpunkt, wonach der absolute Geist als Erzeugnis menschlicher Denktätigkeit aufgefasst werden muss. Unter dem Eindruck der fortschreitenden Naturwissenschaften konnte die Bedeutung, die Hegel der Natur zugestand, nämlich die der niedrigsten Selbstentäußerung des Geistes, ihr überhaupt nicht gerecht werden. Vielmehr schien der Mensch und damit der menschliche Geist ein Produkt der Materie in ihrer Entwicklung zu sein. Diese Antithese zum deutschen Idealismus wurde konsequenterweise als *Materialismus* bezeichnet. Natürlich tritt der Materialismus bereits bei den Atomisten (vgl. Kapitel 2.2.4) zutage, jedoch dort als starrer, mechanistischer Materialismus, wogegen der Feuerbachsche Materialismus das Werden der Welt miteinbezieht.

4.1.3 Dialektischer Materialismus

Ein weiterer Linkshegelianer, der bald zum wichtigsten Antihegelianer wurde, war *Karl Marx* (1818-1883). Anfangs vom Hegelschen System überzeugt, schloss er bald Bekanntschaft mit den Schriften Feuerbachs und brachte neue Kritikpunkte an Hegels Lehre vor.

Das, was Hegel in seinem System dialektisch aufhebt, sind nur die Begriffe und nicht die lebensweltlichen Realitäten. Dadurch führt sich das System selbst *ad absurdum*:

So z. B. ist in Hegels Rechtsphilosophie das aufgehobene Privatrecht = Moral, die aufgehobene Moral = Familie, die aufgehobene Familie = bürgerlicher Gesellschaft, die aufgehobene bürgerliche Gesellschaft = Staat, der aufgehobene Staat = Weltgeschichte. In der Wirklichkeit bleiben Privatrecht, Moral, Familie, bürgerliche Gesellschaft, Staat, etc. bestehen, nur sind sie zu Momenten geworden, zu Existenzen und Daseinsweisen des Menschen, die nicht isoliert gelten, sich wechselseitig auflösen und erzeugen etc., Momente der Bewegung. [...]

Einerseits ist das Aufheben [bei Hegel, Anm.] ein Aufheben des gedachten Wesens, also das gedachte Privateigentum hebt sich auf in den Gedanken der Moral. Und weil das Denken sich einbildet, unmittelbar das andere seiner selbst zu sein, sinnliche Wirklichkeit, also ihm seine Aktion auch für sinnliche wirkliche Aktion gilt, so glaubt das denkende

Aufheben, welches seinen Gegenstand in der Wirklichkeit stehen läßt, ihn wirklich überwunden zu haben, und andererseits, weil er ihm nun als Gedankenmoment geworden ist, darum gilt er ihm auch in seiner Wirklichkeit als Selbstbestätigung seiner selbst, des Selbstbewußtseins, der Abstraktion.

([Mar68a], Paragraph XXIX)

Indem bei Marx wieder die sinnliche Wirklichkeit anstelle der Begriffe tritt, stellt er das Hegelsche System wiederum „vom Kopf auf die Füße“. Die Folgerungen, die Marx daraus zieht, sind hinlänglich bekannt und lassen sich in der bekannten 11. These zu Feuerbach subsumieren: „Die Philosophen haben die Welt nur verschieden interpretiert; es kommt aber darauf an, sie zu verändern.“ ([Mar68b], S.535).

Friedrich Engels (1820-1895) war maßgeblich an der Formulierung des dialektischen Materialismus beteiligt. Indem er die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse seiner Zeit von der Dynamik bis zur Elektrizität untersuchte, konnte er eine *Dialektik der Natur* feststellen, die sich von der unbelebten Materie bis zur Menschwerdung entfaltete. Damit begründete er einen naturwissenschaftlichen Dialektik-Begriff [Eng62].

Für diese Arbeit ist von höchster Bedeutung, dass die materialistische Dialektik als ein allgemeines Gesetz des Werdens, des Übergangs von einer zur anderen Daseinsstufe, eine notwendige Grundlage des dynamischen Weltbildes darstellt, das in der vorliegenden Arbeit beschrieben werden soll. Insbesondere sind Vorstellungen aus Emergentismus, Synergetik, Selbstorganisation und Systemtheorie gut mit dem dialektischen Denken vereinbar, ihre Kategorien können in Begriffen der Dialektik beschrieben werden. Zum Beispiel kann der Begriff der Emergenz, auf den ich im Folgenden näher eingehen will, mit dem Prinzip des *Umschlagens von Quantität in Qualität* identifiziert werden.

4.2 Der Begriff der Emergenz

Wie wir bereits in Kapitel 3 festgestellt haben, treten in den verschiedensten wissenschaftlichen Szenarien spontan neue Systemeigenschaften auf, die durch Irreduzibilität und Irreversibilität charakterisiert sind. Ein einfaches Beispiel liefert die Entropie in der Thermodynamik geschlossener Systeme. Beispiele für neue Qualitäten finden wir reichlich um uns und in uns. Strukturbildungen, von den Bénard-Zellen

über die biologische Evolution bis hin zur kulturellen und gesellschaftlichen Entwicklung, machen das aus, was wir Leben nennen.

Für das spontane Auftreten von neuen Qualitäten wurde der Begriff *Emergenz* geprägt. Mit dem Emergentismus haben in den zwanziger Jahren *Samuel Alexander*, *C. Lloyd Morgan*, *C.D. Broad* und andere versucht, ein Modell zur Vermeidung der Probleme des Mechanizismus sowie andererseits des *Vitalismus*¹ zu finden ([KM97]). Heute wird der Begriff *Emergenz* in verschiedensten Einzelwissenschaften verwendet, um das Auftreten von Unerwartetem zu charakterisieren – etwa in Biologie, Physik, Mathematik oder *Artificial Intelligence* – wobei unterschiedliche Vorstellungen zugrunde liegen, was oft zu Missverständnissen im interdisziplinären Austausch führt:

- Durch eine innere Lebenskraft (*elán vital*), die allen Lebewesen eigen ist, werden neue Qualitäten geschaffen. Diese Erklärung ist unbefriedigend, da sie von metaphysischen Voraussetzungen ausgeht, die nicht überprüfbar sind.
- Die Eigenschaften eines zusammengesetzten Ganzen können in zwei Teilmengen unterteilt werden. Die *resultanten* Eigenschaften bleiben gleich oder sind linear mit den Eigenschaften der Komponenten verknüpft. Alle nicht resultanten Eigenschaften (nicht berechenbar) sind *emergente*. Allerdings ist dies eine reine Definition, keine Erklärung.
- Emergente Eigenschaften sind Eigenschaften eines Ganzen, die durch Selbstorganisationsprozesse entstehen. Allerdings können auch Systeme, in denen keine Selbstorganisation stattfindet, emergente (im Sinne von überraschend auftretenden) Eigenschaften entstehen.
- Emergente Eigenschaften sind solche, die von vornherein nicht festgelegt sind (nicht bloß unberechenbar, sondern ontologisch nicht definiert). Hier stellt sich die Frage, wie der Beobachter Turing-Unberechenbarkeit oder Unsicherheit von objektiver Unbestimmtheit unterscheiden sollte.

Emergenz begegnet uns in zwei verschiedenen Formen:

¹Der Vitalismus geht davon aus, dass dem Leben eine besondere Lebenskraft innewohnt, die unbelebter Materie fehlt. Ausschlaggebend für diese Anschauung waren die Beobachtungen der Keimbahnentwicklung von Seeigel-Embryonen des deutschen Biologen *Hans Driesch*.

- *synchron*: Emergenz kann als das Auftreten einer neuen Eigenschaft auf der Makro-Ebene definiert werden, welche nicht deterministisch auf den Zustand der Mikro-Ebene reduziert werden kann (das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile). Zum Beispiel besteht der menschliche Organismus aus relativ autarken Zellen. Dennoch kommen dem ganzen Organismus neue Eigenschaften zu, über die die einzelnen Zellen nicht verfügen (Bewusstsein, Freude, Liebe, Hass, Kommunikation. . .).
- *diachron*: Emergenz stellt das Auftreten von Novität oder neuer Qualität dar, die nicht als deterministische Entwicklung eines vergangenen Zustandes beschrieben werden kann (das Neue ist mehr als das Alte). Der Mensch hat sich zum Beispiel evolutionär aus seinen Vorfahren entwickelt, weist aber neue Qualitäten auf, die bei den übrigen Primaten nicht beobachtet werden können.

Beiden Definitionen ist ein inhärenter *Indeterminismus* gemeinsam. Verliefe jegliche Entwicklung im Universum strikt deterministisch, so könnte man nicht von Entwicklung, sondern nur von Entfaltung von bereits Vorbestimmtem sprechen, wie es die *Präformationstheorie* nahelegt. Damit gäbe es keine neuen Qualitäten, keine Emergenz.

4.3 Determinismus vs. Indeterminismus

4.3.1 Zufall und Notwendigkeit

Das Konzept des Indeterminismus wurde, wie in Kapitel 2 beschrieben, zuerst von *Epikur* von Samos vertreten, der, ausgehend von Demokrits Atomismus, den Atomen in ihren Trajektorien kleine zufällige Abweichungen einräumte. Diese Abweichungen sind ihrerseits nicht durch Ursachen bedingt.

Die mechanistischen Wissenschaften reduzierten die von ihnen betrachteten Sachlagen auf monokausale Zusammenhänge. Beim Experiment wird ein Teilaspekt betrachtet, wozu künstlich alle anderen Einflüsse ausgeschaltet werden (z.B. Inertialsystem). In der Welt werden wir jedoch mit einer Mannigfaltigkeit verflochtener Einflüsse, die zu einem Ereignis führen, konfrontiert. Daher stoßen wir bei komplexen Systemen relativ schnell an die Grenzen der Vorhersagbarkeit, oder wie Ernst Bloch es ausdrückt:

Was anders kommen kann als man denkt, was in unsere Pläne sich nicht schickt, überrascht. [...] Der Zufall im weiter verflochtenen Zusammenhang ist keineswegs ein selber nicht Bedingtes, gar ein total Undeterminiertes. Zufall im Leben meldet sich also als immerhin determiniert, dergestalt daß er nicht aus sozusagen heiler Haut oder als Blitz vom wolkenlosen Himmel einbricht, doch auch keinesfalls eben aus unseren jeweiligen im Plan stehenden Bedingungsbeziehungen recht herleitbar, gar ableitbar erscheint.

([Blo85], S.132f)

Zufall im Sinne von absolut Unbedingtem, Undeterminiertem, das uns quasi wie ein Blitz aus heiterem Himmel trifft, existiert nicht. Vielmehr entscheiden die Rahmenbedingungen über die verschiedenen Freiheitsgrade, die zu dem Zeitpunkt, an dem das System „eine Entscheidung treffen muss“, bestehen. Diese Art eines impliziten Indeterminismus wird häufig mit dem Begriff der *Bifurkation* in Verbindung gebracht, welcher aus der Chaostheorie stammt.

4.3.2 Deterministisches Chaos

Bereits in der linearen Mathematik werden die Grenzen des Determinismus sichtbar. Betrachten wir z.B. zwei parallele Geraden g und h in \mathbf{R}^2 , so weisen sie die gleiche Steigung $\frac{\Delta f(x)}{\Delta x} = \frac{\Delta g(x)}{\Delta x}$ auf. Verändert sich nun die Steigung einer der Geraden um einen *beliebig kleinen* Betrag, sodass $\left\| \frac{\Delta f(x)}{\Delta x} - \frac{\Delta g(x)}{\Delta x} \right\| > 0$, dann verschwindet die Eigenschaft der Parallelität.

Die Vorgänge in der Natur sind jedoch nur sehr beschränkt linearisierbar. Wo es um die Modellierung von Komplexität geht, wird das beschränkte Universum der Linearität schnell zu klein.

Im Jahre 1961 entdeckte der amerikanische Meteorologe *Edward Lorenz* das *deterministische Chaos*, als er Modelle zur Wetterprognose auf einem Computer implementierte. Dabei machte er die Entdeckung, dass in dem von ihm verwendeten iterativen Funktionensystem² beliebig kleine Änderungen des Startwertes nach einigen Iterationsphasen zu einer kompletten Veränderung des Systemverhaltens führen

²Ein System von Gleichungen, in dem jeweils das Ergebnis einer Phase als Eingabewert der nächsten dient

konnten [Gle90]. Dadurch wurde erstens klar, dass eine langfristige Prognose des Verhaltens nichtlinearer dynamischer Systeme alleine wegen der unvermeidlichen Mess- und Modellfehler unmöglich ist. Zweitens stellte sich erneut die Frage, wie berechenbar die Wirklichkeit überhaupt ist.

Seit Galileo ist ein wissenschaftliches Experiment dadurch definiert, dass der Experimentator einen einzelnen Aspekt aus der zu untersuchenden Situation herausgreift, isoliert und unter künstlichen Bedingungen beobachtet. Er verändert einen (oder ein paar wenige) *Kontrollparameter* und stellt den Zusammenhang zur Änderung seiner *Messwerte* her. Nun treffen wir aber in der Natur nie auf konstante Bedingungen, sodass das Geschehen nur von einem Parameter abhängen würde.

Zugegeben, in bestimmten Fällen (wie bei den Planetenbewegungen) können wir Ereignisse angemessen als Vektorsumme von Kräften interpretieren, die unsere Theorien isoliert haben. Doch bei einem beliebigen aktuellen Ereignis, wie beispielsweise einem fallenden Apfel, gelingt uns das nicht. Wirkliche Äpfel sind nun einmal keine Newton-Äpfel. Sie fallen gewöhnlich, wenn der Wind weht. Und der gesamte Vorgang wird durch einen biochemischen Prozeß in Gang gebracht, der den Stengel derart schwächt, daß die wiederholte, vom Wind hervorgerufene Bewegung zusammen mit dem Newtonschen Gewicht des Apfels zu einem Abbrechen des Stengels führt.

([Pop95], S.48f)

Es ist also plausibel, dass sich die einzelnen Aspekte der Welt zwar deterministisch verhalten, aber in ihrer Gesamtheit zu Phasen der Unvorhersagbarkeit führen können. Diese Sichtweise erlaubt es, von Emergenz im starken Sinne zu sprechen. Die Welt „weiß“ *a priori* selbst nicht, wohin sie sich entwickelt. An jedem Punkt der Entwicklung entstehen neue Möglichkeiten, und die Entscheidung, welche von diesen realisiert werden, fällt an einem Punkt, wo der Determinismus scheitert – an einem *Bifurkationspunkt*.

Die Vorstellung der Bifurkation entstand, als man das Verhalten von iterativen Funktionen wie $x_n = rx_{n-1}(1 - x_{n-1})$, $x \in [0, 1]$, $r \in \mathbf{R}$ fix, $n \in \mathbf{N}$ betrachtete. Solche Funktionen werden etwa verwendet, um die Entwicklung von Tierpopulationen zu modellieren, wobei der *Kontrollparameter* r hier als Fruchtbarkeitsrate interpretiert werden könnte. Auch in der Ökonomie treten solche Gleichungen auf, um das

Verhalten von Märkten zu beschreiben. Der Biologe *Robert May* erkannte, dass in Abhängigkeit vom Kontrollparameter verschiedene Verhaltenstypen solcher Funktionen feststellbar waren: eine Klasse von Funktionen, die sich auf einen Fixwert einpendeln; eine, deren Funktionen zwischen zwei Werten oszillieren; andere wiederum, die zwischen vier, acht oder sechzehn Werten oszillieren ([Gle90], S.106ff). Weiters entdeckte er eine Klasse von Funktionen, die chaotisches Verhalten zeigten.

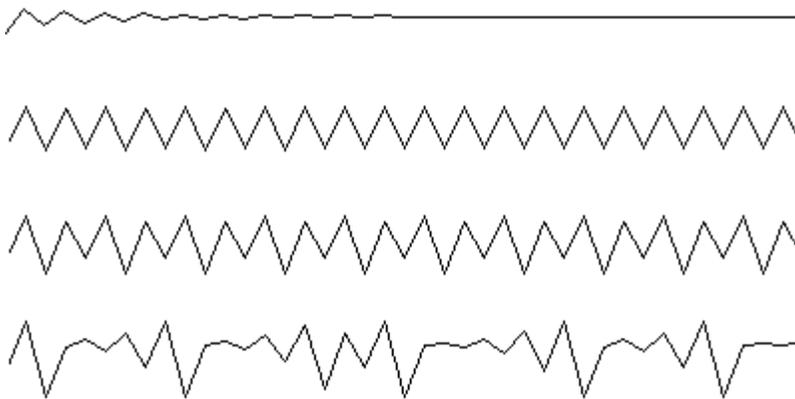


Abbildung 4.1: Funktionen für $r = 2.7, 3.4, 3.5$ und 4.0

Um die Anzahl der Fixpunkte der Abbildung in Abhängigkeit vom Kontrollparameter zu visualisieren, entwickelte May das *Bifurkationsdiagramm*. Das lateinische Wort *bifurcatio* bedeutet zweifache Gabelung und wurde deshalb gewählt, weil in diesem Diagramm immer wieder eine Verdoppelung der Fixpunkte bei zunehmendem Wert des Kontrollparameters zu beobachten ist.

Bemerkenswert ist, dass in den Punkten, wo eine neue Gabelung (Bifurkation) stattfindet, eine große Sensitivität hinsichtlich des Parameters besteht: eine *beliebig kleine* Änderung des Werts entscheidet darüber, wieviele Fixpunkte die Funktion hat.

Dieser Sachverhalt dürfte auch für den ungarischen Philosophen und Systemtheoretiker *Ervin Laszlo* ausschlaggebend gewesen sein, den Begriff der Bifurkation als Metapher in die Systemtheorie einzuführen:

Bifurcation comes from Thermodynamics, a new science developed in the 60s and 70s, but it doesn't just apply to physical systems. It is a general process. The relevance of it is that in a bifurcation process you have

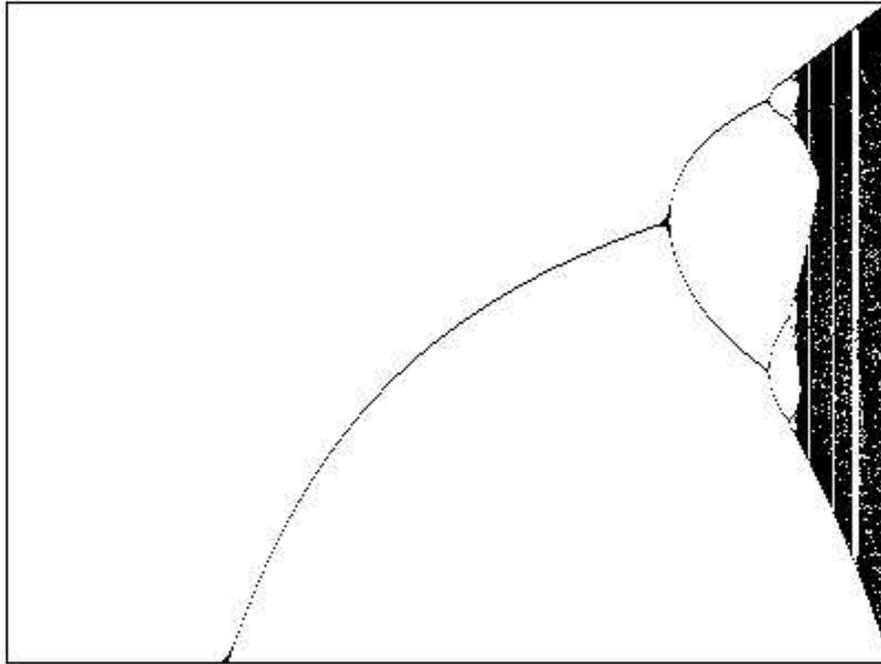


Abbildung 4.2: Bifurkationsdiagramm der Funktion $x_n = rx_{n-1}(1 - x_{n-1})$

a linear process which gets broken at a given point and becomes non-linear. Things move very smoothly, reach a critical juncture, and then there comes a break. During this break many things are possible except continuing the way it was. So the system can completely break down as can happen in many different cases, in Nature, in Society, in Culture, in the Galaxies, etceteras, etceteras. Or it can find a new fashion of continuation. It can't go on the way it was and during the time this selection process is going on, the mutation if you like, the system is not determined—not predictable.

So at the time the bifurcation is going on there is a period of rapid change during which the future of the system is being decided. During this period almost anything goes except going back or staying where we are. It is an extremely critical period. There is a great deal of freedom in it, a great deal of chaos and you might say it is crucial for the future of the system.

[Las01]

Es sei darauf hingewiesen, dass bei Laszlo der Kontrollparameter r durch die fort-

schreitende Zeit ersetzt wird, was noch weiterer Argumentation bedürfte. Weiters stehen die verschiedenen Äste in einem Bifurkationsdiagramm lediglich für die Fixpunkte, zwischen denen das System oszilliert, und nicht für Freiheitsgrade oder mögliche Entscheidungen des Systems. Daher kommt dem Bifurkationsbegriff in der Systemtheorie eine andere Bedeutung als im deterministischen Chaos zu. Während in der Chaostheorie das Geschehen im Bifurkationspunkt prinzipiell (bei beliebig genauer Kenntnis aller Parameter) berechenbar ist, bezeichnet der systemtheoretische Begriff der Bifurkation einen Zustand der ontischen Unbestimmtheit. Die verschiedenen Freiheitsgrade existieren als Möglichkeiten oder *Attraktoren* für das System. Die Vorstellung von objektiven Möglichkeiten, die als Anziehungskräfte wirken, findet sich auch im Begriff der *Propensitäten*.

4.3.3 Propensitäten

Bekanntlich pflegte *Karl R. Popper* (1902-1994), der Begründer des *Kritischen Rationalismus*, anfänglich ein gutes Verhältnis zum Wiener Kreis (vgl. Kapitel 2.5), von dem er sich jedoch später distanzierte. Ein zentraler Grund für das Scheitern des Wiener Kreises war es, dass eine vollständige *Verifikation*, also eine empirische Überprüfung aller möglichen Einzelfälle zur Bestätigung einer Theorie, unmöglich durchgeführt werden kann. Anstelle der Verifikation tritt bei Popper das Prinzip der *Falsifikation*. Jede Theorie ist Konstruktion, die gültig bleibt, solange nicht neue Fakten bekanntwerden, an denen sie zerbricht.

Damit entsteht jedoch das Problem, dass ein objektiver Fortschritt in der Weltaneignung nicht erkennbar ist. Es gibt keinen Grund dafür, dass die neue Hypothese der Wirklichkeit näher kommt als die alte, wir „schwimmen im Unendlichen“. Im Gegensatz dazu ist in der dialektischen Sicht die alte These in der neuen aufgehoben, insofern jene auch richtige Aspekte enthält, die dann in der Synthese enthalten sind. So stellt sich das, was bei Popper flach ist, in der Dialektik als hierarchisch gegliedert und evolutionär dar. Dadurch ist ein objektiver Fortschritt argumentierbar, was bei der reinen Falsifikation nicht der Fall ist.

Nach dieser kurzen Kritik des Kritischen Rationalismus komme ich nun zum Propensitätsbegriff. Poppers Welt funktioniert nicht strikt deterministisch. Vielmehr ist jedem möglichen Ereignis eine objektive Wahrscheinlichkeit, eine Propensität zugeordnet. Diese stellt jedoch ein Kraftfeld und nicht bloß eine statistische Wahrscheinlichkeit dar. Die Propensitäten einzelner möglicher Ereignisse kämpfen gegeneinan-

der, verändern sich gegenseitig, bis $P = 1$ (Ereignis eingetreten) oder $P = 0$ (Ereignis nicht eingetreten).

Dies ist eine *objektive Interpretation der Wahrscheinlichkeitstheorie*. Sie nimmt an, daß Propensitäten nicht bloße Möglichkeiten, sondern physikalische Wirkfelder sind. Sie sind so real wie Kräfte oder Kraftfelder. Und umgekehrt: Kräfte sind Propensitäten. Sie sind Propensitäten, Körper in Bewegung zu setzen.

[...]

Die Propensität 1 ist der Sonderfall einer klassischen Kraft in Aktion: eine Ursache, wenn sie einen Effekt hervorruft.

([Pop95], S.28f)

Natürlich stellt sich die Frage, woher diese Propensitäten kommen, ob diese nicht idealistischen Annahmen wie Platons *Ideen* oder den Leibnizschen *Monaden* gleichen. Nun war gerade Popper ein entschiedener Gegner der Einführung von „okkulten Eigenschaften“ in die Wissenschaft.

Ich hatte betont, daß Propensitäten nicht als Eigenschaften angesehen werden sollten, die *einem Objekt innewohnen*, wie beispielsweise einem Würfel oder einer Münze, sondern als Eigenschaften, die *einer Situation innewohnen* (zu der das Objekt natürlich als ein Teil gehört). [...] Die *Situation* verändert die Möglichkeiten und damit die Propensitäten.

([Pop95], S.31)

Propensitäten sind also Möglichkeiten, welche sich mit der Situation verändern. Sie zerren in die verschiedenen Richtungen der möglichen Zukunftspfade des Systems und bestimmen so die Rahmenbedingungen für die Entscheidung, die im Bifurkationspunkt fällt. Damit greift Popper die Kategorie der *causa finalis*, der Zweckursache, die von einer (möglichen) Zukunft in die Gegenwart gerichtet ist, auf.

4.4 Zweckursachen neu betrachtet

Wurde den Zweckursachen in der mittelalterlichen Scholastik die zentrale Rolle beigemessen, so verschwanden diese im Zuge der Aufklärung völlig. Erst in der neue-

ren Philosophie, etwa bei *Ernst Bloch*, wird wieder darauf eingegangen:

Nichts von alldem bleibt gerade bloß ursächlich mit sich allein, im Woher und Warum, nicht zuletzt im Wohin und Wozu geht es häufig *wechselwirkend* her, das Bewirkte greift auf die Ursache zurück, verändert sie selber, das nicht immer nur nachträglich, sondern oft und wichtig, indem ein zu Bewirkendes selber von vornherein eigens und eigen kausal wirkt. Das als *Zweckursache*, wodurch freilich zu dem bloß mechanisch Bewirkten ein Einschlag von vorn her, wie von einem Erstrebten hinzukommt; das unter Umständen schon organisch, erst recht in allem mehr oder minder bewußt gesellschaftlich Gewollten. Die zweckhaft gebrauchte mechanische Ursache wirkt dann außerdem als Mittel zu einem Zweck, und die Wirkung erscheint dann nicht als eine ohnehin eintretende, sondern als eine gelungene oder auch, bei nicht erfülltem Zweck, als eine mißlungene.

([Blo85], S.116f)

Bloch erkennt also eine Dialektik zwischen *causa finalis* und *causa efficiens*, indem Kategorien wie Ziele, Zwecke, Gewolltes, Utopien oder Wirkursachen erzeugen, die dann zur Erreichung der Ziele führen sollen. Dabei wirft der zu erreichende Zweck seinen „Vor-Schein“ in die Gegenwart, in welcher er bereits als Möglichkeit existiert.

Popper sieht die Zweckursachen als Anziehungskräfte:

Es sind nämlich nicht die Tritte von hinten, aus der Vergangenheit, die uns vorwärts *treiben*, sondern der Reiz, die Verlockung der Zukunft mit ihren konkurrierenden Möglichkeiten, die uns *anziehen*, die uns *locken*. Das ist es, was das Leben – und in der Tat auch die Welt überhaupt – ständig anregt, sich zu entfalten. (Denken wir daran, daß die Newtonischen Kräfte ebenfalls Anziehungskräfte sind.)

([Pop95], S.43)

Damit ist hinreichend dargestellt, wie Wirkursachen und Zweckursachen dialektisch miteinander verbunden sind. Ich möchte hier noch einen Schritt weiter gehen und eine Dialektik aller vier aristotelischer Ursachen entwerfen, welche zusätzlich die Kategorien synchroner und diachroner Emergenz beinhaltet.

4.5 Kausalität und Emergenz – ein integratives Bild

Die zentrale Motivation dieser Arbeit ist es, die Kategorien Kausalität und Emergenz in ein Bild zu integrieren.³

Wie wir oben gezeigt haben, besteht eine Dialektik zwischen Zielen und Wirkungen (*causa finalis* und *efficiens*) – während die eine von der Vergangenheit in die Gegenwart wirkt, wirft die andere als mögliche Zukunft bereits ihren Schatten oder Vorschein voraus. Diese beiden aristotelischen Kategorien sagen also etwas über den *diachronen* Aspekt der Systementwicklung aus.

Betrachtet man die beiden anderen Kategorien, *causa materialis* und *formalis*, so lässt sich hier ebenfalls ein dialektisches Verhältnis erkennen. Einerseits bringt die Materie die Form hervor, andererseits verändert die Form die Materie. Als Beispiel können hier einmal mehr die Bénard-Zellen dienen, wo eine spezielle Wabenform von der Materie gebildet wird und sodann als Ordner fungiert und keine anderen Formen mehr zulässt. Die Teile sind notwendige Voraussetzung zur Konstitution des Ganzen, und das Ganze wirkt seinerseits wieder ordnend auf seine Teile zurück. Um auf Begriffe des Soziologen *Anthony Giddens* zurückzugreifen: Beide Wirkungen weisen jeweils zwei Aspekte – *constraining* (beschränken) und *enabling* (ermöglichen) – auf [Gid84]. Die Teile ermöglichen dem Ganzen seine Existenz und begrenzen andererseits dessen Möglichkeitsraum. Genauso ermöglicht das Ganze den Teilen ihre Existenz (man denke z.B. an einen Organismus, dessen einzelne Zellen nur im Verbund existieren können), schränkt diese jedoch gleichzeitig in ihrer eigenen Freiheit ein, indem es sie strukturiert.

Emergenz als spontanes Auftreten neuer Qualitäten spielt sich in einem bestimmten raumzeitlichen Kontext ab. Die Kantschen Ordnungskategorien *Raum* (Dialektik von Materie und Form) und *Zeit* (Dialektik von Wirkung und Ziel) helfen bei der folgenden Darstellung:

Entlang der Zeitachse tritt Emergenz als spontanes Erscheinen eines Novums, das nicht vollständig durch deterministische Entwicklung des Alten beschreibbar ist, auf. Synchron, auf der Raumachse, spielt sich die Dialektik zwischen dem Ganzen (Makroebene) und seinen Teilen (Mikroebene) ab, wobei die Teile notwendig aber nicht hinreichend für die Konstitution des Ganzen sind.

³Die hier wiedergegebene Darstellung wurde von *Klaus A. Brunner* und mir im Rahmen des INTAS-Forschungsprojekts „Human strategies in complexity“ im Jahre 2002 entwickelt. Siehe dazu [BK03].

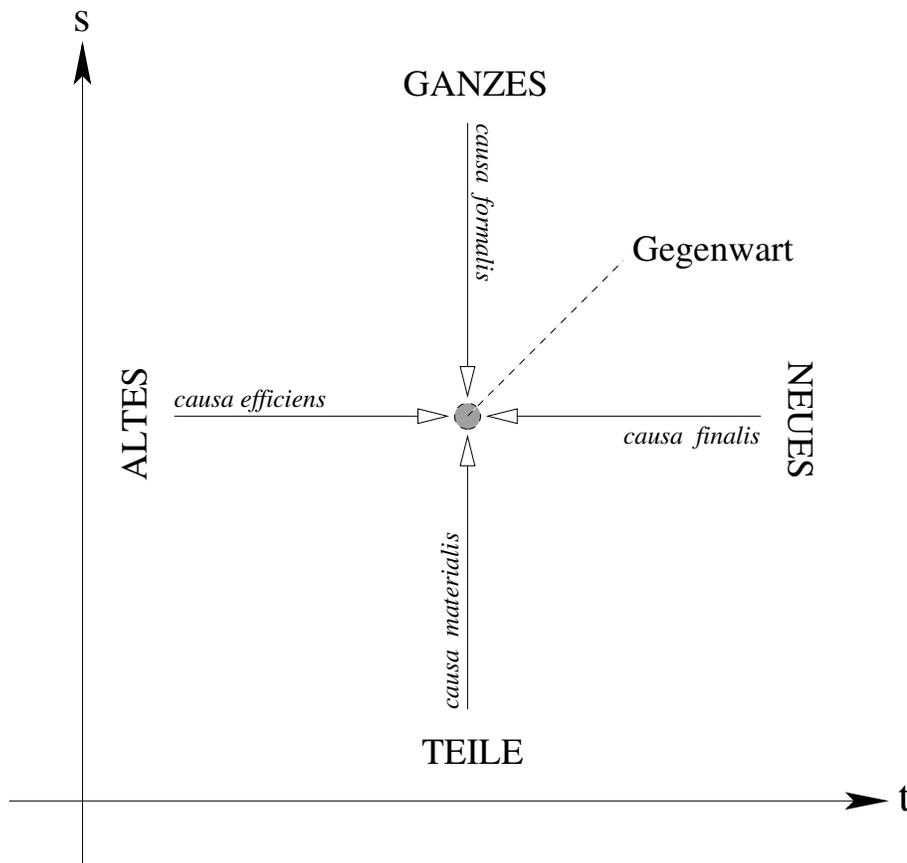


Abbildung 4.3: Darstellung des Zusammenhangs von Kausalität und Emergenz

- Der Einfluss des Alten auf das Neue entspricht der aristotelischen *causa efficiens*. Eine Reduktion der Kausalität auf die Wirkursachen führt zum klassischen Determinismus.
- Das Neue beeinflusst die Gegenwart als Ziel oder Zweck (*causa finalis*). Reduziert man sämtliche Ursachen auf die Finalität, so ergibt sich ein esoterisch-fatalistisches Weltbild, wie es etwa durch Hegels Weltgeistlehre (vgl. Kapitel 4.1) verkörpert wird.
- Die materiellen Voraussetzungen, die auf die Entstehung von Formen wirkt, entspricht der *causa materialis*. Hier führt eine Reduktion zum mechanistischen Materialismus, wie ihn die Atomisten (vgl. Kapitel 2.2.4) vertraten.
- Die Beeinflussung der Materie durch ihre Organisationsstruktur (oder der Tei-

le durch ihr Ganzes) ist mit der *causa formalis* identisch. Die Reduktion der Kausalität auf Formalität ist etwa bei den Pythagoreern, Neuplatonikern oder den Neopositivisten zu beobachten.

Die vier Punkte in diesem Diagramm sollen nicht als verschiedene Pole, sondern vielmehr als vier *Aspekte* der Kausalität aufgefasst werden. Auf der Mikroebene dieser Theorie zeigen sich Materie- und Formursachen sowie Wirk- und Zweckursachen jeweils in den Kategorien diachrone und synchrone Kausalität dialektisch aufgehoben. Die Makroebene dieser Theorie entsteht durch die dialektische Aufhebung von synchroner und diachroner Kausalität. Durch ihr Zusammenspiel entsteht die Gegenwart, in der ein Ereignis spontan stattfindet.

Die Gegenwart ist also weder vorherbestimmt noch völlig offen. Sie bringt sich selbst hervor in einem dynamischen Prozess von *constraining* (Rahmenvorgaben durch die Situation) und *enabling* (Freiheitsgrade), in einer *Dialektik von Zufall und Notwendigkeit*.

Kapitel 5

Onto-Epistemologische Betrachtungen

In diesem Kapitel werde ich skizzieren, wie unter Zuhilfenahme der bisherigen Resultate dieser Arbeit eine Ontologie und Epistemologie allgemeiner Systeme konstruiert werden könnte. Dieses Kapitel wirft wahrscheinlich mehr Fragen auf, als es beantwortet. Doch vielleicht kann der hier präsentierte Vorschlag als Grundlage für Diskussionen und weitere Forschungen dienen.

5.1 Der Zusammenhang zwischen Ontologie und Epistemologie

Der Begriff *Ontologie* (griechisch „Lehre vom Sein“) wurde erstmals im 17. Jahrhundert von *Goclenius* und *Clauberg* verwendet. Er bezeichnet die Lehre vom Sein und seinen allgemeinsten Bestimmungen und Begriffen ([BK74],S.891).

Sucht man nach der Natur des Seins, so stellt sich sofort die Frage, wie sich ein externer Sachverhalt im Wissen des Menschen widerspiegeln kann, obwohl augenscheinlich ein Gedanke nichts mit dem durch ihn bezeichneten Objekt der Außenwelt gemein hat. Dies führt uns zur Frage nach den Bedingungen der Möglichkeit menschlicher Erkenntnis, der Grundfrage der Transzendentalphilosophie.

Epistemologie (griechisch „Lehre vom Verstehen“) bedeutet Erkenntnistheorie im Sinne eines rationalen Studiums der Natur, Ziele und Mittel der Erkenntnis ([San90], S.757ff). Die menschliche Erkenntnisfähigkeit stellt einen differenzierten Spezialfall der allgemeinen Wechselwirkung zwischen Systemen dar. Diese Wechselwirkung,

die zu kongruenten Strukturen zwischen Systemen führen kann, muss auf der ontologischen Ebene beschrieben werden.

Auf der einen Seite muss also eine konsistente Ontologie die Grundlagen für eine Epistemologie liefern, andererseits stellt sich, bevor man überhaupt eine Ontologie aufstellen kann, die Frage nach den Bedingungen, die menschliche Erkenntnis möglich machen.

Ontologie und Epistemologie sind also zirkulär verknüpft und bilden damit eine untrennbare Einheit der Möglichkeiten des Menschen, sich ein Bild der Wirklichkeit zu machen. Daher möchte ich im Folgenden von einer *Onto-Epistemologie* (OE) sprechen. Es handelt sich dabei um eine Theorie darüber, wie die Wirklichkeit beschaffen sein kann, unter Berücksichtigung der menschlichen Erkenntnismöglichkeiten. Denn über Aspekte der Wirklichkeit, die dem Menschen aufgrund seiner Erkenntnisschranken prinzipiell unzugänglich sind, lässt sich nichts aussagen: „*Wir sehen nicht, daß wir nicht sehen.*“ ([MV87], S.23)

Der OE-Begriff des dialektischen Materialismus, wie er von Jörg Sandkühler geprägt wurde, steht für die Wiederaufnahme von transzendentalphilosophischen Problemstellungen (nicht der Lösungen) in den Rahmen der materialistischen Dialektik, wobei die Weltaneignung als Dialektik zwischen Erfahrung (Referenz auf Realobjekte) und Konstruktion begriffen wird ([San90], S.609). Voraussetzung dafür, dass subjektive Konstruktionen etwas bezeichnen können, das nicht sie selbst sind, ist die Widerspiegelungsfähigkeit der Materie. Im radikalen Konstruktivismus ist der Selbstbezug im Wissen bloße Selbstreferenz der Subjektivität, wogegen in der OE den Beziehungen zwischen Wissensinhalten ein ontologisch bestimmbares Objektivitätsverhältnis zukommt.

Mir geht es nun darum darzustellen, wie eine systemtheoretische OE aussehen könnte. Dazu werde ich zuerst einige notwendige ontologische und erkenntnistheoretische Annahmen explizit darstellen. Dann werde ich ein Modell für die allgemeine Interaktion zwischen offenen Systemen darstellen und schließlich erklären, wie die menschliche Erkenntnis als Spezialfall dieses Modells zu sehen ist und warum (ganz im Sinne der OE) systeminterne Konstruktionen externe Inhalte (also etwas, das nicht wieder sie selbst sind) bezeichnen können.

5.2 Annahmen zur Konstruktion einer OE

5.2.1 Philosophischer Realismus

Dieses Konzept bezeichnet die Vorstellung der Existenz einer allen Systemen gemeinsamen objektiven Realität. Verzichtet man auf diese Annahme, so landet man am Ende beim Solipsismus, da eine Wechselwirkung zwischen zwei Systemen nur dann denkbar ist, wenn diese in einer Realität stattfindet, welche eine Meta-Ebene zu den einzelnen Systemrealitäten bildet, also diese transzendiert. Andernfalls wären die einzelnen Systemrealitäten gleich Leibnizschen Monaden, deren scheinbare Interaktion nur durch eine metaphysische Synchronisation (prästabilisierte Harmonie, vgl. Kapitel 2.4.4) erklärbar wäre. Die Interaktion zweier Systeme geschieht innerhalb eines Metasystems, und so weiter. Die Welt ist das größte Metasystem, das alle anderen einschließt.

Die Welt präsentiert sich als Mannigfaltigkeit, sie ist unausschöpfbar und multidimensional. Diese Dimensionen bezeichne ich als *Aspekte der Wirklichkeit*. Scheinbar widersprüchliche Aspekte können bei Miteinbeziehen weiterer Dimensionen dialektisch aufgehoben werden. Diese Vorstellung wird in der Dimensionalontologie von Viktor E. Frankl deutlich ([Fra02], S.50ff, S.203ff).

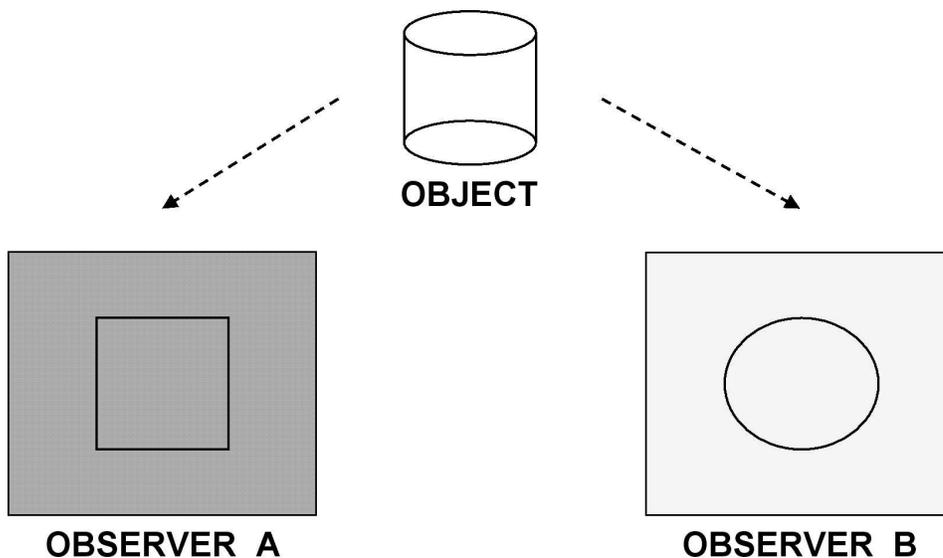


Abbildung 5.1: Dimensionalontologie von Frankl

In dieser Darstellung steht der Zylinder für ein Realobjekt (eine Teilmenge der Wirklichkeit). Kreis und Quadrat stellen Abbilder dieses Objektes dar, die scheinbar in Widerspruch zueinander stehen. Der Grund dafür ist, dass sie beide nur zwei Dimensionen (Aspekte) des Objekts berücksichtigen, also eine Dimension verlieren. Sobald aber nun neues Wissen erworben wird (weitere Aspekte von den Systemen erkannt werden), verschwindet der Widerspruch und ein adäquateres Bild des Objekts entsteht.

5.2.2 Materialistischer Monismus

Es gibt eine einzige Substanz der Welt, diese ist die Materie in ihrer Bewegung (*Prozessmaterie*).

Diese Behauptung soll nun beleuchtet werden. Unter *Substanz* wird der „einheitliche, unveränderliche, beharrende Träger der mannigfaltigen, wechselnden Erscheinungen der objektiven Realität“ verstanden ([BK74], S.1192f). Der Substanzbegriff geht auf Aristoteles zurück, der darunter das Seiende verstand, über das das Übrige ausgesagt wird, während es selbst über kein anderes ausgesagt wird ([Ari99], Z3).

Im klassischen Dialektischen Materialismus wird der Substanzbegriff jedoch abgelehnt, da er für Engels mit dem mechanischen Materialismus verknüpft ist, demzufolge alle Existenz auf einen ewigen, unveränderlichen Stoff reduziert werden kann. Ernst Bloch entwickelte die Vorstellung der Prozess-Substanz, deren Bewegung nicht-deterministisch ist und so über den mechanistischen Substanzbegriff hinausgeht.

Wie läßt sich argumentieren, alle Erscheinungen in der Welt gründen sich auf *eine* Substanz? Der Dualismus von Descartes geht von zwei unterschiedlichen Substanzen (*res extensa* und *res cogitans*, vgl. Kapitel 2.4.3.) aus. Es stellt sich nun die Frage, wie sich zwei getrennte Substanzen beeinflussen können; schließlich ist es dem Geist möglich, materielle Sachverhalte wahrzunehmen sowie auf die materielle Welt zu wirken. In der Monadologie von Leibniz wird der Sachverhalt noch komplizierter. Leibniz nimmt die Existenz von unendlich vielen verschiedenen Substanzen, den Monaden, an (vgl. Kapitel 2.4.4.). Diese sind selbst unausgedehnt in Raum und Zeit und stehen in keinerlei Wechselwirkung zueinander („Monaden sind fensterlos“). Dadurch wird erneut das Problem aufgeworfen, wieso die verschiedenen Substanzen offenbar doch kongruentes Verhalten zeigen.

Zurückgreifend auf Geulincx führt Leibniz das Konzept von der *prästabilierten Harmonie* ein: Die einzelnen Monaden sind alle Abbilder einer vollkommenen Monade (Gott) und gleichen daher perfekten Uhrwerken, die, einmal (durch den Schöpfungsakt) synchronisiert, für immer die gleiche Zeit anzeigen, ohne miteinander in Verbindung zu stehen ([Rus96], S.289ff).

Der kosmischen „Overhead“, den solch eine Theorie produziert, sowie die notwendige Annahme eines Schöpfers (Uhrmachers) und eines Schöpfungsaktes scheinen mir gegen jegliche Ontologie, welche von mehr als einer Substanz ausgeht, zu sprechen (Ockhams Rasiermesser). Die Annahme, es existiere keine Substanz, erscheint mir unbefriedigend, da bei jeglichem Wandel, bei jeder Änderung auch etwas konstant bleiben muss. Ansonsten könnte man nicht von Werden sprechen, sondern nur von einer zufälligen Abfolge von unzusammenhängenden Mannigfaltigkeiten.

Materie ohne Bewegung ist nicht denkbar. Die Grundformen der Bewegung sind *Attraktion* und *Repulsion* (Engels). Bewegung erfordert Zeit und Raum. Weder Zeit, Raum noch Materie sind ohne die anderen beiden Kategorien denkbar. Die Materie in ihrer Bewegung beinhaltet jegliche Dynamik, von einfachen Translationsbewegungen der Körper bis zu Phänomenen wie Leben und Bewusstsein. Im Besonderen ist die Fähigkeit zur Selbstorganisation Teil dieser Bewegung.

5.2.3 Systemparadigma

Der hier verwendete Systembegriff ist kein idealistischer Begriff, sondern bezeichnet etwas, das in der Welt existiert. Systeme existieren als Regionen stärkerer Kohäsion im Universum (John Collier), bilden so eine Grenze zu ihrer Umwelt aus. Sie äußern sich als Phänomene im menschlichen Wahrnehmungsprozess, der einen Spezialfall von systemischer Interaktion darstellt.

Es stellt sich nun die Frage, was unter einem Systemansatz oder einer Systemtheorie zu verstehen ist. *Ramsés Fuenmayor* gibt folgende Definition:

A “systems approach” means to “approach” or “see’ things (or phenomena) as systems – a simple answer indeed. [...] Thus, it could be said that a systems approach is concerned with studying and designing (not just “perceiving”) phenomena as if they were “systems”. [...] Is there anything that is not a system? Two possible types of nonsystems can be inferred from the previous definition:

1. Indivisible entities (e.g., subatomic particles) which are not constituted by a plurality of elements and
2. Sets of elements which do not form a "collective unit"

[Fue91]

Die subatomischen Partikel stellen jedoch keine Phänomene dar, da sie sich uns nicht zeigen, sondern vielmehr ein metaphysisches Konzept. Genauso gibt es keine Entsprechung für eine Menge von nicht zusammenhängenden Entitäten (z.B. ein Bleistift, eine Kuh und mein Gefühl der Freude) in der Anschauung. Daher kann postuliert werden, dass alle Materie in Form von Systemen auftritt. Die Welt ist die Totalität aller existierenden Systeme. Es gibt keine Materie (es gibt „nichts“) außerhalb von Systemen. Das System ist die allgemeinste Abstraktion des Objektbegriffs.

Da jedes System aus Subsystemen besteht, und es selbst wieder Komponente eines übergeordneten Supersystems ist, stellt sich die Wirklichkeit als hierarchischer Stufenbau der Systeme dar. Jede Beobachtung geschieht in Bezug auf ein beobachtendes System: „Alles Gesagte ist von jemandem gesagt“ ([MV87], S.32). Die Wahl der Systemperspektive entscheidet über Mikro- und Makro-Ebene. Was allerdings objektiv gegeben bleibt, ist die Hierarchie der verschiedenen Ebenen.

5.2.4 Kausalität und Emergenz

Ereignisse im Universum hängen zusammen. Für jedes Ereignis gibt es eine Zahl von notwendigen, jedoch keine hinreichenden Gründe. Die Bewegung der Materie erfolgt nicht strikt deterministisch.

Diese Annahmen wurden bereits in Kapitel 4 abgehandelt.

5.3 Modell der Interaktion von Systemen

Unter *Widerspiegelung* versteht man eine Beziehung zwischen zwei Gegebenheiten G und G' , derart dass G und G' nicht identisch sind, G unabhängig von G' existiert, G' abhängig von G existiert und G' mit G übereinstimmt ([BK74], S.1298). Es stellt sich die Frage, welcher Art diese *Übereinstimmung* zwischen Bild und Urbild ist. Wie kann ein Sachverhalt einen anderen *bezeichnen*, stellvertretend für diesen stehen,

wenn doch beide verschieden sind? Offenbar muss eine Art von Homomorphismus bestehen, wobei bestimmte Aspekte in Bild und Urbild *dieselben* sind.

Die Widerspiegelungsfähigkeit ist eine Eigenschaft der Materie, die durch die Kausalverknüpfung von Ereignissen im Universum erklärt werden kann. Für jedes Ereignis gibt es zureichende Gründe, die sich im Stattfinden jenes Ereignisses zeigen (abbilden). Bei einer großen Menge zusammenhängender Ereignisse wird die Widerspiegelung exakter, da die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Entitäten neue Zusammenhänge in der Widerspiegelung erzeugen.

Der Materie- und Energieaustausch offener Systeme kann geeignet sein, in einem beteiligten System einen Selbstorganisationszyklus hervorzurufen, der eine gerichtete Widerspiegelung (Re-Konstruktion) erzeugen kann. Dieser Energie- und Materieaustausch findet objektiv statt, kann also auch objektive Sachverhalte widerspiegeln.

5.3.1 Das Wirkungsfeld

Insofern das System ein offenes ist (d.h. es gibt Energie- und/oder Materieflüsse zwischen System und Umwelt), weist es ein *Wirkungsfeld* auf. Das Wirkungsfeld ist jener Teil der Umwelt, den das System potentiell beeinflussen und von dem es beeinflusst werden kann. *Norbert Fenzl* liefert folgende Definition:

Das Wirkungsfeld eines offenen Systems ist die für die Aufrechterhaltung seiner systemspezifischen Selbstorganisation relevante Umwelt, die mit der Struktur des Systems rückgekoppelt ist.

Erläuterungen. Das Wirkungsfeld ist Teil aller offenen und geschlossenen Systeme. Isolierte Systeme haben kein Wirkungsfeld, dadurch fallen System- und Strukturgrenze zusammen. Bei geschlossenen Systemen, die nur Energie mit ihrer Umwelt austauschen, sprechen wir von einem Wirkungsfeld erster Ordnung. Offene Systeme, die sowohl Energie als auch Materie austauschen, besitzen Wirkungsfelder zweiter Ordnung.

([Fen98], S.109)

Interaktion zwischen Systemen kann sich nur in einer gemeinsamen Schnittmenge ihrer Wirkungsfelder abspielen. Wirkungsfelder können sich überschneiden, nicht

aber Systemkerne selbst, da sie dadurch verschmelzen, das heißt ihre Systemgrenzen und damit ihre Existenz als Systeme aufgeben würden.¹

Interaktionen zwischen Systemen spielen sich immer innerhalb eines Meta-Systems ab. Das größte denkbare Metasystem ist die Welt, die Totalität aller Systeme und ihrer Verbindungen.

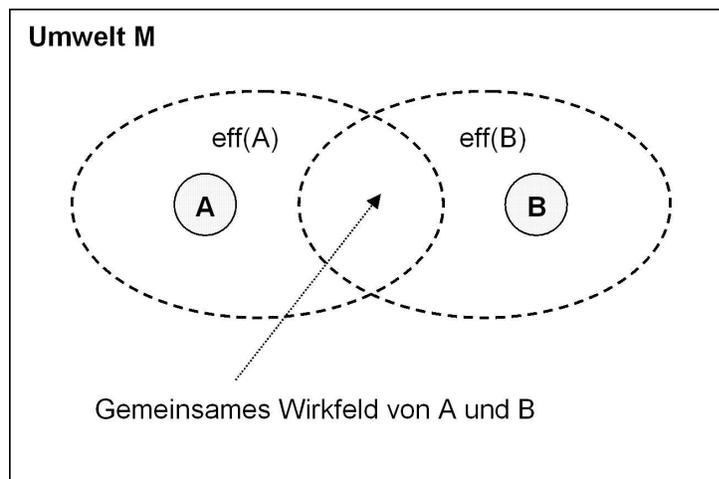


Abbildung 5.2: Wirkungsfelder offener Systeme

5.3.2 Interaktion

Information existiert immer nur in Bezug auf ein oder mehrere in Wechselwirkung stehenden Systeme. Informationsübertragung und -verarbeitung ist immer ein aktiver, objektiver Prozess zwischen dem System und seiner Umwelt.

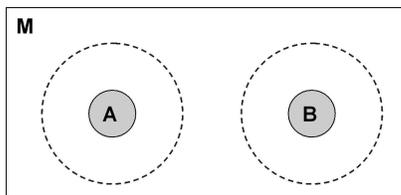
Das nachrichtentechnische Informationsmodell von Shannon und Weaver impliziert, dass Information eine externe Qualität darstellt (vgl. Kapitel 3.3). Diese wird vom Sender codiert, über einen Kanal in physikalischer Form übertragen und vom Empfänger decodiert. Missverständnisse oder Kommunikationsstörungen sind so auf ein Rauschen im Kanal oder auf eine Nicht-Übereinstimmung von Codier- und

¹Es existieren solche Vorgänge. Man denke zum Beispiel an die Befruchtung der Eizelle oder an eine Kollision von Himmelskörpern. Allerdings treten auch hier die beteiligten Systeme zuerst in Interaktion, bevor sie durch Attraktion verschmelzen. Die beteiligten Systeme werden dabei zerstört, ein neues System entsteht.

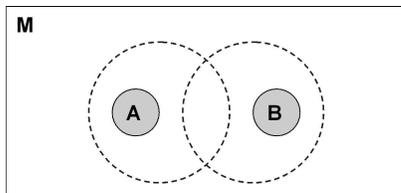
Decodiervorschriften zurückzuführen. Im hier dargestellten Modell geschieht keine Informationsübertragung, sondern eine *Re-Konstruktion*. Der Akt des Empfangs der Information verändert die interne Struktur des empfangenden Systems.

Der Begriff *Interaktion* steht hier für die allgemeinste Klasse von rückgekoppelten Beziehungen zwischen Systemen. Insbesondere sind Kategorien wie Kommunikation, Kooperation, Symbiose oder Koevolution Formen von Interaktion. Die folgende Darstellung illustriert, wie aufgrund der hier vertretenen Theorie Interaktion zwischen zwei Systemen abläuft.

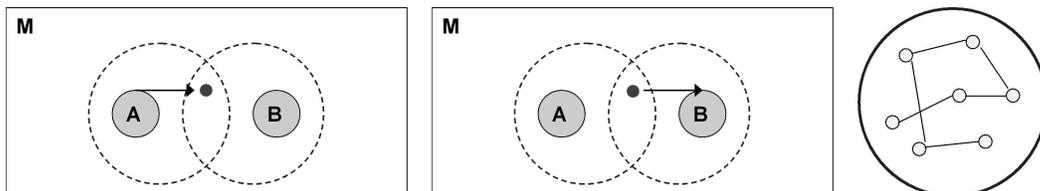
1. Die Systeme *A* und *B* sind von einander getrennt, die Wirkungsfelder überschneiden sich nicht. Beide sind *firstness* im Sinne von *Charles S. Peirce* [Pei55].



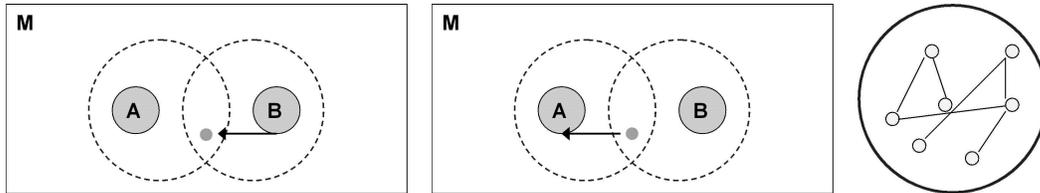
2. Die Systeme gelangen in raumzeitliche Nähe, sodass sich ihre Wirkungsfelder überlappen können. Nun ist Interaktion möglich. *A* wird *secondness* von *B* und *vice versa*.



3. Ein „Zeichen“ in Form von Energie- und/oder Materiefluß wird von *A* in sein Wirkungsfeld exportiert, von wo es *B* erreicht. Als Reaktion darauf muss *B* seine *interne Systemstruktur* an die Änderung in seiner Umwelt anpassen. Dies geschieht entweder passiv durch Deformation (einfache Systeme) oder im Rahmen eines Selbstorganisationszyklus.



4. Als Folge emittiert *B* seinerseits ein Zeichen, welches das System *A* erreichen kann und es anregt, seine eigene Systemstruktur zu adaptieren. Dieser Prozess wiederholt sich in einer *Rückkopplungsschleife*, bis ein bestimmter Grad an *Kohärenz* zwischen *A* und *B* erreicht wird. Nun bilden die beiden Systeme ein Meta-System, eine *thirdness*.



Da dieser Prozess objektiv abläuft, ist er dazu geeignet, Widerspiegelungen von externen Fakten in den Systemstrukturen der beteiligten Systeme zu erzeugen. Diese sind keine reinen Konstruktionen im Sinne des radikalen Konstruktivismus, sondern stehen im Sinne der Onto-Epistemologie in einem ontologisch bestimmten Verhältnis zu dem externen Sachverhalt, den sie *bezeichnen*.

Der hier verwendete Begriff Interaktion steht hier für die allgemeinste Klasse von rückgekoppelten Materie- und Energieflüssen zwischen Systemen. Insbesondere sind Kategorien wie Kommunikation, Kooperation, Symbiose, Koevolution oder *Erkenntnis* Spezialformen der Interaktion zwischen allgemeinen Systemen, wie sie hier dargestellt wurde.

5.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel habe ich versucht, eine mögliche allgemeine System-Ontologie und -Epistemologie zu skizzieren, was zu folgenden Ergebnissen führte:

- Ontologie und Epistemologie sind zirkulär erknüpft und bilden eine Einheit der Möglichkeiten des Menschen, sich ein Bild von der Welt zu machen.
- Auf der Basis von Materialismus, Dialektik, Systemtheorie und einem dynamischen Kausalitätsbegriff lässt sich eine Onto-Epistemologie entwerfen, in der Interaktion offener Systeme ein objektiv stattfindender Prozess ist, der geeignet ist, Widerspiegelungen externer Fakten in der Struktur der beteiligten Systeme zu erzeugen.

- Damit ist insbesondere auch die Bedingung dafür, dass der Mensch sich ein Bild von der Welt machen kann, durch diese Theorie gegeben.

Es ist zu ergänzen, dass ich bei der Konstruktion der Theorie bereits implizit von zwei Annahmen ausgegangen bin:

1. Es gibt eine Welt außerhalb des Subjektes.
2. Diese ist für das Subjekt erkennbar.

Beide Annahmen sind nicht beweisbar, und ich betrachte sie vielmehr als Axiome, die unverzichtbar sind, um überhaupt Wissenschaft im Sinne einer Weltaneignung durch den Menschen betreiben zu können. Geben wir auch nur eine dieser Voraussetzungen auf, so landen wir beim Solipsismus oder beim absoluten Skeptizismus. Auch wenn es dem *Verstand* unmöglich ist, hierfür Beweise zu finden, so sagt uns doch die *Vernunft*, dass wir durchaus Grund zu diesen Annahmen haben.

Kapitel 6

Schlusswort

In der vorliegenden Arbeit wurden 2600 Jahre Wissenschaftsgeschichte gestreift und eine Vielfalt an Ideen zur Konstitution eines dynamischen Weltbildes betrachtet. Es wurde eine Ontologie und Epistemologie skizziert, in der das Werden der Welt von uns verstanden werden kann. Jedoch beschränkt sich das hier Vorgetragene größtenteils auf theoretische Untersuchungen. Nun gilt es, die hier entwickelten Ideen auf ihre Anwendbarkeit in der Praxis zu untersuchen, was jedoch den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte.

Ein Gebiet, das ich ausklammern musste, das ich jedoch für äußerst wichtig zur Konstruktion einer vereinheitlichte philosophische Theorie von Raum, Zeit, Materie und Information halte, ist die moderne Physik in Form von Relativitätstheorie und Quantenmechanik. Die Integration dieser Theorien in das Netzwerk von Systemtheorie, Selbstorganisationslehre und komplexer Kausalität wird voraussichtlich Thema meiner kommenden Arbeiten sein.

Literaturverzeichnis

- [Ari99] ARISTOTELES: *Metaphysik*. Reinbek bei Hamburg : Rowohlt, 1999
- [Ber49] BERTALANFFY, Ludwig von: *Das biologische Weltbild. Die Stellung des Lebens in Natur und Wissenschaft*. Wien ; Köln : Böhlau Verlag, 1949
- [Ber70] BERTALANFFY, Ludwig von: *...aber vom Menschen wissen wir nichts. Robots, Men and Minds*. Düsseldorf ; Wien : Econ Verlag, 1970
- [BK74] BUHR, Manfred ; KLAUS, Georg: *Philosophisches Wörterbuch*. Leipzig : VEB Bibliographisches Institut, 1974
- [BK03] BRUNNER, Klaus A. ; KLAUNINGER, Bert: An Integrative Image of Causality and Emergence. In: ARSHINOV, Vladimir (Hrsg.) ; FUCHS, Christian (Hrsg.): *Causality, Emergence, Self-Organisation*. Moscow : NIA-Priroda, 2003, S. 23–35
- [Blo85] BLOCH, Ernst: *Experimentum Mundi. Frage, Kategorien des Herausbringens, Praxis*. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1985
- [Cas94] CASSIRER, Emanuel: Formproblem und Kausalproblem. In: *Zur Logik der Kulturwissenschaften. Fünf Studien*. Darmstadt, 1994
- [Cla72] CLARK, R. W.: *Einstein: The Life and Times*. New York : Avon, 1972
- [DLS91] DALFEN, Joachim ; LAHMER, Karl ; SOMMER, Gerhard: *Griechische Philosophie. Ursprung und Grundlage des europäischen Denkens*. Wien : Holder-Pichler-Tempsky, 1991
- [Eng62] ENGELS, Friedrich: Dialektik der Natur. In: *Marx/Engels Werke, Band 20*. Berlin : Dietz Verlag, 1962, S. 305–570

- [Fen98] FENZL, Norbert: System, Wirkungsfeld und Information. In: STOCKINGER, Gottfried (Hrsg.): *Information und Selbstorganisation. Annäherungen an eine vereinheitlichte Theorie der Information*. Innsbruck ; Wien : Studien Verlag, 1998, S. 103–140
- [FH97] FLEISSNER, Peter ; HOFKIRCHNER, Wolfgang: Entropy and Its Implications for Sustainability. In: DRAGAN, J.C. (Hrsg.) ; DEMETRESCU, M.C. (Hrsg.) ; E.K., Seifert (Hrsg.): *Implications and Applications of Bioeconomics. Proceedings of the Second International Conference of the E.A.B.S.* Milano : Edizioni Nagard, 1997, S. 147–155
- [Foe85] FOERSTER, Heinz von: *Sicht und Einsicht: Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie*. Braunschweig : Vieweg, 1985
- [Foe03] FOERSTER, Heinz von: Das Konstruieren einer Wirklichkeit. In: WATZLAWICK, Paul (Hrsg.): *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus*. München ; Zürich : Piper, 2003, S. 39–60
- [Fra02] FRANKL, Viktor E.: *Der Mensch vor der Frage nach dem Sinn*. 14. Auflage. München : Piper, 2002
- [Fue91] FUENMAYOR, Ramsés: The Oblivion of Churchman's Plea for a Systems Approach to World Problems. (1991)
- [Gid84] GIDDENS, Anthony: *The constitution of society*. Cambridge : Polity Press, 1984
- [Gle90] GLEICK, James: *CHAOS - die Ordnung des Universums. Vorstoß in Grenzbereiche der modernen Physik*. München : Droemersch Verlagsgesellschaft Th. Knauer Nachf., 1990
- [Glo96] GLOY, Karen (Hrsg.): *Natur- und Technikbegriffe: historische und systematische Aspekte: von der Antike bis zur ökologischen Krise, von der Physik bis zur Ästhetik*. Bonn : Bouvier, 1996
- [Hak95] HAKEN, Hermann: *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken*. Hamburg : Rowolth, 1995
- [Heg86] HEGEL, G.W.F.: *Phänomenologie des Geistes*. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1986

- [Hof79] HOFSTADTER, Douglas R.: *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. Basic Books, 1979
- [Hof98] HOFKIRCHNER, Wolfgang: Information und Selbstorganisation. Zwei Seiten einer Medaille. In: STOCKINGER, Gottfried (Hrsg.): *Information und Selbstorganisation. Annäherungen an eine vereinheitlichte Theorie der Information*. Innsbruck ; Wien : Studien Verlag, 1998, S. 69–102
- [Kle98] KLEIN, Hans-Dieter: *Geschichtsphilosophie. Eine Einführung*. Wien : Literas, 1998
- [KM97] KELLER, R. ; MENGES, K.: *Emerging Structures in Interdisciplinary Perspective*. Tübingen : Narr, 1997
- [Las01] LASZLO, Ervin: Interview by Barbara Vogl. In: *Patterns* (2001), Nr. 1
- [Mar68a] MARX, Karl: Ökonomisch-philosophische Manuskripte. In: *Werke, Ergänzungsband, 1. Teil*. Berlin : Dietz Verlag, 1968
- [Mar68b] MARX, Karl: Thesen über Feuerbach. In: *Marx/Engels Werke, Band 3*. Berlin : Dietz Verlag, 1968, S. 533–535
- [Min95] MINGERS, John: *Self-Producing Systems*. New York : Plenum Press, 1995
- [Mon71] MONOD, Jacques: *Chance and Necessity*. New York : Knopf, 1971
- [MV87] MATURANA, Humberto R. ; VARELA, Francisco J.: *Der Baum der Erkenntnis: Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens*. Scherz Verlag, 1987
- [Pä98] PÄTZOLD, Detlev: Wandlungen des Kausalitätsbegriffs. In: *Dialektik* (1998), Nr. 2
- [Pei55] PEIRCE, Charles Sanders: Logic as Semiotic: The Theory of Signs. In: *Philosophical Writings of Peirce*. New York, Dover : Justus Buchler, 1955, S. 98–119
- [Pen91] PENROSE, Roger ; SPRINGER, Michael (Hrsg.): *Computerdenken: die Debatte um künstliche Intelligenz, Bewusstsein und die Gesetze der Physik*. Heidelberg : Spektrum der Wissenschaft, 1991
- [Pop95] POPPER, Karl R.: *Eine Welt der Propensitäten*. Tübingen : J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), 1995

- [Pri79] PRIGOGINE, Ilya: *Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften*. München, Zürich : Piper, 1979
- [Ros00] ROSEN, Robert: *Essays on Life Itself*. New York : Columbia University Press, 2000
- [Rus96] RUSSELL, Bertrand ; FÖLDES-PAPP, Károly (Hrsg.): *Denker des Abendlandes. Eine Geschichte der Philosophie*. Bindlach : Gondrom, 1996
- [Sal96] SALTHER, Stanley N.: *Development and Evolution. Complexity and Change in Biology*. Cambridge, Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 1996
- [San90] SANDKÜHLER, Hans Jörg: *Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften*. Hamburg : Felix Meiner Verlag, 1990
- [Sch87] SCHMIDT, Siegfried (Hrsg.): *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1987
- [Sch92] SCHLEICHERT, Hubert: *Der Begriff des Bewusstseins. Eine Bedeutungsanalyse*. Frankfurt am Main : Vittorio Klostermann, 1992
- [SW63] SHANNON, Claude E. ; WEAVER, Warren: *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana and Chicago : University of Illinois Press, 1963
- [Wat91] WATZLAWICK, Paul ; KRIEG, Peter (Hrsg.): *Das Auge des Betrachters. Beiträge zum Konstruktivismus. Festschrift für Heinz von Foerster*. München : Piper, 1991
- [Wat03] WATZLAWICK, Paul (Hrsg.): *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus*. München ; Zürich : Piper, 2003
- [Wie61] WIENER, Norbert: *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 1961
- [Wit84] WITGENSTEIN, Ludwig: *Tractatus logico-philosophicus*. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1984