

**Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung  
der Universität Osnabrück**

**Herausgeber: Prof. Dr. Michael Matthies**

**Beitrag Nr. 28**

**Chaos und Ordnung in Natur und Gesellschaft**

<http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/texte/028-proseminar04.ps.gz>

**Horst Malchow (Hrsg.)**

**Dezember 2004**



**ISSN-Nr. 1433-3805**

**Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung  
der Universität Osnabrück**

**ISSN 1433-3805**

Herausgeber

Prof. Dr. Michael Matthies  
Universität Osnabrück  
Institut für Umweltsystemforschung  
Artilleriestr. 34

D-49069 Osnabrück

Tel. 0541/969-2575  
Fax. 0541/969-2599

E-Mail: [matthies@uos.de](mailto:matthies@uos.de)  
<http://www.usf.uni-osnabrueck.de>

© USF – Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück

Dieser Beitrag enthält die schriftlichen Ausarbeitungen der Studierenden zum Proseminar Angewandte Systemwissenschaft im Sommersemester 2004. Es wurde das Buch *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*, herausgegeben von Günter Küppers (Reclam, Stuttgart 1996), besprochen.

## Inhaltsverzeichnis

1. Anne Dietzel	
Sagenhaftes Chaos: Der Ursprung der Welt im Mythos	5
2. Christian Ehling	
Vom Mythos zum Logos: Chaos und Selbstorganisation bei den Griechen	15
3. Sven Ernesti	
Natürliche Ursachen von Ordnung und Organisation	25
4. Pablo Dudenhöfer & Geeske Scholz	
Chaos und Ordnung, Zufall und Notwendigkeit	33
5. Matthias Kalkuhl	
Chaos: Unordnung im Reich der Gesetze	39
6. Florian Bruns und Jochen Sprickerhof	
Der Synergetische Computer	49
7. Sascha Holzhauer	
Individuelle Einstellungen und kollektives Verhalten	59
8. David Bichat und Nils Schuhmacher	
Ordnung aus dem Chaos: Kooperative Gehirnprozesse bei kognitiven Leistungen	83
9. Anita Körner	
Erleben und Verhalten in der Polarität von Chaos und Ordnung	101



# 1. Sagenhaftes Chaos: Der Ursprung der Welt im Mythos nach Rainer Paslack

Anne Dietzel  
14. April 2004

**Kurzzusammenfassung.** In dieser Arbeit soll es im Rahmen der Frage nach Ordnung aus Chaos um die allererste Ordnung, also die Schöpfung gehen. Dabei wird das Ursprungsdenken verschiedenster Völker betrachtet, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausgestellt. Bei der schier endlosen Zahl an unterschiedlichen Vorstellungen vom Anfang der Welt werden zwei Schöpfungsmythen detailliert betrachtet, zum einen der ägyptische, zum anderen der jüdische und damit christliche Ursprungsgedanke. Als Grundlage dient das gleichnamige erste Kapitel des von Günther Küppers herausgegebenen Buches „Chaos und Ordnung - Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft“, eine Darstellung von Rainer Paslack.

## Einleitung - Ordnung aus dem Nichts?

Das Grundproblem aller Schöpfungsmythen ist wohl die Frage nach dem Ursprung der Ordnung. Dabei gehen sie fast ausnahmslos davon aus, dass diese Ordnung nicht aus dem bloßen Nichts sondern aus einer Art Weltenkeim, einer Urmaterie entstanden ist. Wie man sich diese Urmaterie genau vorstellte, wird im Weiteren noch näher erläutert werden. Den meisten Schöpfungsmythen gemeinsam ist aber zumindest die Vorstellung, dass der Weltenkeim sich entweder aus sich selbst heraus in einer Art Selbstorganisation geordnet hat oder, die zweite häufig auftretende Variante, durch das Einwirken einer Gottheit geordnet wurde. Indem die Weltentstehungsmythen die Schöpfung zu erklären suchen, zeigen sie innerhalb der Mythen der Menschheit in besonderer Weise die Verbindung und die daraus resultierende Abhängigkeit eines weltlichen und eines göttlichen Bereiches auf.

## Am Anfang war... das Chaos

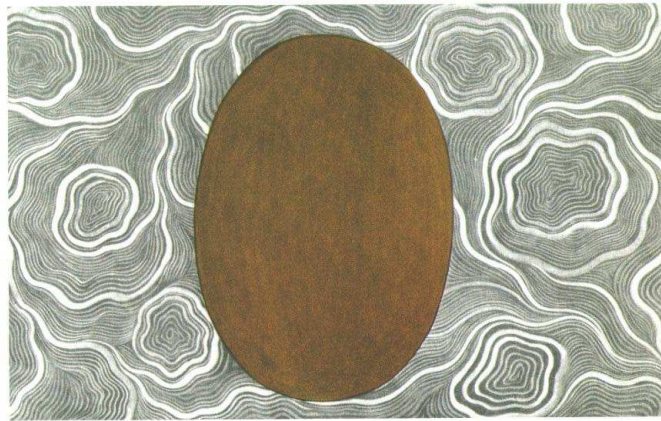
Das Chaos wird in den Schöpfungsmythen oft als der Ursprung der Weltordnung gesehen. Dabei ist der Begriff Chaos aber nicht wie im alltäglichen Sprachgebrauch als ein wüstes Durcheinander aller Dinge, das Fehlen jeglicher Ordnung oder gar Zerstörung zu sehen. In diesem Kontext heißt Chaos vielmehr chaotischer Urzustand, ein produktives Chaos, aus dem sowohl Ordnung als auch Unordnung entstehen kann. In diesem Zusammenhang wird das Chaos meistens als undifferenzierter, gestaltloser Urstoff, der dem Nichts verwandt ist, beschrieben. Im Urstoff sind zunächst noch alle Unterschiede miteinander vermischt. Dabei hatten die meisten Völker sehr genaue, oftmals auch sehr plastische, Vorstellungen von dieser Urmaterie. Die drei häufigsten immer wiederkehrenden Bildkomplexe sollen hier genannt werden:

## Das kosmogonische Ei

Die Vorstellung, dass am Anfang aller Zeiten ein Ei existierte, in dessen Mitte sich ein Keim befand, aus dem dann die Welt hervorging, spielt in China, Japan, Indien, Polynesien und Afrika eine zentrale Rolle. Im kosmogonischen<sup>1</sup> Ei sind zunächst noch alle Unterschiede miteinander vermischt. Es wird häufig von einem vogelartigen 'Höchsten Wesen' auf das Urgewässer gelegt und ausgebrütet.

Ein Beispiel:

(Tempera, Indien, ca. 1775-1880, aus [4], S.68)



In den indischen Mythen um die Entstehung des Kosmos herrscht am Anfang das formlose Chaos der Elemente, in ihm gewinnt dann das goldene Ei des Schöpfergottes Brahma die erste Gestalt.

## Das Urgewässer

In vielen anderen Weltentstehungsmythen ist das Urgewässer selbst das Urchaos. Dieses wird häufig personifiziert in der Gestalt eines Seeungeheuers. Ein Beispiel ist etwa die mesopotamische Tiamat, die in einem Kampf mit dem Gott Marduk ihr Leben verliert und aus deren zerstückeltem Leib der siegreiche Gott, der aber seinerseits von Tiamat abstammt, das Universum zusammenfügt. Ein ähnliches Bild findet sich auch in einem der ägyptischen Ursprungsgedanken, der später noch näher erläutert wird. Verwandte Mythen beschreiben etwa das Abtauchen eines Vogels oder eines amphibischen Lebewesens in das Urgewässer auf Befehl eines Gottes, das Herausbringen von Urschlamm, aus dem der Gott die Erde formt, die sich dann selbsttätig rasch bevölkert und vergrößert. Diese Vorstellung ist vor allem Teil vieler indianischer Mythen.

## Die uranfängliche Unordnung

Ein letzter Bildkomplex ist weniger plastisch. Oft wird die Urmaterie nämlich auch abstrakter als uranfängliche Unordnung beschrieben. Die Vorstellung von einem großen Durcheinander, wie sie beispielsweise bei den Sumerern zu finden ist, beinhaltet auch, dass Himmel und Erde noch nicht getrennt sind. Hieraus ergibt sich eine Art 'schöpfungsmythologische Konstante'. Die Trennung von Himmel und Erde spielt nämlich in

---

<sup>1</sup>Kosmogonie: Weltentstehungslehre

den meisten Schöpfungsmythen eine zentrale Rolle. Sie ist oft der Beginn des eigentlichen Schöpfungsdramas, der Augenblick, in dem sich das Sein anschiebt, aus dem ungeordneten in den, zumindest nach menschlichem Empfinden, geordneten Zustand überzugehen. Dabei werden Himmel und Erde nicht selten als innig verbunden, etwa als Liebespaar, gedacht. Als Beispiel sollen Yin und Yang, die zentralen Bezugsgrößen des altchinesischen Denkens angeführt werden.

## Yin und Yang

Den Beginn und die Fortsetzung der Welterschöpfung erklären die ursprünglichen Wissenschaften Ostasiens aus der weiblichen Urkraft Yin (dunkel, Erde, Mond, Nacht) und dem männlichen Yang (hell, Himmel, Sonne, Tag). Die große Bedeutung der beiden Urkräfte lässt sich im Folgenden wiederfinden: „Als das Chaos noch die Gestalt eines Hühnereies besaß, schwebte die Gottheit darin bereits umher; Yang und Yin hatten sich damals noch nicht voneinander getrennt, und Himmel und Erde, Sonne und Mond waren mithin noch nicht entstanden.“([1], S.16). Durch die Trennung Yin und Yangs wird dann die Entstehung der Welt eingeleitet. Man umgibt das Sinnbild der beiden gern mit den acht Trigrammen der Wandlung. Es ist dies das Bild der verschiedenen Möglichkeiten, die man aus der Zusammenstellung 24 gerader Linien, von denen die Hälfte in der Mitte ungebrochen ist, gewinnen kann.

(aus [4], S.69)



In obigem Bild bedeuten die Trigramme, die das Symbol von Yin und Yang umgeben, im Uhrzeigersinn von oben angefangen: Himmel, Regen, Wasser/Mond, Berg, Erde, Donner, Feuer/Sonne, Sumpf. Die Gegensätze Himmel-Erde, Donner-Regen, Wasser/Mond-Feuer/Sonne, Berg-Sumpf liegen sich dabei jeweils gegenüber. So erkennt der Betrachter wie aus der ersten Spannung, der Polarität der Kräfte, nach und nach die endlose Vielfalt der Welten entstehen konnte.

## Die Trennung von Himmel und Erde

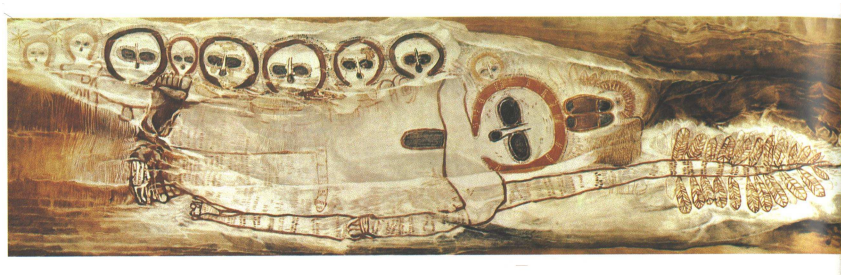
Nicht nur im chinesischen Ursprungsdenken wird die Trennung von Himmel und Erde als eigentlicher Schöpfungsakt gesehen. So gibt es sechs sehr häufig auftretende Bilder die den Übergang vom Chaos zur Ordnung in dieser oder ähnlicher Weise beschreiben. Geht man zurück zum kosmogonischen Ei als einer Art Urmaterie so geschieht dies durch das

Zerbrechen des Eies. Die obere Schalenhälfte wird dann zum Himmel, die untere zur Erde, aus dem Ei-Inhalt entwickelt sich alles Übrige.

Ein zweiter Gedanke geht davon aus, dass die Welt mit ihren unterschiedlichen Facetten durch Zeugung und Geburt erschaffen wurde.

Weiterhin existiert die Vorstellung, dass ein vorweltliches Urwesen geopfert wurde, wie auch bei dem bereits erwähnten mesopotamischen Seeungeheuer Tiamat. Ein weiteres Beispiel ist der Urmensch Wandschina, hier von den Australiern der Kimberley-Berge liegend dargestellt:

(aus [4], S.78)



Aus seiner Seite erheben sich, offensichtlich als seine verkleinerten Abbilder, die ersten Menschen.

In den skandinavischen Dichtungen der Edda, teilen die Götter den Urriesen Ymir. Im Grimnismal steht: „Aus Ymirs Fleisch ward die Erde geschaffen, aus dem Schweiß die See, aus dem Gebein die Berge, die Bäume aus dem Haar, aus der Hirnschale der Himmel.“ ([4], S.79). Aus dem Hirn selber entstanden die Wolken, und aus den Augenbrauen wurde Midgard, die Welt der Mitte, die eigentliche Heimat der Menschenvölker.

Viertens wird von einem handwerklichen Gott gesprochen, der beispielsweise aus Schlamm, oder einer anderen Urmaterie, die Erde töpft.

Desweiteren stellten sich einige Völker die Schaffung von Ordnung aus Unordnung als einen Kampf zwischen dem Schöpfergott und einem Chaos-Ungeheuer vor. Auch hierfür sind Tiamat und der Gott Marduk ein Beispiel. Hier siegt die Ordnung sozusagen über das Chaos.

Eine letzte Schöpfungs idee geht von der Erschaffung der Welt durch das schöpferische Wort oder den bloßen Gedanken eines Gottes aus. Dies ist vor allem Teil des jüdischen Schöpfungsmythos, der als zweites Beispiel noch näher beleuchtet werden soll. Der Vorgang wird in dem berühmten Fresko Michelangelos dargestellt:

(Sixtinische Kapelle, Vatikan, aus [4], S.71)





Die göttliche Urkraft bringt durch Wort und machtvolle Bewegung die Welten hervor, ihre Engel-Begleiter erscheinen als Sinnbilder der kosmischen Energien, die der Gottheit durch alle Ewigkeiten zur Verfügung stehen.

## Schöpfungsmythen - Zwei Beispiele

In diesem Abschnitt sollen nun die ägyptische und die jüdische Kosmogonie genauer beschrieben werden. An einem im christlichen Abendland bekanntem Schöpfungsmythos und einem eher fremden Ursprungsdenken zeigen sich so beispielhaft die große Vielfalt der Vorstellungen vom Erschaffen der Welt, aber auch die konstanten Elemente.

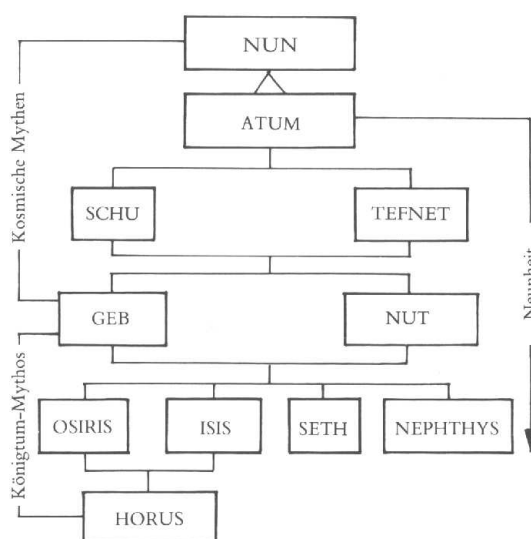
### Das ägyptische Ursprungsdenken

Das ägyptische Ursprungsdenken erstreckt sich über einen riesigen Zeitraum, allein über drei vorchristliche Jahrtausende. Aus diesem Grund gibt es keine einheitliche Mythologie. Die charakteristischen Züge sind aber zum einen der Ursprung der Welt aus einem selbst ursprungslosen Urgewässer, dem Nun. Der Nun wird dabei als eine träge, lichtlose und grenzenlose Wasserwüste beschrieben. Aus diesem Wasser-Chaos entsteht ein Schöpfergott, der auch oft als Sonnengott bezeichnet wird. Dieser schafft die Welt, etwa aus einem Ur-Ei. Manchmal erhebt er sich selbst aus einer Lotusblüte des Nun. Oder er organisiert sich selbst, schafft aus sich heraus andere Urgötter, die dann alles weitere erschaffen. Es folgt die Darstellung der drei großen ägyptischen Schöpfungsmythen, die sich um die Neunheit von Heliopolis, die Achttheit von Hermopolis und den Ptah von Memphis ranken.

### Die Neunheit von Heliopolis

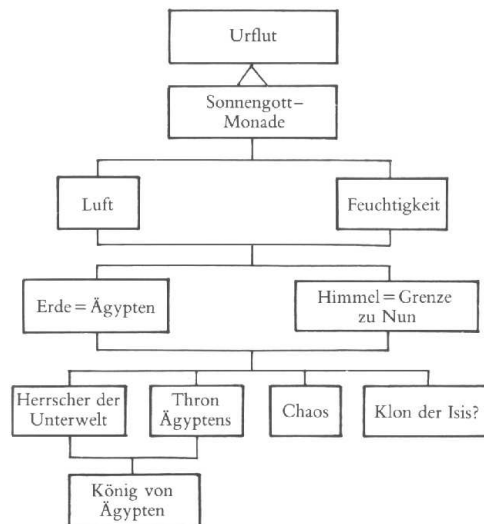
Im 'Alten Reich' (2660-2130 v. Chr.), in dem die Stadt Heliopolis das Kultzentrum war, entwickelte sich der Mythos der Neunheit von Heliopolis:

(aus [2], S.22)



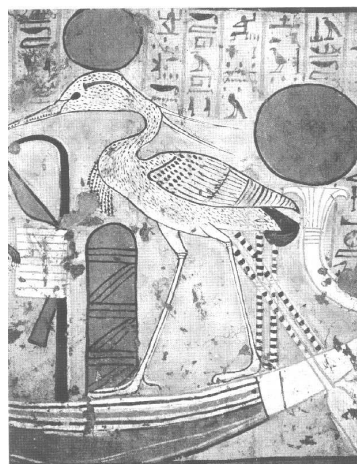
Die Götter von Heliopolis

Dabei entsteigt der Urgott Atum aus dem Urgewässer Nun. Er befriedigt sich selbst und erzeugt so die Zwillingsgottheiten Schu und Tefnet aus sich selbst heraus. Hier kommt also der Aspekt von Ordnung durch Zeugung und Geburt zum Tragen. Schu und Tefnet zeugen des weiteren die Gottheiten Geb und Nut, aus denen wiederum die Götter Osiris, Isis, Seth und Nephthys hervorgehen. (aus [2], S.23)



Zusammen bilden sie die Neunheit und verkörpern das Weltall. Dabei stehen Schu und Tefnet für Luft und Feuchtigkeit, Geb und Nut für Erde und Himmel. Seth symbolisiert das auch weiter existierende Chaos, Nephthys verstand man vermutlich als Klon der Isis. Osiris als Herrscher der Unterwelt und Isis als Thron Ägyptens bringen Horus, den König Ägyptens hervor. Geb und Nut als 'Ureltern' fungieren so als Brücke zwischen den älteren, kosmischen Gottheiten und der politischen Welt. Sie symbolisieren den ewigen Kreislauf von Geburt und Tod, der auf den einmaligen Schöpfungsakt Atums folgt.

(im Grab des Arinefer in Deir el-Medine, West-Theben, um 1300 v. Chr., aus [2], S.25)



In obigem Bild wird der Sonnen- und Schöpfergott Atum als Phönix dargestellt, den man auch Benu nennt (eine Ableitung des Ausdruckes 'sich im Glanz erheben'), ein Symbol für die göttliche Geburt. Der Hauptaspekt dieser Darstellung liegt in der Selbsterschaffung

des Gottes.

(aus [4], S.76)



Im Gegensatz dazu zeigt dieses Bild die Himmelsgöttin Nut und ihren Gemahlen, den Erdgott Geb. Der Beginn der Schöpfung wird hier in der Liebesvereinigung eines Urpaares gesehen, es ist ein Beispiel für die Darstellung von Himmel und Erde als Liebespaar. Die gehobenen Knie und das aufragende Geschlechtsteil des liegenden Mitschöpfers bilden sich nach ägyptischer Vorstellung ab in den Bergen, die sich in den Luftraum, den Gestirnen entgegen, erheben.

### Die Achttheit von Hermopolis

Im 'Mittleren Reich' (2065-1781 v. Chr.) bildete sich in dem damaligen Kultzentrum Hermopolis ein zweiter Schöpfungsmythos heraus. Die zentrale Rolle spielen 4 Urgötterpaare, die aus sich selbst heraus entstanden waren und von denen der eigentliche Welterschöpfer, der Sonnengott Re, abstammte. Der Gott Nun und die Göttin Naunet verkörpern die Urflut, Huh und Hauhet den unbegrenzten Raum, Amun und seine Gemahlin Amaunet die Leere und Unsichtbarkeit, Kuk und Kauket die Finsternis. Zusammen bilden die acht Gottheiten eine Verkörperung des Chaos.

### Ptah von Memphis

Im 'Neuen Reich' (1550-1075 v. Chr.) entwickelte sich schließlich die memphitische und die thebanische Welterschöpfungslehre. Den Gott Ptah von Memphis sah man als den aus dem Urgewässer hervorgegangenen, aus sich selbst entstandenen Schöpfer, wie es in folgendem Zitat deutlich wird: „Gegrüßt seist du Ptah, Leib, der seinen Leib selbst gebaut hat, bevor der Himmel entstand, bevor die Erde entstand.“ ([1], S.21). Auch dieser Gott erschuf sich also vor dem Beginn der eigentlichen Welterschöpfung selber. Er plant die Welt in seinem Herzen und befiehlt dann ihre Existenz. Damit kommt er dem jüdischen und christlichen Gott am nächsten. Oder man ging davon aus, dass er die Welt mit seinen Händen formte. Diesen Vorstellungen gemein ist aber, dass der Gott auch weiterhin einen Einfluss auf die Welt behält und sich um ihre Wesen in Leben und Tod kümmert.

(Ptah von Memphis, Mauermalerei im Grab des Amen-hor-khepeshef (20. Pharaonendynastie, 12. Jh. v. Chr.), aus [4], S.70)



### Der jüdische Schöpfungsmythos

Der Hauptunterschied zu den ägyptischen Kosmogonien liegt darin, dass die jüdische und folglich auch die christliche Weltentstehungslehre nur einen einzigen Schöpfer (Jahwe oder Elohim) enthält, der auch neben sich keine anderen Götter hat. Dieser Gott wird von vornherein als absolut verschieden von Chaos und Schöpfungswerk gedacht, er ist kein Teil seiner Schöpfung. Deutlich wird dieser Aspekt schon in den ersten Versen der biblischen Genesis: „Am Anfang schuf Gott den Himmel und die Erde. Die Erde war wüste und leer gewesen, Finsternis lag über dem Urmeer und ein Gottessturm schwebte über der Wasseroberfläche. Da sprach Gott: Es werde Licht.“ ([1], S.23). Die Selbsterschaffung Gottes wird dabei nicht erwähnt, Gott existiert seit jeher und alles ist von Gott gewirkt. Auch der Kosmos organisiert sich nicht selber, jegliches rückt Gott an seinen festen Platz, eine weitere Entwicklung der Kreaturen ist nicht vorgesehen. Hier zeigt sich ein Beispiel für die Erschaffung durch das bloße Wort eines Schöpfers. Zudem ist die Allmacht Gottes, der absolut geistiger Natur ist, ein wichtiger Aspekt. Sie unterscheidet ihn radikal von allem bloß Materiellen.

### Überwindung des Chaos?

Es wurden nun die Schöpfungsgeschichten zweier unterschiedlicher Völker detaillierter dargestellt. Es bleibt die Frage, ob durch die Schöpfung das Chaos endgültig überwunden wurde. Bei den Ägyptern lässt sich sagen, dass nur ein Bruchteil des Urgewässers Nun in Welt umgewandelt wurde. Der Rest umspült die Welt bis in alle Zeiten. Dies ist eine bildliche Vorstellung des Gedankens, dass die Bedrohung alles Erschaffenen durch das Chaos niemals endet. Bei den Juden greift der Gott zudem in das Weltgeschehen ein. Ein Beispiel ist die Sintflut. Auch hier ist immer klar, dass die Schöpfung widerrufen werden kann und nur Gott ewig währt. Dies zeigt wiederum eine Gemeinsamkeit der meisten Kosmogonien auf. Fast alle frühen Kulturen wissen um die Zerbrechlichkeit und die Bedrohtheit der makrokosmischen Ordnung. Eine unverbrüchliche Verbindung eines göttlichen und eines weltlichen Bereiches existiert, der göttliche Bereich kann in den weltlichen Bereich eingreifen, das Geschaffene dem Menschen wieder wegnehmen. Das Chaos ist ein ständiger

Begleiter und die Welt kann ins Chaos zurückfallen.

Schließen möchte ich meine Ausarbeitung mit einem zum letzten Aspekt passenden kölschen Lied

(„Dat Wasser vun Kölle“, 1983, aus [5]):

„ALS UNSER VATTER DO BOVVEN DE WELT JEMAAT,  
DO HÄT HÄ ET SCHÖNSTE FLECKSCHE ÄÄD HE AN D´R RHING JELAT  
DANN NOHM HÄ DIE KÖLSCHE AN DE HAND UN SAT:  
DAT ES JETZ ÜCH - ET JELOBTE LAND.  
HE KÜNNT IHR KLÜNGELE, BÜTZE, SINGE UN FIERE,  
ÄVVER HALT´ MER ALL DIE SACHE  
ÖM JODDESWELLE EN IHRE,  
UN MAAT OCH NIT NUR EI DEIL DOVUN KAPOTT,  
DENN IHR WEISST, ICH SIN ALLES,  
UN DANN NEMM ICH ET ÜCH WIDDER FOTT.“  
(Bläck Fööss)

Auf Hochdeutsch bedeutet das: Als unser Vater da oben die Welt gemacht hat, da hat er das schönste Fleckchen Erde hier an den Rhein gelegt. Dann nahm er die Kölner an die Hand und sagte: Das gehört jetzt euch, das gelobte Land. Hier könnt ihr klüngeln (Übersetzung nicht möglich), küssen, singen und feiern. Aber haltet mir alle Sachen um Gottes Willen in Ehren und macht auch nicht nur ein Teil davon kaputt. Denn ihr wisst, ich sehe alles, und dann nehme ich es euch wieder weg...

## Literatur

- [1] Günther Küppers/Rainer Paslack u.a. Chaos und Ordnung - Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft, Reclam Stuttgart, 1997
- [2] George Hart. Ägyptische Mythen, Reclam Stuttgart, 1993
- [3] Anne Birrell. Chinesische Mythen, Reclam Stuttgart, 2002
- [4] Sergius Golowin. Die großen Mythen der Menschheit, Herder, 1998
- [5] Bläck Fööss. Et is zwanzig Johr genau jetz her/Booklet, EMI Electrola, 1990



## 2. Vom Mythos zum Logos: Chaos und Selbstorganisation bei den Griechen

nach Rainer Paslack

Christian Ehling  
21. April 2004

### Einleitung

Als um 600 vor Christus die Philosophie bei den Griechen erwachte,<sup>2</sup> fand sie sich unversehens in einer Auseinandersetzung mit einer schon bestehenden Weltansicht versetzt, diese Weltansicht, die wir Mythos und mythisch nennen. Auch innerhalb anderer europäischer Geschichtsgänge ist das philosophische und wissenschaftliche Denken nicht das Erste, sondern ist eine Gegenwendung gegen eine Weltansicht, welche die Griechen mit den anderen Völkern, wobei natürlich jedem Volk seine eigene Interpretation zu geschrieben werden muß, teilte und von der die Menschheit bis dahin beherrscht wurde. Das Gesetz, dem ab diesem geschichtlichen Wendepunkt das philosophische und wissenschaftliche Denken folgt, trägt den Namen "Logos". Seitdem stehen "Mythos" und "Logos" als Gegenworte gegeneinander. Sprichwörtlich sagt man auch, der Mythos wurde durch den Logos abgelöst. Der erste Schritt diese Entwicklung nachvollziehen zu können, ist sicherlich, sich über die Bedeutung der beiden Schlüsselwörter klar zu werden. Diese beiden Worte haben im altgriechischen zunächst einmal den gleichen Wortstamm und bedeuten "das Wort, die Rede"<sup>3</sup>. Beide nehmen eine besondere Stellung unter den vielen Ausdrücken für Wort und Rede ein. Mythos meint, die Wahrheit, die an und für sich gültig ist ohne Voraussetzungen und ohne einen bestimmten Zusammenhang. Man kann auch sagen, es handelt sich um das wahre Wort, die unbedingt gültige Rede, die Rede von dem, was ist. Dieser Ausdruck wurde vor allem für göttliche Dinge benutzt, also wenn etwas nicht hinterfragt wird, werden kann oder darf. Im Gegensatz dazu steht Logos, es meint die bedacht dadurch richtige Rede. Diese Richtigkeit ist immer nur in einem bestimmten Zusammenhang und unter bestimmten Voraussetzungen richtig. Es wurde demnach zum Beispiel für die wohlbedachten Aussagen der Philosophen, der damaligen Wissenschaftler, die sich gegenseitig hinterfragt und kritisiert haben, benutzt. Jedoch wird der aufmerksame Leser bei dieser Definition bemerkt haben, dass ein Bedeutungswandel stattgefunden haben muß. Der Logos ist heutzutage für einen Großteil der Gesellschaft die verbindliche Wahrheit geworden, die sie akzeptieren und nicht hinterfragen, wie im Alterum der Mythos.<sup>4</sup> Auf der anderen Seite meint Mythos heutzutage eine Erklärung der Welt, die auf Glauben beruht und deshalb zwar ebenfalls wie im Altertum nicht hinterfragt wird, aber aus dem Grunde, dass man hier keinen Wissenszugewinn aus dem Kritisieren dieser Ideen erwarten kann.

Ein weiteres Beispiel für einen solchen Bedeutungswandel, ja gerade in das Umgekehrte der Originalbedeutung finden wir bei dem lateinischen Wort "fabula", das zunächst die ernste Rede bezeichnete und erst nachträglich in die Bedeutung des Phantastischen über-

---

<sup>2</sup>[6] S.1

<sup>3</sup>[6]S.129 ff.

<sup>4</sup>Hier von bilden natürlich u. a. Wissenschaftler eine Ausnahme, da sonst ein Großteil der Forschungsarbeit eingestellt werden würde.

gegangen ist.

## Die vorsokratischen Denker

### Entwicklung

Die Entwicklung, die diesen Bedeutungswandel in Gang gesetzt hat, sind die Arbeiten der verschieden, vorsokratischen Philosophen<sup>5</sup>, die hier nun dargestellt wird, wobei die Auswahl der historischen Persönlichkeiten aus dem original Artikel übernommen ist.

Hesiod entwickelte eine berühmte Theogonie<sup>6</sup>, um 700 vor Christus, in der das Ursprungsproblem ausdrücklich angesprochen wird. Die Götter entstehen zunächst spontan aus dem Chaos und dann aus der geschlechtlichen Verbindung dieser Götter. Dadurch baut Hesiod eine komplexe Struktur aus Gegensätzen und Verwandtschaften, um die Welt zu erklären, welche starke Ähnlichkeit mit anderen Konzepten, wie zum Beispiel der Neunheit von Heliopolis hat<sup>7</sup>. Ebenfalls herauszuheben ist das Hersiod für die Erde, Gaia, eine eigene unerklärliche Entstehung erdacht hat.

Den ersten Wissenschaftler in dieser Aufzählung finden wir mit Thales von Milet, der um 600 vor Christus gelebt hat. Thales hat seine Umwelt beobachtet und danach versucht, darin Gesetzmäßigkeiten zu finden. Aufgrund dieser Arbeiten stellte er fest, dass die Welt und das Leben aus dem Wasser entstanden sein muß, zum Beispiel sah er, dass kein Lebewesen ohne Wasser überleben konnte oder er erklärte Erdbeben dadurch, dass die Welt auf einem Ozean schwimmt, wie ein Stück Holz, und dadurch die Erschütterungen entstünden<sup>8</sup>.

Der erste Philosoph<sup>9</sup> begegnet uns in der Gestalt von Anaximander von Milet, Freund und Schüler des Thales. Er erdachte das Unbegrenzte als Ursprung der Welt, das Apeiron. Dies allumfassende Apeiron steuert alle Prozesse des Kosmos. Da alles ebenfalls aus dem Apeiron entstanden ist, finden wir hier bereits ein gutes Beispiel für Selbstorganisation, weshalb die Arbeiten des Anaxmiander später noch einmal ausführlich behandelt werden. Anaximenes von Milet wiederum, der Schüler von Anaxmiander sein soll, kritisiert eben dieses Apeiron als zu unbestimmt und setzt deshalb einen fassbareren Stoff an den Ursprung. Sich in ständiger Bewegung befindliche Luft ist für ihn das aus dem sich die anderen Elemente entstanden, und zwar in einem Ausdifferenzierungsprozess, der auf Verdünnung und Verdichtung der Luft zurück geführt wird. Dabei betrachtet er dieses Modell naturwissenschaftlich, da er erstmals versucht quantitative Erklärungen zu geben und nicht nur rein qualitative. Diese drei Philosophen bilden die sogenannten "Milesier"<sup>10</sup>.

Xenophanes kritisierte die menschliche Erkenntnis, vorallem in Bezug auf die Götter. Zum Beispiel hält er den geschlechtlichen Zeugungsprozess über mehrere Generationen für viel zu vermenschlicht. Er empfiehlt sich Gott als kugelförmige Geisteswesen vorzustellen. Für die Welt erdachte er einen zyklisch ablaufenden Prozess der Vermischung und Trennung von Wasser und Erde. Zusammen mit den Milesiern und Herklit bildet Xenophanes die sogenannten ionischen Philosophen<sup>11</sup>.

---

<sup>5</sup>Der Name Vorsokratiker begründet sich darin, dass alle vor Sokrates gelebt und gewirkt haben

<sup>6</sup>Götterentstehung

<sup>7</sup>Ausführungen zu diesem Thema sind im Beitrag von Anne Ditzel zu finden

<sup>8</sup>[3]S.11

<sup>9</sup>Mann der Spekulation

<sup>10</sup>Der Name geht auf den gemeinsamen Geburtsortes der Philosophen zurück

<sup>11</sup>die ihren Namen dem Ionischen Meer verdanken



Heraklit von Ephesus führte ein neues Konzept zur Erklärung der Vorgänge und der Strukturen seiner Umwelt ein, den Logos, ins deutsche am besten mit Weltvernunft übersetzt. Die Elemente stehen im Widerstreit, entstehen bzw. vergehen auf Kosten einander, und das Verhältnis in dem dies geschieht, gibt der Logos vor. Dieser Logos war immer da und ist und wird sein. Heraklit wird im späteren Verlauf des Referats noch einmal ausführlich behandelt.

Die Eleaten<sup>12</sup>, allen voran Parmenides von Elea, hatte ein anderes Verständnis für das Sein und die Elemente. Er lehrte, das Seiende kann weder aus dem Nichtseienden entstehen noch darin zurückkehren. Das bedeutet, es gibt nur ein unteilbares, in sich vollendetes und unbegrenztes Sein, woraus folgt, dass Bewegung und Veränderung des Seins stets reine Illusion ist. Empedokles, ebenfalls einer der Eleaten, nähert Heraklits und Parmenides Lehren einander an, da beide Konzepte seiner Meinung nach in sich zu extrem sind. Er propagiert die Unvergänglichkeit der Elemente und des Seins, aber beschreibt, dass das Sein und die Elemente sich in einem antagonistischen Widerstreit nach Heraklit befinden, wodurch Dynamik in das starre Modell des Parmenides gebracht wird.

Anaxagoras begründete das dritte Erklärungskonzept der Vorsokratiker. Einer seiner Grundsätze klingt bekannt, "Kein Ding entsteht oder vergeht, sondern aus seienden Dingen findet eine Mischung und Trennung statt". Interessant hierbei sind allerdings die "seienden Dinge", nach Anaxagoras gibt es nämlich unzählig viele qualitativ verschiedene "Stoffe" oder "Samen". Alles enthält alle dieser Samen, zeigt jedoch die Beschaffenheit des Samen der am meisten enthalten ist. Es gibt Samen für jede qualitative Beschaffenheit, wie zum Beispiel feucht oder fest. Zusätzlich gibt es noch eine besondere Art von Samen, den "Nous". Dieser Samen ist selbst unvermischbar und ist Ordnungsprinzip. Zusätzlich gab dieser Nous auch den ersten Anstoß, woraus ein Wirbel aus dem wiederum durch Ansammlung gleichartiger Samen die Schöpfung entstand.

Die Atomisten<sup>13</sup> gaben dieser dritten Vorstellung schließlich den Namen. Sie hielten Vermischung und Trennung für schwer vorstellbar, wenn die Teilchen keine bestimmten Ausdehnungen haben. Leukipp und Demokrit, die bedeutendsten Atomisten, erarbeiteten die Lehre von Teilen bzw. Partikeln, die unteilbar, begrenzt, unvergänglich, andererseits unzählbar viele und höchst beweglich sind, den Atomen<sup>14</sup>. Die Bewegung geschieht vollkommen spontan, also ist kein Erstbeweger, wie der Nous, von Nöten. Aus der Bewegung entstand ein Wirbel, der Materie trennte und so sich gleiches zueinander fand und so die Welt und der Kosmos entstand.

Epikur machte zwei Ergänzungen zur bisher bestehenden Lehre der Atome. Er stellte fest, dass wenn die Atome schon nicht physikalisch teilbar seien, sie aber sehr wohl mathematisch teilbar sein müßten. Denn die Atome bestehen aus einem Körper einerseits und andererseits Häkchen um sich mit anderen Atomen verketteten zu können. Die zweite Ergänzung die Epikur macht, ist die genauere Erklärung der Wirbelentstehung. Er beschreibt, dass alle Teilchen sich in einer Fallbewegung befunden haben und spontan haben einige Teilchen eine Seitwärtsbewegung gemacht, wodurch Teilchen aneinander stießen und so schließlich ein Wirbel entstand. Desweiteren spekuliert Epikur, dass diese Spontanität der Teilchen im freien Geist des Menschen gipfelt.

---

<sup>12</sup>Der Name geht auf die Stadt Elea zurück

<sup>13</sup>Der Name geht auf das griechische Wort "Atomos" zurück

<sup>14</sup>das Unteilbare

## Zusammenfassung

Beim Schöpfungsursprung der vorsokratischen Denker tauchen Elemente auf, die schon von Alters her die Vorstellung der Menschen nach dem Ursprung erklärten. Diese Elemente sind Chaos, Ur-Wirbel und Ur-Element. Wobei hier natürlich darauf hingewiesen wird, dass hier Chaos nicht einen Zustand dynamischer Modelle meint, sondern entweder eine strukturlose Durchmischung der Elemente, in der etwas Ordnung stiftet, oder eine fruchtbare Leere, in die Materie gebracht wird.

Diese Bezüge auf ältere Vorstellung geht aber einher mit der Verdrängung vermenschlichter Göttervorstellungen, die durch neue Konzepte der Ordnungsstiftung, wie zum Beispiel der Nous der Anaxgoras, ersetzt wurden.

Im Laufe der ca. 200jährigen Entwicklung der Vorsokratiker wurden zwei zunächst konkurrierende Konzepte kombiniert. Auf der einen Seite steht der Antagonismus der Dinge<sup>15</sup>, der zum Beispiel durch Anaxmiander vertreten wurde. Auf der anderen Seite steht die Unvergänglichkeit bzw. die Unveränderbarkeit der Dinge<sup>16</sup>. Die Kombination entsteht daraus, dass dynamische Aspekte des Antagonismus mit statischen Aspekten der Unvergänglichkeit verquickt werden. Bestes Beispiel dafür ist, wie bereits erwähnt, die Lehre der Atomisten.

Aus wissenschaftshistorischer Sicht ist bei den Vorsokratikern noch darauf hinzuweisen, dass die Philosophen zunächst rein qualitative Erklärungen später durch ebenfalls quantitativen Betrachtungen ergänzten, allerdings wurde noch nicht versucht die Hypothesen experimentell zu belegen. Dennoch sehen Historiker hier den Grundstein der Naturwissenschaften, allenvoran der Physik.

## Warnung

An dieser Stelle möchte ich darauf hinweisen, dass bei der Beurteilung und Interpretation der Arbeiten der vorsokratischen Denker mit einiger Vorsicht vorgegangen werden muß, da nur wenige Fragmente<sup>17</sup> bekannt sind. Beispielsweise sind nur 121 Fragmente von Heraklit erhalten, von Anaxmiander ist nur ein einziges Fragment erhalten und von Thales sind überhaupt keine original Quelle vorhanden, Aristoteles kannte seine Lehren nur vom Höhererem sagen, obwohl er nur ca. 250 Jahre später wirkte.

Ein zweiter Aspekt ist, dass diese Fragmente auch auf unterschiedlichste Art und Weise übersetzt und damit aufgrund der Beschaffenheit der altgriechischen Sprache auch bereits vorinterpretiert wurden. Dies wird bei der Betrachtung dreier Übersetzungen des 13. Fragments Heraklits deutlich.

- “Ein dummer Mensch erschreckt vor Worten“ [3]
- “Ein geistig schwächerer Mensch pflegt immer über der Fülle des Logos das Gleichgewicht zu verlieren“ [5]
- “Ein mindergebildeter Mensch versteht die (Welt-)Vernunft nicht“ [6]
- “Ein dummer Mensch pflegt bei jeder Äußerung der Stimme der Vernunft paff zu sein“ [2]

---

<sup>15</sup>“Das Eine entsteht auf Kosten des Anderen“

<sup>16</sup>“Das Seiende kann weder aus dem Nichtseienden entstehen, noch darin zurückkehren“

<sup>17</sup>Textbruchstücke

Desweiteren ist der Begriff des Chaos zu erwähnen. In den Berichten der Philosophen wird dieser für die Anfangszustände der Schöpfung verwendet, unter anderem wird es als leerer, aber fruchtbarer Raum beschrieben, in dem dann die Schöpfung stattfindet. Deshalb ist leicht zu erkennen, dass hier Parallelen zu dem modernen Chaosbegriff, zum Beispiel aus den Systemwissenschaften, zufällig sind, da das "heutige" Chaos einen Zustand eines dynamischen System meint, aus dem keine Prognosen über die Systementwicklung gemacht werden können und per Definition keine Basis für die Schöpfung der Welt und des Kosmos ist.

## Vertiefte Betrachtung

### Anaxmiander von Milet

Anaxmiander lebte von 610 bis 545 vor Christus und wie erwähnt Mitbürger und Schüler Thales. Er war wohl der erste Philosoph, im Sinne eines Mannes der Spekulation. Anaxmiander stützte seine Lehre nicht auf Beobachtungen, wie es Thales tat, er ersinnete Möglichkeiten die Welt und deren Entstehung zu erklären. Kritisch hier anzumerken ist, dass eine von Thales Thesen ebenfalls höchst spekulativ klingt, und zwar die Aussage, dass die Sterne nicht weiter als glühende Steine seien. Aber diese These erscheint angesichts der Tatsache das Thales Zeuge eines Meteoritenansturzes wurde und den Krater besichtigte, überhaupt nicht mehr spekulativ sondern wie alle von Thales Lehren an seinen persönlichen Beobachtungen belegbar.<sup>18</sup>

Anaximander Hauptlehre läßt sich mit einem einzigen Wort beschreiben, dem Apeiron. Apeiron meint wörtlich un-begrenzt oder grenzenlos. Hiermit legt er einen Grundstein für ein großes philosophisches Thema, der Frage nach Grenzen und Unbegrenztheit bzw. nach Endlichen und Unendlichen. Diese Fragen haben noch viele weitere Philosophen beschäftigt, unter anderen die Eleaten, die Atomisten und die Pythagoräer im Laufe der Geschichte. Sein Lehrer Thales stellte das Element Wasser an den Ursprung der Schöpfung - war es aber wirklich so wandelbar, so dass aus ihm alles entstehen konnte. Die Frage muß Anaxmiander sich gestellt haben und als Antwort befunden haben, dass das Wasser zu bestimmt war. Als logische Konsequenz erdachte er deshalb, seinen Ursprung aus der Unbestimmtheit. Sein Apeiron ist grenzenlos sowohl im Raum als auch in der Zeit und bedeutet auch qualitativ unbestimmt. In seinen Schriften nennt er es unvergänglich, alterslos, ewig und sogar göttlich. Es ist eine rein spekulative Größe, es ist Überall aber nicht zu greifen, was zur damaligen Zeit sehr provokativ war<sup>19</sup>. Es liegt also allem Sein zugrunde und umgibt alles Sein.

Aristoteles führt das Apeiron, das Unendliche als Ursprung, auf den Zweck zurück, damit das Werden nicht aufhört. Zusätzlich interpretiert er, dass das Apeiron alle vier Grundqualitäten inne hat, und zwar warm, feucht, kalt und trocken. Von Anaxmiander ist nur ein einziges Wort für die Entstehung der Elemente überliefert, die Elemente würden sich aus dem Apeiron heraus bestimmen.

Anaxmiander hat das nie aussetzende Werden als eine unaufhörliche Fluktuation verstanden, die immer wieder neue Formen und Ausformungen hervortreibt, ohne deshalb anzunehmen, dass sich alles mit allem verbindet. Dieses Werden hat er aber nicht wie Heraklit als Einheit der Gegensätze gesehen, sondern als Antagonismus und Daseinskampf.

---

<sup>18</sup>[3] S.17

<sup>19</sup>insbesondere in Bezug auf Thales

Beispielsweise lebt die Nacht auf Kosten des Tages, der Winter auf Kosten des Sommers und Menschen auf Kosten von Tieren und Mitmenschen. Für diese Übergriffe hat er ein berühmtes Gesetz formuliert, das älteste uns bekannte Fragment eines griechischen Denkers:

nach der Notwendigkeit. Denn sie zahlen einander Buße und Strafe für die Ungerechtigkeit.[3]

Dies ist einer der ersten Ausdrücke des "griechischen Pessimismus", alles Sein und Leben steht unter der Ungerechtigkeit nur auf Kosten eines Anderen existieren zu können, beispielsweise kann kein Mensch leben ohne sich von tierischen bzw. pflanzlichen Leben zu ernähren, also auf Kosten dieser Leben.

An dieser Stelle werden noch zwei weitere Thesen des Anaxmiander vorgestellt um dessen spekulativen Geist zu unterstreichen:

**Es gibt unendlich viele Welten** Bevor diese These erläutert wird, muß zunächst der Begriff Welt genauer betrachtet werden. Anaxmiander war der erste Grieche der ein Wort<sup>20</sup> für Welt hat. Homer, Hesiod und Thales hatten keinen Begriff für die Welt als Ganzes, sie mußten sich mit Aufzählungen begnügen. Was aber bei diesem Wort noch mehr auffällt ist, dass er es im Plural benutzt, also mehrere Welten. Aber dies scheint eben auch eine logische Konsequenz aus der Lehre des Apeiron zu sein, warum sollte sich das Unbegrenzte dadurch begrenzen das es nur ein Welt gibt.

Anaxmiander war erster, aber nicht der einzige, der viele, potenziell unendlich viele, Welten annahm. Später übernahmen bei den Vorsokratikern die Atomisten und Epikur diese Annahme. Aber im Gegensatz zu diesen hat Anaxmiander die gleichmäßige Verteilung der Welten, weshalb die Pythagoräer auf Grund ihrer Suche nach Harmonie in der Welt auf eben dieses Weltmodell<sup>21</sup> aufmerksam wurden.

**Der Mensch stammt von Tieren (Fischen) ab** Die ganze Welt war mit Wasser bedeckt. Dann ist die Sonne entstanden und hat einen großen Teil des Wassers verdunstet. Die Erde trat hervor und das verbliebene Wasser bildete das Meer. Am Ende unseres Erdalters wird die Sonne alles Wasser verdampfen. Danach wird die "Notwendigkeit" den ganzen Prozeß wieder umkehren. In Anbetracht dieser Weltentstehung sieht Anaxmiander das kleine Menschenwesen hilflos, ohne Beistand sich weder schützen noch ernähren können, sondern lange Aufzucht brauchen. Somit hätten Menschen(-kinder) diese Umweltbedingungen niemals überleben können. Er nimmt daher an, dass der Mensch von Fischen abstammt und die ersten Menschen als Fisch aufgewachsen sind, bevor sie das Festland eroberten.

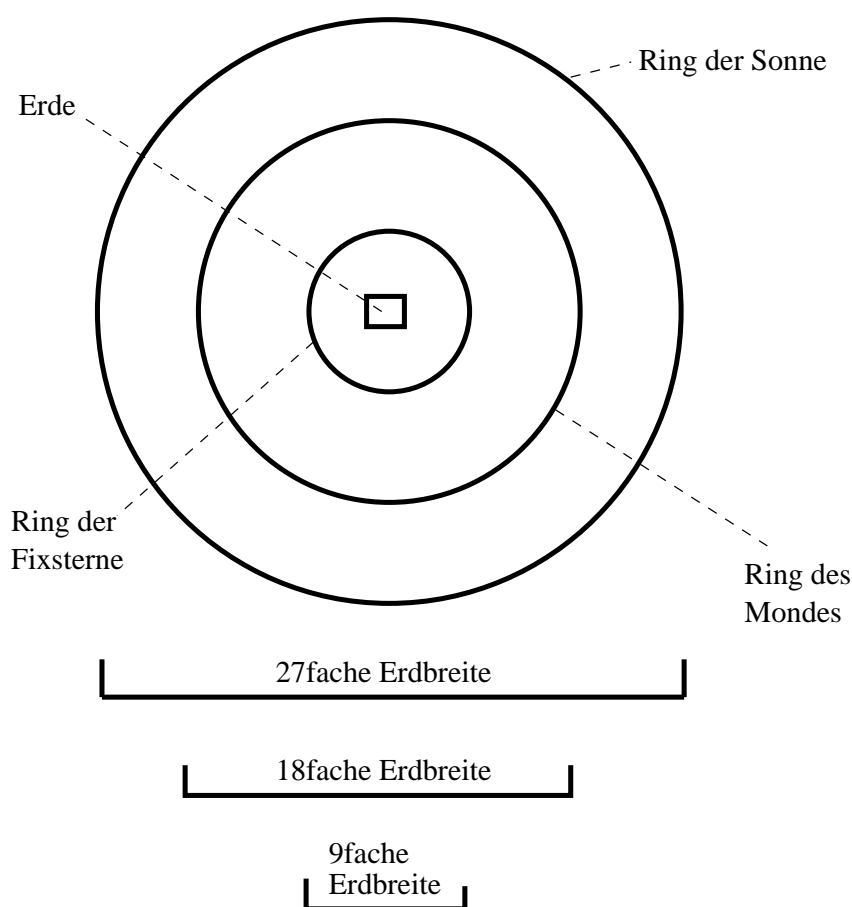
**Das Weltmodell** Dieses Modell ist aus heutiger Sicht eine Kombination aus modern-wirkende Thesen einerseits und Irrationalitäten andererseits. Laut diesem Weltmodell ist die Erde eine Art Säulentrommel, dessen Durchmesser dreimal so groß ist wie ihre Höhe. Auf der Oberseite befindet sich Griechenland und der Rest, der aus griechischer Sicht bekannte Welt, wo logischerweise auch die Menschen leben. Diese Erde schwebt frei in der Mitte des Systems, gleichweit von allem entfernt. Auf diese Weise wendet sie sich nirgendwo

---

<sup>20</sup>"ouranos" meint eigentlich Himmel wird hier aber für die Welt als Ganzes benutzt

<sup>21</sup>anschließend erläutert

zu, da sie von allem gleich stark angezogen wird.<sup>22</sup> Im Kreis um diese Erde bewegen sich die Gestirne, zuerst die Planeten und Fixsterne, dann Mond und zuletzt die Sonne. Revolutionär neu bei diesem Ansatz war, dass hier die Erde, als zentral Planet, frei schwebt, also keine statischen Hilfskonstrukte benötigt an der oder auf der die Erde ruht. Leider fand die Ideen keine Nachfolger und wurde erst im europäischen Mittelalter aufgegriffen. Schwer nachvollziehbar ist jedoch wieso Anaxmiander und seine Anhänger nicht bemerkt haben, dass der Mond die Fixsterne verdecken kann und aber nicht umgekehrt. Wodurch die Tatsache, dass die Fixsterne näher an der Erde sein sollen als der Mond als sehr grober Beobachtungsfehler der Umwelt auffällt. Diese Reihenfolge der Gestirne findet man jedoch im historischen persischen Kulturraum, aber ein Verbindung von Anaxmiander zu den Persern konnte bis heute nicht nachgewiesen werden. Veranschaulicht wird dieses Modell durch die folgende Abbildung<sup>23</sup>.



Ein weiterer schwer vorstellbarer Vorgang ist die Bildung der Gestirne nach Anaxmiander. Um die zylindrische Erde bildete sich ein Luftreifen. Um diesen Luftreifen entstand ein Reifen aus Feuer, der die Luft wie eine Rinde umgibt. Aufgrund der Unterschiede zwischen den Elementen zerriss dieser Doppelreifen und es entstandan aus den überesten die drei Ringe der Gestirne. Diese Ringe sind ab diesem Zeitpunkt also Feuer umgeben von dichter Luft, wodurch das Feuer unsichtbar ist. Das Feuer kann nur aus Löchern scheinen, die sich in der dichten Luft bilden. Der Ring der Fixsterne besitzt viele kleine Löcher und die

<sup>22</sup> Aristoteles machte diese Ergänzung

<sup>23</sup>[3] S.25

Ringe von Mond und Sonne jeweils ein grosses Loch. Die Löcher, auch Düsen genannt, werden wandern auf den Ringen und können sich auch verändern, wodurch zum Beispiel Mondphasen erklärt wurden. Und so können dann auch Mond- bzw. Sonnenfinsternisse banalerweise aus Verstopfungen dieser Düsen betrachtet werden.

### Heraklit von Ephesus

Heraklit lebte von 540 bis 476 vor Christus und verbrachte seine Jugend und sein Mannesalter unter der persischer Herrschaft, des Darius I. ,der bedeutendste persische Herrscher. Er entstammt des ältesten Priestergeschlechts seiner Heimatstadt, aber übte sich schon früh in Kultkritik, weshalb er auch auf sein Geburtsrecht als ältester Sohn Priester des Tempels zu werden zugunsten seines Bruders verzichtete. Ähnlich wie andere vorsokratische Denker kritisierte er die Religionsausübung der Griechen zu seiner Zeit. So lautet z.B. Fragment 5:

Umsonst suchen Sühnung (von Blutschuld), indem sie sich mit Blut besudeln, wie wenn einer, der in Schmutz getreten ist, sich mit Schmutz abwaschen wollte. Für verrückt wird man ihn halten, wenn man sieht, daß er dies tut.  
- Auch zu den Götterbildern dort beten sie, als ob einer mit Mauern [wörtl.: mit Häusern] und wüßte nicht, was Götter und Heroen in Wirklichkeit sind.[2]

Durch seine Erfahrungen mit der persischen Kultur erarbeitet er, ähnlich wie andere Vorsokratiker, eine neue monotheistische Vorstellung, die sich von den vermenschlichten früheren Göttern distanziert. Wie bereits in 2.1 erwähnt, erdachte Heraklit den Logos als Ordnungstifter der Schöpfung. Er unterschied dabei zwei Arten des Logos den Logos in der Seele der Menschen und den Logos, der durch das Zentralfeuer symbolisiert wird. Das Bild des Zentralfeuers ist aus der Persischen Kultur entliehen, hier symbolisiert das Feuer nämlich die Macht des Herrschers. Der Logos in den Seelen eines Menschen ist nach Heraklit Maß für die erlangte Erkenntnis und kann bzw. soll deshalb wachsen. Der andere Logos des Zentralfeuers steuert bzw. gibt das Verhältnis für den Kosmos und ist bereits perfekt und entwickelt sich deshalb nicht mehr. Auf die moderne systemwissenschaftliche Frage wieso aus mikroskopischen Zusammenhängen eine makroskopisch sichtbare Struktur entsteht, würde Heraklit den Logos als Antwort auf die Frage der Selbstorganisation geben. Wobei die Weltvernunft bzw. das Zentralfeuer das Ordnungsprinzip des Kosmos und der Natur ist und Heraklit für Sozialsysteme der Menschen einen eigenen, sich noch in der Entwicklung befindlichen Logos erdacht hatte, wodurch er wahrscheinlich eine Steigerung der Erkenntnis der Menschen und eine Verbesserung des Staates vorhersagen wollte. Eine weitere wichtige Arbeit des Heraklit ist die sogenannte Flußlehre. Populärwissenschaftlich sagt man schlicht "alles fließt", doch man muss das Fragment 94 betrachten:

Wir steigen in denselben Fluß und doch nicht in denselben.[2]

Dieses Fragment möchte zum Ausdruck bringen, dass sich die Welt in ständiger Veränderung befindet und selbst wenn der gleiche Fluß an der gleichen Stelle zur gleichen Zeit mit der gleichen Geschwindigkeit etc. durchquert wird, gibt es minimale Unterschiede bei den beiden Durchquerungen, auch wenn es nur anderes Wasser ist. Diese Unterschiede lassen sich auf den modernen Begriff des Schmetterlingseffekt zurückführen. Also wurde schon vor Christus die Voraussetzungen für den Laplace-Dämonen wiederlegt. Diese

depremierende Erkenntnis von der Begrenztheit der Vorhersagbarkeit dynamischen Prozessen wurde schon bald darauf kritisiert, unter anderem durch die griechische Komödie in der Heraklit als sitzenden Mann dargestellt wird, der seinen wackenden Finger mit den Augen verfolgt und stumm ist, da man so wieso keine Aussage machen kann.<sup>24</sup>

## Literatur

- [1] Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Herausgegeben von Günter Küppers. Reclam, Stuttgart 1996.
- [2] Die Vorsokratiker. Deutsch in Auswahl mit Einleitung. Herausgegeben von W. Nestle. 1956.
- [3] Ekschmitt, Werner: Weltmodelle: Griechische Weltbilder von Thales bis Ptolemäus. Mainz am Rhein 1989.
- [4] Jünger, Friedrich Georg: Griechische Mythen. 1947.
- [5] Kelber, Wilhelm: Die Logoslehre. 1976.
- [6] Volksmann-Schluck, Karl-Heinz: Mythos und Logos. Interpretationen zu Schellings-Philosophie der Mythologie. Berlin 1969.

---

<sup>24</sup>Weitere Folgerungen und die Entwicklung dieser Erkenntnis werden im Beitrag von Matthias Kalkuhl ausführlicher behandelt





### 3. Natürliche Ursachen von Ordnung und Organisation nach Günter Küppers und Rainer Paslack

Sven Ernesti  
28. April 2004

#### Einleitung

Wenn man versucht das Entstehen von Ordnung und Organisation zu erklären, so fragt man nach den Ursachen dieser Phänomene. Ordnung und Organisation sind allerdings sehr allgemeine Phänomene. Sie können in vielen Bereichen beobachtet werden, beispielsweise in der Gesellschaftsstruktur, in Ökosystemen oder in physikalischen Systemen wie etwa dem Planetensystem. Die konkreten Ursachen für die jeweilige Ordnung sind relativ unterschiedlich. Aber es gibt Gemeinsamkeiten, nach denen man die Ursachen charakterisieren kann.

In dem Beitrag „Natürliche Ursachen von Ordnung und Organisation“ von Günter Küppers und Rainer Paslack zu „Chaos und Ordnung“ werden die Ursachen von Ordnungsphänomenen charakterisiert. Dazu wird dort der antike und der neuzeitliche Kausalitätsbegriff diskutiert. Das hat zwei Gründe. Der eine ist, daß aus den unterschiedlichen Begriffen unterschiedliche wissenschaftliche Erklärungsansätze folgten. Und der andere Grund ist, daß sich mit dem Wandel der Vorstellungen von Kausalität auch der Bedarf in der Wissenschaft an der Erklärung von Ordnung und Organisation veränderte. Weiter wird in dem Beitrag die Verbreitung der unterschiedlichen Ansätze in der Neuzeit diskutiert, sowie auch die Bedeutung dieser Verbreitung für das Verhältnis der naturwissenschaftlichen Disziplinen Biologie und Physik zu einander.

Ich versuche in diesem Artikel die Zusammenhänge, die in dem Beitrag von G. Küppers und R. Paslack dargestellt sind, in klarer strukturierter Weise wiederzugeben und die Darstellung durch eigene Überlegungen und Recherche zu ergänzen. Der Abschnitt „Ordnung und Organisation in der Antike und in der Neuzeit“ behandelt die unterschiedlichen Kausalitätsbegriffe und die Bedeutung deren Wandels für den wissenschaftlichen Erklärungsbedarf für Ordnung und Organisation. Im Abschnitt „Wie kann die Entstehung von Ordnung und Organisation erklärt werden?“ werden die unterschiedlichen wissenschaftlichen Erklärungsansätze dargestellt, deren Ausbreitung dann in „Teleologie vs. Mechanizismus und Reduktionismus“ beschrieben wird. Die Bedeutung für das Verhältnis von Biologie und Physik wird in „Differenzen in den Sichtweisen von Biologie und Physik“ dargestellt.

#### Ordnung und Organisation in der Antike und in der Neuzeit

Wie wir in den beiden vorangegangenen Referaten<sup>25</sup> erfahren haben, wurde die Entstehung von Ordnung aus Chaos zunächst durch Mythen und dann durch philosophische Überlegungen erklärt. Diese Erklärungen beziehen sich auf den Ursprung der Welt. Danach, wenn Ordnung einmal aus Chaos entstanden ist, wird sie zu einer gegebenen Voraussetzung für Erklärungen von Phänomenen. Das verdeutlicht der *aristotelische Kausalitätsbegriff*: Er

---

<sup>25</sup> von Anne Dietzel zu „Sagenhaftes Chaos: der Ursprung der Welt im Mythos“ und von Christian Ehling zu „Vom Mythos zum Logos: Chaos und Selbstorganisation bei den Griechen“

setzt sich aus den vier Teilen *causa materialis*, *causa formae*, *causa efficiens* und *causa finalis* zusammen. Unter *causa materialis* sei die Bereitstellung bestimmter Materialien zu verstehen, unter *causa formae* die Form der Materie, unter *causa efficiens* die Wirkursache – das Wirken an sich – und unter *causa finalis* die Zweckursache bzw. die Zweckmäßigkeit des bewirkten Phänomens. Die *causa formae* bedeutet, daß Materie stets schon geformt bzw. geordnet vorliegt. Die Entstehung von neuer Ordnung aus Chaos<sup>26</sup> mußte also nicht erklärt werden. Neue Ordnung wurde als aus der alten hervorgegangen erklärt, d. h. als Entwicklung von bestehender Ordnung. Und die Erklärung der ersten Ordnung gehörte zur Entstehung der Welt<sup>27</sup>.

In der Neuzeit wurde versucht Phänomene durch mechanische Wechselwirkungen von Materie zu erklären (Mechanismus). Weiter versuchte man die Mechanismen, welche die Phänomene erklären, auf einfache Naturgesetze in Form von simplen Bewegungsgleichungen zurückzuführen (Reduktionismus). Das bedeutete eine Reduzierung des Kausalitätsbegriffs auf die *causa efficiens* und die *causa materialis*<sup>28</sup>. Die mechanischen Kräfte wirken nicht zweckgerichtet. Deshalb ist die Zweckmäßigkeit des Phänomens nicht mehr ein Teil der Ursache. Also ist die *causa finalis* nicht mehr Teil des Kausalitätsbegriffs, der den neuzeitlichen Erklärungsversuchen zugrunde liegt. Beispielsweise bewirkt die Gravitation des Mondes die Gezeiten auf der Erde, egal ob der Borstenwurm (*Lanice conchylega*) dadurch im Watt geeignete Lebensbedingungen vorfindet oder nicht, und, egal ob dadurch die Stromgewinnung mittels Gezeitenkraftwerken ermöglicht wird oder nicht. Auch ziehen sich Erde und Mond infolge der Gravitationskraft an, gleichgültig ob sie dadurch zusammenstoßen oder ob sie sich wegen dem Wirken der Fliehkraft umkreisen. Neben den mechanischen Wechselwirkungen muß auch Materie vorliegen. Denn sie ist es, die mit sich wechselwirkt. Aber es war nicht mehr nötig anzunehmen, daß Materie bereits geformt bzw. geordnet ist. Also entfällt im neuzeitlichen Kausalitätsbegriff auch die *causa formae*. Diesen Abschnitt zusammenfassend lassen sich folgende Dinge sagen: In der Antike bis zur Neuzeit wurde entstehende Ordnung aus vorhergehender Ordnung abgeleitet. Und es wurde angenommen, daß seit der Entstehung der Welt Ordnung existiert, welche sich verändern kann. In der Neuzeit entwickelte sich dann der Bedarf, auch gegenwärtige Übergänge von Chaos in Ordnung zu erklären. Zuvor waren diese Probleme mit dem Ursprung der Welt abgehandelt. Außerdem versuchte man in der Neuzeit Übergänge von Chaos in Ordnung mit Kräften zu Erklären die nicht zweckgerichtet sind.

## Wie kann die Entstehung von Ordnung und Organisation erklärt werden?

Nachdem im letzten Abschnitt der veränderte Erklärungsbedarf für die Entstehung von Ordnung und Organisation in der Neuzeit charakterisiert wurde, soll hier geklärt werden wie Ordnung und Organisation überhaupt erklärt werden kann. Welche Ansätze gibt es

---

<sup>26</sup>Hier wird relativ fein unterschieden zwischen 'Entstehung von Ordnung aus Chaos' und 'Entstehung von Ordnung aus vorhergehender Ordnung'.

<sup>27</sup>Aristoteles war jedoch der Meinung, daß die Welt immer schon geformt war und daher ewig sei. Für ihn stellte sich die Frage danach, wie Ordnung aus Chaos entstehen kann gar nicht. Im Allgemeinen aber war die Ordnung im antiken Weltbild am Anfang mit der Welt aus dem Chaos entstanden.

<sup>28</sup>In „Natürliche Ursachen von Ordnung und Organisation“ wird behauptet, daß der Kausalitätsbegriff in der Neuzeit auf die *causa efficiens* reduziert wurde (vgl. Seite 47 in Chaos und Ordnung), also daß auch die *causa materialis* entfällt. Eine Begründung dafür findet sich dort jedoch nicht.

dazu und worin unterscheiden sie sich?

Es gibt im wesentlichen zwei Ansatztypen: den teleologischen und den mechanistisch-/reduktionistischen. Der mechanistisch-/reduktionistische Ansatztyp ergibt sich aus dem neuzeitlichen Kausalitätsbegriff. Bei diesem wird die Ordnung und Organisation als Ergebnis eines mechanischen Prozesses beschrieben, dessen Vorgänge sich auf einfache universelle Naturgesetze zurückführen lassen. Entsprechend den zugrundeliegenden Vorstellungen von Kausalität, hat sich die Anwendung solcher Ansätze in der Neuzeit verbreitet. Deshalb wird dieser Typ im folgenden auch neuzeitlicher Ansatztyp genannt.

Ein einfaches Beispiel für eine mechanistisch erklärte Ordnungsbildung ist der Erbsen-Linsen-Effekt: Eine Menge von homogen verteilten Erbsen und Linsen, die man in ein Gefäß füllt und ein wenig durch seitliche Stöße rüttelt, weist danach im unteren Bereich eine höhere Konzentration an Linsen auf als oben. Also wurden hier die Linsen geordnet. Der Grund dafür ist, daß sich zwischen den relativ großen Erbsen auch relativ große Lücken bilden, durch welche die relativ kleinen Linsen wegen der Einwirkung der Gravitation durchfallen <sup>29</sup>.

Beim teleologischen Ansatztyp wird angenommen, daß es Kräfte gibt, die zweckgerichtet wirken. Daher ist bei diesen Erklärungen auch die Zweckmäßigkeit eine Ursache dafür, wie sich ein System organisiert. Die *causa finalis* wird dabei also in den Kausalitätsbegriff aufgenommen. Diese Ansatzart wurde bereits in der Antike von Aristoteles angewendet um Ordnungsphänomene, wie die Integration der Organe in einem Lebewesen oder der Haushalte in einem Staat, zu erklären.

Das Problem, wie Teile zu einer Ganzheit (Lebewesen, Staat) verbunden werden bzw. wie eine Ganzheit organisiert wird, löst Aristoteles durch die Einführung von Entelechien. Sie sind Prinzipien, die über die Teile einer Ganzheit herrschen und diese zweckgerichtet organisieren. Für die Lebewesen wäre dies zum Beispiel die Seele. Wie das Zusammenfügen der Teile abläuft erklärt Aristoteles nicht, da sich für ihn die Frage danach gar nicht stellte. Denn er meinte, daß die Ganzheit ursprünglicher sei als ihre Teile. D. h., daß eine Ganzheit zuerst existiert und sich erst danach die Teile herausbilden, welche dann sofort organisiert vorliegen. Der Grund dafür liegt in dem Gegenstandsbegriff von Aristoteles. Für ihn gehört zu einem Gegenstand auch immer seine Funktion. Entfällt die Funktion oder ändert sie sich, so wird der Gegenstand zu etwas anderem. Daher sind die Teile nur innerhalb des Ganzen was sie sind, denn außerhalb könnten sie Ihre Funktion nicht mehr ausüben. So könnte beispielsweise eine abgetrennte Hand nicht mehr Greifen und wäre daher keine Hand mehr oder ein Herrscher in einem Staat, könnte ohne den Staat nicht mehr regieren.

Die Unterschiede der beiden Ansatztypen soll folgendes Problem verdeutlichen: Warum jagen Füchse Hasen? Bei einer teleologischen Vorgehensweise könnte man folgendes vermuten: Jagt ein Fuchs Hasen, damit er leben kann (also wegen des Zwecks zu leben)? Während bei einem neuzeitlichen Ansatz folgendes gefragt werden könnte: Jagt ein Fuchs Hasen, weil das System 'Fuchs' auf eine Verknappung der energiereichen Stoffe im System mit der Aktivierung von 'Jagtmechanismen' reagiert?

---

<sup>29</sup>Außerdem ist noch eine weitere Kraft an diesem Geschehen beteiligt und zwar die seitlichen Stöße gegen das Gefäß. Sie bewirken, daß sich die Erbsen und Linsen anders verteilen. Dadurch können sich Lücken unter Linsen, die noch auf Erbsen liegen, auf tun. Durch diese neuen Lücken werden dann weitere Linsen wegen der Gravitation nach unten bewegt, falls der Raum unten zwischen den Erbsen noch nicht zu ausgefüllt ist. Diese Kräfte verstärken also lediglich den gravitationsbedingten Erbsen-Linsen-Effekt.

## Teleologie vs. Mechanizismus und Reduktionismus

Der neuzeitliche Kausalitätsbegriff führte zu mechanistisch-/reduktionistischen Ansätzen für die Erklärung von Ordnungsphänomenen. Seitdem konkurrieren diese mit den alten teleologischen Ansätzen. Die produktive Anwendung der neuzeitlichen Ansätze gelang seit dem 17. Jh. zunächst für den Bereich der unbelebten Natur. Daher wurden dort die teleologischen Vorstellungen als erstes verdrängt und der Mechanizismus zusammen mit dem Reduktionismus etablierten sich. Beispiele für eine erkenntnisbringende Anwendung eines neuzeitlichen Ansatzes zur Erklärung von Ordnung ist die „*Nebularhypothese*“ von Immanuel Kant (1724 – 1804) und die mechanistische Beschreibung des Sonnensystems von Isaac Newton (1643 – 1727), auf welche Kant aufbaut:

Newton nahm erstmals an, daß Körper eine masse- und entfernungsabhängige Anziehungskraft, die Gravitation, haben. Damit gelang es ihm die Ordnung des Planetensystems beschreiben. Newton lieferte im 17. Jh. die erste mechanistische und reduktionistische Erklärung eines Ordnungsphänomens. Im 18. Jh. gelang Kant mit seiner „*Nebularhypothese*“ ein mechanistisch-/reduktionistisches Selbstorganisationsmodell zu entwickeln, welches die Entstehung der Ordnung kosmischer Gebilde wie Planetensysteme und Galaxien erklärt. Er postulierte einen energiereichen chaotischen Urnebel aus Materiepartikeln. Durch die Anziehungskraft der zusammenstoßenden Partikel entstehen lokale Zusammenballungen unterschiedlicher Masse. Daraus entwickelt sich dann ein dynamisch ausgeglichenes Vielkörpersystem.

Nicht so schnell gelang die Erklärung der Existenz von zweckmäßig organisiertem Leben mittels neuzeitlicher Ansätze. Auch zur Klärung dieses Problems trug Kant bei mit der Entwicklung zweier wichtiger Begriffe in seinem Werk „*Kritik der Urteilskraft*“ von 1790. Und Friedrich W. J. von Schelling (1775 – 1854) entwickelte Kants Ideen weiter zu einer „*spekulativen Physik*“, die ohne teleologische Ansätze auskam. Im nächsten Absatz werden die Überlegungen von Kant und von Schelling dargestellt.

Zweckmäßigkeiten in der Natur schienen für Kant kausal nicht aus mechanischen Wechselwirkungen ableitbar zu sein<sup>30</sup>. Deshalb meinte er, daß es besondere „*Begriffe der Vernunft*“<sup>31</sup> erfordere um sie begreifen zu können. Seine Idee war es, Naturzwecke<sup>32</sup> durch die Eigenschaft, daß sie von sich selbst Ursache und Wirkung sind, zu erfassen. Das lieferte den einen wichtigen Begriff der *zyklischen Verknüpfung von Ursache und Wirkung*<sup>33</sup>. Da die zyklisch verknüpften Teile eines solchen Naturzwecks sich wechselseitig hervorbringen, nannte er die Naturzwecke *selbstorganisierend*. Damit war der andere entscheidende Begriff, die Selbstorganisation, entwickelt. Der Prozeß der zweckmäßigen Selbstorganisation des Lebens schien ihm jedoch nicht aus neuzeitlichen Ansätzen bzw. aus der Annahme nicht zweckgerichteter Kräfte ableitbar zu sein. Schelling nahm die Existenz einer „*ursprünglichen Produktivität*“ an. Diese sei immateriell und der Natur immanent aber nicht Zweckorientiert. Sie produziere geordnete Gebilde durch 'Objektivation'. Wobei sich die

<sup>30</sup>D. h. nicht, daß eine er neuzeitliche Erklärung dort schon ausschließt, sondern, daß sie zunächst nur nicht Verstanden werden könne.

<sup>31</sup>Aus „*Kritik der Urteilskraft*“, § 65, B 284; Vgl. Seite 51 in *Chaos und Ordnung*

<sup>32</sup>Naturzwecke nannte Kant die Zweckmäßigkeiten in der Natur, welche ihm nicht mechanistisch/reduktionistisch erklärbar schienen.

<sup>33</sup>Damit ist kein neuer Kausalitätsbegriff entwickelt worden, sondern ein Spezialfall einer kausalen Verknüpfung von Ursache und Wirkung herangezogen worden. Denn, daß Ursache und Wirkung das Gleiche sein könnten, was über Materialbereitstellung (*causa materialis*) und Wirkungsweise (*causa efficiens*) miteinander verknüpft wird, ist im neuzeitlichen Kausalitätsbegriff nicht ausgeschlossen.

ursprüngliche Produktivität immer weiter potenziere und durch weitere Objektivierungen diskontinuierlich neue komplexer geordnete Gebilde produziert. Das entspricht der Zunahme an Ordnung, die bei der Evolution der Lebewesen beobachtet wird. So seien Lebewesen entstanden, ohne daß dafür spezielle zweckgerichtete Kräfte angenommen werden müßten. Eine neuzeitlich-wissenschaftlich zufriedenstellende Erklärung aber gelang damit nicht.

Große Schwierigkeiten bestanden für die neuzeitlicher Ansätze bis ins 20. Jh. hinein. Bis dahin konnten sich immer wieder teleologische Ansätze bei der Erklärung der zweckmäßigen Organisation des Lebens behaupten. Beispielsweise meinte Hans Driesch (1867 – 1941) nach seinen Seeigelexperimenten von 1891, daß notwendigerweise eine ganzheitsbildende Kausalität angenommen werden müßte. In diesen Experimenten gelang es Driesch Keime des Seeigels *Echinus microtuberculatus* während des Zweizellenstadiums zu teilen, indem er sie in einer speziellen Wasser-Salz-Lösung vorsichtig schüttelte<sup>34</sup>. Daraufhin entwickelten sich zwei vollständige und lebensfähige Seeigel aus einem Keim. Ihm schien ein solcher Teilungsprozeß zur Erzeugung von solchen zweckmäßig organisierten Ganzheiten unvereinbar mit mechanistischen Vorstellungen. Daher nahm er an, daß es eine immaterielle Kausalität gibt, die auf die Ganzheitsbildung ausgerichtet ist. In Anlehnung an Aristoteles nannte er sie Entelechie. Die Annahme der ganzheitsbildenden Kausalität ist ein teleologischer Ansatz, weil diese Kausalität auf das Ziel bzw. den Zweck (einen vollständiges Lebewesen zu erzeugen) der Organisation gerichtet ist.

Der Durchbruch der neuzeitlichen Ansätze in der Erklärung der Organisation des Lebens gelang im 20. Jh. mit der *Theorie der offenen Systeme* (1932) von Ludwig von Bertalanffy (1901 - 1972). Mit ihr konnte bspw. aus physikalischen Wechselwirkungen abgeleitet werden wie es in Systemen von unterschiedlichen Anfangsbedingungen (z. B. die zerteilten Seeigelkeime) zu gleichen oder ähnlichen Endzuständen (z. B. die vollständigen lebensfähigen Seeigel) kommen kann. Mit dieser Theorie von Bertalanffy „[...] wurde die von Kant und Schelling entwickelte Idee einer zyklischen Verknüpfung kausaler Prozesse zu einem empirisch gehaltvollen Forschungsprogramm ausgearbeitet [...]“<sup>35</sup>

## Differenzen in den Sichtweisen von Biologie und Physik

Die Anwendungen reduktionistisch-/mechanistischer Ansätze zur Erklärung der Organisation des Lebens scheiterten lange Zeit daran, daß die Entstehung der Zweckmäßigkeiten erklärt werden mußte. Denn Leben und Lebewesen scheinen der Beobachtung nach offensichtlich stets zweckmäßig organisiert zu sein. Daher wurden immer wieder teleologische Ansätze versucht, um die Ursachen des Lebens zu klären. In Folge dessen entwickelten sich Unterschiede in den Sichtweisen der Natur von Biologie und Physik. In der Physik waren mechanistisch- /reduktionistische Erklärungen etabliert, während man sich in der Biologie weiterhin teleologischer Erklärungen bediente.

Die Unterschiede in den Sichtweisen der Biologie und der Physik verschärfen sich im 19. Jahrhundert mit der Formulierung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik von Rankine Clausius 1850 und mit Fortschritten in der Phylognese (Artenentwicklung) und

---

<sup>34</sup>Vgl. Seite 68 in *Chaos und Ordnung*; In dem Artikel dort von Reinhard Mocek wird jedoch 1890 als das Jahr angegeben, in welchem die Experimente stattfanden. Die Zahl 1891 stammt von Seite 55 in *Chaos und Ordnung* aus dem Artikel „Natürliche Ursachen von Ordnung und Organisation“ von G. Küppers und R. Paslack.

<sup>35</sup>Küppers und Paslack, *Natürliche Ursachen von Ordnung und Organisation*, in *Chaos und Ordnung* auf Seite 59

der Ontogenese (Keimesentwicklung). Zu dem Problem die Entstehung des Lebens und die Zweckmäßigkeit der Organisation des Lebens zu erklären kam die Entwicklung des Lebens hin zu höherer Ordnung hinzu.

Aus den Axiomen der Thermodynamik folgt ihr *zweiter Hauptsatz*: „Die Entropie kann in einem abgeschlossenen thermodynamischen System nur zunehmen oder (bei reversiblen Prozessen) höchstens gleichbleiben (Entropiesatz).“<sup>36</sup>. Die Entropie ist ein Maß für die Ordnung in einem System. Je höher die Entropie ist, desto geringer ist die Ordnung. Der zweite Hauptsatz bedeutet also eine monotone Abnahme von Ordnung. Andererseits beobachtete man in der Phylogenese und in der Ontogenese eine Entwicklung zu höherer Ordnung. Im Laufe der Phylogenese nahm die Anzahl der Arten und die Komplexität der Organismen zu. Während der Ontogenese entwickelt sich eine Zelle, die Keimzelle, zu einem Lebewesen, das aus vielen Zellen mit unterschiedlichen Funktionen besteht. Eine Auflösung dieses Widerspruchs von abnehmender Ordnung der Materie in der Physik und zunehmender Ordnung in biologischen Systemen schien lange Zeit nicht möglich zu sein. Im 19. Jh. entwickelte Charles Darwin (1809-1882) seine Evolutionstheorie. Sie konnte die Entwicklung der Arten ohne teleologische Prinzipien erklären. Nach ihr sind die vielen verschiedenen Arten durch Variation weniger entstanden. Dafür gibt es der Theorie nach zwei wesentliche Ursachen. Die eine ist eine *Veränderung der Umwelt* einer Art, die den Individuen der Art evtl. das Überleben erschwert. Falls sie das Überleben erschwert, wird diese Ursache *Selektionsdruck* genannt. Die andere wesentliche Ursache ist eine *Anpassung* einiger Individuen einer Art an die veränderten Umweltbedingungen, was eine veränderte Ausprägung der Merkmale einer Art bedeutet. Beispielsweise beobachtete Darwin auf den Galapagosinseln veränderte Schnabelformen bei Finken, die es ihnen ermöglichte andere Pflanzen als Nahrungsquellen zu erschließen nachdem sie auf die Inseln (eine andere Umwelt) immigrierten.

Der Entwicklungsmechanismus der Arten hat dabei etwa folgenden Verlauf: Eine veränderte Umwelt (z. B. ein verändertes Nahrungsangebot für die Finken) erschwert evtl. das Überleben der Individuen einer Art (Selektionsdruck). Die besser angepaßten Individuen der Art (z. B. jene Finken die eine günstigere Schnabelform für die neuen Nahrungsquellen) haben dann eine tendenziell höhere Lebenserwartung. Dadurch haben diese einerseits länger die Möglichkeit Nachkommen zu produzieren, die gleiche Anpassungen haben, und andererseits häufen sich die besser angepaßten Individuen wegen der längeren Lebensdauer an. Auf diese Weise nimmt der Anteil der besser angepaßten Individuen an der Zahl aller Individuen der Art von Generation zu Generation zu<sup>37</sup>. Wenn es mehrere Möglichkeiten der Anpassung gibt (z. B. verschiedene günstig veränderte Schnabelformen), kann sich dabei eine Art in mehrere Aufspalten. Dies ist bei den Finken, die Darwin beobachtete, geschehen.

Erst 1932 gelang mit Bertalanffys Theorie der offenen Systeme die Ordnung von Lebewesen, die sich während der Ontogenese entwickelt, zu erklären. Lebewesen werden dort als offene Systeme aufgefaßt, die einem Fließgleichgewicht zustreben. Die Thermodynamik beschäftigt sich mit geschlossenen Systemen, die mit ihrer Umwelt Energie austauschen aber nicht Materie. Die Systeme mit denen sich die Theorie der offenen Systeme beschäftigt tauschen auch Materie mit ihrer Umwelt aus. Wenn der Materieaustausch eines

---

<sup>36</sup>*Brockhaus in 2 Bänden*, unter Thermodynamik

<sup>37</sup>Dabei muß die Zahl aller Individuen nicht konstant bleiben. sie kann beispielsweise ansteigen. Das geschieht z. B., wenn die veränderte Umwelt keinen Selektionsdruck erzeugt, sondern es lediglich ermöglicht neue Nahrungsquellen zu erschließen.

offenen Systems auf Null gesetzt wird, erhält man ein geschlossenes System. Daher stellt die Theorie der offenen Systeme eine Verallgemeinerung der Thermodynamik dar und verbindet die Sichtweisen aus Physik und Biologie wieder.

## Literatur

- [1] Ludwig von Bertalanffy, Walter Beier und Reinhard Laue: Biophysik des Fließgleichgewichts. Berlin 1977.
- [2] Werner Ebeling: Physik der Selbstorganisation und Evolution. Jena 1983.
- [3] Ilya Prigogine: Vom Sein zum Werden. Deutsche Übersetzung 1979





## 4. Chaos und Ordnung, Zufall und Notwendigkeit

nach Uwe an der Heiden

Pablo Dudenhöfer und Geeske Scholz

5. Mai 2004

### Erklärung von Chaos über das Suchen eines geeigneten Gegenbegriffs

Eine Herangehensweise um Chaos zu erklären oder zunächst zu definieren ist das Auffinden eines geeigneten Gegenbegriffs, in dessen Abwesenheit dann Chaos herrscht. Als Gegenbegriffe zu chaotisch kommen zunächst gesetzmäßig oder geordnet in Frage.

### Chaos als Gegenteil von Gesetzmäßigkeit

Der in der Wissenschaft vorherrschende **Determinismus**, der seinen Höhepunkt in der Annahme des **Laplaceschen Dämons**<sup>38</sup> fand, geht von einer vollkommenen determiniertheit des Universums aus. Nach dieser Ansicht glauben wir nur deshalb, fehlende Gesetzmäßigkeit zu erkennen, weil wir nicht alle Faktoren kennen. Das hieße Chaos, angenommen als fehlende Gesetzmäßigkeit, wäre subjektiv.

### Chaos als Gegenbegriff zu Ordnung

Auch ein gesetzmäßig zustande gekommener Zustand kann ungeordnet sein. Könnte man also Chaos als das Fehlen von Ordnung definieren? Ordnung selbst ist nicht wissenschaftlich meßbar. Zwar gab es Versuche, Ordnung mit Information gleichzusetzen und diese z.B. mit dem **Shannonschen Informationsmaß** zu messen, doch dieses Maß misst nur die Länge eines Textes, wonach ein Text von Goethe das gleiche Informationsmaß besäße wie ein zufällig zusammen gewürfelter Text, wenn beide gleich lang wären. Auch Ordnung ist subjektiv: Sie ist nur erkennbar, wenn das zugrunde liegende Ordnungssystem (z.B. Alphabet) bekannt ist.

Die Wissenschaft, um Objektivität bemüht, setzt sich aus diesen Gründen mit dem **deterministischen Chaos** auseinander, welches weder fehlende Gesetzmäßigkeit noch fehlende Ordnung benötigt.

### Deterministisches Chaos

Die klassische naturwissenschaftliche Auffassung ist, dass alles was in der Natur geschieht auf den so genannten Naturgesetzen basiert. Da diese Gesetze den Lauf der Dinge bestimmen oder determinieren wird diese Grundüberzeugung **Determinismus** genannt. Dieser war das vorherrschende Erklärungsprinzip der Welt, bis zum ersten mal eine naturwissenschaftliche Theorie, die Quantenmechanik, ernsthafte Zweifel daran zuließ. Die **Heißenbersche Unschärferelation** besagt, dass es nicht möglich ist den Ort sowie den

---

<sup>38</sup>Von Laplace (1749-1827) eingeführtes fiktives Wesen, das zu einem bestimmten Zeitpunkt exakt alle Zustände des Universums kennt und dem demzufolge die Welt bis in alle Ewigkeit determiniert vorliegt.

Impuls eines atomaren oder subatomaren Teilchens exakt festzustellen. Hieraus ist ein wissenschaftlicher Streit entsprungen der nun seit 80 Jahren andauert. Dieser Streit versucht zu klären ob diese Unbestimmtheit Folge einer Indeterminiertheit der Natur ist oder Folge der Unzulänglichkeit der Art und Weise, wie die Wissenschaft den atomaren und subatomaren Bereich beobachtet und beschreibt. Ungeachtet des Ausgangs dieses Diskurses, ergibt sich daraus ein praktischer Indeterminismus im Kleinen, da die Quantenmechanik nur eine Wahrscheinlichkeitsaussage über den Ort und Impuls der Teilchen im mikroskopischen Bereich geben kann. In welcher fatalen Art und Weise sich dieser praktische Indeterminismus im Kleinen auf die makroskopische Welt auswirken kann verdeutlicht das deterministische Chaos, über dessen Mechanismen sich ein solcher praktischer Indeterminismus im Kleinen zu einem praktischen Indeterminismus im Großen ausweiten kann. Was ist aber dieses deterministische Chaos und warum trägt es dazu bei, dass mikroskopische Ungenauigkeiten Einfluss auf makroskopische Prozesse haben? Um die Beantwortung dieser Frage soll sich diese Arbeit bemühen. Es mag vielleicht ein wenig seltsam wirken, dass der Determinismus, welcher die Gesetzmäßigkeit des Geschehens als oberstes Credo hat, in Verbindung mit Chaos gebracht wird. Von Chaos im wissenschaftlichen Sinne der Chaostheorie wird gesprochen, wenn es sich um Prozesse handelt, welche durch die Prinzipien der **Instabilität**<sup>39</sup> und **Reinjektion**<sup>40</sup> begründet sind. Diese Prozesse basieren auf Gesetzen, sind somit deterministisch, und haben dennoch den Charakter des Chaotischen, welches eine Konsequenz aus dem Zusammenspiel von Reinjektion und Instabilität ist. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass das deterministische Chaos durchweg Regelhaft ist und eine Ordnung besitzt. Für die Entstehung des Chaotischen brauchen keine Zufälle angenommen werden, denn das Zusammenspiel zwischen Instabilität und Reinjektion reicht vollkommen aus um eine Vielzahl von Eigenschaften die dem deterministischen Chaos zueigen sind hervorzubringen.

Es gibt zwei **Kausalitätsprinzipien**, die schwache Kausalität, welche besagt, dass gleiche Ursachen gleiche Wirkungen haben, sowie die starke Kausalität wonach ähnliche Ursachen ähnliche Wirkungen hervorbringen. Dass die schwache Kausalität für alle Systeme gelten muß ist insofern einleuchtend, da genau hierin die Gesetzmäßigkeit des Naturgeschehens liegt, wäre dies nicht der Fall, so könnte es sein das eines Tages ein Apfel nicht auf die Erde sondern in das Weltall fliegt. Mit der starken Kausalität sieht dies anders aus. Würde sie auf das Chaos zutreffen, so würde dies beim Erreichen eines zu einem bereits durchlaufenen Zustands ähnlichem dazu führen, dass ein zu dem bereits durchlaufenen Folgezustand ähnlicher Zustand folgt, so dass sich der Zyklus mit ähnlichen Zuständen zu den bereits Durchlaufenen wiederholt. Dieses Phänomen tritt zwar auch im deterministischen Chaos auf und wird mit „Intermittenz“ bezeichnet, aber das Vorhandensein von Instabilitäten, von welchen mindestens eine in einem solchen System vorhanden sein muß damit es chaotisches Verhalten zeigen kann, führt zwangsläufig dazu, dass sich der Verlauf irgendwann in einer anderen Richtung fortsetzt. Gegen die starke Kausalität sprechen also die für das Chaos charakteristischen Instabilitäten, die dafür sorgen, dass minimalste Änderungen zu einem ganz neuen Verlauf führen. Diese Eigenschaft wird **sensible Abhängigkeit von den Anfangszuständen** genannt. Nun kennen wir den Grund, weshalb mikroskopische Details ausschlaggebend sind für den Verlauf im Ganzen. Das deterministische Chaos hat jedoch noch eine Ganze Menge mehr Phänomene zu bieten. „Das Reich des chaotischen

---

<sup>39</sup>„Eine Instabilität ist ein solcher Zustand eines Systems, von dem aus es sich bei beliebig kleinen Abweichungen in zwei entgegen gesetzte Richtungen entwickeln kann.“ U.an der Heiden S.110

<sup>40</sup>Das System wird immer wieder sehr nahe an Instabilitäten herangeführt

ist jedoch größer und vielfältiger als ein Ozean, und wir können nur einige Kieselsteine von seinem Rande aufnehmen.“<sup>41</sup>

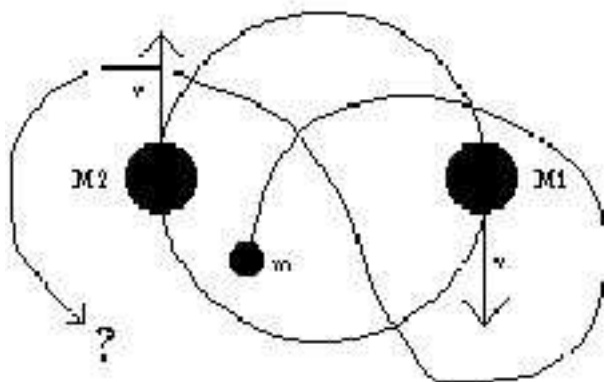


Abbildung 4.1: Das eingeschränkte Dreikörperproblem bei dem die sensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen zu beobachten ist

## Ordnungsstrukturen im Chaos

Seit 1975 bemüht sich die Chaosforschung, Strukturen und Ordnung im Chaos zu erkennen. Letztere zeigt sich an statistischen Eigenschaften des deterministischen Chaos, so gibt es eine invariante Wahrscheinlichkeitsverteilung für gewisse Ereignisse. Als Charakteristik wurde bereits die **sensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen** erwähnt, sowie die Tatsache, dass chaotische Systeme **nicht periodisch** verlaufen. Auch die **Notwendigkeit von Reinjektion und Instabilität(en)** wurde diskutiert.

Ein chaotisches System kann typische, allerdings nie identische Strukturen mehrmals erzeugen, z.B. kann es im System Wetter typische, nie identische Wolkenformationen geben. Das liegt daran, dass alle Zustände immer wieder beliebig genau angenähert werden. Dieses Phänomen wird **Ergodizität** genannt. Dabei wird allerdings nie zweimal genau derselbe Zustand durchlaufen.

Auch kann es zu einem Übergang zwischen periodischen und chaotischen Zuständen kommen, beim Wetter wären das z.B. mehrere schöne Sommer hintereinander. Diese Übergänge werden **Intermittenz** genannt. Beide Phänomene lassen sich auf das Reinjektionsprinzip zurückführen. Dieses hat außerdem **Erratizität und Durchmischung** als zwei typische Phänomene des deterministischen Chaos zur Folge, d.h., dass z.B. im chaotischen System Wetter alle Luftmoleküle eine völlige Durchmischung erfahren und im allgemeinen einen erratischen<sup>42</sup> Weg zurück legen.

Chaotische Systeme verbleiben in einem endlichen Bereich ihres Zustandsraumes, welcher **chaotischer Attraktor** genannt wird. Als Beispiel kann hier der menschliche Herzschlag dienen, welcher nicht durch eine Zahl bestimmt ist, aber immer in einem gewissen Bereich verbleibt. Bekannte chaotische Attraktoren sind außerdem der Verhulst-Attraktor, Rössler-, Lorenz- und Machey-Glass-Attraktor.

Chaotische Attraktoren haben eine **fraktale Dimension und fraktale Struktur**. Diese

<sup>41</sup>U. an der Heiden S.120

<sup>42</sup>verirrt, verstreut



Abbildung 4.2: typische Wolkenformation

zeigt sich wenn man die Zustandsgrößen über einen langen Zeitraum gegeneinander aufträgt. Das entstandene Gebilde hat eine fraktale Struktur. Um die sicherlich nicht leicht zugänglichen Begriffe fraktale Dimension und Struktur zu erläutern, nennen wir zunächst einige Beispiele für **Fraktale**: Blitz, Blumenkohl, Baum, Blutgefäß, Farn.<sup>43</sup> Fraktale sind Objekte mit unregelmäßiger Struktur und gebrochener, d.h. fraktaler Dimension. Auch die Selbstähnlichkeit der Struktur ist ein Kennzeichen<sup>44</sup> von Fraktalen, allerdings muß nicht jeder chaotischer Attraktor selbstähnlich sein<sup>45</sup>.

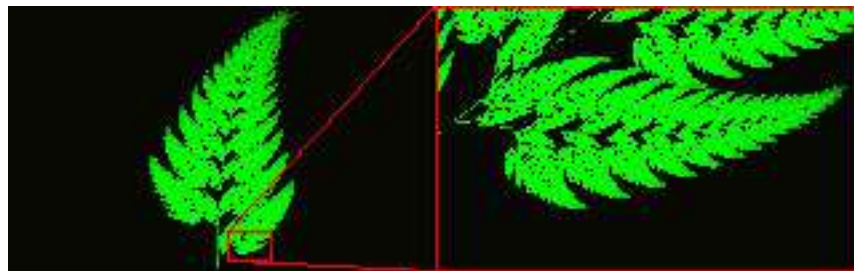


Abbildung 4.3: Selbstähnlichkeit von Farn

Unter **fraktaler Dimension** kann man sich ein Maß für die Unregelmäßigkeit eines Fraktals, einen Faktor für die Zunahme seiner Länge, seiner Oberfläche oder seines Volumens vorstellen. Hierbei wird von der Ganzzahligkeit der Dimension (2 für Ebene, 3 für Fläche) abgerückt. Ein Beispiel ist die **Koch'sche Kurve** (1904). Bei dieser wird mit einem gleichseitigen Dreieck begonnen, bei dem an jede Seite ein gleichseitiges Dreieck mit einem Drittel der Seitenlänge des ursprünglichen Dreiecks angehängt wird. Bei diesen wird dann genauso verfahren, ohne Ende. Bei jeder neu angehängten „Generation“ von Dreiecken erhöht sich die Länge um den Faktor  $4/3$ . Der Umfang wächst ins Unermessliche, obwohl die Kurve nur eine endliche Fläche umschließt. Die so entstandene Kurve hat die Dimension 1,26 (Hausdorff-Dimension). Beispiele aus der Natur sind Küstenlinien oder Gebirge.

<sup>43</sup>Der interessierte Leser kann in „Die fraktale Geometrie der Natur“ von Benoit B. Mandelbrot tiefer in diese Materie einsteigen.

<sup>44</sup>Selbstähnlichkeit: Ein Ausschnitt einer Struktur gleicht der Gesamtstruktur

<sup>45</sup>Es gibt hyperfraktale chaotische Attraktoren, d.h. es lassen sich in immer kleineren Bereichen immer neue Strukturen erkennen. Dies ist der Fall, wenn sich keine fraktale Dimension bestimmen läßt.

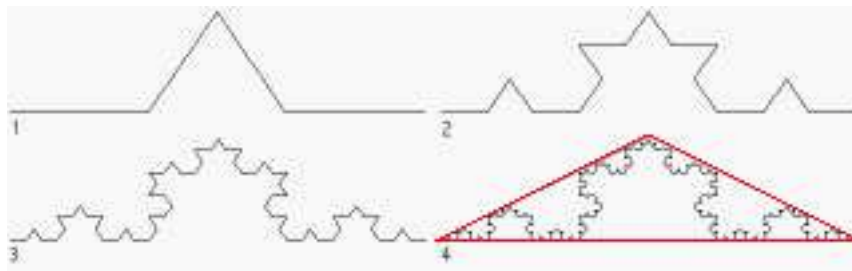


Abbildung 4.4: Koch'sche Kurve



Abbildung 4.5: natürliche Fraktale: Blitze

## Fazit

Uwe an der Heiden kommt in seinem Essay zum Fazit, das es, von möglichen Indeterminiertheiten in der Quantenmechanik abgesehen, keinen objektiven Zufall gibt. Damit ist Chaos für ihn nur in der Form von deterministischem Chaos vorhanden.

Wir allerdings sind der Annahme, dass die Quantenmechanik in seinem Fazit zu kurz kommt, so würde eine tatsächliche Indeterminiertheit, auch wenn sie noch so klein ist, durch die sensible Abhängigkeit von den Anfangszuständen das gesamte Geschehen im Universum beeinflussen. Außerdem haben wir uns gefragt, wie der freie Wille im Weltbild des deterministischen Chaos einzuordnen ist. Wenn man davon ausgeht, dass es diesen nicht gibt, wie z.B. der Neurobiologe Gerhardt Roth<sup>46</sup>, so spielt er natürlich keine Rolle. Allerdings gibt es über die Existenz von freiem Willen in der Wissenschaft noch immer keine einheitliche Meinung. Wenn man nun davon ausgehen würde, dass freier Wille existiert, so würde diese Annahme die Annahme von der Determiniertheit von Chaos zunichte machen.

---

<sup>46</sup>„Der freie Wille ist nur eine nützliche Illusion.“ (Zitat Gerhard Roth)

**Literatur**

Wir haben diesen Text auf der Basis des Essays von Uwe an der Heiden geschrieben und ein Zitat von Gerhard Roth verwendet.

[1] Essay von Uwe an der Haiden, „Chaos und Ordnung, Zufall und Notwendigkeit“ erschienen in „Chaos und Ordnung, Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft“ Hrsg. Günter Küppers (1996 Philipp Reclam jun. GmbH & Co)

[2] Zitat von Gerhard Roth, unter anderem zu finden unter <http://www.wissenschaft.de/wissen/news/151370.html>

## 5. Chaos: Unordnung im Reich der Gesetze

### nach Günter Küppers

Matthias Kalkuhl  
12. Mai 2004

### Einleitung

“Was ist Ordnung, was ist Chaos?“, wird man sich beim Lesen des Titels dieser Arbeit vielleicht fragen und hoffen, darauf nun eine Antwort finden zu können. Jeder hat eine gewisse Vorstellung von diesen Begriffen, doch wie kann man fern von Intuitivität und Subjektivität Chaos und Ordnung beschreiben?

Die exakten Definitionen der Physik und der Informationstheorie mögen zwar für eine quantitative Charakterisierung im Rahmen der jeweiligen Anwendungsbereiche ausreichen, doch lässt sich die wahre Bedeutung von Ordnung für Mensch und Gesellschaft nicht in jenen formalen Ausdrücken errahnen geschweige denn verstehen.

Ordnung bedeutet dabei nicht nur Gesetzmäßigkeit und Regelmäßigkeit; sie ist vielmehr der Inbegriff eines Weltbildes, welches die Naturwissenschaften jahrhundertlang prägte, ein Prinzip, nach dem die Menschen zu allen Zeiten ihr Leben ausrichteten, eine Hoffnung, das Universum in seiner Komplexität doch noch in einfachen Gesetzen verstehen zu können.

Unsere Erfahrungen im Alltag weit ab von der künstlichen Realität der Experimente lassen gelegentlich eine Welt vermuten, die alles andere als ordentlich ist, die in zahlreichen Phänomenen chaotisch, unberechenbar und unendlich kompliziert scheint. Neben den begrifflichen Erläuterungen werden deshalb die Ursachen von Komplexität näher beleuchtet sowie der Bezug zur zukünftigen erkenntnistheoretischen Entwicklung hauptsächlich in den Naturwissenschaften hergestellt.

Dieser Ausarbeitung liegt der Artikel “Chaos: Unordnung im Reich der Gesetze”<sup>47</sup> von Günter Küppers zugrunde, welcher sich mit der Entwicklung der Chaosforschung und den Konsequenzen ihrer Resultate befasst. Der Aufbau dieser Arbeit ist weitestgehend an der Gliederung Günter Küppers’ orientiert. Für weitere Bücher zu diesem Thema sei auf das Literaturverzeichnis verwiesen.

### Die Linearität des Denkens

Zu Beginn stehen einige Überlegungen zu einer linearen Sichtweise auf die gesamte Umwelt, die sich durch die Prinzipien der Regelmäßigkeit und Idealisierung auszeichnet. Diese lineare Betrachtungsweise stellte lange Zeit eine große Selbstverständlichkeit in nahezu allen naturwissenschaftlichen Bereichen dar, die selbst heute noch das allgemeine Weltverständnis prägt - mit schwerwiegenden Konsequenzen, wie sich im Laufe der Arbeit zeigen wird.

---

<sup>47</sup>Erschienen in: Chaos und Ordnung [1]

## Auf der Suche nach Regelmäßigkeit

Seit jeher versuchen Menschen Regelmäßigkeiten in der Natur, aber auch in ihrem sozialen Umfeld, aus der nie endenden Informationsflut herauszufiltern, um diese allgemeingültigen Gesetze für eigene Zwecke zu nutzen. Regelmäßigkeit ist eine Grundvoraussetzung für Planung und Erfindung von Maschinen, Institutionen u. a. künstlichen Systemen. Aber auch für den biologischen Rhythmus - angetrieben durch Tag und Nacht sowie den Wechsel der Jahreszeiten - und die Orientierung in der Umwelt ist Regelmäßigkeit unersetzbar.

Auf irgendeine Art und Weise fasziniert das Regelmäßige bzw. die Natur, in der man nach dem Regelmäßigen sucht und es auch darin findet. Das Unregelmäßige und Zufällige wirkt störend - es lässt sich nicht in einfachen Gesetzen ausdrücken, kann nicht für Prognosen verwendet oder auf Ursachen zurückgeführt werden. In dem Streben nach Erkenntnis und Verständnis scheint es keinen Platz zu verdienen.

So wundert es nicht, dass Unregelmäßigkeit - oder gar Chaos als negativ behaftete Steigerung derselben - bei den klassischen Naturwissenschaften bis ins späte 18. Jahrhundert verdrängt wurde. Die Welt hatte regelmäßig zu sein. Hinter jeder Unregelmäßigkeit mussten sich Gesetze verbergen - und die wissenschaftlichen Fortschritte der letzten Jahrhunderte ließen den Schluss zu, irgendwann alle Phänomene der Welt erklären zu können. Natürlich gab es Erscheinungen in der Natur, deren Untersuchung erhebliche Schwierigkeiten machte, doch wurden diese zu Randerscheinungen diffamiert: Chaos gab es somit nur im extrem Kleinen, im atomaren Bereich, am zeitlichen Anfang oder Ende des Universums, im Urknall und im Wärmetod.<sup>48</sup> Obwohl diese Fragen interessant waren, sah man in der Klärung keinen praktischen und damit technologischen Nutzen. Angesichts fehlender Untersuchungsmöglichkeiten konnte man sowieso nur Hypothesen aufstellen, die wohl für immer unbewiesen blieben.

Sir Isaac Newton, der Begründer der klassischen Mechanik in der Physik, revolutionierte 1687 das abendländische Weltbild durch seine *Principia Mathematica*, in der grundlegende Gesetze zur Beschreibung und Berechnung zahlreicher Bewegungsvorgänge dargelegt wurden. Die Welt wurde ein Stück berechenbarer, was sich nahtlos in die Philosophie des Determinismus einfügte. Als einer der bekanntesten Vertreter dieser Sichtweise formulierte Laplace seinen Dämon - eine Intelligenz, die alle Gesetze des Universums kennt und mit dem Zustand der Welt zu einem bestimmten Zeitpunkt alle Zustände zu beliebig anderen Zeitpunkten berechnen könne. Die Entwicklung der Newton'schen Physik schien diesen Determinismus zu bestätigen.

Eine deterministische Welt erscheint jedoch auch sinnlos, da der Ablauf alles Geschehens zu allen Zeiten festgelegt und unveränderbar und somit auch der freie Wille des Menschen reine Illusion ist.

Das klingt wie die Schicksalsvorstellung in der Antike, wie die Tragödie des Ödipus: Man kennt seine Zukunft und kann sie doch nicht ändern.<sup>49</sup> Eine deterministische Welt stellt

---

<sup>48</sup>Siehe Küppers [1], S. 152.

<sup>49</sup>Ödipus, der Sage nach Sohn des Laïos, des Königs von Theben, sollte nach einem Orakelspruch seinen Vater töten und dessen Frau Iokaste heiraten. Laïos und Iokaste beschließen daher, ihr Kind nach der Geburt zu töten, um dieses Unglück zu verhindern. Der Tötungsversuch misslingt jedoch, und Ödipus wächst ohne das Wissen seiner leiblichen Eltern bei König Polybos auf. Als Ödipus ebenfalls den Schicksalsspruch, seinen Vater zu töten und seine Mutter zu heiraten, vernimmt und zudem zweifelt, ob seine Pflegeeltern auch seine leiblichen Eltern sind, tötet er in Ratlosigkeit und Zorn einen alten Mann, der tatsächlich aber Laïos, Ödipus' Vater, ist. Das Schicksal hat sich somit trotz aller Versuche, es zu verhindern, erfüllt. [8]



aber auch ein faszinierendes Gedankenexperiment dar: Gelänge es dem Menschen eines Tages einen Laplace'schen Dämon zu konstruieren und könnte er damit die (festgelegte, unveränderbare Zukunft) berechnen, wäre dieses Ereignis schließlich auch im Determinismus festgelegt. Die Zukunft, die er erblickte, beinhaltete die Tatsache, dass der Mensch um diese Zukunft weiß. Ist dies überhaupt möglich? Würde sich dadurch nicht ein Gleichgewicht der Handlungsmöglichkeiten einstellen, welches jegliches Agieren sinnlos machte, da es ja sowieso festgelegt wäre?

Das Wissen um die Zukunft würde den Tod des Menschen bedeuten - vielleicht nicht den biologischen, doch ganz sicher den geistigen Tod - und käme somit einer Katastrophe gleich.

### Die Idealisierung der Natur

Die Suche nach Gesetzmäßigkeiten in einer Welt voller komplizierter Erscheinungen setzt eine Technik voraus, mit der man aus der Flut von Informationen und Daten sinnvoll Zusammenhänge erfassen kann. Gemeinhin wird dieser Prozess als Abstraktion, als Reduzierung vielfältiger Erscheinungen auf wesentliche Grundmuster, bezeichnet - man reduziert die Zahl der (vielen) wirkenden Faktoren auf einige wenige, die maßgeblich eine Beeinflussung auf den zu untersuchenden Sachverhalt ausüben. Die Abstraktion wird in der Geschichte von Newton und dem fallenden Apfel deutlich: Der Bewegung von Apfel und Planet liegt dieselbe Ursache - die Schwerkraft - zugrunde. Lediglich Masse und Entfernung spielen bei der Bewegung eine Rolle, Erscheinungsformen wie Größe und Farbe können dagegen vernachlässigt werden.

Die Erfolgsgeschichte der Mechanik gründet auf die Erfolgsgeschichte des Reduktionismus, der sich bei so vielen Problemen bewährt hat und Unregelmäßiges als Unreduzierbares kategorisch ausblendete. Allerdings ergab sich daraus ein leichtfertiger Umgang im Vernachlässigen von unscheinbaren Einflüssen, die als unwesentlich und unverhältnismäßig kompliziert galten.

Durch Abstraktion und mathematische Berechnung wurde die Welt in den Augen der Physiker mehr und mehr zu einem Modell, in dem nur noch bestimmte Größen wichtig waren. Für die Konsistenz dieses Modells war das Postulat von *actio = reactio*<sup>50</sup>, eine unerlässliche Grundvoraussetzung, deren Gültigkeit auch nicht im geringsten bezweifelt wurde.

### Konsequenzen der linearen Sichtweise

Diese ideale (Modell-)Welt war geradezu geschaffen für Mathematiker und Physiker, die das Formelwerk zum Naturverständnis mehr und mehr zu vervollständigen versuchten. Die Physik knüpfte durch Experimente als empirische Beweise den Bezug zur Realität, an der sich die Wahrheit jeder Formel messen musste. Doch entpuppte sich so manches Gesetz getestet in der "inszenierten"<sup>51</sup> Wirklichkeit der Experimente als unbrauchbar, um real ablaufende Prozesse beschreiben zu können.

Ein großes Problem bei der physikalischen Beschreibung der Welt stellte lange die Vorstellung einer reversiblen Zeit dar: Im Gegensatz zur persönlichen Erfahrung konnte bei physikalischen Vorgänge innerhalb der klassischen Mechanik nicht entschieden werden, ob

---

<sup>50</sup>D.h. gleiche Ursachen haben immer auch gleiche Wirkungen.

<sup>51</sup>Siehe Küppers [1], S. 156.

diese vorwärts oder rückwärts abliefen. Für die Gesetze der Physik spielte es also keine Rolle, in welcher Richtung die Zeit verlief, worin Prigogine eine wesentliche Entzweigung der Physik bzw. Mathematik von den Sozialwissenschaften sieht<sup>52</sup>.

Dies änderte sich erst mit der Betrachtung thermodynamischer Prozesse und dem daraus folgenden Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik<sup>53</sup>: Ein Körper mit Temperaturgefälle wird sich ohne äußere Einflüsse<sup>54</sup> auf ein gleichverteiltes Temperaturniveau zubewegen; beobachtet man dagegen eine "Aufteilung" der (konstant verteilten) Wärmeenergie in heiße und kältere Regionen dieses abgeschlossenes Systemes, muss dieser Prozess rückwärts ablaufen - mit anderen Worten: man wird diese Beobachtung in der zeitlich stets vorwärtsgerichteten Welt nicht machen können.

Zuletzt sei noch auf das Problem der quantitativen Modellierung hingewiesen, die aus der Betrachtung zeitlich unveränderlicher Gleichgewichte erwächst. Die Veränderung einer Größe konnte in abgeschlossenen Systemen stets durch die quantitative Veränderung einer anderen Größe kompensiert werden, wie es beispielsweise in den verschiedenen Energieumwandlungsprozessen erfolgt. Die Gesamtenergie des Systems bleibt immer konstant, jegliche Veränderung tritt nur als Verlagerung auf. In der Realität beobachten wir jedoch zahlreiche Prozesse qualitativer Natur: Die Entstehung von Sonnensystemen und Leben, die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft, die kognitiven Prozesse des menschlichen Gehirns. Dies sind alles Strukturbildungsprozesse, die nicht durch quantitative Veränderung, nicht durch skalare Größen beschrieben werden können.

Die lineare Sichtweise auf die Natur führte zu der Vorstellung, allein mit der Kenntnis der Elemente und Subsysteme das Verhalten des Gesamtsystems berechnen zu können.

## Der Begriff der Ordnung

Wie bereits in der Einleitung angekündigt, soll nun der Versuch unternommen werden, sich eine Vorstellung des Ordnungsbegriffes zu machen, die über die physikalische Definition hinausgeht.

Zunächst die Definitionen: Am anschaulichsten wird der Ordnungsbegriff in der Informationstheorie verwendet. Ordnung ist dabei äquivalent zum Informationsmaß, welches die Länge der Information über irgendeinen Sachverhalt (Inhalt der Information) darstellt. Zufallszahlen lassen sich nicht komprimieren - die Information über eine Folge von Zufallszahlen kann nicht kürzer als die Folge selbst sein. Betrachtet man dagegen die (unendlich lange) Zahl  $\Pi = 3.141592653\dots$ , die für einen über die Bedeutung dieser Zahl Unwissenden wie eine Zufallszahl aussehen mag, so kann man die Informationen in dem mathematischen Bildungsgesetz<sup>55</sup> auf wenige Zeichen verringern. Demnach besitzt  $\Pi$  eine sehr hohe Ordnung.<sup>56</sup>

---

<sup>52</sup>Vgl. Prigogine [3].

<sup>53</sup>Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik lautet: "Bei allen nichtumkehrbaren (irreversiblen) Vorgängen wächst die Gesamtentropie der beteiligten Körper bis zu einem Maximum im thermischen Gleichgewicht. Von selbst verlaufen also nur Vorgänge, bei denen die Entropie zunimmt." Aus: Stroppe [7], S. 177.

<sup>54</sup>D.h. ohne Zufuhr von Arbeit

<sup>55</sup>Eine Reihe ist beispielsweise  $\Pi = 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k-1}}{2k-1}$ .

<sup>56</sup>Eine ganz andere Frage stellt sich nach der Feststellbarkeit, ob Information nicht weiter komprimierbar, also extrem unordentlich, ist. Gewöhnlich kann man aus dem Nichtgelingen, die Gesetzmäßigkeiten zur Komprimierung eines Prozesses zu finden, nicht schließen, dass dieser Prozess auch chaotisch ist.

In der Thermodynamik dagegen stellt die *Entropie*<sup>57</sup> ein Maß für die Unordnung thermodynamischer Systeme dar. Der Zustand höchster Unordnung ist somit der Wärmetod des Universums, das dann nur noch ein homogener, strukturloser, jeglicher Unterschiede beraubter Materiehaufen ist. “Was hat denn Homogenität mit Unordnung zu tun?”, wird man sich bei dieser etwas widersprüchlich scheinenden Aussage fragen. Eine homogene Welt bedeutet erst einmal eine Welt ohne Veränderung, ohne Zeit, ohne Leben.

Intuitiv besitzt jeder Mensch eine gewisse Vorstellung von Ordnung - angefangen von der Systematik, Informationen zu verwalten (z.B. alphabetische Sortierung) oder den Regeln im Straßenverkehr, die einen geordneten Verkehrsfluss fördern sollen, bis hin zu den Naturgesetzen im allgemeinen, die Schwerkraft im besonderen, die jeden Körper nach unten zieht und uns nicht durch die Luft schweben lässt.

Ordnung, die immer auch eine subjektive und individuelle Komponente besitzt, hat dabei viel mit Effektivität zu tun: Geordnete Information findet sich schneller; ein Rechtsstaat ohne unberechenbare Willkür einzelner Personen und Institutionen fördert Wohlbefinden und damit langfristig Produktivität und Stabilität; die konsequente Anwendung der Naturgesetze zur Konstruktion technischer Geräte schafft Arbeitsverringerng und Unterhaltungsmedien.

Schaut man sich die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft an, so ist sie zweifellos ein Prozess des Ordnen, ein Schaffen von Ordnung durch gesellschaftliche sowie technische Strukturen (z.B. Institutionen, Werkzeuge, Maschinen) und Konventionen (z.B. Traditionen, Ethik, Bildung).

Es besteht somit ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Ordnung und Wohlstand bzw. Zivilisationsniveau. Das Streben nach Wohlstand beinhaltet damit auch ein Streben nach Ordnung und die Grenze der Ordnung ist wiederum die Grenze des Wohlstandes.

“Ordnung ist das halbe Leben”, besagt ein Sprichwort und ohne Ordnung gäbe es nur Chaos, in dem Leben schwer vorstellbar scheint. Aber Ordnung ist auch so etwas wie die verborgene Religion, mit welcher der Mensch sein Glück immer mehr vervollkommen zu versucht.

Der “Glaube” an die Ordnung prägt somit in entscheidender Weise das Natur- und Menschverständnis ganzer Völker, welches über Generationsgrenzen hinweg erhalten bleibt.

## Chaos als verborgene Ordnung

### Die Entdeckung des Chaos

Der Meteorologe Edward Lorenz arbeitete Anfang der 60er Jahre an einem Computermodell zur Wettervorhersage, welches ein recht einfaches Differentialgleichungssystem mit numerischen Verfahren lösen sollte. Aufgrund einer kleinen Ungenauigkeit<sup>58</sup> beim wiederholten Eingeben der Zustandsgrößen für einen zweiten Modelllauf stellte Lorenz überraschenderweise einen komplett anderen Modellverlauf fest, der schon nach kurzer Zeit keine Ähnlichkeiten mit der vorherigen Simulation aufwies.

Die Anekdote zeigt, was bis dahin für undenkbar galt: mikroskopische Ursachen können durchaus makroskopische Folgen haben!<sup>59</sup> Diese Eigenschaft chaotischer Systeme wird

---

<sup>57</sup>Aus dem Griechischen, bedeutet soviel wie “Verwandlungsinhalt”.

<sup>58</sup>Gleick beschreibt dies in “Chaos - die Ordnung des Universums” [5] durch die Diskrepanz zwischen interner Rechengenauigkeit und leicht gerundeten Ausgabewerten.

<sup>59</sup>Dies wird auch als Sensitivität bezeichnet.

<b>Lineares Weltbild</b>	<b>Weltbild der Chaostheorie</b>
Das Ganze als die Summe seiner Teile (Systemverhalten durch Subsystemverhalten erklärbar)	Die Gesamtheit der Subsysteme erklärt nicht das Verhalten des Gesamtsystems
Kausalität von Ursache und Wirkung (gleiche Ursache → gleiche Wirkung)	Die Gesamtheit des Universums als Ursache
Determinismus und Ordnung	Deterministisches Chaos
Reduktionismus	Komplexität
Die Welt ist berechenbar und planbar	Die Welt ist chaotisch und unberechenbar, allenfalls stochastisch
Große Stabilität und Unvergänglichkeit	Wandel durch Instabilität
Zeit hat keine Richtung	Irreversible Prozesse
Quantitative Betrachtung	Erklärung qualitativer Veränderungen

Tabelle 1: Übersicht der Veränderungen in der Betrachtungsweise

ebenso in der Metapher vom Schmetterlingseffekt deutlich wie in der Tatsache, dass auch heute das Wetter mittels modernster Computer nur für kurze Zeiträume mehr oder weniger genau vorhergesagt werden kann.

Das Chaos stellte den Menschen nun vor die große Herausforderung, aus dem Unberechenbaren dennoch Erkenntnis zu gewinnen. Damit verbunden ist zwangsläufig ein Umdenken in der Betrachtungsweise von Vorgängen in der Natur: statt statischer (bzw. höchstens periodisch veränderter) Gleichgewichtssysteme stehen dynamische Prozesse im Vordergrund. Computer ermöglichen praktikable numerische Lösungen der analytisch unlösbaren Differentialgleichungssysteme. Damit erfolgte ein Wandel von der "Wissenschaft des Seins" zur "Wissenschaft des Werdens", wie es Prigogine beschrieb.<sup>60</sup>

Die wichtigsten Paradigmenwechsel sind in Tabelle 1 dargestellt. Selbstorganisatorische Prozesse lassen sich meist nicht durch Verhalten der Systemelemente beschreiben, da das System als Ganzes eine (unabhängige) Eigendynamik aufweist. Obwohl die physikalische Funktionsweise von Nervenzellen sehr gut untersucht ist, stellt das Gesamtsystem Gehirn als Netzwerk von Nervenzellen ein (jedenfalls für noch lange Zeit) nicht befriedigend erklärbares Phänomen ungeahnter Komplexität dar. An dem Beispiel Gehirn wird ebenfalls deutlich, dass man in komplexen Systemen nicht von Ursachen im herkömmlichen Sinne sprechen kann: Eine Nervenzelle ist mit zehntausenden anderen Nervenzellen verbunden, jahrelange Lernprozesse führen nun zu einem spezifischen Verhalten, sobald bestimmte Eingangsreize vorliegen. Es gibt also nicht die überschaubare Menge der Nervenzellen auf der Inputseite als Ursache für einen Reiz, sondern der ganze Komplex Gehirn mit seiner Entwicklung von Geburt an ist Ursache für eine Nervenreaktion. Im makroskopischen Bereich sind durchaus ähnliche Phänomene sichtbar - bestes Beispiel hierfür ist wieder das Wetter. So gesehen stellt der Gesamtzustand des Universums eine (oder besser: die) Ursache dar, welche zwar für viele Anwendungsfälle auf einige wenige Aspekte reduziert werden kann, für komplexe Systeme mit Instabilitäten für Chaos und Zufall sorgt.

Die Sichtweise einer deterministischen Welt lässt sich somit nur schwer halten, da selbst die Rechengenauigkeit eines Laplaceschen Dämons nur endlich sein kann. Somit scheint es auch keine Weltformel geben zu können, welche alle Ereignisse (einschließlich mensch-

---

<sup>60</sup>Prigogine "Vom Sein zum Werden" [3]

lichen Verhaltens) berechnen könnte, zumal zahlreiche Veränderungen in Natur und Gesellschaft nicht quantitativ durch mathematische Größen sondern besser qualitativ durch strukturelle Änderungen beschrieben werden können.

### **Deterministisches Chaos**

In der Theorie der Chaosforschung stößt man unausweichlich auf den Begriff “deterministisches Chaos”, welches ein im Prinzip berechenbares Systemverhalten beschreibt, aufgrund von Rundungsfehlern, Instabilitäten und chaotischen Attraktoren ab einer bestimmten Zeit aber zu unvorhersagbarem Verhalten führt. Bekannte Beispiele dafür sind das bereits erwähnte Lorenz-System sowie die quadratische (zeitdiskrete) Abbildung. Selbst unter der theoretischen mathematisch-numerischen Systemanalyse ergibt sich ein Informationsverlust für das System, welcher darauf beruht, dass aufgrund unvermeidlicher Rundungsfehler die Vergangenheit des Systems “vergessen” wird.

### **Konsequenzen der Komplexität**

Chaotische Prozesse begegnen uns in nahezu allen Lebensbereichen, wengleich auch deren Auswirkungen meistens in einem gewissen Rahmen bleiben: Ob das Wetter, welches immer wieder neue Überraschungen für uns hat und dennoch unter der Perspektive des globalen Klimas relativ stabil bleibt, ob Entwicklung von Börsenkursen und Konjunktur oder die physikalisch lange unerklärbare Turbulenz in Flüssigkeiten und Gasen - die nichtlineare Dynamik macht alle Versuche einer sicheren Prognose zunichte.

Andere Beispiele für unberechenbares Verhalten stellen Eingriffe in Ökosysteme, die Evolution sowie ein Verkehrsstau mit seinen aperiodisch wechselnden Zuständen “Stehen” und “Fahren” dar.

Sicher werden die ein oder anderen Erwachsenen, die es mit der Erziehung von Kindern in Familie und Schule zu tun gehabt haben, die (oft schmerzlich empfundene) Erfahrung gemacht haben, dass noch so gute Bemühungen um die persönliche Entwicklung eines jungen Menschen wenig fruchteten, scheinbar wirkungslos blieben. Ohne Zweifel spielt die tief sitzende lineare Handlungsweise dabei eine große Rolle: mit Belohnung schafft man positive, mit Bestrafung negative Anreize; selbst soll man natürlich Vorbild sein und einen Mittelweg aus Barmherzigkeit und Disziplin gehen. Wie einfach und logisch diese Regeln auch sein mögen, je mehr man an deren Erfolg glaubt, desto größer wird die Enttäuschung sein, wenn die Kinder so werden, wie man es selbst unter allen Umständen zu verhindern suchte. Zweifellos sind viele Eltern und Pädagogen mit den ihnen anvertrauten Aufgaben überfordert; vielleicht ist aber auch der (persönliche wie gesellschaftliche) Erwartungsdruck zu hoch, das Selbstverständnis, “gute” Kinder erziehen zu müssen. Dabei ist die psychische Entwicklung eines Individuums von unendlich vielen anderen Faktoren abhängig, die nicht alle gezielt manipuliert werden können. Das Kind entwickelt sich ganz von selbst, große und kleine Ereignisse, bewusste und unbewusste Erfahrungen, einschneidende und subtile Veränderungen im psychischen wie sozialen Bereich lassen uns zu dem werden, was wir später mal sind (wenn man überhaupt von “sein” sprechen kann und nicht viel mehr von “werden”). Menschen sind keine Maschinen, die man nach Lust und Laune programmieren kann, obwohl natürlich ein gewisses Potenzial der psychologischen Manipulation vorhanden ist. Daraus folgt allerdings auch eine positive Konsequenz: Wengleich ein gewisses familiäres und soziales Umfeld die Entwicklung eines Menschen in psychischer

Sicht stark negativ beeinträchtigen kann, so wird doch jeder Mensch von allein erwachsen, um Verantwortung übernehmen zu können. "Schlechte" Erziehung wird heranwachsende Generationen nicht in dem Sinne völlig "herunterwirtschaften" können, dass diese nicht in der Lage wären, ein funktionierendes Sozialgeflecht aufbauen zu können.

Man erkennt schnell, wo in unserer Welt alles chaotische Prozesse ablaufen, die aber im Großen und Ganzen nur in meist bekannten Grenzen verbleiben. Chaos ist oft eine mikroskopische Eigenschaft mit makroskopischen Auswirkungen<sup>61</sup>, die eben gerade nicht in Chaos führen, sondern nur zu gewissen Überraschungen. Chaos bedeutet daher nicht Untergang, Zerfall und totale Unberechenbarkeit, sondern eher Abwechslung, Innovation und Evolution.

## Ausblick

Angesichts dieser eher pessimistisch stimmenden Resultate der Chaostheorie stellen sich u.a. folgende Fragen, die von allgemeiner Relevanz sein dürften und deren Auswirkungen an dem Beispiel gesellschaftlicher Systeme (Geschichtswissenschaften) anschließend kurz skizziert werden:

1. Bedeutet die Unberechenbarkeit der Welt die Sinnlosigkeit jeglichen politischen Eingreifens (in allen Bereichen)?
2. ...vielleicht auch des individuellen Handelns?
3. Bekommt der Einzelne mehr Einfluss in einer nichtlinearen Gesellschaft?
4. Sind wir bei chaotischen Prozessen an eine erkenntnistheoretische Grenze gestoßen, die auch in Zukunft nicht überwunden werden kann?
5. Ist eine menschliche Gesellschaft ohne Instabilitäten wie Umbrüche, Auseinandersetzungen, Kriege und Katastrophen nicht unmöglich?

Reinhart Koselleck beschreibt in seiner "Vergangenen Zukunft"<sup>62</sup> den Wandel der Geschichtswissenschaft von der *Historia Magistra Vitae*<sup>63</sup> - einer Sammlung beispielhafter, lehrreicher Geschichtchen - zur vergangenheitsfixierten systemischen Kollektivgeschichte, die aufgrund ihrer Komplexität zu keiner Prognose fähig ist. Erst in der Mitte des 20. Jahrhundert gelingt wieder die Aufwertung der Geschichtswissenschaft: "Aber die Geschichte als Ganzes versetzt den, der sie sich verstehend anverwandelt, in einen Zustand der Bildung, die mittelbar auf die Zukunft einwirken soll"<sup>64</sup>.

Der Historiker kann durch sein Wissen nicht die Zukunft vorhersehen, geschweige denn planen<sup>65</sup>, aber er kann ein gewisses Gespür für gesellschaftliche Zusammenhänge, eine

---

<sup>61</sup>Mikro- und makroskopisch ist natürlich vom jeweiligen "Maßstab" abhängig: Im Beispiel der Börse bedeutet mikroskopisch das Kaufverhalten einzelner Kleinaktionäre, das makroskopisch einige Aktienkurse beträchtlich beeinflussen kann.

<sup>62</sup>Siehe "Historia Magistra Vitae" aus Koselleck: "Vergangene Zukunft" [2].

<sup>63</sup>Lat.: Historia, die Lehrmeisterin des Lebens

<sup>64</sup>Aus: ebenda, S. 65

<sup>65</sup>Der Aspekt der Unplanbarkeit darf nicht nur negativ gesehen werden, sondern besitzt ja auch einen positive Seite: Die in Science-Fiktion Filmen propagierte Horrorvision einer totalen Weltherrschaft wird somit für eine komplexe (globalisierte) Zivilisation langfristig undenkbar. Allgemein folgt aus der Unplanbarkeit erhöhte Vorsicht bei jeglichen Eingriffen in komplexe Systeme (Vorsorgeprinzip).

Intuition für Konflikte und Entwicklungen bekommen, die ihm helfen, positiv in die Weltgeschichte eingreifen zu können - immer unter dem Vorbehalt eines offenen Experimentes, wie es Küppers formuliert. Geschichte vermittelt somit eine (eher subtile) Bewusstseins- und Wahrnehmungsveränderung für Konfliktsituationen und Zukunftsvisionen.

Die Antwort auf die Komplexität der Gesellschaft ist eben nicht die *Historia Magistra Vitae*, deren Ratschläge zum Scheitern verurteilt sein müssen, sondern die Kreativität der neuen Ideen als Impuls für Veränderungen.

## Literatur

- [1] Küppers, Günter (Hrsg.): Chaos und Ordnung - Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart: Philipp Reclam jun. GmbH & Co., 1996.
- [2] Koselleck, Reinhart: Vergangene Zukunft - Zur Semantik geschichtlicher Zeiten. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1979
- [3] Prigogine, Ilya: Vom Sein zum Werden - Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. München: R. Piper GmbH & Co. KG, 1985.
- [4] Peitgen, Heinz-Otto; Jürgens, Hartmut; Saupe, Dietmar: CHAOS - Bausteine der Ordnung. Berlin/Heidelberg: Springer, 1994.
- [5] Gleick, James: Chaos - die Ordnung des Universums. München: Droemer Knaur, 1988.
- [6] Argyris, John; Faust, Gunter; Hasse, Maria: Die Erforschung des Chaos. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1995.
- [7] Stroppe, Heribert: Physik - für Studenten der Natur- und Ingenieurwissenschaften. München/Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2003
- [8] Gustav Schwab: Die Sage von Ödipus.  
<http://gutenberg.spiegel.de/schwab/sagen/sch1531.htm> (Link vom 14. Mai 2004)





## 6. Der Synergetische Computer nach Hermann Haken

Florian Bruns und Jochen Sprickerhof  
19. Mai 2004

Chaos  
Chaos  
Chaos  
Order

### Einleitung

Im Proseminar Systemwissenschaft 2004 hatten wir uns das Thema „der Synergetische Computer“ von Hermann Haken ausgesucht. Wir wollen dabei zuerst das Gebiet der Synergetik genauer erläutern und ein paar Fachbegriffe vorstellen. Als nächstes gehen wir auf die Musterbildung und Mustererkennung ein welches sich dann auch im Hauptthema dem Synergetischen Computer wiederfindet. Zum Schluss wollen wir noch zeigen wie sich diese, erst mal nur theoretisch gewonnenen Erkenntnisse, am Beispiel Gehirn anwenden lassen.

### Was ist Synergetik

Synergetik ist der Name eines Wissenschaftsgebiets das Hermann Haken in den siebziger Jahren prägte. Er beschäftigte sich damals mit der Strukturbildung in komplexen Systemen, und stellte die These auf, dass in unterschiedlichsten Systemen gleichartige Strukturen auftreten, die man mit so genannten Ordnern mathematisch beschreiben könne. Bei der Synergetik geht es nicht darum eine exakte quantitative Beschreibung vorzunehmen. Ihr Ziel ist es Qualitäten, also grundsätzliche Strukturen und Veränderungen dieser Strukturen zu beschreiben. Da die unterschiedlichen Ordner meist nur in Abhängigkeit der Energiezufuhr und der Anfangsbedingungen ihre Strukturen ausbilden, wird die Synergetik oft als Spezialgebiet der Selbstorganisation betrachtet.

### Die Abstraktion der Ordner

Ordner beschreiben eine Struktur oder Schwingung in einem System, die unter bestimmten Anfangsbedingungen und Kontrollparametern entstehen. Ein Kontrollparameter könnte

z.B. die Energiezufuhr sein. Im Gegensatz zu den einzelnen Systemkomponenten sind die Ordner nicht materiell existent. Mit ihnen wird lediglich eine abstrakte Repräsentation für entstandene Strukturen möglich. Ordner lassen sich mathematisch beschreiben, auch wenn sie teilweise eine chaotische Struktur ausbilden. Das interessante an Ordnern ist, dass sich ihre Struktur nicht nur in einem speziellen System ausbilden kann. Hacken ist es gelungen zu zeigen, dass in Systemen aus unterschiedlichsten Wissenschaftsgebieten die selben Order auftreten. Dies sieht Hacken als Beweis dafür an, dass die Synergetik grundlegende Gesetzmäßigkeiten aufgedeckt hat.

Ein Beispiel hierfür ist von unten erhitztes Wasser in einem runden Gefäß. Ab einer bestimmten Temperaturdifferenz zwischen dem Gefäßboden und der Wasseroberfläche kommt es zur Entstehung von Bienenwaben ähnlichen Strukturen die dem Temperaturausgleich dienen. Die mathematische Beschreibung dieses Ordners ist identisch mit der eines Wolkenbahnenordners (Abbildung 6.1).

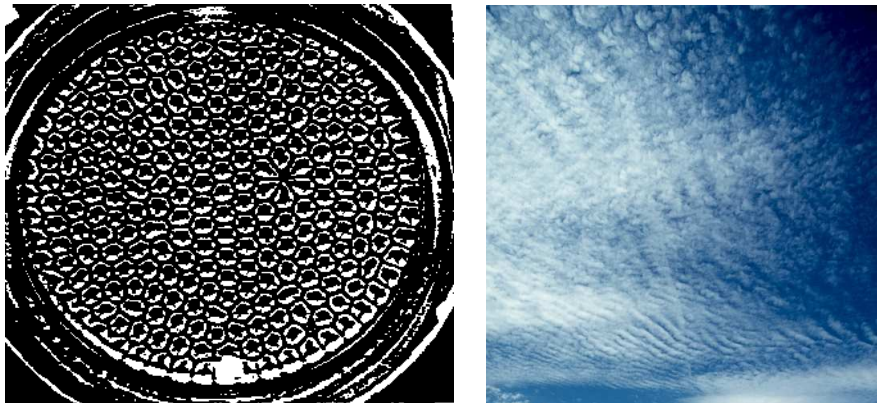


Abbildung 6.1: Vergleich von Bienenwabenmustern beim Bénard Experiment und der Strukturbildung bei Wolken

## Konkurrenz der Ordner - Das Prinzip der Versklavung

In einem System versuchen immer verschiedene Ordner ihre Struktur durchzusetzen. Je nachdem wie gut ein Ordner zu den Anfangsbedingungen und Kontrollparametern passt, steigen oder fallen seine Chancen. Durch die verschiedenen Ordner im selben System kommt es zu einer Konkurrenz der Ordner, bei der nur einer, also der stärkste Ordner, sich durchsetzen kann. Im Sprachgebrauch der Synergetik spricht man davon, dass dieser stärkste Ordner zunächst alle anderen Ordner versklavt und schließlich den Systemkomponenten seine Struktur aufzwingt. Es kommt also dazu, dass ein Ordner der aus den Systemkomponenten entsteht, sich gegenüber den anderen Ordnern durchsetzt, um dann das qualitative Verhalten des ganzen Systems zu bestimmen. Auch bei dieser Kontrolle des Systemverhaltens spricht man von Versklavung. Hier wird noch einmal deutlich, dass es sich um einen selbst organisierten Prozess handelt. Die Strukturen werden nicht von außen vorgegeben, sondern sind im System gespeichert. Oftmals handelt es sich schlicht um die energetisch sinnvollsten Zustände.

## Emergenz - Die Entstehung neuer Strukturen

Von besonderem Interesse sind solche Systeme, die nicht autark sind, da sie von einem äußeren Parameter abhängen. Oft ist dieser Parameter die Energiezufuhr. Bei der Veränderung eines Parameters kann es dazu kommen, dass der dominierende Ordner seinen Einfluss verliert und nach einer neuen Konkurrenzsituation ein anderer Ordner zum Zug kommt, also die anderen Ordner versklavt und das System nach seinem Muster neu anordnet. Diese qualitative Veränderung des Systems nennt man abgeleitet vom griechischen *emergieren*, was soviel heißt wie emporsteigen, Emergenz. Beschrieben wird mit Emergenz die Entstehung neuer Strukturen.

## Konzentration aufs Makroskopische

Die Synergetik beschäftigt sich mit Phänomenen aus den unterschiedlichsten Wissenschaftsgebieten. Dabei geht es nicht um die exakten quantitative Beschreibung der untersuchten Systeme, sondern um das Erkennen von grundsätzlichem qualitativen Verhalten, also der Beschreibung des makroskopischen Verhaltens. Was die einzelnen Teile der untersuchten Struktur sind und wie es zur Entstehung der Muster kommt ist für die Synergetik nebensächlich. Bei der Synergetik geht es also darum tiefgreifende oft gemeinsame Gesetzmäßigkeiten für unterschiedlichste Systeme zu finden.

## Musterbildung vs. Mustererkennung

### Das Bénard Experiment

Ein erstes Beispiel für die Musterbildung ist das Bénard Experiment. Hierbei wird eine Flüssigkeit in einer Glasschüssel von unten erhitzt. Ab einer bestimmten Temperaturdifferenz bildet sich dann eine Art Wabenmuster wie sie in Abbildung 6.2 zu sehen ist. Diese sind je nach Temperatur unterschiedlich und verschwinden wenn eine kritische Temperatur erreicht ist und die Bewegung im Wasser völlig chaotisch wird.



Abbildung 6.2: Bienenwabenstruktur beim Bénard Experiment

### Die klassische Erklärung

Wenn man sich die gegebenen Zustände vor Augen führt ist das beschriebene Verhalten recht leicht verständlich. Da das System nach den Gesetzen der Thermodynamik in den

Zustand mit der geringsten Entropie strebt muss ein Ausgleich der beiden Temperaturen an Wasserober- und Unterseite stattfinden. Wenn die Temperaturdifferenz noch klein ist kann die Wärme einfach durch die Wassermoleküle nach oben transportiert werden, das Wasser bewegt sich also nicht. Ab einer bestimmten Temperatur ist dies aber nicht mehr in ausreichender Geschwindigkeit möglich. Die Wassermoleküle an der Unterseite erwärmen sich daher so stark dass sie leichter werden und nach oben steigen. Gleichzeitig müssen natürlich die kälteren Moleküle an der Oberseite nach unten absinken da sie schwerer sind. Dabei bilden sich nun die beschriebenen Strukturen in Form von Waben, da sie nun der energetisch sinnvollste Zustand sind. Dies kann man auch gut auf Abbildung 6.3 sehen. Wenn man nun die Temperatur weiter erhöht ist selbst dieser Austausch nicht mehr schnell genug und das System wird chaotisch. (Für weitere Erklärungen siehe: [4], [5] und [6])

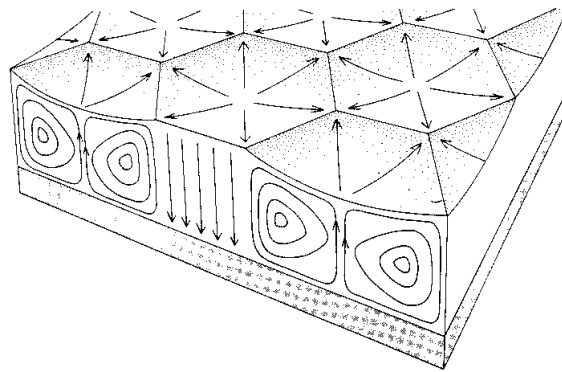


Abbildung 6.3: Schnitt durch eine Bénard-Wabe

### Die synergetische Erklärung

In der Synergetik betrachtet man das Experiment nun unter einem ganz anderen Gesichtspunkt. Die Temperatur an der Unterseite der Wasserschale kann man als Kontrollparameter ansehen der verschiedene Ordnungen hervorruft. Die Ordnungen sind dabei dann die verschiedenen Zustände des Wassers wie Ruhe, Waben in verschiedener Größe und Chaos. Das System probiert dabei je nach Wert des Kontrollparameters, also der Temperatur, die verschiedenen Ordnungen aus und der energetisch sinnvollste Ordnung gewinnt die Konkurrenz und verdrängt die anderen. Die Struktur wird also auf der ganzen Wasseroberfläche angenommen. Wird nun die Temperatur geändert kommt es zu einem neuen Konkurrenzkampf und ein anderer Ordnung kann sich durchsetzen. Dies kann man auch als Musterbildung ansehen. Wenn man nun aber dem Wasser am Anfang eine bestimmte Struktur, zum Beispiel eine Rolle, vorgibt kann man zeigen dass diese, obwohl vielleicht nicht die energetisch günstigste Struktur, angenommen wird. Gibt man nun aber zwei Rollen in verschiedenen Richtungen vor so kommt es wieder zu einem Konkurrenzkampf und der stärkere Ordnung gewinnt. Siehe auch Abbildung 6.4.

### Musterbildung = Mustererkennung

Das Entscheidende ist nun, dass Haken die Musterbildung wie wir sie eben gesehen haben mit der Mustererkennung gleichsetzt. Man könnte also auch sagen, dass die verschiede-

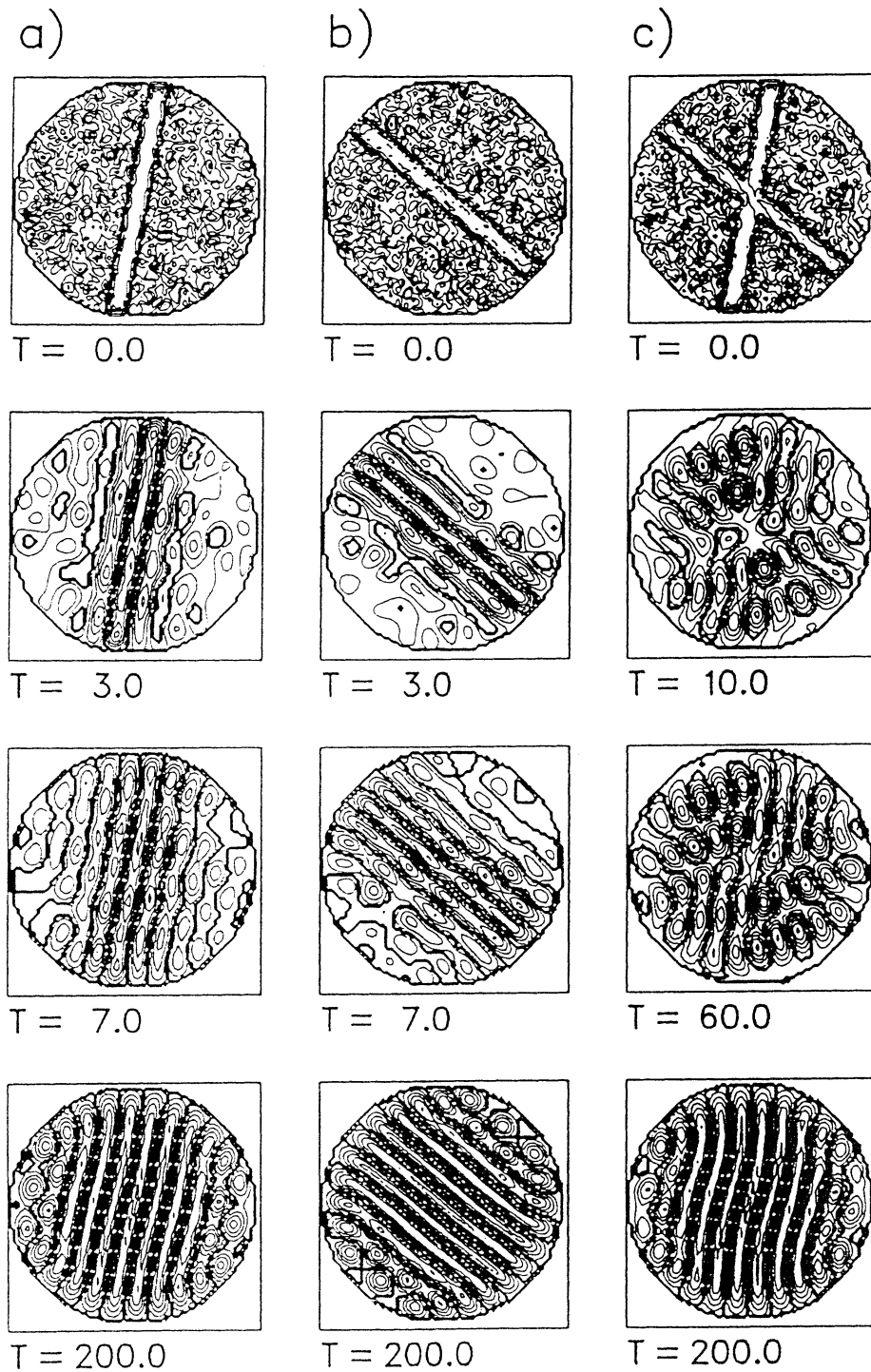


Abbildung 6.4: Vorgabe verschiedener Rollensysteme und deren Ausbreitung

nen Ordner im Beispiel eben schon vorher Vorhanden waren und dann nur der Richtige herausgesucht wurde. Ein anderes Beispiel wäre ein Telefonbuch in dem man zu einem Namen die Telefonnummer findet. Dies wird auch als assoziatives Gedächtnis bezeichnet.

## Der synergetische Computer

### Gesichtserkennung im Gehirn

Nun können wir versuchen das Ganze auf ein anderes Beispiel zu übertragen. Hierzu soll das Erkennen eines Gesichts, also das Zuordnen des Namens zu einem Bild, dienen. Wenn man z.B. die Gesichter in Abbildung 6.5, natürlich mit Namen versehen, als Vorgabe hat und jetzt ein Bestimmtes, vielleicht das in Abbildung 6.6, erkennen möchte, soll sich dieser Ordner durchsetzen und den dazugehörigen Namen liefern. Wenn aber jetzt das dahinter liegende Gesicht erkannt werden soll muss es eine Steuermöglichkeit, also ein Kontrollparameter, geben der das Erkennen des vorderen Gesichts verhindert. Da das Gesicht aber etwas verdeckt ist sollte das System dies ausgleichen und trotzdem den richtigen Namen liefern (Abbildung 6.7). Weiter kann man fordern das dies selbst bei anderen Aufnahmen geschehen soll, das System also zur Personenerkennung und Überwachung brauchbar wäre. Dies nennt Herr Haken „Synergetischer Computer“.



Abbildung 6.5: Die dem Synergetischen Computer vorgegeben Gesichter

Zu dem gegebenen Beispiel wollen wir nun die theoretische Grundlage erarbeiten:

### Bildererkennung mit Netzwerkrealisierung

Zunächst wird über die zu erkennenden Bilder ein einheitliches Raster gelegt. Nun lässt sich für jede der so Entstandenen Flächen im Fall eines schwarzweiß Bildes die Graustufe oder bei bunten Bildern Farbverteilung bestimmen. Wir gehen im weiteren von schwarzweiß Bildern aus. Bei diesen kann man nun jede Fläche als Pixel mit einer bestimmten Graustufe erachten. Das heißt wir haben nun ein Bild als mit Zahlen gefüllte Matrix dargestellt. Wie groß die Matrix ist hängt davon ab wie viele Pixel in der Horizontalen und in der Vertikalen verwendet werden um das Bild zu repräsentieren. Um den Synergetischen Computer als Netzwerk zu realisieren wird nun jedem Pixel ein Modellneuron zugeordnet. Alle diese Neuron werden nun untereinander vernetzt, dass heißt jedes Neuron kann



Abbildung 6.6: Die Eingabe für den Synergetischen Computer



Abbildung 6.7: Das erkannte Gesicht wenn man den Aufmerksamkeitsparameter des vorderen Gesichts auf 0 setzt

alle anderen beeinflussen und wird von allen anderen beeinflusst. Jedes Modellneuron informiert die anderen Modellneuronen durch die Verbindungen über den Zustand seiner Erregung, was wieder einer Graustufe gleich zu setzen ist. Wie stark sich ein Modellneuron von einem anderen Beeinflussen läßt hängt von den zu erkennenden Bildern ab. Veranschaulicht kann man sich die Stärke der Verbindungen unter den Modellneuronen als ein Gebirge in einem Raum mit Dimension  $n$  Vorstellen, wobei  $n$  die Anzahl der Pixel ist, also Anzahl der vertikalen mal Anzahl der horizontalen Pixel. Wenn man ein Bild in  $10 \times 10$  Pixel unterteilt, sprechen wir hier von einem Raum der Dimension 100.

In diesem Gebirge entsprechen vorgegebene Bilder Tälern und zwischen ihnen befinden sich mehr oder weniger hohe Bergrücken. Den Vorgang der Bilderkennung beginnt man mit dem einlesen der Anfangswerte, also eines Bildes. In dem konstruierten Gebirge entspricht dies dem positionieren einer Kugel an der Stelle die der Anfangsbedingung entspricht. Nun rollt die Kugel solange Bergab bis es zu allen Seiten bergauf geht. An diesem Punkt ist ein Bild erkannt. Wichtig ist noch, dass Verhindert wird, dass die Täler aus dem Bereich des Bilderpools der Erkannt werden soll hinausführen. Am Rand müssen sich also Bergrücken befinden, die dafür sorgen dass die Kugel in den Bereich gelangt, wo die Musterbilder sind. Ein solches Gebirgsmodell liefert die Stärke der Synapsen, was der Stärke der Verbindungen zwischen den Modellneuronen entspricht. Hieraus lässt sich also ein Netzwerk zur Bilderkennung konstruieren. Da es nicht zwingend so ist, dass die Anfangsbedingung genau einem Bild entspricht, wird das Bild erkannt, dass der Eingabe am meisten ähnelt. Dies kann dazu benutzt werden Fehler auszugleichen.

Im Grund verbirgt sich hinter dieser Realisierung als Netzwerk ein  $n$  Komponentiges Differenzialgleichungsmodell ( $n$  ist dabei wieder die Anzahl der Pixel). Ein vorgegebenes Bild entspricht nun einem stabilen Stationären Wert, wobei der stationäre Wert der ersten Komponente der Graustufe des ersten Pixel ist, usw. Wird nun ein Bild eingegeben so entspricht dies einer Anfangsbedingung. Nun kann man numerisch iterieren, bis ein stationärer Punkt erreicht wird. Und damit ist wieder ein Bild erkannt worden. Auch hier müssen wir jedoch sicherstellen, dass von jeder Anfangsbedingung als Anfangswert ein stabiler stationärer Punkt erreicht wird.

Kommen wir nun zu dem Problem, dass wir schon ein Muster wie zum Beispiel ein Gesicht erkannt haben und nun nach weiteren eventuell nicht so gut ausgeprägten Mustern suchen möchten. Hierzu ist es sinnvoll so genannten Aufmerksamkeitsparameter einzuführen. Die Aufmerksamkeitsparameter ermöglichen es die Aufmerksamkeit für ein Muster zu unterbinden um weitere in der Eingabe vorhandene Muster zu erkennen. Das heißt der Ordner eines Bildes wird ausgeblendet, dadurch verklavt der zweit stärkste Ordner die restlichen. In der Veranschaulichung durch ein Gebirge ist relativ klar, was wir tun müssen: Das Tal in der die Kugel liegt anheben, so dass die Kugel sich bis zu einem anderen Tal bewegen kann.

Beim Differenzialgleichungsmodell müssen wir die Möglichkeit haben ein Stabilen Stationären Punkt instabil zu machen. Bei der exakten Eingabe eines Vorgegebenen Musters wird also immer nur dieses erkannt, auch wenn dem Muster keine Aufmerksamkeit geschenkt wird. Sobald wir nicht bei dem exakten Bild starten, werden weitere Muster erkannt.

Ein Ordner entspräche bei diesen Realisierungen einem Tal beziehungsweise einem Stabilen Stationären Punkt. Die Ordner tauchen hier nur indirekt auf, bei der nächsten Möglichkeit der Realisierung spielen sie eine zentralere Rolle.



## Großmutterzellen

Beim Konzept der Großmutter Zellen handelt es sich um ein drei Schichten Modell. Die oberste Schicht repräsentiert das zu erkennende Bild in einzelnen Pixel, wobei die Erregung einem Grauton entspricht. In der mittleren Ebene befinden sich alle Ordnungsparameter, also alle Muster die durch den Synergetischen Computer erkannt werden sollen. Jeder Ordnungsparameter ist mit jedem Pixel der obersten Schicht verbunden und erhält von dieser ein analoges Signal, wie etwas einen elektrischen Strom einer gewissen Stromstärke. Die Stärke dieses Signals ist proportional zum Erregungszustand des Pixel und abhängig von dem Muster, das der Ordnungsparameter darstellt. Alle eingehenden Signale in jedem Knoten der mittleren Schicht werden nun aufsummiert. Der Ordnungsparameter, der durch die Pixel des eingegebenen Bildes am meisten erregt wird, gewinnt den Konkurrenzkampf und versklavt die anderen Ordner. Versklaven heißt in diesem Fall schlicht, dass nur ein Ordner seine Informationen an die dritte Schicht, die der Ausgabe des erkannten Musters dient, weitergeben kann. Nun gibt ein Ordner die Graustufen aller Pixel des erkannten Musters weiter. Wie oben wird auch hier immer ein Muster beziehungsweise Bild erkannt, auch wenn es nicht exakt der Eingabe entspricht.

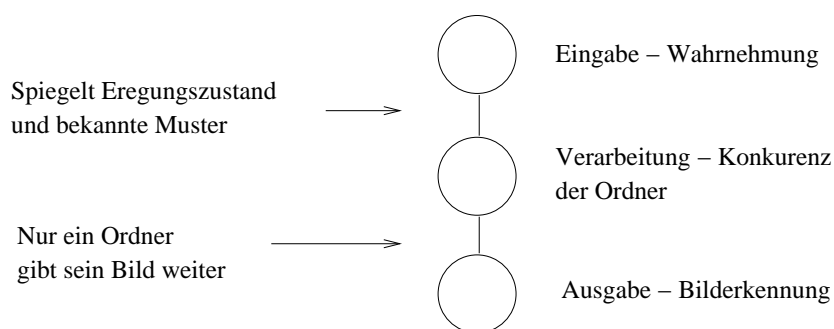


Abbildung 6.8: Teil einer Realisierung von Großmutterzellen

Besonders interessant ist die Realisierung mit Großmutter-Zellen, da Gehirnforscher schon früher darüber nachgedacht haben, ob es im Gehirn einzelne Zellen gibt die dazu dienen bekannte Gesichter wieder zu erkennen. Dies ist auch einer der Gründe warum Hermann Hacken den Synergetischen Computer für ein Gehirnmodell mit hohem Erklärungswert hält.

## Kippfiguren

Der Synergetische Computer ist aber nicht nur als Modell zur Gesichtserkennung im Gehirn brauchbar. So kann er sogar mit ein paar Modifikationen die Reaktionen beim Betrachten von Kippfiguren wie in Abbildung 6.9 simulieren. Dazu nutzt man einfach einen Timer der nach dem Erkennen einer Figur dessen Aufmerksamkeitsparameter auf Null setzt wodurch die andere Figur erkannt werden kann. Diesen Timer kann man damit erklären, dass die Aufmerksamkeit nachlässt, da das Bild sich ja nicht mehr ändert.

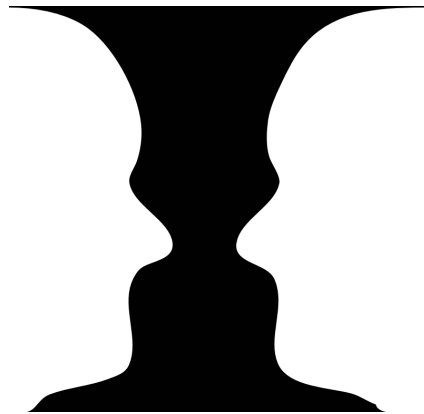


Abbildung 6.9: Kippfigur „Vase oder Gesichter“

## Zusammenfassung

Wir haben also gesehen, dass der Synergetische Computer dazu in der Lage ist, Gesichter zu erkennen und das Verhalten des Gehirns beim betrachten von Kippfiguren zu simulieren. Weiter haben wir versucht, einen kleinen Einblick in die Begriffswelt der Synergetik zu geben und Hakens These, dass Musterbildung gleich Mustererkennung ist, zu erläutern.

## Literatur

- [1] Küppers, G., ed. (1996). *Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Reclam, Stuttgart.
- [2] Haken, H., Haken-Krell, M. (1994). *Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung. Synergetik als Schlüssel zum Gehirn*. Ullstein, Frankfurt a. M., Berlin.
- [3] Haken, H. *Synergetik: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft*:  
<http://www.philso.uni-augsburg.de/dgksnd/>
- [4] Wikipedia-Seiten zum Bénard-Experiment:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Bénard-Experiment/>
- [5] Weitere Seite zur Strukturbildung bei Flüssigkeiten:  
<http://www.philippi-trust.de/hendrik/braunschweig/wirbeldoku/laika.html>
- [6] Lorenz-Systeme und das Bénard-Experiment:  
<http://www.tu-harburg.de/rzt/rzt/it/Studium/seminar-lorenz/>

## 7. Individuelle Einstellungen und kollektives Verhalten nach Klaus G. Troitzsch

Sascha Holzhauer  
26. Mai 2004

Der Hauptgegenstand dieser Arbeit sind die Wechselwirkungen zwischen Individuen und sozialen Gruppen. Dies kann ein Paar sein, oder auch eine Gesellschaft. Wo immer auch mehrere Individuen aufeinander treffen und interagieren, ergibt sich eine neue Situation, die - zumindest auf den ersten Blick - nicht als bloße Summe der Einzeleigenschaften erkennbar ist. Offensichtlich entsteht eine neue Struktur, die ein eigenes Maß an Komplexität mit sich bringt. Es soll nun darum gehen, solche Wechselbeziehungen zu charakterisieren, Möglichkeiten ihrer Modellierung aufzuzeigen und deren Unterschiede darzustellen. Da die gestellte Frage nach den Einflüssen von Individuen auf das Kollektiv in der Hauptsache eine soziologische ist, soll zunächst der Umgang der Soziologie mit dieser Thematik umrissen werden.

### Die Emergenz des Sozialen

Zunächst einmal ist zu klären, was unter dem Begriff der Emergenz zu verstehen ist. Bereits in der Einleitung wurde dargestellt, dass bei der Bildung sozialer Gruppen aus Individuen neue Eigenschaften und Strukturen entstehen, die von denen der Einzelnen in der Regel abweichen. Richtet man den Blick zum Beispiel auf die Besucher einer Lehrveranstaltung, kann man davon ausgehen, dass die Zuhörerschaft als Ganze am Thema interessiert ist. Dies muss allerdings nicht auf jeden Einzelnen zutreffen. Möglicherweise sitzt jemand nur in dieser Veranstaltung, weil ihn sein Kommilitone dazu überredet hat. Ein anderes Beispiel ist die Möglichkeit der Studierenden, die Veranstaltung im Falle ihres Nichterscheinens ausfallen zu lassen. Ein einzelner Student könnte dies hingegen nicht bewirken. Außerdem entstehen innerhalb dieses sozialen Gebildes neue Normen, wie zum Beispiel die Aufmerksamkeit gegenüber dem Dozenten.

Im Laufe des sozialen Prozesses entstehen also neue Gruppen mit neuen Merkmalen und Werten auf einem höheren Ordnungsniveau, was der „Emergenzcharakter der sozialen Realität“ [2] ausdrücken möchte. Eng verknüpft mit dem Ausdruck der Emergenz ist der Begriff der Irreduzibilität des Sozialen. Hiermit ist die Unmöglichkeit gemeint, die Eigenschaften sozialer Gebilde aus denen der Individuen, aus denen sich das Gebilde zusammensetzt, zu erklären. Gerade weil eine höhere Ordnungsebene besteht, können gesellschaftliche Gruppen nicht bezüglich ihrer spezifischen System- und Ganzheitseigenschaften aus den Komponenten des Systems charakterisiert werden. Das Dogma der Irreduzibilität<sup>66</sup> wird jedoch keineswegs von der Soziologie in ihrer Allgemeinheit vertreten. Will man schließlich kollektives Verhalten anhand individueller Eigenschaften modellieren, kommt man nicht umher, einen Ausweg aus der Irreduzibilität zu finden. Es lohnt sich also, im Folgenden einen genaueren Blick auf den Umgang der Soziologie mit der umstrittenen Unmöglichkeit, soziale Gebilde auf ihre Komponenten zurückzuführen, zu werfen. Bereits Émile Durkheim vertritt diese Auffassung, indem er die Gesellschaft als eine Asso-

---

<sup>66</sup>Selbst die Bezeichnung als Dogma dürfte innerhalb der Soziologie umstritten sein

ziation betrachtete, die mehr als die Summe der Individuen beinhaltet. Er reduziert soziale Phänomene nicht wie seinerzeit üblich auf individualpsychologische Vorgänge, sondern betrachtet sie als besondere Arten des Handelns, Denkens und Fühlens, die außerhalb des Einzelnen begründet sind [1].

## Die systemtheoretischen Ansätze Parsons und Luhmanns

Mit dem Wunsch nach einer eigenständigen Theorie, die die Gesamtheit der Soziologie erklären kann, etablierten sich die systemtheoretischen Ansätze. Zunächst war es Talcott Parsons, der vom Schichtaufbau zur hierarchischen Organisation von Systemen übergeht. Er interpretiert die Wirklichkeit also nicht mehr anhand von Stufen von der chemisch-physikalischen über die biologische bis zur sozialen Schicht, sondern sieht ein Persönlichkeitssystem neben einem sozialen System mit jeweils eigener Struktur und eigenem Verhalten. Diese ergeben sich aus den unterschiedlichen Stabilitätsanforderungen und den damit verknüpften strukturerhaltenden Mechanismen, die in der Tabelle 2 zu sehen sind.

	Soziales System	Persönlichkeitssystem
Struktur	Muster von sozialen Beziehungen	Motivstruktur/Konstellation der persönlichen Bedürfnisse
Mechanismen	Prozesse der Sozialisation, soziale Kontrolle	entsprechendes Verhalten, das auf die Befriedigung der Bedürfnisse abzielt

Tabelle 2: Differenzen zwischen Sozialem System und Persönlichkeitssystem [2]

Während Soziale Systeme ihr Fortbestehen durch Sozialisation und Normen sichern, muss ein Persönlichkeitssystem Beeinträchtigungen der Persönlichkeitsstruktur zu verhindern versuchen. Aufgrund dieser Systemdifferenzen können laut Parsons Erklärungen des Sozialen nicht einfach aus der Theorie der Motivation abgeleitet werden, Eigenschaften des sozialen Systems also nicht aus der Persönlichkeit der Individuen erklärt werden.

Es bleibt allein die Möglichkeit, sich auf die Beziehungen zwischen den Systemen zu konzentrieren. Parsons fokussierte dazu auf den Begriff der Rolle als gemeinsamer Bestandteil der beiden Systeme. Während das Persönlichkeitssystem dafür zu sorgen hat, dass die Anforderungen erfüllt werden, die an die Rolle des bestimmten Individuums gestellt werden, ist es Aufgabe des sozialen Systems, die Anstrengungen des Individuum beispielsweise durch Anerkennung entsprechend zu belohnen oder zu sanktionieren. Des Weiteren kennt Parsons das Verhaltenssystem, welches den organisch-biologischen Bereich umfasst und Intelligenz als Verknüpfung zu den anderen Systemen nutzt, sowie das kulturelle System, welches über die „Definition der Situation“ Orientierung für das Handeln der Einzelnen in der Gesellschaft gibt und darüber in Beziehung zu den anderen drei Systemen steht. Die engen Verflechtungen dieser Systeme würden eine Untersuchung des Einflusses einzelner psychologischer, biologischer oder kultureller Faktoren stark erschweren [2].

Im Weiteren ist Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme zu nennen, die an Parsons Systemtheorie anknüpft. Luhmann stellt den in der Zellbiologie als Autopoiese bekannten Selbstreplikationsmechanismus als Charakteristikum sozialer Systeme heraus. Im Zentrum seiner Theorie stehen dabei Kommunikationen als Elemente des Systems, die wiederum

Anschlusskommunikationen hervorbringen und sich so unter einer operativen Geschlossenheit des sozialen Systems immer wieder selbst herstellen. Als Umwelt des sozialen Systems ist das Persönlichkeitssystem von Bedeutung, dessen Komponenten Bewusstseinsvorstellungen sind. Den Zusammenhang zwischen diesen beiden eigenständigen Systemen stellt Luhmann über den Sinn her: Eine Kommunikation wird durch einen bestimmten, vom Persönlichkeitssystem hervorgebrachten Sinn konstituiert. Ein zweites Persönlichkeitssystem extrahiert nun über den Verstehensakt aus dieser Kommunikation den Sinn, der dort wiederum neue Bewusstseinsvorstellungen in Gang bringt.

In Hinblick auf die Irreduzibilität liegen systemtheoretische Ansätze durchaus sehr nahe, da sie auf dem Emergenzcharakter des Sozialen gründen und diesem durch spezifische Systemeigenschaften Rechnung tragen. Erklärende Analysen, die die Einflüsse biologischer, kultureller und persönlicher Faktoren auf soziale Gebilde untersuchen wollen, finden jedoch bei den Systemideen keinen Platz, da hierzu direkte Verbindung zum Beispiel zwischen dem sozialen System und dem Persönlichkeitssystem angenommen werden müssten.

## Ein Plädoyer für reduktionistische Ansätze

Nach Betrachtung der systemtheoretischen Ansätze des Sozialen lässt sich also feststellen, dass diese jegliche Reduktion sozialer Gebilde auf ihre Individuen verbieten, selbst jedoch keinen Lösungsansatz zur Erklärung des Kollektivverhaltens aus den jeweiligen biologischen oder kulturellen Gegebenheiten bieten. Der Sozialwissenschaftler Alfred Bohnen sieht jedoch anders als Luhmann keinen direkten Gegensatz darin, unter Anerkennung der Emergenz des Sozialen reduktionistische Einstellungen zuzulassen. Er spricht sich daher für ein Fallenlassen der Irreduzibilitätsdoktrin aus. Als Argumente führt Bohnen zum einen die Erfolge der Molekularbiologie, zum anderen die Erkenntnisse der klassischen Markttheorie an. Die Molekularbiologie zeige, dass die charakteristischen Merkmale des Lebendigen als emergente Eigenschaften erst *reduktiv* erklärbar wurden. Die Markttheorie verdeutliche hingegen auch im Bereich der Gesellschaft, dass die Emergenz sozialer Ordnung erst durch Reduktion auf individuelles Handeln als dessen unbeabsichtigtes, gesellschaftliches Ergebnis zu verstehen war [2]. Adam Smith kam zu diesem Ergebnis, nachdem er das Verhalten von Unternehmern in Hinblick auf das Wohlergehen der eigenen Nationalökonomie untersuchte. Es stellte sich dabei heraus, dass das egoistische Handeln der einzelnen Unternehmer gleichzeitig zum optimalen Ergebnis für das Kollektiv führt, ohne dass diese Intention explizit besteht [8].

Nachdem dieser Gedanke lange Zeit unterdrückt wurde, gewinnen die Ideen der individualistischen Sozialerklärung wieder mehr und mehr an Boden. Damit wäre schließlich auch der Weg für eine entsprechende Modellierung kollektiven Verhaltens auf Grundlage individueller Einstellungen geebnet.

## Individualistische Sozialerklärung

Das Phänomen, um das es im Folgenden geht, ist also das Entstehen von Kollektivstrukturen infolge individuellen Handelns beziehungsweise individueller Einstellungen, jedoch ohne dass diese Strukturen durch Einzelne beabsichtigt worden wären. Neben dem Beispiel des im Sinne der Nationalökonomie handelnden, eigennütigen Unternehmers lässt

sich die Herausbildung altruistischen, also gemeinschaftlichen Verhaltens in einer Gruppe von Egoisten anführen. Trotz des Ziels der Nutzenmaximierung unter Kostenminimierung sind sie dazu bereit, für ein späteres, gemeinsames Gut auf sofortigen Nutzen zu verzichten. Eine Gruppe Studierender, die unter geringsten Anstrengungen den benötigten Schein erwerben möchte, ist schließlich doch bereit, die Veranstaltung zu besuchen. Würden alle Studenten nicht zur Veranstaltung gehen, würde diese nicht stattfinden und niemand könnte den entsprechenden Schein erwerben.

Es sollen nun unterschiedliche Ansätze in der sozialwissenschaftlichen Selbstorganisationsforschung dargestellt werden, die die genannten Phänomene erklären sollen. Dabei wird mit Methoden der Mathematik und Informatik versucht, die oben beschriebenen Prozesse zu modellieren.

## Mehrebenenmodelle

Zunächst sollen die so genannten Mehrebenenmodelle im Vordergrund der Untersuchung stehen. Es handelt sich dabei um formale Modelle, die die Individuen und ihre Eigenschaften auf der Mikroebene und das Kollektiv auf der Mesoebene repräsentieren. Mehrebenenmodelle sind gewissermaßen spezielle Werkzeuge der mikroanalytischen Simulation, die die Wechselwirkungen zwischen den Ebenen einbeziehen.

Im Gegensatz zu den so genannten System-Dynamics-Modellen, die meist auf der Basis von Differenzialgleichungssystemen unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern mögliche Entwicklungen komplexer Sachverhalte, zum Beispiel der Weltbevölkerung, sichtbar machen, untersucht die mikroanalytische Simulation Vorgänge, bei denen das unterschiedliche Verhalten der Individuen ins Gewicht fällt. Während System-Dynamics-Modelle beispielsweise für die Wachstumsraten der Weltbevölkerung einen gewissen Mittelwert annehmen, unterzieht die mikroanalytische Simulation die Individuen auf der Mikroebene einer genaueren Betrachtung. Damit kann dann beispielsweise die Wirkung von Steuergesetzesänderungen auf den Staatshaushalt untersucht werden, wenn das vermutete Verhalten der einzelnen Steuerzahler aggregiert wird. Wechselbeziehungen zwischen Staat<sup>67</sup> und Steuerzahlern seien hierbei vernachlässigbar.

Mehrebenenmodelle möchten dagegen soziale Gruppen aus den Individuen heraus auf neue Eigenschaften untersuchen, indem sie Wechselwirkungen zwischen Meso- und Mikroebene oder innerhalb der Mikroebene explizit modellieren. Neben deterministischen und regelhaften Einflüssen lassen sich dabei viele Faktoren nur mit stochastischen Mitteln abbilden. So lässt sich beispielsweise die Häufigkeit bestimmter Wechselwirkungen wie das Zusammentreffen von mehreren Individuen nicht exakt bestimmen und bestenfalls durch eine gewisse Wahrscheinlichkeit ausdrücken. Auch die Macht, mit der ein Individuum ein anderes beeinflussen kann, hängt von vielen Faktoren<sup>68</sup> ab, die nicht genau zu beziffern sind und daher durch stochastische Mittel ersetzt werden müssen.

Verschiedene Wechselwirkungen können nun sowohl zwischen den Ebenen als auch zwischen den Individuen stattfinden. Diese alternativen Möglichkeiten führen zu einer grundlegenden Unterscheidung zwischen Interaktionsmodellen:

---

<sup>67</sup>Mit Staat ist hierbei die Regierung, nicht die Gesamtheit der Staatsbürger gemeint

<sup>68</sup>So spielen in Hinblick auf die Beeinflussung einer Person durch eine andere vor allem auch aktuelle Gegebenheiten wie das momentane Selbstwertgefühl der beteiligten Individuen eine Rolle, die in einer Simulation nicht einbezogen werden können.

- Modelle mit indirekter Interaktion
- Modelle mit direkter Interaktion zwischen Individuen

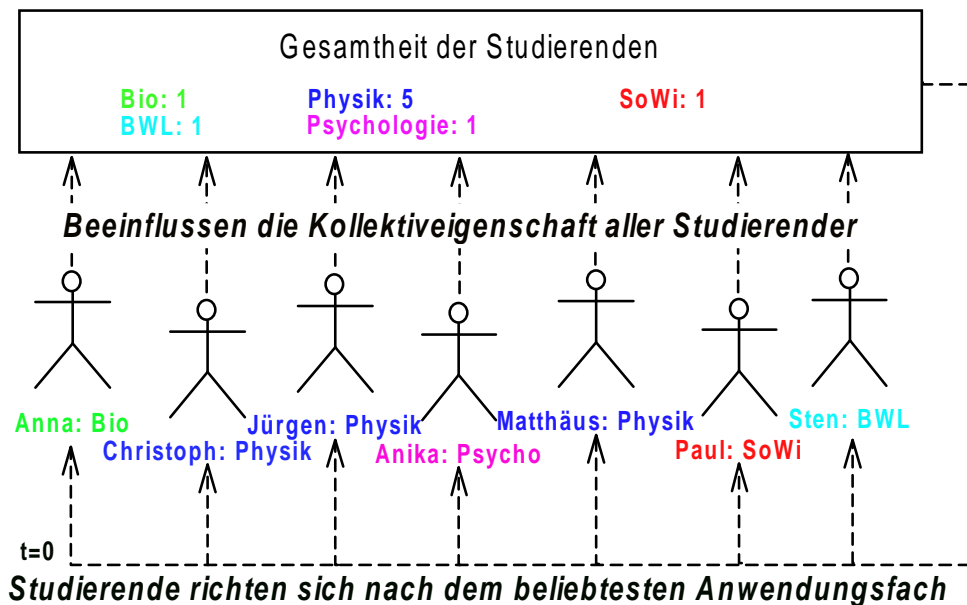


Abbildung 7.1: Indirekte Interaktion, t=0

Bei indirekter Interaktion spielen die Wechselwirkungen zwischen der Mikroebene, den Individuen, und der Mesoebene, der sozialen Gruppe, eine besondere Rolle. Wie die in Abbildung 7.1 abgebildete Skizze zeigt, lassen sich die einzelnen Studenten der Angewandten Systemwissenschaft in der Wahl ihres Anwendungsfaches von der Gesamtsituation der Studierenden leiten. Durch gewisse Statistiken haben sie erfahren, dass Physik ein sehr beliebtes Anwendungsfach ist. Infolgedessen entscheiden sich einige der Studierenden um und wählen ebenfalls Physik als ihr Anwendungsfach (Abbildung 7.2). Mögliche Überlegungen könnten sein, dass so viele ja nicht irren können oder dass man bei einer Vielzahl von Studierenden mit gleichem Anwendungsfach viel leichter Lerngruppen bilden kann. Charakteristisch für indirekte Interaktion ist also, dass Individuen auf das Gruppenverhalten reagieren und so ihrerseits das Gruppenverhalten verändern. So sind Aufschaukelungen gut möglich.

Bei Modellen direkter Interaktion ergeben sich die Verhaltensänderungen der Individuen durch den direkten Kontakt mit anderen Individuen. Dabei hat das Verhalten der sozialen Gruppe keine entscheidenden Auswirkungen auf die Individuen, beispielsweise weil das Gruppenverhalten gar nicht bekannt ist. In der Zeichnung 7.3 ist die direkte Interaktion wieder anhand des Studierendenbeispiels verdeutlicht. Nur durch den direkten Kontakt mit Kommilitonen lassen sich die Systemwissenschafts-Studierenden in der Wahl ihres Anwendungsfaches beeinflussen. Hat eine Studentin zum Beispiel häufig Kontakt zu Studierenden mit Anwendungsfach Physik und aussagekräftigen Argumenten für die Wahl dieses Faches, ist es wahrscheinlich, dass sie sich bald ebenfalls für Physik entscheiden

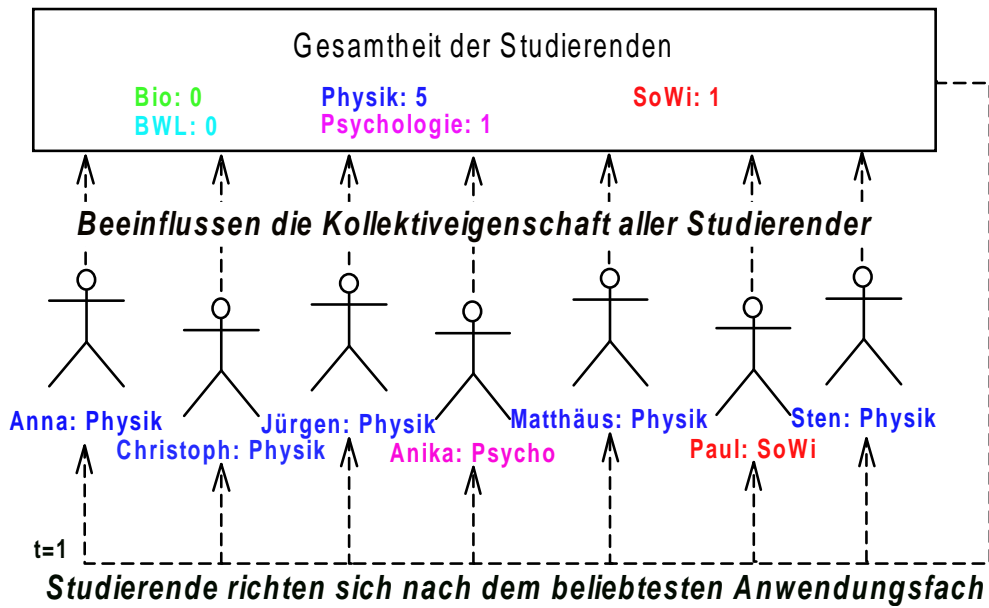


Abbildung 7.2: Indirekte Interaktion, t=1

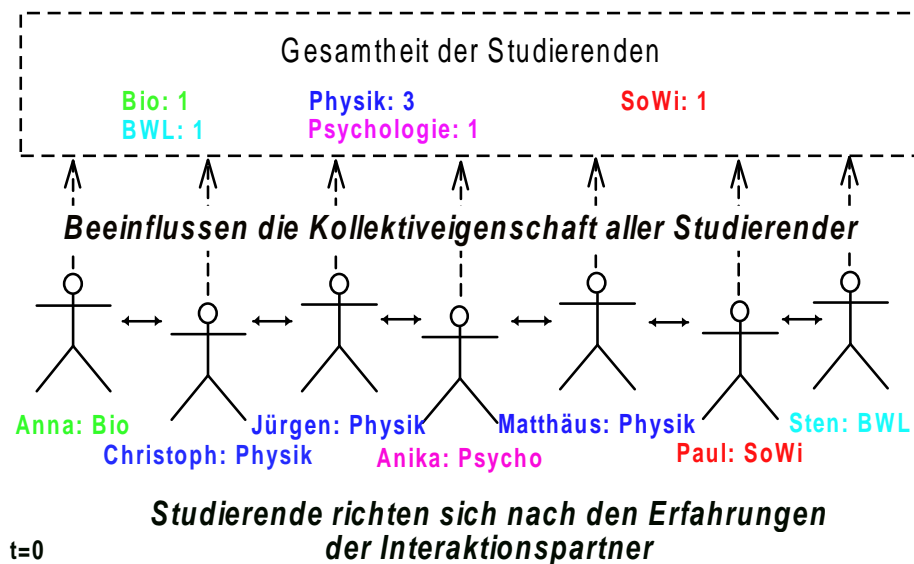
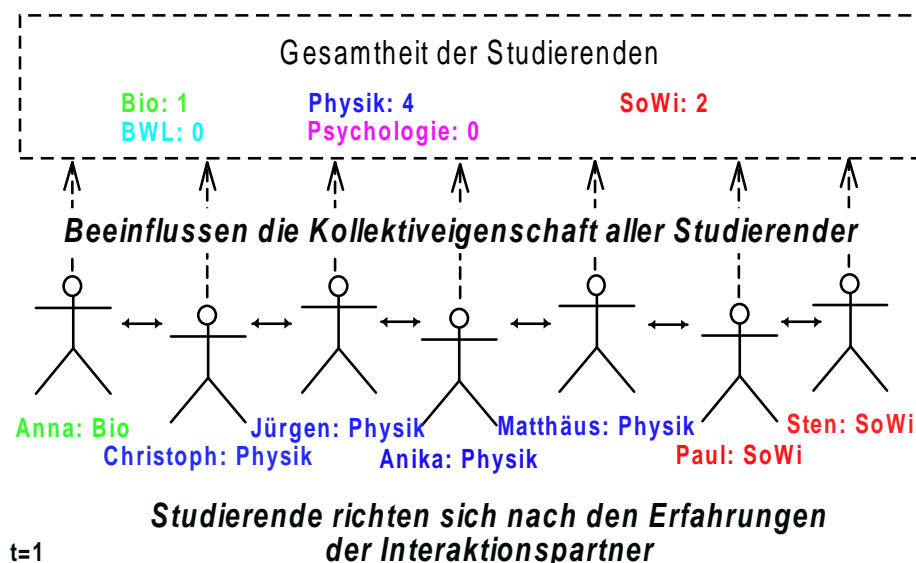


Abbildung 7.3: Direkte Interaktion, t=0



Abbildung 7.4: Direkte Interaktion,  $t=1$ 

wird (Abbildung 7.4).

Bei direkter Interaktion spielt also die Art und Weise, wie die Individuen zueinander in Kontakt stehen, eine große Rolle. Eine Ausbreitung einer vorherrschenden Meinung ist auch hier unter Umständen gut möglich.

## Indirekte Interaktion

Nun soll näher auf die Modellierungsmöglichkeiten bei indirekter Interaktion eingegangen werden. Neben dem zuvor dargestellten Beispiel der Studierenden lässt sich eine Vielzahl weiterer Anwendungen nennen:

- **Wahlverhalten**  
Besonders in unstrittenen Wahlkämpfen ist zu beobachten, dass sie gewisse Meinungsgruppen immer stärker polarisieren. Meinungsumfragen und deren Präsentation führen dazu, dass sich die einzelnen Wähler auf die in der gesamten Wählerschaft vorherrschenden Meinungen zubewegen und sich so von anders gesinnten Wählergruppen abgrenzen.
- **Einführung neuer Technologien**  
Werden bei Einführung einer neuartigen Technologie von verschiedenen Herstellern unterschiedliche Geräte auf den Markt gebracht, welche nicht zueinander kompatibel sind, wird sich unter bestimmten Voraussetzungen eines der Geräte durchsetzen. Bei der Einführung eines neuen Speichermedium ist es beispielsweise wahrscheinlich, dass die Medien unter den Nutzern getauscht werden sollen. Dazu ist es erforderlich, dass die Tauschpartner die Medien gegenseitig mit ihrem Gerät lesen können. Ist

einmal ersichtlich, dass eine bestimmte Art von Speichermedium von der Mehrheit genutzt wird, werden sich weitere Käufer daran orientieren.

- Modetrends

Hat sich eine bestimmte Art der Bekleidung bei einer gewissen Anzahl von Personen etabliert, und haben diese noch dazu einen Vorbildcharakter wie zum Beispiele prominente Persönlichkeiten, wird sich dieser Modetrend sehr wahrscheinlich weiter ausbreiten. Ist das Anpassungsbestreben der Modeträger besonders groß, kann dieses Verhalten sogar zur Uniformierung führen.

Interessant ist, dass all diese Beispiele einem aus der Biologie bekannten Muster folgen: Dem Verhalten des Schleimpilzes *Dictyostelium discoideum*. Dieser hat die Eigenart, dass die ihm zugehörigen Schleimpilzzellen bei Nahrungsmangel ein bestimmtes Sekret an ihre Umwelt absondern. Dieses Sekret dient anderen Zellen als Zeichen, sich in Richtung der höchsten Konzentration dieses Stoffes zu bewegen. Auf diese Weise können größere Ansammlungen von Schleimpilzzellen entstehen, die Voraussetzung für die Sporenbildung sind. Allein diese Sporenbildung ermöglicht nun das Überleben des Schleimpilzes bei Nahrungsknappheit (Abbildung 7.5). Bei der Modellierung können diese immer wieder auftretenden Muster durchaus eine Hilfe sein.

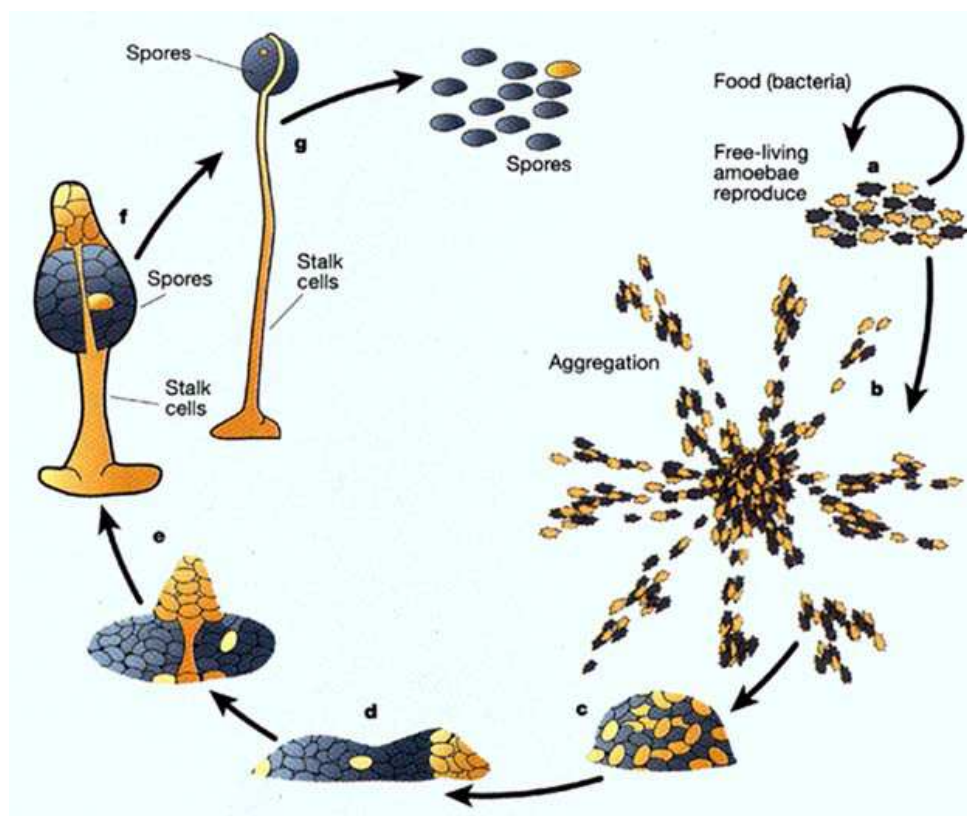


Abbildung 7.5: Schleimpilzzyklus

Auch beim nachfolgenden Beispiel, an welchem die Modellierung indirekter Interaktion verdeutlicht werden soll, lässt sich mit dem Schleimpilz *Dictyostelium discoideum* vergleichen (siehe Tabelle 3). Es geht dabei nun um Kooperation in einer Entwicklungsabteilung

Schleimpilz	Entwicklungsabteilung
Schleimpilzzellen	Ingenieure
Signalstoffkonzentration	Abteilungsklima
Signalstoffsekretion	Kommunikation
lokale Konzentrationsänderung	pers. Empfinden
Ortsänderung	Teamwork oder Einzelleistung

Tabelle 3: Gleiche Muster

eines innovativen Unternehmens. Die dort tätigen Ingenieure stehen grundsätzlich vor der Wahl, ob sie ihre neuen Produktideen im Team besprechen oder für sich behalten und erst mit einem fertigen Konzept an den Abteilungsleiter treten. Verschweigen sie die Idee, bis sie vollständig ausgereift ist, können sie sich des Lobes ihres Vorgesetzten sicher sein und mit besseren Aufstiegschancen rechnen. Kommunizieren sie ihre Ideen mit den anderen Teammitgliedern, ist es wahrscheinlicher, dass eine Idee schnell zu guten Ergebnissen führt, jedoch sinkt der Anteil des einzelnen Ingenieurs am Erfolg. Auf lange Sicht ist die kooperative Verhaltensweise sicher gewinnbringender, da sich niemand sicher sein kann, regelmäßig mit guten Ideen aufwarten zu können. Kurzfristig würde jedoch die egoistische Variante zu größerem Nutzen führen (es sei unterstellt, dass sich der entsprechende Ingenieur in einer kreativen Phase befinde).

In den Mittelpunkt einer Modellierung tritt nun die Frage, unter welchen Bedingungen die Entwicklung zu Kooperation in der Entwicklungsabteilung am günstigsten ist. Dazu sollen entsprechende Modelle eingesetzt werden, die das Verhalten der Mitarbeiter abbilden. Unter bestimmten Annahmen können so interessante Ergebnisse erzielt werden, die der Unternehmensführung zur Schaffung optimaler Bedingungen hilfreich sein können. Folgende Annahmen werden zunächst getroffen:

- Das zukünftige Verhalten der Kollegen kann aus den Erfahrungen mit einer gewissen Genauigkeit vorhergesehen werden.
- Das eigene Verhalten wird reflektiert, d.h. jeder Ingenieur überlegt sich, welche Konsequenzen sein Verhalten zukünftig hätte.

Mittels Simulation dieser Situation indirekter Interaktion<sup>69</sup> lassen sich nun unterschiedliche Beobachtungen machen: Eine wesentliche Rolle spielt die Anzahl bereits kooperierender Mitarbeiter. Ist diese Zahl groß, ist der Nutzen des Mitarbeiters, der sich ebenfalls für das Kommunizieren seiner Ideen entscheidet, besonders groß. Er kann sich schließlich an einer Vielzahl von Ideen dieser kooperierenden Kollegen beteiligen. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass kleinere Gruppen sehr viel eher zu Kooperation neigen als größere. Erklären lässt sich dies dadurch, dass der einzelne im Falle von Defektion, also eigennützigem Verhalten, in kleineren Gruppen entsprechende Reaktionen der anderen Gruppenmitglieder eher und in stärkerem Ausmaß zu erwarten hat als in großen Gebilden. Ist die Anzahl der Mitarbeiter besonders groß, fällt hingegen das egoistische Verhalten eines Individuums nicht sehr ins Gewicht und der einzelne muss weniger befürchten, dass sein eigennütziges

<sup>69</sup>Die Mitarbeiter werden zwar untereinander kommunizieren, jedoch dient dies nur der Information darüber, wie viele Mitarbeiter ihre Ideen für sich behalten, und wie viele sie kommunizieren. Durch die Interaktion wird also das Verhalten eines Mitarbeiters nicht direkt durch *einen* anderen beeinflusst.

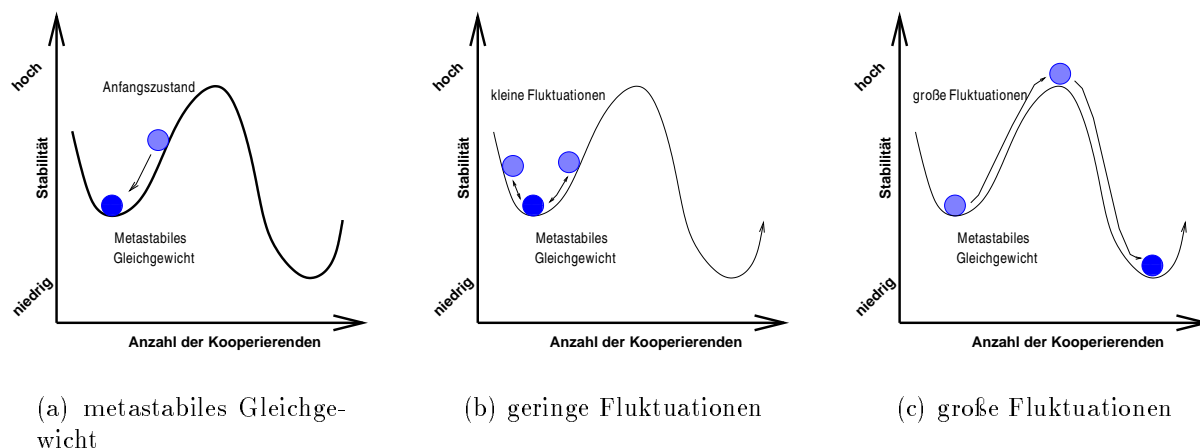


Abbildung 7.6: Dynamik der Kooperation-/Defektions-Situationen

Verhalten zum Umschwenken der gesamten Gruppe führt. In diesem Fall wäre schließlich sein Nutzen geringer: Handelt er als einziger oder einer von wenigen egoistisch, kann er trotzdem noch vom kooperativen Verhalten des Restes profitieren. Dieser Sachverhalt kann auch plausibel machen, weshalb in der Regel ein extremes Verhalten der Gruppe zu erkennen ist. Es besteht entweder vollständige Kooperation oder vollständige Defektion, was die Stabilitätsfunktion in Abbildung 7.6 darstellt. Es gibt jeweils für sehr geringe und sehr hohe Kooperation ein metastabiles bzw. stabiles Gleichgewicht (Graph a). Gegen geringe Fluktuationen ist das Gleichgewicht geringer Zusammenarbeit stabil (Graph b). Kooperatives Verhalten nutzt den Individuen schließlich nur, wenn sich außer ihnen noch viele kooperativ verhalten und sie von deren verbreiteten Ideen profitieren. Besteht eine dieser Situationen innerhalb der Gruppe, kann sie sich dennoch sehr kurzfristig durch große Fluktuationen umkehren (Siehe Grafik in Abbildung 7.7) und von einem metastabilen Gleichgewichtszustand in den stabilen Zustand der allgemeinen Kooperation übergehen (Graph c).

Die durch Simulation in einem Mehrebenenmodell indirekter Interaktion beobachteten Verhaltensweisen lassen sich nun in der Praxis nutzen, indem man einem Unternehmen gewisse Möglichkeiten zur Verbesserung der Kooperation aufzeigt. Einige Empfehlungen, die man aus den Ergebnissen ziehen kann, sind beispielsweise:

- Bildung möglichst kleiner Arbeitsgruppen.
- Den Mitarbeitern gute Aussichten auf einen langfristigen Verbleib im Unternehmen geben, da so der Nutzen einer Kooperationssituation lohnender ist.
- Bessere Möglichkeiten der Kommunikation untereinander schaffen.
- Ein Unternehmen sollte Geduld bei der Umsetzung entsprechender Konzepte beweisen, da sich Veränderungen auch nach langer Zeit noch sehr kurzfristig ergeben können [4].

Eine ganz ähnliche Sachlage findet man bei der Untersuchung des Umweltbewusstseins in der Bevölkerung wieder: Auch hier ist zu beobachten, dass entweder ein hohes Maß an Umweltschutzaktivitäten an den Tag gelegt wird oder sich nur ganz wenige auf diesem

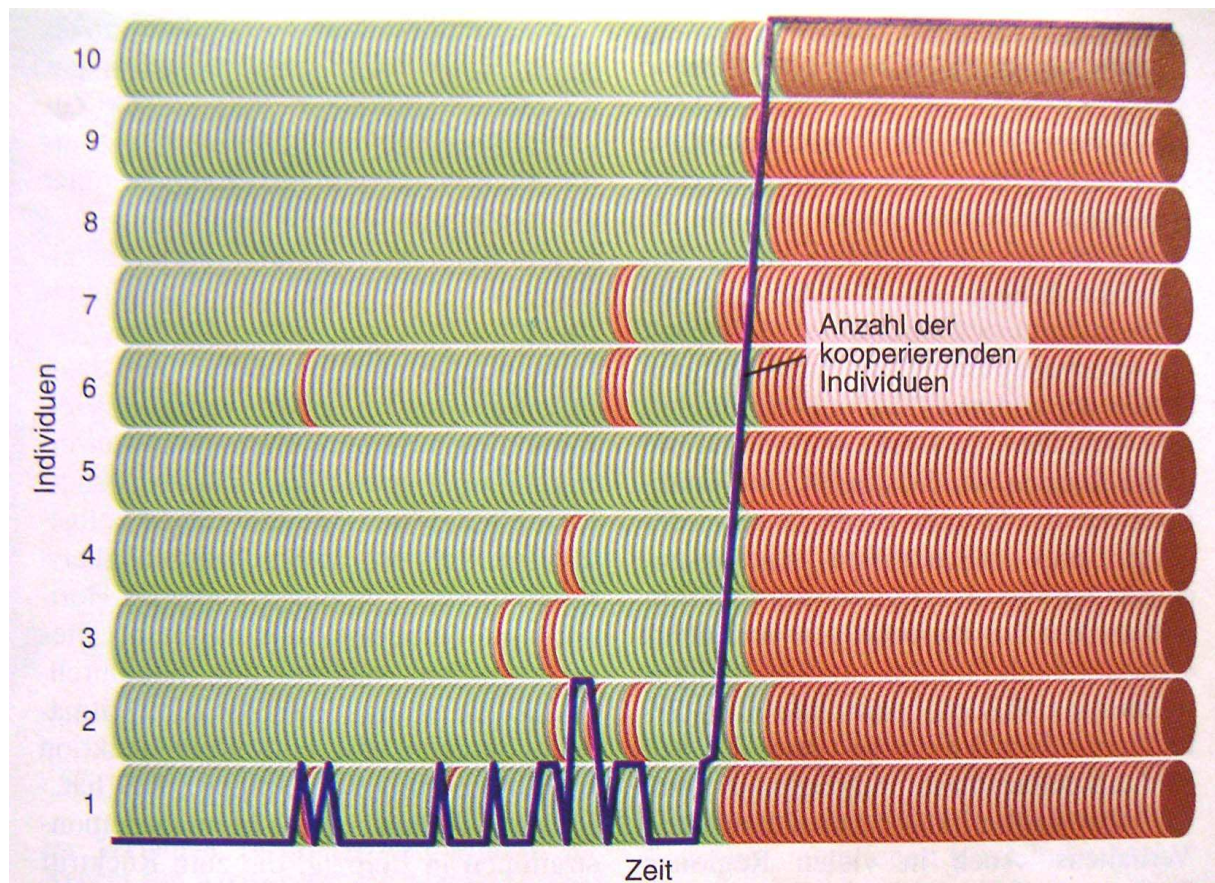


Abbildung 7.7: Durchsetzung von Kooperation

Gebiet engagieren. Das lässt sich zum einen daraus erklären, dass das „schlechte Gewissen“, was einen einzelnen zum Umweltschutz bewegt, kaum der Fall ist, wenn sich sonst niemand um die Umwelt sorgt. Zum anderen kann ein einzelner in Sachen Umweltschutz wenig Sichtbares bewirken, wohingegen die Masse beachtliche Erfolge erzielen könnte.

Es zeigt sich also, dass die diskutierte Art von Modellen in unterschiedlichen Bereichen Relevanz hat und hilfreiche Ergebnisse zu liefern vermag.

## Direkte Interaktion

In einer weiteren, umfangreicheren Betrachtung soll es nun um Modelle direkter Interaktion gehen. Es sollen nun also Sachverhalte abgebildet werden, bei denen das Zusammentreffen der einzelnen Individuen im Vordergrund steht und keine Vermittlung zwischen diesen über die soziale Gruppe auf der Mesoebene stattfindet. Diese Situation kann man annehmen, wenn man die Aufteilung eines sozialen Gebildes in Untergruppen untersuchen möchte. Hierbei spielen die Sympathiewerte, die zwischen den einzelnen Individuen bestehen, eine zentrale Rolle.

Als relativ allgemeines Beispiel dient im Folgenden die Interaktion innerhalb einer so genannten Triade, einer Gruppe aus drei Individuen. Es wird untersucht werden, wie sich die Interaktionshäufigkeiten zwischen diesen drei Personen unter bestimmten Voraussetzungen entwickeln. Den Aspekt, dass durch die Interaktion die Meinung bzw. Einstellung eines

Individuums durch seinen Gesprächspartner verändert und so das Verhältnis zwischen beiden beeinflusst wird, wird dabei nicht berücksichtigt. Dies hat den Vorteil, dass die Zusammenhänge noch überschaubar sind und man zwecks Vergleich auf gewisse Untersuchungen aus der Vergangenheit zurückgreifen kann. So wurde bereits von Georg Simmel angenommen, dass eine Triade auf längere Sicht stets in ein Paar, welches sehr häufig miteinander in Interaktion tritt, sowie einen Isolierten zerfällt, der von der Kommunikation weitgehend ausgeschlossen bleibt [7]. Man kann nun mit Hilfe unterschiedlicher Modelle versuchen, diese These auf ihr Zutreffen zu untersuchen. Die Darstellung dieser unterschiedlichen Möglichkeiten anhand dieses Beispiels soll dazu dienen, Vor- und Nachteile der jeweiligen Methoden zu verdeutlichen.

Zunächst gilt es wieder einmal, gewisse Annahmen, die auf Hypothesen des Soziologen Georg C. Homans zurückgehen und für eine Modellierung unterstellt werden müssen, darzulegen:

- Die Sympathie zwischen zwei Individuen (die beispielsweise auf der Ähnlichkeit ihrer Weltanschauungen oder politischen Meinung beruhen könnte) beeinflusst die Häufigkeit ihrer Interaktion.
- Das Maß der bisherigen Interaktion wirkt sich auf die Sympathie zwischen den interagierenden Individuen aus.
- Das Maß der bisherigen Interaktion wirkt sich auf zukünftige Interaktion aus (proportional, falls man mit einem häufigen Partner weiterhin gern kommuniziert oder antiproportional, weil man gern neue Erfahrungen sammeln möchte).

Im Folgenden wird nun ein abnehmender Attraktivitätsgewinn angenommen, d.h. je mehr zwei Partner miteinander kommuniziert haben, desto geringer ist ihr gegenseitiger Sympathiegewinn, und die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Interaktion wächst umso weniger, je häufiger man bereits interagiert hat.

### Gruppenbeschreibendes Differentialgleichungssystem

Zunächst bietet sich die Möglichkeit, die Entwicklung von Interaktionshäufigkeit und Zuneigung für die gesamte soziale Gruppe zu modellieren. Das folgende Differenzialgleichungssystem tut dies unter den oben genannten Annahmen auf plausible Weise:

$$\text{Interaktion : } \frac{dI}{dt} = g + hZ - kI \quad (7.1)$$

$$\text{Zuneigung : } \frac{dZ}{dt} = a + bI - cZ \quad (7.2)$$

Dabei wird nun unter (1) außerdem unterstellt, dass zu jeder Zeit ein Maß  $g$  an zusätzlicher Interaktion hinzukommt. Die Parameter  $h$  und  $k$  geben die „Macht“ der Zuneigung bzw. den Sättigungsgrad der Interaktion an. Der konstante Term  $a$  in der Differenzialgleichung (2) gibt ein Grundmaß immer wieder neu hinzugewonnener Zuneigung an<sup>70</sup>, die Parameter  $b$  und  $c$  den Einfluss der Interaktion auf die Zuneigung bzw. deren Sättigung in Abhängigkeit von bereits vorhandener Sympathie.

---

<sup>70</sup>Wobei zu beachten ist, dass die konstanten Terme  $g$  und  $a$  auch 0 betragen können.

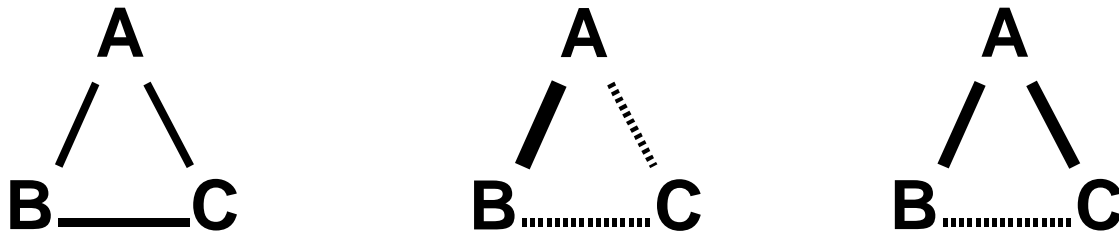


Abbildung 7.8: Drei Möglichkeiten verschiedener Gruppensituationen

Unterzieht man dieses Differenzialgleichungssystem einer Stabilitätsanalyse, stellt man einen Gleichgewichtszustand fest, auf den sich die Werte von Interaktion und Zuneigung in einer Gruppe zubewegen werden. Bei kritischer Auseinandersetzung mit dieser Methode taucht jedoch einerseits die Frage auf, welchen Nutzen ein solcher System-Dynamics-Ansatz bringt, zumal damit keinerlei Aussagen über eine mögliche Gruppenstruktur getroffen werden. Andererseits ist es fraglich, wie man einen Wert für Zuneigung innerhalb einer sozialen Gruppe finden möchte. Dies zeigt, dass eine Analyse, die sich allein auf die Gesamteigenschaften der Gruppe bezieht, höchst unbefriedigend ist und eine detailliertere Einbeziehung der Individuen gefordert werden muss, auch wenn diese weitaus komplexer daherkommen wird.

### Individuelles Differenzialgleichungssystem

Um die Individuen detailliert zu modellieren, müssen alle möglichen Konstellationen der Interaktion sowie alle Zuneigungswerte von jedem Individuum ausgehend zu den übrigen berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich unter deterministischer Sichtweise folgendes Differenzialgleichungssystem:

$$\text{Interaktion zwischen } i \text{ und } j: \frac{dI_{ij}}{dt} = c_1(g_{ij} + h_{i,j}Z_{i,j} + h_{j,i}Z_{j,i} - I_{ij}) \quad (7.3)$$

$$\text{Zuneigung von } i \text{ zu } j: \frac{dZ_{i,j}}{dt} = c_2(a_{i,j} + b_{ij} \frac{I_{ij}}{I_{12}+I_{13}+I_{23}} - Z_{i,j}) \quad (7.4)$$

Wobei die Koeffizienten  $c_1$  und  $c_2$  für die Geschwindigkeit der Veränderungen stehen. Es ergeben sich also drei Gleichungen der Art (3) für die Interaktionen und sechs Gleichungen der Art (4) für die Zuneigungen, die sich gemeinsam numerisch lösen lassen. Um der These Simmels nachzugehen, kann nun untersucht werden, wie das System unter verschiedenen Anfangsbedingungen reagiert. Die möglichen Situationen sind in Abbildung 7.8 veranschaulicht (von links nach rechts): Entweder befinden sich alle drei Individuen in gleichmäßiger Interaktion, es gibt eine enge Beziehung zwischen zwei Teilnehmern, sodass der dritte isoliert ist, oder ein bestimmtes Individuum stellt sich als besonders beliebter Gesprächspartner heraus. Simmels These kann auf den Prüfstein gestellt werden, indem zu Beginn harmonische Werte angenommen werden. Die Möglichkeit der Disharmonie ist grundsätzlich gegeben, da immer nur zwei Individuen miteinander kommunizieren können und so Veränderungen ihrer Zuneigung und Interaktionen vornehmen.

Durch Analyse lässt sich zunächst für selbe Parameterwerte bei allen Individuen ein stabiler Gleichgewichtszustand im Falle gleicher Interaktion ( $I_{ab} = I_{ac} = I_{bc}$ ) feststellen. Trotz gewisser Disharmonien um diesen Zustand bleibt die Triade also stabil und verfällt nicht in ein Paar und einen Isolierten. Weiter ist zu beobachten, dass sich anfängliche Disharmonien nicht verstärken, sondern auf dem Anfangsniveau bleiben.

Wählt man die Parameter asymmetrisch und setzt beispielsweise den Parameter  $k_b$  höher als  $k_a$  und  $k_c$ , erhöht man also den Einfluss der Interaktionen mit dem zweiten Individuum, fällt auch das Ergebnis entsprechend asymmetrisch aus, d.h. Interaktionen mit dem zweiten Individuum B werden häufiger als Interaktion zwischen Person A und Person C. Da das Ergebnis sich also direkt aus der Wahl der Parameter zu ergeben scheint, kann diese Art der Modellierung keine weiteren Erkenntnisse zur Strukturbildung in Triaden liefern. Simmels Annahme der Paar-Isolierten-Konstellation vermag sie jedenfalls nicht erklären.[6]

### Stochastische Modellierung

Als weitere Möglichkeit, die Interaktionen einer Dreiergruppe abzubilden, bietet sich ein Modell auf Grundlage stochastischer Einflüsse an, welche den unregelmäßigen, nicht exakt zu beziffernden sozialen Faktoren Rechnung tragen sollen. Dazu sucht sich zunächst jedes Individuum zu Beginn eines Interaktionszeitschrittes einen favorisierten Partner aus. Das Modell bestimmt diesen durch Zufall, der durch die Zuneigungen zu den jeweiligen Partner gewichtet wird. Anschließend wird die dominierende Person gewählt, welche die Interaktion beginnen soll. Auch dies geschieht stochastisch unter Berücksichtigung einer Dominanz, die jedem Individuum zuerkannt werden muss. Nachdem die Interaktion des dominanten Individuums mit seinem favorisierten Partner stattgefunden hat, werden deren Interaktionszahl erhöht und ihre Zuneigungen zueinander verändert. Dabei kann es beim angesprochenen Partner einen Unterschied bedeuten, ob das dominante Individuum sein persönlicher Wunschpartner war (dann wird seine Zuneigung zu diesem mit der Wahrscheinlichkeit RA um einen bestimmten Wert erhöht) oder nicht (Erhöhung der Zuneigung mit Wahrscheinlichkeit RB). Außerdem werden die Zuneigungen aller Individuen durch einen Schwundfaktor verringert, um das Vergessen weit zurück liegender Begegnungen zu simulieren. Abbildung 7.9 fasst den Ablauf der Modellierung zusammen. Anhand dieses Modells soll nun untersucht werden, welche Entwicklungen sich bei unterschiedlichen Parametersätzen ergeben, indem die Häufigkeiten der möglichen Interaktionen zwischen jeweils zwei Individuen im Diagramm dargestellt werden. Daran lässt sich erkennen, welche Gruppensituation vorliegt.

Viele unterschiedliche Parametersätze sind nun denkbar, es soll sich jedoch auf folgende vier konzentriert werden. Möchte der interessierte Leser eigene Simulationen anstellen, kann er dazu die vom Autor entwickelte Software benutzen [5].

- Alle Individuen starten unter gleichen Bedingungen: Ihre Dominanz beträgt  $1/3$ , die Zuneigungen und Interaktionshäufigkeiten sind zu Beginn gleich und ebenso unterscheiden sich die Wahrscheinlichkeiten RA und RB nicht voneinander, d.h. es ist egal, ob der Interaktionspartner der Wunschpartner war oder nicht.

In Abbildung 7.10 lässt sich feststellen, dass die Interaktionen nach einer gewissen Einpendelphase einen gleichen Anteil von ziemlich genau einem Drittel haben. Man beachte, dass der Graph die Interaktionen von 100 Triaden mittelt.



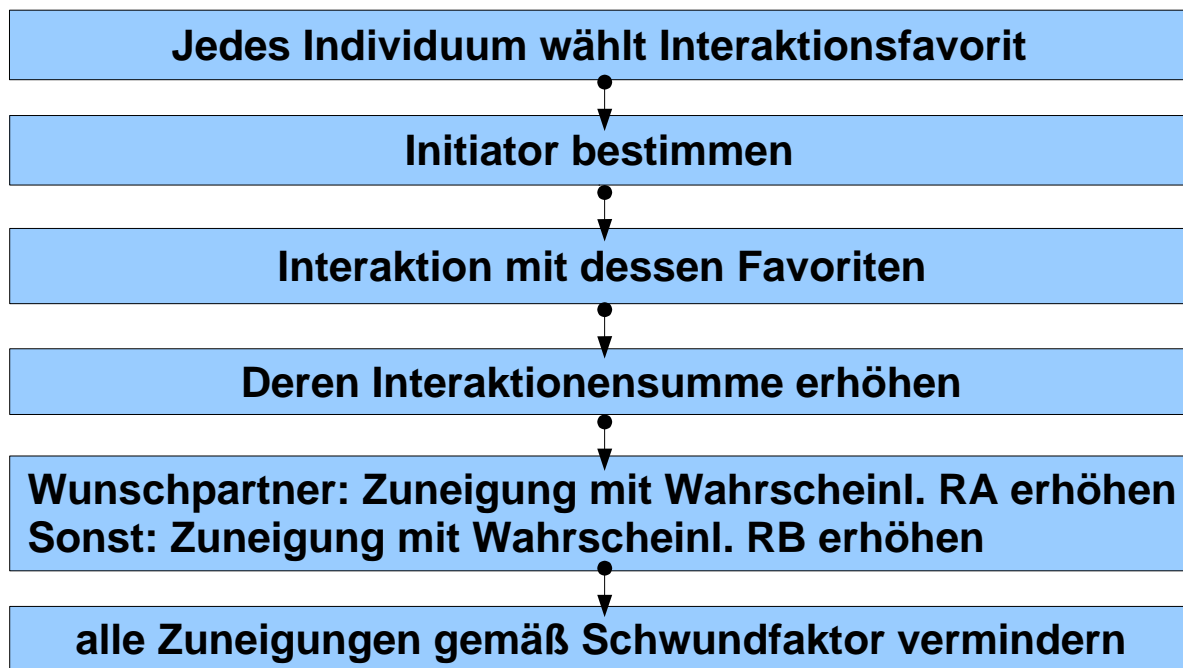


Abbildung 7.9: Ablauf eines Interaktionszeitschrittes

- Nun starten nicht alle Individuen mit einer einheitlichen Zuneigung zu den jeweiligen Partnern, sondern es besteht eine höhere Neigung zum Gespräch mit dem Individuum C. Das heißt, dass die Individuen A und B zu Beginn doppelt so viel zu Individuum C neigten als zu B bzw. zu A.

Es lässt sich in Abbildung 7.11 deutlich sehen, dass die Interaktionen  $A \Leftrightarrow C$  und  $B \Leftrightarrow C$  häufiger auftraten als die Gespräche zwischen A und B. Signifikante Ergebnisse liefern bereits Neigungsunterschiede der halben Neigung<sup>71</sup>.

- Bei relativ hoher Vergesslichkeit kann es häufiger zu Schwankungen der Art führen, dass sich das ursprüngliche, positive Neigungsverhältnis zu einer Person ändert und

<sup>71</sup>Beispielsweise für A 0-1-1.5, für B 1-0-1.5 und für C 1-1-0

Angaben	Individuum A	Individuum B	Individuum C
Dominanz	0.34	0.34	0.34
Zuneigungen	0-1-1	1-0-1	1-1-0
Zuneigungs-Summand			1.0
Wahrscheinlichkeit RA			0.9
Wahrscheinlichkeit RB			0.9
Schwundfaktor			0.01
Anzahl der Durchläufe			100
Anzahl der Wiederholungen			100

Tabelle 4: Szenario I

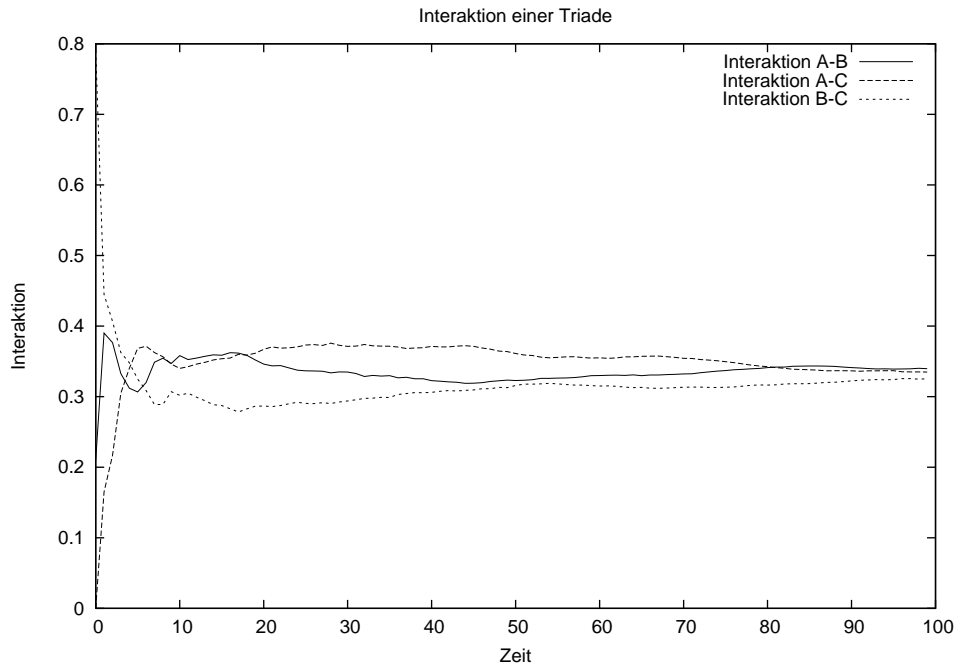


Abbildung 7.10: Szenario 1

Angaben	Individuum A	Individuum B	Individuum C
Dominanz	0.34	0.34	0.34
Zuneigungen	0-1-2	1-0-2	1-1-0
Zuneigungs-Summand			1.0
Wahrscheinlichkeit RA			0.9
Wahrscheinlichkeit RB			0.9
Schwundfaktor			0.01
Anzahl der Durchläufe			100
Anzahl der Wiederholungen			100

Tabelle 5: Szenario II

andere Interaktionen die Überhand gewinnen. Um diesen Fall zu demonstrieren, wurde im dritten Szenario die Schwundrate auf 0.6 gesetzt.

In Abbildung 7.12 ist zu erkennen, dass im Gegensatz zur letzten Simulation die Interaktion A<>B am häufigsten zu beobachten war.

- Nun lassen sich natürlich auch größere Gruppen als Triaden simulieren. Im Folgenden Beispiel wurde eine Vierergruppe mit homogenen Neigungen, jedoch mit einem dominanten Individuum herangezogen. Die Dominanz dieser Person betrug 0.4, wohingegen alle anderen Individuen eine Dominanz von 0.2 aufwiesen. Die anderen Parameter wurden dabei nicht verändert.

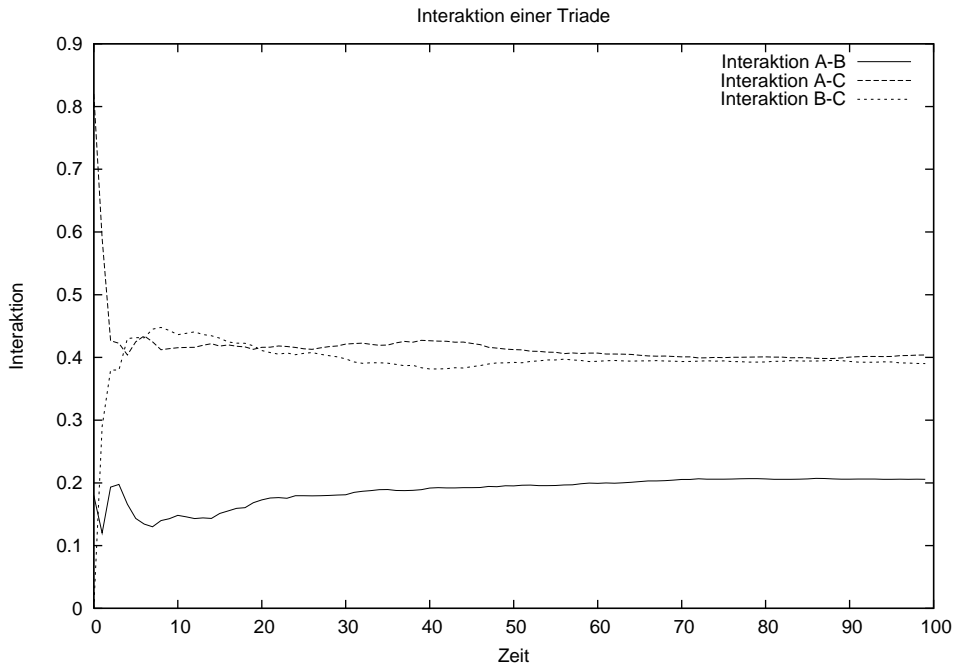


Abbildung 7.11: Szenario 1

Angaben	Individuum A	Individuum B	Individuum C
Dominanz	0.34	0.34	0.34
Zuneigungen	0-1-2	1-0-2	1-1-0
Zuneigungs-Summand			1.0
Wahrscheinlichkeit RA			0.9
Wahrscheinlichkeit RB			0.9
Schwundfaktor			0.6
Anzahl der Durchläufe			100
Anzahl der Wiederholungen			100

Tabelle 6: Szenario III

Abbildung 7.13 zeigt, dass die Interaktionen, an denen das dominante Individuum A beteiligt war, häufiger auftraten als die übrigen. Schließlich wurde A häufiger ausgewählt, um eine Unterhaltung zu beginnen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Simulationen keine großen Überraschung bringen. Personen, die beliebter sind, werden eher in ein Gespräch verwickelt als unpopuläre Menschen, dominante Akteure initiieren häufiger Unterhaltungen als unauffällige Personen. Dennoch können derartige Simulationen hilfreich sein, um die Entwicklung unter speziellen, komplexeren Bedingungen zu untersuchen. Man könnte beispielsweise fragen, wie dominant eine Person sein muss, um an der Mehrheit der Interaktionen beteiligt zu sein, wenn sie zu Beginn nicht besonders populär ist, sprich die Neigungen der anderen Interaktionspartner nicht auf ihrer Seite hat. Eine große Unsicherheit spielt dabei jedoch der stochastische Einfluss der Simulation. Ist es zum Beispiel realistisch, dass eine besonders schüchterne Person durch Zufall doch einmal das Wort ergreift, oder ist es eher so,

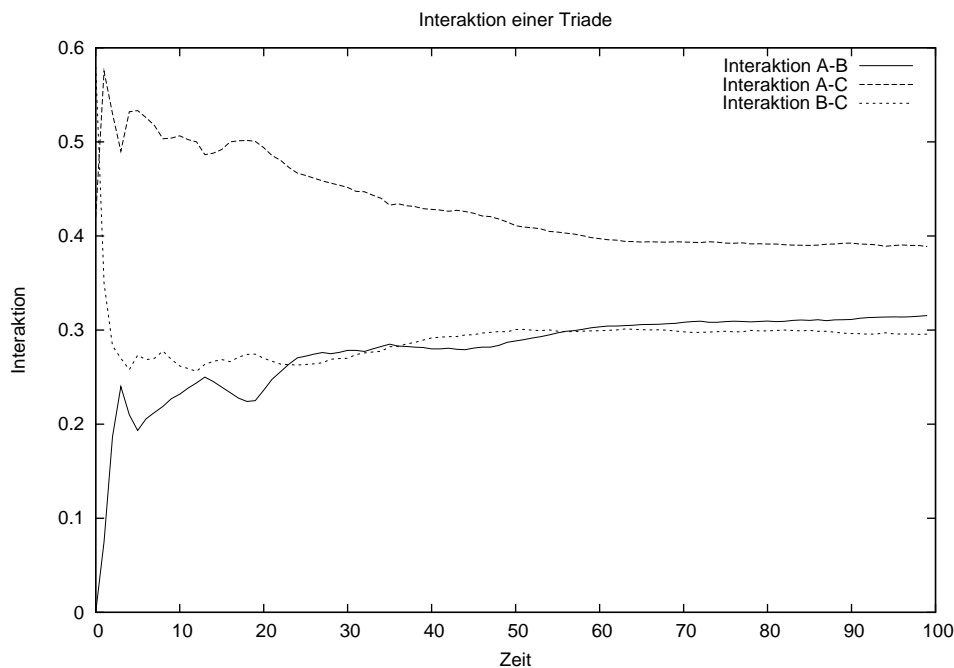


Abbildung 7.12: Szenario 1

Angaben	Individuum A	Individuum B	Individuum C	Individuum D
Dominanz	0.4	0.2	0.2	0.2
Zuneigungen	0-1-1-1	1-0-1-1	1-1-0-1	1-1-1-0
Zuneigungs-Summand				1.0
Wahrscheinlichkeit RA				0.9
Wahrscheinlichkeit RB				0.9
Schwundfaktor				0.6
Anzahl der Durchläufe				100
Anzahl der Wiederholungen				100

Tabelle 7: Szenario IV

dass sie sich ab einem bestimmten Maß an Zurückhaltung gar nicht mehr trauen wird, ein Gespräch zu beginnen. Hier müsste man sicherlich sehr viel differenzierter vorgehen und bestimmte Situation näher charakterisieren, um eine der Fragestellung angemessene Antwort geben zu können.

Des Weiteren gehen die beschriebenen Simulationen von sehr eingeschränkten Informationen der Individuen aus. Sie kennen gerade mal ihre Neigungen zu den übrigen potentiellen Gesprächspartnern und wissen, wie sich diese nach einem Gespräch verändert. In der Realität macht sich jedes Individuum mehr Gedanken um die möglichen Partner, schätzt beispielsweise ab, wie sehr sein Gegenüber an einer Interaktion interessiert wäre und verhält sich entsprechend. Solche zusätzlichen Überlegungen würden schließlich die Methode der Mehrebenenmodelle sprengen.

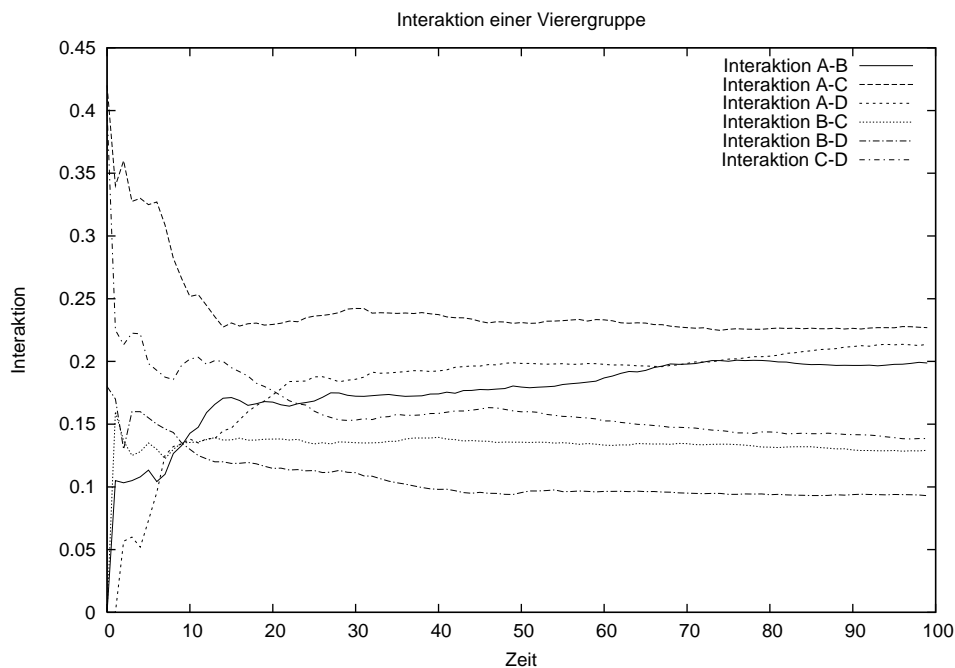


Abbildung 7.13: Szenario 1

## Zellulare Automaten

### Anwendungsbeispiel

Zellulare Automaten werden vor allem dann eingesetzt, wenn die räumliche Komponente eine Rolle spielen soll. Typische Anwendungen des Automaten sind Ghettoisierung oder Nachbarschaftshilfe. Der Zellulare Automat nutzt in der Regel ein Gitter, dessen Felder die zu untersuchenden Elemente repräsentieren. Diese Elemente besitzen bestimmte Eigenschaften, welche nach definierten Regeln auf die Nachbarelemente reagieren. Eine konkrete Regel könnte sein, dass sich ein Individuum an seinem Platz nur wohlfühlt, falls in seiner direkten Nachbarschaft mindestens vier Individuen der selben Art leben. Ist das nicht der Fall, würde das Individuum dieses Feld aufgeben und sich eine neue Heimat suchen. Durch einen solchen Umzug steigt schließlich die Dichte der anderen Art, weshalb es zur vermehrten Migration kommen kann. So lässt sich auf einfache Weise Ghettoisierung nachvollziehen [3].

Ein weiteres typisches Beispiel ist die Ausbreitung einer Krankheit. Abbildung 7.14 stellt einen Schnappschuss einer solchen Simulation dar. Es gab ursprünglich zwei Infektionsherde, die den Virus weitergaben. Je weiter die Färbung von blau über rot zu gelb übergeht, je länger sind die Individuen bereits infiziert, bis sie schließlich wieder immun werden (weiß).

### Problematik der Umweltmodellierung

Das Problem von Zellularen Automaten, und noch mehr von Mehrebenenmodellen ist die unzureichende Modellierung der Umwelt. Sie wird bei den Mehrebenenmodellen gar nicht

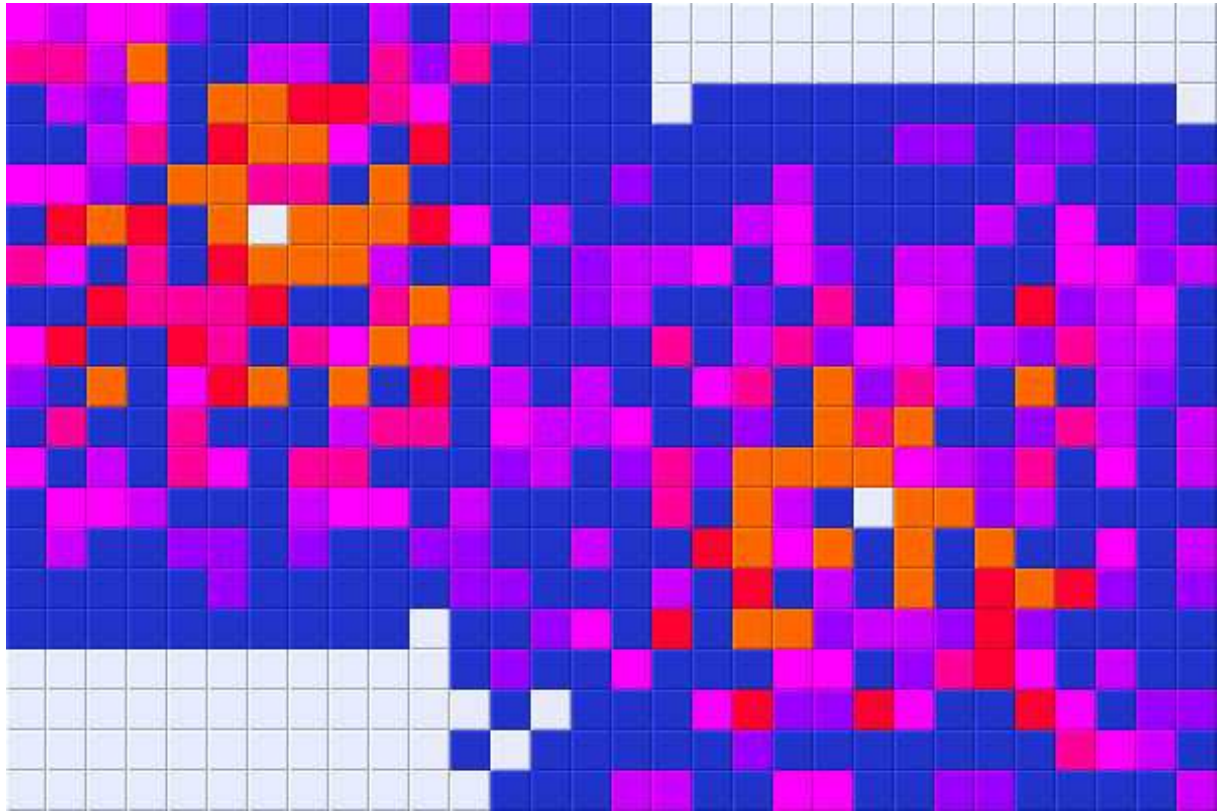


Abbildung 7.14: Ausbreitung eines Virus

abgebildet, sodass die Individuen auch nicht auf diese reagieren können. Bei den Zellularen Automaten wird die Umwelt lediglich in der Form berücksichtigt, dass die räumliche Anordnung anderer Individuen dargestellt wird. Eine Veränderung der Umgebung<sup>72</sup> kann aber auch hier nicht simuliert werden. Bei beiden Modellierungsmethoden fehlt die Möglichkeit der Akteure, auf eine veränderte Umwelt zu reagieren. Da sie beispielsweise keinen Kontakt zu ihrem Vermieter haben, können sie nicht mit diesem über eine vergünstigte Miete aufgrund zunehmenden Lärmes diskutieren. Diese Mankos versuchen nun agentenbasierte Modelle zu beseitigen.

## Agentenbasierte Modellierung

### Charakteristik

Innerhalb der agentenbasierten Modellierung werden die Individuen als eigenständige Elemente betrachtet, die durchaus ein bestimmtes Wissen, individuelle Merkmale und Fähigkeiten aufweisen können. Hier kommen zur Simulation die objektorientierten Sprachen zum Einsatz. Während bisherige Simulationen weitgehend lediglich numerische Lösungen zuvor aufgestellter mathematischer Gleichungssysteme darstellten, die nicht oder nur un-

---

<sup>72</sup>Dabei sind nicht die anderen Individuen gemeint. Auf diese kann ein Akteur mittels entsprechend definierter Regeln antworten. Er kann aber beispielsweise nicht die Infrastruktur seines Wohnortes abfragen und seine Umzugsentscheidung zusätzlich von diesen Daten abhängig machen.

zureichend analytisch gelöst werden konnten, können einzelne Akteure nun realitätsnah abgebildet werden. Erst der Einsatz objektorientierter Technologien und die Entwicklung verteilter, künstlicher Intelligenz macht es möglich, Abhängigkeiten zwischen Individuen realistisch abzubilden [3].

Will man nun Agenten modellieren, muss man sie mit einem gewissen Verhaltensrepertoire ausstatten, mit dem sie ihr Wissen, welches eine interpretiertes Abbild der Umwelt darstellt, verarbeiten und auf das Verhalten ihrer Umwelt reagieren können. Dabei können sie direkt mit anderen Agenten kommunizieren oder indirekt auf Merkmale des Kollektivs reagieren. Nach Wooldridge und Jennings [9] haben solche Agenten folgende Eigenschaften:

- Autonomie durch eigenständiges Handeln
- Sozialfähigkeit durch Interaktionsmöglichkeiten
- Reaktivität durch Reaktion auf Umwelteinflüsse
- Proaktivität durch zielgerichtetes Handeln

Aus diesen Anforderungen ergeben sich in schlüssiger Weise die bereits erwähnten Voraussetzungen: Um eigenständig und zielgerichtet handeln zu können, benötigt jedes Individuum neben seinem Wissensvorrat und einer Fülle von Verhaltensmustern bestimmte Intentionen, auf die es hinarbeitet und die Fähigkeit zu planen, wie diese Ziele erreicht werden können.

## Terminverlegung als Modellierungsbeispiel

Als Beispiel einer agentenbasierten Modellierung soll wiederum eines aus dem Hochschulalltag dienen. Man möge sich als Agenten Studierende vorstellen, die eine wichtige Prüfung ablegen wollen. Als weiterer Akteur kommt eine Sekretärin hinzu, die nun die Aufgabe bekommt, die Studierenden wegen eines Krankheitsfalls unter den Prüfern von der Terminverschiebung zu informieren. Der übliche Ablauf wäre sicher der, dass die Sekretärin alle Studierende telefonisch oder per Email benachrichtigt. Man könnte nun aber die Vermutung haben, dass dies nicht der optimale Weg ist, weil beispielsweise ein Teil der Studierenden nach der Benachrichtigung sofort mit dem Lernen aufhören würde, was sich im Endeffekt nicht positiv auf das Prüfungsergebnis auswirken würde. Schenkt man den Studierenden nun die Fähigkeit, nach Erhalt der Nachricht selbst aufgrund ihres Wissens über ihre Kommilitonen zu entscheiden, ob sie die Nachricht sofort oder erst kurz vor dem ursprünglichen Termin weiterleiten, würde sich vermutlich ein besseres Ergebnis einstellen. Hinzu kämen jedoch gewisse Einschränkungen wie die Zuverlässigkeit oder Fehleinschätzungen der verantwortlichen Studierenden, die diese Erwartung umkehren könnte. Um genau dieses festzustellen, können solche agentenbasierte Systeme hilfreich sein.

Es ist davon auszugehen, dass multi-agentenbasierte Modellierung das vorherrschende Paradigma in den Sozialwissenschaften wird, indem es zusätzlich Elemente anderer Methoden in sich vereint. Auf europäischer Ebene gibt es beispielsweise das Network of Excellence „AgentLink“<sup>73</sup>, welches die Arbeiten auf diesem Gebiet vorantreibt [3].

---

<sup>73</sup><http://www.AgentLink.org>

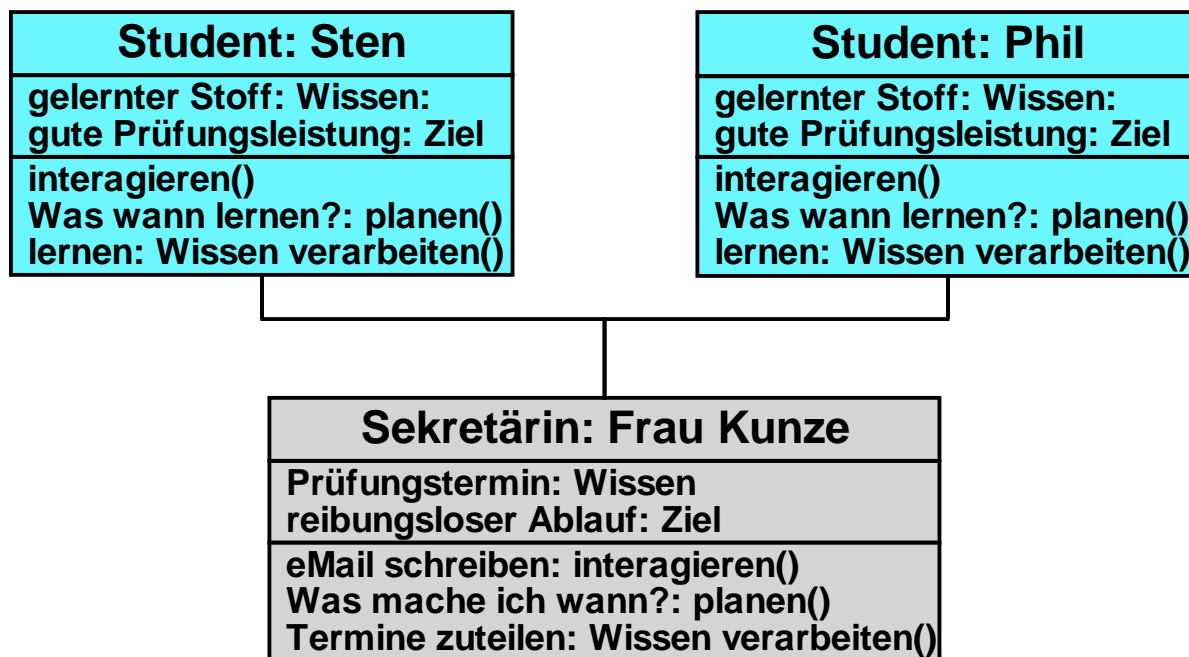


Abbildung 7.15: Agenten der Prüfungsverschiebung

## Kritik

Es drängt sich zunächst die Frage auf, inwiefern das Dogma der Irreduzibilität bei der Modellierung soziologischer Selbstorganisationsprozesse tatsächlich übergangen werden darf. Sicherlich kommen die zahlreichen Simulationsergebnisse, die anhand empirischer Daten weitgehend verifiziert werden konnten, nicht von ungefähr und zeigen, dass Kollektivverhalten in weiten Teilen aus den Individuen heraus modelliert werden kann. Dennoch muss man zugeben, dass eine quantitative Genauigkeit zwischen Simulation und Beobachtung nicht in hohem Maß gegeben ist. Schließlich spielen bei sozialer Interaktion zahlreiche Parameter eine Rolle, die nicht alle berücksichtigt werden können. Aber auch weiter gibt es Situationen, in denen das Gruppenverhalten von nicht bestimmbar Faktoren abhängt und eine allein stochastische Modellierung unbefriedigend ist. Man denke beispielsweise an Extremsituationen, in denen es auf die Hilfsbereitschaft der Einzelnen einer Gruppe ankommt. Diese wiederum ist sicherlich unter anderem vom Druck abhängig, der von der Gruppe ausgeht und sich wiederum auf komplexe Weise aus den Eigenschaften der Gruppe ergibt.

Folglich muss man unterscheiden, wo eine Modellierung unter Reduktion auf die Individuen möglich und sinnvoll ist, und wo dies nicht der Fall ist. Es scheint also wenig sinnvoll, das Dogma der Irreduzibilität leichtsinnig vollständig über Bord zu werfen - genauso wie ein Klammern an selbiges kaum Aussichten auf neue Erkenntnisse bieten würde. Es ist also sehr viel Fingerspitzengefühl gefordert.

Bei der Art der Modellierung werden sich auf lange Sicht wohl multi-agentenbasierte Methoden durchsetzen. Gerade auf diesem Gebiet der Verteilten Künstlichen Intelligenz wird einiger Forschungsaufwand betrieben, der zu immer besseren Modellen beitragen könnte.



Besonders im Fach Psychologie wird viel darin investiert, und eine engere Zusammenarbeit zwischen Sozialwissenschaften und Psychologie scheint im Bereich der reduktionistischen Erklärung unausweichlich und wünschenswert. Hier besteht sicherlich die größte Möglichkeit, besonders nah an der Realität zu simulieren. Gerade wenn es auch hier zum Einsatz stochastische Methoden kommt, ist jedoch erhöhte Aufmerksamkeit gefordert und zu prüfen, ob ein solcher Einsatz zu vertreten ist. Auf Grundlage zutreffender, explanatorischer, also Vergangenes erklärender Modelle kann es dann möglich sein, zukünftige Muster in sozialen Gruppen vorauszusehen.

## Literatur

- [1] Bertelsmann, Lexikothek Verlag (1989). Die grosse Bertelsmann Lexikothek Band 4. Gütersloh. Stichwort: Durkheim, Emile.
- [2] Bohnen, Alfred (1994). Die Systemtheorie und das Dogma von der Irreduzibilität des Sozialen. Zeitschrift für Soziologie, (23): 292
- [3] Troitzsch, Klaus G. Computersimulation in den Sozialwissenschaften. In: Simulation und Planspiel in den Sozialwissenschaften. Eine Bestandsaufnahme der internationalen Diskussion. Diemtar Herz, Andreas Blätte.
- [4] Gance, Huberman (1994). Das SchmarotzerDilemma. Spektrum der Wissenschaft, (5): 26.
- [5] Holzhauer, Sascha (2004). Interaktionssimulationen.  
<http://www-lehre.informatik.uos.de/~sholz/hau/simulation>. Java-Binaries zum Ausführen.
- [6] Kirk, Coleman (1967). Formalisierung und Simulation von Interaktionen in einer DreiPersonenGruppe. In: Formalisierte Modelle in der Soziologie, S. 169. Renate Mayntz.
- [7] Simmel, Georg. Soziologie: Untersuchungen über die Form der Vergesellschaftung.
- [8] Troitzsch, Klaus G. (1996). Individuelle Einstellung und kollektives Verhalten. In: Chaos und Ordnung Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft , S. 290. Günther Küppers.
- [9] Wooldridge, Michael J. und N. R. Jennings (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, 10(2): 115-152.



## 8. Ordnung aus dem Chaos: Kooperative Gehirnprozesse bei kognitiven Leistungen

nach Erol Başar und Gerhard Roth

David Bichat und Nils Schuhmacher

30. Juni 2004

### Einleitung

Ziel der Hirnforschung und kognitiven Neurobiologie ist die Klärung der Frage, wie kognitive Leistungen und Hirnprozesse zusammenhängen. Unter kognitiven Leistungen versteht man in der Psychologie z.B. Wahrnehmen, Lernen, Denken, Erinnern, Emotionen, Vorstellung und Handlungsplanung. Somit also auch viele alltägliche Vorgänge, von denen wir glauben, dass sie immateriell und nicht messbar seien.

Die Autoren des Artikels „Ordnung aus dem Chaos: Kooperative Gehirnprozesse bei kognitiven Leistungen“ begegnen der Angst vor einer Entmystifizierung vieler scheinbar subjektiver Prozesse mit wissenschaftlichem Pioniergeist. Otto Creutzfeldts Aussage, dass die Fragen nach Herkunft und Wesen geistiger Zustände naturwissenschaftlich prinzipiell unlösbar seien, bezeichnen Basar und Roth als ungerechtfertigten Agnostizismus (KÜPPER, 1996, S.292). Mit diesem Artikel und ihren sonstigen Arbeiten beteiligen sie sich an der schrittweisen Entschlüsselung der Sprache unseres Gehirns. In ihrem Text wollen sie speziell die Zusammenhänge zwischen EEG und kognitiven Leistungen darstellen. Ziel der Ausarbeitung dieses Artikels soll deshalb sein, einen tieferen Einblick in die wissenschaftlichen Methoden in der Psychologie (speziell die Elektroenzephalografie) zu ermöglichen und die Darstellung der bisherigen Bemühungen in der Psychologie, Ordnung in die kognitiven Prozesse des menschlichen Gehirns zu bringen. Dabei soll herausgearbeitet werden, dass die neuronale Aktivität Eigenschaften deterministisch-chaotischer Systeme aufzeigt.

Zum Aufbau der Arbeit: Nach einem kurzen Abschnitt über die derzeitigen Möglichkeiten von Wissenschaft und Technik, Prozesse im Gehirn mess- und sichtbar zu machen, folgt eine Einführung in die neurobiologischen Grundlagen und eine Darstellung des Zusammenhangs zwischen Struktur und Funktion im Gehirn. Die weiteren Abschnitte des Textes beschäftigen sich intensiv mit dem Elektroenzephalogramm und dem Ereigniskorrelierten Potential und der Bedeutung dieser Messmethoden zur Erforschung der Ordnung aus den scheinbar „chaotischen“ Prozessen im Gehirn.

### Momentaner Stand der wissenschaftlichen Technik in der Hirnforschung

Seit den 70iger Jahren und mit zunehmenden Fortschritt der Informationstechnologie haben sich verschiedene Methoden zur Visualisierung der Prozesse im lebenden menschlichen Gehirn entwickelt. Konventionelle Röntgenaufnahmen waren dafür nicht geeignet.

Neben den Verfahren zum Erfassen lokaler elektrischer und magnetischer Aktivitäten von Neuronenverbänden mittels Elektroenzephalografie (EEG) und Magnetenzephalografie (MEG) haben sich auch bildliche Darstellungsverfahren von Hirndurchblutungs- und Hirnstoffwechselprozessen wie Positron-Emissions-Tomografie (PET), Kernspin- oder NMR-Tomografie (*nuclear magnetic resonance*) und die funktionelle Kernspin- oder fMR-Tomografie (*functional magnetic resonance*) gebildet.

## Kernspintomografie und funktionelle Kernspintomografie

Die Kernspintomografie beruht auf einer Strahlungsemission durch angeregte Wasserstoffkerne (Protonen,  $H^+$ ), die Aufschluss über physikalische und chemische Beschaffenheiten in der Umgebung des  $H^+$ -Kerns gibt. In einem starken Magnetfeld richten sich die Protonen parallel zu den Feldlinien aus. Dadurch, dass sich Protonenkonzentrationen in verschiedenen neuronalen Strukturen unterschiedlich stark ausbilden, ermöglicht das eine hohe Auflösung der NMR-Bilder.

Die fMR-Tomografie macht Gebiete mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt sichtbar. Da die Stoffwechselaktivität leistungsabhängig ist, ist der Sauerstoffverbrauch in aktiven Regionen höher. Die Vorteile dieser Untersuchungsmethode sind vielfältig: u.a. muss den Patienten nichts injiziert werden; im Gegensatz zum PET-Scan können Veränderungen in Echtzeit wiedergegeben werden (PINEL, 1997, S.113).

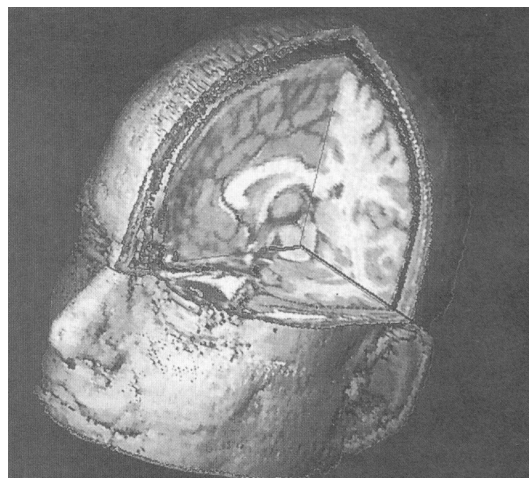


Abbildung 8.1: \*

Das fMR-Verfahren liefert ein dreidimensionales Bild des Gehirns, wobei Gebiete erhöhter Aktivität farblich herausgehoben werden. Hier ist eine Kontrollsituation aufgenommen, somit finden sich keine Gebiete erhöhter Aktivität (PINEL, 1997, S.113).

## Positronen-Emissions-Tomografie

PET Scans liefern Bilder des Radioaktivitätsniveaus in verschiedenen Gehirnbereichen, nachdem dem Patienten radioaktiv markierte 2-Desoxy- Glucose (2-DG) in die Halsschlagader injiziert wurde. 2-DG ist der Glucose sehr ähnlich, die der Energieversorgung der

Neuronen dient. Nachdem also 2-DG im Gehirn angekommen ist und von den Neuronen aufgenommen wurde, wird es im Gegensatz zur Glucose nicht sofort umgewandelt, sondern sammelt sich in den aktiven Neuronen an. Radioaktiv markiert, sendet es Positronen aus, die mit den Elektronen im Gehirn kollidieren. Dabei werden zwei Gamma-Strahlen in entgegengesetzter Richtung ausgesendet, die von Detektoren registriert werden, woraus sich mittels aufwendiger Computersoftware letztendlich ein dreidimensionales Aktivitätsbild des Gehirns ergibt. Häufig werden dabei mehrere PET Scans übereinander gelegt und gemittelt. Das Erstellen eines aussagekräftigen PET Bildes dauert 45-90 Sekunden. Somit können keine schnellen kognitiven Prozesse im Millisekundenbereich mit PET Scans erfasst werden, im Gegensatz zum EEG, worauf später noch näher eingegangen wird (PINEL, 1997, S.111-113).

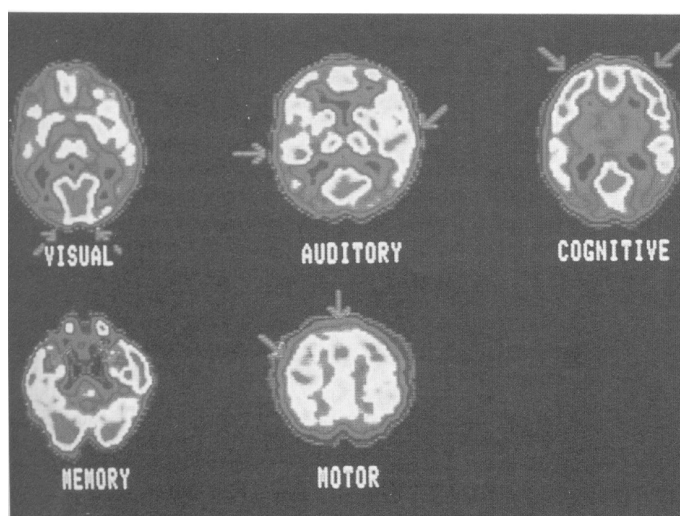


Abbildung 8.2: \*

Horizontalschnitt einer Serie von PET-Scans. Bei den Aufnahmen werden jeweils Aufgaben aus dem visuellen, auditorischen, kognitiven, gedächtnisbeanspruchenden und motorischen Bereich gestellt. Die erhöhte Aktivität, der jeweils für die Verarbeitung zuständigen Bereiche, ist mit Pfeilen markiert (PINEL, 1997, S.113).

## Neurobiologische Grundlagen:

### Was ist ein Neuron und wie kommunizieren Neuronen miteinander?

Neuronen sind auf Informationsverarbeitung spezialisierte Zellen, die sich durch besondere Erregbarkeit und Leitfähigkeit auszeichnen.

Sie besitzen ein Ruhepotential in der Höhe von  $-70\text{mV}$ . Das Ruhepotential ergibt sich aus dem Spannungsunterschied an der Zellmembran, also zwischen dem inneren Teil der Zelle und seiner Umgebung, denn innerhalb des Neurons befinden sich wesentlich mehr negativ geladene Ionen als außerhalb. Im Ruhezustand, mit einer Spannung von  $-70\text{mV}$  über der

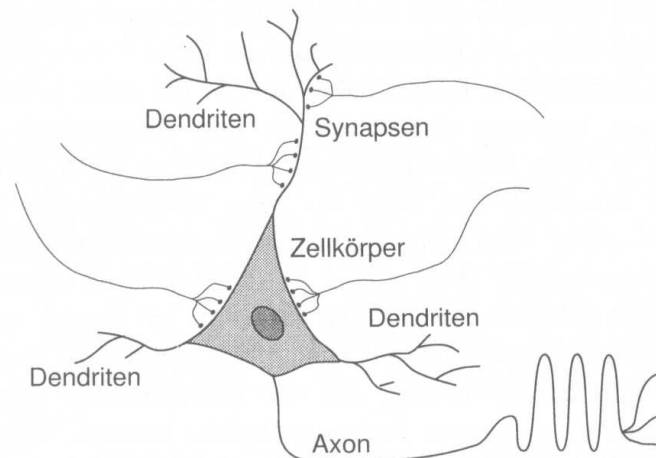


Abbildung 8.3: \*

Darstellung des Aufbaus eines Neurons. In der Mitte befindet sich der Zellkern, von dem aus sich Verästelungen (die Dendriten) fortsetzen, die Signale von anderen Zellen zum Zellkern leiten. Das Axon dient der Weiterleitung von Signalen vom Zellkern aus über die synaptischen Endköpfchen hin zu anderen Neuronen (SPITZER, 2000, S.19).

Membran, spricht man davon, dass das Neuron polarisiert ist.

Die Kommunikation zwischen den Neuronen erfolgt durch Erhöhung bzw. Verringerung des Ruhepotentials einer Nervenzelle durch benachbarte Zellen, mit der sie über ihre Synapsen verbunden ist. Die eingehenden „Signale“ werden räumlich und zeitlich abgewägt und zu einer Art Gesamterregung summiert. Überschreitet das Potential des Neurons den Wert von  $-65\text{ mV}$ , so „feuert“ es. Man spricht in diesem Fall von einem Aktionspotential auf der Basis eines Alles-oder-Nichts Effekts. Stellt man sich als Analogie eine Feuerwaffe vor, so zündet auch diese nur dann, wenn der Hahn weit genug gezogen wird oder eben gar nicht. Nach der Depolarisation schließt sich eine Phase der Regenerierung an. Es kommt sogar zu einer sogenannten Hyperpolarisation (Potential  $<-70\text{mV}$ ) (PINEL, 1997, S.83-93).

Durch spannungsgesteuerte Ionenkanäle wird das Aktionspotential längs des Axons weitergeleitet, bis ein Aktionspotential an den synaptischen Endköpfchen ausgelöst wird, somit also eine benachbarte Zelle zum „Feuern“ angeregt wird.

## Struktur und Funktion im Neocortex

Das menschliche Gehirn ist ca. 1,3 kg schwer und besitzt zwischen 100 Milliarden bis 1 Billion Nervenzellen. Die Großhirnrinde (Neocortex) stellt den größten Teil des Gehirns dar. Er macht ca. die Hälfte des Gewichtes und des Volumens des Gehirns aus. Aufgrund seiner Windungen und Furchen besitzt er eine Oberfläche von  $0,22\text{ m}^2$  (KÜPPERS, 1996, S.294 ff).

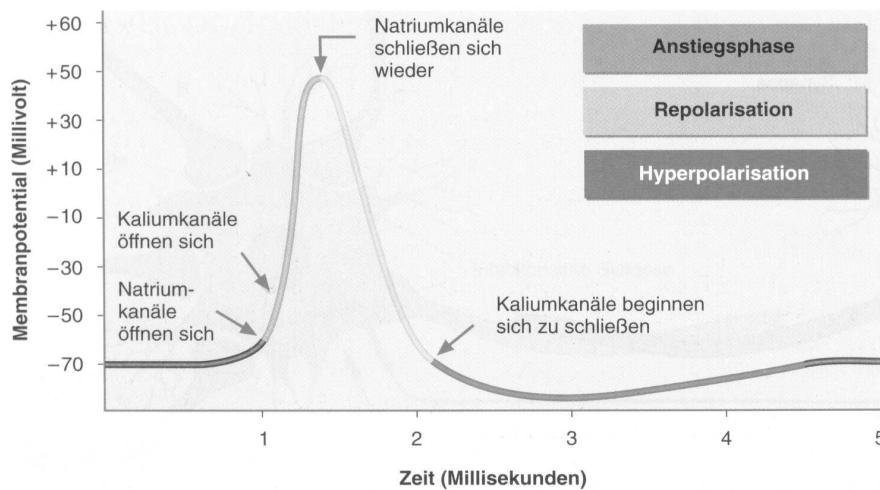


Abbildung 8.4: \*

Das Öffnen und Schließen spannungsgesteuerter Na<sup>+</sup>- und K<sup>+</sup>-Kanäle während der drei Phasen des Aktionspotentials: Anstiegsphase, Repolarisierung und Hyperpolarisierung (PINEL, 1997, S.92).

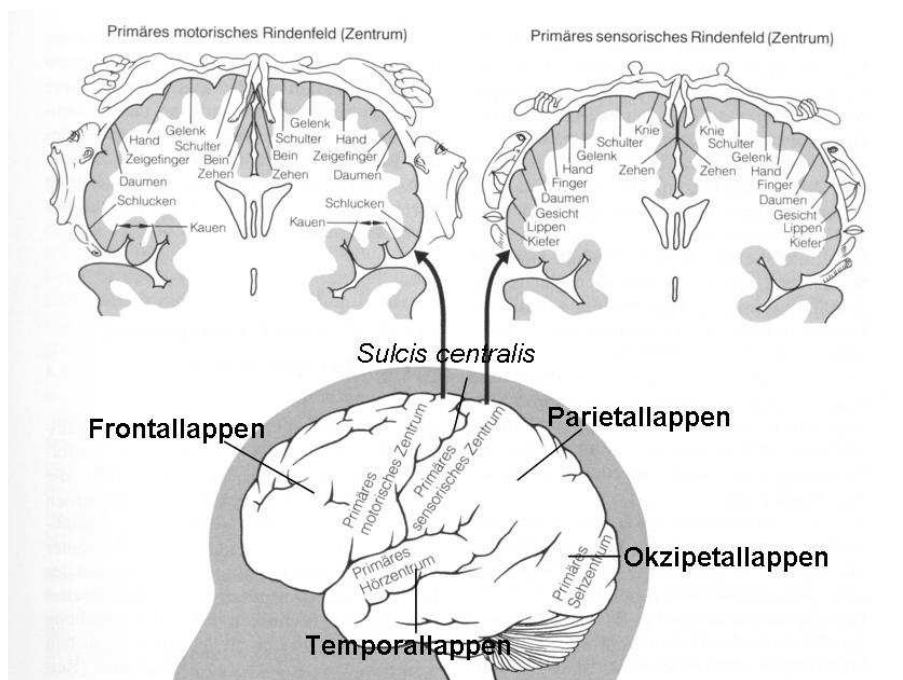


Abbildung 8.5: \*

Oben: Motorischer (links) und sensorischer (rechts) Homunculus. Der Homunculus stellt bildlich dar, welche Bereiche im sensorischen und motorischen Rindenfeld für welche Körperteile zuständig sind. Unten: Neocortex und seine Unterteilung. Zu erkennen sind die 4 großen Bereiche, in die der Neocortex unterteilt wird: Frontallappen (vorne liegend); Parietallappen (hinten oben liegend); Okzipetallappen (am Hinterkopf liegend); Temporalappen (seitlich an den Ohren liegend); weitere Erklärungen siehe Text (ZIMBARDO, 1988, S.129).

Im Okzipetallappen befindet sich der primäre visuelle Cortex, der einfache visuelle Merkmale verarbeitet.

Im Temporallappen befinden sich die Areale für auditorische Verarbeitung (Hören), Gustatorik (Schmecken) und Olfaktorik (Riechen). Zudem befindet sich in der linken Hemisphäre des temporalen Assoziationscortex, das Wernickesche Sprachzentrum, das für das Sprachverständnis (Semantik) zuständig ist.

Der somatosensorische Cortex (der sich hinter der sulcus centralis befindet) verarbeitet vorwiegend Informationen über Körperempfindungen. Welche Bereiche dabei für welches Körperteil zuständig sind, lässt sich sehr schön am sensorischen Homunculus erkennen (s.Abb.5).

Große Bereiche des Parietallappens besitzen Assoziationsaufgaben. So wird hier erst mit den Informationen aus dem visuellen Cortex die Welt in 3D aufgebaut und der Standpunkt des eigenen Körpers lokalisiert, um somit die Bewegungen in der Umwelt zu koordinieren. Andere Funktionen umfassen Lesen, Rechnen und das Erkennen und den Umgang mit Symbolen.

Nahe der sulcus centralis befindet sich der motorische Cortex. Welcher Bereich hier für die motorischen Abläufe im Körper verantwortlich ist, lässt sich gut am motorischen Homunculus erkennen (s.Abb.5).

Im frontalen Assoziationscortex (Frontallappen) liegt u.a. die Brocasche Sprachregion, die mit der zeitlichen Organisation der Sprache zu tun hat (insb. auch Grammatik). Er ist zudem für die zeitlich-räumliche Strukturierung von Sinneswahrnehmung zuständig und für planvolles und kontextgerechtes Sprechen, Handeln und Verhalten. Zudem dient allgemein der Verhaltensbewertung und sozial-kommunikativen Eigenschaften (KÜPPERS, 1996, S.294 ff).

Die Funktionen der verschiedenen Bereiche ist in der Vergangenheit vor allem an klinischen Fällen untersucht worden. Verschiedene Läsionen am Gehirn von Patienten verursachten „Defekte“, die auf die Funktionen der betroffenen Areale Rückschlüsse zuließen. Einer der bekanntesten und zuerst dokumentierten Fälle hierbei stammt aus dem Jahre 1848 und handelt von Mr. Phineas Gage, dem als Eisenbahnarbeiter bei einer Explosion ein Stopfeisen seinen Kopf in der frontalen Hirnregion durchstieß. Neben leichten körperlichen Behinderungen, dokumentierte Gages behandelnder Arzt vor allem seine psychischen Veränderungen. Sturheit und Launenhaftigkeit, antisoziales Verhalten wurden bei dem Mann festgestellt, von dem seine Freunde sagten, dass er vor dem Unfall über ein eher wohltemperiertes Gemüt verfügte. Auch seine Stellung als Vorarbeiter verlor er, da er sich plötzlich als ungeduldig, fluchend und mit wenig Respekt vor den Kollegen zeigte (ZIMBARDO, 1988, S.132).

Das Aufzeigen der Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktion im Gehirn kann als erster Entschlüsselungsfortschritt der Prozesse im Gehirn angesehen werden und schaffte somit erste Ordnung aus dem „Chaos“.



## Warum kann man den Neocortex als autoassoziatives Netzwerk bezeichnen?

Etwa 80% der im Neocortex enthaltenen Nervenzellen werden aufgrund ihrer Form als sogenannte Pyramidenzellen bezeichnet. Bereits die Gitterstruktur der Pyramidenzellen läßt einen Netzwerkvergleich zu. Man schätzt, dass eine Neuron mit etwa 10.000 anderen Neuronen verbunden ist. Bei einer Gesamtmenge von 100 Milliarden bis 1 Billion Nervenzellen im Gehirn, bedeutet das, dass, ausgehend von einem Ursprungsneuron, in einem Netzwerk von Neuronen eine Verbindung mit dem Ursprungsneuron bereits nach dem dritten Neuron möglich ist ( $10.000 \cdot 10.000 \cdot 10.000 = 1.000.000.000.000$ ) (SPITZER, 2000, S.95ff).

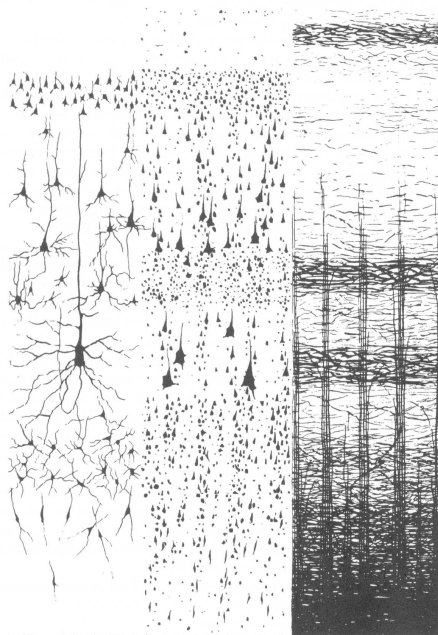


Abbildung 8.6: \*

Die Golgi-Nissl-Weigert Färbung (von links nach rechts), benannt nach ihren Erfindern. Bei der Golgifärbung wird nur etwa jedes 10 Neuron sichtbar. Die Nisslfärbung dient der Darstellung der Zellkörper; die Pyramidenform der Neuronen ist hierbei gut zu erkennen. Die Weigertfärbung macht ausschließlich die axonalen Verbindungen sichtbar (SPITZER, 2000, S.98).

Der Neocortex unterhält über Nervenbahnen (Axonbündel, die als Tractus bezeichnet werden) enge Verbindungen zum Thalamus, einem Gebiet im Inneren des Gehirns unter dem Neocortex verborgen, in dem vor allem Bahnen von den Sinnesorganen enden. Die Anzahl der Efferenzen (Ausgänge vom Cortex zum Thalamus) übertreffen die der Afferenzen (Eingänge vom Thalamus) ca. um das fünffache. Bei diesen Verbindungen spricht man vom thalamocorticalen System.

Derartige Rückkoppelungen unterhält der Cortex auch mit anderen Gehirnbereichen. Über 90% der Eingänge in corticale Netzwerke stammen jedoch von anderen corticalen Netzwerken. Somit kann man den Neocortex als hauptsächlich autoassoziatives Netzwerk interpretieren (KÜPPERS, 1996, S.296).

## EEG und EKP

In den letzten Jahren neurobiologischer Forschung hat sich gezeigt, dass nicht einzelne Neuronen für bestimmte kognitive Leistungen verantwortlich sind, sondern Populationen von tausenden bis millionen Neuronen und ganze corticale Areale, die miteinander kommunizieren. Die zentrale Frage bleibt jedoch bestehen: Welches ist die Sprache des Gehirns, die unmittelbar die kognitiven Leistungen hervorbringt? Als wissenschaftliche Methode zur Lösung dieser Frage hat sich vor allem das EEG bewährt, da es in der Lage ist, die in Millisekunden ablaufenden Aktivitäten des Gehirns aufzuzeichnen, ganz im Gegensatz z.B. zum bereits erwähnten PET Scan. Zudem mißt es die Aktivitäten des Gehirns direkt und nicht indirekt über den lokalen Hirnstoffwechsel und die Hirnblutung.

### Das EEG

Auf der Suche nach der Sprache des Gehirns, die unmittelbar die kognitiven Leistungen hervorbringt, stellte sich heraus, dass die 1920 von Hans Berger eingeführte Elektroencephalographie, kurz EEG genannt, hierfür bis heute die geeignetste Methode ist. Denn mit Hilfe des EEG ist es möglich, elektrische Ereignisse zu registrieren, die sich im Kopf abspielen.

### Was misst das EEG?

Im EEG wird die elektrische Aktivität sehr vieler corticaler Neurone gemessen, relativ zu einer indifferenten Elektrode. Da die elektrische Aktivität aber nicht nur vom Gehirn, sondern auch von Haut, Muskeln, Blut und Augen herrühren, kann es nicht der Zweck des EEG sein, ein klares Bild neuronaler Aktivität zu liefern (PINEL, 1997, S.114).

Neueren Untersuchungen, vor allem der Autoren, zu Folge, lässt sich jedoch mittels EEG auf kognitive Leistungen zurück schließen, und es scheint entscheidend zur Lösung der Fragestellung nach der Sprache unseres Gehirns zu dienen: „Vielmehr handelt es sich nach neuerer Anschauung um ein komplexes Signal, das in vielen Fällen bedeutungshafte synchronisierte Aktivität corticler Neuronensembles darstellt“ (KÜPPERS, 1996, S.304).

Sein momentaner Wert als Forschungs- und Diagnoseinstrument beruht darauf, dass einige EEG-Wellenmuster mit bestimmten Bewusstseinszuständen oder bestimmten Formen hirnpathologischer Zustände in Verbindung gebracht werden können.

Heute wird zwischen Alpha- (um 10 Hz), Beta- (um 20 Hz), Gamma- (um 40 Hz), Delta- (um 2 Hz) und Theta- (4-10 Hz) Wellen unterschieden, denen jeweils ein psychologisches Korrelat entspricht.

Diese Unterteilung löst sich allerdings noch nicht von der klassischen Vorstellung von diesen Wellenmustern als permanentes Hintergrundrauschen, was lediglich als Maß für die allgemeine Hirnaktivität dient.

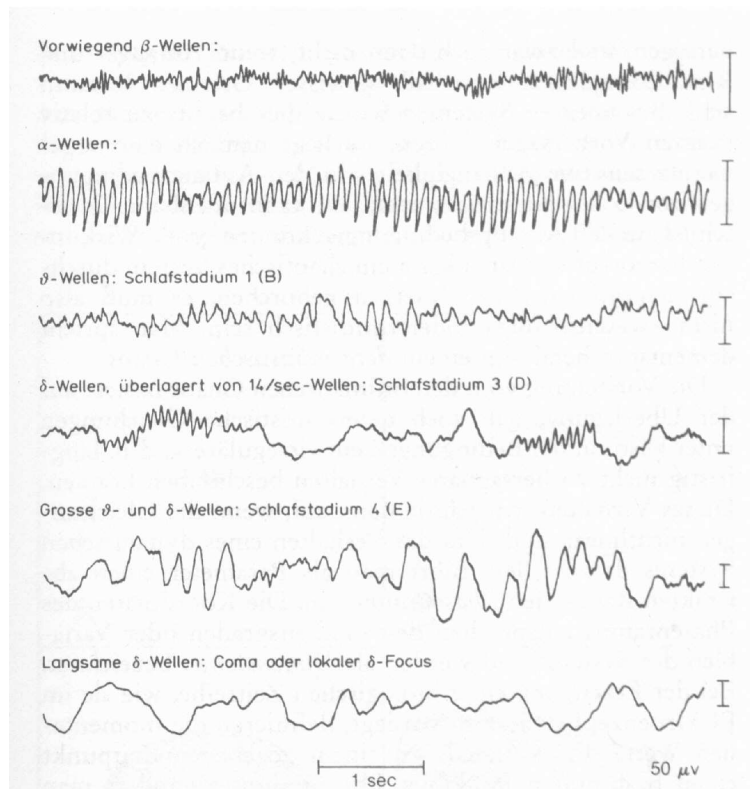


Abbildung 8.7: \*

Die verschiedenen EEG-Wellen und die zugehörigen psychologischen Korrelaten. Von oben nach unten: Beta-Wellen (um 20 Hz), Zustand: wach u. aktiv; Alpha-Wellen (um 10 Hz), Zustand: entspannt; Theta-Wellen (4-10 Hz), Zustand: schläfrig; Delta-Wellen (um 2 Hz), Zustand: schlafend; Theta- und Delta-Wellen, Zustand: tiefschlafend; Langsame Delta-Wellen, Zustand: komatös (KÜPPERS, 1997, S.304/305).

## Warum kann man das EEG als ein chaotisch-deterministisches System betrachten?

Zunächst wurden die EEG Muster für ein zufälliges Rauschsignal gehalten (von den Urvätern des EEGs: Hans Berger und Gray Walter). Mehrere Untersuchungen scheinen jedoch diese Annahme zu widerlegen und bestätigen, dass die Komplexität des EEGs aufgrund der nichtlinearen Bestandteile der Gehirnaktivität zustande kommt.

Bei einem System, dessen Signale ein Rauschen darstellen, gilt, dass seine Dimension unendlich ist. Pionierarbeiten von Babloyanz et al. zeigten, dass die Dimensionalität des EEG im Ruhezustand in etwa 6 ist. Basar et al. zeigten ebenfalls eine begrenzte Dimensionalität der Gehirnaktivität von ca. 4-5 auf, bei Untersuchungen an Katzengehirnen (KÜPPERS, 1996, S302 ff).

Einen weiteren Befund der Hinweise darauf gibt, dass die Funktionsweise neuronaler Verbände Charakteristika deterministischer chaotischer Systeme aufweist, ist der von Skarda & Freeman (1987). Die Untersuchung wurde am olfaktorischen System von Hasen vorgenommen. Die Hasen wurden konditioniert, verschiedene Geruchsreize zu unterscheiden. Mittels 64 Elektroden wurden simultan EEGs auf dem *bulbus olfactorius* der Hasen aufgenommen und untersucht. Es bestätigte sich die Annahme, dass sich die geruchs- und motospezifischen Informationen im topografischen EEG wiederfinden. Der normale unregelmäßige Verlauf des EEGs änderte sich plötzlich bei der Darbietung des konditionierten Geruchsreizes und zeigte bei sämtlichen Elektroden eine geordnete Schwingungsperiodizität auf, solange bis der Geruchsreiz wieder beim Ausatmen der Tiere verschwand. Die Muster beim topografischen EEG, das mit Hilfe eines Mittelungsverfahrens der Amplitude aus dem laufenden EEG der 64 Elektroden gewonnen wird, blieben konstant, innerhalb und zwischen verschiedenen Sitzungen, so lange die Experimentumstände nicht geändert wurden. Neu eingeführte konditionierte Geruchsreize führten dazu, dass sich das Muster bei Darbietung änderte (s.Abb.8).

Eine erfolgreich durchgeführte Computersimulation der gewonnenen Daten zeigte, dass die spezifische neuronale Aktivität im *bulbus olfactorius* verschiedenen Systemzuständen eines nichtlinearen Systems entspricht (SKARDA & FREEMAN, 1987, S.161-195).

Nach dem Kausalitätsprinzip der Linearität kommt es bei gleichen oder ähnlichen Anfangsbedingungen zu gleichen oder ähnlichen Wirkungen. Das EEG hingegen erweist sich als sehr sensitiv für Anfangsbedingungen, was sich ebenfalls aus dem Befund von Skarda & Freeman ergibt. Überschreitet man bei der Parameterwahl nur leicht den Zustand von narkotisiert hin zu schlafend, so ändert sich das Verhalten des System drastisch von stabil hin zu chaotisch.

Modellrechnungen von Basar und Roth zeigen, dass sich das EEG als Resultat gekoppelter Oszillationen neuronaler Populationen interpretieren lässt (siehe auch 4.3 bis 4.5). Für diese Vorstellung spricht ebenfalls die Feststellung einer begrenzten Dimensionalität der neuronalen Gesamtaktivität. Bei Oszillationen von Neuronengruppen, die nichts miteinander zu tun haben, käme es zu einer unbegrenzten Dimensionalität, wie bei einem Rauschsignal (KÜPPERS, 1996, S.309).

Alles in allem kann das EEG also mit Recht als ein deterministisches System angesehen

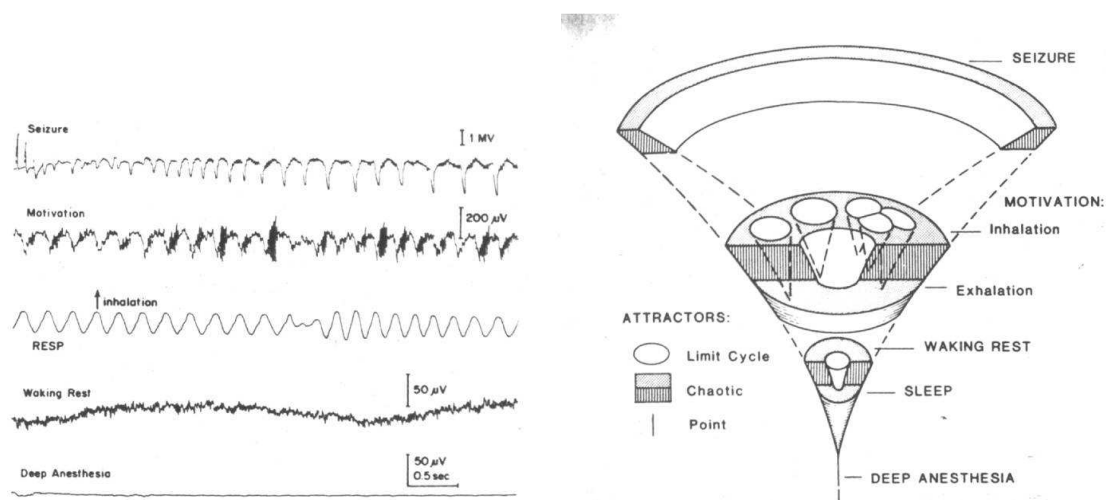


Abbildung 8.8: \*

**Links** sind die verschiedenen Aktivitätszustände der Neuronen im *bulbus olfactorius* zu sehen unter verschiedenen Bedingungen. Von unten nach oben: Narkose; ruhender Wachzustand; Motivation, einatmend und ausatmend; Epelepsie. **Rechts** der Versuch einer Skizzierung der dynamischen Prozesse im olfaktorischen System. In der Ebene sind jeweils die Aktivitätszustände excitatorischer und inhibitorischer Neuronen abgebildet. Die vertikale Ebene repräsentiert den Bifurkationsparameter, der sich anhängig vom Input der Rezeptoren und dem allgemeinen Erregungszustand ergibt. Unter Narkose ist zu erkennen, dass das System auf einen Punktattraktor zuläuft. Die grauen Gebiete repräsentieren einen chaotischen Attraktor. Dabei ist zu erkennen, dass das System einen bestimmten Bereich des Zustandsraumes nicht verläßt und ihn nicht vollständig ausfüllt, wie es bei einem sich zufällig verhaltenden System zu erwarten wäre. Weiter oben sind die Grenzzyklen zu erkennen, die sich ausbilden, wenn das EEG der Neuronen einer geordneten Schwingungsperiodizität unterliegt (SKARDA & FREEMAN, 1987, S.163-165).

werden, das durch ein nichtlineares System mit 4-6 Variablen hervorgebracht wird.

## Das EKP

Die ereigniskorrelierten Potentiale wurden bisher als wesentlich bedeutungshafter angesehen als das EEG für die Bestimmung von bedeutungshaften Hirnprozessen.

### Was ist das EKP?

Die ein bestimmtes psychologisches Ereignis (z.B. ein sensorischer Stimulus) begleitenden EEG-Wellen, werden ereigniskorreliertes Potential, bzw. EKP genannt und entstehen durch eine Folge von aufeinanderfolgenden Aktivierungsprozessen, die auf der Kopfhaut als unterscheidbare Positiv-Negativ-Änderungen registriert werden. Sie können entweder mit einem externen Reiz in Zusammenhang gebracht werden (z.B. einem Knall) oder mit gehirnternen, endogen Prozessen korreliert werden (z.B. beim Lernen) (KÜPPERS, 1996, S.309 ff).

### Wie entsteht es bzw. wie wird es gemessen?

Das EKP ist in der laufenden EEG-Aktivität verborgen. Da die für das EKP maßgebenden Auslenkungen im Millivoltbereich liegen, ist es sehr schwierig, das Signal direkt aus dem Hintergrundrauschen des Rest-EEGs abzulesen. Es muss mit besonderen Verfahren herausgefiltert werden.

Eines dieser Verfahren stellt die Signalmittelung dar. Als Bsp. sei eine typische Vorgehensweise zur Ermittlung des evozierten Potentials vorgestellt. Das evozierte Potential ist ein spezielles EKP, das die Veränderung des EEG-Signals als Antwort auf einen bestimmten sensorischen Stimulus angibt. Dazu wird bei einem Probanden die Reaktion des EEGs z.B. auf ein Tonsignal registriert. Die Darbietung des Tonsignals wird bsplw. 1000 mal wiederholt. Dann ermittelt ein Computer den Millivolt-Wert jeder einzelnen der 1000 Kurven an ihrem Startpunkt (d.h. kurz nach Darbietung des Tonsignals) und berechnet den Mittelwert der 1000 Daten. Anschließend wird dieses Verfahren wiederholt für einen späteren Zeitpunkt in den 1000 EEG-Kurven (z.B. 2 ms nach Stimulusdarbietung, danach 3 ms nach Stimulus usw.). Somit erhält man eine gemittelte Kurve, die die mittlere Antwort auf den Stimulus angibt, denn das statistisch zufällige Hintergrund-EEG fällt durch die Mittelung heraus. Negative Auslenkungen sind dabei in der bildlichen Darstellung konventionell nach oben gerichtet und werden mit N, positive mit P bezeichnet, wobei der Signalbeginn in Millisekunden hinzugefügt wird (PINEL, 1997, S.114 ff).

### Bedeutung des P300

Im Gegensatz zu den früh auftretenden Ausschlägen auf externe Reize, sind die Auslenkungen, die auf endogene und damit komplexere kognitive Leistungen zurückzuführen sind, weitestgehend unabhängig von der physikalischen Reizstruktur und treten wesentlich später auf (meist erst nach den ersten 100 Millisekunden). Sie werden vom psychisch-mental-

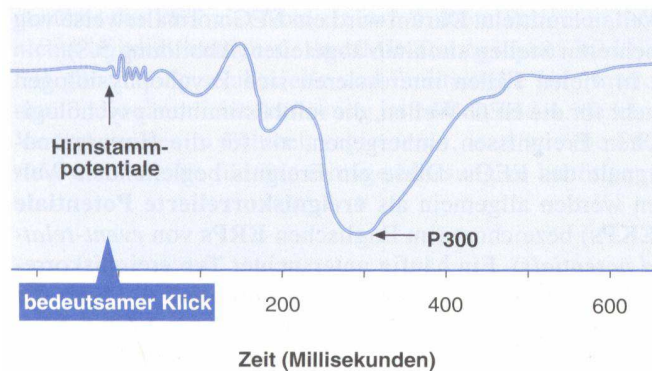


Abbildung 8.9: \*

Darstellung der P300 Aktivität. Hier tritt sie deshalb auf, da der Hörreiz bedeutungsvoll ist. Der Klickton kündigt eine Belohnung in unmittelbarer Zukunft an (PINEL, 1997, S.116).

Zustand bestimmt in dem sich der Proband befindet, d.h. welches Vorwissen, welche Erwartungen er hat und für wie komplex und bedeutsam er die gestellte Aufgabe einschätzt.

In einem deutlichen Zusammenhang zu kognitiven Prozessen stehen EKP-Komponenten mit einer positiven Amplitude, die zwischen 250 und 500 Millisekunden nach dem auslösenden Ereignis auftreten, wodurch sie Gegenstand verstärkter wissenschaftlicher Untersuchungen wurden. Man nennt diese Potentiale die Familie der P 300 Antworten. Sie werden inzwischen als Indikatoren des Bedeutungsgehaltes eines sensorischen Ereignisses aufgrund einer Bewertung in einem gegebenen Kontext angesehen und damit als Repräsentant kognitiver Leistung im Gehirn.

Mit Hilfe des sogenannten Odd-Paradigmas lassen sich solche kognitiven Anteile des EKPs untersuchen. Hierzu wird ein Proband zwei leicht unterschiedlichen sensorischen Reizen (z.B. ein Ton oder ein Lichtblitz) ausgesetzt, die in zufälligen Abständen angeboten werden, wobei der eine Reiz seltener angeboten wird als der andere (bspw. nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 20%). Diesen selteneren Reiz hat die Versuchsperson zu registrieren, weshalb man hierbei auch vom Zielreiz (Target) spricht. Während der Reizdarbietung wird das EEG registriert, das im Anschluss an das Experiment für den häufigen und den seltenen Reiz getrennt analysiert wird. Es zeigt sich, dass die P 300 Antwort nur bei dem seltenen Reiz auftritt und zwar dann, wenn sich die Versuchsperson auf ihn konzentriert hat (KÜPPERS, 1996, S.309 ff).

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die P300 Antwort zu interpretieren. Beim eben vorgestellten Experiment sind Basar und Roth der Auffassung, dass innerhalb der Tätigkeit des Arbeitsgedächtnisses die geordnete Aktivität unmittelbar vor Auftritt des aktuellen Reizes als eine „Gedächtnis-Schablone“ genutzt wird, mit der ankommende Reize verglichen werden. Bei einem unerwarteten Ereignis tritt das P300 Muster auf. Bei der

Entsprechung des Reizes mit der Vorerfahrung geht die P300 Welle in ein P200 Muster über, d.h. es kommt zu einer Synchronisation der aktuellen Aktivität mit der Vorreizaktivität.

Andere Autoren wiederum sind dabei einer abweichenden Auffassung. Alles in allem können jedoch folgende Interpretationen der P300 Antwort als allgemeingültig festgehalten werden: 1. Unsicherheit hinsichtlich der Lösung eines Problems.

2. Aufgabenbezogene Überraschung.

3. Abschätzung der Bedeutung eines Ereignisses bei schwieriger Entscheidung.

4. Subjektive Sicherheit, mit der ein Beobachter das Auftreten eines Zielreizes erkannt hat.

5. Anpassung kognitiver Strategien an zukünftige Aufgaben (KÜPPERS, 1996, S.313-314).

## Das Verhältnis von EEG und EKPs bei kognitiven Leistungen

In der bereits vorgestellten wissenschaftlichen Diskussion darüber, ob das EEG lediglich als Hintergrundrauschen zu verstehen ist oder auf kognitive Leistungen schließen lässt, haben die Autoren weitere Untersuchungen angestellt, die als Indizien für weitere Auffassung dienen können.

In einer Untersuchung von Basar und Mitarbeitern stellten sie fest, dass sich das EKP aus den selben Komponenten zusammensetzt wie das EEG. Die verschiedenen Amplituden- und Frequenzkomponenten der EKPs entstehen durch Kombination bzw. Überlagerung oszillatorischer Prozesse in unterschiedlichen Frequenzbereichen des EEG.

Ebenfalls in diesem Zusammenhang wurde eine weitere Hypothese aufgestellt, die besagt, dass bestimmte Gehirnbereiche Spontanaktivitäten bestimmter Frequenzen erzeugen. Hier sind Aufnahme- und Verarbeitungsfähigkeiten für Reize dann am größten, wenn die Reize das selbe Frequenzspektrum haben, wie die Spontanaktivität, der für sie zuständigen Hirnbereiche. In diesem Fall entspräche das EKP einer Zustandsänderung des für es zuständigen Neuronennetzes, welche durch eine Frequenzstabilisierung und Verstärkung der Spontanaktivität in Folge eines Reizes zustande käme.

Diese Anschauung stimmt mit der anderer Hirnforscher überein. So behaupten W. Freeman, W. Singer und R. Eckhorn, dass kognitive Leistungen zumindest zum Teil auf Resonanzphänomenen zwischen Neuronenpopulationen oder ganzen Hirnbereichen beruhen, insbesondere im Hinblick auf das sogenannte Bindungsproblem. Es wurde beobachtet, dass die verschiedenen Merkmale eines Objektes oder eines Prozesses, welche wir als Einheit wahrnehmen, in räumlich getrennten Bereichen des Gehirns verarbeitet werden, d.h. es existiert kein Zentrum entsteht, dessen Aktivität die Einheit der Wahrnehmung repräsentiert. So entstand die Hypothese, dass die subjektive Wahrnehmung der Einheit nicht durch ein spezialisiertes Zentrum, sondern auf kurzfristigen Kooperationsprozessen zwischen Zellpopulationen beruht.

Zur Veranschaulichung des Bindungsproblems stelle man sich ein vor einem Hintergrund bewegendes Objekt vor. Die Punkte des Objektes haben dabei hinsichtlich diverser Merkmale (z.B. Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Form, Farbe) ein gemeinsames raum-



zeitliches Schicksal. Dieses gemeinsame Schicksal kann jedoch nur dadurch repräsentiert werden, dass Nervenzellen in denjenigen räumlich getrennten Hirnzentren, die für die Verarbeitung der jeweiligen Eigenschaft zuständig sind, durch synchrone Oszillation oder durch das „überzufällige“ zeitliche Zusammentreffen einzelner Aktionspotentiale ein klares raumzeitliches Muster bilden.

Synchrone Oszillationen im Gamma-Bereich (35-90Hz) gelang es R.Eckhorn und W. Singer in einer Untersuchung an visuellen Cortexarealen von Katzen und Affen nachzuweisen (KÜPPERS, 1996, S.314 ff).

Basar und Roth deuten diese Prozesse dahin, dass beim Auftreten synchroner Prozesse im Gehirn keine neuen Frequenzen erzeugt werden, sondern dass die vorhandenen Frequenzkomponenten moduliert werden. Dabei bildet eine relativ kleine Anzahl von Kanälen die kombinatorische Basis für eine große Menge an Reaktionsmöglichkeiten im Bereich kognitiver Leistungen (siehe auch 4.5).

## Das EEG als „dynamisches Gedächtnis“

Folgender Befund spricht sowohl dafür, dass die Alpha-Aktivität des EEGs als quasi-deterministisches Signal angesehen werden kann, als auch dafür, dass die Alpha-Aktivität als Funktionskorrelat für kognitive Leistungen des Gehirns angesehen werden kann und nicht nur als reines Rauschsignal. Da sich bei dieser Untersuchung Lernvorgänge und Kurzzeitgedächtnis auf spezifische, wiederholbare EEG-Wellenmuster abbilden, kann man hier vom EEG als „dynamisches Gedächtnis“ sprechen.

Der Befund: Die Versuchspersonen befinden sich in einem schallisolierten Raum und bekommen visuelle Reize angeboten im Abstand von 2,5 sec., wobei jeder 4. Reiz ausgelassen wird, was sie mental registrieren sollen. Das EEG wird vor und nach dem Zielreiz aufgenommen. Bereits nach 10 Reizungen haben sie die Versuchspersonen mit dem Auslassungsschema vertraut gemacht. Dabei bilden sich beim EEG regelmäßige 10-Hz-Muster aus. Ändert man das Experiment dahin ab, dass jeder 3. und 7. Reiz zufällig ausgelassen wird, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Zielreizes also nur bei 20 % liegt, so treten die besagten 10-Hz-Muster nicht auf (KÜPPERS, S.317ff).

## Kommunikation im Gehirn durch Passletters und Passwords

Die dargestellten Befunde über synchrone Oszillationen von Neuronenpopulationen als Lösung des Bindungsproblems und viele andere Forschungsergebnisse, ermöglichen es Basar und Roth ein Modell für die Kommunikation von Neuronen aufzustellen. Von Arealen der Großhirnrinde und Gebiete der formatio reticularis weiss man, dass sie in der Lage sind, in Eigenfrequenzen zu oszillieren und über diese Frequenzen (z.B im 10 Hz Bereich) nach dem Resonanzprinzip zu kommunizieren zur Optimierung der Signalübertragung.

Den EEG Frequenzen wird in diesem Modell eine funktionale Bedeutung zugeschrieben. Neuronale Generatoren sollen nach der Modellvorstellung der Autoren überall im Gehirn verteilt sein, die in der Lage sind, selbständig Alpha, Beta, Theta und Gamma Wellen zu erzeugen. Mittels dem Frequenzbereich dieser Wellen und einer gewissen Anzahl von Generatoren (d.h. ähnlich organisierter neuronaler Netze) ist es Neuronenverbänden unter-

einander möglich durch Kombination von Einzelementen (Passwords), die zu komplexen Mustern ausgearbeitet werden (Passletters), welche dann weitergeleitet werden können, zu kommunizieren. Diese Passletters könnte man nach diesem Modell durchaus als „Atome des Denkens“ bezeichnen (KÜPPERS, 1996, S.319-321).

## Diskussion

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass psychologische Befunde häufiger Kritik unterliegen: Kritik an der Messmethode, Kritik an der Auswahl der Versuchspersonen, Kritik an der Datenauswertung etc.. Auch der Vorwurf des passenden Zuschneidens von Messergebnissen wird öfter laut.

So bspw. auch zu vermuten beim Befund von Skarda & Freeman. Messwerte, die aus der Reihe fallen, werden nicht berücksichtigt, mit der Begründung, das in diesem Fall die Elektroden nicht richtig angebracht waren. Zudem werden die gewonnen Daten von einem Hasen (bei der Untersuchung an insgesamt nur 5 Hasen) nicht berücksichtigt, da dieser Hase es wohl nicht schaffte, die konditionierten Gerüche richtig zu unterscheiden (SKARDA & FREEMAN, 1987, S.164).

Zumal weichen die Zielvorstellungen, die an einen Befund gestellt werden, häufig von der Realität der Ergebnisse ab. Somit sind Rückschlüsse von der Funktionsweise des Riechorgans bei Hasen auf die Funktionsweise des menschlichen Gehirns nur in einem geringen Maß möglich.

Trotzdem sind wir der Meinung, dass die vielen von uns dargelegten Untersuchungen der Autoren und der von ihnen erwähnten Kollegen (besonders Walter J. Freeman) für die Annahme sprechen, dass der Neuronenaktivität chaotische Eigenschaften zu Grunde liegen.

Die Ergebnisse der dargestellten Untersuchungen sprechen für den Modellversuch von Basar und Roth, Kommunikation zwischen den Neuronen durch synchrone Oszillationen mittels neuronaler Generatoren zu beschreiben. Die Entdeckung solcher Generatoren, die im Gehirn weiträumig verteilt sein müssen, und den Nachweis, dass diese die gesamte Kommunikation im Gehirn und somit unser gesamtes Denken und Handeln bestimmen sollen, bleiben uns die Autoren allerdings schuldig. Die Hoffnung zu verbesserten Einsichten bei der enormen Anzahl von Neuronen und der Komplexität ihres Zusammenspiels liegt hierbei auch auf zukünftigen verbesserten Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung. Letztendlich bleibt nach unserer Ansicht die Frage nach der Sprache unseres Gehirns noch nicht vollständig beantwortet.

## Literatur

KÜPPERS, Günter (1996): Chaos und Ordnung - Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft

PINEL, John P.J. (1997): Biopsychologie - Eine Einführung

SKARDA, Christine A. & FREEMAN, Walter J. (1987): How brains make chaos in order to make sense of the world; erschienen in: Behavioral and Brain Sciences, Ausgabe 10/1987, S.161-195

SPITZER, Manfred (2000): Geist im Netz - Modelle für Lernen, Denken und Handeln

ZIMBARDO, Philip G. (1988): Psychologie

## **Anhang**

SKARDA, Christine A. & FREEMAN, Walter J. (1987): How brains make chaos in order to make sense of the world; erschienen in: Behavioral and Brain Sciences, Ausgabe 10/1987, S.161-195



## 9. Erleben und Verhalten in der Polarität von Chaos und Ordnung

nach Michael Stadler, Peter Kruse und Hans Otto Carmesin

Anita Körner

7. Juli 2004

### Funktionsweise der Wahrnehmung

Wahrnehmung beginnt mit einem Reiz, der mit einem der Sinnessysteme wahrgenommen wird. Z.B. erregt physikalische Energie in Form von Wellen aus einem bestimmten Frequenzbereich die Rezeptoren der Retina. Durch Reizung oder Deformation der freien Nervenendigungen in der Haut kommt es je nach Intensität zum Druck- oder Schmerzempfinden.

Aus den empfundenen Reizen versucht die Wahrnehmung Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des zugrunde liegenden Ereignisses zu machen. Die Rolle der Wahrnehmung besteht also darin, den Empfindungen Sinn zu verleihen, wobei sich der Energieinput ständig ändert und die Interpretationen in der Regel stabil und geordnet sind. Ein Beleg hierfür ist die Objektkonstanz in der visuellen Wahrnehmung: Trotz unterschiedlicher Blickwinkel (und damit entsprechend unterschiedlichen Größen und Proportionen auf der Netzhaut), unterschiedlicher Beleuchtung und anderer Faktoren können wir trotzdem erkennen, dass wir einen bekannten Gegenstand wahrnehmen. Funktional lässt sich Wahrnehmung also definieren als Gesamtprozess des „Erfahrbarmachen“ von Gegenständen und Ereignissen. Dieser Prozess besteht aus drei Teilprozessen: *Empfinden*, *Organisieren* und *Identifizieren und Einordnen*, die am Beispiel der visuellen Wahrnehmung erklärt werden sollen.

*Empfinden* ist ein rein physiologischer Vorgang. Die photochemische Reizung der Rezeptoren wird in neuronale Erregung umkodiert und zum Gehirn weitergeleitet.

Das *Organisieren* findet im Gehirn statt. Ein Perzept, eine innere Repräsentation des Objektes wird gebildet. Dafür muss zuerst abgeschätzt werden welche der wahrgenommenen Details zu einem bestimmten Objekt gehören und welche zu einem anderen. Außerdem müssen Form, Größe, Entfernung und Bewegung abgeschätzt werden; Fehler werden ausgeglichen und Lücken in den Perzepten geschlossen. Diese Prozesse laufen alle sehr schnell und ohne Beteiligung des Bewusstseins ab. Mit Wahrnehmungsorganisation befasst sich das nächste Kapitel noch eingehender.

Der Prozess *Identifizieren und Einordnen* ordnet dem Perzept Bedeutung zu. Etwas rundes, schimmerndes wird z.B. zur Münze. Dieser Prozess ist derjenige, der am meisten von höheren kognitiven Prozessen beeinflusst wird, so z.B. vom Gedächtnis und dessen Inhalten, Erwartungen, Überzeugungen und Wertvorstellungen (nach [3]).

### Wahrnehmungspsychologische Wurzel: Gestaltpsychologie

Millionen von unabhängigen Rezeptoren liefern unterschiedliche Informationen, jedes Neuron ein Mosaikstückchen. Die Rolle der Wahrnehmungsorganisation ist nun diese Infor-

mationen zu ordnen und zu sinnvollen Perzepten zusammen zu fassen.

Anfang des 20. Jahrhunderts ist die Gestaltpsychologie entstanden, eine wahrnehmungspsychologische Schule, die herausfinden wollte, nach welchen Gesetzen die Wahrnehmung organisiert wird. Die Grundthese ist, dass Wahrnehmung durch den Gesamtzusammenhang bestimmt wird und Zerlegung in immer kleinere Teilprozesse nur bedingt hilft den Gesamtprozess zu verstehen (also nach Aristoteles: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“). Die Bestandteile des Ganzen beeinflussen einander gegenseitig. Veränderungen eines Teils einer Einheit führen daher zu Veränderungen des Ganzen. Damit wollten die frühen Gestaltpsychologen bewusst eine Gegenbewegung zur Elementenpsychologie und zur Assoziationspsychologie anstoßen.

Außerdem geht die Gestaltpsychologie davon aus, dass es in der Wahrnehmung eine Tendenz zur Strukturierung gibt, alles wird in sog. Gestalten organisiert<sup>74</sup>. Gesucht wurden Gesetze, nach welchen die Gestaltbildung erfolgt, also wie entschieden wird, welche der Mosaikstückchen zusammengehören und wie diese dann gruppiert werden.

Das *Prägnanzprinzip* oder *Prinzip der guten Gestalt* besagt, dass Reize so wahrgenommen werden, als wären sie nach möglichst einfachen Organisationsprinzipien aufgebaut. Prägnante Darstellungen werden leichter wahrgenommen und schwerer von Umgebungsreizen beeinträchtigt. Besonders prägnant sind Kreise, Quadrate, gleichseitige Dreiecke. Wichtige Kriterien für die Prägnanz sind Einfachheit, Symmetrie und Regelmäßigkeit. Bei kurzfristiger Darbietung und im Gedächtnis tendieren unvollkommene („schlechte“) Gestalten zu „guten“ (vgl. Kapitel 9.).

Zur Konkretisierung des Prägnanzprinzips hat die Gestaltpsychologie *Gestaltgesetze* formuliert. Die Zahl der Gestaltgesetze schwankt je nach Literaturquelle zwischen sieben und 114, sodass ich hier nur eine kleine Auswahl vorstellen kann.

*Figur-Grund-Differenzierung*: Gestalten heben sich als „Figuren“ von einem undifferenzierten „Grund“ ab. Je prägnanter und je bedeutungsvoller eine Gestalt ist, desto größer ist ihre Chance, als Figur hervorzutreten. Zur Illustration s. Abb. 9.1.

*Gesetz der Geschlossenheit*: Nicht vorhandene Teile eines Reizes werden in der Wahrnehmung ergänzt, unvollständige Figuren als zusammengehörend wahrgenommen, was wiederum mithilfe Abb.9.1 nachvollzogen werden kann.



Abbildung 9.1: Die Wahrnehmung interpretiert die mehrfach geknickte Linie (mit den zwei kleinen Kreisen) als Mann und Hund

<sup>74</sup>nach Ehrenfels ist die Gestalt ein „über dem Komplex schwebendes Etwas“

*Gesetz der Nähe:* Bei gruppierten Elementen werden diejenigen Teile eines Reizes mit dem kleinsten Abstand als zusammengehörig wahrgenommen (vgl. Abbildung 9.2 b) und c)).  
*Gesetz der Ähnlichkeit:* Einander ähnliche Gestalten (z.B. mit gleicher Form oder Farbe) werden zusammengefasst (vgl. Abbildung 9.2 c), d) und e)).

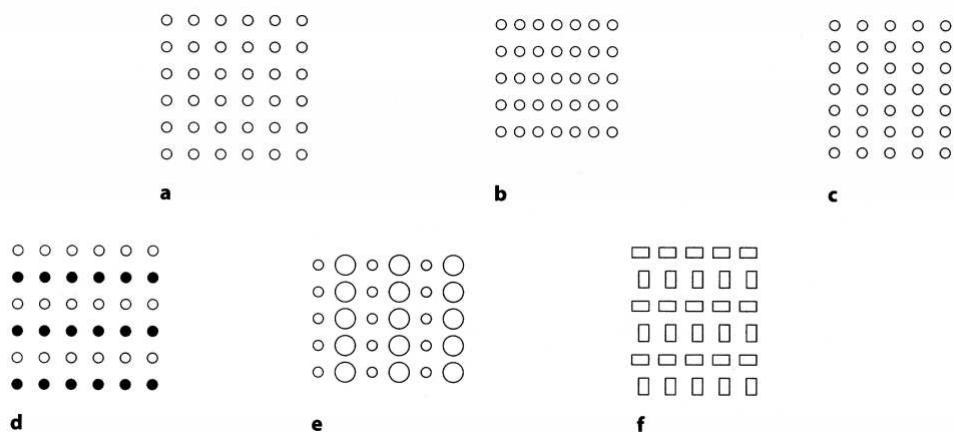


Abbildung 9.2: a) Neutraler Reiz, b) und c) Gruppierung nach Nähe, d), e) und f) Gruppierung nach Ähnlichkeit

*Gesetz der Symmetrie:* Symmetrische Elemente werden als zusammengehörig erlebt.

*Gesetz des gemeinsamen Schicksals:* Gegenstände, die ein gemeinsames Schicksal teilen, (sich z.B. zur gleichen Zeit in die gleiche Richtung bewegen) fasst die Wahrnehmung zusammen.

Schwieriger wird es, eine Aussage über die Wahrnehmung zu treffen, falls mehrere Gestaltgesetze anwendbar sind, diese aber unterschiedliche, sich gegenseitig widersprechende Aussagen machen. Teilweise macht die Gestaltpsychologie aber auch darüber Aussagen (allerdings nur im direkten Vergleich zweier Gesetze, für alles weitere wäre irgendeine sinnvolle Quantifizierung nötig) (nach [3]).

Die Gestaltpsychologie wird oft als eine der ersten systemtheoretischen oder selbstorganisatorischen Ansätze in den Humanwissenschaften bezeichnet (vgl. z.B. [5]). Zum einen ist die Gestaltpsychologie ein ganzheitlicher Ansatz, der davon ausgeht, dass auf den verschiedenen Systemebenen Verhalten emergieren kann, das nicht allein durch das Verhalten der Subsysteme auf der untersten Stufe erklärbar ist. Außerdem bezieht sie, analog zur Systemtheorie, die Möglichkeiten komplexer Interaktionen in Betracht; Interaktionen in verschiedenen Bereichen können vielschichtig und dynamisch sein. Damit ist das Weltbild der Gestaltpsychologen nicht mechanistisch-monokausal, wie in der Wissenschaft damals noch ohne Zweifel vorausgesetzt wurde, sondern es erkannte differenzierte Ursache-Wirkungs-Geflechte an.

Zusätzlich spielt auch Selbstorganisation in der Gestaltpsychologie schon eine Rolle, Köhler hatte nämlich die Vorstellung, dass „organisches Geschehen und natürliches Geschehen überhaupt wenn es in dynamischen Wechselbeziehungen abläuft, auch ohne äußere Zwangsvorrichtungen geordnet abläuft“ (Wolfgang Köhler, zitiert nach [5, S. 138]).

Schließlich gibt es auch auffällige Parallelen zwischen den Begriffen „Gestalt“ und „Attraktor“: Beide Begriffe beschreiben Zustände, deren Struktur verhältnismäßig einfach im Sinne von wenig komplex ist. Außerdem sind beide stabil gegenüber Störungen (nach [5]).

## Das Verhältnis zwischen Wahrnehmung und Realität

Die Gestaltgesetze im letzten Kapitel stellen Regeln dar, die nach Meinung der Gestaltpsychologie erklären, wie die Wahrnehmung den Input an Informationen verarbeitet. Dabei wurde auch deutlich, dass die Wahrnehmung für Gestaltpsychologen keine reine Abbildung der Welt ist. Die Gegenthese vertritt die sog. ökologische Optik.

### Die ökologische Optik

Die Umwelt des Menschen ist so geordnet, wie er sie wahrnimmt, meint die Theorie der ökologischen Optik von James J. Gibson (in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts). Konkret meint die Theorie, dass man Wahrnehmung am besten verstehen kann, wenn man die unmittelbar vorfindbare Umwelt (den ökologischen Kontext) versteht, ohne Rücksicht auf die Eigenaktivität des Wahrnehmungsapparates zu nehmen. In der Wahrnehmung werden laut Gibson direkt Informationen über die invarianten Eigenschaften der Umwelt aufgenommen (nach [3]). Die Theorie kommt völlig ohne höhere Systeme z.B. für Schlussfolgerungen aus. Die Betrachtung jedweder kognitiven Aktivität ist damit überflüssig. „Im Endeffekt befasst sich die Theorie der ökologischen Optik mehr mit den Reizen, die wir wahrnehmen als mit den Mechanismen aufgrund deren wir wahrnehmen“ ([3, S. 113]).

### Die Position der Selbstorganisation

Die Selbstorganisation sieht sich, wie im letzten Kapitel näher ausgeführt, in der Tradition der Gestaltpsychologie, und hält Wahrnehmung für einen selbstorganisierten Prozess. In der Welt herrscht nicht - zumindest nicht immer - Ordnung, trotzdem nimmt der Mensch seine Umwelt in den allermeisten Fällen als geordnet wahr. Dafür zitiert J. Kriz [5, S. 135] eine Vielzahl empirischer Belege, die teilweise sogar den Gestaltpsychologen schon bekannt waren. Als kleine Illustration kann Abbildung 9.3 dienen. Schon nach kurzer Betrachtung des Musters meint man eine Gestalt zu erkennen, vorzugsweise einen Dalmatiner, der mit dem Kopf zur Erde geneigt mitten im Bild steht. Der kognitive Apparat scheint also zu versuchen, in jedem Input Ordnung zu erkennen. Es ist also nicht der Reiz der entscheidet, ob und welche ordnende Interpretation eines nicht eindeutigen Reizes wahrgenommen wird.

Für diese Ansicht sprechen auch die Erfahrungen, die man mit Kippfiguren machen kann. Kippfiguren sind visuelle Reize, die zwei Interpretationen zulassen, welche nicht gleichzeitig wahrgenommen werden können, weil manche Teile des Bildes je nach Gesamtinterpretation Unterschiedliches darstellen (vgl. Abbildung 9.4). Die Wahrnehmung kann von einer Interpretation plötzlich in die Andere umschlagen, weshalb Kippfiguren als bistabile Muster interpretiert werden.





Abbildung 9.3: Zufällig verteilte schwarze Punkte oder Dalmatiner?

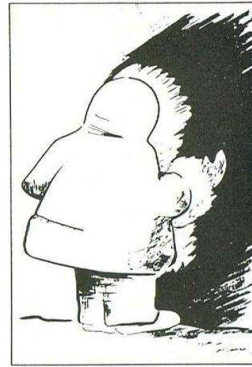


Abbildung 9.4: Kippfigur: Eskimo oder Indianerkopf

Im Gegensatz zur Theorie der ökologischen Optik sieht die systemische Psychologie nicht nur die Eigenschaften des Reizes sondern auch dessen kontextabhängige Konfiguration und Attribute des Organismus und deren Interaktionen als Quelle der Wahrnehmung. Je eindeutiger und gestalthafter ein Reiz ist, umso einheitlicher wird er auch von unterschiedlichen Menschen in unterschiedlichen Situationen wahrgenommen. Bei zunehmend multistabilen oder gar chaotischen Reizen nimmt auch der Einfluss des kognitiven Apparates des Individuums zu. Wahrnehmung ist also ein aktiv-konstruktiver Prozess. Bei ungeordnetem Input ist es sogar so, dass das kognitive System dazu neigt Ordnung zu bilden, wir nehmen Reize also meist geordneter wahr als sie sind. Dafür gibt das nächste Kapitel Belege.

## Ordnungsbildung im Gedächtnis

Für die spontane Bildung stabiler Zustände in kognitiven Systemen gibt es einige Beispiele (vgl. [1, S. 325 ff.], [5, S.135]).

Ich möchte hier einen klassischen Versuch zum Thema Ordnungsbildung im Gedächtnis vorstellen, das sog. Barlett-Szenario. Das Besondere an diesem Versuch ist die Aufteilung des Ordnungsbildungsprozesses in Schritte. Damit wird ein eigentlich intrapsychischer Prozess externalisiert.

Zu Beginn des Versuches wird der Versuchsperson auf einem 8\*8-Felder umfassenden Spielbrett eine Zufallsverteilung von schwarzen Spielsteinen für fünf Sekunden dargeboten. Direkt im Anschluss erhalten sie ein Spielbrett und werden gebeten, die gesehene Konstellation von Spielsteinen aus dem Gedächtnis nachzulegen. Das Brett, auf dem die erste Versuchsperson versucht hat die Ursprungskonstellation nachzulegen, wird der nächsten Versuchsperson für fünf Sekunden als Vorlage gezeigt, die sie dann im Anschluss wiedergeben soll. Mit den folgenden Versuchspersonen wird analog verfahren. Im Laufe des Reproduktionsprozesses werden die Muster immer geordneter. Eine Versuchsreihe wird beendet, sobald drei aufeinanderfolgende Versuchspersonen die gleiche Konstellation legen (vgl. Abbildung 9.5). Dieses stabile Endresultat wird als stabiler Attraktor in einer kognitiven Potentiallandschaft interpretiert.

Das Ergebnis ist, dass zu jeder Startkonfiguration ein stabiler Endzustand erreicht wird. Der charakteristische Verlauf einer Versuchsreihe beginnt damit, dass die ersten Versuchs-

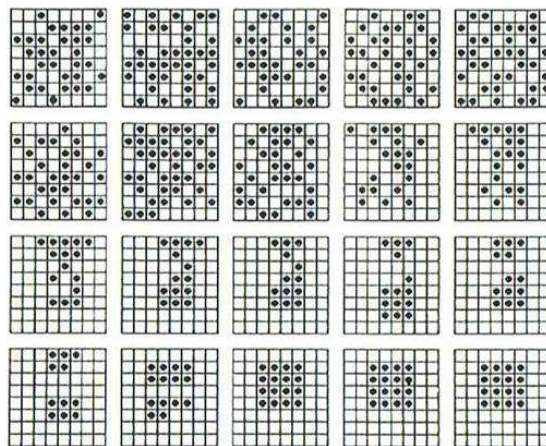


Abbildung 9.5: Eine Versuchsreihe für das Barlettszenario

personen eine Verteilung legen, die sich stark von der ihnen vorgegebenen unterscheidet. Mit zunehmender Ordnung nimmt die Veränderung des Musters aber immer mehr ab, bis die Vorlage dann perfekt reproduziert wird. Welcher konkrete Zustand am Ende steht, lässt sich aber nicht vorhersagen, auch gleiche Ausgangsbedingungen können in komplett verschiedenen Endzuständen enden.

Der Versuch wird als Beleg gesehen, dass sich im Gedächtnis ohne äußere Einflüsse stabile Ordnungsstrukturen bilden aus einem instabilen Anfangszustand auf dem Spielbrett, wobei Ordnung mit Hilfe der Gestaltgesetze definiert ist (nach [1], [4]).

Ein sehr ähnlicher Versuch von Chase & Simon zeigt allerdings, dass die Antwort auf die Frage, was der Mensch als geordnet wahrnimmt, doch etwas komplexer ist: Der Versuchsaufbau ist ähnlich dem Barlett-Versuch. Hier sollen sich die Versuchspersonen allerdings eine Konfiguration von Schachfiguren auch einem Schachbrett einprägen, wobei die Verteilung der Spielfiguren nicht zufällig ist, sondern einer real möglichen Spielkonstellation entspricht. Nach einer Betrachtungszeit von fünf Sekunden können Menschen, die keine Ahnung vom Schachspielen haben ca. fünf Figuren richtig zuordnen. Geübte Schachspieler können unter gleichen Bedingungen je nach Können bis zu 20 Figuren richtig setzen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass für Schachspieler die Brettkonstellation geordneter war und sie sich in Folge dessen mehr merken konnten.

Zeigt man der Versuchsperson aber eine zufällige Verteilung von Schachfiguren, so unterscheiden sich geübte Spieler und Laien nicht in der Anzahl der richtig gesetzten Figuren. Dieses Ergebnis schließt die Möglichkeit aus, dass Schachspieler nur besser abschneiden, weil sie aufgrund von Training ein besseres Gedächtnis für Schachfiguren auf Schachbrettern haben.

Für die Gruppe der Ungeübten unterscheiden sich die beiden Situationen nicht. Reale und zufällige Verteilungen sind gleich ungeordnet für sie. Bei Schachspielern hingegen unterscheidet sich der Ordnungsgrad erheblich, was sich in den besseren Leistungen bei realen, für sie geordneten Spielsituationen niederschlägt (nach [6]).

Dieser Versuch stützt also die These, dass der Mensch sich Dinge mit hohem Ordnungsgrad besser merken kann, als wenig Geordnete. Er korrigiert aber das Verständnis von „Ordnung“ dahingehend, dass Ordnung nicht notwendiger Weise mit Einfachheit, Re-

Regelmäßigkeit und Symmetrie zu erklären ist, sondern subjektiv unterschiedlich definiert werden muss.

Das generelle Resultat des Barlett-Versuchs ist, dass nicht nur geordnete Konfigurationen besser erinnert werden, sondern auch wenig geordnete Inhalte als geordneter im Gedächtnis behalten werden.

Es kommt also zur Ordnungsbildung in diesem kognitiven System nach weniger geordnetem Input.

## Folgen von Stabilität in kognitiven Systemen

In kognitiven Systemen gibt es also eine Tendenz stabile Zustände anzulaufen. Bei der Entdeckung von Regelmäßigkeiten in der Welt, wird der Gesamtprozess reduziert, zeitlich zerlegt und die so erhaltenen Stücke werden in äquivalente Klassen eingeteilt. Wer für Objekte und Situationen bei der Wahrnehmung sofort einen schon ausgebildeten Attraktor anläuft, der weiß sofort wie er sich verhalten kann. Er erlebt seine Umwelt als stabil, was einen gewissen Grad an Vorhersagbarkeit und Verlässlichkeit zur Folge hat. Der Umgang mit der Welt gewinnt dadurch an Sicherheit.

J. Kriz macht in [5] plausibel, dass zur Reduzierung der für den Menschen offenbar sehr bedrohlichen Komplexität schon ab Geburt evolutionäre Programme greifen, um die Prozesse der erfahrbaren Welt nach Regelmäßigkeiten abzusuchen. Auch die Spaltung der Objektbeziehungen in „gut“ und „böse“ bei Borderline-Störungen interpretiert er als Reaktion des Organismus mit dem Ziel, der drohenden Strukturlosigkeit entgegenzuwirken. „Wir dürfen in den bereits skizzierten Mechanismen der Ordnungsbildung über Reduktion und Klassifikation also ein Notwendiges Programm sehen - Mechanismen, die die Not und die Angst wenden, die uns das Chaos in seiner ganzen Komplexität und Unvorhersehbarkeit bereitet“ (aus [5, S. 134]).

Daraus wird deutlich, dass der Mensch ein gewisses Maß an Ordnung und „Schubladendenken“ braucht um nicht in ständiger Angst zu leben. Aber eine allzu starre und reduzierte Sicht auf die Welt hat auch Nachteile: Durch schnelle Kategorisierungen werden subtile Unterschiede ignoriert und oft gar nicht wahrgenommen. Die Vielfalt des menschlichen Lebens wird beschränkt, außerdem wird die Einmaligkeit jeder Situation ignoriert. Damit einher geht auch ein Mangel an kognitiver Flexibilität. Das lässt sich bildlich mit Attraktoren in einer Potentiallandschaft verdeutlichen: Je ausgeprägter ein Attraktor ist, desto schwieriger ist der Wechsel in einen anderen Attraktor und desto größer ist meist auch der Bereich der Potentiallandschaft von dem aus der Attraktor angelaufen wird (wenige Schubladen bedeuten, dass sehr viele mehr oder weniger ähnliche Situationen gleich bewertet werden). Beim Problemlösen stehen also meist auch nur sehr wenige Lösungsansätze zur Verfügung, neue Ideen und weiter hergeholte Assoziationen sind selten.

Jürgen Kriz fasst die beiden Extrema, wie der Mensch der Welt begegnen kann, zusammen: „Je mehr wir uns auf die Einmaligkeit der Prozesse einlassen, desto weniger haben wir Kategorien zur Hand und können Prognosen aufgrund der Regelmäßigkeiten anstellen und desto eher sind wir damit der Angst vor Unberechenbarkeit und Kontrolllosigkeit ausgeliefert; desto weniger reduziert ist aber auch die Erfahrung, die nun eher die Wahrnehmung von Neuem, Überraschendem und Kreativem zulässt. Je mehr wir, auf der anderen Seite, (...) Regelmäßigkeiten erfinden, desto planbarer, prognostizierbarer und damit sicherer wird unsere Welterfahrung; doch desto starrer, langweiliger (...) erscheinen

uns die so behandelten Dinge“ ([5, S. 136]).

## Schizophrenie als Korrespondenzproblem neuronaler Netze

Das menschliche Gehirn ist ein komplexes System, das von Stadler, Kruse und Carmesin [1], [2] idealisiert als selbstorganisierendes, neuronales Netzwerk modelliert wird. Die Elemente sind Neuronen und Synapsen, die interagieren und sich gegenseitig verändern in Form von multilinearen Kopplungen. Bei den Neuronen gibt es außerdem Schwankungen in Form von spontanen Zustandsänderungen (Fluktuationen) und Bewertungen (im menschlichen Gehirn durch den Hippocampus).

Im sozialen Leben versucht der Mensch zur Korrespondenz mit den Nervensystemen anderer Menschen zu kommen, dazu werden z.B. verbal Hinweisergebnisse, sog. „cues“, ausgetauscht. Das Ziel einer solchen Interaktion sind stabile und viable (d.h. überlebensdienliche) Korrespondenzen, d.h. dass die Interpretationen hinreichend gut mit dem anderen Menschen oder der Umwelt übereinstimmen.

„Lernprozesse jeder Art sind gebunden an die Veränderbarkeit der synaptischen und neuronalen Dynamik. Jedes anpassungsfähige System verhält sich somit notwendig im Spannungsfeld der Stabilität bereits ausgebildeter Attraktorzustände und der Notwendigkeit einer grundsätzlichen Plastizität.“ [1, S. 340] Das dynamische Kopplungsmuster der Neuronen wird durch zwei Modellparameter charakterisiert, durch die Fluktuationsstärke und die Verfügbarkeit von Hinweisreizen. Ist die Fluktuation eines neuronalen Netzwerkes gleich null, bilden sich zwischen den Neuronen stabile Kopplungen aus, allerdings ist das System dann starr und wenig anpassungsfähig. Da das menschliche Nervensystem aber auf nicht-deterministische Interpretationen von Sinnesreizen angewiesen ist, sind Fluktuationen nötig. Schwache Kopplungen, die bei hoher Fluktuation auftreten bedeuten eine höhere Plastizität, die für jegliche Veränderung notwendig ist, aber auch vorhandene Strukturen gefährdet.

„Sind weder hinreichende cues noch Ausgangskorrespondenz vorhanden, kann das Netzwerk prinzipiell nur durch Fluktuationen zur Korrespondenz gelangen.“ [2, S. 175] Erhöhung der Fluktuation (und damit der Chaotizität) ist also eine sinnvolle kompensatorische Reaktion des Netzwerkes auf unzureichende cues und mangelnde Korrespondenz. Allerdings können bei Überschreitung einer kritischen Fluktuationsstärke bereits bestehende stabile Kopplungen zerstört werden. Falls dabei vorwiegend viable Kopplungen verloren gehen, gerät das Netzwerk in einen Teufelskreis von verschlechterten Ausgangsbedingungen und erneuter Notwendigkeit kompensatorischer Erhöhung der Fluktuationsstärke. Werden aber hauptsächlich nicht viable Kopplungen zerstört, so kann sich die Korrespondenz nach der „Überhitzung“ sogar verbessern. [2]

Als mögliche Ursachen für die Störung der Korrespondenz nennen die Autoren mehrere Gründe: z.B. uneindeutige Hinweisreize, zu schnelle Ereignisabfolge und Unterfunktion der internen Bewertungsinstanz; Die Reaktion des Systems auf diese Störungen ist immer die Erhöhung der Fluktuationsstärke zum Zweck der Exploration. Exploration erhöht die Chance, von einem nicht korrespondierenden in einen korrespondierenden, viablen Attraktor zu wechseln.

Für das Korrespondenzproblem gibt es vier verschiedene Phasen (Abbildung 9.6). Bei hoher Fluktuation gibt es nur schwache Kopplungen, die höchstens durch Zufall korre-

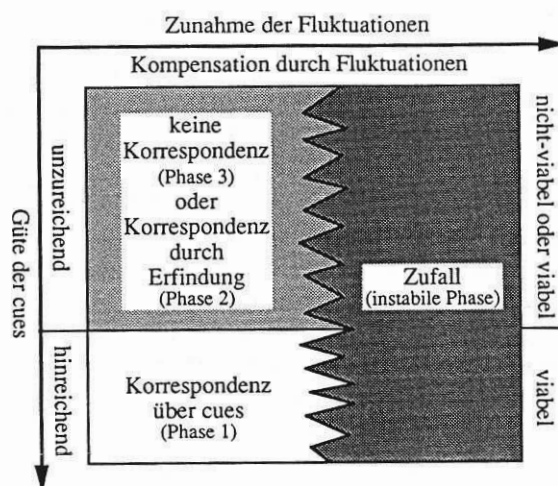


Abbildung 9.6: Phasendiagramm der Korrespondenz

spondieren und sehr instabil sind. Bei geringer Fluktuation sind drei stabile Phasen möglich. „Gesunde“ Nervensysteme befinden sich meist in der ersten Phase, wo es mit Hilfe guter cues zu unmittelbarer Korrespondenz kommt. Nur bei Konfrontation mit subjektiv Neuem (Reorganisation und konzeptuelles Neulernen) und bei erhöhtem Erregungsniveau (z.B. Flucht) tritt eine Steigerung der Fluktuationen bis in die instabile Phase auf. Die zweite Phase tritt z.B. als Einfühlungsvermögen in einen anderen Menschen in Erscheinung. Bei der gleichen Parameterkonstellation wie in Phase zwei, kann sich das System auch in Phase drei befinden, etwa bei Missverständnissen.

Das Nervensystem eines Schizophrenen erreicht die Phase eins nur selten, woran eine grundsätzlich unzureichende Verarbeitung der Hinweisreize liegt. Um trotzdem viable Korrespondenzen herzustellen, bleibt die Korrespondenzbildung durch Erfindung. Dafür ist eine erhöhte Fluktuation günstig (weil das ja den Attraktorwechsel begünstigt, s.o.), wobei es aber zur Überhitzung (in Form eines psychotischen Schubs) kommen kann, wo bereits gelernte Kopplungen zerfallen. Um die Überhitzung zu stoppen, muss die Fluktuationstärke abgesenkt werden. Nun können wieder korrespondierende und nicht korrespondierende Erfindungen gemacht werden. Bei korrespondierenden Erfindungen ist die Phase zwei, eine nichtpsychotische Phase erreicht. Bei nicht korrespondierenden Erfindungen (Phase drei) erfolgt entweder eine Änderung in der Bewertung (z.B. in ein paranoides Wahnsystem, was allerdings Korrespondenz verhindert) oder wieder eine Erhöhung der Fluktuation, was in den oben erwähnten Teufelskreis münden kann. Die Hypothese, die diesem Modell zugrunde liegt, besagt also, dass Schizophrenie eine kompensatorische Folge von Defiziten in der Korrespondenzbildung ist.

**Empirische Belege für einzelne Aspekte des soeben vorgestellten Netzwerkmodelles:** Angemessene emotionale Bewertung ist unerlässlich um viable Kopplungen zu bilden. „Unsinnige Rollenzuweisungen und ein allgemeines Klima überhöhter und involvierender Emotionen sind als Risikofaktoren der Schizophrenie nachgewiesen.“ [2, S.

182] In einer Untersuchung an 128 Schizophrenen wurde z.B. das Rückfallrisiko in den ersten neun Monaten nach Klinikentlassung in Abhängigkeit von Medikation und negativem emotionalem Klima beobachtet. Bei niedriger negativer Emotionalisierung lag die Rückfallquote mit Medikation 12% und ohne bei 15%. Bei einem Klima sehr negativer Emotionalisierung dagegen war die Rückfallquote mit 53% bei Medikation und 92% ohne Medikation ungleich höher, was dem emotionalen Klima für die Rückfallwahrscheinlichkeit einen hohen Stellenwert bescheinigt.

Kruse, Carmesin und Stadler nennen noch andere empirische Belege für einzelne Aspekte ihres Netzwerkmodelles zu Vorgängen im Nervensystem Schizophrener. Zum Beispiel gibt es Hinweise auf die Rolle der Erhöhung der Fluktuation und deren Auswirkungen. Erhöhte Fluktuation bewirkt laut Modell erleichterten Attraktorwechsel, was sich an gesteigerter kognitiver Flexibilität oder Erhöhung der Revisionsrate bei multistabilen Wahrnehmungen zeigen sollte. Die erhöhte Revisionsrate bei multistabilen Reizen wurde für Schizophrenie nachgewiesen; außerdem gibt es für die besagte Revisionsrate positive Korrelationen mit Kreativität und anderen kognitiven Leistungen, denen neue Ordnungsbildungen zugrunde liegen. Eine andere Untersuchung hat gezeigt, dass Schizophrenie zu unlogischen Wortassoziationen neigen (nach [2]).

## Literatur

- [1] Stadler M., Kruse P., & Carmesin H.-O. (1997). Erleben und Verhalten in der Polarität von Chaos und Ordnung. In G. Küpper (Hrsg.), *Chaos und Ordnung* (S. 323 - 352). Stuttgart: Reclam
- [2] Kruse P, Carmesin H.-O., Stadler M. (1997). Schizophrenie als Korrespondenzproblem neuronaler Netzwerke. In G. Schiepek & W. Tschacher (Hrsg.), *Selbstorganisation in Psychologie und Psychiatrie* (S. 171 - 190). Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg.
- [3] Zimbardo P.& Gerrig R. (1999). Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer
- [4] Stadler M. & Kruse P. (1990). The Self-Organization Perspective in Cognition Research: Historical Remarks and New Experimental Approaches. In H. Haken & M. Stadler (Hrsg.), *Synergetics of Cognition* (S. 32 - 52). Berlin, Heidelberg: Springer
- [5] J. Kriz (1997). Systemtheorie: Eine Einführung für Psychotherapeuten, Psychologen und Mediziner. Wien: Facultas-Univ.-Verlag
- [6] Eigene Aufzeichnungen zur Vorlesung „Denken“ von P. Wolff im Sommersemester 2003 an der Universität Osnabrück

---

## Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück

- Nr. 01 Eberhard Umbach: Umweltverträgliches Wirtschaftssystem in den Bereichen Abfall und Emissionen. März 1997.
- Nr. 02 Stefan Trapp, Bernhard Reiter, Michael Matthies: Überprüfung und Fortentwicklung der Bodenwerte für den Boden-Pflanze-Pfad - Teilprojekt Transferfaktoren Boden-Pflanze. August 1997.
- Nr. 03 Michael Matthies (Hrsg.): Stoffstromanalyse und Bewertung. September 1997.
- Nr. 04 Dirk Melcher: Quantifizierung, Klassifizierung und Modellierung der Phytotoxizität organischer Chemikalien. Oktober 1997.
- Nr. 05 Stefan Schwartz: Organische Schadstoffe in der Nahrungskette - Vorstudie zur Validierung von Expositionsmodellen. November 1997.
- Nr. 06 Volker Berding: Private Hausbrunnen - Vergleichende Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserqualität. Oktober 1997.
- Nr. 07 Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften I. Januar 1998.
- Nr. 08 Birgit Radtke: Bifurkationen in einem Modell mariner Planktodynamik. Januar 1998.
- Nr. 09 Werner Berens: Konzeption eines Umweltinformationssystems für die Universität Osnabrück. Juni 1998.
- Nr. 10 Michael Matthies (Hrsg.): Studienprojekte 1998. September 1998.
- Nr. 11 Michael Matthies (Hrsg.): Globaler Wandel. September 1998.
- Nr. 12 Klaus Brauer (Hrsg.): Institutsbericht. September 1998.
- Nr. 13 Klaus Brauer, Horst Malchow, Michael Matthies, Eberhard Umbach (Hrsg.): Materialien des Arbeitstreffens Systemwissenschaft in der Lehre, Universität Osnabrück, 29./30.9.1998. Dezember 1998.
- Nr. 14 Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften II. Dezember 1998.
- Nr. 15 Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften III. August 1999.
- Nr. 16 Michael Matthies (Hrsg.): Regionale Nachhaltigkeit. September 2000.
- Nr. 17 Markus Klein: Langjähriger Wasserhaushalt von Gras- und Waldbeständen. Entwicklung, Kalibrierung und Anwendung des Modells LYFE am Groß-Lysimeter St. Arnold. Juni 2000.
-

- 
- Nr. 18 Markus Brune: Multimediale Umweltmodellierung mit Fuzzy-Mengen. Juli 2000.
- Nr. 19 Michael Matthies (Hrsg.): Fraktale in Hydrologie und Biologie. Oktober 2000.
- Nr. 20 Stefan Fuest (Dissertation): Regionale Grundwassergefährdung durch Nitrat.  
Dezember 2000.
- Nr. 21 Carsten Schulze (Dissertation): Modelling and evaluating the aquatic fate of detergents.  
Januar 2001.
- Nr. 22 Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften IV.  
Januar 2001 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).
- Nr. 23 Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften V.  
August 2001 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).
- Nr. 24 Kai Lessmann (Diplomarbeit): Probabilistic Exposure Assessment. Parameter Uncertainties and their Effects on Model Output.  
November 2002 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).
- Nr. 25 Frank M. Hilker (Diplomarbeit): Parametrisierung von Metapopulationsmodellen.  
März 2003 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).
- Nr. 26 Nadja Rüger(Diplomarbeit): Habitat suitability for *Populus euphratica* in the Northern Amudarya delta - a fuzzy approach.  
Juni 2003 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).
- Nr. 27 Claudia Pahl-Wostl, Eva Ebenhoh (Hrsg.): Komplexe Adaptive Systeme.  
Juli 2003 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).
- Nr. 28 Horst Malchow (Hrsg.): Chaos und Ordnung in Natur und Gesellschaft.  
Dezember 2004 (download at <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>).

ISSN 1433-3805

Die Beiträge können gegen einen Selbstkostenpreis (ca. 10 € pro Exemplar) beim Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück, 49069 Osnabrück bestellt werden.

---