



Wolfgang Tschacher

Asanger

Interaktion in selbstorganisierten Systemen

Grundlegung eines dynamisch-
synergetischen Forschungsprogramms
in der Psychologie

Forschung Psychologie

Der Autor:

Wolfgang Tschacher, Dr. rer. soc., Dipl-Psych., ist Familientherapeut und wissenschaftlicher Angestellter am Deutschen Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen.

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Tschacher, Wolfgang:

Interaktion in selbstorganisierten Systemen : Grundlegung
eines dynamisch-synergetischen Forschungsprogramms in der
Psychologie / Wolfgang Tschacher. Mit e. Vorw. von Jürgen
Kriz. – Heidelberg : Asanger, 1990
(Forschung Psychologie)
ISBN 3-89334-516-7

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 1990 Roland Asanger Verlag Heidelberg

Umschlaggestaltung: Doris Bambach / Ingrid Decher
Printed in Germany
ISBN 3-89334-516-7

Für Julian

Inhaltsübersicht:

Vorwort (Prof. Dr. Jürgen Kriz) 1

Einleitung 5

**Kapitel 1
Das Phänomen der Selbstorganisation 9**

**Kapitel 2
Systemorientierte Ansätze in der Psychologie 25**

**Kapitel 3
Topologie des Phasenraums: Theorie dynamischer Systeme 43**

**Kapitel 4
Metatheorien der Selbstorganisation 77**

**Kapitel 5
Umsetzung des Forschungsprogramms der Selbstorganisation
in die Psychologie 87**

**Kapitel 6
Eine Feldstudie, eine Computersimulation und Vorschläge
für weitere empirische Designs 113**

**Kapitel 7
Folgerungen für die systemische Therapie 147**

**Kapitel 8
Selbstorganisation und Kognition 167**

Literaturverzeichnis 191

Index 210

Anhang A 213

Anhang B 223

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort (Prof. Dr. Jürgen Kriz)	1
Einleitung	5
Kapitel 1	
Das Phänomen der Selbstorganisation	9
1.1 Einleitung unter dem Gesichtspunkt der Ordnungsbildung	9
1.2 Die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion: ein Beispiel für Selbstorganisation	17
1.3 Überblick über ausgewählte selbstorganisierte Systeme	21
Kapitel 2	
Systemorientierte Ansätze in der Psychologie	25
2.1 Psychologie und Systemtheorie	25
2.2 Ansatzpunkte zur Erweiterung einer reduktionistischen Methodologie	27
2.3 Postulate zu einer systemischen Empirie	30
2.4 Lewins Feldtheorie als Prototyp einer systemischen psychologischen Theorie	33
2.5 Soziale Systeme und Grenzen	36
2.6 Die Bedeutung von Grenzen für Selbstorganisation	40
Kapitel 3	
Topologie des Phasenraums: Theorie dynamischer Systeme	43
3.1 Zwei Ansätze zur Modellierung	43
3.2 Konzepte der Theorie dynamischer Systeme	46
3.3 Gleichgewichtsverhalten dynamischer Systeme	48
3.4 Der Parameterraum dynamischer Systeme	53
3.5 Phasenübergänge als "Katastrophen"	56
3.6 Differenzgleichungen	59
3.6.1 Die Dynamik der Verhulst-map	
3.6.2 Die Mandelbrot-Menge	
3.7 Chaotische Attraktoren	70

Kapitel 4	
Metatheorien der Selbstorganisation	77
4.1 Synergetik	77
4.1.1 Der mikroskopische Ansatz	
4.1.2 Der makroskopische Ansatz	
4.2 Irreversible Thermodynamik	81
4.3 Vergleich der Ansätze Hakens und Prigogines	82
4.4 Weitere Selbstorganisationstheorien	84
4.4.1 Der Begriff der Autopoiese	
4.4.2 Die Theorie des Hyperzyklus	
 Kapitel 5	
Umsetzung des Forschungsprogramms der Selbstorganisation in die Psychologie	87
5.1 Vorbemerkung zum Phänomen der Selbstorganisation im Bereich der Psychologie	87
5.2 Woraus besteht ein "System" in der Klinischen Psychologie?	89
5.3 Einwände gegen ein empirisches Forschungsprogramm	90
a Reifizierung von Systemen	
b Die Forderung der operationalen Abgeschlossenheit	
5.4 Anwendung der synergetischen Methodologie auf die Untersuchung von sozialen Systemen	92
5.4.1 Mikroskopischer Ansatz	
5.4.2 Makroskopischer Ansatz	
5.4.3 Mesoskopischer Ansatz	
5.4.4 Modellierung der Ordnungsparameter	
5.5 Modellierung auf der Basis der Theorie dynamischer Systeme	98
5.5.1 Theorie dynamischer Systeme als mathematische Simulationsmethode	
5.5.2 Theorie dynamischer Systeme als deterministische Zeitreihenanalyse	
a Phasenportrait	
b Fourieranalyse einer Zeitreihe	
c Dimensionalität einer Zeitreihe	
d Errechnung von Lyapunov-Exponenten	
e Entropie	

Kapitel 6

Eine Feldstudie, eine Computersimulation und

Vorschläge für weitere empirische Designs

113

6.1 Distanzregulation und Gruppenkonstellation beim Prozeß der Gruppenbildung: eine explorative Feldstudie und eine Computersimulation	113
6.1.1 Gruppenbildung als Selbstorganisationsprozeß	113
6.1.2 Eine gruppenexperimentelle Explorationsstudie	116
6.1.2.1 Zur Operationalisierung des Gruppenbildungsprozesses	
6.1.2.2 Methodik der Untersuchung	
6.1.2.3 Methode der Auswertung	
a Formale Aspekte der räumlichen Konfigurationen	
b Inhaltsanalytische Daten auf der Grundlage des Transkripts	
6.1.2.4 Ergebnisse der Gruppenstudie	
6.1.3 Methode der Computersimulation	125
6.1.4 Ergebnisse der Simulation	128
6.1.5 Diskussion und Ausblick	132
6.2 Vorschlag zu weiteren Untersuchungen	133
6.2.1 Variablenklassen für die quantitative Beschreibung sozialer Systeme	134
a Studien zur Nähe-/Distanzregulation	
b Physiologische Variablen	
c Mimische Variablen	
6.3 Experimentelles Setup	142
a Ableitung und Aufzeichnung der Biosignale	
b Meßdatenerfassung	
c Auswertung der digitalisierten Zeitreihen	
6.4 Fragen der Interpretation formaler (räumlicher und physiologischer) Variablen	145

Kapitel 7

Folgerungen für die systemische Therapie

147

7.1 Horizontale und vertikale Rekursion	147
7.2 Ist der Therapeut Teil des Systems?	154
7.3 Zur Therapierbarkeit selbstorganisierter Systeme	155
7.4 Chaos in sozialen Systemen	162
7.5 Grenzen empirischer Zugänglichkeit	164

Kapitel 8	
Selbstorganisation und Kognition	167
8.1 Skizzierung des Autopoiesebegriffs	167
8.2 Kritik der Autopoiesetheorie	169
8.2.1 Kritik der Tautologie	
a "What is is; what ain't ain't."	
b Das Gleiche und dasselbe ist nicht dasselbe...	
c Geschlossenheit	
8.2.2 Kritik des Solipsismus	
8.2.3 Kritik des Biologismus	
8.3 Die zwei Aspekte der Kognition	180
8.3.1 Modellierung	
8.3.2 Informationsverarbeitung	
8.4 Exkurs zur Künstlichen Intelligenz-Forschung: die Simulation einer Simulation	182
a Der propositionale Ansatz	
b Der Ansatz der mentalen Modelle	
c Der konnektionistische Ansatz	
8.5 Deterministisches Chaos in der Informationsverarbeitung	187
 Literaturverzeichnis	 191
 Index	 210
 Anhang A	 213
 Anhang B	 223

Vorwort

Auf den ersten Blick mag es merkwürdig erscheinen, daß ein Beitrag zur psychologischen Forschung so viele Beispiele und Ausführungen aus dem Bereich der Chemie und Physik (einschließlich der vornehmlich in diesem Kontext anzutreffenden mathematischen Erörterungen) enthält. Immerhin erleben wir doch eine geradezu inflationäre Zunahme an klinisch-psychologischen Arbeiten, die sich mit sog. "systemischen" Konzepten beschäftigen - ganz zu schweigen von den Zuwachsraten "systemischer Therapien" in der Praxis. Sofern aber nicht nur bei vagen Analogien und metaphorischen Begriffsübernahmen stehen geblieben werden soll - wovon ein Teil der gegenwärtigen klinischen (insbesondere: familientherapeutischen) Literatur übervoll ist - gibt es wohl derzeit (noch?) keine Alternative, als sich gründlich mit den hoch elaborierten und praktisch sehr erfolgreichen systemischen Konzepten in der modernen Naturwissenschaft auseinanderzusetzen, wenn man die Grundlegung der Systemtheorie auch für die Psychologie im Auge hat. Dies aber scheint überfällig: einer nun bereits jahrzehntelangen und immer stärker ausdifferenzierten Praxis systemisch-therapeutischer Interventionen mutet immer noch vornehmlich "Handwerkelei" an, da fundierte psychologische Theorien zur Beschreibung und Erklärung der Erfolge dieser Richtung - die ernsthaft inzwischen wohl kaum noch in Zweifel gezogen werden können - oder gar eine systematisch darauf aufbauende Forschung bestenfalls in ersten Ansätzen zu erkennen sind. Offenbar hat die akademische Psychologie über Jahrzehnte einen bedeutsamen Entwicklungstrend ignoriert bzw. verschlafen.

Dies ist umso bedauernswerter, als es schon frühzeitig in der Psychologie viele Ansätze gab, in deren Rahmen sehr detailliert viele der "modernen" systemischen Anschauungen entwickelt wurden. Es handelt sich im einzelnen zwar um recht unterschiedliche theoretische Ansätze, dennoch wurden sie bereits früher unter Begriffe wie "holistisch"

oder "organismisch" subsumiert - z.B. in dem Band "Theories of Personality" von Hall & Lindzey 1957, der auf eine größere Anzahl von Arbeiten verweist, die von Psychologen und Psychiatern bereits in den 20er und 30er Jahren veröffentlicht wurden. Aspekte wie Selbstaktualisierung (lange vor C. Rogers), Selbstorganisation, oder (lange vor U. Maturana) die Eigenständigkeit der inneren Determinanten eines Systems - und damit eine weitgehende Unabhängigkeit gegenüber geplanten Eingriffen der externen Welt - spielten darin eine zentrale Rolle. Veränderung wurde als "Reorganisation" alter Muster zu neuen und effektiveren Mustern verstanden (Goldstein 1933), und die "Systemdynamik" beschrieb man (lange vor Minuchin) mit Konzepten wie "plasticity" versus "rigidity" (Angyal 1941) und schrieb ihnen eine wesentliche Funktion für die Systemveränderung bzw. für "Symptome" zu.

Obwohl diese Konzepte durchaus auf der Basis empirischer Forschung (z.B. den Untersuchungen an hirnverletzten Soldaten des ersten Weltkrieges) und in Verbindung mit Experimenten (z.B. Goldsteins Tierexperimenten) entwickelt wurden, paßten sie wohl zu wenig ins damalige Verständnis von "Wissenschaft", die sich immer noch weitgehend an den Vorstellungen der Physik des 19. Jahrhunderts orientierte. Ähnlich wie der ebenfalls frühe systemische Ansatz Kurt Lewins, dem eine unmittelbare empirische Korrespondenz fehlte (vgl. Kap.2), wurden diese Konzepte vom Programm des Behaviorismus in die Vergessenheit gedrängt. Man folgte offenbar eher dem Votum Skinners, der 1940 explizit Konzepte wie Selbstaktualisierung als "metaphysisch" ablehnte, da sie experimentell nicht zu untersuchen seien. Statt die Tradition der Untersuchung von Systemen fortzusetzen, konzentrierte sich die akademische Psychologie fortan mehrere Jahrzehnte fast ausschließliche auf die Analyse von einzelnen Variablen in Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen bzw. statischen Beziehungsgefügen (z.B. im Kontext der Faktorenanalyse).

Wenn nun gerade in den von Psychologen so verehrten "harten" Naturwissenschaften Physik und Chemie Selbstorganisationsprozesse von Systemen nicht nur zunehmend in den Brennpunkt der Forschung rücken, sondern deren Bedeutsamkeit auch mit

Nobelpreisen unterstrichen wird (Laser 1970 bzw. Prigogines "dissipative Strukturen" 1978), muß dies auf die siegreichen Erben des Behaviorismus wie eine Ironie der Wissenschaftsentwicklung wirken. Zwar hat es den Anschein, daß gerade Psychologen derzeit immer noch den zunehmenden Einfluß systemtheoretischer Forschung in Nachbardisziplinen (vgl. Kap.1) ausblenden, doch darf man wohl davon ausgehen, daß sich dies in Kürze ändern wird, sofern die Psychologie im interdisziplinären Gespräch nicht zunehmend als "ignorant" belächelt werden will. Dabei wäre es sicher falsch (und auch unwahrscheinlich), eine völlige Kehrtwende in der Psychologie zu vollziehen - und damit die Einseitigkeit der letzten Jahrzehnte durch eine andere ersetzen zu wollen. Wichtig wäre vielmehr, der Systemforschung einen angemessenen Stellenwert einzuräumen und manche Vorurteile gegenüber dieser Richtung, weil sie nicht recht zu den lieb gewordenen Wissenschaftsvorstellungen des vergangenen Jahrhunderts paßt, durch mehr Offenheit zu ersetzen.

Die vorliegende Arbeit von Wolfgang Tschacher könnte diesen Prozeß unterstützen, gerade auch weil sie zunächst einmal auf das vorhandene Informationsdefizit Rücksicht nimmt, und einige wichtige Aspekte aus Nachbardisziplinen (einschließlich der Mathematik) diskutiert. Ferner halte ich für besonders begrüßenswert, daß er dabei das Konzept der "Synergetik" ins Zentrum seiner Arbeit stellt und in kritischer Diskussion gegenüber konkurrierenden Entwürfen, die derzeit im Gespräch sind, konturiert (vgl. bes. Kap. 3, 4 und 8): Ich stimme nämlich mit dem Autor darin überein, daß diesem Ansatz im Spektrum der im Detail durchaus recht unterschiedlichen systemischen Konzeptualisierungen auch für die Psychologie die größte Bedeutung zukommt. Obwohl Hermann Haken die Synergetik zunächst im Zusammenhang mit der von ihm stammenden Theorie des Lasers entwickelte, hat er sehr früh angeregt, die spezielle Betrachtungsweise bzw. die mathematische Behandlungsweise der damit verbundenen Probleme auf die Analyse selbstorganisierender Systeme auch in anderen Disziplinen auszudehnen. Die allgemeine Anwendbarkeit seiner Theorie ist inzwischen vielfach gezeigt worden - zunächst vorwiegend im Bereich der Physik, Chemie und Biologie, zunehmend aber auch in human- und sozialwissenschaftlichen Bereichen - was in einer

großen Anzahl spezieller Bücher und auf zahlreichen Kongressen seinen Niederschlag gefunden hat (allein die "Springer Series in Synergetics" umfaßt derzeit 48 Bände). Es wird daher höchste Zeit, daß sich auch Psychologen in größerer Zahl dieser Entwicklung stellen. Indem Tschacher sich in seinen zentralen Kapiteln (5 und 6) den Fragen der "Umsetzung des Forschungsprogramms der Selbstorganisation in die Psychologie" und "Vorschlägen für weitere empirische Designs" widmet, bietet diese Arbeit zahlreiche Anregungen und kann als Einladung verstanden werden, in Hinkunft stärker synergetische Systemtheorie in die weitere Forschungsplanung mit einzubeziehen.

So ist denn dieser Arbeit Wolfgang Tschachers zu wünschen, daß sie große Verbreitung findet und damit die psychologische Diskussion beleben und zu einer Neufundierung einer ehemals bedeutsamen psychologischen Tradition - nun allerdings auf der Basis des Wissenszuwachses eines halben Jahrhunderts - beitragen wird.

Jürgen Kriz

Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist wesentlich das Ergebnis eines Versuches, verschiedene Wissensgebiete und Ideen zu integrieren und zusammenzubinden. Ich habe dabei ein empirisches Programm zur Untersuchung von sozialen Systemen entworfen, um auf diesem Wege interaktive Prozesse in Familien und Gruppen zu beleuchten. Mir ist klar, daß mein systemischer Ansatz einen Kurs zwischen zwei Klippen steuert: der Klippe des Reduktionismus und der des Holismus. Dies entspricht wohl einerseits dem aktuellen Diskussionsstand von systemischer Therapie und Familientherapie, insofern behavioristische Operationalisierungen vermieden werden; zugleich aber ist dieser Kurs unzeitgemäß, da der ganzheitliche oder gar esoterische Zeitgeist, der in großen Teilen der systemischen Therapielandschaft gilt, kritisiert wird.

Auf der Suche nach methodischen Möglichkeiten der Umsetzung stieß ich auf den Begriff der Selbstorganisation, sowie auf mathematische Methoden, selbstorganisierte Systeme abzubilden. Mit diesen Ansätzen aus dem Bereich der Naturwissenschaften, v.a. der Physik, scheint es mir möglich, auch soziale und psychische Selbstorganisation zu modellieren. Damit ist kein Physikalismus begründet: importiert werden kann und soll nur die formale und methodologische Anregung.

Es mag sein, daß es auf diesem Kurs zwischen den Klippen zu Turbulenzen kommt; ich denke aber, daß dies fruchtbare Turbulenzen sein können, die in neue Muster einmünden. Die Beobachtung, daß Ordnung gerade in Zwischenbereichen, im Raum zwischen den totalen und eindeutigen Lösungen auftaucht, ist mir dafür metaphorische Bestätigung.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in acht Kapitel:

In Kapitel 1 ist das Phänomen der Selbstorganisation aus interdisziplinärer Sicht beschrieben. Der Einfachheit halber beziehe ich mich dabei auf Systeme aus den

Naturwissenschaften, die für die Ansätze Hakens und Prigogines paradigmatisch sind. Es geht mir aber darum, die Analogien zwischen vielen, völlig verschiedenen Systemen zu betonen.

Kapitel 2 stellt eine Beziehung zwischen der Psychologie, insbesondere der Psychotherapieforschung und der Systemtheorie her. Die Implikationen eines systemorientierten Ansatzes werden in Bezug auf methodologische Fragen diskutiert; dies schließe ich mit einer Reihe methodischer Postulate ab. Aspekte der gestaltpsychologischen Begrifflichkeit Lewins und der Begriff der Grenze werden angesprochen.

Die Theorie dynamischer Systeme, eine Disziplin zwischen Mathematik und Naturwissenschaft, wird in Kapitel 3 eingeführt. Die zentralen Begriffe dieser Theorie, besonders hinsichtlich nonlinearer und chaotischer Systeme, werden als Teil einer abstrakten Sprache dargestellt, deren Nützlichkeit für psychologische Studien in späteren Kapiteln zu prüfen ist.

Die interdisziplinären Selbstorganisationsansätze der Synergetik nach Haken und der Theorie dissipativer Systeme von Prigogine werden in Kapitel 4 kurz beschrieben, nachdem im vorangegangenen Kapitel bereits ein großer Teil ihrer Methodologie in Gestalt der Theorie nonlinearer dynamischer Systeme umrissen worden ist.

In Kapitel 5 gehe ich den Konsequenzen nach, die eine Anwendung des im vorstehenden definierten Selbstorganisationsbegriffs auf soziale Systeme hat. Die theoretische Konzeptualisierung eines sozialen Systems wird anlässlich der Formulierung einer psychologischen Synergetik vorgenommen. Ich vertrete dabei die Auffassung, daß (kleine) soziale Systeme auf der Mikroebene aus psychischen Komponenten bestehen. Schließlich nenne ich einige Kennwerte und Maße zur Modellierung von Zeitreihen.

Kapitel 6 geht einen Schritt weiter in Richtung einer empirischen Anwendung der genannten Methoden und Konzepte. Eine erste bereits durchgeführte Explorationsstudie zur Gruppenbildung wird beschrieben, ebenso wie eine hierfür implementierte Computersimulation. Konkrete Vorschläge zu weiteren Untersuchungen und zu möglichen Observablen als Fenster in die Selbstorganisation sozialer Systeme werden gegeben. Schließlich beschreibe ich die dazu benötigte labortechnische Ausrüstung.

In Kapitel 7 diskutiere ich die gewonnene Selbstorganisationsperspektive im Hinblick auf Folgerungen für die therapeutische Praxis. Zwei Arten der Rekursivität, die in therapeutischen Kontexten von Bedeutung sind, werden unterschieden. Aspekte der Selbstähnlichkeit und des Chaos in therapeutischen Prozessen werden angesprochen.

In Kapitel 8 gehe ich auf die Autopoiesetheorie ein, die zu der erkenntnistheoretischen Doktrin des Konstruktivismus führte. Dieser Ansatz wird kritisiert. Eine alternative kognitionstheoretische Konzeption, die sowohl modellierende als auch informationsverarbeitende Aspekte von Kognition zuläßt, wird vertreten und in Ansätzen der KI-Forschung und der Chaostheorie verdeutlicht.

Für Anregungen, die in diese Arbeit eingeflossen sind, bin ich mehreren Personen zu Dank verpflichtet. So danke ich Professor Ewald Johannes Brunner und Professor Günter Huber für die Betreuung der Dissertation, besonders Herrn Brunner für sehr fruchtbare Gespräche und eine harmonische und stimulierende Zusammenarbeit. Die anregenden und intensiven Diskussionen mit Professor Hermann Haken waren gewinnbringend und ermutigend; dies gilt auch für das Synergetiksymposium in Elmau, an dem ich durch seine freundliche Einladung teilnehmen konnte. Meinen Kollegen im Doktorandenkolloquium, besonders Arno Schöppe und Hannes Krause, verdanke ich wichtige Impulse und schöne epistemologische Debatten. Besonders ertragreich und richtungsweisend waren die Treffen mit Günter Schiepek aus Bamberg; der freundschaftlichen Kooperation mit ihm und Professor Brunner ist es zu verdanken, daß die Ansätze in der vorliegenden Arbeit Aussicht haben, in weiteren Untersuchungen umgesetzt zu werden. Professor Otto Rössler danke ich für eindruckliche und nachwirkende Gespräche. Die Diskussionen mit Reinhard Schmidt nicht nur über physikalische Themen waren unschätzbar in einem frühen Stadium meiner Beschäftigung mit der Theorie dynamischer Systeme. Peter Tritschler bin ich für die Zusammenarbeit beim Programmieren der Computersimulation zu Dank verpflichtet.

Tübingen, im Dezember 1989

Wolfgang Tschacher

Kapitel 1

DAS PHÄNOMEN DER SELBSTORGANISATION

1.1 Einleitung unter dem Gesichtspunkt der Ordnungsbildung

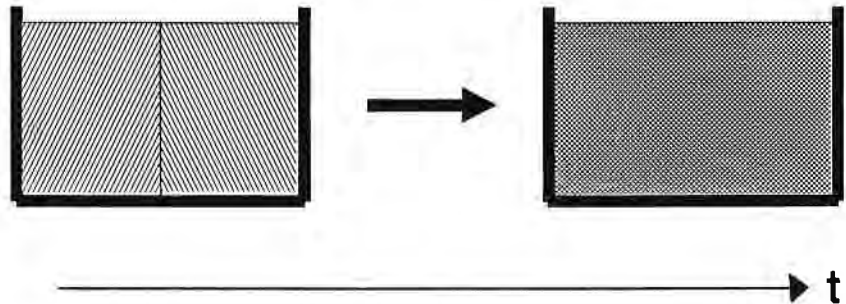
Wissenschaft befaßt sich mit Ordnung. Eine wissenschaftliche Aussage oder Theorie erscheint uns umso wertvoller, je mehr sie in der Lage ist, Ungewißheit zu beseitigen und Information zur Verfügung zu stellen. Das Ausmaß, in dem eine Theorie Nichtwissen und Beliebigkeit zu Wissen, Vorhersagbarkeit und damit Kontrollierbarkeit wandelt, gilt als Gütekriterium und entscheidet, ob wir diese Theorie verwenden werden oder versuchen, sie durch eine andere, bessere zu ersetzen. Mit anderen Worten: Theorien können Ordnung erzeugen (zumindest in den Köpfen derjenigen, die sie "verstehen") und damit Entropie verringern.

Diese Eigenschaften hat der kognitiv-soziale Prozess des "Theorienbildens" mit vielen anderen Erscheinungen im Zusammenhang mit lebenden Systemen gemein. Es scheint deshalb nicht weiter erwähnenswert, auf den ordnungsbildenden Aspekt hinzuweisen, der diese Systeme im Bereich von Biologie, Psychologie, Soziologie und verwandten Disziplinen auszeichnet: die Eigenschaft, Ordnung gegenüber einer ungeordneten Umgebung herzustellen, gilt geradezu als Definitionsbestandteil für Leben und sein Verhalten. Es ist letztlich dies, was eine Pflanze von einem Stein, die Buchseite von einem zufälligen Arrangement von Druckerschwärze auf Papier unterscheidet.

Den kohärenzstiftenden lebenden Systemen wird üblicherweise die unbelebte Natur gegenübergestellt. Hier gilt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, wie er im 19. Jh. von Clausius und anderen formuliert wurde: innerhalb geschlossener Systeme wächst mit der Zeit die Entropie als Maß der Unordnung. Dieses Prinzip kann leicht folgendermaßen veranschaulicht werden: Nimmt man zum Beispiel ein Gefäß, das in

zwei Abteilen mit einer roten bzw. mit einer blauen Flüssigkeit gefüllt ist, wobei die Abteile durch eine Wand voneinander getrennt sind (s. Abb. 1.1), so existiert unmittelbar nach Entfernen der Wand zwischen den Abteilen ein nach Farbe geordneter Zustand im Gefäß. Alle "roten" Moleküle sind in der linken Hälfte, alle "blauen" in der rechten.

Abb. 1.1:
Illustration des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik: die Flüssigkeiten vermischen sich, die Entropie nimmt zu



Sofort aber werden die Flüssigkeiten beginnen, sich an der Grenzfläche zu mischen. Nach einiger Zeit werden sie sich aufgrund der Brownschen Wärmebewegung so durchmischt haben, daß das Gefäß insgesamt homogen lila gefärbt ist. Die Entropie (Unordnung) hat zugenommen, denn es läßt sich keine räumliche Zuordnung aufgrund der Farbe mehr vornehmen. Da es sich bei der Thermodynamik um eine statistische Theorie handelt, wird durch sie zwar nicht ausgeschlossen, daß irgendwann im Gefäß zufällig ein rot-blau-gestreifter oder sonstwie geordneter Zustand nochmals auftritt; dies wäre aber extrem unwahrscheinlich und kurzlebig. So gut wie immer wird sich das System in Richtung auf einen Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts, also maximaler Entropie hin entwickeln. Man kann dies durch eine einfache Wahrscheinlichkeitsüberlegung begründen: alle möglichen räumlichen Konstellationen von "roten" und "blauen" Molekülen seien a priori gleichwahrscheinlich. Es gibt dann unter allen Kombinationen sehr viel mehr ungeordnete als geordnete Zustände. Die Wärmebewegung als Zufallsprozeß stellt fortwährend neue Konstellationen her. Also ist es sehr unwahrscheinlich, daß wieder ein geordneter Zustand entsteht.

Bis in die sechziger Jahre dieses Jahrhunderts herrschte innerhalb der Naturwissenschaften die implizite Erwartung, in physikalischen Systemen einer mittleren Größenordnung werde stets dieses entropie Szenario ablaufen (Nicolis & Prigogine, 1987). Erkenntnisfortschritte erwartete man sich im Bereich des mikroskopisch Kleinen mittels der Quantenmechanik sowie im Zusammenhang mit Themen der Kosmologie.

Als ein Hauptziel galt die Suche nach einer einheitlichen Theorie, die es erlaubte, die beiden großen Theorien des 20. Jahrhunderts, die Quantentheorie und die Relativitätstheorie, in eine beide umfassende Form zu bringen (Hawking, 1988). Einstein widmete die zweite Hälfte seines Lebens der Suche nach einer einheitlichen Feldtheorie, allerdings ohne Berücksichtigung der quantenmechanischen Unschärferelation. Von makroskopischen Systemen in einem mittleren Bereich dagegen erwartete man in der Grundlagenphysik nichts Neues. Das hatte folgende Gründe (Jantsch, 1979):

- Wenn man von Reibungseffekten absah, stand die klassische Dynamik (nach Newton und Hamilton) zur Verfügung. Diese befaßt sich mit konservativen Systemen, deren Energie erhalten bleibt. In der idealisierten Newtonschen Welt gelten die Eigenschaften der Berechenbarkeit, Determiniertheit und Reproduzierbarkeit für alle Körper und ihre Bewegungen. Die Heisenbergsche Unschärfe kann dabei in makroskopischer Näherung vernachlässigt werden. Auch taucht die Zeit in den Gleichungen der klassischen Physik nicht als gerichtete Größe auf, es ist kein "Zeitpfeil" ausgezeichnet, d.h. die Dynamik konservativer Systeme würde sich bei Zeitumkehr nicht qualitativ ändern (Prigogine, 1979). Solcherart reversible Systeme zeigen keine Entwicklung, keine Evolution.

- Hatte man Systeme vorliegen, bei denen die Reibung nicht vernachlässigt werden konnte, mußte durch die Einarbeitung der Thermodynamik von einer unaufhaltsamen Zunahme der Entropie ausgegangen werden. Dieser thermodynamische Zeitpfeil zeigt stets in dieselbe Richtung: auf Unordnung und Desorganisation hin. Ein Körper, der sich in Newtons idealer Welt wie in einem reibungsfreien Billardspiel für immer geradlinig bewegt, nur durch Kollision seine Bahn ändernd, wird irreversibel zum Stillstand kommen: seine geordnete Bewegung geht durch Reibung in ungeordnete, molekulare Wärmebewegung mit vielen Freiheitsgraden über; schließlich muß auch die feste Struktur des Körpers zerfallen und in einen amorphen Zustand der Teilchen mit maximaler Entropie übergehen, dem thermodynamischen Gleichgewicht (Boltzmanns "Wärmetod"). Wohl ist in diesem thermodynamischen Weltbild eine Entwicklung festzustellen, aber es ist die der Selbstdesorganisation (Jantsch, 1979).

Die Erklärung der Ordnungsbildung und der Evolution von Strukturen mit

physikalischen Mitteln schien aussichtslos (Haken, 1983a). Die Unterschiede zwischen den "harten" und "weichen" Wissenschaften waren festgefügt, da eine Verbindung der einfachen Systeme in Physik und Chemie zu den komplexen Systemen, mit denen es die Biologie, die Verhaltens- und Sozialwissenschaften zu tun haben, nicht ersichtlich war (Nicolis & Prigogine, 1987).

In dieser Situation setzte ein sich beschleunigender Wandel des physikalischen Weltbilds ein, der sich aus mehreren parallelen Entwicklungen zusammensetzte. Zum einen begann sich Interesse an einzelnen einfachen Systemen zu regen, die unter bestimmten Randbedingungen kohärentes, organisiertes Verhalten an den Tag legten, bislang aber als Ausnahmen wenig beachtet worden waren. Ein exemplarisches Modell eines solchen Systems ist die Bénard-Konvektion, die von Bénard (1901) bereits zu Beginn des Jahrhunderts beschrieben wurde. Es handelt sich dabei um ein makroskopisch geordnetes Strömungsmuster in einer Flüssigkeitsschicht, der von einer Seite Wärme zugeführt wird. Das Phänomen erlebte eine Renaissance an wissenschaftlicher Aufmerksamkeit in jüngster Zeit, was zu einer Fülle neuerer Arbeiten führte (z.B. Vidal & Pacault, 1981, 1984; Krinsky, 1984a; Winfree, 1980).

Zum andern hatte sich in der modernen Theorie dynamischer Systeme (Guckenheimer & Holmes, 1983; Abraham & Shaw, 1983) in einem Bereich zwischen Mathematik und Naturwissenschaften eine Disziplin herausgebildet, die Modelle zur Beschreibung komplexen Verhaltens bereitstellen konnte und zusätzlich durch die "Entdeckung" des deterministischen Chaos eine neue Qualität von Systemverhalten zugänglich machte (Lorenz, 1963; Rössler, 1976).

Die sich in diesem Zusammenwirken ergebende neue Perspektive innerhalb der Naturwissenschaften kann schlagwortartig als evolvierend-emergent, systemorientiert und nichtlinear bezeichnet werden. Ob in diesem Zusammenhang der vielstrapazierte Begriff des Paradigmenwechsels nach Kuhn (1967) bemüht werden soll, ist fraglich. Der Prozess, daß bereits bekannte Phänomene und etabliertes Wissen längere Zeit randständig bleiben und wissenschaftssoziologisch als Fußnote (als Anomalien) behandelt werden, um dann innerhalb kurzer Zeit zentraler Bestandteil eines neuen Forschungsprogramms (Lakatos, 1970) zu werden, scheint aber auch bei der

Bewertung selbstorganisierter Systeme auffindbar zu sein. Andererseits hat die "neue Perspektive" keine zentrale Theorie innerhalb der Physik abgelöst, so wie die Aristotelische Physik durch Newtons Mechanik und diese wiederum durch Einsteins Relativitätstheorie ersetzt wurde. Im vorliegenden Fall wird die Thermodynamik durch die Behandlung selbstorganisierter Systeme nicht ungültig.

Krohn et al. (1987) umreißen die historische Entwicklung der Selbstorganisationsforschung allerdings sehr wohl als "wissenschaftliche Revolution", die Teil einer Umorientierung größeren Ausmaßes darstelle. Aus Wurzeln, die bis auf Aristoteles und Kant zurückreichen, entfaltet sich in dieser Sicht das neue "Paradigma" in drei Phasen. Die erste Phase bis Beginn der 70er Jahre brachte Modelle und Theoriekerne in verschiedenen, voneinander isolierten Disziplinen hervor, und zwar in der Kybernetik (v. Foerster), physikalischen Chemie (Prigogine), Lasertheorie (Haken) und Biochemie (Eigen). Eine zweite Phase (bis etwa 1975) umfaßt die Wahrnehmung der tiefgreifenden Analogien zwischen den in den einzelnen Fachbereichen entstandenen Konzepten. Die dritte Phase bis 1980 sorgte nach Krohn et al. für die Globalisierung des Ansatzes, sowie für die Übertragung auf unterschiedlichste Bereiche, wenn auch oft nur auf einer metaphorischen Ebene.

Die vorliegende Arbeit möchte einen Schritt über die zuletzt genannte Phase hinausgehen, indem sie die Formulierung eines empirischen Forschungsprogramm der Selbstorganisation für die Psychologie unternimmt und die Ebene der Metaphorik verläßt.

Vor der näheren Beschreibung eines prototypischen selbstorganisierten Systems, der Belousov-Zhabotinsky-Reaktion, möchte ich auf die oben genannten Schlagworte "evolvierend", "emergent" und "nonlinear" eingehen.

Selbstorganisierte Systeme unterliegen einer **Evolution** insofern, als sie ihre innere Entropie verringern können, sich also auf geordnetere Zustände hin entwickeln. Diese Ordnung kann als räumliches Muster oder als in der Zeit geordnete Abfolge von Zuständen (Oszillation) auftauchen. Die Evolution von Ordnung ist deshalb **emergent** und **selbst-organisiert** zu nennen, weil sie nicht von der Umwelt des Systems importiert oder ihm durch die Umwelt aufoktroziert wird. Makroskopisch sichtbare Ordnung taucht

gewissermaßen aus dem molekularen Chaos sehr vieler Freiheitsgrade als qualitativ neue Eigenschaft auf, als Emergenz des Systems selbst (Krueger, 1984).

Formal gesehen handelt es sich bei der Evolution geordneterer Zustände eines Systems um "**Symmetriebrüche**". Diese Verwendung des Symmetriebegriffs ist anfänglich gewöhnungsbedürftig. Ein ungeordneter Zustand des Systems ist insofern sehr symmetrisch, als zwischen links und rechts, oben und unten, vorher und nachher mangels erkennbarer Struktur nicht unterschieden werden kann. Das System besitzt also viele Symmetrieeigenschaften, d.h. ist invariant gegenüber vielen mathematischen Abbildungen (z.B. Spiegelung, Drehung), denn es ist überall gleich strukturlos. Kommt es jedoch zur Ausbildung irgendeiner Art von Ordnung, gilt dies nicht mehr. Die völlige Symmetrie ist dann "gebrochen", wenn eine Orientierung bzw. Unterscheidung durch die Emergenz einer Struktur möglich wird. Am Beispiel des Gefäßes aus Abb. 1.1 ist der entgegengesetzte Vorgang gezeigt: die gebrochene Symmetrie zerfällt in einen hochentropischen, durchmischten Zustand, der sehr symmetrisch (invariant gegenüber mathematischen Abbildungen des Raums) ist. Der geordnete Ausgangszustand dagegen hat etwa eine Spiegelung der linken auf die rechte Gefäßhälfte nicht erlaubt. Das System war in dieser Hinsicht nicht symmetrisch, da nach der Farbe rot und blau unterscheidbar.

Thermodynamisch gesehen ist die **Emergenz von Ordnung** nur in offenen Systemen möglich. Die Verminderung von Entropie innerhalb des Systems (die Ordnungsbildung) ist dann durch einen Entropiefluß in die Umwelt des Systems erzeugt. Der Entropieexport kann durch Austausch von Energie oder Materie erfolgen. Diese Voraussetzung der Selbstorganisation wird als "Ungleichgewichtsbedingung" (Nicolis & Prigogine, 1987) bezeichnet, denn aus der Sicht des Zweiten Hauptsatzes befindet sich das System im Ungleichgewicht. Die Systeme sind dissipativ, erzeugen also insgesamt Entropie durch Reibung, Diffusion oder ähnliche Prozesse; durch den Aufenthalt fern vom Gleichgewicht wird gleichzeitig lokal Ordnung aufrechterhalten und entwickelt. Die Existenz eines solchen Systems impliziert also einen permanenten Prozess, um im (thermodynamischen) Ungleichgewicht zu bleiben. In gewisser Weise erhält sich das System aktiv selbst (Prigogine, 1979).

Aus dem Gesagten folgt bereits, daß das Phänomen der Selbstorganisation nur in **Systemen** auftauchen kann, mithin zu einer reduktionistischen Beschreibung der Welt nicht taugt. Der menschlicher Erkenntnis zugängliche Teil des Universums jedenfalls scheint nur mit einer systemorientierten Sichtweise erklärbar zu sein (zum sog. anthropen Prinzip s. Hawking, 1988). Krueger (1984) vertritt die Auffassung, daß der Reduktionismus auch in der Physik als gescheitert anzusehen ist, und durch ein physikalisch präzisiertes Emergenz-Prinzip abgelöst werden könne. Andererseits ist es mir wichtig anzumerken, daß diese "systemische" Auffassung keine holistische Theorie (etwa im Sinne von Dell & Goolishian, 1981) vertritt, denn die Emergenz des Systems leitet sich ja durchaus aus dem Zusammenwirken von Komponenten ab (Bunge, 1979). Ein systemischer Ansatz wird also zugleich analytisch und ganzheitlich verfahren müssen, was bei an der Heiden (1987) als "synthetischer Reduktionismus" bezeichnet ist.

Das dritte Schlagwort der **Nichtlinearität** beschreibt eine weitere wesentliche Eigenschaft selbstorganisierter Systeme. Damit ist ausgedrückt, daß die "Geschichte" des Systems (nämlich das Auftreten von Symmetriebrüchen, die das System aus seiner Umwelt herausdifferenzieren) nicht eine lineare Funktion von Parametern der Umwelt ist, sondern eben durch spontane Aktivität gekennzeichnet ist. Ohne hier bereits auf die qualitativ verschiedenen Formen des Systemverhaltens infolge Variation der äußeren Parameter (Kontrollparameter) einzugehen, die als Analyse des Bifurkationsverhaltens in Kapitel 3 beschrieben wird, möchte ich auf zwei wesentliche Unterschiede zwischen linearem und nonlinearer Verhalten hinweisen.

a) "Nonlineares Verhalten" beschreibt die besondere Art der Kausalverknüpfung zwischen System und Umwelt. Statt einer "starken" Kausalität (ähnliche Ursachen führen zu ähnlichen Wirkungen) entsteht z.B. eine sensible Abhängigkeit vom äußeren Milieu: bereits geringste Veränderungen dort ("Fluktuationen") erzeugen drastische Veränderungen im evolvierenden System. Dieses nonlineare Verhalten ist konstitutiv für selbstorganisierte Systeme an bestimmten Punkten ihrer Evolution, den Bifurkationspunkten. Es ist konstitutiv und permanent in chaotischen Systemen. Andererseits kann zwischen solchen evolutionären Sprüngen das System völlig unempfindlich gegen

äußere Einwirkungen sein, sich der äußeren Kontrolle entziehen. Umwelteffekte überlagern sich in beiden Fällen nicht mehr additiv (wie im linearen Bereich in der Nähe des thermodynamischen Gleichgewichts). Graphisch kann das folgendermaßen dargestellt werden (s. Abb. 1.2):

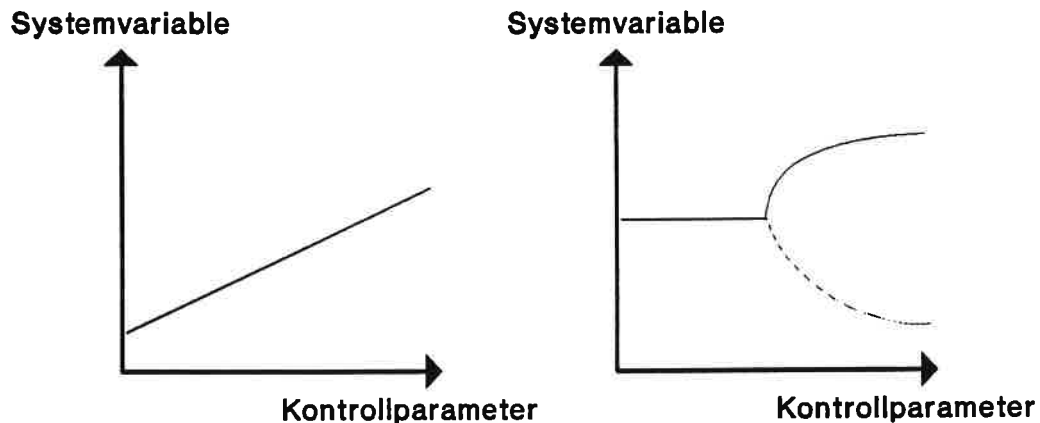


Abb. 1.2:
Schematische Darstellung der Abhängigkeit eines Systems von seiner Umwelt ("Kontrollparameter"); links lineares Verhalten, rechts nonlineares Verhalten (Bifurkation)

b) Der Aspekt der Nonlinearität umfaßt, von einem intrasystemischen Standpunkt aus gesehen, Phänomene zirkulärer Kausalität, d.h. eine Ursache wirkt auf sich "selbst" zurück. Man kann zwischen positiver Rückkopplung ("Aufschaukelung"), bei der eine Systemvariable sich selbst weiterproduziert, und negativer Rückkopplung ("Dämpfung") unterscheiden. Ein Beispiel hierfür, die Autokatalyse in einem chemischen musterbildenden System, soll im Anschluß genauer betrachtet werden. Selbstverstärkende Prozesse allein würden nach kurzer Zeit zu exponentiellem Wachstum eines Variablenwerts führen. Selbstorganisierte Systeme, die in einem festgelegten Parameterbereich komplexes Verhalten zeigen, weisen deshalb Decken- und Bodeneffekte bzw. ein Zusammenspiel von positiver und negativer Rückkopplung auf, von Selbstverstärkung und Selbstdämpfung. Die Betonung der negativen Rückkopplung wie in homöostatischen Modellen der Systemtheorie (Ashby, 1985) greift deshalb zu kurz.

1.2 Die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion: ein Beispiel für Selbstorganisation

Wie im Fall der Bénard-Konvektion waren auch chemische Systeme, die Muster und Ordnung erzeugen, seit längerem bekannt (Bray, 1921), bevor ihnen unter der Perspektive der Selbstorganisation größere Aufmerksamkeit zuteil wurde. Die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion (im folgenden BZR) wurde von Belousov 1959 erstmals beschrieben, von Zhabotinsky systematisch untersucht (Zaikin & Zhabotinsky, 1970; Haken, 1983a).

Die BZR ist eine Reaktion aus den Bestandteilen Cersulfat, Malonsäure und Kaliumbromat in Schwefelsäure. Ein Farbindikator (Ferroin) ergibt eine Rotfärbung in Anwesenheit von Ce^{3+} -Ionen, eine Blaufärbung bei Ce^{4+} -Ionen. Bei beständiger Durchmischung in einem Gefäß zeigt die Lösung einen periodischen Farbumschlag (s. Abb. 1.3), der anzeigt, daß zu einem bestimmten Zeitpunkt jeweils die Konzentration einer Ionensorte sehr stark überwiegt. Dies widerspricht deutlich der Erwartung an chemische Systeme, einem Zustand des Fließgleichgewichts ("detailliertes Gleichgewicht" bzw. Homöostase, vgl. v. Bertalanffy et al., 1977) zuzustreben, bei dem sich Hin- und Rückreaktion dergestalt aufheben, daß die Veränderung der Teilkonzentrationen gleich Null ist, d.h. die Konzentrationen konstant bleiben. Die Lösung, in der die BZR stattfindet, stellt damit ein selbstorganisiertes System dar: die Oszillationsmuster werden nicht durch Einwirkung von außen generiert, sondern durch die Art der Organisation des Systems selbst.

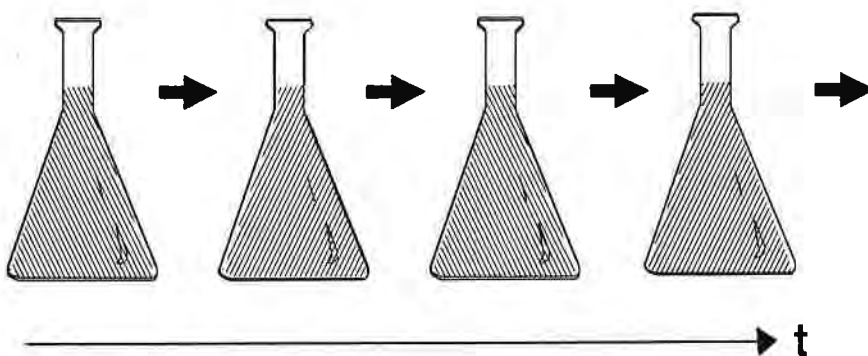
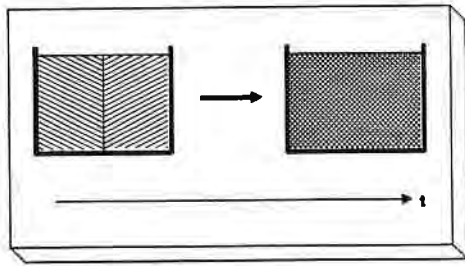


Abb. 1.3:
Darstellung regelmäßigen Farbumschlags in einer chemischen Uhr (Belousov-Zhabotinsky-Reaktion)

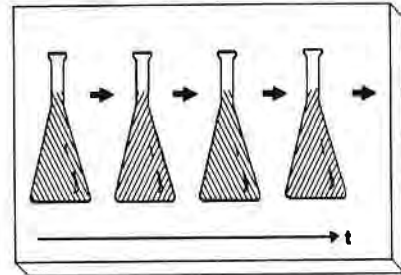
Die Periode dieser chemischen Oszillation ist völlig regelmäßig, je nach den experimentellen Randbedingungen im Bereich von Minuten. Werden dem Gefäß unter Rühren ständig neue Reaktanten zugeführt, kann der Prozess unbegrenzt weiter verlaufen. Aufgrund dieser auffälligen Eigenschaft wird die BZR auch als chemische Uhr bezeichnet.

Vergleicht man diese Art komplexen Verhaltens mit dem thermodynamischen Szenario in Abb. 1.1, sind die Unterschiede offensichtlich. Das System in 1.1 verliert seine rot-blaue räumliche Asymmetrie und damit seine Organisation und Ordnung. System 1.1 ist energetisch und materiell geschlossen, es besitzt (fast, denn es wird ja beobachtet) keine Umwelt. Dagegen zeigt die BZR Selbstorganisation, denn sie evolviert aus einem Anfangszustand gleichen Konzentrationsverhältnisses in sich abwechselnde Extrema, die durch entweder rote oder blaue Färbung angezeigt sind. Es ist also eine zeitliche Symmetriebrechung zu beobachten (Nicolis & Prigogine, 1987): blauer Zustand jetzt, roter später. Die Oszillation des BZR-Systems ist eine emergente Eigenschaft, da sie dem System nicht durch die Umwelt, etwa durch entsprechende Schwankungen der Kontrollparameter, kommuniziert wird. Bemerkenswert ist weiterhin das nonlineare Verhalten der BZR in Reaktion auf äußere Störungen (z.B. Zufuhr einer kleinen Wärmemenge), das sich deutlich von dem konservativer Oszillatoren wie einem reibungsfreien Pendel unterscheidet. Die chemische Uhr nimmt nach einer Übergangsphase wieder Periode und Amplitude der eigenen Oszillation an, während das Pendel den Impuls des störenden Stoßes bewahrt und fortan einen veränderten Schwingungszustand aufweist (Nicolis & Prigogine, 1987). Damit gleicht das Verhalten des selbstorganisierten chemischen Systems dem mancher biologischer Oszillatoren (z.B. dem Schlaf-Wach-Rhythmus), ohne doch ein "lebendes" System zu sein (Winfree, 1987, 1988).

Der Vergleich von System 1.1 (aus Abb. 1.1) und System 1.3 (BZR) soll noch etwas weiter geführt werden, um die Voraussetzungen für selbstorganisiertes Verhalten exemplarisch zu verdeutlichen.



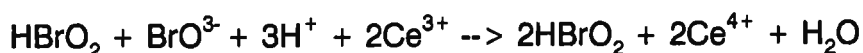
entropes System 1.1



selbstorganisiertes System 1.3

a) Wie erwähnt, stellt System 1.1 ein abgeschlossenes System dar, in dem die Entropie notwendig steigt. Die BZR dagegen muß offen gegenüber Zufuhr neuer Reaktanten gehalten werden, denn die Oszillation erhält sich auf Dauer nur durch Materialdurchsatz, dessen Ausmaß den Abstand des Systems vom thermodynamischen Gleichgewicht bestimmt. Die Offenheit der Systemgrenzen ist notwendig für die Selbstorganisation in 1.3.

b) System 1.1 verliert seine makroskopische Ordnung auf Kosten einer Zunahme mikroskopischer Freiheitsgrade, während das BZR-System makroskopische Ordnung aufgrund molekularer Reaktionen gewinnt. Analysiert man die Art der Verknüpfung auf der mikroskopischen Ebene der BZR, sind, wie oben dargelegt, nonlineare Zusammenhänge zu erwarten. Diese liegen tatsächlich vor, und zwar in Form eines autokatalytischen Reaktionsschrittes:



Die chemische Summenformel zeigt, daß bromige Säure (HBrO_2) zu ihrer eigenen vermehrten Herstellung beiträgt, denn auf der rechten Seite sind zwei Teile bromige Säure entstanden (2HBrO_2). Da gleichzeitig vierfach positive Cer-Ionen (Ce^{4+}) freiwerden, die durch die Blaufärbung des Indikators nachgewiesen werden, führt die Autokatalyse der bromigen Säure zur plötzlichen Blaufärbung der Lösung.

Es kann also festgehalten werden, daß in Form der Selbst- oder Autokatalyse (eine chemische Verbindung katalysiert ihre eigene vermehrte Produktion) eine "zirkuläre Kausalität" zur Voraussetzung für das nichtlineare Verhalten und damit für die Musterentstehung geworden ist.

Auf eine weitere Form der Selbstorganisation im Zusammenhang mit der BZR soll noch hingewiesen werden: die Entstehung von räumlichen Mustern, wenn die chemische Lösung in ein flaches Gefäß gebracht wird und wenn nicht gerührt wird. Da dieser Versuchsaufbau auf die Herstellung von räumlicher Symmetrie durch die Durchmischung verzichtet, ermöglicht er die Bildung räumlicher Symmetriebrechung.

Diese zeigt sich in Form konzentrischer Kreise oder Spiralen. Diese Art selbstorganisierten Verhaltens unterscheidet sich damit deutlich von der oben beschriebenen zeitlichen Symmetriebrechung der chemischen Uhr, obwohl die Mikroprozesse und die Zusammensetzung des chemischen Substrats



Abb. 1.4: Räumliche Symmetriebrechung der BZR (links) sowie in einem biologischen Substrat (Schleimpilz *Dictyostelium discoideum*; rechts). Die Fotografien stammen aus Winfree (1988)

die gleichen sind. Abb. 1.4 zeigt links ein Beispiel für die entstehenden (im Experiment roten und blauen) Strukturen.

Diese emergenten Strukturen werden als "autowaves" bezeichnet, da sie Wellen auf einer Flüssigkeitsoberfläche ähneln (Vasilev et al., 1987; Vidal & Pacault, 1984). Es handelt sich aber nicht eigentlich um Wellen, sondern um räumliche Inhomogenitäten der Konzentration von Produkten der BZR. Diese Strukturen wandern und drehen sich, wobei sie eine Reihe von Eigenschaften zeigen, die sie von Wellen unterscheidet. So findet etwa keine Interferenz zwischen zwei autowaves statt, sondern Auslöschung beim Aufeinandertreffen; Reflektion am Systemrand tritt nicht auf etc. (Krinsky, 1984b).

Autowave-Dynamik tritt, wie Abb. 1.4 (rechts) zeigt, nicht nur in chemischen selbstorganisierten Systemen wie der BZR auf. Man findet sie auch in biologischen Systemen wie bei Populationen von Schleimpilzen (Haken, 1983a); auch andere

biologische Substrate (wie etwa Herzmuskelgewebe mit seiner rhythmischen Aktivierungsausbreitung) zeigen vergleichbares Verhalten (Winfree, 1987). Eine spieltheoretische mathematische Modellierung weist auf analoge Anwendungen im Bereich der Populationsdynamik hin (Eigen & Winkler, 1975; Bossel, 1987).

Es ist ein bei selbstorganisierten Prozessen häufig zu findendes Phänomen, daß typische Dynamiken mit generischen Eigenschaften (Abraham & Shaw, 1984b) in ganz unterschiedlichen Substraten verwirklicht sein können. Haken (1989, pers. Mitteilung) bezeichnet sich deshalb als einen "Strukturalisten": gleiche Strukturen setzen sich über Substrate hinweg universell durch.

Solche strukturellen Entsprechungen und Analogien finden sich auch im Bereich chaotischer Systeme, worauf ich in späteren Kapiteln noch eingehen möchte. So hat sich etwa gezeigt, daß die Übergänge von geordneten zu chaotischen Zuständen universellen Regeln zu folgen scheinen. Unterschiedlichste Systeme beschreiben dieselben "Wege ins Chaos"; die Universalität dieser Strukturen hat den Rang einer Naturkonstante (zum Feigenbaum-Szenario s. Kap. 3).

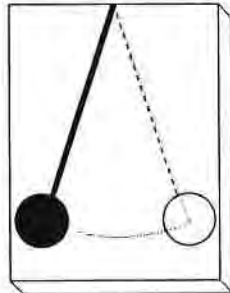
1.3 Überblick über ausgewählte selbstorganisierte Systeme

Andererseits zeigt sich am oben beschriebenen Auftreten von autowaves wieder der fundamentale Unterschied des selbstorganisierten Phänomens im Vergleich zu aus der klassischen Physik bekannten Phänomenen (den Wellen), selbst wenn die Prozesse sich oberflächlich gleichen. Dies ist analog dem Unterschied zwischen der chemischen Uhr (selbstorganisiert) und dem Pendel. Daran möchte ich verdeutlichen, daß Selbstorganisation mehr als ein nur mechanisches Phänomen darstellt (und so bereits an dieser Stelle dem Vorwurf des Physikalismus begegnen, dem sich eine an naturwissenschaftlichen Konzepten orientierte Systempsychologie schnell ausgesetzt sieht).

Diese Unterschiede sollen in der folgenden Tabelle schematisch zusammenge-

fasst werden:

Mechanisches Pendel



Grenzen
des
Systems

geschlossen bezüglich
Energie und Masse

thermodyn.
Zustand

gleichgewichtsnah

Entropie

irreversible Prozesse
erzeugen Entropie, die
Ordnung im System wird
aufgelöst

Symmetrie

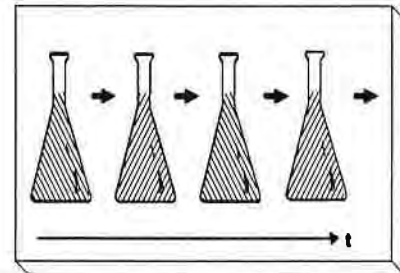
nimmt zu, da die Schwingung
des Pendelkörpers durch Rei-
bung zu Wärme wird

Frei-
heits-
grade

mikroskopische F. nehmen zu
makroskopische Parameter ver-
schwinden

"Wärmetod" (Boltzmann)

chemischer Oszillator



offen für Transport von
Masse, geschlossen bzgl.
Energie

gleichgewichtsfern

irreversible Prozesse
erzeugen Entropie, die
in die Umwelt des Systems
exportiert wird; innere
Ordnung wächst

nimmt ab, Symmetriebruch
Oszillation evolviert

makroskop. Parameter
entstehen

"Selbstorganisation"

Trotz der für das Phänomen der Selbstorganisation notwendigen Voraussetzungen (permanenter Aufenthalt des Systems fern vom Gleichgewicht, Nonlinearität) sind ordnungsbildende Prozesse nicht seltene, sozusagen in vitro hergestellte Anomalien, als die sie einer herkömmlichen naturwissenschaftlichen Sichtweise noch

vor kurzer Zeit erschienen. Vielmehr gibt es eine Vielzahl natürlich entstandener Systeme, die in dieser Hinsicht analoges Verhalten zeigen, ohne sich sonst zu gleichen. Es liegt deshalb nahe, die Erforschung der Selbstorganisation als ein interdisziplinäres Projekt anzulegen. Dies ist in den Metatheorien Prigogines und Hakens (der Synergetik) versucht worden, die unten näher dargestellt werden.

Die folgende Liste nennt eine Reihe von selbstorganisierten Systemen. Die Aufzählung kann nicht annähernd vollständig sein, denn es wird zunehmend deutlich, daß Selbstorganisation ein ubiquitäres Phänomen ist (Haken, 1988a). Die Liste soll deshalb lediglich belegen, wie groß die Vielfalt der Bereiche ist, in denen Selbstorganisation auftreten kann (Haken, 1983a, b; Nicolis & Prigogine, 1987; Jantsch, 1979).

Liste einiger Bereiche, in denen
Selbstorganisationsphänomene beschrieben wurden:

- Physik:

Laser

Dynamik von Flüssigkeiten (Bénard-Instabilität, Taylor-Instabilität)

Instabilitäten in Halbleitern

Plasma-Physik

- Chemie:

chemische Oszillatoren (BZR und ähnliche autokatalytische Prozesse; Brusselator, Oregonator)

räumliche Musterbildung (BZR)

- Biochemie:

Hyperzyklen (Selbstreplikation von Biomolekülen durch kreisförmige Koppelung von autokatalytischen Teilprozessen)

- Meteorologie:

regelmäßige Wolkenformationen ("Wolkenstraßen", Hurricanes etc.)

Klimaänderungen in großen Zeiträumen

- Geowissenschaften:

Wellen- und Oszillationsphänomene an Oberflächen, Trennflächen und Trennschichten verschiedenster Art (Dünenbildung, Mäander, Vulkanismus, geologische Schichtung und Faltung etc.)

- Astronomie:

galaktische und stellare Genese

Pulsare

Planetologie (Saturnringe, Wolkengebilde des Jupiter, "roter Fleck")

- Biologie:

Ontogenetische Bildung von Strukturen (Ausdifferenzierung beim Wachstum)

Biorhythmen

räumliche Musterbildung in Kulturen von Mikroorganismen (analog zu chemischen Mustern der BZR), bei Insekten (Ameisenzüge, Termitenbauten)

die Biosphäre der Erde insgesamt als "autopoietisches", selbsterhaltendes System

- Ökologie:

Populationsdynamik, Jäger-Beute-Systeme (Lotka-Volterra-System)

- Cognitive Science:

Künstliche Intelligenz: Parallelverarbeitung in Computern, "synergetischer Computer"

Zelluläre Automaten

Hirnforschung: der thalamokortikale Schrittmacher

- Soziologie:

Bevölkerungsmigration

Meinungsforschung

In einer Reihe weiterer Disziplinen ist innerhalb der letzten Jahre versucht worden, eine systemtheoretische Formulierung der anstehenden Fragen zu erreichen. Dies gilt insbesondere auch für die Psychologie. Die vorliegende Arbeit versteht sich als ein Programm, die Metatheorie der Selbstorganisation für eine empirisch fundierte psychologische Forschung fruchtbar zu machen.

Kapitel 2

SYSTEMORIENTIERTE ANSÄTZE IN DER PSYCHOLOGIE

2.1 Psychologie und Systemtheorie

Die Geschichte der Psychologie als Wissenschaft kann in groben Zügen als eine Geschichte der Auseinandersetzung zwischen holistischen und reduktionistischen Theorieentwürfen gesehen werden. Unter dieser Perspektive erscheint etwa die Entstehung der Gestaltpsychologie als Entgegnung auf die elementaristischen Ansätze im Assoziationismus. Der Antagonismus zwischen Gestaltpsychologie und Behaviorismus prägte daraufhin die Entwicklung der (akademischen) Psychologie in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts; dies endete in den vierziger Jahren mit einer vorläufigen Dominanz der reduktionistischen Auffassung, Psychologie könne und müsse auf das behaviorale Reiz-Reaktions-Schema reduziert werden. Der Behaviorismus etwa im Sinne Skinners (1953) verwies dabei legitimierend auf die wissenschaftstheoretische Position des Positivismus: Gegenstand wissenschaftlicher Theoriebildung dürfe nur sein, was sich in elementaren Sätzen wie Protokollsätzen fassen läßt.

Diese Grundlegung einer Verhaltenswissenschaft erwies sich jedoch im Laufe der nächsten 20 Jahre zunehmend als Einschränkung, so daß sich ab 1960 bedeutende Erweiterungen des behavioristischen Ansatzes etablieren konnten. Diese "kognitive Wende" der akademischen Psychologie war aus mehreren Quellen gespeist: neben der Unzufriedenheit darüber, sich als "Psycho"-loge einer psychischen (mental, kognitiven) Begrifflichkeit enthalten zu sollen, um einem positivistischen Wissenschaftsideal zu entsprechen, wurden verstärkt Entwicklungen aus Nachbardisziplinen rezipiert. Kybernetische Begriffe wie der des Regelkreises und der Rückkopplung fanden Eingang in psychologische Theorien, z.B. in Form des sog. TOTE-Schemas ("Test-Operate-

Test-Exit") als Modell einer regelkreisgesteuerten Handlung bei Miller, Galanter & Pribram (1960).

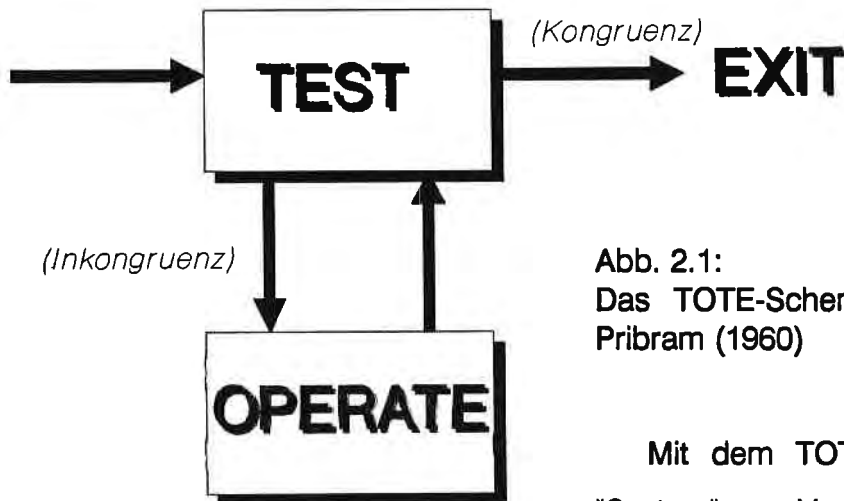


Abb. 2.1:
Das TOTE-Schema nach Miller, Galanter & Pribram (1960)

Mit dem TOTE-Regelkreis ist bereits ein "System" aus Verhaltenseinheiten beschrieben, das in verschiedener Hinsicht über die Annahme linearer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge (Reiz-Reaktion, S-R) hinausweist. Die kausale Zirkularität im Verhalten ("Operate") wird betont, denn die Schleife Verhalten - Überprüfung der Verhaltensergebnisse ("Test") kann mehrmals durchlaufen werden. Die Schleife endet ("Exit") bei Erreichen eines Sollwertes. Verhalten wird also aus seiner direkten Verursachung oder Steuerung durch Stimuli herausgelöst, indem auch Ziele und Pläne als verhaltensverursachend angesehen werden. Die neuere Kognitionspsychologie entsteht, indem die Psychologie bislang als intentionalistisch und aristotelisch verpönte Konstrukte wiederentdeckt. Solche zielorientierten Konzepte erschienen legitimiert, sobald in der technisch-pragmatisch ausgerichteten Kybernetik Homöostaten und Regelkreise gebaut und untersucht wurden. Das computationale Modell der Kognition entsteht (Kolars & Smythe, 1984), damit auch eine im weiteren Sinne systemische Orientierung. Denn eine Analyse der Komponenten des Regelkreises ist nur sinnvoll, wenn die Einbettung der Verhaltenskomponenten im Gesamt der Wechselwirkungen (dem Verhaltenssystem) nicht außer acht gelassen wird.

Weitere Ansätze zur Überwindung des behavioristischen Reduktionismus entlehnte die Psychologie der Biologie und verwandten Disziplinen. Besondere Bedeutung kommt hier dem Vorschlag v. Bertalanffys zu einer "General System Theory"

(1968) zu. Besonders der Homöostasebegriff, den bereits 1932 Cannon für physiologische Regelungsvorgänge verwendete, wurde durch die Klinische Psychologie aufgegriffen, und bildete seither ein grundlegendes Konstrukt der Familientherapie (Minuchin, 1977). Aus der Ökologie schließlich entstammen wesentliche Modellvorstellungen der Ökopsychologie (Environmental Psychology), die gewissermaßen per Definition menschliches Verhalten systemorientiert betrachtet, nämlich im Zusammenhang seines "Ökosystems" (Stokols & Altman, 1987; Fisher et al., 1984). Die Liste der Teilbereiche und Theorien innerhalb der Psychologie, die sich durch Übernahme systembezogener Metatheorien von einer reduktionistischen Sicht wegentwickeln, ließe sich beliebig weiterführen.

2.2 Ansatzpunkte zur Erweiterung einer reduktionistischen Methodologie

Mir scheint nun, daß angesichts einer wieder zunehmend "holistischen" Normalwissenschaft der Psychologie (im Sinne von Kuhn, 1967) ein Problem zunehmend deutlich wird: die auf der Ebene der Theoriebildung vorgenommene Erweiterung ist ohne weitergehende Konsequenzen im Bereich der Methodologie geblieben. Die als wesentlich erkannten Systembezüge von Verhalten führten deshalb bislang zu keiner neuen empirischen Orientierung. Damit droht dieser Ansatz m.E. in systemischer Metaphorik zu verlanden.

Nach wie vor ist weithin eine Vorgehensweise vorherrschend, die wie die klassische varianzanalytische Gruppenstatistik darauf basiert, Zufallsstichproben hinsichtlich ihrer statistischen Kennwerte miteinander zu vergleichen. Das prototypische Ergebnis eines solchen Designs ist es, erkennen zu können, wieviel Anteil an der Varianz einer interessierenden Größe (abhängige Variable) durch eine kontrolliert manipulierte (unabhängige) Variable erklärbar ist. Der Untersuchungsgegenstand ist durch eine oder mehrere AV dargestellt, die Umwelt des Untersuchungsgegenstands durch die UV, alle weiteren Wirkfaktoren werden als Randbedingungen konstant gehalten oder randomisiert. Es wurde oft darauf hingewiesen, daß ein großer Teil der

relevanten Information in einem solchen Verfahren verloren gehen kann, etwa weil Verläufe und Prozesse in die Daten nicht eingehen, oder wesentliche Wirkgrößen der Künstlichkeit des Settings zum Opfer fallen.

Inzwischen sind die prinzipiellen Beschränkungen der herkömmlichen varianzanalytischen Forschung auch in der akademischen Psychologie diskutabel geworden. Dörner (1989a) beschreibt die Schwächen des varianzanalytischen Prinzips anschaulich an einem fiktiven Beispiel "kleiner grüner Schildkröten", deren Dynamik mit den üblichen Versuchsplänen, die lineare Zusammenhänge zwischen Variablen statistisch untersuchen, nicht aufgeklärt werden kann. Das Problem liegt wesentlich in der Bildung von Mittelwerten über Prozessen und zeitlichen Verläufen, was in meinem Punkt 2.3 b) und d) unten angesprochen ist. Dörner fordert in seinem Artikel als Ausweg aus der varianzanalytischen Sackgasse ebenfalls die Untersuchung von Einzelfällen.

Eine Reihe von Konsequenzen wurden in Teilbereichen psychologischer Forschung aus den Mängeln der laborexperimentellen Methodik gezogen. Diese möchte ich im folgenden kursorisch ansprechen und charakterisieren. Andere der angeführten methodischen Abweichungen vom varianzanalytischen Mainstream der experimentellen Psychologie entwickelten sich aus den Einschränkungen, denen psychologische Forschung sich in praktischen Anwendungsbereichen wie etwa der Therapieforschung und der Umweltpsychologie ausgesetzt sieht.

-1- **Einzelfalldesigns:** Allport (1962) kritisierte die vorherrschende nomothetische Methodologie bereits in den fünfziger Jahren als dem Gegenstand der Psychologie (dem Individuum) nicht angemessen, und vertrat ein idiographisches Vorgehen. Besonders im Bereich der Psychotherapieforschung begann sich eine einzelfallorientierte Methodologie herauszubilden (Bergin & Strupp, 1970), die bereits von Campbell & Stanley (1963) als quasiexperimentelles Design vorgeschlagen worden war. Es handelt sich zumeist um Zeitreihenverfahren (Hersen & Barlow, 1976). Heute wird unter einzelfallorientiertem Vorgehen auch verstanden, sich auf die Analyse und Diagnose des einzelnen sozialen Systems zu konzentrieren; der idiographische Ansatz ist nicht notwendig auch individuenzentriert (Schiepek, 1987).

-2- **Prozessforschung:** In Abhebung zu reinen "outcome studies", die das Ergebnis einer therapeutischen Beeinflussung durch einen prä-post-Vergleich abschätzen, wird hier untersucht, wie sich Veränderungen während der Therapie im Austausch zwischen Klient und Therapeut ("im Prozess") ergeben (Hoch & Zubin, 1964; Rogers et al., 1967). Die als überflüssig bezeichnete Dichotomie zwischen Prozess- und outcome-Studien (Kiesler, 1966) hebt sich in der Analyse von Zeitreihen auf.

-3- **Zeitreihenanalyse:** Die in der Psychologie seit Box & Jenkins (1970) wichtigste Methode der Auswertung idiographischer Daten ist ein stochastisches Verfahren, das die Anwendung herkömmlicher Prüfstatistiken für den Mittelwertsvergleich (ANOVA, t-Test) auch auf einzelne Zeitreihen, die quasiexperimentell erzeugt wurden, sicherstellt. Notwendige Voraussetzung hierfür ist aber die Unabhängigkeit der einzelnen Daten. Dies ist bei den wiederholten Messungen im Verlauf eines Prozesses offensichtlich nicht der Fall, weshalb diese serielle Abhängigkeit mittels eines ARIMA-Modells aus den Daten eliminiert wird (Revenstorf, 1979). Ein prozessanalytisches Verfahren zur Erkennung der Häufung von Teilsequenzen in Serien von Einzelkodierungen ist die lag-sequential-analysis (Bakeman & Gottman, 1986; Valsiner, 1986).

-4- **Feldstudien:** In Abkehr von Untersuchungen im Labor, bei denen die strenge Kontrolle der Randbedingungen ("Störvariablen") besser gewährleistet sein soll, wird durch Feldstudien das interessierende Phänomen (die AV) im Kontext seines natürlichen Auftretens erfaßt. Die Reliabilitätskontrolle in Feldstudien und damit die Verlässlichkeit der Ergebnisse kann sehr unterschiedlich aussehen. Nicht oder wenig kontrolliert sind z.B. Studien mit teilnehmender Beobachtung (therapeutische Fallberichte, anthropologische Reportagen, hermeneutische Methoden wie etwa die Ethnomethodologie: Weingarten et al., 1976). Es können aber auch streng methodisch kontrollierte Verfahren entworfen werden, mit deren Hilfe Rosenthal-Effekte minimal bleiben, wie etwa Feldexperimente und Kategoriensysteme (zum Problem des Versuchsleitereffekts als einem Bereich der (Meta-) Sozialpsychologie vgl. Timaeus, 1974; Rosenthal & Rosnow, 1969). Methodische Fragen zu Untersuchungen in natürlichen Settings haben insbesondere auch für die Ökopsychologie Bedeutung (Ittelson et al., 1974; Pawlik, 1988).

-5- Beobachtung: Es wurde insgesamt gefordert, sich mehr oder ausschließlich auf deskriptive Methoden zu konzentrieren, da solche einem ökologischen oder systemischen Ansatz eher entsprächen (Barker, 1968; 1978). Der beschreibende und explorative Charakter von systemorientierten Untersuchungen der Familie (Familieninteraktionsstudien) wird von Brunner (1986) betont.

-6- Modellierung: Der Einsatz von Simulationstechniken in der Psychologie hat vor allem mit der Verfügbarkeit des Computers als Instrument rapide zugenommen (Krause, 1989; Dörner, 1984; Diederich, 1986). Innerhalb der Kognitiven Psychologie und der interdisziplinär entstandenen Cognitive Science ist der Modellbegriff zentral. Die kognitive Repräsentation der Außenwelt wird in Form "mentaler Modelle" (Gentner & Stevens, 1983; Johnson-Laird, 1983) konzipiert. Dem ging der Begriff der "cognitive map" in der Ökologischen Psychologie voraus (Lynch, 1960). Modelle von dynamischen Systemen werden als Methoden zur Untersuchung menschlichen Problemlöseverhaltens in komplexen Situationen verwendet (Dörner et al., 1983). Schließlich können Teilaspekte sozialer Situationen simuliert werden (Voß, 1989; Kuncze et al., 1981; Schiepek & Schaub, 1989; Tschacher & Brunner, 1990; vgl. auch die Spieltheorie: Eigen & Winkler, 1975; Watzlawick et al., 1969). Bischof (1985) hat eine umfassende Theorie des Verhaltens aus ethologischer Perspektive in Form eines kybernetischen Modells formuliert.

2.3 Postulate zu einer systemischen Empirie

Meiner Ansicht nach wird ein systemischer Ansatz für den Bereich einer Psychologie selbstorganisierter sozialer Systeme einer Reihe von Postulaten genügen müssen. Ich setze voraus, daß ein solcher Ansatz empirisch konzipiert sein muß. Es scheint mir nicht erstrebenswert, eine Theorie sozialer Systeme, die nicht zugleich auch Methodologie ist, oder Methoden zu ihrer Untersuchung zumindest zuläßt, zu entwickeln, auch wenn sie sich anschickt, die Begrifflichkeit der Selbstorganisation anzuwenden (Luhmann, 1984). Es ist ein implizites Credo unter manchen systemischen

Psychologen entstanden, daß quantitative strenge Methoden und die Selbstorganisationsperspektive "aus epistemologischen Gründen" inkompatibel seien. Die dafür angeführten Gründe sind vielfältig und komplex; zu einem großen Teil greifen sie Grundlagendiskurse der Erkenntnisphilosophie (das Subjekt-Objekt-Problem, das Leib-Seele-Problem) in modernerer Terminologie wieder auf. Dies führt mich zu meinem ersten, fundamentalen Postulat:

a) Der Ansatz der Selbstorganisation in der Psychologie muß **empirisch** und **quantitativ** vorgehen. Ein solcher operationaler Ansatz geht über qualitativ-hermeneutische Anschauungen und Anmutungen insofern hinaus, als er empirische Designs zur Erforschung von Selbstorganisationsphänomenen bereitstellt, d.h. sich kritisierbar macht. Diesem empirischen Postulat liegt die Annahme zugrunde, daß diese Perspektive in der Psychologie nicht mehr und nicht weniger von erkenntnistheoretischen Problemen tangiert ist als irgendeine andere Theorie in dieser Disziplin. Das Konzept der Selbstorganisation ist logisch und inhaltlich unabhängig von epistemologischen Grundsätzen wie etwa dem in diesem Zusammenhang diskutierten "radikalen Konstruktivismus" (Schmidt, 1987). Die epistemologische Debatte in der systemischen Klinischen Psychologie hat m.E. zu einer Vernebelung der wissenschaftlichen Fragestellungen geführt (vgl. 5.3 sowie Kapitel 8).

b) Die **Variable "Zeit"** steht im Mittelpunkt der Analyse. Vor der Aufrechterhaltung überdauernder Strukturen durch homöostatische Regelungen innerhalb zu untersuchender Systeme ist besonders die Evolution von Ordnung und Mustern von Interesse. Der Aspekt der Rekursivität ist in komplexen Systemen von Bedeutung, denn diese verhalten sich nicht nur in Bezug auf Umweltstimuli, sondern auch (gelegentlich auch vor allem) in Bezug auf ihr eigenes Verhalten, das sie "entwickeln". Unter Einbeziehung der Zeit kann das Entstehen selbstreferentieller Paradoxien und logischer Zirkel auf Theorieebene vermieden werden (vgl. 5.5.2; zur Unterscheidung von vertikaler und horizontaler Rekursion s. Kapitel 7).

c) Die systemische Analyse soll **topologisch** sein. Systemdynamik und Muster können als Gebilde im "Räumen" dargestellt und klassifiziert werden. Räume unterschiedlicher Art sind definierbar: der Konfigurationsraum etwa beschreibt den

euklidischen Raum unserer Wahrnehmung, innerhalb dessen sich Objekte (z.B. Personen) befinden. Das in der Ökologischen Psychologie untersuchte "räumliche Verhalten" von Individuen ist auf diesen "tatsächlichen" Raum bezogen. Ein Zustandsraum wird von den als Dimensionen genommenen Zustandsvariablen eines Systems aufgespannt: die Anzahl der zur Beschreibung notwendigen Variablen bestimmt die Dimensionalität des Zustandsraums. Die zeitliche Variation des Systemverhaltens kann als "Trajektorie" in diesem Raum dargestellt werden. Die Untersuchung dynamischer Systeme kann somit als Untersuchung der Eigenschaften der zugehörigen Räume aufgefaßt werden: als eine Topologie des Verhaltens (s. hierzu 2.4 und Kapitel 3).

d) Die systemische Analyse ist ganzheitlich und **idiographisch** insofern, als das Erkenntnisinteresse auf das beobachtbare Verhalten des intakten Systems gerichtet ist. Deshalb ist prinzipiell sowohl die isolierende Untersuchung einzelner, nicht rückgekoppelter Elemente unzureichend, wie auch statistische Mittelwertsvergleiche zwischen Stichproben, die mehrere Systeme umfassen.

e) Komplexe Systeme sind **hierarchisch**. Sie können als aus vielen Elementen zusammengesetzt angesehen werden, die für sich gesehen wieder Systemcharakter haben können. Damit kann man (zumindest) eine mikroskopische und eine makroskopische Betrachtungsebene unterscheiden. Selbstorganisierte Komplexität entsteht im Zusammenwirken der Teile unter gleichzeitiger Reduktion von Freiheitsgraden (s. Kapitel 4). Die Synergetik als (Meta-)Methode basiert auf der Zusammensicht von Mikro- und Makroebene (Haken, 1985).

f) **Neue Methoden**, die über den innerhalb der Sozialwissenschaften dominanten gruppenstatistischen Ansatz hinausgehen, müssen entwickelt oder für psychologische Fragestellungen angepaßt werden. Insbesondere sollen zu den bestehenden stochastischen Methoden der Zeitreihenanalyse deterministische Verfahren hinzutreten. Besonders deutlich wird das an der ARIMA-Methode der Zeitreihenanalyse in der Sozialwissenschaft (Revenstorf, 1979; Schmitz, 1989), die die serielle Abhängigkeit von Zeitreihendaten eliminiert, um gewisse Prüfstatistiken berechnen zu können. Gerade diese serielle Abhängigkeit beinhaltet aber die Information, die angesichts der hier

entwickelten systemischen Perspektive interessiert! (Auf Beispiele und Konzepte einer dynamischen Zeitreihenanalyse wird in Kapitel 3 und in 5.5.2 näher eingegangen.)

Das Augenmerk der vorliegenden Arbeit liegt im Sinne dieser Postulate auf einer Darstellung eines Forschungsprogramms, das sich der Untersuchung (kleiner) sozialer Systeme, wie Familien und Gruppen, widmet. Ziel ist dabei ein besseres Verständnis der Dynamik solcher Systeme, um eine Basis zur Weiterentwicklung der Familien- und Systemtherapie zu schaffen.

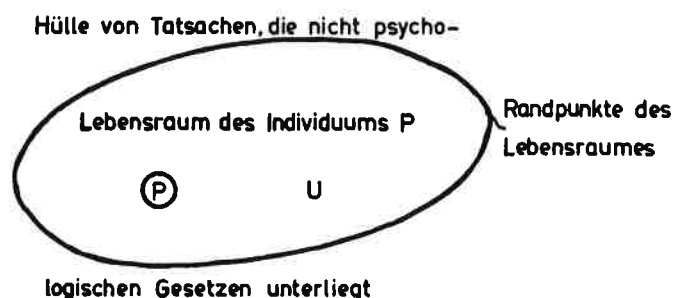
2.4 Lewins Feldtheorie als Prototyp einer systemischen psychologischen Theorie

Räumliche Darstellungen psychologischer Zusammenhänge sind insbesondere mit dem Namen Kurt Lewin verbunden, der in den dreißiger Jahren die "Grundzüge der topologischen Psychologie" (1969; Erstveröffentlichung auf englisch 1936) schrieb. Dabei handelt es sich um einen aus der feldtheoretischen Gestaltpsychologie (Köhler, 1920) entstandenen Ansatz zur mathematischen Formalisierung des "Lebensraums" einer Person. Dieser wird von Lewin verstanden als "Gesamtbereich dessen ..., was das Verhalten eines Individuums in einem gegebenen Zeitmoment bestimmt." Der Lebensraum einer Person umfaßt damit die Person (P) und ihre Umwelt (U). Wird als V das "Verhalten oder sonst irgend eine Art psychischen Geschehens" abgekürzt, ergibt sich die Darstellung in Abb. 2.2 und der Zusammenhang (Lewin, 1969):

$$V = f(PU) \quad (2.1)$$

Abb. 2.2:
schematische Darstellung des Lebensraums (aus: Lewin, 1969)

Ich würde es vorziehen, diesen Sachverhalt aus heutiger Sicht geeigneter so auszudrücken:



$$dV/dt = f(P,U,V) \quad (2.2)$$

Damit wäre das Lewinsche Kürzel um den wichtigen Aspekt der Rekursivität erweitert, denn das (neue) Verhalten dV ist immer auch Funktion des (vorausgegangenen) Verhaltens V . Durch die explizite Nennung eines Zeitintervalls dt ist sichergestellt, daß diese Rekursivität keine "Selbstreferenz" meint.

Der ganzheitliche Ansatz "von oben nach unten", d.h. die vorrangige Betrachtung von Konstellationen und Mustern, die Einzelteile unter der gestaltbildenden Einwirkung des Feldes einnehmen, ist der gestaltpsychologischen Vorgehensweise eigen. Bezüglich des analytischen Vorgehens in der Feldtheorie ist es dabei "...vorteilhafter, mit einer Charakterisierung der Gesamtsituation zu beginnen" (Lewin, 1942).

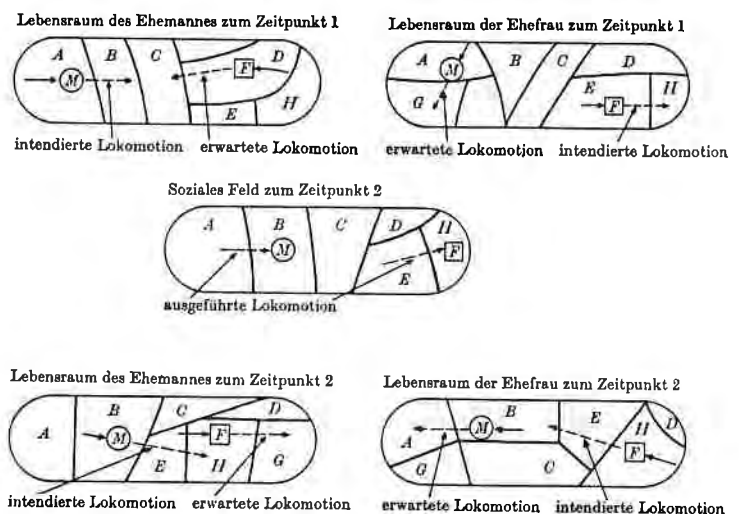
Der Schwerpunkt der Untersuchung und Begriffsbildung verlagert sich von Objekten auf das Geschehen. Diese Betonung der Dynamik des Lebensraums, also der Veränderung, fokussiert sich in Begriffen wie den (meist psychisch verstandenen) Lokomotionen, Kräften und Vektoren. Lewin betont dabei die zeitliche Ausdehnungslosigkeit des Lebensraums durch ein "Prinzip der Gleichzeitigkeit": "... weder vergangene, noch zukünftige Fakten" können "das gegenwärtige Verhalten beeinflussen, sondern lediglich die gegenwärtige Gesamtsituation." Daraus ergebe sich "die sehr weittragende Folgerung, daß man für die Beantwortung der systematischen Kausalfragen Geschehensverläufe als eine Folge von Situationen ('Momentschnitten') darzustellen hat" (Lewin, 1969, S. 55). Soll also Zukünftiges Einfluß haben (etwa ein Ziel oder eine antizipierte Belohnung), so muß es Teil des gegenwärtigen Momentschnitts sein, einen Bereich des Lebensraums einnehmen. Dies ist letztlich die Umkehrung von Lewins bekanntem Satz: "Wirklich ist, was wirkt." Auf diese Weise ist m.E. aus psychologischer Sicht das Problem der Teleologie elegant dadurch ausgeräumt, daß mit dem Lebensraumbegriff im Zentrum des Ansatzes eine "objektive" kognitive Repräsentation der Umwelt steht. In heutiger Terminologie würde man von einem mentalen Modell im Sinne Johnson-Lairds (1983) oder von einer Simulation sprechen.

In Fragen der Methodik betont Lewin die Determiniertheit des psychischen Geschehens. Er erstrebt, allgemeine Gesetze vom Typ $V=f(PU)$ aufzudecken, die Verhalten auf die Dynamik des Lebensraums zurückführen. Dies wird in Abhebung zu einem "historischen" (der Grund für die Gegenwart liegt in der Vergangenheit) als

"systematischer Ursachenbegriff" bezeichnet (Lewin 1969, S. 51). Damit solle auch der Gegensatz zwischen (statistischer) abstrakter Allgemeingültigkeit und dem Einzelfall aufgehoben werden, denn die strikte Gesetzmäßigkeit gelte auch für diesen (S. 30).

Gemäß einem topologischen Ansatz, wie ich ihn in dieser Arbeit vertrete, kann die Dynamik sozialer Systeme als in abstrakten Räumen stattfindend konzipiert werden. In Anlehnung an das Konzept des Lebensraums ist mit "Raum" ein mehrdimensionales Modell des sozialen Zueinander der Individuen gemeint. Ein analoger Begriff aus der Gruppendynamik (Lewin, 1947) ist der des "sozialen Feldes"; das soziale Feld entsteht durch eine Art von Projektion der einzelnen Lebensräume der Individuen aufeinander. Am Beispiel eines Paares demonstriert Lewin, wie sich das soziale Feld aus den Lebensräumen von Mann (M) und Frau (F) herleitet (s. Abb. 2.3).

Abb. 2.3:
Darstellung der Lebensräume zweier Individuen sowie des sozialen Feldes, das beide enthält (aus: Lewin, 1947)



Lewins Analyse des Beispiels vollzieht sich als Dreierschritt: Die psychologische Analyse der individuellen Felder (der "subjektiven" Lebensräume) ist die Grundlage zur Vorhersage des "objektiven" sozialen Feldes. Aus diesem wiederum leitet sich durch Wahrnehmung die nächste psychologische Situation für die beteiligten Personen ab. Lewin betont in diesem Zusammenhang als "eine der Grundeigenschaften des Gruppenlebens", daß jede Handlung eines einzelnen oder der Gruppe von kreisförmig verlaufenden kausalen Prozessen gesteuert wird. Wahrnehmung und Verhalten werden als wechselseitig abhängig beschrieben.

Aus dem Gesagten ist deutlich die Entsprechung von Teilen des Ansatzes Lewins mit der systemischen Metatheorie in der Psychologie von heute zu erkennen. Der topologische Ansatz allerdings wurde von den zahlreichen Schülern Lewins nicht explizit weiterverfolgt (Kebeck, 1984). Die Anleihen bei der Mathematik wurden als nur

deskriptiv und als beliebig kritisiert; seitens der Mathematik wurde eingewandt, Lewin befände sich nicht auf dem letzten Stand der von ihm benutzten mathematischen Begrifflichkeit (Gardner, 1983). Die mittelbare Auswirkung der gestaltpsychologischen Konzepte in der Fassung Lewins ist dennoch beträchtlich. Die Ökopsychologie wurde wesentlich vom Konzept des Lebensraums mitbeeinflusst, insbesondere in der die physische Umwelt deutlicher gewichtenden "Ecobehavioral Science" des Lewinschülers Barker (1968), die sich um den zentralen Begriff des behavior settings aufbaut (Kaminski & Immelmann, 1987).

Die genannten Stellen machen m.E. deutlich, wie weitgehend die Auffassungen einer systemisch orientierten Psychologie in Lewins Gedanken bereits vorweggenommen worden sind. Auffällig ist auch die große Ähnlichkeit der Feldtheorie mit den Konzepten, die die Familientherapie in die Klinische Psychologie einbrachte. Es scheint mir ein Bruch in der Entwicklung psychologischer Theorien zu sein, daß über diesen Ursprung systemischer Therapie und systemorientierter Ansätze in der Psychologie unverdient wenig reflektiert wurde (vgl. aber Brunner, 1988; Simon & Stierlin, 1984; Tschacher & Herrmann, 1984).

2.5 Soziale Systeme und Grenzen

In der oben angesprochenen Terminologie Lewins wird das soziale Feld als eine Überlagerung der Lebensräume der interagierenden Personen verstanden. Sowohl dem Lebensraum als auch dem sozialen Feld sind Grenzen eigen, die die topologische Mannigfaltigkeit in Bereiche einteilen, zwischen denen Lokomotionen möglich sind. In späteren Kapiteln wird gezeigt, wie eine Methodologie zur Erforschung sozialer Systeme auf der Basis synergetischer und dynamischer Begriffe Räume aufspannt (z.B. Phasenraum und Parameterraum). Auf dieser Basis werde ich vertreten, daß therapeutische Intervention als eine Form der Lokomotion in solchen (von Lewin nicht angesprochenen) Räumen aufzufassen ist.

Innerhalb der Familientherapie ist im Vergleich mit der Gestaltpsychologie und

Topologischen Psychologie der ganzheitliche, besser: systemische Charakter des sozialen Feldes (meist in Form des Familiensystems) hervorgehoben worden. Ich möchte im folgenden darstellen, inwiefern die Phänomene an der Schnittstelle zwischen Individuum und sozialem System mit dem Begriff der Grenze beschrieben werden können.

Für eine Theorie sozialer Systeme stellt der Begriff der Grenze als ein individuenbezogenes Konstrukt die Verbindung zum sozialen Raum her, in welchen das Individuum eingebettet ist. Eine Grenze ist eine interindividuelle Schnittstelle, die selbst durch fortwährende Prozesse der Interaktion und Kommunikation aktiv produziert wird. Grenzen sind als ein System konstituierende Elemente anzusehen: nur durch Grenzziehung kann eine Kompartimentalisierung, also eine Einteilung in topologische Bereiche erfolgen, innerhalb derer Prozesse ablaufen können, die ein bestimmtes Milieu erfordern. So sind im Beispiel des biologischen Systems "Zelle" der Interstitialraum und das intrazelluläre Milieu durch eine stoffliche Membran abgegrenzt, die selektiv permeabel den Ein- und Ausstrom gelöster Substanzen steuert.

Psychologische und soziale Grenzen sind weniger eindeutig zu bestimmen. Innerhalb der Familientherapie wird zwischen Grenzen unterschieden, die die Familie als System von ihrer sozialen und physischen Umwelt unterscheiden und solchen Grenzen, die eine Binnenstrukturierung über die Untereinheiten der Familie (die Individuen, das Elternpaar, die Menge der Geschwister etc.) bewirken. Minuchin (1977) definiert die Grenzen der familialen Untereinheiten (Subsysteme) auf dem Weg über "die Regeln, die darüber bestimmen, wer an diesem Subsystem beteiligt ist und wie seine Beteiligung aussieht." In dieser Sicht erfolgt die Differenzierung eines Familiensystems durch Grenzen, denn diese erlauben und schützen die Entstehung spezifischer Strukturen der Subsysteme. Die Beschaffenheit der Grenzen gilt demnach als Indikator für das Funktionieren der Familie. Aufgaben der Familie wie die Sozialisation der Kinder, die partnerschaftliche Beziehung von Mann und Frau und andere hängen von der Flexibilität der Grenzen ab. Die Extreme wie Verstrickung und Loslösung (Minuchin, 1977; die Kohäsionsdimension im Circumplex-Modell bei Olson et al., 1979, s. Abb. 7.4), Bindung und Ausstoßung (Wirsching & Stierlin, 1982) werden als dysfunktional

und potentiell pathogen angesehen.

Auch seitens einer nicht explizit systemischen Psychologie sind Störungen der Abgrenzung zur Beschreibung pathologischen Verhaltens herangezogen worden. So kann etwa Schizophrenie unter dem Aspekt einer Störung der Grenzen des betroffenen Individuums angesehen werden (Davison & Neale, 1988; Steimer et al., 1988). Die Verwischung interaktiver Grenzen liegt beispielsweise im Symptom des "Beziehungswahns" darin, daß beliebig distante soziale Vorgänge als relevant und bedrohlich für die eigene Person attribuiert werden. Die Schutzfunktion sozialer Grenzen bricht dann mit weitgehenden emotionalen und kognitiven Folgen zusammen.

Es ist jedoch wichtig, sich Grenzen nicht als bloße Barrieren vorzustellen, die Zusammenhang und Interaktion zwischen Subsystemen verhindern. Dies käme einer Überbewertung der trennenden Funktion gleich. Vielmehr ermöglichen Grenzen erst Interaktion, indem sie die "Regeln des Spiels" etablieren, die beachtet, entwickelt oder übertreten werden können. Als Analog kann wieder die biologische Membran dienen, die sowohl trennt als auch dynamisch den Stofftransport zwischen Bereichen organisiert.

Solche soeben phänomenologisch umrissenen Prozesse wären unter dem ökopsychologischen Begriff "Grenzregulation" einzuordnen (Altman, 1975). Die Grenzregulation innerhalb eines sozialen Systems wird deshalb unten (5.4.1) als ein Phänomen der Makroebene aufgefaßt, das sich aus einer sehr großen Zahl parallel ablaufender, kognitiv-emotionaler Mikroprozesse der Individuen herstellt (zum Verhältnis von Kognition und Emotion s. Mandl & Huber, 1983). Diese Mikroprozesse sind das traditionelle Gebiet einer individuenbezogenen Psychologie, ihre Verknüpfung innerhalb eines sozialen Systems Gegenstand der Sozialpsychologie. An dieser Stelle möchte ich betonen, daß soziale Systeme wie Familien oder Gruppen nicht über Individuen als Komponenten konzipiert sein sollen (Kriz, 1985). Eine solche Auffassung kommt zwar alltagspsychologischen Vorstellungen vom Familiensystem entgegen, und ist in manchen familientherapeutischen Darstellungen vertreten; Gründe dafür, daß diese Auffassung theoretisch unzureichend ist, werden in 5.2 und 5.4 ausgeführt.

Mikroprozesse, die Grundbestandteile sozialer Systeme, sind demnach basale

Vorgänge der Wahrnehmung (s. z.B. die kognitiven Theorien der selektiven Aufmerksamkeit bei Treisman, 1969; Broadbent, 1958; Neisser, 1976), des Lernens (operante und instrumentelle Konditionierung, Bildung von Reiz-Reaktions-Korrelationen, kognitive Verarbeitung) und des so modulierten Verhaltens. Man kann davon ausgehen, daß ein großer Teil dieser Mikroprozesse ohne Bewußtseinszuwendung vonstatten geht: dies zeigen u.a. einfache quantitative Erwägungen, da der Anteil verbal verfügbarer, erinnelter Information um einige Größenordnungen kleiner ist als der Informationsgehalt der an den sensorischen Flächen verfügbaren Reizarrays.

Die Fülle des Faktenwissens über Mikroprozesse ist ähnlich unüberschaubar wie die Zahl der den Bewußtseinsstrom konstituierenden Teilprozesse. Verschiedene wissenschaftliche Disziplinen von der Psychophysiologie bis zur Tierverhaltensforschung haben zu diesem Wissen beigetragen. Dennoch bleibt dieses Wissen isoliert und fragmentarisch, wenn man versucht, es auf realistische Situationen anzuwenden. Für diese nämlich wäre es wichtig, über die Verknüpfungen zwischen den atomaren Vorgängen Aussagen machen zu können; hier ist entscheidend, Muster und Gestalten in der längeren zeitlichen Erstreckung zu identifizieren. Statt der unmittelbaren Zusammenhänge von Einheiten der mikroskopischen Ebene sind "Korrelationen großer Reichweite" (vgl. Nicolis & Prigogine, 1987) relevant. Im Beispiel des in Kapitel 1 beschriebenen selbstorganisierten Systems "Belousov-Zhabotinsky-Reaktion" entstehen die kollektiven, synchronen Farbumschläge durch solche weitreichenden Korrelationen; die Analyse des einzelnen Reaktionsschritts auf der Ebene der Moleküle allein kann die konzertierte Aktion des Systems aus sehr vielen Molekülen nicht erklären. In analoger Weise sehe ich die Grenzregulation eines sozialen Systems durch noch so detaillierte Kenntnis von "Gesetzen" auf S-R-Ebene nicht aufklärbar. Das Gesamt der Reize und Reaktionen erzeugt auf einer qualitativ neuen Ebene (der Makroebene des Systemraums) Muster und Ordnung.

2.6 Die Bedeutung von Grenzen für Selbstorganisation

Das hier vertretene Vorgehen soll die sich ergebende Dynamik der Makroebene auf synergetische Prozesse hin analysieren. Dabei gehe ich davon aus, daß das selbstorganisierte Verhalten des sozialen Systems, das sich aus dem (nonlinearen) Zusammenwirken auf der kognitiv-emotionalen Ebene ergibt, als Interaktionsmuster im Bereich der Grenzregulation sichtbar wird.

Im vorangegangenen ist deutlich geworden, daß Grenzen innerhalb einer topologischen Theorie sozialer Systeme eine wichtige Rolle zukommt. Ich möchte in diesem Zusammenhang die Hypothese aufstellen, daß Grenzen insofern dynamisch interessante Gebilde sind, als Phänomene an Grenzen notwendige Voraussetzung für Musterbildung und Selbstorganisation sein können.

Anlaß zu dieser Auffassung gibt die große Zahl natürlicher Systeme, die Selbstorganisationsphänomene an den Grenzen verschiedener Medien zeigen. Man möge die Tabelle am Ende von Kapitel 1 daraufhin durchschauen: es finden sich viele Beispiele dafür, daß Muster an der Grenze zweier oder mehrerer Medien entstehen. Dies mögen verschieden warme und/oder bewegte Luftschichten sein, an deren Grenze geordnete Wolkenformationen auftreten; warme und kalte Regionen, zwischen denen Bénard-Konvektionen entstehen; ein rotierender Zylinder, der in einem größeren, mit Flüssigkeit gefüllten Zylinder steht und in der Grenzflüssigkeit verschiedenste Wellenformationen (die Taylor-Instabilität) erzeugt; ein Fluß, der in verschiedener Weise regelmäßige Wellenmuster ausprägt: Wasserwellen an der Grenze zur Luft, gerippte Muster im Sand des Flußbetts, Mäander in waagrechter Richtung. Die Liste solcher Beispiele für konkrete Grenzen läßt sich beliebig fortführen.

In diesen physikalischen Systemen findet, abstrakt gesehen, stets eine Dissipation gerichteter Energie statt. Auf der Grundlage der dissipativen Prozesse (in den Beispielen sind dies Reibung und Diffusion) kann Ordnung emergent entstehen.

Die Bedeutung von Grenzen erklärt sich auch aus der Tatsache, daß es sich bei selbstorganisierten Systemen nie um geschlossene Systeme handelt. Stets sind Flüsse (von Materie, Energie, Information) vorhanden, die auf Binnenstrukturen des Systems

treffen und dort zu Ordnungsbildung führen. Gewissermaßen ist das System selbst die Grenze, die Quelle und Ziel dieser Flüsse trennt.

In einem allgemeineren Sinne sind es auch Grenzen, an denen die komplexen Muster der Mandelbrot- und Juliamengen beobachtet werden können. Solche Grenzen werden in der Theorie dynamischer Systeme als Separatrizen bezeichnet; sie trennen die Einflußbereiche verschiedener Attraktoren. Bevor in Kapitel 3 auf Details dieses mathematischen Beitrags zum Thema Selbstorganisation eingegangen wird, möchte ich auf Peitgen & Richter (1986) hinweisen, die die Bedeutung von Grenzen auf diese Weise betonen:

"(...) A considerable number of our pictures are from this border zone. We discover a fantastic world there, whose richness of forms contrasts almost grotesquely with the simplicity of the formula $x \rightarrow x^2 + c$. But is it not a familiar experience, that diversity flourishes particularly well at boundaries? Clear contours are the exception in the tension between opposing principles. Every larger conflict reveals a thousand smaller ones. In this way, the general course of the border corresponds to similar structures at finer and finer scales." (S.16).

Ich habe zu zeigen versucht, daß in vielen Fällen natürlicher Selbstorganisation dissipative Vorgänge an Grenzen zwischen Medien eine gewichtige Rolle spielen: an solchen Grenzen nämlich können sich Muster emergenter Ordnung ausbilden. In diesen Fällen differenziert sich eine bereits gebrochene Symmetrie in Kaskaden weiterer Symmetriebrechungen aus.

Auf der anderen Seite gibt es Beispiele selbstorganisierter Systeme, die diesem Schema nicht zu entsprechen scheinen. Das sind insbesondere chemische Systeme, die aus einem räumlich homogenen Zustand heraus Strukturen erzeugen können. Dissipativ ist hier der Ablauf chemischer Reaktionen, die zu einer Ausbildung räumlich getrennter Phasen führen. Man kann sagen, daß hier ein System erst noch im Begriff ist, Grenzen herzustellen. Beispiele für solche durch Selbstorganisation ausgebildeten Grenzen sind die autowaves der chemischen Uhr (also die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion) oder die membranähnlichen Strukturen einer präbiotischen Evolution (Eigen & Schuster, 1979; an der Heiden et al., 1985).

Ich denke, daß es im Zuge eines Analogieschlusses zwischen Systemen mit

isomorphen Strukturen möglich ist, folgende allgemeine Arbeitshypothese zu formulieren:

Soziale Systeme sind dadurch charakterisiert, daß in ihnen laufend Grenzregulationsprozesse in großer Zahl stattfinden. Auf der Grundlage dieser Prozesse können soziale Systeme selbstorganisiert sein, d.h. kohärente Interaktions- und Verhaltensmuster makroskopischer Erstreckung spontan ausbilden. In einer für das einzelne System charakteristischen Geschichte von Phasenübergängen und Symmetriebrüchen diversifizieren sich soziale Systeme fortwährend und irreversibel weiter.

Diese "Arbeitshypothese" ist in dieser Form natürlich noch weit davon entfernt, empirisch überprüfbar zu sein. Weitere Schritte auf dieses Ziel zu finden sich in Kapitel 6.

Kapitel 3

TOPOLOGIE DES PHASENRAUMS: THEORIE DYNAMISCHER SYSTEME

3.1 Zwei Ansätze zur Modellierung

Die Theorie dynamischer Systeme ist im Überschneidungsbereich zwischen der Mathematik und den Naturwissenschaften angesiedelt. Im engeren Sinne bezeichnet "Dynamik" ein Teilgebiet der Mechanik (also der Physik), innerhalb dessen das Verhalten von Körpern unter Einwirkung von Kräften betrachtet wird. Insofern befaßte man sich seit Newtons grundlegenden Arbeiten in der Theorie der Dynamik mit dem Studium von Differentialgleichungen, durch die die Gesetze der Bewegung von Körpern abgebildet werden konnten.

Durch Poincaré (1899) fanden geometrische Methoden der qualitativen Analyse dieser mathematischen Modelle Eingang in die Dynamik. Außerdem erweiterte sich der Gebrauch des Begriffes "Dynamik" dergestalt, daß nun auch andere Sachverhalte als die der Newtonschen Mechanik als dynamische Systeme aufgefaßt wurden. Innerhalb der letzten 20 Jahre gab es eine Explosion der Forschung auf dem Gebiet der nichtlinearen Dynamik. Dies kann in Zusammenhang mit verschiedenen Entwicklungen gesehen werden:

- Zum einen wurde, wie bereits oben ausgeführt, mehr und mehr die Allgemeinheit im Verhalten sehr unterschiedlicher Systeme deutlich, was sich in den interdisziplinären Arbeiten v.a. Hakens und Prigogines niederschlug, die sich der methodischen Mittel der Theorie dynamischer Systeme bedienen.
- Weiterhin wirkte die Erkenntnis, daß jenseits der bekannten Gleichgewichtsphänomene auch eine komplexere Form der "Ordnung im Chaos" (Bergé et al., 1984) existiert, sehr inspirierend. Daß auch in diesem Bereich eine Universalität

aufgefunden wurde, und sich so der Zahl der Naturkonstanten unerwartet die Feigenbaumkonstante zugesellte, wurde als eine Art Sensation gewertet (vgl. Gleick, 1988).

- Eine wesentliche Voraussetzung für den Wissenszuwachs im Bereich der Dynamik ist schließlich in der Computertechnologie zu sehen. Insbesondere die Untersuchungen im Bereich der Chaosforschung wären ohne elektronische Rechner und Computergrafik nicht denkbar.

Das innerhalb der Theorie dynamischer Systeme charakteristische Vorgehen ist das Studium von mathematischen Modellen, die nur teilweise aus empirischen Problemstellungen (zumeist der Physik) hervorgegangen waren. Experimentieren bedeutet so nicht notwendigerweise Versuchsdurchführung an realen Systemen, sondern vorwiegend Untersuchung symbolischer Systeme am Computer. Die an Modellsystemen gewonnenen Erkenntnisse auf empirische Daten anzuwenden, ist eine Entwicklung, die sich erst innerhalb der letzten beiden Jahrzehnte eröffnete. Damit kann im groben Überblick die Methodik der Theorie dynamischer Systeme als zweigegliedert aufgefaßt werden:

- 1. Simulationsexperimente untersuchen mathematische und logische Systeme, die oft, aber nicht notwendigerweise, als Modelle oder Repräsentationen real vorfindlicher Systeme konzipiert wurden. Diese Systeme können auch für sich genommen Forschungsgegenstand sein. Im Vorgriff auf unten ausführlicher darzustellende Vorgehensweisen lassen sich Unterscheidungen zwischen folgenden rein symbolischen oder mathematischen dynamischen Systemen treffen:

- * Differentialgleichungen
- * Differenzengleichungen (Abbildungen, maps, Iterationsanweisungen)
- * zelluläre Automaten (Wolfram, 1984)
- * Untersuchungen am Analogcomputer (die Gruppe um R.S. Shaw, vgl. Gleick, 1988)
- * Simulationsmethoden der Kognitionswissenschaft, besonders:
 - * Produktionssysteme (Anderson, 1983)
 - * konnektionistische Modelle, neuronale Netze (McClelland & Rumelhart, 1988)

- 2. Zeitreihenanalytische Methoden erlauben es, Systemmodelle aus empirischen Zeitreihen zu rekonstruieren (Bergé et al., 1984; Nicolis & Prigogine, 1987; Peinke, 1988; Mayer-Kress, 1986).

Die beiden genannten Methoden sind komplementär zueinander: Die Simulationsmethode zum einen hat abstrakte (mathematische) Strukturen zum Gegenstand. Beläßt man es bei dieser abstrakten, gegenstandslosen Betrachtung, verbleibt diese gewissermaßen innerhalb der theoretischen Mathematik; es gibt hierfür viele Beispiele aus dem Bereich der Theorie dynamischer Systeme. Ist das Ziel eine Simulation oder Modellierung, so ist, wie der Name bereits sagt, eine Ähnlichkeit oder Analogie des mathematischen bzw. computationalen Systems mit einem gegenständlichen System angestrebt - es handelt sich um die logische Figur einer Deduktion ("forward modelling" nach Haken, 1985). Die dynamische Zeitreihenanalyse geht dagegen von einer empirischen Meßdatenerfassung aus, der ein Experiment oder eine systematische Beobachtung zugrundeliegt. Ziel ist, aus dem erhobenen Datenstrom Kennwerte, Regelmäßigkeiten oder Gesetzmäßigkeiten herauszudestillieren, mit deren Hilfe sich die reale Zeitreihe komprimiert beschreiben läßt. Am Ende dieses induktiven Vorgehens steht also eine (postulierte) Gesetzmäßigkeit bzw. bei einem idiographischen Forschungsansatz ein Modell des realen Systems. Diese Rekonstruktion eines Modells aus einer beobachteten Zeitreihe kann als "backward modelling" bezeichnet werden (Haken, 1985). Beispielsweise kann die Menge aller Verhaltensmöglichkeiten eines konkreten Systems durch die Beschreibung des Attraktors gekennzeichnet werden, auf den hin das System in der Zeit relaxiert.

Für ein Forschungsprogramm, das sich der Untersuchung sozialer Systeme von einer dynamischen oder Selbstorganisationsperspektive her widmet, liegt es meiner Ansicht nach nahe, beide Strategien in einem umfassenden ("hypothetiko-deduktiven") Ansatz zusammenzubringen. Modellkonstruktion und Modellevaluation müssen dabei notwendig in einem empirischen Rahmen vonstatten gehen. Erst die gemeinsame Evolution beider Methoden verspricht einen verlässlichen Erkenntniszuwachs (von dieser Perspektive her ist auch der sog. Konstruktivismus zu kritisieren, s.u.). Wissenschaftstheoretisch gesehen kann der Selbstorganisationsbegriff als Metabegriff auf Selbstorga-

nisationsforschung selbst angewandt werden: Induktion und Deduktion verhalten sich analog zu positiver und negativer Rückkopplung, indem sie komplexe Ordnung ("Emergenz" in Form von Wissen, Ideen, Erkenntnis) durch ihr komplementäres Zusammenwirken erzeugen.

3.2 Konzepte der Theorie dynamischer Systeme

Ich möchte nun die grundlegenden Begriffe der Theorie dynamischer Systeme skizzieren. Eine sehr einfache und anschauliche Darstellung findet sich in Abraham & Shaw (1983). Detailliertere Einführungen in den Bereich der nonlinearen Dynamik geben Thompson & Stewart (1986), Bergé et al. (1984), Guckenheimer & Holmes (1983).

Im Vorgriff auf folgende Ausführungen möchte ich darauf hinweisen, daß bei der Erforschung sozialer Systeme in vergleichbarer Weise die Dynamik analysiert werden kann, um die Muster des Zusammenwirkens innerhalb der Systeme und die u.U. komplexen Gleichgewichtsstrukturen zu beschreiben. Es geht mir also im folgenden um die Darstellung einer abstrakten Sprache, deren Anwendung auf den Bereich der Psychologie in späteren Teilen dieser Arbeit zu prüfen ist.

Der **Phasenraum** eines Systems wird durch die Variablen aufgespannt, die nötig sind, es vollständig zu beschreiben. Die Anzahl solcher unabhängigen Variablen ergibt die Dimension des Phasenraums. Jeder momentane Zustand wird geometrisch zu einem Punkt in diesem Raum, die zeitliche Entwicklung des Systems ergibt eine eindimensionale Kurve, die sich aus vielen auseinander hervorgehenden Zustandspunkten zusammensetzt. Diese gerichtete Kurve heißt **Trajektorie**; alle Trajektorien erzeugen das **Phasenportrait** des Systems, also das geometrische Gebilde, das unter der Annahme einer gleichförmigen Umwelt (Kontrollparameter sind konstant, s.u.) die gesamte Dynamik des Systems abbildet.

Zur Verdeutlichung dieser Begriffe möchte ich ein einfaches idealisiertes System kurz darstellen: das ungedämpfte lineare Pendel (Thompson & Stewart, 1986). Es handelt sich dabei um eines der der klassischen Mechanik zugrundeliegenden

konservativen Systeme, die bezüglich Energie- und Masse abgeschlossen sind; es gilt eine sog. Hamiltonfunktion, die ausdrückt, daß die Energie, die in mechanischen Systemen als Funktion von Orts- und Impulsvariablen aufgefaßt werden kann, für ein bestimmtes System konstant bleibt. Das reibungsfreie, ungedämpfte Pendel ist ein solches Hamiltonsches System, das, einmal angestoßen und in Bewegung versetzt, fortan potentielle Energie (Lageenergie am höchsten Punkt der Bahn des Pendelkörpers) in kinetische Energie (Bewegungsenergie am tiefsten Punkt der Bahn, wenn sich das Pendel am schnellsten bewegt) periodisch hin- und rückwandelt. Die Gesamtenergie bleibt dabei im System erhalten. Das Phasenportrait eines ungedämpften Pendels ist durch ein Koordinatensystem mit den Achsen "Ort" und "Geschwindigkeit" samt der Trajektorie des Systems gegeben (s. Abb. 3.1).

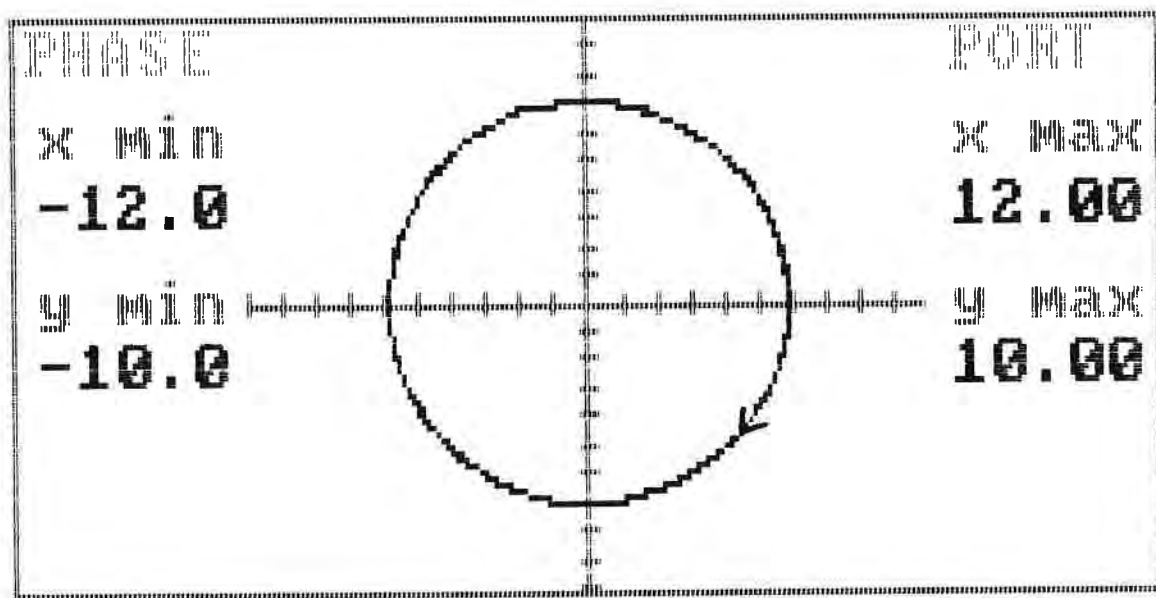


Abb. 3.1:
Phasenportrait eines ungedämpften Oszillators

Möchte man dieses Pendel durch eine Zeitreihe charakterisieren, indem man etwa die Geschwindigkeit kontinuierlich gegen die Zeit abträgt, ergibt sich der Graph einer Sinusfunktion (Abb. 3.2). In diesem Fall einer reinen Sinusschwingung spricht man von einer harmonischen (linearen) Oszillation. (Es handelt sich um eine Idealisierung zur Erleichterung der mathematischen Modellierung; anharmonische, nonlineare

Oszillatoren sind in der Regel realistischer: kein reales Musikinstrument erzeugt beispielsweise obertonfreie lineare Oszillationen.)

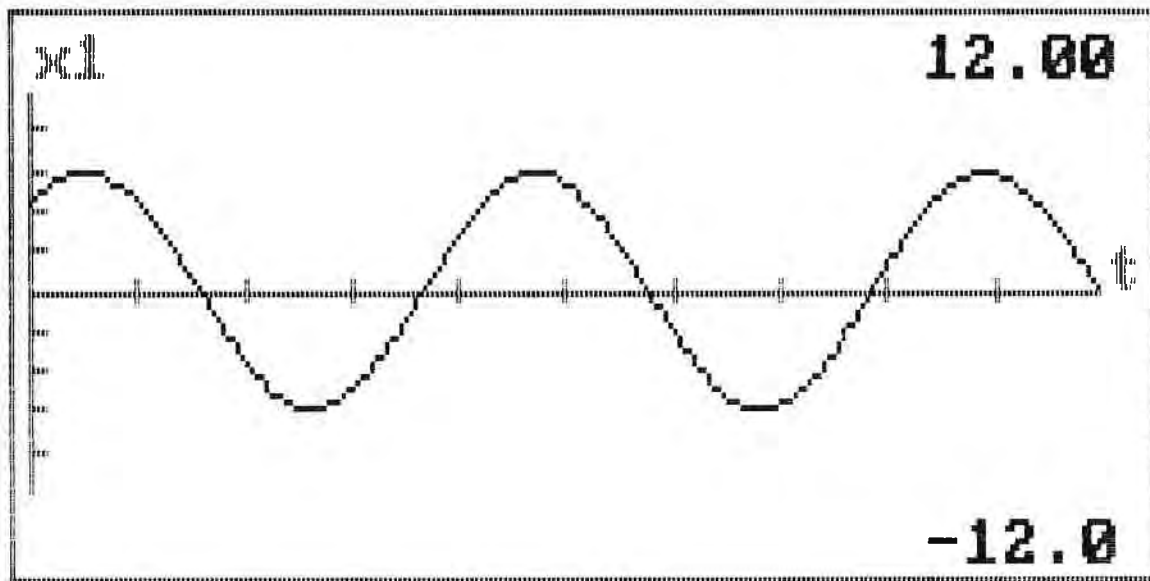


Abb. 3.2:

Zeitreihe des ungedämpften Oszillators, die dasselbe Verhalten wie Abb. 3.1 beschreibt

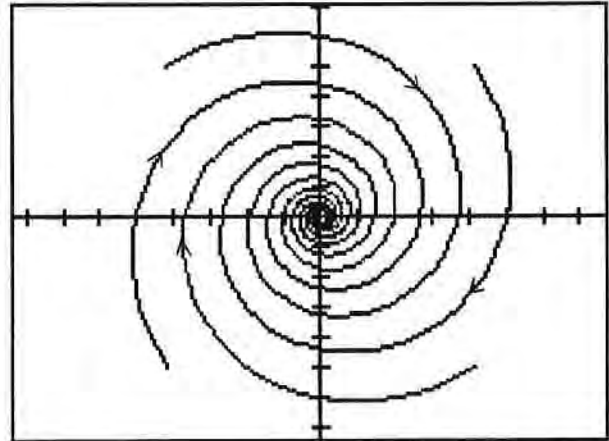
In dieses konservative System kann eine Dämpfung eingeführt werden, indem eine Reibungskraft zugelassen wird, die den Bewegungen des Pendelkörpers stets entgegenwirkt. Die Reibung entzieht dem System Energie, die in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben wird, d.h. es liegt ein offenes System vor. Reibung ist ein Prozeß der **Dissipation**, der gerichtete Energie in ungerichtete Energie (Wärme als Brownsche Molekularbewegung) "zerstreut". Dies führt schließlich dazu, daß das Pendel nach einer gewissen Zeit zur Ruhe kommt. Nur solche ("dissipativen") Systeme zeigen die Eigenschaft, ein Gleichgewicht anzustreben. Strebt das System einem Gleichgewicht zu, so zeigt sich dies in der Analyse des Phasenportraits, das dann einen **Attraktor** aufweist.

3.3 Gleichgewichtsverhalten dynamischer Systeme

Ein Attraktor, im einfachsten Fall ein Punkt ("Fixpunkt"), zieht sozusagen die

Trajektorien eines bestimmten Gebietes des Phasenraums in sich hinein. Ein Fixpunkt charakterisiert folgendes qualitatives Verhalten: das System verändert sich solange, bis ein stabiler Zustand erreicht ist, in dem seine Evolution abgeschlossen ist, also alle Variablen des Systems konstant bleiben. Im Beispiel des gedämpften Pendels erhält man folgendes Phasenportrait (Abb. 3.3):

Abb. 3.3:
Phasenportrait eines gedämpften Pendels mit einem Fixpunktattraktor. Dargestellt sind die Trajektorien von vier verschiedenen Anfangswerten aus



Unterschiedlichen Arten des Gleichgewichtsverhaltens entsprechen qualitativ unterscheidbare Attraktoren von zunehmender Komplexität. In Systemen mit zweidimensionalem Phasenraum ist noch ein weiterer Typ attrahierenden Verhaltens möglich: der angestrebte Gleichgewichtszustand ist selbst eine Oszillation. Um beim Pendelbeispiel zu bleiben: das Pendelgewicht einer großen Pendeluhr schwingt mit exakt festgelegter Periode und Amplitude, da es durch eine Kraft (z.B. über eine Feder mit Anker und Unruh im Gehäuse) rhythmisch getrieben wird. Durch einen Stoß mit der Hand kann man nun das Pendel beliebig beschleunigen und so die vorhandene Schwingung verändern; nach einer gewissen Zeit wird sich aber dennoch die uhreigene Oszillation wieder einstellen.

In diesem Fall hat die periodische Bewegung, deren Phasenraumäquivalent, wie eben in Abb. 3.1 gezeigt, ein Kreis (oder eine geschlossene Linie) ist, selbst die attrahierende Eigenschaft. In der Dynamik nennt man einen solchen periodischen Attraktor "Grenzzyklus" (Abb. 3.4). Die Trajektorien aus verschiedenen Bereichen des Phasenraums nähern sich dem Attraktor, um schließlich nach einer Zeit des Einschwingens fortan auf dem Attraktor zu verlaufen. Trajektorien nähern sich von innen her (das Pendel muß nach dem Stoß durch die Uhr beschleunigt werden) oder von außen (das

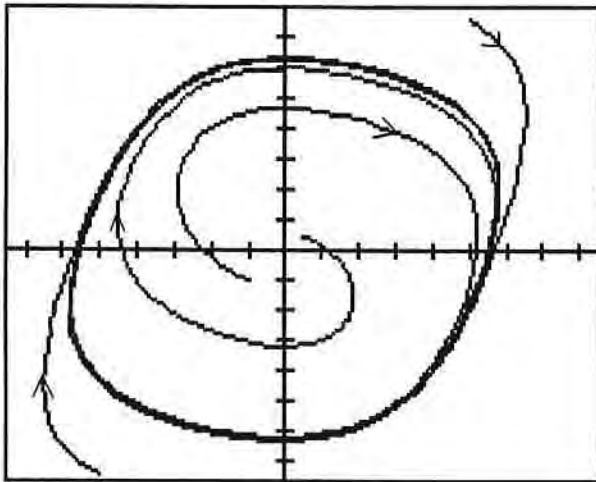


Abb. 3.4: Grenzyklus

Pendel wird durch das Uhrwerk gedämpft) dem Attraktor.

Eine "quasiperiodische" Stabilität, der mehr als eine Frequenz unterliegt, läßt sich in einem dreidimensionalen Phasenraum als Torus geometrisch veranschaulichen. Ein Torus kann beschrieben werden als ein zweidimensionales Gebilde in der Form der Oberfläche eines Schlauches, dessen Enden ineinander münden.

Auf dem Torus ist demnach der nächstkomplexere Attraktor zu lokalisieren, eine Art höherdimensionaler Grenzyklus oder Ringattraktor. Prinzipiell können beliebige n -dimensionale Tori angenommen werden, auf denen jeweils $(n-1)$ -dimensionale Attraktoren lokalisiert sind, um entsprechende Stabilitätseigenschaften in mehrfach gekoppelten Oszillatoren zu repräsentieren.

De facto sind allerdings solche Attraktoren nicht typisch (Deker & Thomas, 1983). Schon kleine Veränderungen der Parameter ersetzen Ringattraktoren durch chaotische Attraktoren, die die derzeitige Grenze der Forschung im Gebiet der Theorie nonlinearer Systeme darstellen. Die Untersuchung dieser auch als fraktal oder seltsam bezeichneten Attraktoren, die bei aperiodischen, nicht vorhersagbaren Zeitverläufen in Systemen gefunden werden, wird im Moment auf vielen Gebieten vorangetrieben.

Im Phänomen des "deterministischen Chaos" ist Unvorhersagbarkeit mit Kausalität kombiniert. Bereits recht einfache Systeme (der Phasenraum muß mindestens dreidimensional sein) können dieses Verhalten zeigen, was umgekehrt bedeutet, daß sehr komplexes Verhalten u.U. mit einfachen Modellen beschrieben werden kann (Crutchfield et al., 1987). Die geometrische Darstellung ergibt Gebilde mit gebrochenzahliger Dimension, sog. fraktale Attraktoren (Abraham & Shaw, 1984; Mandelbrot, 1987; Rössler, 1976). Der einfachste bekannte chaotische Attraktor ist der Rössler-Attraktor, der von einem System aus drei Differentialgleichungen erzeugt wird. Die Gleichungen besitzen lediglich eine Nonlinearität und lauten (s. folgende Seite):

$$\begin{aligned}
 x' &= -y - z \\
 y' &= x + ay \\
 z' &= b + z(x - c),
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

wobei a, b, c konstante Parameter sind, während die Variablen x, y, z als Achsen den Phasenraum aufspannen. Bei den Wertebelegungen

$$\begin{aligned}
 a &= b = 0.2 \\
 c &= 5.7
 \end{aligned}$$

und den Anfangswerten

$$\begin{aligned}
 x(0) &= y(0) = -0.7 \\
 z(0) &= 1
 \end{aligned}$$

ergibt sich das in Abb. 3.5 dargestellte Phasenportrait:

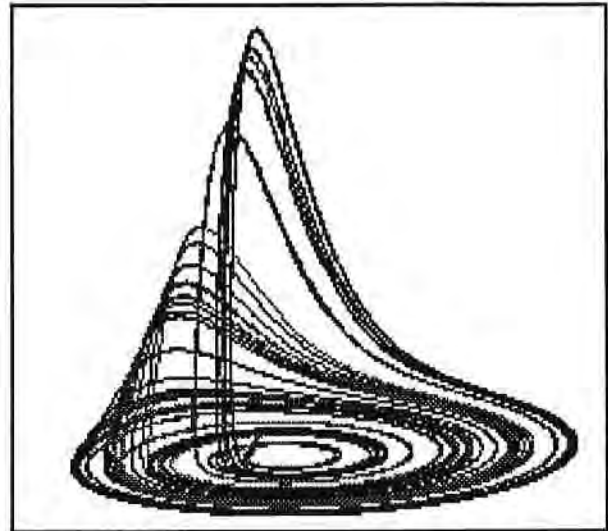


Abb. 3.5: Phasenportrait des chaotischen Attraktors von Rössler

Die zugehörigen Zeitreihen zeigen ein aperiodisches, irreguläres Verhalten (Abb. 3.6):

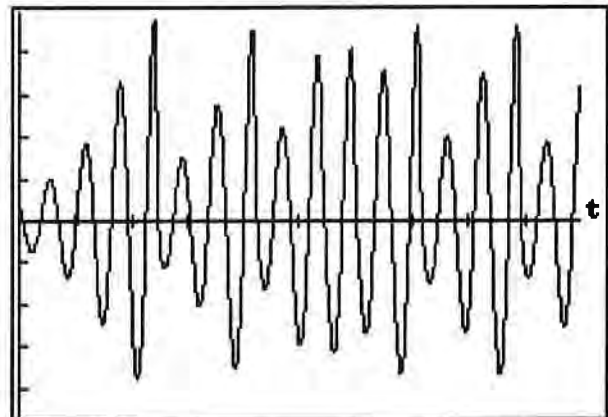


Abb. 3.6: Zeitreihe einer der Variablen des Rössler-Attraktors

Auf das Phänomen des deterministischen Chaos werde ich unten in Zusammenhang mit Differenzengleichungen weiter eingehen.

An dieser Stelle möchte ich zunächst zur Veranschaulichung von Gleichgewichtsphänomenen einen neuen Begriff einführen: den des **Potentials** (Haken, 1983b). Eine Potentialfunktion beschreibt den Energiegehalt eines Systems, das

potentiell Arbeit verrichten kann. Alle im System wirksamen Kräfte (also die Ursachen für die Dynamik des Systems) sind dann mathematische Ableitungen der Potentialfunktion. Graphisch kann das Potential des gedämpften Pendels aus Abb. 3.3 durch eine Parabel dargestellt werden (s. Abb. 3.7):

Der Gleichgewichtspunkt dieses Systems liegt im Minimum des Potentials, wo die erste Ableitung der Potentialfunktion (die Kraft) Null wird. Das Pendel verhält sich analog einer Kugel, die an der tiefsten Stelle einer Mulde liegen bleibt; dort ist das Energieminimum der Kugel. Die "Hangabtriebskräfte", die die Kugel in Richtung auf diesen Gleichgewichtspunkt (Fixpunkt) getrieben haben, sind verschwunden.

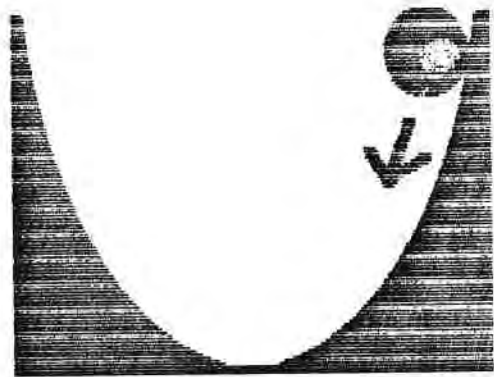


Abb. 3.7:

Veranschaulichung eines Gleichgewichts als Potentialmulde

Die Darstellung wird etwas komplizierter für den Fall eines anhar-

monischen Oszillators, bei dem das Verhalten nicht durch eine einzelne Sinusfunktion abgebildet werden kann. Die Kraft auf das Pendelgewicht wird dann neben einem linearen Term durch einen zusätzlichen kubischen Term beschrieben:

$$F(q) = -kq - k_1 q^3 \quad (3.2)$$

(q : Auslenkung des Pendels; k, k_1 : Konstanten; $F(q)$: Kraft).

Auf dieses System werde ich im Zusammenhang der Diskussion des Parameter-raums (unter Punkt 3.4) gleich zurückkommen. Um die obige Diskussion der Veranschaulichung von Gleichgewichtsverhalten durch die Potentialannahme weiterzuführen, möchte ich vorher noch kurz auf den Fall des nächstkomplexeren

Attraktors eingehen, den Grenzyklus. Hier ist leicht einzusehen, daß das Potentialmodell der Punktattraktoren (nulldimensionalen Attraktoren) entsprechend erweitert werden kann, um den Fall des eindimensionalen Grenzyklus darzustellen. Es muß lediglich eine Dimension zusätzlich eingeführt werden, etwa indem man sich vorstellt, daß die Potentialkurve um die senkrechte V-Achse rotiert (Haken, 1983a). Dies ist in Abb. 3.8 dargestellt.

Dieses System ist dann im Gleichgewicht, wenn die Kugel die Sohle des kreisförmig geschlossenen Tales erreicht hat. In Begriffen des Phasenportraits ausgedrückt: das System hat den Grenzyklus erreicht (s. Abb. 3.4).

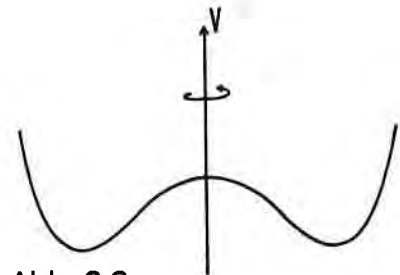


Abb. 3.8:
Darstellung eines Grenzyklus mittels einer rotierten Potentialkurve (aus: Haken, 1983a)

3.4 Der Parameterraum dynamischer Systeme

Eine Kurvendiskussion der Gleichung (3.2) ergibt nun für Gleichgewichtsverhalten (also $F(q)=0$) verschiedene, von der Wertebelegung der Konstanten abhängige Lösungen. Für $k>0$ und $k_1>0$ ist die Potentialfunktion analog der oben für den harmonischen Pendel: die Potentialmulde deutet auf einen einzigen stabilen Gleichgewichtszustand, der im Phasenportrait durch einen Punktattraktor dargestellt wird. Ist jedoch $k<0$ (bei $k_1>0$), so finden wir eine qualitativ neue Situation: es existieren drei unterschiedliche Lösungen (Haken, 1983a). Das Potential weist nun zwei Minima auf, die stabile Äquilibrien darstellen, sowie ein labiles Gleichgewicht bei $q=0$ (Abb. 3.9).

Trägt man für beliebige Werte des Parameters k jeweils die Gleichgewichtspunkte q_0 ab, findet

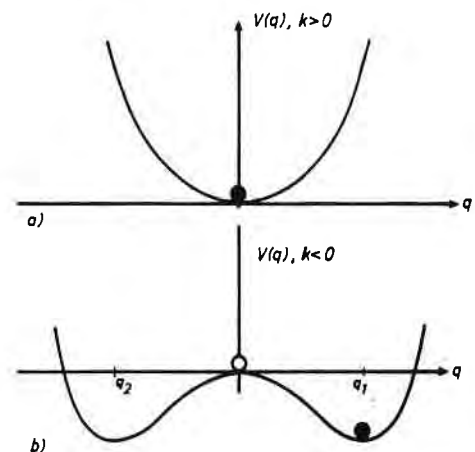


Abb. 3.9:
Form des Potentials in Abhängigkeit von k (aus: Haken, 1983a)

man dieses Diagramm (Abb. 3.10):

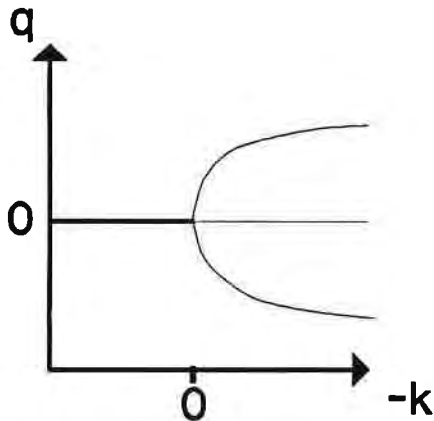


Abb. 3.10:

Diagramm des Parameterraums des anharmonischen Oszillators (3.2). Für $k > 0$ eine stabile Lösung, bei $k < 0$ Aufgabelung in drei verschiedene Lösungen

Eine Anzahl von Begriffen, die für das Verständnis selbstorganisierter Systeme von größter Bedeutung sind, lassen sich leicht an diesem Diagramm des

"Parameterraums" exemplifizieren. Es ist wichtig, den Unterschied dieses Parameterraums zu den oben eingeführten Phasenraumdarstellungen zu sehen. Im Phasenraum war stets das Verhalten eines bestimmten Systems in der Zeit dargestellt. Dem entspricht eine Trajektorie. Mehrere Trajektorien im Phasenraum bedeuten, daß dasselbe System für verschiedene Anfangswerte simuliert wurde. Im Parameterraum ist das Gleichgewichtsverhalten verschiedener, wenn auch ähnlicher, Systeme festgehalten, denn die Kennwerte (Parameter) werden variiert, um deren Einfluß auf das attrahierende Verhalten einer Systemklasse zu beschreiben.

Verändert sich der Wert des Parameters k vom positiven in den negativen Bereich, so findet an der Stelle $k = 0$ eine qualitative Veränderung statt, indem aus einem Punktattraktor zwei stabile Punktattraktoren evolvieren. Dieses Phänomen wird **Bifurkation** (Gabelung) genannt.

Der vormals stabile Attraktor bei $q_0 = 0$ ist zu einem labilen Punkt auf der Potentialkuppe geworden. Jede noch so kleine Fluktuation wird zur Folge haben, daß die Kugel, die den Systemzustand darstellt, eine der beiden Potentialmulden aufsucht und dort liegen bleibt. Dadurch ist die vorherige Symmetrie zerstört: das System entscheidet sich zwischen zwei (beim obigen Potential gleichwahrscheinlichen) Alternativen, da ja nur eines der beiden Gleichgewichte tatsächlich realisiert werden kann. Die Instabilität ist damit als symmetriebrechende Instabilität zu bezeichnen (an dieser Stelle möchte ich auf die qualitative Beschreibung des Selbstorganisationsphänomens in Kapitel 1 hinweisen, als der Begriff des Symmetriebruchs eingeführt wurde).

Mit Hilfe der formalen Darstellung eines Systems durch den Parameterraum (Abb. 3.9) wird nun auch anschaulich klar, wie am

Bifurkationspunkt Symmetrie verloren geht, wenn das evolvierende System sich einen der Zweige der Gabelung "aussuchen" muß. Die Bedeutsamkeit dieser Entscheidung ist beträchtlich, stellt sie doch einen fundamentalen Vorgang einer Differenzierung dar. Dies wird besonders deutlich,

Systemverhalten

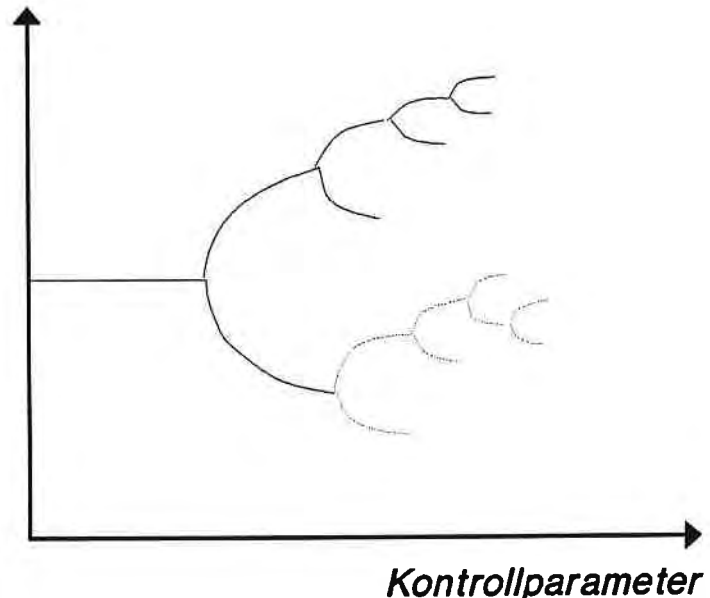


Abb. 3.11:
Kaskade von Bifurkationen in einem Parameterraum

wenn man sich klarmacht, daß jeder Ast der Bifurkation sich weiter aufgabeln kann, bis eine baumähnliche Struktur entsteht (eine "Bifurkationskaskade", s. Abb. 3.11).

Dynamische Systeme, die zu Beginn gleiche Zustände einnahmen, werden im Lauf der Zeit an unterschiedlichen Stellen des Baumes angelangen und haben sich damit mittels (zufälliger) Fluktuationen sehr deutlich gegeneinander differenziert. Die Analogie zum Prozess der biologischen Evolution, zu Zufall (Fluktuation) und Notwendigkeit (Selektion) bei der Herausmodellierung verschiedenartiger Spezies drängt sich auf (Monod, 1971).

Wie kann man nun erkennen, daß ein System sich einer Bifurkation nähert? Am Beispiel des obigen Modellsystems aus Gleichung (3.2) zeigt sich ein charakteristisches Verhalten, bevor der Parameter von positiven Werten her den Nullpunkt erreicht. Hierbei wird die Potentialmulde immer flacher, so daß es länger dauert, bis das System das Gleichgewicht erreicht hat. Dieses Phänomen in der Nähe eines Bifurkationspunktes wird als *critical slowing down* (kritisches Langsamerwerden) bezeichnet (Haken, 1983a).

Allgemein kann gesagt werden, daß ein vormals stabiles einfaches System durch Bifurkationen eine geschichtliche Dimension erhält (Prigogine, 1979). Mehrere stabile Attraktoren werden sich herausdifferenzieren, das System entwickelt die Eigenschaft der **Multistabilität**. Man kann diesen Zustand mit der oben eingeführten Potentialannahme verdeutlichen und als eine Attraktorlandschaft mit vielen Mulden und sattel- oder paßähnlichen Übergängen darstellen. Die einzelnen Attraktoren können im Beispiel eines Biotops als ökologische Nischen gedeutet werden, die im Verlauf der durch Mutation und Selektion getriebenen biologischen Evolution durch Organismen besetzt wurden, ja zum Teil durch Organismen und vorausgehende Bifurkationen überhaupt erst geschaffen wurden. In anderen Systemen mögen eine Reihe von Attraktoren virtuell existieren, obwohl nur ein einziger von ihnen realisiert ist: ein Beispiel sind die bekannten Phänomene der Gestaltwahrnehmung von doppeldeutigen Figuren (Kruse, 1989; Zeeman, 1976; Haken, 1988b).

3.5 Phasenübergänge als "Katastrophen"

In Verlauf dieses Abschnitts ist ein zentraler Begriff der Theorie dynamischer Systeme eingeführt worden: der des Attraktors. Mit der Bifurkation eines Punktattraktors in zwei Punktattraktoren habe ich bereits eine Form des Phasenübergangs im Parameterraum beschrieben, die durch kritisches Langsamerwerden angekündigt wird. Von dem Mathematiker R. Thom (1972) wurde eine Theorie zur Beschreibung diskontinuierlicher Veränderungen in Form der "Katastrophentheorie" entwickelt, die eine Anzahl weiterer solcher Übergänge thematisiert. Thom identifizierte sieben elementare Katastrophen, mit denen alle Diskontinuitäten in Prozessen beschrieben werden können, die von bis zu vier Faktoren kontrolliert werden. Zentrale und, wie unten ausgeführt werden soll, stark einschränkende Voraussetzung der gesamten Thomschen Theorie ist die Annahme der Existenz einer Potentialfunktion, so wie ich sie oben zur Veranschaulichung eines Punktattraktors (Abb. 3.7) und eines Grenzzyklus (Abb. 3.8) einführte.

Mehrere verhaltenswissenschaftliche Probleme wurden mit der sog. cusp-Katastrophe ("Zweifalte") modelliert, die zwei Kontrollparameter besitzt (Stewart & Peregoy, 1983). Darunter sind die Wahrnehmung von mehrdeutigem Stimulusmaterial (Poston & Stewart, 1978); Zeeman (1976) diskutiert das Verhalten von Hunden im Konflikt zwischen Kampf- und Fluchtreaktion, wie es von Lorenz (1978) beschrieben wurde; auch die klinischen Symptome der Anorexia nervosa hat Zeeman (1976) mit katastrophentheoretischen Modellen abzubilden versucht. Die folgende Abbildung 3.12 einer cusp-Katastrophe ist dem Zeeman-Artikel entnommen und beschreibt das Verhalten von Hunden in Abhängigkeit von den Kontrollparametern Furcht und Wut.

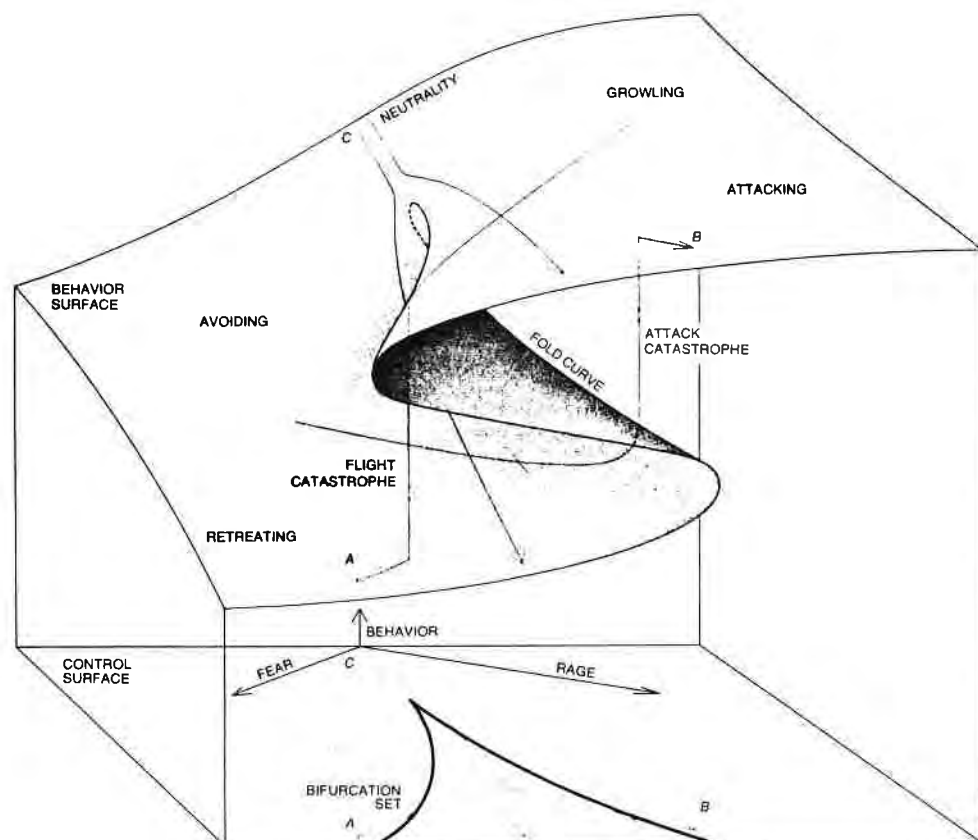


Abb. 3.12:

Darstellung des Aggressionsverhaltens von Hunden durch ein katastrophentheoretisches Modell. Die Verhaltensoberfläche ist in Form einer cusp gefaltet, so daß es für bestimmte Verhaltensweisen (als Vektoren dargestellt) zu diskontinuierlichen Verläufen kommt: diese sind als flight bzw. attack catastrophes bezeichnet. Das Verhalten ist als Abbildung der control surface, also der Kontrollparameter Angst und Wut aufgefaßt. Bifurkationsverhalten wie in Abb. 3.10 entsteht für die Dynamik zwischen den beiden parallelen, von C ausgehenden Pfeilen (aus: Zeeman, 1976)

Die Abbildung enthält auch die oben (Abb. 3.10) diskutierte Bifurkation im

Parameterraum eines Oszillators. Die Bifurkation auf der Verhaltensoberfläche des Katastrophenmodells entsteht, wenn die Winkelhalbierende der beiden Parameterachsen von C aus betrachtet wird: das Verhalten wird entweder auf dem oberen Verhaltensniveau ("Angriff") oder auf dem unteren ("Rückzug") zu lokalisieren sein, abhängig von Fluktuationen am kritischen Punkt am Beginn der Zwielfalte.

Mit Hilfe der Katastrophentheorie scheint es auf den ersten Blick also möglich, die einer geometrischen Anschauung sehr entgegenkommenden Potentialdarstellungen auf immer komplexere und höherdimensionale Gleichgewichte und Gleichgewichtsübergänge auszudehnen. Arnold klassifizierte bis zu 25-dimensionale Katastrophen (Zeeman, 1976; Arnold, 1972). In den siebziger Jahren wurde die Katastrophentheorie als "schöne Theorie" entsprechend enthusiastisch rezipiert und auch einer nichtwissenschaftlichen Öffentlichkeit bekannt (Haken, 1984; Gardner, 1983). Bald wurden aber auch kritische Aufsätze veröffentlicht, die auf die sehr eingeschränkten Anwendungsmöglichkeiten dieser mathematischen Theorie hinwiesen (Kolata, 1977; Sussmann & Zahler, 1978; Berlinski, 1978). Der Kritikpunkt war insbesondere, daß die Potentialbedingung in den meisten Systemen nicht gewährleistet ist. Gerade offene, dissipative Systeme sind eben nicht energieerhaltend, sondern produzieren laufend Entropie durch die Dissipation ("Zerstreuung") gerichteter Energie, wie ich bereits oben beschrieben habe. Demgemäß "... ist in offenen Systemen die Potentialbedingung prinzipiell nicht erfüllt, oder - noch anders ausgedrückt - in offenen Systemen, aber auch in den meisten abgeschlossenen Systemen, verlaufen die Naturvorgänge nach ganz anderen Gesetzmäßigkeiten, als sie die Katastrophentheorie postuliert." (Haken, 1984, S. 239). Man ist also, bis auf "schöne" Ausnahmen, auf einen umfassenderen und voraussetzungsfreieren Ansatz angewiesen.

Wie ist es nun möglich, stabile Zustände in Systemen mathematisch zu analysieren, wenn die Kräfte im System nicht aus einer Potentialfunktion abgeleitet werden können? In diesen Fällen kann auf die Formulierung von Theoremen der Stabilität nach Lyapunov zurückgegriffen werden. Zu einem als Differentialgleichungssystem gegebenen System wird eine Lyapunov-Funktion V_L gesucht, die ähnlich wie ein Potential die globale Stabilität des Systems beschreibt. Von Nicolis & Prigogine (1987,

S. 107) wird beispielsweise die Entropieänderung als eine Lyapunov-Funktion aufgefaßt. Mit diesen Funktionen kann auch die Stabilität von chaotischen Systemen abgebildet werden, für die kein Potential existiert. Die Darstellung einer Lyapunov-Funktion in Abb. 3.13 stammt aus Haken (1983a). Die phänomenologische Beschreibung des Gleichgewichtsverhaltens des Systems entspricht der im Falle einer Potentialmulde; jedoch muß die "Kugel" nicht wie in einem Potential dem steilsten Pfad folgen (gestrichelter Pfeil in Abb. 3.13), sondern kann den Attraktor, also den tiefsten Punkt, auch über Umwege aufsuchen.

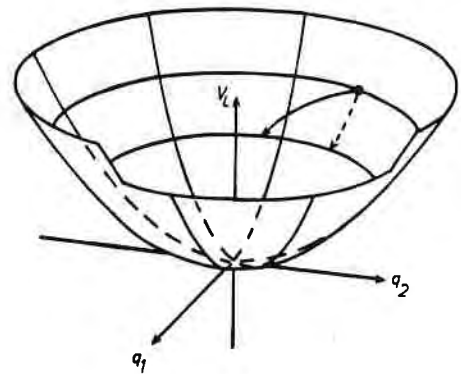


Abb. 3.13:
Darstellung einer Lyapunov-Funktion (aus: Haken, 1983a)

Allerdings ist zur Stabilitätsanalyse mit Lyapunov-Funktionen zu sagen, daß diese nur für wenige Beispiele explizit formuliert werden können, so daß auch dieser Ansatz zumindest bislang nur beschränkt gangbar scheint.

Im Vorgriff auf Kapitel 5 sei noch auf die Lyapunov-Exponenten hingewiesen: diese sind statistische Maße, die die Divergenz von benachbarten Phasenraumtrajektorien kennzeichnen; sie erlauben somit eine Charakterisierung der verschiedenen Arten von dynamischen Attraktoren auch in chaotischen Systemen. Lyapunov-Exponenten können aus empirischen Zeitreihen berechnet werden und haben deshalb Bedeutung für die nachträgliche Modellierung oder Rekonstruktion eines Systems, dessen Verhalten empirisch untersucht und erfaßt wurde.

3.6 Differenzengleichungen

Die Topologie des Phasenraums, die Identifikation von Attraktoren und Bifurkationen habe ich im ersten Teil dieses Kapitels mit der stillschweigenden Annahme der Kontinuität des entsprechenden Systems dargestellt. Mathematisch gesehen war das System immer durch eine Differentialgleichung beschrieben; die Zeit ist darin ein

beliebig unterteilbares Kontinuum.

Eine Differenzengleichung dagegen liefert Werte in diskreten (Zeit-) Schritten, wobei der jeweils nächste Wert die iterative Anwendung einer Rechenvorschrift auf den vorangegangenen Wert voraussetzt. Es handelt sich also dabei um einen Feedbackprozeß, da der output einer Berechnung zum input der nächsten wird. Allgemein läßt sich dies so ausdrücken:

$$x_{t+1} = F(x_t) \tag{3.3}$$

x_t : Wert (bzw. Vektor) zum Zeitpunkt t ;

x_{t+1} : Wert zum (nächsten) Zeitpunkt $t+1$;

F : ein nonlinearer Term als Rechenanweisung.

Man nennt Differenzengleichungen der Form (3.3) auch diskrete Abbildungen oder maps. Diskrete Abbildungen zeigen ein reichhaltiges Repertoire an komplexen Eigenschaften, die die Diskussion dynamischer Systeme in diesem Kapitel nochmals beleuchten werden.

Welche Systeme können mit diskreten maps simuliert werden? Zum einen liegt es nahe, Vorgänge zu nennen, die selbst einen sprunghaften Verlauf nehmen. Dies wären z.B. der Umfang einer Population in aufeinanderfolgenden Generationen (Populationsdynamik); rhythmisch auftretendes Verhalten (Biorhythmen); allgemein Phänomene, die prinzipiell nur nach bestimmten einzuhaltenden Meßintervallen erhoben werden können. Weiterhin können kontinuierliche dynamische Systeme durch Diskretisierung vereinfacht werden, wobei sie gewissermaßen um eine Dimension heruntertransformiert werden: ein Fluß aus Trajektorien in 3D würde dann beschrieben durch die Punkte, an denen Trajektorien eine definierte Fläche schneiden. Dieses Verfahren heißt Poincaré-Schnitt oder -Sektion und liefert eine Poincaré map. Schließlich spricht ein praktischer Grund für diskrete maps: für ihre Untersuchung steht mit dem Computer ein ideales Werkzeug zur Verfügung, da iterative Prozesse sehr leicht programmiert werden können.

3.6.1 Die Dynamik der Verhulst-map

Zu den einfachsten nonlinearen Abbildungen gehört diese, als logistische map oder Verhulst-map bezeichnete Abbildung:

$$x_{t+1} = a x_t (1 - x_t) \quad (3.4)$$

Diese Abbildung wurde erstmals von Verhulst im Jahr 1845 formuliert, um das Wachstum einer Population bei begrenzten Ressourcen zu beschreiben (Becker & Dörfler, 1986; Peitgen & Richter, 1986; May, 1976). Dem entspricht auch ein Einpendeln der Iteration von (3.4) bei festen Grenzwerten von x_t : diese Attraktoren können als schließlich erreichte konstante Populationsgröße interpretiert werden. Das Verhalten der map ist allerdings abhängig von ihrem Kontrollparameter a (ursprünglich: "Wachstumsparameter"). Mit wachsendem a zeigt die logistische map plötzlich, wie wir sehen werden, qualitativ neues Verhalten, und demonstriert schließlich einen Phasenübergang ins Chaos, der universelle Bedeutung besitzt. Der frühere Modellierungszweck zur Bestimmung einer Bevölkerungszahl ist hierbei bis auf Ausnahmen irrelevant geworden, da derart hohe Wachstumsraten biologisch meist unrealistisch sind (manche Insekten können sich allerdings vergleichbar stark vermehren: man vergleiche die unvorhersehbaren Verläufe etwa bei Heuschreckenepidemien).

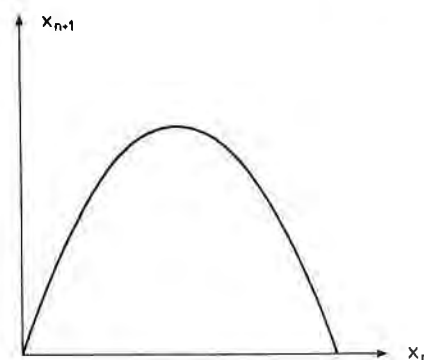
Zuerst möchte ich auf eine geometrische Methode hinweisen, mit der die Iteration von (3.4) anschaulich gemacht werden kann (Koçak, 1986; Haken, 1983b, S. 50ff.). Dazu wird zunächst x_t und x_{t+1} in einem Koordinatensystem gegeneinander abgetragen (Abb. 3.14). Es ist nicht verwunderlich, daß dabei der Graph einer umgekehrten Parabel entsteht, denn (3.4) kann ja in

$$x_{t+1} = a x_t - a x_t^2 \quad (3.5)$$

ausgerechnet werden.

Abb. 3.14:

Die der Verhulst-map zugrundeliegende Abbildung ist eine Parabel (aus: Haken, 1983b)



Um die fortlaufende Iteration mit Hilfe der durch die Parabel gegebenen Abbildungsvorschrift durchzuführen, muß einfach der sich ergebende Wert x_{t+1} an der diagonalen ersten Winkelhalbierenden auf die Abszisse zurückgespiegelt werden (Abb. 3.15).

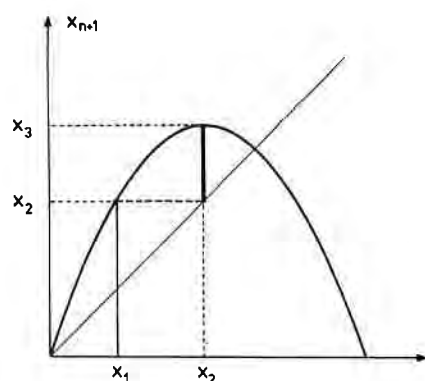


Abb. 3.15:

Der Anfangswert der Iteration x_1 ergibt mit Hilfe der Parabel den nächsten Wert x_2 . Durch Spiegelung an der Diagonalen wird x_2 zu einem neuen Anfangswert, so daß wieder mittels der Parabel der Folgewert x_3 bestimmt werden kann. Fährt man auf diese Weise fort, kann die Iteration geometrisch simuliert werden (aus: Haken, 1983b)

Die folgenden Simulationen wurden mit dem Computersimulator PHASER von Hüseyin Koçak (1986) durchgeführt. Die Plots in Abb. 3.16 zeigen jeweils, daß ein Fixpunktattraktor existiert, auf den hin die Folge von x_i zuläuft. Der Wert des Kontrollparameters a (ein Maß für die Steigung der Parabel) ist jeweils in den Abbildungslegenden genannt.

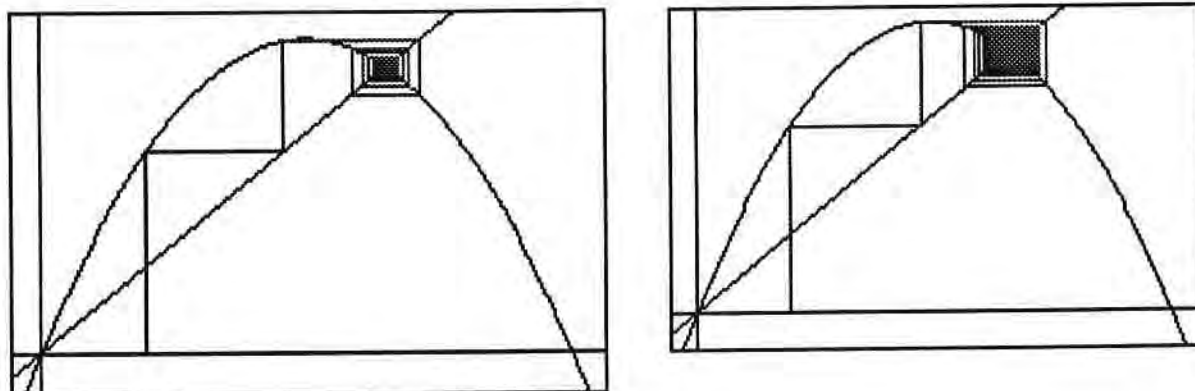


Abb. 3.16:

Geometrische Darstellung der Verhulst-map für die Parameterwerte $a=2.87$ (links) und $a=2.97$ (rechts)

Die Darstellung der zugehörigen Zeitreihen, also der Werte zu den Zeitpunkten $t = 1, 2, 3, \dots$, findet sich in Abb. 3.17a und b. Man sieht, daß sich die Werte von "beiden Seiten" dem Punktattraktor annähern.

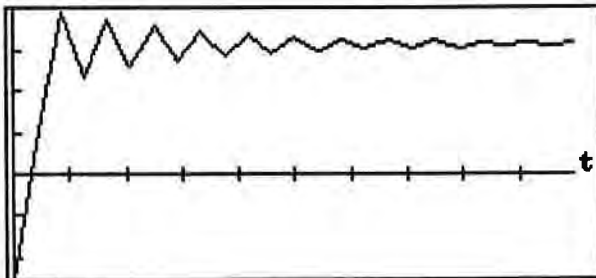
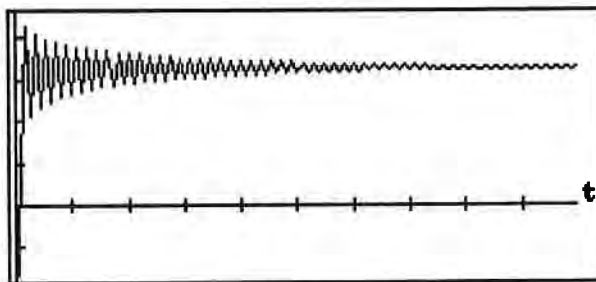


Abb. 3.17:
Darstellung der zu Abb. 3.16 gehörigen
Zeitreihen (links: $a=2.87$; darunter:
 $a=2.97$)



Wenn das Verhalten für wachsenden Kontrollparameter erkundet wird, stößt man auf Werte für a , die zu folgender Simulation führen (Abb. 3.18 a und b):

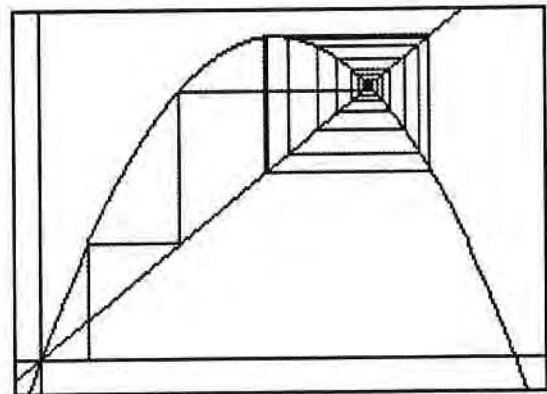


Abb. 3.18a: Verhulst-Iteration für $a=3.3$

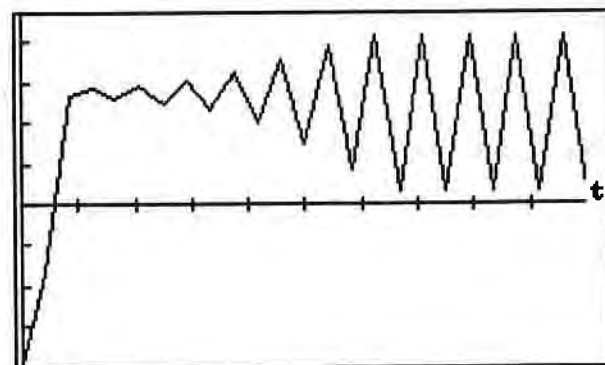


Abb. 3.18b: Zeitreihe zur Verhulst-Iteration
für $a=3.3$

Bei kleinen weiteren Erhöhungen des Kontrollparameters a beobachtet man weitere periodische Attraktoren, die jetzt zwischen 4, 8, 16 usw. Werten springen (s. Abb. 3.19 auf der nächsten Seite).

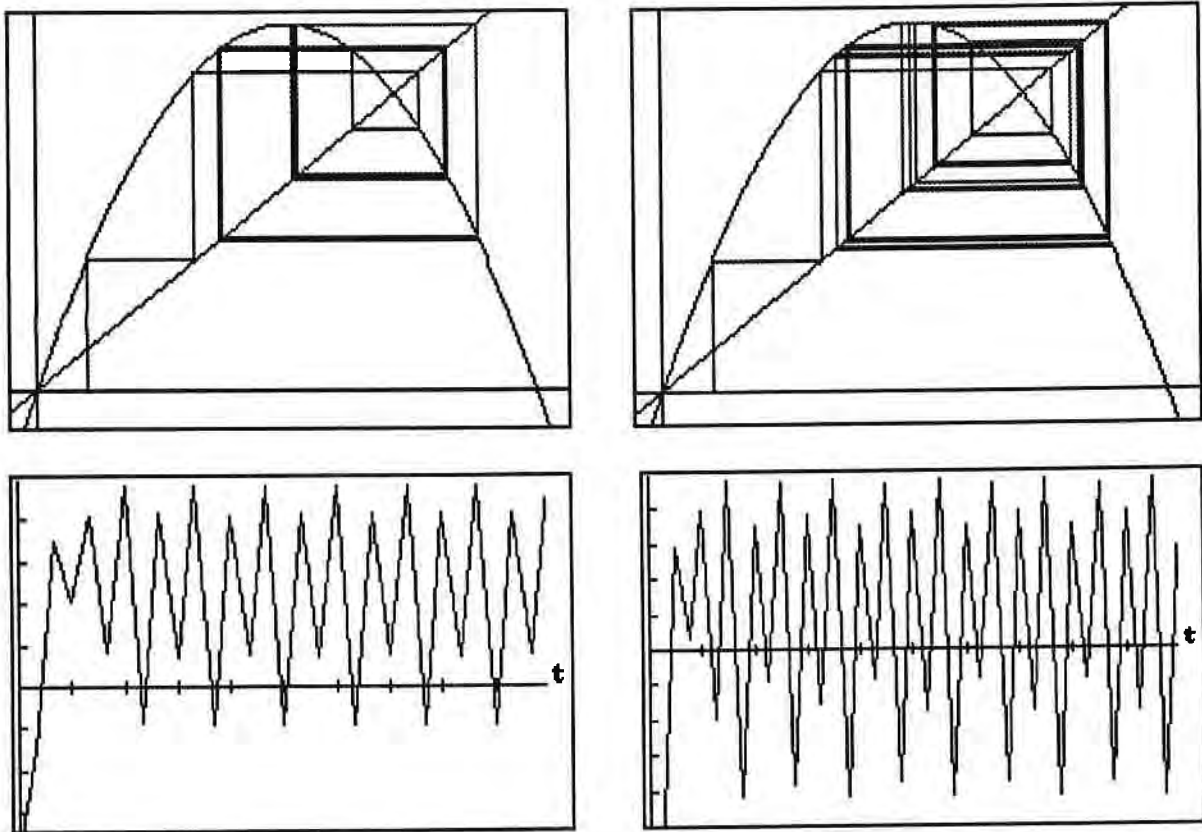


Abb. 3.19:
Darstellungen der Verhulst-map mit den Parametern $a=3.53$ (linke Spalte) und $a=3.559$ (rechte Spalte). Die Iteration zeigt komplexe Periodizitäten

Schließlich verliert sich auch diese Regelmäßigkeit in einer Kaskade von weiteren

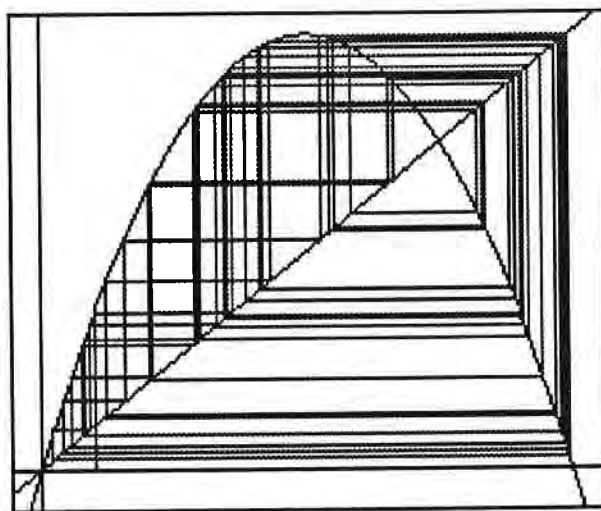


Abb. 3.20a: Deterministisches Chaos der Verhulst-map ($a=3.99$)

Verdopplungen bei $a=3.5699\dots$. Die Zeitreihenwerte oszillieren scheinbar zufällig: dieser Zustand ist ein Beispiel für deterministisches Chaos, denn jeder einzelne Wert ist unzweideutig durch die logistische Gleichung (3.4) determiniert. Dennoch kann der Verlauf der Zeitreihe nicht über längere Zeiträume vorhergesagt werden. Der gesamte Wertebereich wird vom chaotischen Attraktor überdeckt (Abb. 3.20a,b).

Ich habe damit den Weg der logistischen Abbildung ins Chaos entlang ausgewählter Punkte des Parameters a skizziert. Wenn man sehr viele Simulationen bei wechselnden Werten für den Parameter a (Abszisse) durchführt und die jeweils entstehenden Attraktoren auf der Ordinate abträgt, erhält man eine Darstellung des Parameterraums der Verhulst-map (Abb. 3.21):

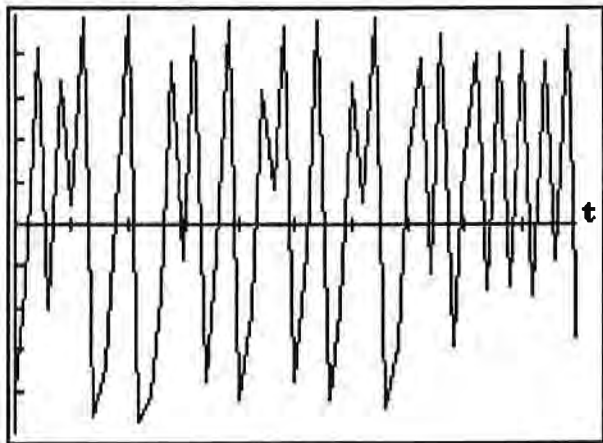


Abb. 3.20b: Zeitreihe zur chaotischen Verhulst-map ($a=3.99$)

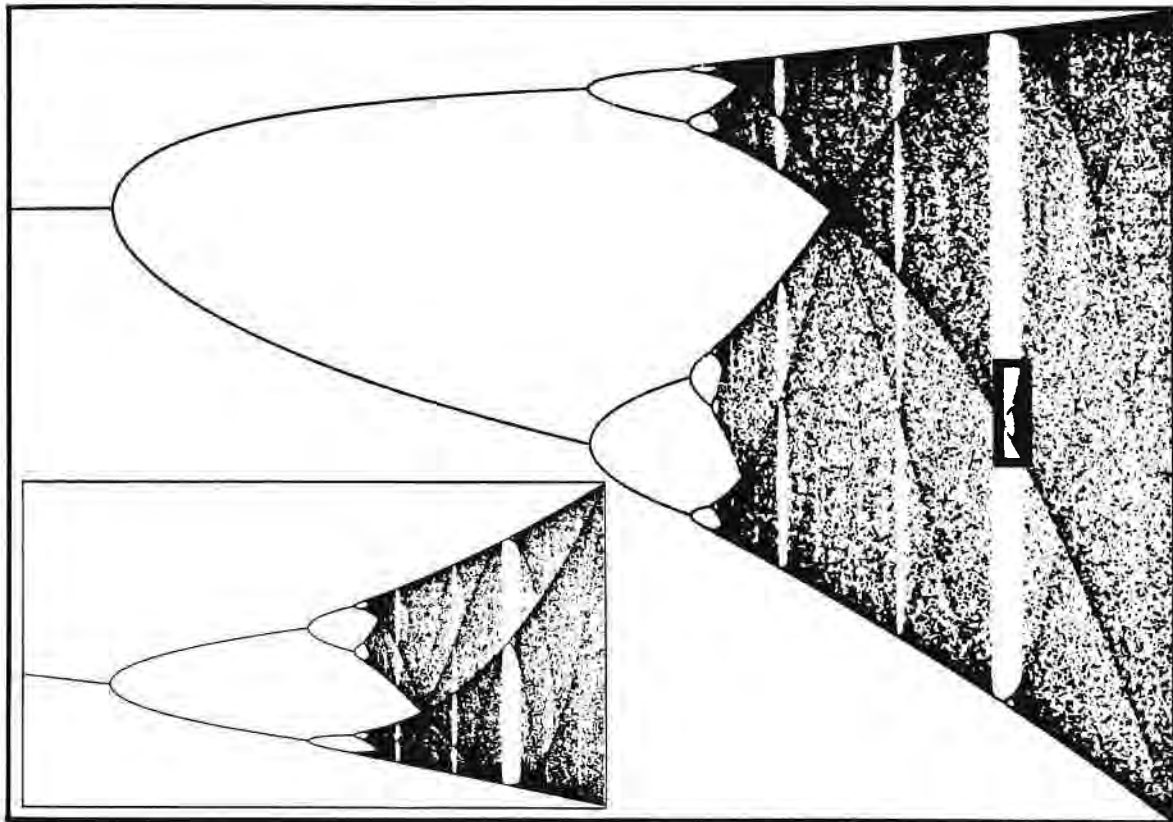


Abb. 3.21: Das Periodenverdopplungsszenario im Parameterraum der Verhulst-map. Verschiedene Parameterwerte für a sind entlang der Abszisse abgetragen. Für jeden Wert von a wurde der aus der map resultierende Attraktor eingezeichnet, indem zuerst 5000 Iterationen "im Dunkeln" ohne Markierung durchgeführt wurden und die darauf folgenden 120 Iterationswerte als Punkte markiert wurden. Das Fenster links unten ist eine Vergrößerung des eingezeichneten schwarzen Kastens (in Abszissenrichtung gedehnt) (aus: Peitgen & Richter, 1986)

In Abbildung 3.21 taucht wieder ein Phänomen auf, das ich im Zusammenhang mit der Besprechung des Parameterraums eines Pendels anführte: die Bifurkation. Die erste Bifurkation tritt auf, wenn der Fixpunktattraktor aus Abb. 3.16 dem Oszillieren zwischen zwei festen Werten Platz macht, dargestellt durch zwei durchgezogene Linien im Parameterraum von Abb. 3.21. Die nächste Bifurkation ergibt bereits ein Oszillieren zwischen vier Werten usw.: eine Bifurkationskaskade, die rasch in einen schwarz-weiß gesprenkelten chaotischen Attraktor übergeht. Interessanterweise ist der chaotische Bereich nicht einfach unstrukturiert, sondern durchzogen von schmalen Bändern, die selbst wiederum bei entsprechender Vergrößerung alle Eigenschaften des Gesamtbildes aufweisen, nämlich Bifurkationen und chaotische Bereiche, durchzogen von schmalen Bändern, die selbst wiederum ... Eine Welt von unendlicher Komplexität eröffnet sich so in der Dynamik einer einfachen nichtlinearen Iterationsanweisung, eine Welt der Erzeugung von Mustern in Mustern ad infinitum, prosaisch gesagt: **Selbstähnlichkeit**.

Ein weiteres Ergebnis der Erforschung der Bifurkationsdiagramme der ("logistischen") Verhulst-map und vieler anderer dynamischer Prozesse war die Entdeckung einer neuen Naturkonstanten: der Feigenbaum-Zahl $\delta = 4.669201...$ (Feigenbaum, 1978). δ ist das Verhältnis der Abstände von aufeinanderfolgenden Bifurkationspunkten, und wird in Bifurkationskaskaden der unterschiedlichsten Systeme universell gefunden. Diese Entdeckung Ende der siebziger Jahre wurde als eine Sensation empfunden und führte zu einer Lawine von Untersuchungen im Bereich der Bifurkationsmathematik. Neben auf dem Computer experimentell erzeugten Systemen (wie den oben genannten Rösslergleichungen) wurden nun auch viele natürliche Systeme beschrieben, die das "Feigenbaum-Szenario" des Periodenverdopplungs-Übergangs ins Chaos aufweisen (vgl. die Proceedings-Bände der von Haken herausgegebenen Synergetikreihe des Springer-Verlags; Gleick, 1988).

3.6.2 Die Mandelbrot-Menge

Das Gebiet selbstähnlicher dynamischer Muster ist insbesondere auch mit dem Namen Benoit Mandelbrot (1987) verbunden. Nach ihm ist als Mandelbrot-Menge ein Gebilde benannt, das ebenfalls bei einer quadratischen Iteration entsteht (Abb. 3.22).

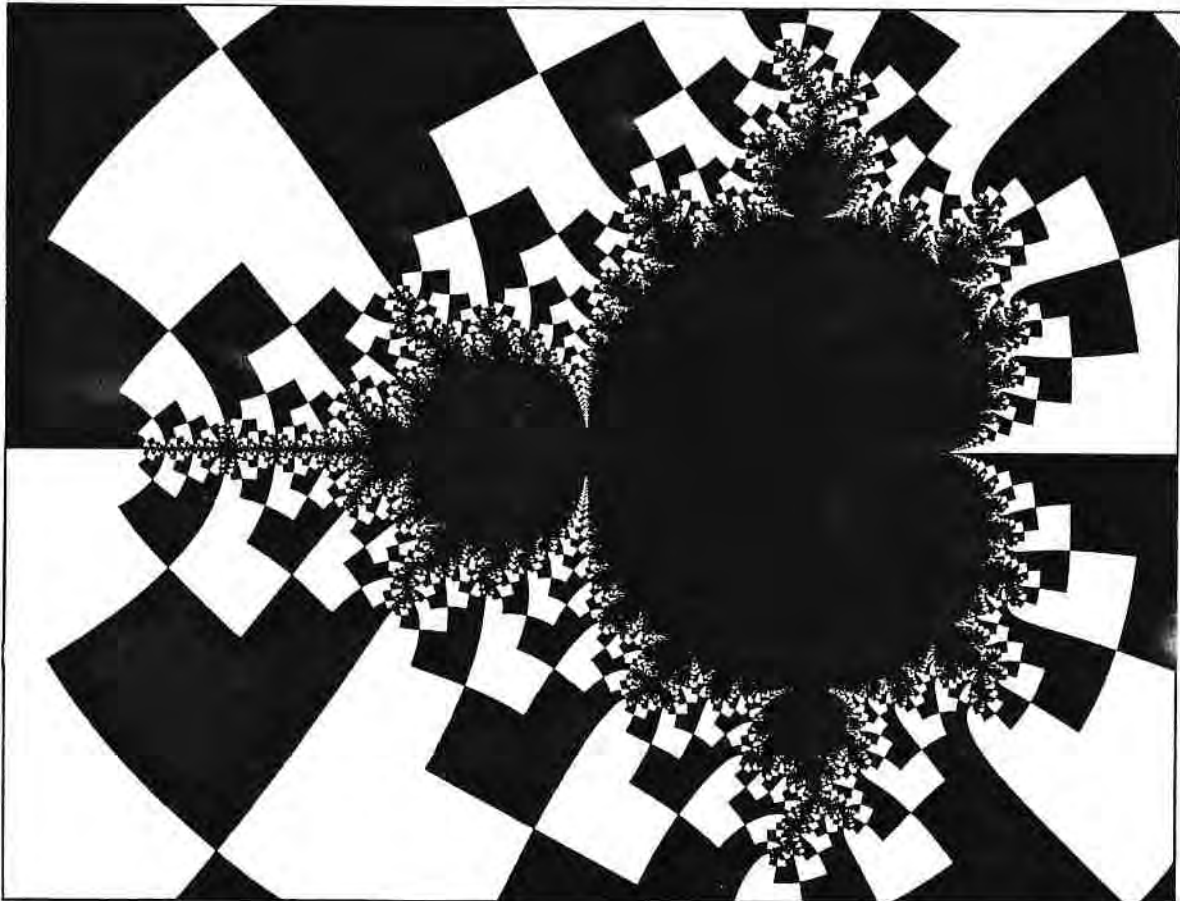


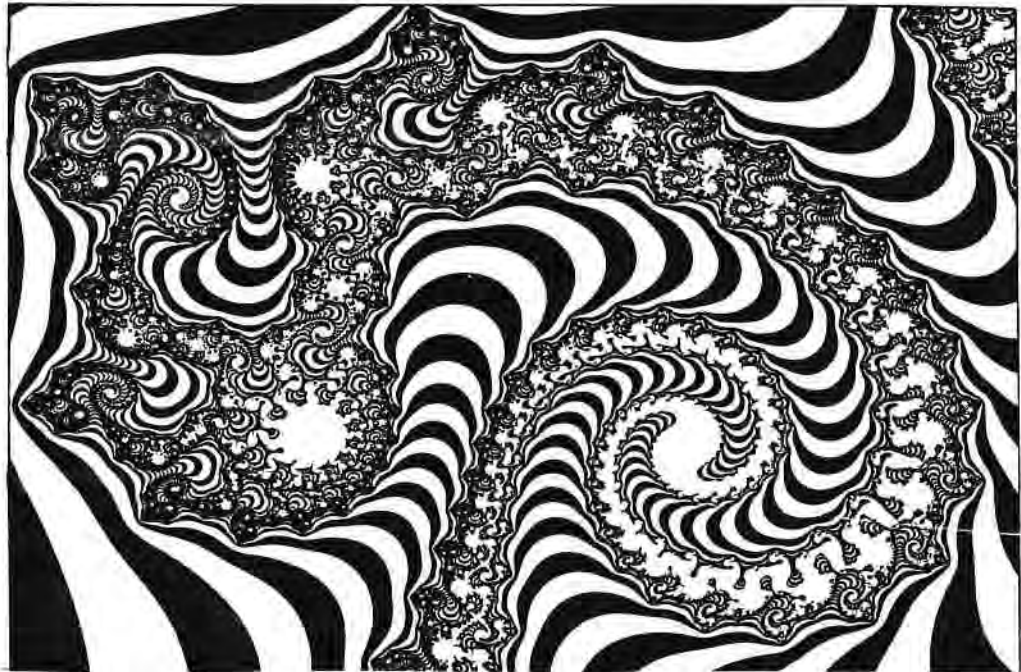
Abb. 3.22: Mandelbrot-Menge (aus: Peitgen & Richter, 1986)

Im Unterschied zur logistischen Abbildung wird diesmal die Iteration in der Menge der komplexen Zahlen durchgeführt (Becker & Dörfler, 1986, S. 53ff.). Jede Zahl ist dabei gewissermaßen zweidimensional als ein Punkt in der komplexen Ebene (mit einer reellen und einer imaginären Achse) dargestellt. Die Iterationsanweisung ist einfach (c ist eine Konstante):

$$x_{n+1} = x_n^2 + c \quad (3.6)$$

Die Mandelbrotmenge stellt die Grenze zwischen zwei Attraktoren dar (d.h. ist eine "Separatrix"). Für den Fall $c=0$ ist unmittelbar anschaulich, daß für Anfangswerte $x_n > 1$ die sich ergebende Folge immer größer wird ("Attraktor unendlich"), für $x_n < 1$ die Werte gegen Null konvergieren. Die Grenze ist damit die 1 selbst, der zweidimensional ein Kreis um den Ursprung der komplexen Ebene entspricht. Setzt man jedoch für c eine andere Zahl ein (z.B. $c=-0.123 + 0.565i$), so entsteht zwischen den beiden Attraktoren eine fraktale Grenze, die Mandelbrotmenge (Peitgen & Richter, 1986; Mandelbrot, 1987).

Abb. 3.23:
Detail aus
dem seahorse
valley am
Rande der
Mandelbrot-
Menge (aus:
Peitgen &
Richter,
1986)



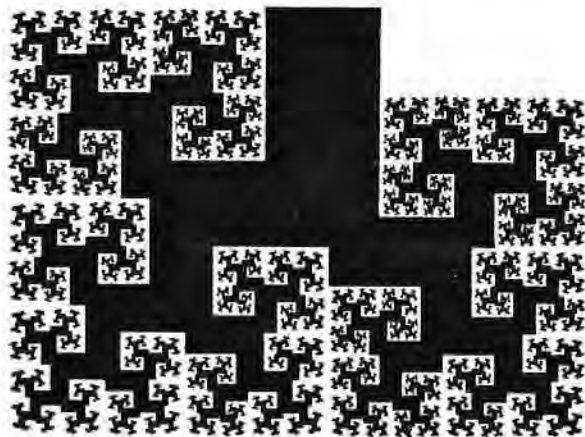
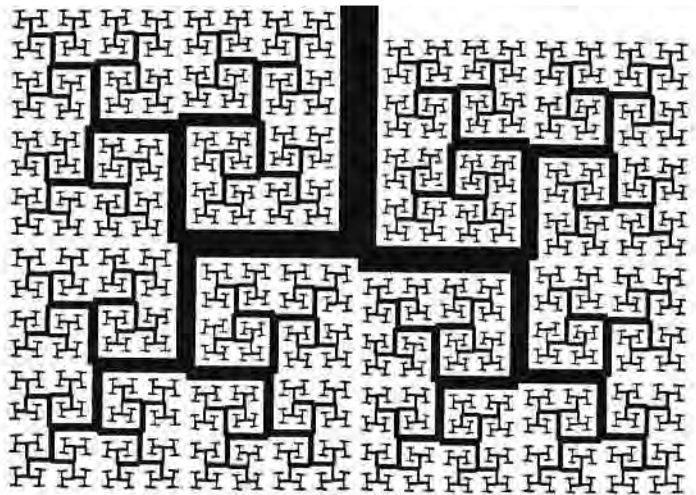
Die unüberschaubare Vielfalt der Formen, die eine computergraphische Darstellung der Dynamik von (3.6) ergibt, möchte ich hier nicht versuchen zu vermitteln. Dazu eignen sich die farbigen Graphiken im mehrmals zitierten Buch von Peitgen & Richter. An jedem Ort entlang der Grenze der Mandelbrotmenge (ob in "seahorse valley" oder in der Gegend des "Drachens") ergeben Vergrößerungen und Vergrößerungen von Vergrößerungen immer neue barocke Muster in Form von Spiralen, Girlanden und Stäuben (s. Abb. 3.23). Gelegentlich taucht auch wieder die ganze Form der Mandelbrotmenge selbst auf, die dann ein mikroskopisches Detail der ursprünglichen Mandelbrotmenge darstellt.

Zwei Begriffe bieten sich zur Beschreibung der topologischen Eigenart dieser

dynamischen Muster an. Das Konzept der Selbstähnlichkeit hat sich bereits zur Beschreibung des Feigenbaum-Szenarios als nützlich erwiesen: Auch die Mandelbrotmenge weist die Eigenschaft auf, auf verschiedenen Skalen (Vergrößerungen) stets wieder mit gleichen oder ähnlichen Mustern aufzuwarten, was auch als Skaleninvarianz bezeichnet wird. Der zweite Begriff ist die **Fraktalität**: Flächen und Linien der Muster erweisen sich bei näherem "Hinsehen" nie als wirklich flächen- oder linienhaft in dem Sinne, daß man ihnen einen Flächeninhalt oder eine Länge zuordnen könnte. Eine Linie ist immer so "verkrumpelt" und verknäuelte, daß eine mit einem Maßstab gemessene Länge immer größer wird, je genauer man anlegt, d.h. je kleiner der verwendete Maßstab ist. Mandelbrot (1987) hat dieses Problem dahingehend formuliert, daß er solchen Gebilden eine "fraktale Dimension" zuschreibt. Die verkrumpelte Linie ist demnach nicht mehr genau eindimensional, sondern beispielsweise 1.27-dimensional: sie ist fraktal. Dasselbe gilt für eine Fläche, die etwa gefaltet ist, wobei die Falten selbst wieder gefaltet sind usw.: diese Fläche hat eine Dimension zwischen 2 und 3, sie hat gewissermaßen schon einen Anflug Räumlichkeit.

Mandelbrot hat den Anstoß zu der Einsicht gegeben, daß fast alle Gebilde der Natur in einem bestimmten Skalenbereich fraktal sind. Bekannte Beispiele sind Verläufe von Küstenlinien, die immer

Abb. 3.24:
"Rekursive Bronchien" als selbst-ähnliche Strukturen (aus: Mandelbrot, 1987)

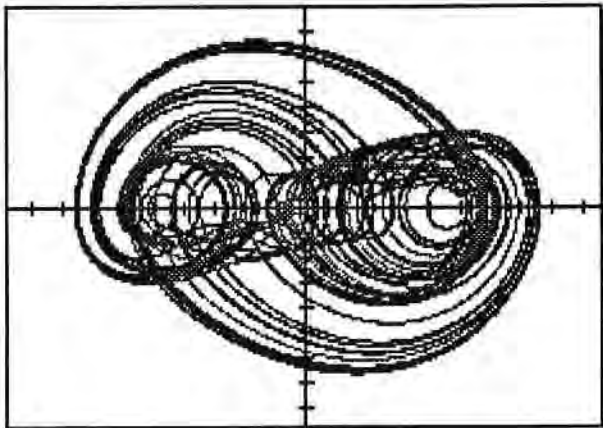


länger werden, je genauer man mißt; oder die Begrenzungen von Wolken oder Felsen. Die "inneren Oberflächen" von Lunge oder Darm sind fraktal, mit dem guten Grund einer maximalen physiologisch aktiven Fläche.

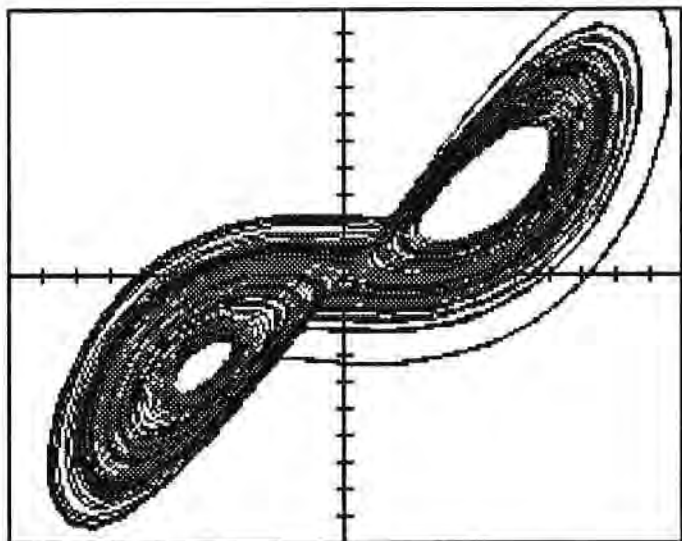
3.7 Chaotische Attraktoren

Schließlich, und dies ist für den Bereich der Dynamik wieder sehr bedeutsam, taucht der Begriff der fraktalen Dimension bei der Beschreibung chaotischer Attraktoren wieder auf. Als Beispiel habe ich bereits den Attraktor des Rössler-Systems in Abb. 3.5 angeführt. Weitere Beispiele finden sich in Abb. 3.25:

Abb. 3.25:
Zwei chaotische Attraktoren (oben: Silnikov-Attraktor; unten: Lorenz-Attraktor)



Zuerst: Warum handelt es sich bei den Gebilden in Abb. 3.5 und 3.25 überhaupt um Attraktoren? Dies erscheint auf den ersten Blick kontraintuitiv, da es sich ja eben um ein chaotisches Verhalten handelt, das nicht über längere Zeit voraussehbar ist. Bei allen einfachen Attraktoren, also den Fixpunkten, Grenzzyklen und Tori,

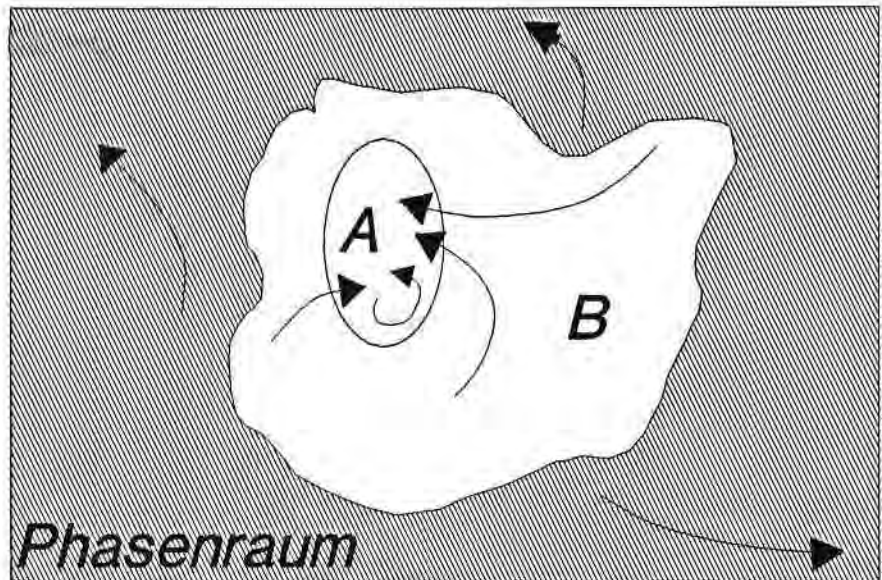


konnte man die Entstehung von Ordnung aus den zugehörigen Zeitreihen ablesen, die sich einem festen Wert oder einer festen Schwingung annäherten. In chaotischen

Zeitreihen ist das nicht mehr der Fall.

Um die Frage zu beantworten, muß man sich die allgemeine Definition eines Attraktors vor Augen führen: diese basiert darauf, daß alle Punkte einer bestimmten Menge B im Phasenraum (der Einzugsbereich oder das Bassin des Attraktors) durch die Dynamik auf eine Teilmenge A hin abgebildet werden; diese Teilmenge ist der Attraktor (s. Abb. 3.26).

Abb 3.26:
schematische Darstellung eines Attraktors (A) und seines Bassins (B) in einem Phasenraum



A muß gegenüber der Abbildung (im Fall einer Differentialgleichung: dem Fluß) invariant sein, d.h. ein Punkt von A verbleibt in A (genauer s. Bergé et al., 1984, S. 111ff.).

Diese Voraussetzungen sind beim Rössler-Attraktor durchaus gegeben: von vielen Anfangswerten aus findet sich die Trajektorie stets wieder auf dem merkwürdig gefalteten Band des Attraktors und bleibt dort. Information geht dabei verloren, denn wenn die Trajektorie auf dem Attraktor verläuft, ist die "Erinnerung" an ihren Anfangspunkt verloren.

Wenn man sich jetzt eine weitere Eigenschaft von Attraktoren vor Augen führt, wird plausibel, warum chaotische Attraktoren fraktal sein können. Attraktoren allgemein müssen von niedrigerer Dimension sein als der entsprechende Phasenraum (Nicolis & Prigogine, 1987, S.161; Bergé et al., 1984). Im obigen Fall des zweidimensionalen Pendels (Phasenraumdimensionen: Impuls und Auslenkung) konnten deshalb Fixpunkte (nulldimensional) und Grenzzyklen (eindimensional) attrahierend wirken. Bei dem durch

die Gleichungen (3.1) bestimmten Fluß ist der Phasenraum dreidimensional; von den einfachen Attraktoren käme also noch der zweidimensionale Torus in Frage, der das komplexe chaotische Verhalten aber nicht erklären kann - ein Attraktor mit einer fraktalen Dimension zwischen 2 und 3 paßt an dieser Stelle gut ins Schema.

Anhand von Beispielen ist bisher mehrmals von deterministischem Chaos gesprochen worden, ohne daß Chaos anders definiert worden wäre als negativ, durch die Abwesenheit von sichtbarer Ordnung und die Unmöglichkeit einer Vorhersage des zukünftigen Systemverhaltens. Gleichwohl ist diese Unordnung gleichzeitig als deterministisch bezeichnet worden - wie ist das möglich?

An dieser Stelle ist es notwendig, eine implizite Zusatzannahme des Kausalitätsbegriffs aufzugreifen, die für unser Alltagsverständnis, aber auch für weite wissenschaftliche Bereiche als selbstverständlich vorausgesetzt wird: die Annahme der starken Kausalität besagt, daß ähnliche Ursachen ähnliche Wirkungen haben. Man muß sich klar darüber werden, daß diese Formulierung umfassender ist als die Annahme, daß gleiche Ursachen gleiche Wirkungen haben, wie im schwachen Kausalitätsprinzip ausgesagt (Deker & Thomas, 1983).

Man kann das in der Sprache der Dynamik ausführen: ähnliche Ursachen

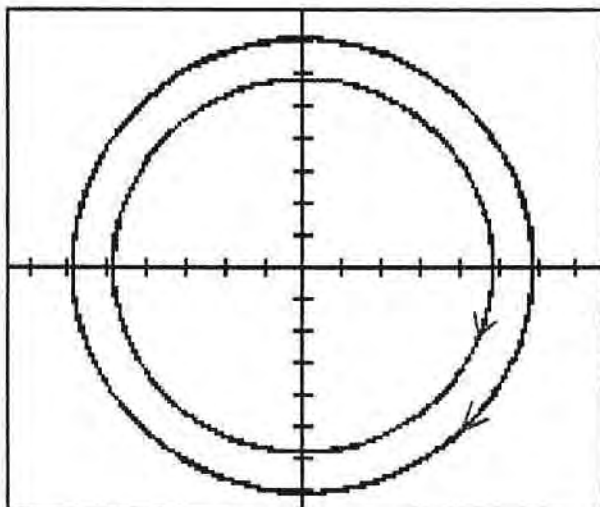


Abb. 3.27a: Phasenraumdarstellung eines konservativen Systems (die beiden Trajektorien schließen sich jeweils zu einem Kreis

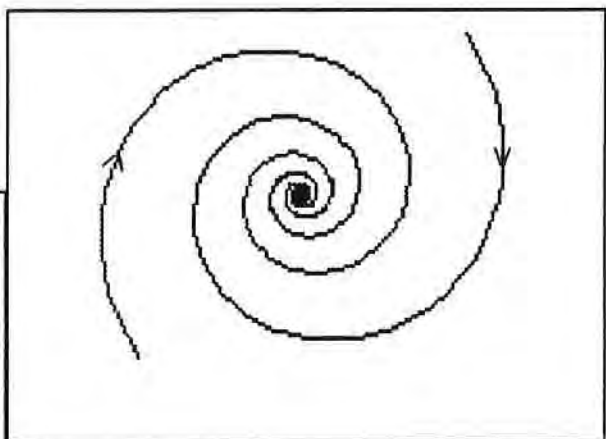
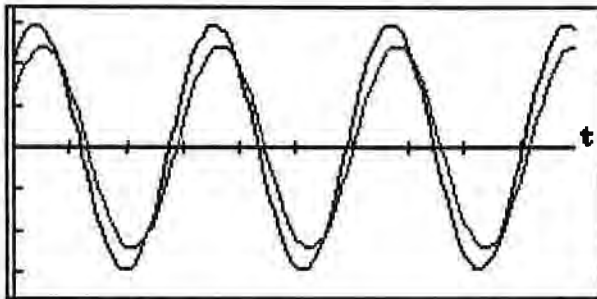


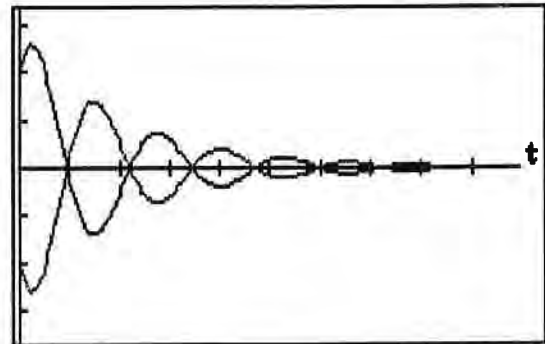
Abb. 3.27b: Dissipatives System (Trajektorien von zwei Anfangswerten laufen auf denselben Fixpunkt zu)

seien durch zwei nahe beieinanderliegende Punkte im Phasenraum eines Systems repräsentiert. Verfolgt man die von diesen Punkten ausgehenden Trajek-

torien, so könnte man sich bei Wirken des starken Kausalitätsprinzips sicher sein, daß auch nach einiger Zeit die Trajektorien noch nahe benachbart sind; der Unterschied zwischen den beiden Ausgangspunkten hat sich nicht vergrößert (Abb. 3.27a), in dissipativen Systemen im Bereich eines einfachen Attraktors kann er sich auch verringert haben (Abb. 3.27b).



Zeitreihe zu Abb. 3.27a

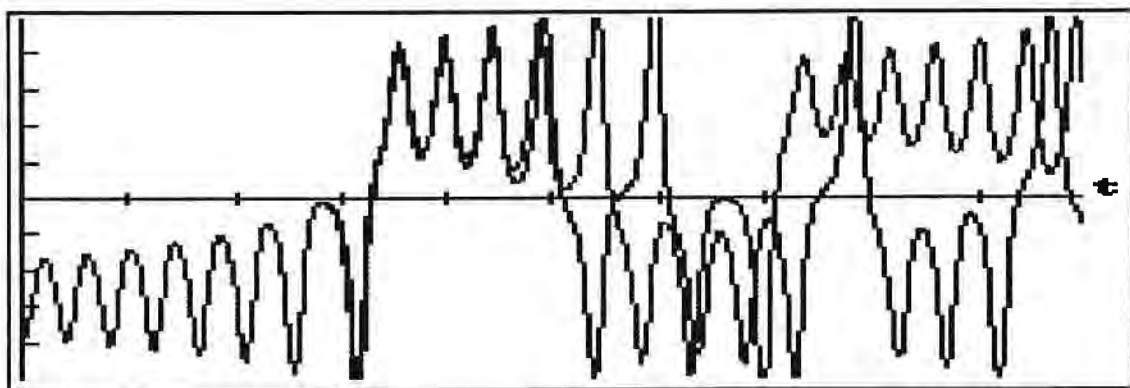
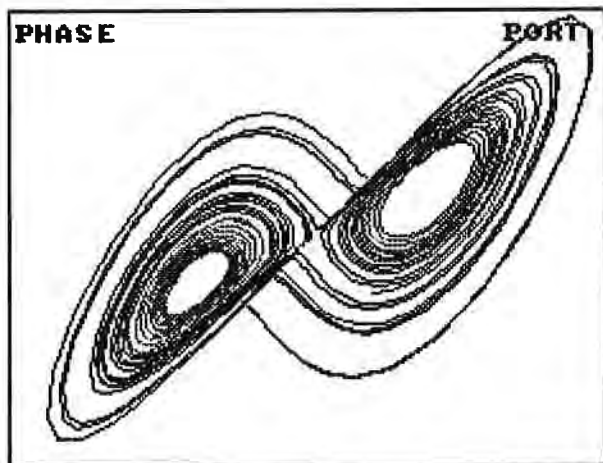


Zeitreihe zu Abb. 3.27b

Das ist aber nun ganz und gar nicht selbstverständlich, wie die folgende Phasenraumdarstellung des Lorenz-Systems zeigt (Abb. 3.28). Hier werden kleine Abweichungen offenbar sogar verstärkt:

Abb. 3.28:

Der Lorenzattraktor (rechts) sowie die zugehörige Zeitreihe einer seiner Variablen (unten); es zeigt sich, daß die Trajektorien und Zeitreihen zweier ursprünglich benachbarter Anfangswerte (hellere und dunklere Linien) auseinanderlaufen



Man nennt dieses Verhalten auch "sensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen" oder "Schmetterlingseffekt": der Flügelschlag eines Schmetterlings hier kann die Entwicklung eines Tornados auf einem anderen Kontinent beeinflussen (Lorenz, 1963). Sensible Abhängigkeit zeigen Prozesse, deren Trajektorien divergieren, die aber dennoch nicht zufallsbedingt sind; die Dynamik ist deterministisch, denn Trajektorien, die vom gleichen Punkt ausgehen, bleiben ja identisch (besser: durch jeden Punkt des Phasenraums führt nur eine einzige Trajektorie). Sensible Abhängigkeit ist charakteristisch für chaotische Systeme.

Die fraktale Mikrostruktur eines chaotischen Attraktors resultiert also aus zwei auf den ersten Blick konfligierenden Eigenschaften:

- a) das Verhalten auf dem Attraktor ist sensibel abhängig von den Anfangsbedingungen, d.h. benachbarte Trajektorien divergieren;
- b) der Attraktor ist eine begrenzte Teilmenge des Phasenraums, d.h. er muß den Phasenraum in irgendeiner Weise komprimieren.

Eigenschaft a) postuliert also eine dauernde raumfordernde Expansion von Trajektorien (das "Chaos-Postulat"); Eigenschaft b) fordert, daß alle Trajektorien, die aus dem Bassin des Attraktors stammen, auf den Attraktor hin konvergieren (das "Attraktor-Postulat").

Der Attraktor muß also beide Eigenschaften irgendwie verbinden - er tut dies, indem er das Band, auf dem die Trajektorien verlaufen, zuerst dehnt und daraufhin zusammenfaltet. Das ist analog dem Vorgang des Herstellens von Blätterteig: der Teig wird ausgewalzt und dann zusammengelegt; dies wird mit dem zusammengelegten Teig wiederholt. Man sieht hier also wieder einen iterativen Prozeß am Werk: Nach zehnmaligem Walzen und Falten besteht der Teig bei gleicher Dicke bereits aus über tausend hauchdünnen Schichten (Rössler, 1987; Abraham & Shaw, 1984). Der Teig wird dadurch zu einer fraktalen Masse mit der Eigenschaft der Selbstähnlichkeit (eine Schicht aus Schichten). Der Attraktor stellt ein in sich kreisförmig geschlossenes Band dar, das sich bei jedem Orbit neu einfaltet. Der Cartoon in Abb. 3.29 auf der nächsten Seite symbolisiert dies:

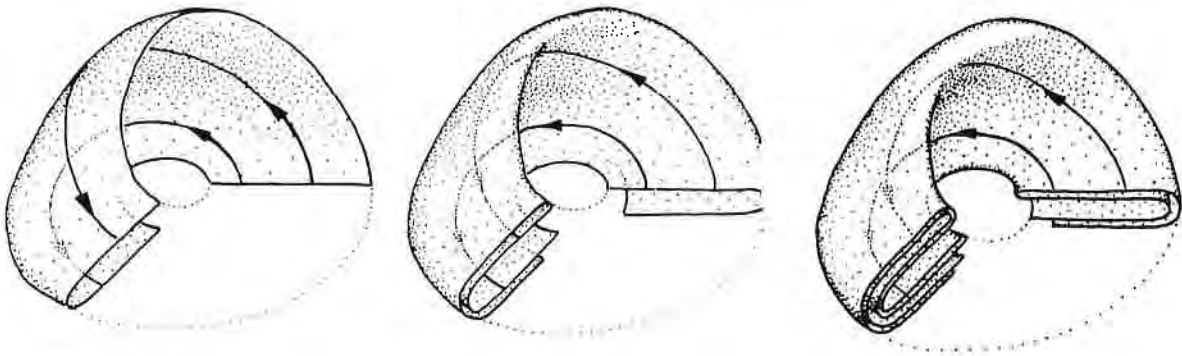


Abb. 3.29:
Konstruktionsprinzip des Rössler-Attraktors durch fortwährendes Dehnen und Falten. Die hufeisenförmigen Schnittflächen sind Poincaré-Sektionen (aus: Abraham & Shaw, 1983)

Die Poincaré-Schnitte des Rössler-Attraktors sind von der Form einer Hufeisen-Abbildung (Smale horseshoe map; Smale, 1980). Hufeisen-Abbildungen können in allen bekannten chaotischen Attraktoren von dissipativen dynamischen Systemen gefunden werden, da sie in gewisser Weise den Vorgang des Faltens definieren. Sie sind Endomorphismen, d.h. Abbildungen, die eine Menge auf sich selbst abbilden (Thompson & Stewart, 1986). Nicolis & Prigogine (1987) bezeichnen die Hufeisendynamik als "Urbild für irreguläre Bewegung und zugleich chaotisches Verhalten". Solche dynamische Regimes, die dem Rösslerattraktor unterliegen, sind mittlerweile auch an realen Systemen aufgezeigt worden, so im chaotischen Bereich der Belousov-Zhabotinsky-Reaktion (Roux et al., 1983; s. Abb. 5.1), beim tropfenden Wasserhahn (Shaw, 1984; Crutchfield et al., 1987) und bei anharmonischen Oszillatoren (Huberman & Crutchfield, 1979).

Damit sehen wir in der Diskussion der Mikrostruktur chaotischer Attraktoren mit den Begriffen von Fraktalität, Selbstähnlichkeit und Endomorphismus mathematische Analoge zu Phänomenen, denen wir im Zusammenhang mit Selbstorganisationsprozessen bereits begegnet sind: der Emergenz von Ordnung aus einfachen Dynamiken. Chaotische Attraktoren zeigen einen fortwährenden informationserzeugenden Prozeß des Dehnens und Faltens, der an das Zusammenspiel von positiver und negativer Rückkopplung in selbstorganisierten Systemen erinnert.

Kapitel 4

METATHEORIEN DER SELBSTORGANISATION

Ich möchte im folgenden die Ansätze von Haken und von Prigogine und die ihnen jeweils eigentümliche Terminologie skizzieren. Wesentliche Grundlagen beider Forschungsprogramme sind die Begriffe der Theorie dynamischer Systeme sowie die Phänomenologie der Selbstorganisation, wie sie in den ersten Teilen der vorliegenden Arbeit umrissen wurden.

4.1 Synergetik

Die Synergetik ist ein interdisziplinäres Forschungsprogramm zur Untersuchung offener Systeme (Haken, 1983a; 1983b). Die Eigenschaft der "Selbstorganisation" kann als ein Kennzeichen einer speziellen Klasse von solchen Systemen gesehen werden. Selbstorganisation ist ubiquitär; sie ist überall auffindbar, wo Systeme Voraussetzungen erfüllen wie:

- * Offenheit gegenüber der Umwelt (in Form von Flüssen von Masse/Energie/Information);
- * Interaktion vieler Systemkomponenten;
- * Nonlinearität durch positive/negative Rückkopplung.

Solche Systeme zeigen eine Tendenz, aus sich heraus spontan Ordnung in Form räumlicher oder zeitlicher Muster zu erzeugen. Bedeutsam ist insbesondere, daß dies spontan erfolgt, daß also keine äußere Kontrollinstanz die Entstehung von Struktur und Ordnung steuert, kein Programm (in der Art der DNS) diese bereits in nuce in sich trägt, kein irgendwie gearteter "Dämon" durch zielgerichtetes Handeln Ordnung herstellt. Die

Ordnungsbildung ist dem System emergent, stellt eine neue Qualität dar. Diese Ordnungsphänomene evolvieren aus dem Zusammenwirken (griech: synergein) der Komponenten. Haken beschreibt im wesentlichen zwei Ansätze zu einer Modellierung solcher Systeme, die verschiedene hierarchische Ebenen betreffen:

4.1.1 Der mikroskopische Ansatz

Dieser Ansatz setzt voraus, daß die Gesetze, die die Bewegung (das Verhalten) jeder einzelnen Komponente eines Systems festlegen, bekannt sind. In der Physik sind dies insbesondere die Erhaltungsgesetze (Erhaltung von Impuls, Energie, Masse), mittels derer die Bewegung eines einzelnen Moleküls beschrieben werden kann. In dieser Weise kann also das gesamte System, dessen Komponenten etwa Moleküle seien (wie z.B. im Fall einer Flüssigkeit), mittels der Zustände aller Moleküle erfaßt werden. Diese Zustände sollen in einem Zustandsvektor q zusammengefaßt sein. Da die Synergetik sich für die Dynamik dieses Systems interessiert, ist die Ableitung $\dot{q} = dq/dt$ zentral. Diese Ableitung wird mit der Evolutionsgleichung formal so gegeben (Haken, 1987a):

$$\dot{q} = N(q, \alpha) + F \quad (4.1)$$

Dabei bedeutet N eine nonlineare Funktion (die auch Differentialoperatoren etwa für räumliche partielle Ableitungen enthalten kann); α steht für den oder die Kontrollparameter; F repräsentiert die gaussverteilten Fluktuationen, also dauernd wirkende (kleine) Zufallsschwankungen. Damit ist auch eine wesentliche Aussage über die Synergetik getroffen, nämlich daß sie deterministische und stochastische Aspekte gleichermaßen am Werk sieht.

Um das Verhalten der Gleichung (4.1) in der Nähe eines Gleichgewichtes q_0 zu studieren, können in einer linearen Stabilitätsanalyse genannten Berechnung stabile und instabile "Moden" gefunden werden (Haken, 1988a). Für den Zustand q eines Systems

ergibt sich damit folgender Zusammenhang:

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}_0 + \sum_u \xi_u(t) \mathbf{v}_u + \sum_s \xi_s(t) \mathbf{v}_s \quad (4.2)$$

ξ_u : Amplituden der instabilen (u) Moden (Ordnungsparameter)

ξ_s : Amplituden der stabilen (s) Moden

$\mathbf{v}$: eine raumabhängige Funktion

Moden sind kollektive Verhaltensmuster, die das System realisiert. Im Bereich des Gleichgewichtspunktes findet man nun, daß die instabil genannten Moden die Überhand über alle anderen Muster gewinnen. Dies wird von Haken das Versklavungsprinzip genannt: in den entsprechenden Evolutionsgleichungen lassen sich die stabilen Moden mit Hilfe der instabilen ausdrücken und so aus den Gleichungen eliminieren (Haken, 1983b, 1987a; Küppers, 1987). Die instabilen Moden verändern sich in der Nähe des kritischen Punktes nur langsam: langsam veränderliche Moden versklaven die schnell veränderlichen. Die instabilen Moden werden zu **Ordnungsparametern**, die das makroskopische Verhalten des Systems vollständig beherrschen. Damit geht auch eine Reduktion der Freiheitsgrade einher, da die Evolutionsgleichung (4.1) mit sehr vielen mikroskopischen Freiheitsgraden durch die Ordnungsgleichung(en) ersetzt werden kann. Dynamisch gesprochen hat sich durch Selbstorganisation ein Attraktor ausgebildet.

Im Falle mehrerer Ordnungsparameter ist es möglich, daß diese miteinander kooperieren oder aber in Konkurrenz stehen, bis einer der Ordnungsparameter durch Selektionsprozesse "überlebt" hat (Küppers, 1987; Eigen & Schuster, 1979). Es ist hier auch der Fall des deterministischen Chaos möglich, wenn mehrere (mindestens drei) Ordnungsparameter konkurrieren und jeweils nur für kurze Zeit die anderen versklaven können (Haken, 1984, S. 126f). Jedenfalls ergeben sich in den respektiven Ordnungsparameterräumen Dynamiken, wie ich sie bereits in Kapitel 3 in verschiedenen Abbildungen für den Phasenraum dargestellt habe.

Zwischen dem Verlust linearer Stabilität an Bifurkationspunkten, dem Verskla-

vungsprinzip und der Emergenz von Ordnungsparametern besteht ein wichtiger innerer Zusammenhang, der den Kern der Synergetik ausmacht. Ich habe versucht, dies im voranstehenden ohne Rückgriff auf die bei Haken ausgeführte mathematische Argumentation deutlich zu machen.

4.1.2 Der makroskopische Ansatz

Ein Vorschlag zur Anwendung der Synergetik auf soziale Prozesse (gemeint sind umfassendere Prozesse innerhalb der Gesellschaft) wird von Wunderlin und Haken (1983) gemacht. Der Aufsatz war motiviert durch die von Haken als dubios angesehene Verwendung der Synergetik innerhalb der Soziologie (Wunderlin, pers. Mitteilung). Die Komponenten des sozialen Systems seien hier die Individuen. Aufgrund der Probleme, diese Elemente sozialer Systeme quantitativ zu erfassen, wird angeregt, sich auf die Beschreibung kollektiven Verhaltens zu beschränken, d.h. die Ordnungsparameter direkt zu bestimmen. Ein Minimalmodell der Bildung einer öffentlichen Meinung wird formuliert, um daraus qualitative Szenarios gesellschaftlicher Prozesse zu gewinnen (zu einer Diskussion verschiedener Systemmodelle, die für kleinere soziale Systeme aus sozialpsychologischer und familientherapeutischer Sicht geeignet sind, s.u.).

Haken (1988a) greift den makroskopischen Ansatz im Zusammenhang mit einer informationstheoretischen Fassung des Selbstorganisationskonzeptes wieder auf. Dieser Ansatz bekommt nun einen neuen Stellenwert in der Synergetik, er bildet eine "second foundation of synergetics" (Haken, 1988a, S. 14); mit seiner Hilfe soll die Wahrscheinlichkeitsverteilung mikroskopischer Systemeigenschaften aus makroskopischen Daten erschlossen werden. Zentral bei dieser Neuformulierung der Synergetik mittels der Information ist das "maximum information entropy principle", das allgemein von Jaynes (1985) entwickelt wurde.

Der makroskopische Ansatz wird bei Haken auch als phänomenologischer Ansatz bezeichnet. Ohne theoretische Vorannahmen darüber, welche Prozesse das System konstituieren, sollen die beobachtbaren "phänomenalen" Regelmäßigkeiten und

selbstorganisierten Dynamiken direkt mit geeigneten mathematischen Mitteln simuliert werden.

4.2 Irreversible Thermodynamik

Diese zweite Metatheorie von großer interdisziplinärer Bedeutung stammt von Ilya Prigogine. So wie Hakens paradigmatisches System der Laser war, entwickelte Prigogine seine Gedanken zu dissipativen selbstorganisierten Systemen anfangs an chemischen Reaktionssystemen wie dem nach Prigogines erstem Wirkort nach seiner Emigration aus Rußland benannten "Brusselator" (vgl. die in Kapitel 1 ausführlicher beschriebene BZR-Reaktion). Prigogines Ausgangspunkt zum Verständnis der Selbstorganisation ist die Thermodynamik (Prigogine & Stengers, 1981).

Eine wichtige Unterscheidung ist die zwischen konservativen und dissipativen Prozessen oder Systemen. Konservative Systeme wurden oben bereits am Idealbeispiel eines reibungsfreien Pendels charakterisiert: in diesen Hamiltonschen Systemen bleibt Energie und Masse erhalten; die Gesamtenergie des Systems gemäß seiner Hamiltonfunktion kann zwischen verschiedenen Energieformen (z.B. Lage- und Bewegungsenergie) reversibel transformiert werden. Dies liegt ja der Pendelbewegung zugrunde. Dissipation ("Zerstreuung") durch Reibung, Wärmeleitung, chemische Reaktionen oder Diffusion dagegen führt zu einer Zerstreuung gerichteter "freier" Energie und ist irreversibel. Es ist Inhalt des bekannten Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, daß die Entropie S in einem geschlossenen System zunehmen muß; also gilt:

$$dS/dt \geq 0 \qquad (4.3)$$

Die Entropieänderung läßt sich für offene Systeme in zwei Teile zerlegen, den Entropiefluß dS_e und die Entropieproduktion dS_i (Nicolis & Prigogine, 1987). Der Entropiefluß kann positiv oder negativ sein, je nachdem ob das System Unordnung in

seine Umwelt exportiert oder daraus bezieht.

$$dS/dt = dS_i/dt + dS_e/dt \quad (4.4)$$

In Erweiterung des Zweiten Hauptsatzes gilt als Dissipativitätsbedingung auch in offenen Systemen, daß die innere Entropie zunehmen muß:

$$dS_i \geq 0 \quad (4.5)$$

Selbstorganisation fordert nun, daß die Ordnung im System größer wird, also $dS/dt > 0$ ist. Aus den Gleichungen (4.4) und (4.5) kann demnach leicht abgeleitet werden, daß der Entropiefluß dann stark negativ sein muß, um die Entropieproduktion betragsmäßig zu übertreffen. Daraus folgt also zwingend, daß Selbstorganisation durch Zufuhr freier Energie oder durch Massenzufuhr erzeugt oder ermöglicht werden muß. Flüsse über die Systemgrenzen hinweg sind deswegen notwendige Voraussetzung für Selbstorganisation. Im thermodynamischen Gleichgewicht kommen alle Flüsse zum Erliegen; dies ist das Szenario des "Wärmetods" nach Boltzmann: folglich können nur Systeme fern des thermodynamischen Gleichgewichts selbstorganisiert sein. Auf der Basis thermodynamischer Überlegungen zu dissipativen Systemen gelangt Prigogine also ebenfalls zu einer einheitlichen Formulierung von Komplexität und Selbstorganisation (Nicolis & Prigogine, 1987). Der Aspekt der Irreversibilität ist in einer Betonung der Zeit und der Geschichtlichkeit dissipativer Evolution enthalten. Das Interesse verlagert sich "vom Sein zum Werden" (so der Titel von Prigogine, 1979).

4.3 Vergleich der Ansätze Hakens und Prigogines

Beide Metatheorien, die Synergetik und die irreversible Thermodynamik, gelangen von unterschiedlichen Ausgangspunkten zum zentralen Thema Komplexität und Selbstorganisation. Ähnlich verläuft auch die interdisziplinäre Dynamik, die von den

respektiven "home bases" Physik und Chemie mit den paradigmatischen Systemen Laser und BZR aus zunächst allgemeinere naturwissenschaftliche Anwendungen exploriert, und schließlich in die Biologie und Humanwissenschaften expandiert (z.B. Allen & Sanglier, 1981; Elkaim, 1985; Kugler & Turvey, 1987; Weidlich & Haag, 1983; das geplante Forschungsprogramm "sozialwissenschaftliche Synergetik": Tschacher et al., 1989). In jüngster Zeit scheinen sich die Interessen der Begründer der Metatheorien allerdings auseinanderzuentwickeln: Prigogine befaßt sich mit Themen aus dem Bereich der Kosmologie (vgl. Jantsch, 1979), Haken zunehmend mit Fragen der Kognitionswissenschaften (Haken 1988a, b; vgl. auch die Elmau-Tagung 1989: Tschacher, 1990).

Vergleiche der beiden Ansätze aus Sicht der Synergetik finden sich in Haken (1983a,b und 1984). Es ist nicht erstaunlich, daß die Synergetik hier als die umfassendere und überlegene Theorie erscheint. Das von Glansdorff & Prigogine (1971) aufgestellte universelle Prinzip der Entstehung dissipativer Strukturen sei unzureichend (Haken, 1984), und habe auch nicht die behauptete Form einer Lyapunov-Funktion. Der Entropiebegriff der Thermodynamik sei definitionsgemäß nur in der Nähe des thermischen Gleichgewichts voll gültig (Haken, 1983b), weshalb der Begriff der Information zur Grundlage der Diskussion selbstorganisierter Systeme herangezogen werden soll (Haken, 1988a). Ordnungsparameter als makroskopische Variable seien anderer Natur als thermodynamische Variable, und deshalb für Vorgänge fern des Gleichgewichts besser geeignet.

Die Rolle der Theorie dynamischer Systeme als mathematische Teildisziplin, dort insbesondere auch die Bifurkationstheorie, ist sowohl in der Synergetik als auch der irreversiblen Thermodynamik Prigogines grundlegend. Die Theorie dynamischer Systeme bietet Modelle auf deterministischer Grundlage zur Beschreibung auch von Selbstorganisationsprozessen. Ebenso entscheidend jedoch ist die Funktion, die Fluktuationen an Bifurkationspunkten besitzen, d.h. stochastische Prozesse müssen miteinbezogen werden. Haken (1983a) spricht in diesem Zusammenhang von einer "Hochzeit zwischen beiden Disziplinen" (der Theorie dynamischer Systeme und der statistischen Physik) als dem Bereich der Synergetik.

4.4 Weitere Selbstorganisationstheorien

Alle weiteren Selbstorganisationstheorien fallen in der Breite des von ihnen überspannten Gegenstandsbereichs gegen die Konzeptualisierung nach Haken oder Prigogine ab. Am ehesten wurde noch der Autopoiese-begriff von biologischen Systemen auch auf andere Bereiche übertragen (Luhmann, 1984, 1985; Jantsch, 1979), wenn auch nicht immer mit Zustimmung seiner "Konstrukteure" (Simon, 1988). Er wird deshalb hier aufgeführt, obwohl er nicht in formalisierter Form vorliegt.

Eigen selbst war eher zurückhaltend, was die Übertragung seines Hyperzyklus-konzepts anbelangt (Krohn et al., 1987; Druwe, 1988; Schöppe et al., 1989).

Diese beiden Ansätze sind deshalb hier nur cursorisch abgehandelt. Auf die Terminologie der Autopoiese wird allerdings nochmals in Kapitel 8 eingegangen.

4.4.1 Der Begriff der Autopoiese nach Maturana und Varela

Der Begriff der Autopoiese (übersetzt etwa: Selbstschaffung) bezeichnet die selbstreplikative Organisationsform von Lebewesen, die nach Maturana (1982) und Maturana & Varela (1987) folgendermaßen gekennzeichnet ist: die Bestandteile des autopoietischen Systems stellen durch ihre Interaktion rekursiv das Netzwerk zur Produktion von Bestandteilen her, das sie selbst erzeugt. Sinnbild einer solchen Organisationsform ist ein Organismus, der fortwährend die Zellen aufbaut und ersetzt, die ihn selbst ausmachen. Betont wird im Zusammenhang mit der rekursiven Verknüpfung der Aspekt der "operationalen Schließung": die Bestandteile interagieren nur mit ihresgleichen, sie beteiligen sich nicht an einem Austausch mit Bestandteilen außerhalb des autopoietischen Systems. Insofern müsse das Verhältnis System - Umwelt statt durch Begriffe von input und output durch ein Konzept "struktureller Koppelung" beschrieben werden.

Diese epistemologische Fragestellungen betonende Fassung einer Selbstorganisationstheorie, die sich in ihrer z.T. eigenwilligen Terminologie von den bisher

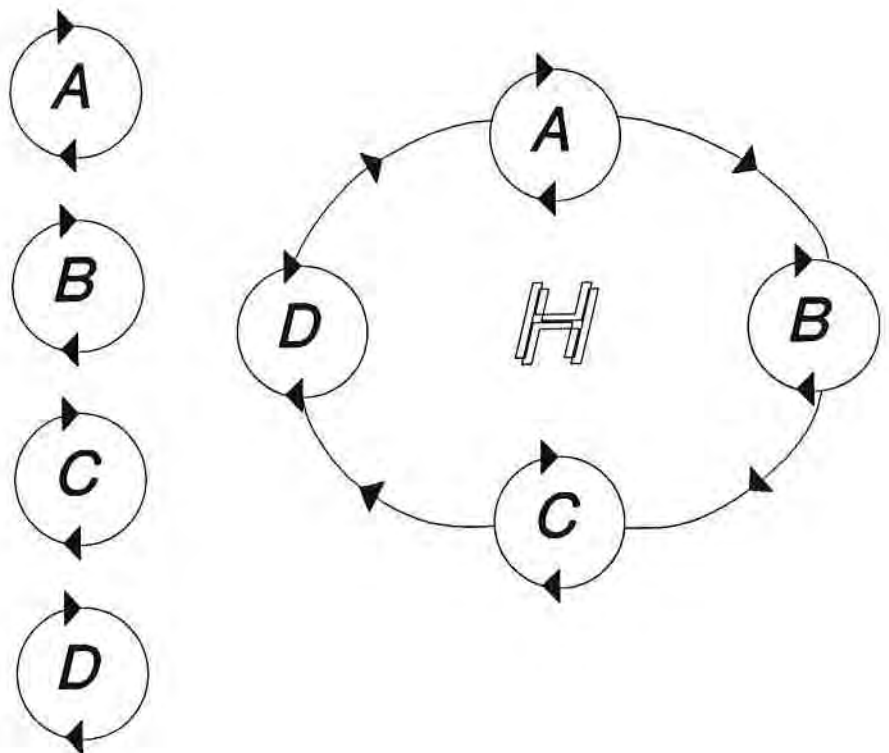
beschriebenen Ansätzen abhebt, wurde von den Autoren selbst auf kognitive Systeme ausgedehnt (Maturana & Varela, 1980). Hierbei werden erkenntnistheoretische Folgerungen gezogen, die als Konstruktivismus Gedanken des philosophischen Idealismus aufgreifen, und Stellung gegen einen Abbild-Realismus beziehen. Durch Luhmann (1984) wird der Autopoiesebegriff modifiziert in die Soziologie übertragen. Auf Adaptationsversuche seitens der Klinischen Psychologie werde ich unten weiter eingehen.

Zu einer Klärung der Terminologie hat Roth (1986) beigetragen, indem er zwischen Selbstorganisation, Selbstherstellung, Selbsterhaltung und Selbstreferentialität differenziert. Das einzige wirklich autopoietische System (im Sinne der Selbsterhaltung) ist in dieser Darstellung die gesamte Biosphäre der Erde (an der Heiden et al., 1985).

4.4.2 Die Theorie des Hyperzyklus nach Eigen und Schuster

Biochemische Reaktionssysteme bilden den Ausgangspunkt der Hyperzyklustheorie. Betrachtet man eine Sequenz von chemischen Reaktionen, die an irgendeiner Stelle ein

Abb. 4.1:
Darstellung eines Hyperzyklus als zyklische Verknüpfung sich selbst reproduzierender Einzelzyklen A, B, C, D; H: Hyperzyklus



Reaktionsprodukt bildet, das identisch mit einem Ausgangsstoff auf einer früheren Stufe ist, spricht man von einer autokatalytischen Reaktion (s. Abb. 4.1). Autokatalytische Reaktionsverläufe wurden oben (1.2) als konstitutiv für ein chemisches selbstorganisiertes System, die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion, beschrieben. Ein Hyperzyklus (Abb. 4.1) stellt nun einen Zyklus aus autokatalytischen Zyklen dar (Eigen & Schuster, 1979; Eigen, 1982). Solche biochemischen Zyklen sind von größter Bedeutung im Metabolismus (ATP-Stoffwechsel) und bei der Selbstreproduktion von Organismen. Hyperzyklen sind selbstorganisierte Systeme, deren Bildung aus einfachen Reaktionssystemen mittels Mutation und Selektion Grundfragen der heutigen Evolutionstheorie in der Biologie darstellen, wie etwa die Frage nach der Entstehung des Lebens im Verlauf einer präbiotischen Evolution. Wie bereits oben angedeutet, spielen nonlineare Phasenübergänge und Bifurkationen bei der Herausmodellierung neuer Ordnungszustände wie auch bei der Bildung eines ersten Translationsmechanismus eine wichtige Rolle.

Kapitel 5

UMSETZUNG DES FORSCHUNGSPROGRAMMS DER SELBSTORGANISATION IN DIE PSYCHOLOGIE

5.1 Vorbemerkung zum Phänomen der Selbstorganisation im Bereich der Psychologie

Die Wissenschaften, die sich mit dem Aufbau und dem Verhalten lebender Systeme befassen, haben es ganz selbstverständlich immer mit Gegenständen zu tun gehabt, die Verhalten aus sich heraus, spontan und ohne sichtbaren Anstoß zeigten, oder in ebendieser Weise Struktur aufbauten. In vorwissenschaftlicher Zeit galt dies als letztes eigentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen lebenden und nichtbelebten Dingen. Aristoteles nannte dieses Prinzip "Entelechie", eine Lebewesen immanente Wachstums- und Entwicklungskraft, die sich auch in ihrer Zielgerichtetheit zeigt. Dem entspricht eine eigene Form der Kausalität, die "Zweckursache" *causa finalis* (Bibliographisches Institut, 1987; Bischof, 1985). Auch nachdem Galilei und Newton das aristotelische teleologische Denken in den Naturwissenschaften abgelöst hatten, blieb das Entelechieprinzip im Bereich der Biologie in Form des Vitalismus erhalten: die Mechanik bot sich nicht eben an, komplexe biologische oder psychische Systeme zu erklären. Vitalistisches Denken findet sich heute noch in nichtempirischen, "verstehenden" Ansätzen nicht nur esoterischer oder religiöser Provenienz, die den Wesensunterschied zwischen Leib und Seele, belebter und nichtbelebter Materie betonen.

Hiervon heben sich die Ansätze der Selbstorganisation, wie etwa die Synergetik, deutlich ab: Selbstorganisation ist nicht auf lebende Systeme allein beschränkt, sondern kann eher eine komplexe Eigenschaft lebender und nichtlebender Systeme genannt werden, die verschiedenen Arten von Ordnungsbildung unterliegt. Es scheint eine aller Materie inhärente Tendenz zu geben, unter besonderen (aber benennbaren)

Bedingungen Wachstum und Entwicklung aufzuweisen. Damit ist es auch ein Verdienst der Systemtheorie in Form der Selbstorganisationsansätze, gezeigt zu haben, daß die Würdigung von Komplexität ohne Entelechiebegriff möglich ist.

Dies muß nun selbstverständlich auch die wissenschaftlich orientierte Psychologie interessieren, denn diese Konzepte scheinen trotz ihrer Entstehung in naturwissenschaftlichen Disziplinen wie eigens für die Modellierung psychischer und sozialer Systeme geschaffen. Insbesondere die Emergenz von Ordnung, das Wechselspiel von Zufall und Determinismus, die Nichtvorhersagbarkeit der Entwicklung und die Geschichtlichkeit entstehender Strukturen läßt sich gut auf für die Psychologie relevante Systeme abbilden.

Folgende Bereiche der Selbstorganisation lassen sich nennen, die für die Psychologie von Bedeutung sind:

- a) Selbstorganisation neuronaler Systeme des ZNS;
- b) Selbstorganisationsprozesse im Bereich der Allgemeinen Psychologie (Wahrnehmung, Lernen, Wissen, Kognition);
- c) aus sozialpsychologischer und klinischpsychologischer Perspektive selbstorganisierte Strukturen und Interaktionsmuster in sozialen Systemen (d.h. kleinen sozialen Systemen wie Gruppen, Familien, Therapiesystemen);
- d) Ökosysteme, behavior settings u.ä. aus Sicht der Ökopsychologie;
- e) Selbstorganisation sozialer Systeme im Sinne der Soziologie, also auf Gesellschaftsebene mit sehr vielen Individuen.

Von den angegebenen Punkten ist im Zusammenhang meiner Fragestellung c) zentral, und wird in den folgenden Ausarbeitungen noch weiter zu differenzieren sein. Die ökologische Perspektive d) wird in die Ansätze zur Untersuchung sozialer Systeme eingearbeitet. Kapitel 8 wird sich mit Selbstorganisationsprozessen in psychischen Systemen b) befassen, wobei neuronale Aspekte mitberücksichtigt werden.

5.2 Woraus besteht ein "System" in der Klinischen Psychologie?

Zu dieser Frage gibt es eine Unmenge an Antworten, wie bei dem derzeitigen chaotischen Zustand sich systemisch nennender Therapieansätze nicht verwunderlich ist. Eine Mehrzahl davon verwendet den Systembegriff, weil er (noch) modern und "alternativ" klingt (Watzlawick, 1986); was weiter mit einem systemischen Ansatz verbunden wäre, kümmert wenig, solange es nur "ganzheitlich" ist, und den jeweiligen therapeutischen Stil keinen Einschränkungen unterwirft. Jede idiosynkratische Melange aus Schamanismus, Quantenmechanik, Zen oder was immer gerade importiert werden kann, findet so zum Etikett des Systemischen (Doherty, 1986). Die restlichen, auch theoretisch expliziten Ansätze lassen sich (aus psychologischer Sicht) grob in zwei Gruppen einteilen:

- aus Individuen bestehende soziale Systeme;
- aus Kommunikationen bestehende soziale Systeme.

Die erste Auffassung ist die traditionellere; sie basiert auf einem für die Familientherapie naheliegenden Selbstverständnis, es nun statt mit einem Klienten (samt der Beziehung, die mit ihm zustande kommt) mit einer irgendwie zusammengehörenden Gruppe von Klienten (samt ihren Binnenbeziehungen und den Beziehungen zum Therapeuten) zu tun zu haben. Ein Beispiel für diese Auffassung liefert etwa die strukturelle Familientherapie nach Minuchin (1985).

Die zweite Auffassung ging in der antiindividualistischen Einstellung der frühen Familientherapie weiter, und identifiziert als System nur noch den Prozess der Interaktion bzw. der Kommunikation zwischen den Individuen (z.B. Watzlawick et al., 1969). In diesen Kontext fügt sich auch der Versuch, eine Abfolge sich seriell bedingender Kommunikationen als soziales System zu definieren, wobei kognitive und psychische Prozesse explizit als außerhalb der Grenzen des Systems gedacht sind (Luhmann, 1984; Schiepek, 1989a).

Daß diese Unterscheidung bei genauerer Analyse wenig trennscharf ist, zeigt Kriz (1987) auf, indem er zunächst das Familiensystem als einen dynamischen Prozeß

darstellt, der vergleichbar einer Kerzenflamme mit immer neuen flüchtigen Elementen eine überdauernde Struktur herstellt, dann aber einräumt, daß an einer gewissen Stelle eben doch das Individuum auf den Plan trete.

Ich möchte die umfangreiche Diskussion darüber, was denn nun ein soziales System sei, nicht weiter referieren (s. Brunner, 1986; Kriz, 1985), sondern auf das spezifische Thema der Selbstorganisation überleiten. In der Explikation eines Selbstorganisationsansatzes wird dann auch deutlich werden, wie sich ein System aus dieser Perspektive darstellt (s. 5.4). Denn wenn das Forschungsprogramm der Selbstorganisation in mehr als metaphorischer Weise in der Psychologie zur Anwendung kommen soll, wird es nötig sein, jeweils zu umreißen, was als System bezeichnet wird. Insbesondere sollte zumindest ansatzweise geklärt sein:

- * aus welchen Komponenten es aufgebaut ist;
- * auf welche Weise die Verknüpfung/Interaktion der Komponenten stattfindet;
- * welche Grenzen gegenüber einer Umwelt vorhanden sind sowie, da es sich ja stets um offene Systeme handelt, gegenüber welchen Flüssen die Grenzen offen sind;
- * durch welche Variablen das Systemverhalten empirisch zugänglich ist.

5.3 Einwände gegen ein empirisches Forschungsprogramm

Bevor ich darangehe, diese Punkte in verschiedenen methodologischen Vorschlägen anzusprechen, sollen zwei Einwände gegen dieses Vorgehen vorweggenommen werden:

- a) Kritik an einer Reifizierung von Systemen;
- b) Forderung der operationalen Abgeschlossenheit.

Beide Einwände stammen aus dem biophilosophischen Autopoiese-Konzept von Maturana und Varela bzw. der sozialwissenschaftlichen Konstruktivismusdebatte (Schiepek, 1988; Simon, 1988).

a) Reifizierung von Systemen

Eine Reifizierung oder Verdinglichung eines Gegenstands als System wird aus konstruktivistischer Perspektive als epistemologisch unzulässig angesehen, da es keine objektive Erkenntnis geben könne, jede Erkenntnis stattdessen von einem Beobachter konstruiert sei (Maturana & Varela, 1980). Diese prinzipielle Subjektivität erstreckt sich auch auf die Darstellung eines wahrgenommenen Zusammenhangs als System (v. Foerster, 1985). "System" sei daher eher ein Ordnungsprinzip des Beobachters als eine Eigenschaft des Objekts. Das Argument beweist m.E. die Unabhängigkeit, ja Inkompatibilität von Systemtheorie und Konstruktivismus.

Dieser Einwand hat dennoch einen wahren Kern, insofern als er der Inflation von als System bezeichneten Dingen (die auch auf "Selbstorganisation" überzugreifen droht) kritisch entgegensteht. Auch der Subjektivismuseinwand ist besonders bei komplexen, hochreagiblen Untersuchungsgegenständen wie etwa Therapiesystemen triftig; gerade dies hat aber zu komplizierten methodischen Designs in der Psychologie geführt, die den Beobachterbias kontrollieren sollen, so daß heute eher die dadurch entstandene Artifizialität der Forschung ein Problem darstellt als der "Versuchsleitereffekt".

Auf die weitergehende prinzipielle Auffassung des radikalen Konstruktivismus, Systeme seien nur beobachtererzeugte Schemata ohne empirische Validierungsmöglichkeit, muß von einer empirischen Wissenschaftsauffassung her jedoch verzichtet werden.

b) Die Forderung der operationalen Abgeschlossenheit

Der Autopoiesebegriff führt u.a. zu einer strikten Unterscheidung zwischen psychischen und sozialen Systemen (Luhmann, 1984; Schiepek, 1989b). Nach dieser Theorie kann ein psychisches System keine Kommunikation prozessieren, denn Kommunikationen sind Komponenten sozialer Systeme und somit lediglich Umwelt eines psychischen Systems. Dieser Trennung kommt fundamentale Bedeutung für die konstruktivistische Philosophie zu, denn sie demonstriert die Schließung der subjektiven

Welt gegen die perzipierte "äußere Welt"; weiterhin scheint sie von "theoriebautechnischer" Wichtigkeit für die Luhmannsche Systemtheorie. Hierauf soll unten genauer eingegangen werden.

An dieser Stelle halte ich es für wichtig, einer derart forcierten Trennung von Kognition und Kommunikation zu widersprechen. In guter sozialpsychologischer Tradition halte ich die **gegenseitige Verflechtung** der beiden Bereiche für unauflöslich, in Sinne auch der Axiome (z.B. "Man kann nicht nicht kommunizieren.") von Watzlawick et al. (1969). Aus klinischer Sicht scheint mir die systemtherapeutische Perspektive eine entscheidende pragmatische und theoretische Weiterung eines rein intrapsychischen Vorgehens zu sein - daß aber mit der Arbeit im sozialen System die individuellen psychischen Systeme gewissermaßen außerhalb der Grenze geraten, scheint als theoretische Grundlage nicht plausibel (vgl. Kriz, 1987). Nebenbei gesagt: es zeichnet sich folgerichtig ab, daß das Individuum, die Person in der systemischen Therapie wieder gesellschaftsfähig wird; nach einer Zeit der ideologisch bedingten Ausgrenzung "darf" wieder mit Einzelklienten gearbeitet werden...

5.4 Anwendung der synergetischen Methodologie auf die Untersuchung von sozialen Systemen

Um nun verschiedene methodische Perspektiven, wie ein soziales System untersucht werden kann, zu entwickeln, greife ich die Fragestellung von 5.2 hier wieder auf: Wie kann ein soziales System konzipiert werden? Da ich die Hypothese prüfen möchte, daß soziale Systeme selbstorganisiert sind oder zumindest sein können, sind der theoretischen Konzeption eines Systems gewisse Bedingungen auferlegt. Diese einschränkenden Bedingungen wurden bereits mehrmals (Kapitel 1; 4.1 und 4.2) angesprochen: Das System muß offen sein; es muß aus sehr vielen Komponenten bestehen; es gelten nonlineare Beziehungen zwischen Komponenten und zwischen System und Umwelt (Haken 1983a,b). Nur dann kann sich das Phänomen Selbstorganisation (das spontane Auftreten kollektiven, geordneten Verhaltens der Komponenten

in Form makroskopischer Muster) entfalten (Nicolis & Prigogine, 1987). Diese Vorüberlegung schließt sofort die oben angeführte Konzeption des (kleinen) sozialen Systems als aus Kommunikationen bestehend (Luhmann, 1984) aus; Kommunikationen können nicht allein die Mikroebene eines selbstorganisierten Systems darstellen, da pro Zeiteinheit schlichtweg nicht so viele Kommunikationen simultan ablaufen können, als daß Selbstorganisation ein vernünftiger Begriff zur Beschreibung und Erklärung wäre. Es können also nicht sequentielle kommunikative Einheiten (Schiepek, 1989b) sein, die die Basis für Selbstorganisation in Familien oder Gruppen darstellen. Eine Kommunikation ist gewissermaßen "zu makroskopisch", um theoretisch sinnvoll als Komponente aufgefaßt werden zu können. Für die hier benötigte Konzeption wird es notwendig sein, feinere und differenziertere Vorgänge als Mikroebene heranzuziehen. Dies sind (wie in 5.4.1 und den folgenden Abschnitten ausgeführt) letztlich elementare psychische Einheiten. Einer synergetischen Methodologie muß eine Theorie zugrundegelegt werden, die ein soziales System aus (z.T. kommunizierten) psychischen Komponenten aufgebaut sieht.

Im folgenden möchte ich ein Programm zur empirischen Erforschung der Selbstorganisation in der Psychologie umreißen, indem ich zunächst in diesem Kapitel methodologische Ansätze entwerfe, die in Kapitel 6 zur konkreten Datenerhebung benutzt bzw. vorgeschlagen werden sollen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Untersuchung sozialer Systeme im Zusammenhang mit Fragen der Klinischen Psychologie und der Sozialpsychologie. Auf der Grundlage der synergetischen Methodologie sowie der Theorie nonlinearer dynamischer Systeme kommen mehrere Szenarien in Frage; der Einfachheit halber beziehen sich die folgenden Ausführungen nur auf soziale Systeme, die durch die Kognition und Kommunikation mehrerer Personen im Moment der Untersuchung realisiert sind, also z.B. eine Familie in einer Therapiesitzung, eine Gruppe, die ein Thema bespricht, ein Vater, der mit seinem Kind spielt etc.

5.4.1 Mikroskopischer Ansatz

Die Komponenten des untersuchten Systems seien sämtliche Kognitionen, Emotionen sowie die damit einhergehenden Kommunikationen, die während des Untersuchungszeitraumes im System "ablaufen". Die Komponenten sind damit sehr unterschiedlicher Art, entstehen und zerfallen in verschiedenen zeitlichen Skalenbereichen, sind auf vielfache Weise miteinander korreliert sowie kausal verknüpft. Komponenten können bewußte ("stream of consciousness" nach James, 1890) oder unbewußte Kognitionen sein, von ihrer zeitlichen Latenz her Bestandteile des Kurzzeitgedächtnisses oder des Langzeitspeichers. Daß Kommunikationen auch zu diesen mikroskopischen Komponenten gezählt werden sollen, scheint auf den ersten Blick ein theoretischer Sprung; ich halte jedoch, wie bereits ausgeführt, eine Trennlinie an dieser Stelle für ein Artefakt. Jedes Individuum innerhalb eines sozialen Systems perzipiert und kommuniziert unaufhörlich, wobei auch diese Prozesse bewußt und unbewußt sowie von unterschiedlicher Latenz sind. Ein Großteil der Kommunikation von Emotionen läuft simultan zum emotionalen "inneren" Erleben über nonverbale (z.B. mimische oder vokale) Kanäle. Diese Ausdrucksseite psychischer Prozesse ist stark automatisiert; ihre Wurzeln sind offenbar phylogenetisch alt: es bedarf keiner bewußten Aufmerksamkeitsleistung, solche nonverbalen "Botschaften" zu senden und zu empfangen. Der Kommunikationsstrom und der Bewußtseinsstrom sind tief verwoben.

Diese "atomaren" Komponenten des sozialen Systems sind in ihrer Komplexität schlechterdings nicht beobachtbar. In speziellen experimentellen settings zumeist an der einzelnen Versuchsperson sind sie erschließbar - dies ist ein traditioneller Bereich der Allgemeinen und der Kognitiven Psychologie. Auf solche Experimente treffen die in Kapitel 2 genannten Kritikpunkte zu, nicht dynamisch und nicht idiographisch sein zu können, Befunde nur herausgelöst aus einem systemhaften Kausalitätsgeflecht erbringen zu können.

Im Rahmen einer dynamischen Systemanalyse erscheinen diese Komponenten als eine Art virtuelle "Teilchen", da sie nur indirekt nachweisbar oder gar hypothetischen Charakters sind. (Damit ist die Psychologie übrigens in der gleichen Lage wie die

Naturwissenschaften, vgl. Haken, 1988a).

5.4.2 Makroskopischer Ansatz

Die Unmöglichkeit, soziale Systeme mittels ihrer Komponenten hinreichend erfassen zu können, ist die Motivation für einen makroskopischen Ansatz, denn nach den Erfahrungen der interdisziplinären Selbstorganisationsforschung ist aufgrund der komplexen Dynamik der unterliegenden Prozesse mit emergenten Mustern, mit Korrelationen langer Reichweite (Nicolis & Prigogine, 1987) zu rechnen.

Welche Variablen der Makroebene sind in sozialen Systemen differenzierbar? Es kommen hier eine Reihe von Variablen in Frage, die mit dem gröber auflösenden Instrument eines Kategoriensystems erhoben werden können. Die durch viele Kategoriensysteme erfaßten Maße wie Sprechraten, Sprecherwechsel, Unterbrechungen, Sprechersequenzen etc. betreffen Einschätzungen und chronographische Messungen der verbalen Aktivität in Gruppen und Familien (Interaktionsstudien: Brunner et al., 1984; Tschacher & Herrmann, 1984; automatisierte Interaktionschronographie: Brähler et al., 1984; Zeichensysteme: Schiepek & Kaimer, 1989). Darüber hinaus möchte ich auf globale Maße und Dimensionen wie Kohäsion und Rigidität nach Olson (1979), family anxiety nach Bowen (1978), sowie Aspekte des räumlichen Grenzregulationsverhaltens (z.B. Hall, 1976; Fisher et. al, 1984; Altman, 1975) verweisen, die aber für eine Analyse makroskopischer Prozesse noch entsprechend zu operationalisieren wären. Einige Operationalisierungen im Sinne einer dynamischen Meßdatenerfassung (also ohne Fragebogeninstrumente) führe ich unten in Kapitel 6 aus.

5.4.3 Mesoskopischer Ansatz

Die Beschreibung auf der mesoskopischen Ebene wird in Haken (1988a) am Beispiel einer Flüssigkeit beschrieben, die zur Erzeugung der Bénard-Instabilität mit einer Temperaturdifferenz gleichgewichtsfern gehalten wird. Die makroskopische

Beschreibung zeigt die bekannten bienenwabenähnlichen Konvektionsmuster (Bergé et al., 1984), die Bénard-Zellen genannt werden. Dieses prototypische selbstorganisierte System sei kurz beschrieben, um die unterschiedlichen Ebenen der Betrachtung am Beispiel zu trennen.

Man mag sich vorstellen, in einem Einweckdeckel Speiseöl mit etwas schwarzem gemahlenen Pfeffer auf einer Herdplatte zu erhitzen. Die Meßdatenerfassung ist nicht weiter schwierig: man kann die Flüssigkeitsrollen zählen und ihre Drehrichtung sehen. Die mikroskopische Beschreibung der Versuchsanordnung ist entsprechend auf Molekülebene angesiedelt, und begnügt sich mit der Bestimmung von Ort und Impuls jedes Teilchens - zumindest im Prinzip, denn wir haben es hier mit wenn auch gleichartigen, so doch im einzelnen und durch die große Zahl *de facto* hypothetischen Komponenten zu tun. (Daß Ort und Impuls prinzipiell nie beide beliebig genau gegeben sind, beruht auf der quantentheoretischen Unschärfe und kommt hier noch hinzu.) Welche mittlere, "Meso"-Ebene könnte nun für die Flüssigkeit betrachtet werden? Man fragt sich hier nach dem Verhalten von Ensembles von Komponenten innerhalb kleiner, abgegrenzter Volumeneinheiten. Die Bewegung eines einzelnen Pfefferpartikels im Einweckdeckel wäre eine mesoskopische Observable, da seine Bewegung durch die Bewegung vieler Moleküle (eines Geschwindigkeitsfeldes) zustandekommt. Auf genauere Angaben zur stochastischen Modellierung durch Langevin und Fokker-Planck-Gleichungen (Haken 1983b, 1988a) will ich hier nicht eingehen.

Eine mesoskopische Betrachtungsebene scheint mir auch für soziale Systeme wie Gruppen und Familien zugänglich zu sein. Damit sind Variablen gemeint, die die gemeinsame Wirkung und Aktion mehrerer Komponenten abbilden. Viele physiologische Ableitungen (darunter alle Ableitungen, die psychophysiologisch nicht-invasiv erhebbar sind) sind mesoskopischer Art, was anders gesehen auch die Validitätsprobleme der Psychophysiologie erklärt: was weiß nie genau, was man mißt, weil mehrere Prozesse auf die Variable einwirken. Beispielsweise können viele der Komponenten eines gerade realisierten Systems eine Herzratenänderung einer beteiligten Person bewirken: emotionale Prozesse (z.B. Angst), kognitive Prozesse (z.B. Wahrnehmungs-

abwehr) und kommunikative Prozesse (muskuläre Anspannung, Respirationsarrhythmie).

Es wird deutlich, daß eine Betrachtung des Systems auf der mesoskopischen und auf der makroskopischen Ebene bedeutet, Variablen oder Parameter zu definieren und zu erheben. Nur die mikroskopische Betrachtung könnte das System direkt durch seine Komponenten beschreiben. Auf diesen Unterschied läuft m.E. die Unterscheidung Schiepeks (1989b) in zwei unterschiedliche Systembegriffe hinaus, den sog. selbstreferentiellen Systembegriff temporalisierter Komponenten und den Vernetzungsbegriff. Die beiden Konzepte beruhen, wenn man von der konstruktivistischen Ornamentierung des Selbstreferenzbegriffs absieht, lediglich auf verschiedenen methodologischen Skalierungen.

5.4.4 Modellierung der Ordnungsparameter

Die eben ausgeführte Differenzierung sozialer Systeme nach drei Ebenen unterschiedlicher Skalierung (mikro, meso, makro) erlaubt nachgeordnet einen Ansatz, der dem Alltagsverständnis sehr entgegenkommt: die Modellierung entlang dem Verhalten der im System involvierten Personen. In der eingeführten Terminologie wären die Personen a priori als Ordnungsparameter identifiziert, die Untersuchung konzentrierte sich damit auf die Dynamik eines wie immer beschaffenen Ordnungsparameterraums. Dieser Ansatz ist offensichtlich nicht weit entfernt von der naiven Konzeption, ein soziales System bestehe aus den Personen als Elementen. Ich bezeichne diesen der Familientherapie häufig impliziten Ansatz deshalb als naiv, weil die Komplexität fast vollständig in den Elementen verbleibt. Das ist theoretisch unbefriedigend, denn fast jede Erklärung für Prozesse im System muß auf außersystemische Prozesse rekurrieren. Dieser Einwand gilt aber nicht für "soziologische" soziale Systeme großer Ausdehnung, in denen kognitive Komponenten sozusagen wegrandomisiert werden können: ein Hinweis, daß soziale Systeme mit unterschiedlichem N nicht stereotyp konzipiert werden sollten!

In dieser Ordnungsparameterdynamik sollten im Falle der Selbstorganisation Versklavungsprozesse zu beobachten sein, bei der sich gewissermaßen die Charakteristik einer bestimmten Person (ihre Mode) durchsetzt. Interessante Muster sind für die Übergangsperioden zwischen Moden zu erwarten, möglicherweise auch deterministisches Chaos (Haken, 1984). Aus prinzipiellen Gründen (s. 3.7) sind chaotische Sequenzen dieser Art erst durch die Konkurrenz von mindestens drei Ordnungsparametern denkbar - als "symmetrische Eskalation á trois". Ob hierin ein Grund für die besondere Beziehungsdynamik von Triaden liegt, ist freilich zunächst der Spekulation überlassen.

Zur notwendigen Frage der Operationalisierung: wie ich unten noch genauer ausführe, könnte die Modellierung der Ordnungsparameter über räumliches Distanzverhalten sich als fruchtbar erweisen, unter dem Aspekt, welcher Person Distanzwunsch sich durchsetzt. Weitere quantitative Möglichkeiten im Rahmen dieses Ansatzes verspreche ich mir durch eine Untersuchung von Phasenkopplungen etwa des Atems (vgl. die Begriffe des physiologischen leading und pacing bei Bandler & Grinder, 1982).

5.5 Modellierung auf der Basis der Theorie dynamischer Systeme

Ein Ansatz auf der Basis der Theorie dynamischer Systeme ist naheliegenderweise nicht an die Voraussetzungen gebunden, die für die Selbstorganisation seitens der Synergetik oder der dissipativen Thermodynamik genannt werden, wie Offenheit des Systems, Aufbau aus sehr vielen Komponenten und Nonlinearität. Die Dynamik ist der formalere Ansatz; mit "System" ist keineswegs gemeint, daß dieses tatsächlich auf irgendeinem Substrat implementiert sein muß; Dynamik kann reine Mathematik sein und bleiben (s. Kapitel 3). Üblicherweise sind in der Dynamik auch stochastische Aspekte ausgespart - das Vorgehen ist deterministisch, und hat gerade dadurch weitreichende und überraschende Ergebnisse zu vordem als zufällig angesehenen Systemen erbracht: dies gilt insbesondere für den z.Z. sehr expansiven Bereich der Chaosforschung.

Die Theorie dynamischer Systeme ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit - als

konkreter Forschungsansatz vergleichbar den unter 5.4.1 bis 5.4.4 genannten synergetischen Ansätzen - in zweierlei Hinsicht relevant; dies möchte ich in den beiden folgenden Punkten 5.5.1 und 5.5.2 ausführen.

5.5.1 Theorie dynamischer Systeme als mathematische Simulationsmethode

Hiervon war allgemein in Kapitel 3 die Rede; im besonderen habe ich den dynamischen Simulator PHASER (Koçak, 1986) zur Generierung exemplarischer Phasenportraits und Zeitreihen verwendet. Ein dynamischer Simulationsansatz kann stark verkürzt etwa so aussehen: Es existieren theoretisch begründete Hypothesen über Variablen eines Systems sowie über die Relationen zwischen ihnen, so daß eine lauffähige Simulation mit einer der in Kapitel 3 aufgelisteten Methoden entworfen werden kann. Die Dynamik des Simulationssystems wird mit empirisch erhobenen Zeitreihen verglichen oder doch zumindest auf Plausibilität geprüft. Die bei dieser Anpassung bzw. Validierung auftretenden Probleme können als Feedback über die Güte der der Simulation zugrundeliegenden Theorie gelten. Als Beispiel für ein derartiges Vorgehen wäre Kriz (1989) zu nennen. Kriz beschreibt dort eine Modellierung einer familientherapeutischen Theorie (Willi, 1975) mittels eines Systems von Verhulst-Gleichungen (vgl. 3.6.1).

5.5.2 Theorie dynamischer Systeme als deterministische Zeitreihenanalyse

Insbesondere dieser methodische Ansatz soll jetzt weiter vertieft werden, da hier von einer empirisch erhobenen Zeitreihe aus Aussagen über das der Zeitreihendynamik zugrundeliegende System getroffen werden können. Diese Analyse ist vergleichsweise theoriefrei, denn es braucht nichts weiter vom System bekannt zu sein als eine hinreichend lange Zeitreihe einer Observablen. Vorgehensweisen zur Rekonstruktion der Systemdynamik aus Zeitreihen werden von Bergé et al. (1984), Nicolis & Prigogine

(1987) und Swinney (1986) exemplarisch beschrieben. Algorithmen zur Berechnung charakteristischer Maße werden in dem von Mayer-Kress (1986) herausgegebenen Band der Synergetikreihe des Springer-Verlags diskutiert. Mathematische Definitionen hierzu finden sich in Guckenheimer & Holmes (1983).

a) Phasenportrait

Ein erstes und wichtiges Ziel wird es sein, den Phasenraum aus der Zeitreihe einer einzigen Observablen zu entwickeln. Die Achsen dieses Raums sind die zur vollständigen Beschreibung notwendigen Variablen. Die crux des Experimentators, so der naheliegende Einwand, ist es, bei einem System mit N Freiheitsgraden sämtliche N unabhängigen Variablen gleichzeitig zu erheben. Wie bereits ausgeführt wurde, ist es aber in sozialen Systemen unmöglich, alle (virtuellen) Komponenten zu erheben, aus denen das System besteht. Dasselbe gilt für die Variablen, die das System vollständig beschreiben, falls diese denn überhaupt bekannt sind.

Hier kommt eine sehr viel einfachere alternative Methode gelegen, die auf einer Idee der Chaosforscher in Santa Cruz (Packard et al., 1980; Gleick, 1988) und der mathematischen Ausführung von Takens (1981) beruht. Es kann nämlich gezeigt werden, daß auch ohne Kenntnis aller Variablen des Systems der Phasenraum durch die Observable z_t rekonstruiert werden kann, wenn z_t und $z_{t+\tau}$ gegeneinander abgetragen werden (z_t bezeichnet den Wert der Observablen zum Zeitpunkt t , $z_{t+\tau}$ zum Zeitpunkt $t+\tau$, wobei τ eine konstante Zeitverzögerung ist). Ein dreidimensionaler Phasenraum entsteht etwa durch die Achsen z_t , $z_{t+\tau}$ und $z_{t+2\tau}$. Insbesondere bei höherdimensionalen Phasenräumen ist es aber einfacher, die jeweiligen Projektionen auf die nächstniedrigere Dimension (die Poincaré-Sektionen) zu untersuchen.

Dem methodisch orientierten Psychologen wird auffallen, daß dieses Verfahren der Regressionsanalyse (Bortz, 1985; Clauß & Ebner, 1977) ähnelt, nur daß vom dynamischen Standpunkt die Regression einer Variablen auf sich selbst interessiert; weiterhin sind least-square-Anpassungen an lineare Regressionsgleichungen nicht

realistisch, denn in einem realen System kann natürlich keine Variable unablässig wachsen.

Der aus den Werten einer einzelnen Observablen rekonstruierte Phasenraum zeigt nun Gleichgewichtsverhalten in Form geometrischer Attraktoren in derselben Weise wie die durch Simulation zustande gekommenen Phasenportraits in Kapitel 3. Voraussetzung ist hierfür, daß das gemessene System dissipativ ist. Attraktoren können "phänomenologisch" aus dem Phasenraum heraus erkannt werden, da sie strukturierte Teilmengen darstellen, auf die hin das System nach einer Störung relaxiert. Man kann diesen Schritt in der Aufklärung der Dynamik einer Zeitreihe die **topologische Analyse** nennen, deren Ziel die Identifikation stabiler Mannigfaltigkeiten ist.

Ein Beispiel hierfür ist folgende Abbildung 5.1 eines empirisch rekonstruierten Attraktors, der aus Experimenten mit der BZR gewonnen wurde (Roux et al., 1983; Swinney & Roux, 1984; Thompson & Stewart, 1986):

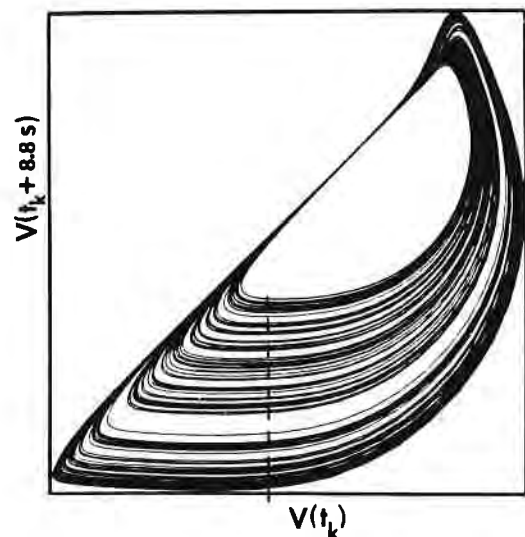


Abb. 5.1:
oben: Darstellung des Attraktors der BZR während eines chaotischen Zustands ohne äußere Störungen
unten: Darstellung der eindimensionalen Abbildung (Poincaré map) aus den sukzessiven Ordinatenwerten (X_n, X_{n+1}) von Trajektorien, die die oben eingezeichnete gestrichelte Linie im Attraktor passieren; vgl. 3.6 sowie die geometrische Darstellung der Verhulst-Dynamik als Parabel in 3.6.1 (aus: Thompson & Stewart, 1986)

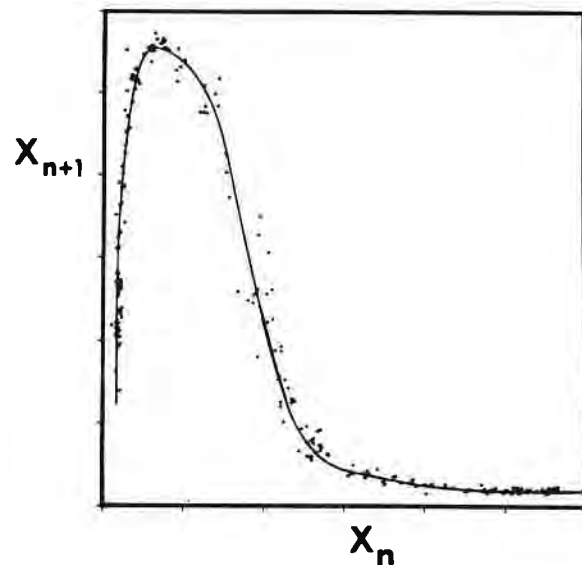


Abb. 5.1 zeigt nochmals die Verbindung von kontinuierlichen Flüssen, wie sie durch Differentialgleichungen darstellbar sind, und Differenzengleichungen (maps,

Abbildungen).

Die Abhängigkeit der Form des aus den empirischen Daten gewonnenen Attraktors von der Zeitverzögerung τ , die oben angesprochen wurde, ist in Abb. 5.2 dargestellt.

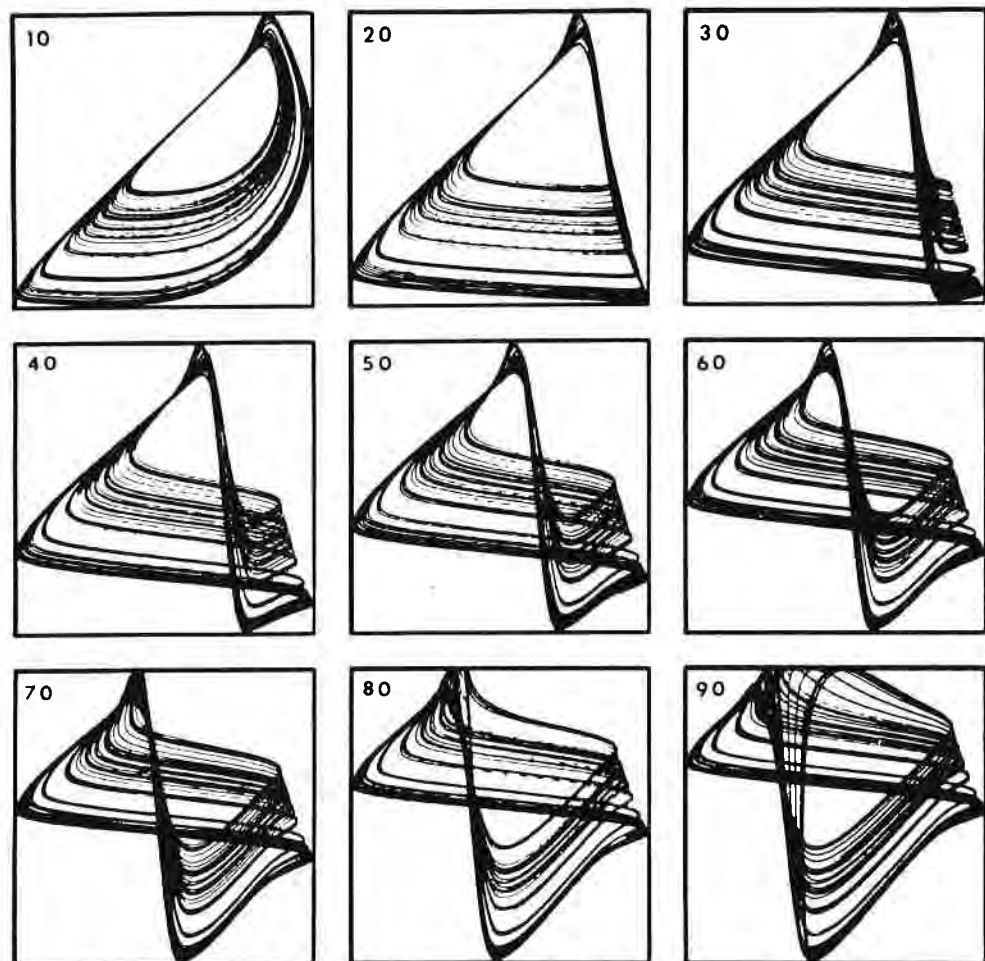


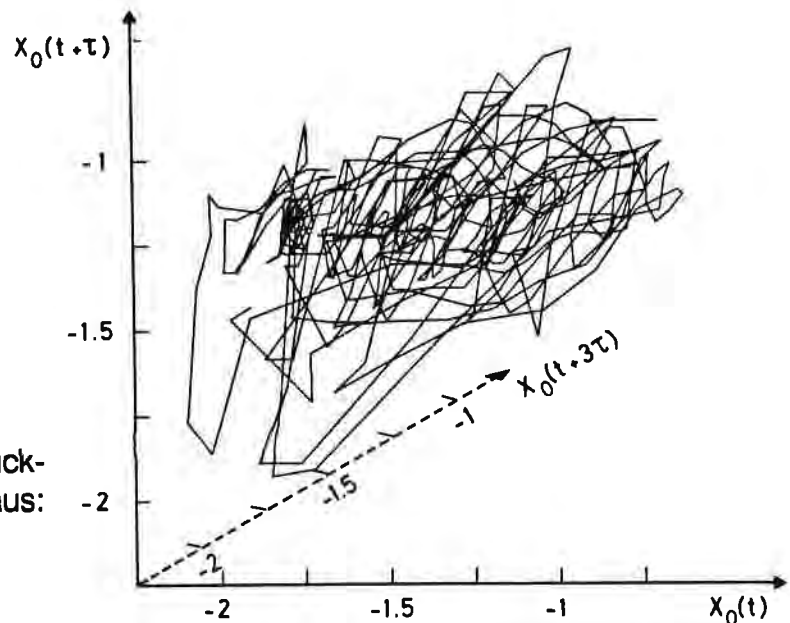
Abb. 5.2:

Phasenportraits des Attraktors der BZR im chaotischen Zustand für unterschiedliche Zeitverzögerungen τ . Die Observable V (die Konzentration eines beliebigen an der BZR beteiligten Stoffes) wird zum Zeitpunkt t auf der Abszisse (V_t), zum Zeitpunkt $t + \tau$ auf der Ordinate ($V_{t+\tau}$) abgetragen. τ ist dabei als ein Vielfaches des kleinsten Meßintervalls von 0.88 s bei jedem Portrait angegeben (aus: Roux, Simoyi & Swinney, 1983)

Derart klare Strukturen sind allerdings nur zu erwarten, wenn der Einfluß von Zufallsgrößen gering ist. Das Phasenportrait einer empirischen Zeitreihe kann nämlich auch so aussehen wie im folgenden Fall, der die Klimaentwicklung der letzten Million Jahre illustriert (s. Abb. 5.3). Die Observable sind Messungen des Sauerstoffisoto-

pengehalt aus Sedimenten des Tiefseebodens, die mit dem globalen Eisvolumen (also dem Klima) korrelieren. Die Zeitverzögerung τ beträgt etwa 2000 Jahre (Nicolis & Prigogine, 1987).

Abb. 5.3:
Phasenportrait der Klimaentwicklung der letzten Million Jahre (aus: Nicolis & Prigogine, 1987)



Wenn das Phasenportrait bzw. seine Projektionen nach einigem Probieren mit verschiedenen Zeitverzögerungen (vgl. Abb. 5.2) wie im abgebildeten Fall der Klimaentwicklung kein klares Bild ergibt, sind weitere Schritte erforderlich. Folgende Maße stehen zur Verfügung, die die topologische Analyse ergänzen:

b) Fourieranalyse einer Zeitreihe

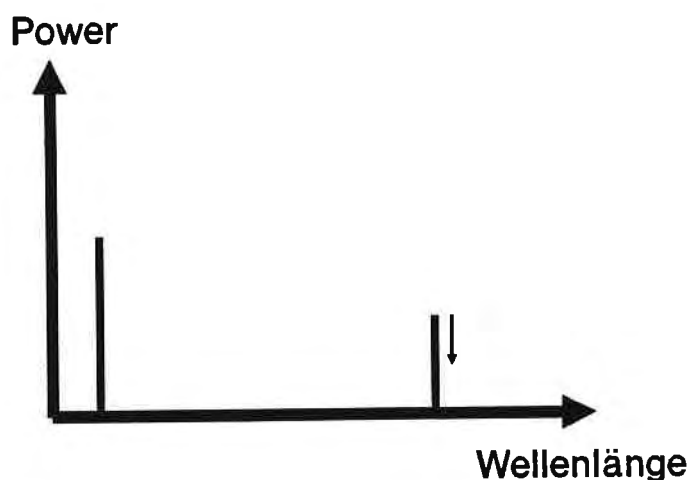
Mit der (mathematischen) Fouriertransformation kann eine Zeitreihe in all die einzelnen Sinuskurven zerlegt werden, aus denen sie sich additiv herstellen läßt (Thompson & Stewart, 1986; Bergé et al., 1984). Dieses Vorgehen basiert also, wie einschränkend gesagt werden muß, auf der Annahme der Summativität der Einzelfrequenzen, ist also eine lineare Methode. Die sich ergebenden Einzelfrequenzen, aus denen sich die Zeitreihe herstellen läßt, sind also keinesfalls mit den Komponenten oder Variablen des Systems zu identifizieren.

Heute wird zumeist eine FFT (Fast Fourier Transform) benannte Fourieranalyse

verwandt. Das Ergebnis einer solchen Analyse wird als Diagramm dargestellt, wobei auf der Abszisse die Frequenz oder die Wellenlänge, auf der Ordinate ein Maß für die Gewichtung der entsprechenden Frequenz oder Wellenlänge in der Ausgangszeitreihe abgetragen ist. Dieses "Gewichtungsmaß" ist oft eine Energie oder Leistung; deshalb spricht man auch gewöhnlich vom "power spectrum" oder Leistungsspektrum, das durch die Fourieranalyse dargestellt wird. Im Bereich der Naturwissenschaften ist das FFT ein Standardverfahren zur Aufklärung einer Dynamik (Peinke, 1988).

Am Beispiel eines Grenzzyklus kann man diese Methode leicht verdeutlichen. Die Fourieranalyse der Zeitreihe ergibt ein diskretes Spektrum, also deutlich erhöhte Werte im Bereich der Frequenz des zyklischen Attraktors. Die Transiente, also die Trajektorie des Systems, bevor es auf den Attraktor einschwingt, ist als kleine Zacke anderer Frequenz sichtbar, die dann schließlich verschwindet (s. Abb. 5.4).

Abb. 5.4:
schematische Darstellung der Fourieranalyse einer Dynamik mit Grenzzyklus



Verläuft das System auf einem Torus und strebt etwa einem Attraktor mit mehreren Überlagerten Schwingungen zu, spricht man von einer quasiperiodischen Zeitreihe; das resultierende Leistungsspektrum ist leicht zuordenbar, da es die zugrundeliegenden Schwingungen als isolierte peaks deutlich aufzeigt (s. Abb. 5.5, nächste Seite).

Ist dagegen das Spektrum kontinuierlich, so galt das bisher als Beleg für ein Zufallssignal, das wie weißes Rauschen ein Gemisch sehr vieler Frequenzen ist: ein akustisches Beispiel wäre das Rauschen eines Wasserfalls. Eine zufällige Zeitreihe ist

in jedem Moment "neu", ohne serielle Abhängigkeit. Deshalb ist das zugehörige Powerspektrum relativ flach (alle Frequenzen sind gleichwahrscheinlich) und kontinuierlich (jede Frequenz kann irgendwann einmal auftreten). Die Fourieranalyse des Geräusches eines Wasserfalls könnte etwa wie in Abb. 5.6 aussehen.

Der Wasserfall hat extrem viele Freiheitsgrade, die alle nötig wären, wollte man ihn beschreiben. Dies drückt sich in der Form der Kurve in Abb. 5.6 aus.

Die Erforschung von chaotischen Dynamiken hat aber nun gezeigt, daß eine zufällig aussehende Zeitreihe auch durch wenige, dafür aber nonlinear verknüpfte Variablen erzeugt sein kann. Hier kann die Fourieranalyse kein Kriterium zur Unterscheidung mehr zur Verfügung stellen, denn auch diese Zeitreihen ergeben oft ein flaches kontinuierliches Spektrum (Peinke, 1988; Abraham & Shaw, 1984a). Ein im rekonstruierten Phasenportrait aufgefundener chaotischer Attraktor wäre also durch das Netz der Standardmethode Spektralanalyse geschlüpft. Damit ist deutlich geworden, daß nichtlineare Dynamik einer neuen Analysemethodik bedarf.

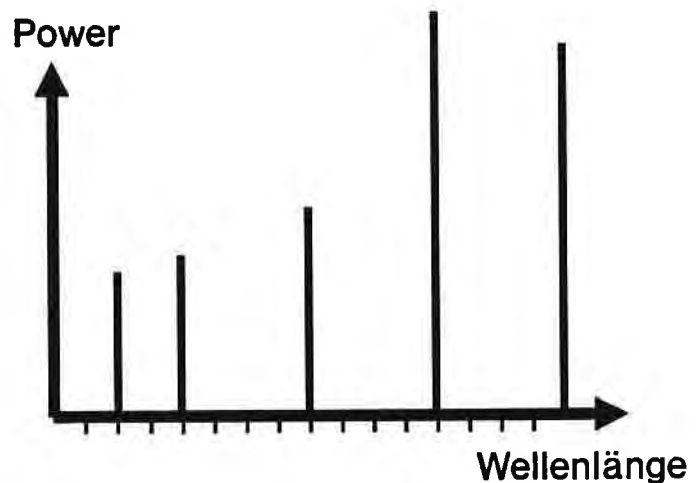
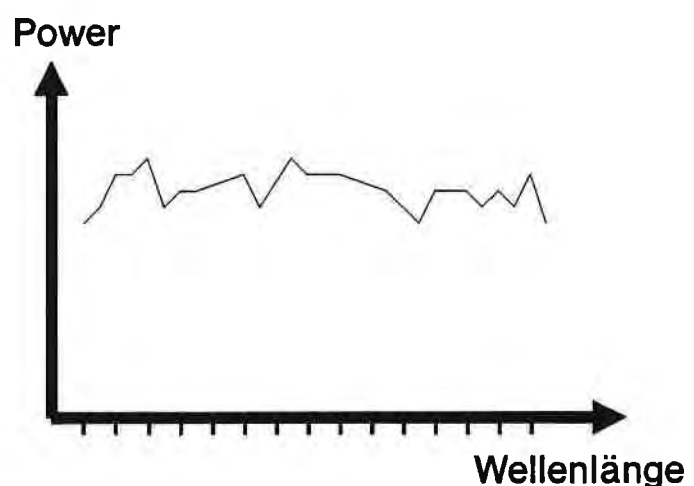


Abb. 5.5:
schematische Darstellung der Fourieranalyse einer quasiperiodischen Zeitreihe



c) Dimensionalität einer Zeitreihe

Der Begriff der fraktalen Dim-

Abb. 5.6:
schematische Darstellung der Fourieranalyse einer zufälligen Zeitreihe

ension tauchte bereits oben auf, als die durch iterative Abbildungen produzierten selbstähnlichen Muster charakterisiert wurden. Es ist Mandelbrots Verdienst, gezeigt zu haben, daß viele natürliche Gebilde fraktal sind, also weder zwei- noch dreidimensional (Mandelbrot, 1987). Bei der Diskussion des nonlinearen Rössler-Systems in Kapitel 3 ist klar geworden, daß auch die geometrische Struktur eines Attraktors fraktal sein muß, da er die sensible Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen (Trajektorien divergieren) und die attrahierende Eigenschaft (Trajektorien konvergieren) unter einen Hut bringt.

Hier liegt also eine Möglichkeit, die topologische Analyse des Phasenraums dadurch weiterzubetreiben, daß die Dimensionalität eines chaotischen Regimes (falls vorhanden!) bestimmt wird.

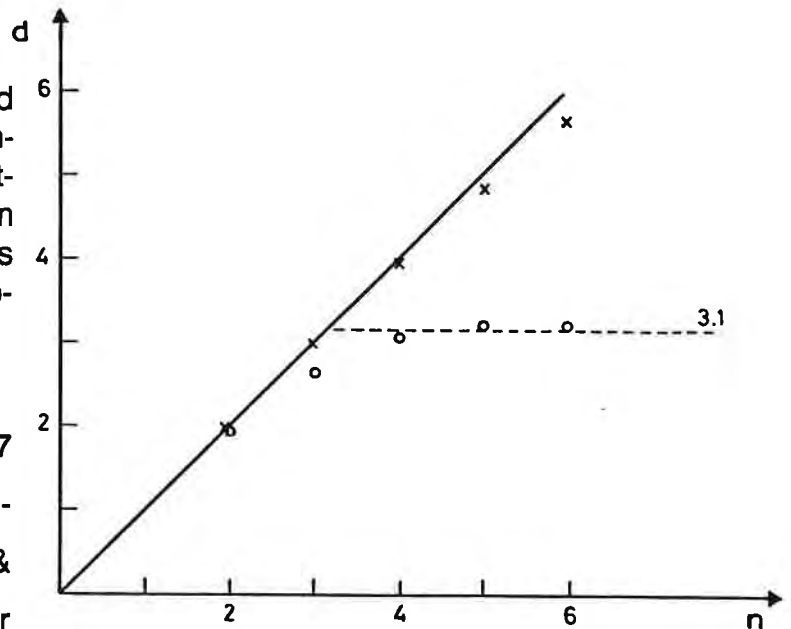
Für eine intuitive Vorstellung, was mit dem Konzept einer gebrochenzahligen Dimension gemeint sein könnte, genügt ein kleines Gedankenexperiment. Um die Dimensionalität massiven Eisens zu bestimmen (von der wir wissen, daß sie exakt $d=3$ ist), könnte man folgendermaßen vorgehen: man baut einen Eisenwürfel mit der Kantenlänge $a=1$ und bestimmt seine Masse. Dann baut man weitere Würfel mit $a=2$, 3 , etc. und beobachtet, wie sich jeweils die Masse vergrößert. Man bestimmt also das Skalierungsgesetz, mit dem die Eigenschaft Masse (m) mit der Größe eines Volumenelements skaliert. Beim Eisen stellen wir natürlich fest, daß die Masse proportional dem Kubik (der genau dritten Potenz) der Würfelgröße wächst, m ist proportional zu a^3 .

Als nächstes verfahren wir genau so mit einem topologisch etwas anspruchsvolleren Gebilde als solidem Eisen: zum Beispiel einem Schwamm. Hier kann man unschwer empirisch feststellen, daß die Masse proportional zu etwa $a^{2.6}$ ist. Es ist also berechtigt zu sagen, daß ein Schwamm "eigentlich" 2.6-dimensional sei, obwohl er natürlich in den dreidimensionalen Raum "eingebettet" ist. Diese gebrochenzahlige Dimension heißt **Hausdorff-Dimension** oder **fraktale Dimension**.

Gerade so geht man bei der Bestimmung der Dimension einer Zeitreihe vor; nur nimmt man zur Bestimmung des Skalierungsgesetzes praktischerweise nicht die Masse, sondern etwa die Anzahl von Meßpunkten im Phasenraum, die sich innerhalb eines Abstandes oder Radius r von einem gegebenen Punkt befinden (genauer s. Nicolis &

Prigogine, 1987, S. 359; Bergé et al., 1984, S. 146ff.; Mayer-Kress, 1986). Nur ist das noch nicht ausreichend, denn man kennt ja nicht die Dimension des (zu rekonstruierenden) Phasenraums, in die der Attraktor eingebettet ist. Deshalb wird die Dimensionalität des Attraktors für wachsende Phasenraumdimensionen berechnet, bis eine Sättigung eintritt, d.h. auch bei einer angenommenen höheren Phasenraumdimension die errechnete Dimension des Attraktors nicht mehr steigt (s. Abb. 5.7).

Abb. 5.7:
Abhängigkeit der Dimensionalität d von der Anzahl der Phasenraumvariablen n im Falle des Klimaatraktors aus Abb. 5.3 (x) sowie im Falle eines weißen Rauschsignals (o). Sättigung bei $d \approx 3.1$ (aus: Nicolis & Prigogine, 1987)



Die Darstellung in Abb. 5.7 belegt also die Existenz eines chaotischen Attraktors der von Nicolis & Prigogine diskutierten Zeitreihe der Klimaentwicklung, die bereits der Abb. 5.3 zugrundelag. Der Attraktor hat eine Dimension von $d \approx 3.1$. Weiterhin ist damit belegt, daß die Dynamik durch ein nonlineares Zusammenwirken von lediglich vier Variablen erklärt werden kann, denn vier ist die Dimension des Einbettungsraums des Attraktors. Natürlich ist über die Art dieser Variablen damit nichts ausgesagt (darin liegt eine Ähnlichkeit zur in den Sozialwissenschaften verbreiteten Faktorenanalyse). Es ist jedoch belegt worden, daß die zugrundeliegende Zeitreihe, obwohl sie nichtvorhersagbar und aperiodisch ist, nicht auf Zufallsprozessen beruht, sondern Ergebnis eines deterministischen nonlinearen Systems ist (zufällig würde demnach ein System genannt, das Chaos mit sehr hoher Dimensionalität aufweist).

Das Gebiet der Dimensionalitätsbestimmung ist zur Zeit durchaus noch im Fluß. Verschiedene Algorithmen werden diskutiert, etwa indem das Skalierungsverhalten an

verschiedenen Merkmalen (wie dem Merkmal "Masse" beim Eisenwürfel, dem Merkmal Punktdichte beim Klimaattraktor) betrachtet wird. Der am häufigsten gebrauchte Algorithmus stammt von Grassberger und Procaccia (1983); die Dimension wird über den Abstand von Phasenraumpunkten von zufällig ausgewählten Referenzpunkten kalkuliert. Peinke (1988) nennt und definiert folgende weitere Maße: Kapazitätsdimension, Korrelationsdimension und Informationsdimension. Einen Eindruck von der Komplexität der Materie gibt Mayer-Kress (1986).

d) Errechnung von Lyapunov-Exponenten

Wie ich bereits ausgeführt habe, ist ein Kennzeichen von chaotischem Verhalten die sensible Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen, die sich im Phasenraum als Divergenz benachbarter Trajektorien manifestiert. Die Divergenzrate λ kann für jede Richtung des Phasenraums bestimmt werden, so daß in einem n-dimensionalen Raum n Werte λ berechnet werden können. Diese Werte heißen Lyapunov-Exponenten. Mit ihrer Hilfe kann also ein Attraktor charakterisiert werden; ein Lyapunov-Exponent < 0 bedeutet Konvergenz, ein Wert > 0 Divergenz in der entsprechenden Richtung des Raums.

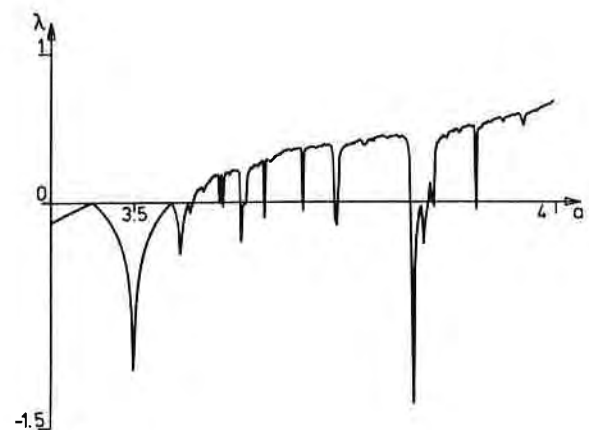
Verschiedene Attraktoren in einem dreidimensionalen Einbettungsraum sollen im folgenden qualitativ durch die drei jeweiligen charakteristischen Exponenten unterschieden werden (Abraham & Shaw, 1983; Bergé et al., 1984, S. 287). Offensichtlich muß mindestens ein Lyapunov-Exponent negativ sein, der die attrahierende, konvergierende Wirkung des Attraktors auf die Trajektorien seines Bassins ausdrückt. Die Vorzeichen machen also eine Aussage darüber, ob das System in der entsprechenden Richtung attrahierend oder repellierend wirkt; der Betrag des Exponenten kennzeichnet die Stärke der Attraktion oder Repulsion. Ein Fixpunkt ergibt die Vorzeichen $(-, -, -)$, denn Trajektorien aus allen Richtungen konvergieren auf diesen einen Punkt; ein Grenzyklus ist durch $(-, -, 0)$ charakterisiert, ein toroidaler Attraktor durch $(0, 0, -)$: periodisches Verhalten heißt ja, daß Trajektorien auf ihrem Orbit weder

auseinander- noch zusammenlaufen, sondern eben nach einem Umlauf gleich wiederkehren; deshalb muß die Divergenzrate, die im Lyapunov-Exponenten festgehalten ist, gleich Null sein.

Ein chaotischer Attraktor wie der Rösslerattraktor oder der Lorenzattraktor hat die Werte (+,0,-). Auffallend ist das positive Vorzeichen, das ein sicherer Indikator für Chaos ist: diese Divergenz repräsentiert die sensible Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen (das Auswalzen des Teigs in der Blätterteiganalogie von Kapitel 3). Das negative Vorzeichen steht dafür, daß die betreffende Mannigfaltigkeit überhaupt attrahierend wirkt (symbolisiert durch das Zusammenfallen des gewalzten Teigs). Auch insgesamt muß die Summe der Beträge aller Exponenten $\sum_{i=1-3} \lambda_i < 0$ sein, damit insgesamt eine Nettokompression eines gegebenen Phasenraumvolumens gesichert ist (J.S. Nicolis, 1986a). Systeme mit zwei positiven Lyapunov-Exponenten können gemäß einem Vorschlag von Rössler (Rössler et al., 1986) hyperchaotisch genannt werden. Hyperchaos konnte bereits auch im Experiment nachgewiesen werden (Stoop et al., 1989).

Der größte Lyapunov-Exponent entscheidet also darüber, ob ein System chaotisch ist oder nicht. Am Beispiel der Verhulst-Abbildung zeigt Abb. 5.8, wie sich der Lyapunov-Exponent in Abhängigkeit vom bereits aus den Simulationen in 3.6.1 bekannten Wachstumsparameter a verhält. Ein entsprechendes Diagramm einer Computersimulation des Rössler-Gleichungssystems (3.1) ist in Crutchfield et al. (1980) dargestellt.

Abb. 5.8:
Veränderung des Lyapunov-Exponenten als Funktion des Kontrollparameters a der Verhulst-map (vgl. 3.6.1!). (aus: Nicolis, 1986a)



Wie man sieht, nimmt für wachsende a der Lyapunov-Exponent im Trend zu; dazwischen gibt es jedoch immer wieder Ausschlä-

ge in den negativen Bereich, die enge Fenster periodischen Verhaltens im Chaos ($\lambda > 0$) markieren. Dieses Phänomen wird **Intermittenz** genannt und liegt der Selbstähnlichkeit von Abb. 3.21 zugrunde.

Die Berechnung der Lyapunov-Exponenten eines dynamischen Systems erweist sich damit als geeignet, die charakteristischen Eigenschaften des Systems zu verdeutlichen. Eine verbreitete Methode für experimentelle Daten ist die von Wolf et al. (1985). Allerdings muß einschränkend darauf hingewiesen werden, daß die Errechnung aus experimentellen Daten weit problematischer ist als aus simulierten (Bergé et al., 1984), insbesondere wegen des experimentellen Rauschens und der Ungenauigkeit der Meßinstrumente.

e) Entropie

Ein letztes Maß zur Charakterisierung eines chaotischen Attraktors möchte ich mit der Entropie cursorisch ansprechen. Das Verfahren hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Dimensionsberechnung, nur daß die Zeitentwicklung auf dem Attraktor mitberücksichtigt wird (Peinke, 1988). Grob gesagt, wird nach der Wahrscheinlichkeit gefragt, mit der die Trajektorie durch einen Ausgangspunkt einen bestimmten Verlauf nimmt. Mit dieser Wahrscheinlichkeit kann eine Entropie berechnet werden, die den Informationsgewinn beschreibt, der durch die Kenntnis eines zusätzlichen Punktes, durch den eine Trajektorie auf dem Attraktor läuft, erwächst (Guckenheimer & Holmes, 1983, S. 281).

Damit hat das Entropiemaß einen deutlichen Bezug zum (anders berechneten) größten Lyapunov-Exponenten, da ja das dynamische System mit wachsender Divergenz der Trajektorien mehr Information (im klassischen Sinne der Shannonschen Definition durch die Ungewißheit) erzeugt. Je chaotischer und unprognostizierbarer ein System bei gleicher Hausdorff-Dimension ist, d.h. je sensibler die Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen, desto höher muß der Wert des größten Lyapunov-Exponenten sein und desto höher auch die Entropie.

Die Überlegung, daß ein chaotischer Attraktor fortwährend Information erschafft,

und bei dieser Produktion von Ungewißheit gleichzeitig doch ein Attraktor und damit strukturbildend ist, liegt der Faszination zugrunde, die von diesen "ambivalenten" dynamischen Gebilden ausgeht. Ordnung im Chaos: möglicherweise liegt hier der Schlüssel auch zu tieferen Problemen, als es die Untersuchung computersimulierter Gleichungen erwarten ließ. Weitere Ausführungen zur Bedeutung und Funktionalität niedrigdimensionalen Chaos in kognitiven Systemen werden unten folgen. Dabei wird das dynamisch-synergetische Forschungsprogramm in seiner Anwendung im Bereich der Kognitionswissenschaft diskutiert werden, und damit eine Alternative zu modischen epistemologischen Positionen vertreten werden.

Kapitel 6

EINE FELDSTUDIE, EINE COMPUTERSIMULATION UND VORSCHLÄGE FÜR WEITERE EMPIRISCHE DESIGNS

In Kapitel 6 möchte ich umreißen, welche konkreten Möglichkeiten m.E. für eine Umsetzung der in Kapitel 5 ausgeführten synergetischen und dynamischen Methodologie bestehen. Zuerst kann ich eine bereits durchgeführte Studie zur Frage der Gruppenentwicklung referieren, zu der auch eine Computersimulation geschrieben wurde (Tschacher & Brunner, 1990¹). In einem zweiten Abschnitt (6.2 bis 6.4) möchte ich ein weitergehendes Forschungsprojekt beschreiben, das auf der genannten Methodologie und den in dieser Arbeit gewonnenen Konzepten basiert. Das Projekt wurde zum Zeitpunkt der Beantragung "sozialwissenschaftliche Synergetik" benannt und ordnet sich in den Rahmen einer Zusammenarbeit zweier Gruppen an den Universitäten Tübingen und Bamberg ein (Brunner & Schiepek, 1989; Tschacher & Brunner, 1989).

6.1 Distanzregulation und Gruppenkonstellation beim Prozeß der Gruppenbildung: eine explorative Feldstudie und eine Computersimulation

6.1.1 Gruppenbildung als Selbstorganisationsprozeß

Im folgenden berichte ich über theoretische Überlegungen und empirische Analysen, in denen die Anfangsphase des Gruppenbildungsprozesses untersucht

¹ Abschnitt 6.1 ist in weiten Teilen inhaltsgleich mit diesem Artikel

wurde. Abschnitt 6.1 gliedert sich in einen ersten Teil, der das Thema Gruppenbildung und Gruppenentwicklung aus sozialpsychologischer Sicht theoretisch umreißt. In einem zweiten Teil wird sowohl über eine Erkundungsstudie berichtet, in der in einem Experiment die Eingangsphase eines Gruppenbildungsprozesses untersucht wurde, als auch über einen Ansatz, Gruppenbildungsprozesse mit Hilfe eines Computerprogramms zu simulieren.

In Theorien der Gruppenentwicklung werden meist langfristige Prozesse der Gruppenbildung behandelt, wie sie beispielsweise für die Gruppenpädagogik, für die Gruppenpsychotherapie oder für Modelle betrieblicher Arbeitsorganisation von Bedeutung sind. Tuckman (1965) faßte in seiner klassischen Arbeit über Entwicklungsphasen in Kleingruppen die Theorie der Gruppenentwicklung auf die Weise zusammen, daß er ein idealtypisches Modell von Phasen entwarf, die von allen Gruppen im Verlauf ihrer Entwicklung durchlaufen werden ("forming"; "storming"; "norming", "performing"); in der revidierten Fassung fügten Tuckman & Jensen (1977) eine fünfte Phase "adjourning" hinzu. Der Großteil von Arbeiten zur Gruppenentwicklung befaßt sich in der Tat mit solchen Phasen-Modellen der Gruppenentwicklung (Cissna, 1984; Handfinger, 1984; Davies & Kuypers, 1985). Die Konstruktion von Phasenmodellen wird vor allem von Theoretikern betrieben, die sich mit Problemen der Effektivität von Gruppenpsychotherapien befassen (Beck, 1983; Lewis, 1985; Stiers, 1987; Kutter, 1986).

Die Phasenmodelle sind in der Gruppenpsychologie nicht unumstritten. Cissna (1984) kommt in seiner kritischen Durchsicht von Untersuchungen zu Phasenverläufen der Gruppenentwicklung zu dem Ergebnis, daß Tuckmans Analyseschema durchaus hilfreich sein kann, daß jedoch nicht alle Gruppen die Phasen in der vorgestellten Weise durchlaufen müssen. Gersick (1988) untersuchte die vollständigen Gruppenverläufe von acht Arbeitsgruppen in sechs verschiedenen Organisationen; jede Gruppe war mit der spezifischen Entwicklung eines konkreten Arbeitsprogramms befaßt. Die Analysen zeigten, daß nicht jede Gruppe ihre Arbeit bewältigte, indem sie eine stets gegebene Reihe von Phasen durchlief (was nach traditioneller Theorie der Gruppenentwicklung hätte der Fall sein müssen). Das Vorgehen der Arbeitsgruppen wies vielmehr ein Muster auf, in dem sich untätiges Verharren und plötzlicher Umschwung alternierend die

Waage hielten, sowohl was die Verhaltensweisen als auch was die Themenbereiche anbetraf, die mit der Erreichung des Arbeitsziels zusammenhingen.

Stufenfolgen sind also offenbar nicht die einzig möglichen Rekonstruktionsversuche von Gruppenverläufen. Fenger (1986) benennt neben der Stufenabfolge auch die Wellenbewegung und die Spiralbewegung, während in Gersicks Beobachtungen, die eben zitiert wurden, eine Art Musterbildung zu erkennen ist, wonach Gruppenentwicklung als ein sich selbst organisierender Prozeß verstanden werden kann.

Beobachtungen beispielsweise von Frindte et al. (1989), wonach die "dynamische Selbstorganisation in sozialen Gruppen u.a. die zyklische Abhängigkeit zwischen den gruppeninternen Entwicklungsphasen einschließt", machen deutlich, daß eine systemische Sichtweise den psychologischen Theorien zur Gruppenbildung neue Impulse geben kann.

In der sozialpsychologischen Forschung wird der Begriff der Gruppe von anderen Begriffen wie Menge (eine Ansammlung oder ein Aggregat von Individuen ohne nennenswerte Interaktion, Struktur, gemeinsame Normen), Masse (eine strukturlose Menge mit einem gemeinsamen Ziel) und Kategorie (Individuen mit ähnlichen Eigenschaften) unterschieden (Schneider, 1985). Die durchgeführte Feldstudie zielte darauf ab, den Vorgang des Entstehens einer Gruppe aus einem Aggregat zu beobachten. Im Rahmen der Ausführungen zur Selbstorganisation von Systemen in anderen Teilen dieser Arbeit wird eine Gruppe als ein selbstorganisiertes System folgendermaßen zu bestimmen sein:

- (1) Gruppendynamik ist immer nonlinear, also durch rekursive Kausalzusammenhänge geprägt;
- (2) eine Gruppe differenziert sich von ihrer Umwelt, d.h. auch das Verhalten in Abhängigkeit von Kontrollparametern ist nonlinear (Phasenübergänge, Bifurkationen);
- (3) Gruppen sind (z.B. bezüglich Kommunikation) offene Systeme;
- (4) Gruppendynamik erwächst aus einer komplexen Mikroebene (den Kognitionen, Emotionen und hiervon nicht abtrennbaren Kommunikationen);
- (5) Gruppen sind hierarchisch in dem Sinn, daß sie über der Mikroebene

makroskopische kohärente Muster ausbilden.

In diesen Bestimmungen einer Gruppe sind die Voraussetzungen für die Emergenz von Selbstorganisation (der 1., 3. und 4. Punkt) enthalten, wie sie durch die Synergetik (Haken, 1983a, b) und die Metatheorie Prigogines (Nicolis & Prigogine, 1987) formuliert wurden.

Weiterhin ist die Anzahl der Personen, die der Gruppe zugehören, von Bedeutung. Naheliegenderweise ist dies auch eine Konventionsfrage; sinnvoll scheint es etwa, die Größe einer Gruppe mit "mehr als die Grazien, weniger als die Musen" festzulegen (McDavid & Harary, 1968, zitiert nach Schneider, 1985). Jedenfalls wird für eine Gruppe als soziales System eine obere Grenze gegeben sein, wenn durch die bloße Anzahl eine direkte Kommunikation unmöglich wird (zu den Auswirkungen der einzelnen "Distanzzonen" vgl. Hall, 1966; Sommer, 1969). Damit ist auch ausgeschlossen, daß eine Gruppe auf theoretisch gleiche Weise als selbstorganisiert konzipiert werden kann wie etwa eine Gesellschaft, auch wenn beide als "soziale Systeme" bezeichnet werden können. Eine Gesellschaft ist komplex aufgrund der sehr großen Anzahl ihrer Mitglieder. Die Modellierung einer Gesellschaft als selbstorganisiertes System wird deshalb nicht auf psychischen Komponenten aufbauen, sondern etwa von einem populationsdynamischen Ansatz ausgehen (Weidlich & Haag, 1983; vgl. aber Kriz, 1990, der eine Populationsdynamik der Kommunikationen in einer Familie entwirft).

6.1.2 Eine gruppenexperimentelle Explorationsstudie

Wie lassen sich Selbstorganisationsprozesse in Gruppen empirisch untersuchen? Der synergetische Ansatz stellt hierzu eine geeignete Metatheorie bereit. Für den Bereich der Psychologie liegt jedoch noch keine erprobte Methodologie vor, so daß man für die empirische Bearbeitung dieser Fragestellung weitgehend Neuland betritt. Daher kann hier zunächst keine hypothesenprüfende Studie vorgelegt werden; diese Studie hat vielmehr den Charakter einer Explorationsstudie.

6.1.2.1 Zur Operationalisierung des Gruppenbildungsprozesses

Die Dynamik eines Gruppenentstehungsprozesses läßt sich - sowohl im Feld als auch im Laborexperiment - über folgende Methode studieren: Man fordert die Mitglieder einer (entstehenden) Gruppe auf, wiederholt eine **Skulptur** zu bilden. Die einzelnen Gruppenmitglieder nehmen dabei in dem zur Verfügung stehenden Raum Positionen ein, die sie selbst bestimmen.

Das iterative Stellen der Skulptur erfolgt jeweils auf ein Signal des Versuchsleiters hin, nachdem sich die Gruppenmitglieder in dem Raum, der ihnen zur Verfügung steht, ungehindert bewegt haben; nach einer zuvor festgelegten Zeit bittet der Versuchsleiter die Gruppenmitglieder, die Position, die sie im Augenblick des Signals einnehmen, beizubehalten und für eine gewisse Zeit "einzufrieren". Es entsteht dabei ein spezifisches Gruppenbild. Durch die Abfolge von Gruppen-Bewegung und Gruppenbild (Skulptur) läßt sich dann sukzessiv die Ordnungsbildung im Gruppenprozeß verfolgen: Es entstehen nacheinander spezifische Gruppenkonstellationen von überzufälligem Charakter. Ich gehe davon aus, daß jede Gruppe nach und nach ein bestimmtes Ordnungsmuster herausbildet, das sich beschreiben läßt.

Die Methodik der Skulpturierung wurde maßgeblich von der amerikanischen Familientherapeutin Virginia Satir entwickelt. Dem kommunikationstheoretisch orientierten Konzept von Satir (1973; 1975) gemäß erfolgt der therapeutische Zugang über die Beziehungen der Familienmitglieder untereinander, die bestimmt werden sollen. Die Bildung einer Familienskulptur ist so gesehen eine diagnostische Methode zur Erfassung des jeweiligen Familiensystems (zur näheren Beschreibung der familientherapeutischen Verwendung von Skulpturen vgl. Schweitzer & Weber, 1983; weitere Literatur bei Simon & Stierlin, 1984, S. 101).

Methodologisch gesehen wird dabei der Versuch unternommen, die Familienbeziehungen durch eine Operationalisierung greifbar zu machen: Die jeweilige Familienbeziehungsstruktur wird durch die Positionen sichtbar, die die Familienmitglieder in einem Raum zueinander einnehmen. Jeder einzelne definiert seine Beziehung zu jedem anderen Familienmitglied über die räumliche Nähe/Distanz, wodurch die gesamte

Beziehungsstruktur meßbar wird (zum Konzept der "Distanz-Regulierung" vgl. Kantor & Lehr, 1975; vgl. 2.5).

Die in der hier referierten Studie verwandte Methode kann als "rekursive Skulpturierung" bezeichnet werden. Mit "rekursiv" ist dabei die Einwirkung der Ergebnisse einer Skulptur in die Erstellung der nächsten gleichartigen Skulptur angesprochen. Der sich wiederholende Vorgang erlaubt die komplexen kausalen Verflechtungen, die nach psychologischer Erfahrung die Dynamik von Gruppenprozessen ausmachen. Bei der rekursiven Skulpturierung² handelt es sich somit um ein Verfahren zur Untersuchung von Formen der Gruppenentwicklung, das gleichzeitig den Prozeß der Gruppenentwicklung anstößt und forciert; als diagnostisches Verfahren ist es also entschieden reaktiv, da es verändert, was es mißt (Schiepek, 1986). Da die Veränderung aber darin besteht, daß die rekursiv-nonlineare Dynamik "angeheizt" wird, halte ich es für möglich, aus der Not des auf Reliabilität bedachten Diagnostikers eine Tugend zu machen.

Die familientherapeutisch erprobte Methode des Skulpturierens kann sich im Sinne einer Operationalisierung der Nähe-/Distanzregulation (s. 6.2) auch im Bereich der Kleingruppenforschung als fruchtbar erweisen. Daß sich Gruppenbildungsprozesse auf "geometrische" Art und Weise abbilden lassen, zeigt auch eine Arbeit aus dem Bereich der Tanztherapie: Schmais (1981) untersuchte die möglichen Veränderungsprozesse, die sich im Verlauf einer Tanztherapie in der Gruppe ergeben können. Die Autorin unterschied dabei eine Warming-up-Phase, eine Entwicklungs- und eine Schlußphase. In der ersten Phase der Orientierung führen Teilnehmer einfache Bewegungen in einem Kreis durch. In der "Entwicklungs"-Phase, die die Differenzierung und Exploration zum Ziel hat, ermutigt der Therapeut die Teilnehmer, sowohl individuen- als auch gruppenspezifische Erlebnisinhalte mit Hilfe von Tanzbewegungen auszudrücken. Die Tänzer bilden dabei einzelne oder parallele Linien, "Klumpen" ("clumps"), Haufen ("cluster") oder versprengte Formationen.

Während die bislang geschilderten Methoden die Erhebung von "Distanz"-

² Die Idee zu dieser Methode ist selbst Ergebnis eines Gruppenprozesses - auf den Beitrag Schiepeks und Brunners während eines kreativen Spaziergangs durch Bamberg sei ausdrücklich verwiesen

Maßen erlauben (und insofern Gruppenstrukturen über die Erfassung von Nähe/Distanz der Gruppenmitglieder operationalisiert werden), besteht eine weitere Möglichkeit in der Auswertung der **verbalen Aktivitäten** der Gruppenmitglieder. Einer Anregung von Haken (mündliche Mitteilung, 1988) folgend kann man bei der Analyse von Gruppengesprächen damit rechnen, daß sich in jeder Gruppe im Verlauf der Gruppendiskussion ein einzelnes **Thema** als Gruppenthema herauschält. Synergetisch gesprochen stellt dieses Thema dann quasi den "Attraktor" dar, den man in der Gruppenanalyse als Gruppenspezifikum herausfiltern kann.

6.1.2.2 Methodik der Untersuchung

In einer Feldstudie wurde das eben skizzierte Konzept der Untersuchung von Gruppenbildungsprozessen über die Methode des rekursiven Skulpturierens geprüft. Die Untersuchung fand im Rahmen einer Seminarveranstaltung an der Universität Tübingen statt, die Prof. Brunner zum Thema "Theorien der Gruppenentwicklung" im Wintersemester 1988/89 durchführte.

Die Seminarteilnehmer erfuhren zu Beginn der Veranstaltung, daß die ersten drei Sitzungen des Semesters für die Durchführung von Gruppenexperimenten vorgesehen seien. Den Seminarteilnehmern wurde dabei lediglich gesagt, daß sie an Experimenten zur Gruppenbildung teilnehmen würden, nicht jedoch, welche Zielsetzung die Studie im einzelnen habe.

An drei Sitzungen wurden jeweils rekursive Skulpturierungen durchgeführt. Aus der Gruppe der ca. 25 Seminarteilnehmer wurden dabei jeweils acht Studierende gebeten, an dem Gruppenbildungsexperiment teilzunehmen; die jeweils übrigen Teilnehmer konnten den Gruppenbildungsprozeß von außen beobachten. Im Seminarraum war am Boden mit Klebestreifen ein rechteckiges Feld in der Größe 3,6m x 2,4m abgesteckt. Die acht Studentinnen und Studenten sollten sich in diesem Feld bewegen. Sie wurden im Sinne der oben beschriebenen Methode dazu angehalten, sich abwechselnd in dem abgesteckten Raum zu bewegen und - auf ein Signal des

Versuchsleiters hin - ihre Position im Raum "einzufrieren".

Die Vpn wurden direkt im Anschluß an die jeweilige gebildete Skulptur aufgefordert, sich in der Gruppe über den ablaufenden Prozeß zu unterhalten. Zwei Themen sollten dabei diskutiert werden:

(1) Was läuft in der Gruppe ab?

(2) Wie fühle ich mich in der Gruppe?

Daran schloß sich erneut eine Skulpturbildung und ein verbaler Austausch an; usw... Es wurde also in Form einer Iteration die innerhalb des sozialen Systems "ausgehandelte" Struktur zum Input in einen neuen Prozeß der Strukturbildung. Durch die Art der Instruktion und die experimentelle "Atmosphäre" sollte der Prozeß der Gruppenentstehung forciert werden, und durch die Skulpturierung mit den verbalen Austauschphasen modellhaft veranschaulicht werden.

Ich nehme an, daß sich die Selbstorganisation der Gruppe auf zwei Ebenen zeigt: auf der formalen Ebene der räumlichen Grenzregulation und auf der semantischen Ebene der Verbalisationen, der individuellen und kollektiven "Themen".

Bezüglich dieser Ebenen kann untersucht werden, ob und welche stabilen Muster der Gruppeninteraktion sich nach einer Reihe von Iterationen ausbilden (Analyse der Attraktoren der Gruppendynamik). Ebenso können Hinweise gefunden werden, wodurch die Evolution eines Attraktors beeinflusst wird (Bedeutung von Fluktuationen in sensiblen Phasen der Gruppenentwicklung). Von besonderem Interesse sind die Korrelationen zwischen den beiden Ebenen der Selbstorganisation, mithin die Frage nach dem Zusammenhang bei der Ausbildung von Attraktoren der semantischen und der formalen Verhaltensebenen.

Im folgenden sind die Ergebnisse eines der drei durchgeführten Experimente zur Gruppenbildung dargestellt. Diese Untersuchung dauerte etwa eine Stunde. Am Experiment beteiligten sich fünf Studentinnen und drei Studenten; die anderen Seminarteilnehmer (etwa fünfzehn) bildeten als beobachtende "Außengruppe" einen großen Kreis um das abgegrenzte Feld.

Die Entscheidung über die Zusammensetzung war den einzelnen Teilnehmern überlassen; die Vorphase, in der sich aus der Gesamtgruppe ohne Intervention seitens

der Versuchsleiter und weitgehend nonverbal acht Versuchsteilnehmer zusammenfanden, war unerwartet lang und dauerte ca. eine halbe Stunde.

6.1.2.3 Methode der Auswertung

Als Datenbasis diente eine Videoaufzeichnung über die gesamte Dauer der Untersuchung ohne Vorphase, sowie eine wörtliche Transkription der verbalen Austauschphasen (Anhang A). Konkret wurden die folgenden Maße erhoben, um den Vorgang der Gruppenbildung abzubilden:

a) Formale Aspekte der räumlichen Konfigurationen:

- Eine schematische Darstellung der räumlichen Konstellationen der Versuchsteilnehmer in sechs aufeinanderfolgenden Skulpturen ist in Abb. 6.1 bis 6.6 gegeben (s. unter 6.1.2.4). Die räumlichen Positionen der Versuchspersonen wurden von zwei unabhängigen Ratern aufgrund der Videoaufzeichnung rekonstruiert.
- Die interpersonalen Distanzen innerhalb der Gruppe werden auf die Weise erfaßt, daß durch einen Polygonzug die Einzelpersonen miteinander verbunden werden. Die Länge des Polygonzugs (Umfang U) sowie die durch ihn eingeschlossene Fläche (F) werden angegeben.

b) Inhaltsanalytische Daten auf der Grundlage des Transkripts:

- Die Häufigkeiten des Auftretens von Schlüsselworten wurden ausgezählt. Zwei Kategorien, die für zwei Themen stehen, werden unterschieden: das erste Thema war "Gruppe" (g), das zweite Thema "Ich" (i). Für jedes Thema konnte ein Wert pro verbaler Austauschphase erhoben werden; die Werte sind die prozentualen Anteile der Summe aller entsprechenden Schlüsselworte an der Summe aller Worte, die in einer Austausch-

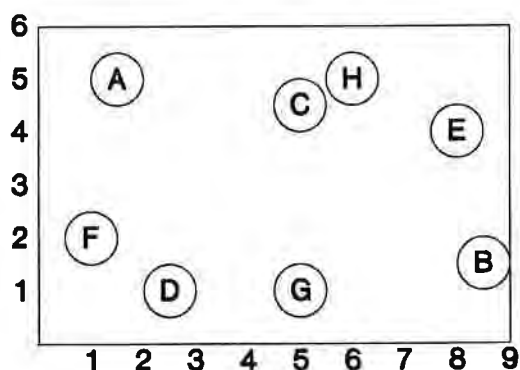
phase in der Gruppe gesprochen wurden. Schlüsselworte für ein Thema waren jeweils:

i: ich, mein, mich, mir.

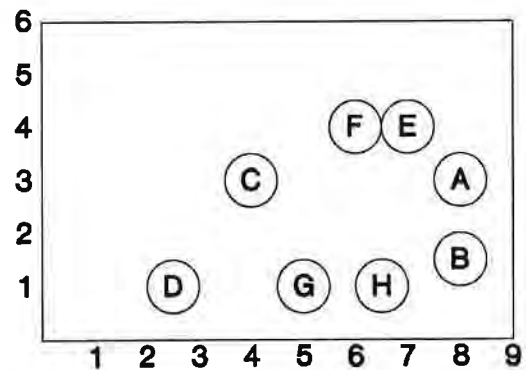
g: ihr, wir, uns, euch, euer, man, Gruppe, Skulptur, Kreis, Teilnehmer, Leute, Männer, Frauen.

- Zusätzlich wurde jeder Redebeitrag (turn) während der Phasen des verbalen Austauschs einem Rating unterzogen. Zwei unabhängige Experten hatten wiederum zwischen den zwei Kategorien "vorwiegend gruppenbezogen" (G) und "vorwiegend ichbezogen" (I) zu wählen. Die Einschätzer wurden zuvor von den Autoren durch ein ausführliches Training in ihre Aufgabe eingeführt. Die Werte I und G sind prozentuale Anteile des entsprechenden Ratings an der Anzahl aller Ratings pro verbaler Austauschphase; da nur zwei Kategorien zur Verfügung standen, addieren sich I und G jeweils zu 100%. (Ein erster Versuch, möglichst viele im Verlauf der verbalen Austauschphasen angesprochenen Themen mit Hilfe eines Kategoriensystems zu erheben, scheiterte an ungenügenden Korrelationen zwischen Einschätzern. Wir reduzierten daraufhin die Zahl der Themenkategorien auf die zwei Pole "gruppenbezogen" und "ich-bezogen".)

6.1.2.4 Ergebnisse



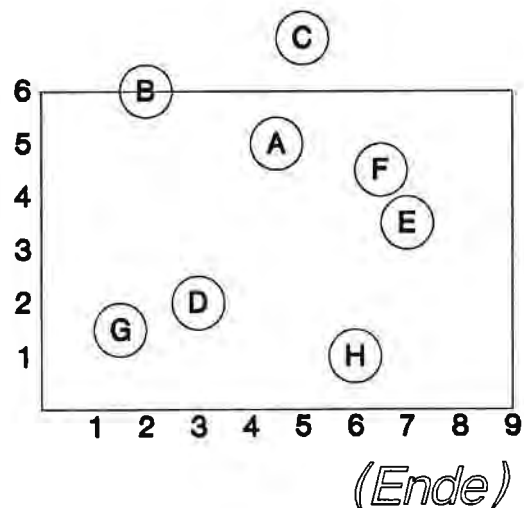
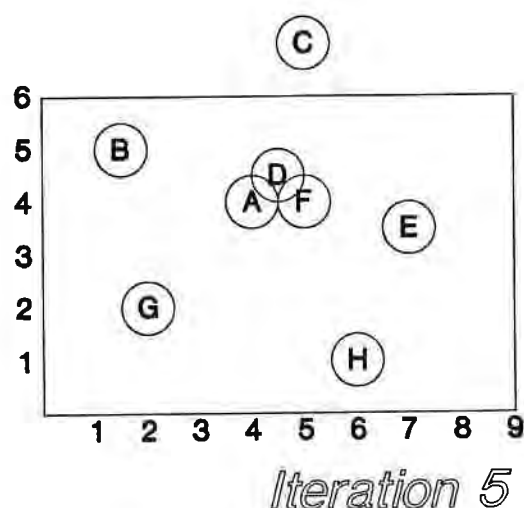
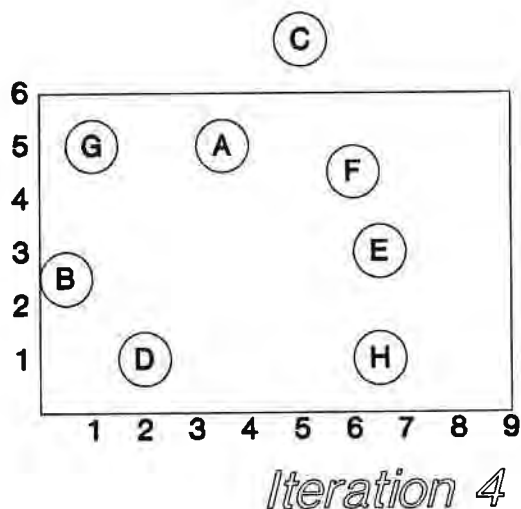
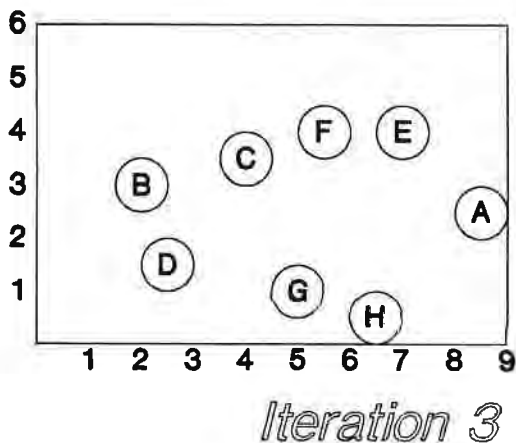
Iteration 1



Iteration 2

Abb. 6.1 bis 6.6 (diese und folgende Seite):

Schematische Darstellungen der Gruppenkonfigurationen in fünf aufeinander folgenden Skulpturen ("Iteration 1" bis "Iteration 5") sowie nach der letzten verbalen Austauschphase ("Ende")



Die hier dargestellten Abbildungen 6.1 bis 6.6 zeigen die während der Skulpturen von der Gruppe erzeugten Konfigurationen. Diese Abfolge von sechs Skulpturen läßt sich knapp wie folgt zusammenfassen: Die Anfangsskulptur entstand, wie bereits erwähnt, in einem langwierigen und zögernden nonverbalen Prozess. Die zugehörige Polygonfläche ist entsprechend groß und reflektiert die abwartende Distanz der Versuchsteilnehmer. Bei den beiden nächsten Skulpturen werden die Distanzen geringer, bis in Iteration 4 die Person C das Feld verläßt, und sich der beobachtenden Außengruppe anschließt. Die Restgruppe erhöht gleichzeitig die Distanz wieder, bis sich in Iteration 5 drei weibliche Versuchsteilnehmer Rücken an Rücken in die Mitte des durch die anderen gebildeten Kreises platzieren. Dies wurde von der Gruppe als Abschlußskulptur deklariert; die Gruppe nahm aber dennoch bei der letzten verbalen Austauschphase eine weitere, in Abb. 6.6 gezeigte Konstellation ein.

Die in den dargestellten Skulpturen gemessenen Werte für den Umfang U des durch die Gruppe aufgespannten Polygons sowie die Fläche F des Polygons sind in einem Diagramm in Abb. 6.7a (rechts) erfaßt.

In Abb. 6.7b (darunter) sind Werte der Inhaltsanalyse (schwarze Säulen), des Ratings (gestreifte Säulen) und der Polygonfläche (Liniendarstellung) zum Vergleich nebeneinandergestellt.

Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse sind in Abb. 6.8 vollständig dargestellt. Für jede der fünf verbalen Austauschphasen sind die getrennt erhobenen Werte i und g eingetragen.

In Abb. 6.9 (nächste Seite) finden sich die Werte I und G (zusammen je 100%) der Rating-Analyse.

Die Interrater-Reliabilität ist trotz des Trainings und der minimalen Kategorienzahl nur mäßig hoch (Kappa nach Cohen: $K=.62$; $r_{tet}=.78$). Die in den Diagrammen

räumliche Konfiguration Polygon (Umfang, Fläche)

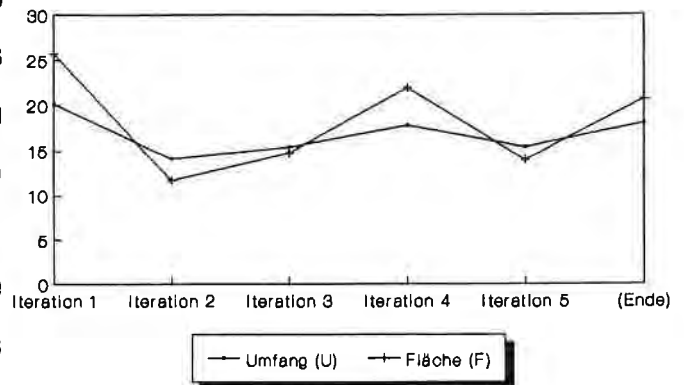


Abb. 6.7a:
Maße der räumlichen Konstellationen

Vergleich Rating vs. Inhaltsanalyse

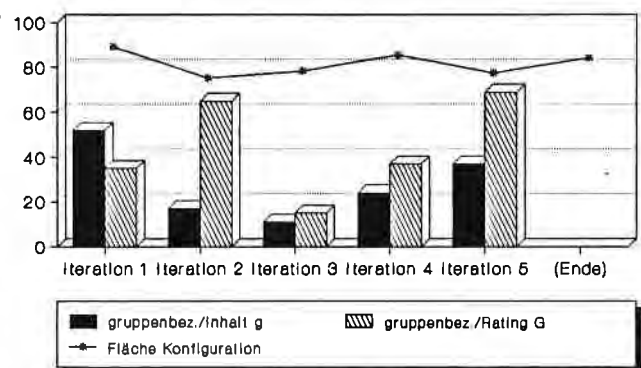
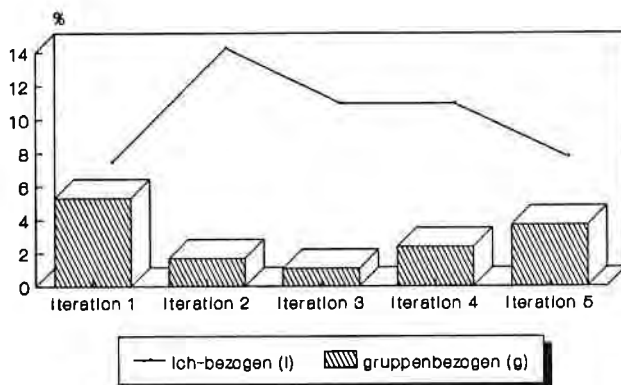


Abb. 6.7b:
Vergleich von Werten aus Abb. 6.7-9

Inhaltsanalyse Daten



dargestellten Werte sind für eine quantitative statistische oder dynamische Analyse (5.5.2) unzureichend.

Abb. 6.8:
Werte der Inhaltsanalyse

Hält man neben die Daten zur räumlichen Konfiguration die Ergebnisse zum

verbalen Austausch (Abb. 6.8, 6.9), so scheinen die Verläufe nicht zu korrelieren. Sogar die beiden verschiedenen Methoden, die zur Auswertung der verbalen Transkripte (Anhang A) Anwendung fanden, zeigen zumindest für Iteration 2 gegensätzliche Werte, die nur schwer zu erklären sind. Ohne den "Ausreißer" (G-Wert von Iteration 2) ergäbe sich annähernd ein U-förmiger Verlauf

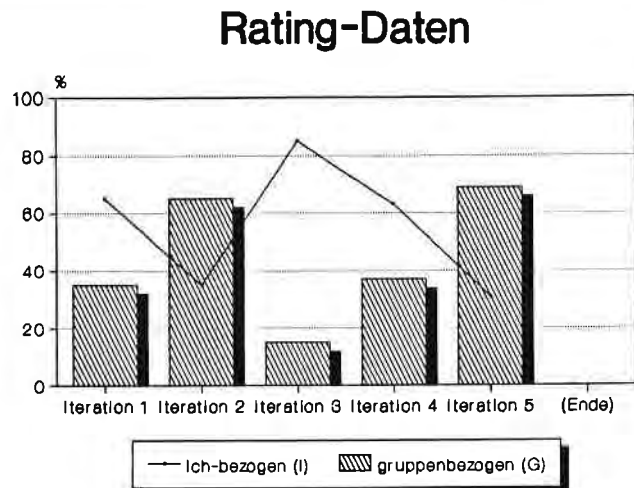


Abb. 6.9: Werte des Ratings

der "gruppenbezogen"-Maße: bei Beginn und Abschluß des Experiments steht das Thema "Gruppe" im Mittelpunkt (s. Abb. 6.7b). Dagegen läßt sich das Aus-dem-Feld-Gehen von C post hoc dadurch nachvollziehen, daß die Minima der "gruppenbezogen"-Werte g und G als Indikatoren der Gruppenkohäsion, die dem in Iteration 3 vorausgingen, solches Verhalten möglich machten (für eine weitere Diskussion s. 6.1.5).

6.1.3 Methode der Computersimulation

In Zusammenhang mit der beschriebenen Methode der rekursiven Gruppenskulpturierung wurde von mir und P. Tritschler ein Versuch unternommen, die formale Ebene der Selbstorganisation der Gruppe mit Hilfe eines iterativen Computerprogramms abzubilden. Ein bereits realisierter Prototyp zur Simulation wurde von uns mit Hilfe der Computersprache PASCAL implementiert (s. Anhang B): Der Raum der Gruppeninteraktion ist durch eine Matrix mit 20 Zeilen und 30 Spalten dargestellt, in der acht Zellen mit "Personen" besetzt sind, die sich gemäß voreingestellter Optimaldistanzen zu allen anderen "Personen" bewegen können. Wesentliche Anregungen zu dieser Simulation entstammen Dewdney (1987).

Ein Einzelschritt in diesem "sozialen System" sieht so aus: eine Person (A) nimmt ihre augenblickliche Distanz von jeder der anderen Personen (B bis H) wahr und

bestimmt jeweils die Differenz zu der von ihr angestrebten Optimaldistanz. Die Summe der Differenzen ist ein Maß für A's Zufriedenheit mit der augenblicklichen Position. Die gleiche Berechnung wird für alle acht zur augenblicklichen Position benachbarten Felder durchgeführt. Dann bewegt sich A auf das Feld mit der größten Zufriedenheit, also der kleinsten Differenzensumme. Eine Iteration ist vollendet, wenn jede der acht Personen diesen Zyklus durchlaufen hat, und sich in Richtung auf optimale Zufriedenheit bewegt hat (oder gegebenenfalls eine optimale Position beibehält). Der Raum wird für jede Person durch die Matrix der voreingestellten Optimaldistanzen zu einer Potentiallandschaft (Abb. 6.10; vgl. die Beschreibung einer Potentialfunktion eines dynamischen Systems in Kapitel 3), in der für jeden Punkt ein "Zufriedenheitswert" berechenbar ist. Hohe Zufriedenheit, also annähernd optimale Distanz zu den andern Personen entspricht einem Tal, einer Mulde (einem Attraktor), niedrige Zufriedenheit entspricht einem Berg (einem Repellor). Die Interaktion entsteht durch die Konkurrenz von acht solcher u.U. inkompatiblen Potentiallandschaften, was verhindert, daß jede Person geradewegs ihre nächstgelegene Potentialmulde aufsucht.

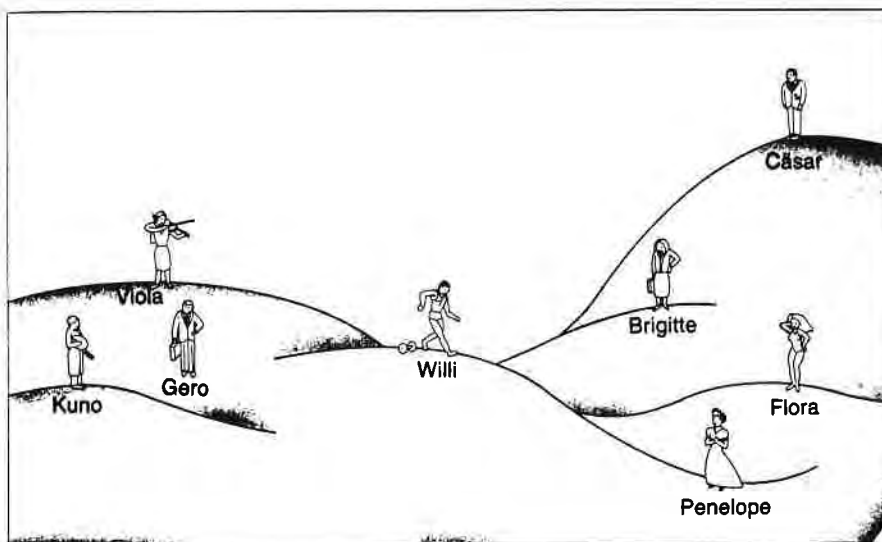


Abb. 6.10:
Darstellung einer fiktiven Potentiallandschaft, die durch die "Distanzwünsche" in der Computersimulation bestimmt ist (aus: Dewdney, 1987)

Die genannte Simulation kann als eine Abart eines zellulären Automaten verstanden werden. Zelluläre Automaten sind diskrete dynamische Systeme, die mit teilweise sehr einfachen lokalen Regeln (sozusagen auf der Mikroebene) komplexe Makromuster zu erzeugen fähig sind. Der Pionier des seriellen Computers John v. Neumann stellte Untersuchungen mit diesen Automaten mit dem Ziel an, biologische

Prozesse wie die Selbstreproduktion von Strukturen zu modellieren (v. Neumann, 1963; v. Neumann & Morgenstern, 1963; s.a. Zuse, 1969: "rechnender Raum"). Gleichzeitig gelten zelluläre Automaten als eine Art Paradigma der Parallelverarbeitung (s. 8.4 c), von der sich die Cognitive Science Fortschritte in Richtung auf künstliche Intelligenz erwartet (Kemke, 1988). Von Seiten der Dynamical Systems Theory sind insbesondere Erscheinungen von Symmetriebrechung, Ordnungsbildung, Fraktalität und Chaos von Relevanz, durch die sich manche zelluläre Automaten auszeichnen (Wolfram, 1984; Toffoli & Margolus, 1987; Hayes, 1988).

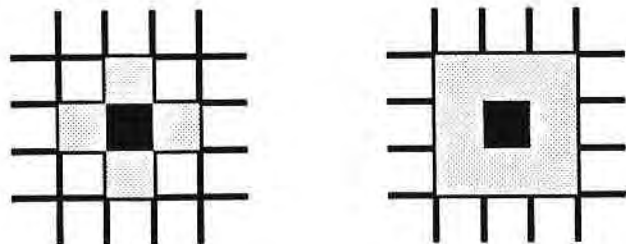
Hayes (1988) nennt folgende vier Merkmale von zellulären Automaten:

(1) Der Automat besteht aus einem "Raum", der in Zellen aufgeteilt ist. Die Anordnung ist meist als Gitter wie oben realisiert, es sind aber auch Variationen der Zellenform (z.B. wabenförmig) sowie der Dimension (z.B. dreidimensionale Zellenstrukturen) möglich.

(2) Jede Zelle hat eine Nachbarschaft. In quadratischen Anordnungen sind folgende zwei Nachbarschaften gebräuchlich (s. Abb. 6.11):

Abb. 6.11:

Nachbarschaften in zellulären Automaten: links eine von Neumann-Nachbarschaft, rechts eine Moore-Nachbarschaft



In meiner Simulation ist eine Moore-Nachbarschaft gewählt, die aus neun Zellen besteht (die innere Zelle wird mitberücksichtigt).

(3) Eine Zelle kann verschiedene Zustände einnehmen. Im einfachsten Fall ist sie binär; im vorliegenden Fall sind dies neun mögliche Zustände: entweder "A", "B", ... "H" oder "(leer)".

(4) Über den Zustand einer Zelle entscheidet die Konstellation der Zustände der Nachbarschaft der Zelle. Conways jedem Hobbyprogrammierer bekanntes "Game of Life" funktioniert z.B. folgendermaßen: eine Zelle kann entweder "tot" oder "lebendig" sein, ist also binär. Es gilt die Moore-Nachbarschaft. Ist eine Zelle lebendig, so bleibt sie das, wenn in der Nachbarschaft zwei oder drei andere lebende Zellen sind. Eine tote

Zelle wird bei drei lebenden Nachbarzellen in der nächsten Iteration lebendig. In allen anderen Fällen bleibt oder wird eine Zelle tot. Das Ergebnis ist ein komplexes Werden und Vergehen von Strukturen. Je nach Ausgangskonstellation entstehen permanente oder oszillierende Muster (Eigen & Winkler, 1975). In diesem Punkt unterscheidet sich allerdings meine Simulation von den zellulären Automaten, da nur für bereits besetzte Zellen (Personen) ein neuer Wert berechnet wird, der zudem noch vom Potentialwert der Nachbarzellen abhängt.

Bei der Computersimulation kann wie bei der Gruppenskulpturierung zwischen einer Mikroebene (individuelle Distanzwünsche) und einer sich aus dem nonlinearen Zusammenwirken dieser Einzelinteraktionen sich etablierenden Makroebene (Gruppenkonfiguration) unterschieden werden. Damit ist auch der Phänomenbereich der Synergetik als einer Metatheorie angesprochen, die das Zusammenwirken von Mikro- und Makrokosmos bei der Evolution von selbstorganisierten Ordnungszuständen thematisiert.

6.1.4 Ergebnisse der Simulation

Das Simulationssystem wurde als ein Automat beschrieben, der Ähnlichkeiten zu den zellulären Automaten aufweist. Die Simulation stellt ein nonlineares dynamisches System dar, dessen Verhalten rekursiv gesteuert ist. Da die zugrundeliegende Potentialfunktion über die Matrizen der Optimaldistanzen in einem weiten Bereich variiert werden kann, sowie ferner die Anfangswerte für die einzelnen Zellen (also die Positionen der "Personen" im Feld) verschieden gewählt werden können, ist eine schier unüberschaubare Vielfalt des Verhaltens des Automaten möglich.

Diese Vielfalt ist bereits eines der Ergebnisse, die eine phänomenale Untersuchung der Simulation ergibt. Vielfalt entsteht zum Teil durch eine sensible Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen. Diese zeigt sich etwa darin, daß eine geringfügige Änderung einer Eingangsgröße zu qualitativ völlig unterschiedlichen Zuständen hinführt. Dazu möchte ich ein Beispiel anführen: Die Distanzmatrix sei symmetrisch insofern,

als alle Optimaldistanzen gleich sind, beispielsweise $\text{dist}_{ij}=13$. Ein Prozeß unter dieser Vorgabe mit den Anfangspositionen der Gruppenstudie (die Konfiguration aus Abb. 6.1) ergibt eine lange Folge sich ablösender Konfigurationen, die erst nach etwa 200 Iterationsschritten in eine stabile Konfiguration einmünden. Verändert man nun lediglich die Anfangsposition

von A von $A(x/y)=(5/17)$ nach $(6/17)$, befindet sich das System bereits nach zwölf Iterationen in einem Gleichgewicht, das mit Periode 2 oszilliert. Beide Endkonfigurationen sind von einer unregelmäßig abgerundeten Form, wie von der gleichbesetzten Matrix her zu erwarten war, die Positionen der einzelnen Personen A bis H dagegen sind verschieden (Abb. 6.12a,b).

.....Das Feld nach der 194. Iteration:

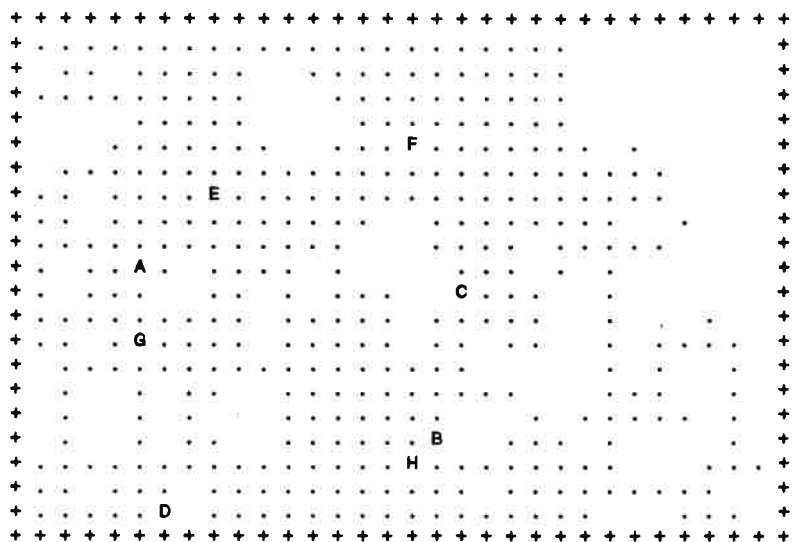


Abb. 6.12a: Endkonfiguration der Simulation, wenn alle Optimaldistanzen den Wert 13 haben

.....Das Feld nach der 13. Iteration:

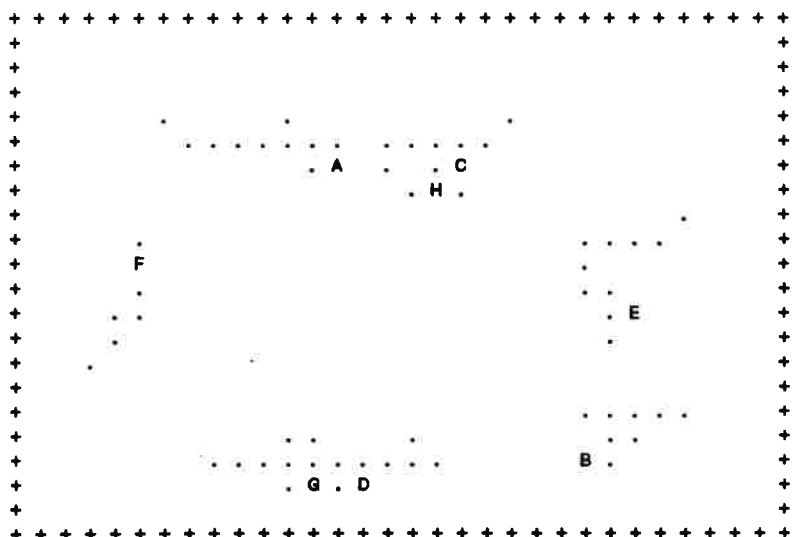


Abb. 6.12b: Endkonfiguration für die Distanz 13, bei geringfügig anderer Ausgangsposition von A

Analog zu diesem Ergebnis ist die Entwicklung der Konstellationen aus identischen Positionen, wenn $\text{dist}_{i,j}$ sich um lediglich 0.1 unterscheidet (5 bzw. 5.1). Die resultierenden Gleichgewichtskonstellationen sind in Abb. 6.13a und b gegeben.

Abb. 6.13a:
Konstellation mit der Distanz 5

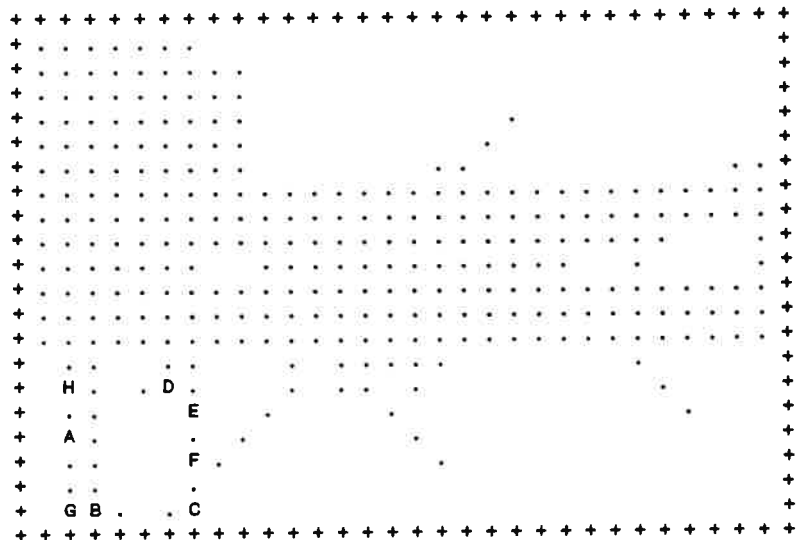
Dies sind nun Ergebnisse zu Probeläufen mit symmetrischen Matrizen, die zudem noch gleichbesetzt sind.

Qualitativ anderes Verhalten läßt sich simulieren, wenn die Optimaldistanzen in der Matrix so gewählt sind, daß sie den Distanzen einer beliebigen realisierbaren Konstellation entsprechen. Diese Matrix ist dann ebenfalls symmetrisch, denn die Distanz A von B ist gleich der Distanz B von A usw.; die Distanzen sind aber noch zusätzlich komplementär, denn sie stehen nicht in Konflikt oder Konkurrenz zueinander.

Iterationen mit solchen Matrizen sind stets *äquifinal*: sie münden von allen Ausgangskonfigurationen aus in denselben, durch die in der Matrix abgebildete Potentialfunktion bestimmten Attraktor.

Welches Verhalten resultiert nun aus Vorgaben, die einen Konflikt zwischen Distanzwünschen beinhalten? Ein

.....Das Feld nach der 195. Iteration:



.....Das Feld nach der 415. Iteration:

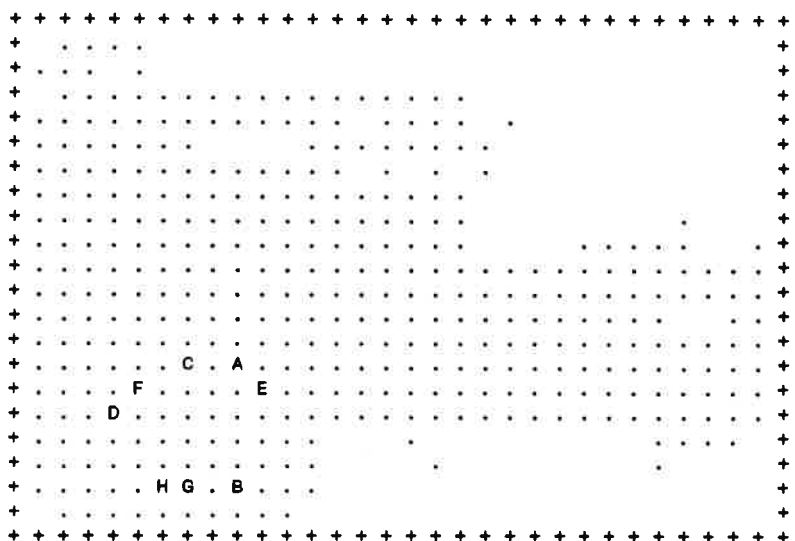


Abb. 6.13b: Konstellation für die Distanz 5.1

Beispiel hierfür ist folgendes: es existieren zwei Subgruppen (A;C;D;F;H sowie B;E;G), wobei erstere kleine interne Optimaldistanzen und große Optimaldistanzen zu Mitgliedern der anderen Subgruppe aufweist. Das umgekehrte gilt für die Subgruppe B;E;G (ihre Mitglieder "gehen sich aus dem Weg, und nähern sich den andern an"). Dies führt zu folgender asymmetrischer Matrix:

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	15	3	3	15	3	15	3
B	3	0	3	3	15	3	15	3
C	3	15	0	3	15	3	15	3
D	3	15	3	0	15	3	15	3
E	3	15	3	3	0	3	15	3
F	3	15	3	3	15	0	15	3
G	3	15	3	3	15	3	0	3
H	3	15	3	3	15	3	15	0

Die Simulation nimmt einen merkwürdigen Verlauf, der keinem der üblichen Gleichgewichtszustände zustrebt. Vielmehr bilden die "Personen" einen geschlossenen, turbulenten Pulk, der sich immer wieder zu "Gleitern" wechselnder Konstellation formiert (vgl. die Vorgänge bei zellulären Automaten wie dem "Game of Life": Gleiter sind stabile Muster, die durch das Feld zu "wandern" scheinen; Eigen & Winkler, 1975). Die Gleiter werden am Rand des Feldes deformiert, durchlaufen eine Phase innerer Umstrukturierung, und beginnen in anderer Richtung wieder zu wandern.

Soweit eine qualitative Beschreibung der Simulation (für quantitative Maße vgl. Wolfram, 1984). Folgende Klassen von Gleichgewichtszuständen konnten gefunden werden:

- "Fixpunkte": stationäre Konstellationen, in denen das System in allen weiteren Iterationsschritten verbleibt;
- "Grenzzyklen": eine terminale Konstellation springt zwischen zwei Zuständen;
- Gleiter: fixe Konstellationen, die nicht stationär sind, durch das Feld wandern und sich unter den besonderen Bedingungen am Rand auflösen;
- oszillierende Gleiter;

- chaotische Verläufe oder Oszillationen sehr langer Periode: da das Feld und die Anzahl möglicher Kombinationen der Konstellationen endlich ist, muß jeder einzelne Simulationslauf irgendwann wieder einen alten Zustand durchlaufen.

6.1.5 Diskussion und Ausblick

Es ist nun möglich und angesichts der in der Theorie dynamischer Systeme üblichen Vorgehensweise wohl auch legitim, die beschriebene Computersimulation als dynamisches System aus eigenem Recht aufzufassen; das System entstand aber als ein Modell zur Distanzregulation in einer sich bildenden Gruppe (6.1.2). In welcher Beziehung stehen nun also das Modell und die reale Gruppenbildung?

Es ist deutlich, daß die Simulation ein sehr einfaches Modell der Gruppe darstellt, da sich die Wunschdistanzen während eines Simulationslaufes nicht verändern können. In einer realen Gruppe ist dagegen anzunehmen, daß sich die Distanz-"Einstellungen" in Abhängigkeit von den Ereignissen während des Gruppenbildungsprozesses und den verbalen Äußerungen der Austauschphasen verändern werden. Daß dies geschehen ist, zeigt die Tatsache, daß C nach der dritten Iteration das Feld verläßt (Abb. 6.4), sowie die Figur in Abb. 6.5. Dem Modell fehlt also ein Freiheitsgrad der Gruppendynamik sowie die Möglichkeit des Aus-dem-Feld-Gehens. Dennoch belegt das Modell m.E., daß auch eine einfache Modelldynamik bereits sehr komplexe Verhaltensmuster und Gleichgewichtskonstellationen herzustellen in der Lage ist, und damit einen Teil der Gruppenprozesse auf einer makroskopischen Ebene nachbilden kann.

Entsprechend dem Charakter einer Explorationsstudie entstanden eher neue Fragen, als daß bereits endgültige Aussagen zur Gruppenentwicklung und ihrer dynamischen Modellierung gemacht werden könnten. Insbesondere die im Gruppenexperiment erhobenen empirischen Daten erlauben nicht, quantitative Schlüsse zu ziehen, um so etwa die Simulation zu validieren.

In den nächsten Schritten sollte das Verfahren der rekursiven Skulpturierung folgendermaßen variiert werden: Es kann ein Modus gefunden werden, viele Iterationen

unter Verzicht auf verbale Kommunikationen durchzuführen; denn um quantitative Aussagen machen zu können, sind mehr Daten als in dieser explorativen Studie vonnöten. Die Gruppe sollte zudem unbeobachtet bzw. lediglich unter der mitlaufenden Videoaufzeichnung (vgl. 6.2.1 a) interagieren können. Dann kann auch sinnvollerweise die Dynamik der Zeitreihen von Observablen (z.B. Fläche des gebildeten Polygons nach Abb. 6.7a) von Versuch und Modell miteinander verglichen werden.

Andererseits kann versucht werden, das Modell durch Aufnahme einer weiteren rekursiven Schleife realistischer zu gestalten: es ist möglich, die bisher konstant vorgegebenen Distanzmatrizen vom Prozess abhängig zu machen, etwa indem nähere Distanzen dann "gelernt" werden, wenn sie im Verlauf der vorangegangenen Iterationen aufgetreten sind. Prinzipiell können auch verborgene Variablen definiert werden, die dann ihrerseits interagieren und das Distanzverhalten bedingen. Einem Ausbau der Simulation zu einem multidimensionalen kybernetischen Modell, wie es Benno in Bischof (1985) entwarf, steht nur eines im Wege: der zunehmende Programmieraufwand.

Die rekursive Skulpturierung wird einer der Ansätze sein, die im Rahmen einer sozialwissenschaftlichen bzw. psychologischen Synergetik (Brunner & Schiepek, 1989; Tschacher & Brunner, 1989) elaboriert und weiterverfolgt werden.

6.2 Vorschlag zu weiteren Untersuchungen

Im folgenden sollen Überlegungen dargestellt werden, auf welche konkrete Weise Methoden und Modelle der Synergetik und der Theorie dynamischer Systeme in empirische Arbeiten zum Bereich der Psychologie sozialer Systeme umgesetzt werden können.

Damit wird das Ziel verfolgt, soziale Systeme in Anlehnung an die naturwissenschaftliche Methodik der Deskription und Modellierung von Selbstorganisationsphänomenen zu erfassen. Dies dient sowohl der Fundierung und Präzisierung einer Theorie sozialer Systeme als auch dem (besseren) Verständnis des therapeutischen Vorgehens

in der Arbeit mit sozialen Systemen (z.B. in der Familientherapie) und seiner wissenschaftlichen Begründung.

6.2.1 Variablenklassen für die quantitative Beschreibung sozialer Systeme

Folgende Observablen halte ich für brauchbar bei der Durchführung der in Kapitel 5 genannten makro- und mesoskopischen Ansätze:

- a) räumliche Abstände zwischen den einzelnen Individuen während ihrer Interaktion;
- b) physiologische Parameter (Herzrate, Atemfrequenz);
- c) Variablen des mimischen Verhaltens.

Für die Wahl physiologischer, räumlicher und nonverbaler Variablen zur Darstellung der Systemdynamik sind mehrere Gründe ausschlaggebend:

* Es erscheint auf dem Hintergrund sozialpsychologischer sowie ökopsychologischer Forschung zum räumlichen und nonverbalen Verhalten und des Kenntnisstands der Psychophysiologie plausibel, davon auszugehen, daß sich psychische/soziale Komponenten der Mikroebene sozialer Systeme in den genannten formalen Maßen ausdrücken;

- * die Daten können relativ objektiv und reliabel erhoben werden;
- * längere Zeitreihen kontinuierlicher Messungen werden möglich.

Damit kann für die psychologische Empirie erstmals versucht werden, auch aufwendige Methoden zur Bestimmung nonlinearer Dynamik bei der Erforschung von Gruppen- und Familiensystemen einzusetzen (vgl. Kapitel 7).

Die Perspektiven einer so konzipierten psychologischen Forschung sind weitreichend: die Stufe einer nur metaphorischen Anwendung der Begriffe der Selbstorganisationsforschung könnte überwunden werden. Konsequenzen für den Bereich der systemischen Therapie und damit für Fragen der psychologischen

Behandlung behavioraler und psychosomatischer Probleme sind zu erwarten.

Bezüglich der Wahl räumlicher Maße zur Bestimmung der Nähe-Distanzregulation kann ich mich auf einen großen Fundus relativ gesicherter Ergebnisse berufen:

Die Untersuchung räumlichen Verhaltens (vgl. auch die Überbegriffe Grenzregulation, proxemics, Privatheit) hat innerhalb der Ökologischen Psychologie bzw. Environmental Psychology (Bell et al., 1978; Ittelson et al., 1974; Stokols & Altman, 1987) zu einer Fülle von Studien geführt, die in Form von Querschnittsuntersuchungen den Einfluß einzelner Parameter auf interaktionale Distanzen belegen (Aiello, 1987). Zu den eher tonischen Parametern zählen Geschlecht, Alter, physische Umgebung und (sozio-)kulturelle Zugehörigkeit, physische Veränderungen korrelieren mit Maßen von Stress und Arousal. Verschiedene Gleichgewichtsmodelle, die räumliches Verhalten als aus Arousal und nachfolgender Attribution resultierend auffassen, sind vorgeschlagen worden (Patterson, 1976, 1982; Cappella & Greene, 1982). Es handelt sich dabei um komplexe kognitionspsychologische Modelle, die neben der interaktionellen Distanz auch weitere nonverbale Mechanismen der Grenzregulation umfassen.

Systemisch orientierte Psychotherapeuten berichten davon, daß die Struktur eines sozialen Systems (Koalitionen; Hierarchie; psychische und emotionale Distanz) sich im räumlichen Verhalten repräsentiere (Minuchin & Fishman, 1985; Satir, 1973). Besonders durch die Familientherapie werden räumliche Anordnungen beachtet, die die Mitglieder einer Familie etwa in Gestalt der spontan eingenommenen Sitzordnung zeigen. Auch modellhafte Beschreibungen von sozialen Systemen vom Szenotest bis zu Minuchins (1977) Struktogrammen verwenden räumliche Analogien.

Die Zusammenhänge zwischen physiologischen einerseits und emotionalen sowie kognitiven Variablen andererseits bilden den Untersuchungsgegenstand der Psychophysiologie (Birbaumer, 1975) und der Verhaltensmedizin (Miltner et al., 1986; Birbaumer & Schmidt, 1989). Gut belegt ist die Bedeutung kardiovaskulärer Maße wie der Herzfrequenz als Indikator für emotionale Aktivierung, für kognitive Orientierungs- und Abwehrreaktionen (Stemmler, 1984; Obrist, 1981; Lacey & Lacey, 1970). Kleiter & Schwarzenbacher (1989) betonen, daß eine enge Interaktion zwischen kognitiven Prozessen und Parametern des Herzschlages besteht (vgl. van der Molen et al., 1985).

Eine Reihe von soziophysiologischen Untersuchungen wurden von Enke und seiner Arbeitsgruppe durchgeführt (Enke, 1983; Teufel, 1985). Während der gesamten Zeitdauer gruppentherapeutischer Sitzungen wurde die Herzrate jedes Teilnehmers gemessen. Die Bildung von Subsystemen und Koalitionen innerhalb der psychoanalytischen Selbsterfahrungsgruppen wurde als "Simultanreaktionen" und "Herzfrequenzkoalitionen" operationalisiert. In einer Studie von Minuchin et al. (1981) wurde der Verlauf eines physiologischen Stressindikators (freie Fettsäuren im Blut) während einer familientherapeutischen Sitzung erhoben. Ein Einfluß von in der Therapiesitzung aktualisierten familiären Konflikten auf psychosomatische Kinder konnte so nachgewiesen werden. Weiterhin gibt es Anhaltspunkte auch aus transtherapeutischen



Fallberichten, die für eine psychische Bedeutung sprechen, die einer Kopplung physiologischer Parameter mehrerer Individuen zukommen sollen (Bandler & Grinder, 1982; Grinder & Bandler, 1981).



Nonverbales Verhalten, und hier insbesondere mimisches Verhalten, ist unbestreitbar von großer Relevanz, wenn es um die Kommunikation und Beobachtung emotionaler Prozesse geht, die sozialer Dynamik zugrundeliegen. Die Grund- und Mischemotionen lassen sich recht zuverlässig bestimmten Aktivierungsmustern der Muskeln im Gesichts- und Kopfbereich zuordnen; zudem ist emotionale Mimik ethnographisch universal (Ekman & Friesen, 1971; Frijda, 1965; Musterle, 1987). Ekman & Friesen (1978) haben das Kodiersystem "Facial Action Coding System" entworfen, um emotionales Verhalten über den mimischen Ausdruck zu kodieren. Es



Abb. 6.14 (diese und folgende Seite):
computergrafische Simulation des mimischen Ausdrucks der Grundemotionen (aus: Musterle, 1987)

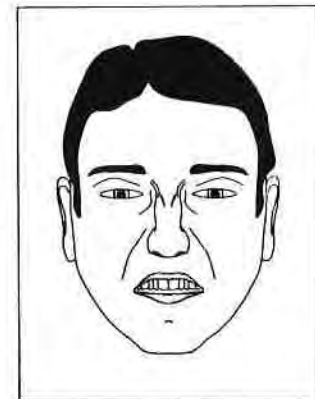
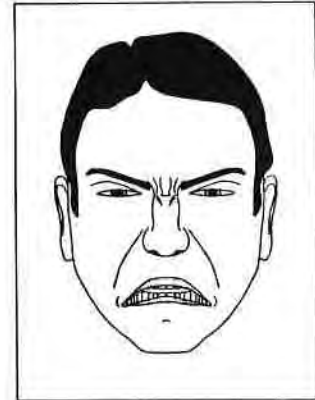
werden zumeist sechs Grundemotionen unterschieden: Trauer, Furcht, Überraschung, Wut, Ekel, Freude (Izard, 1971). Diese sind in Abb. 6.14 durch die Computergraphiken nach Musterle (1987) dargestellt.

Mimische Observable wurden von Steimer et al. (1988) an Dyaden im Gespräch aufgrund von Videoaufzeichnungen erhoben. Dabei unterschieden sich Schizophrene durch einen nonhedonischen, negativen Ausdrucksstil von anderen untersuchten Personen. Methodisch wurde die Untersuchung mit einem computerbasierten Lexikon EMFACS (Friesen & Ekman, 1984) ausgewertet. Eine Installation zur automatischen Aquisition mimischer Observabler wird derzeit auch an der Nervenklinik Tübingen entwickelt (Heimann et al., 1989).

Im Bereich der Forschung zur Koordination von Bewegungen hat Kelso den synergetischen Ansatz bei der Beschreibung der Phasenübergänge zwischen Bewegungsmustern angewandt (Schöner & Kelso, 1988; Kelso et al., 1988). Der dabei entwickelte Modellierungsansatz kann u.U. als Schablone dienen, wenn eine mathematische Modellierung von Mustern der oben genannten Observablen ansteht.

Im Mittelpunkt der ökopsychologischen, soziophysiologischen und ausdruckspsychologischen Untersuchungen sollen Einzelfallanalysen sein, durch die Familien und Kleingruppen so zu beschreiben sind, daß ihre charakteristische Dynamik innerhalb eines Phasenraumes darstellbar wird. Hypothetisch wird angenommen, daß kohärente, stabile Interaktionsmuster als Attraktoren, therapeutisch wirksame Interventionen als Wechsel in den Einzugsbereich eines anderen Attraktors oder als Umformung des aktuellen Attraktors beobachtet werden können (s. Kapitel 7). Von besonderem Interesse sind dabei Prozesse des Übergangs zwischen Attraktoren, also der qualitativen Änderung von Interaktionsmustern.

Die Beobachtungsstudien in sozialen Systemen können am Beispiel von



Familiensystemen in Therapiesitzungen durchgeführt werden. Das geplante Vorgehen werde ich im folgenden unter den Aspekten der Datenerhebung, der Datenauswertung und der Anwendung zur Untersuchung inhaltlicher Forschungsfragen beschreiben.

a) Studien zur Nähe-Distanzregulation

Räumliche Distanzen können als ein wichtiger Aspekt der Grenzregulation zwischen den Mitgliedern eines sozialen Systems erfaßt werden (vgl. Kapitel 2). Der Begriff der Grenze ist theoretisch von Bedeutung, da er als ein **individuenbezogenes Konstrukt** (vgl. der Begriff des "personal space") die Verbindung zum **sozialen Raum** herstellt, in welchem der einzelne agiert.

Zur Datenerhebung werden die räumlichen Distanzen zwischen den Mitgliedern eines sozialen Systems (Familie, Paar) im Verlauf von therapeutischen Beratungsgesprächen kontinuierlich erhoben. Dazu wird eine Videoaufzeichnung der Gespräche angefertigt, wobei die Kamera so positioniert sein soll, daß die Bewegungen der Personen von oben wie auf einer quasi zweidimensionalen Fläche erfaßt werden.

Dies macht es möglich, die interpersonellen Distanzen weitgehend verzerrungsfrei und objektiv vom Monitor weg abzutragen, also buchstäblich in Zentimetern von "Nasenspitze zu Nasenspitze".

Zur Unterstützung dieser Erhebungen muß das Setting entsprechend gestaltet sein. So sollten die Sitzmöbel für alle Beteiligten z.B. mit Rollen versehene Bürosessel sein. In die Distanzmaße gehen also sowohl grobmotorische Bewegungen der Personen als auch "körpersprachliche", nonverbale Kommunikationen etwa durch Vor- und Zurücklehnen ein. Während im oben (6.1) geschilderten Vorgehen bei der Untersuchung zur Gruppenentwicklung die Versuchsteilnehmer um die erhobene Observable wußten, kann in diesem Fall die Datenerhebung nicht-eingreifend und nicht-reaktiv erfolgen. Es eröffnen sich mehrere Möglichkeiten, die Regulation der interpersonellen Distanzen darzustellen, zwischen denen auch in Abstimmung zur inhaltlichen Fragestellung gewählt werden kann. Das sich jeweils ergebende Maß ist kontinuierlich

und stetig als Zeitreihe über den gesamten Zeitraum der Interaktion erhebbar.

Eine Grobunterscheidung zwischen den folgenden Maßen ist möglich:

- räumlicher Umfang des Klientensystems/Therapiesystems (d.h. ohne/mit Therapeut): im Zeitverhalten dieser Variable ist die Summe der einzelnen Distanzen enthalten. Beim Beispiel einer Triade aus Vater, Mutter und Kind wäre dies der Umfang des durch die drei Personen gebildeten Dreiecks, sonst der Umfang eines Polygons (vgl. die Auswertung in der Gruppenstudie 6.1).
- Einzeldistanzen, die aufgrund der inhaltlichen Fragestellung von Bedeutung erscheinen, wie etwa der Abstand zwischen einem Paar, oder die Abstände zum IP ("identifizierter Patient" in einer Familientherapie). Es ergeben sich simultan mehrere Maße.
- Vergleiche zwischen Einzeldistanzen (z.B. mittels Differenz-, Quotientenbildung, Korrelationen). In der genannten Triade kann so die Variable "Distanz Mutter-Kind minus Distanz Vater-Kind" als Zeitreihe verfolgt werden.

Angaben zur Reliabilität:

Vorläufig können die Variablen am Bildschirm der Videoanlage ausgemessen werden. Um perspektivische Verzerrungen zu vermeiden, sollte die Aufzeichnung mit Weitwinkelobjektiv senkrecht von oben erfolgen, um ein rasches und objektives Messen möglich zu machen. Die Auswertung per Hand bedingt, daß aus dem stetigen Signal eine Zeitreihe aus diskreten Werten wird. Um auch höherfrequente Oszillationen zu erfassen, sind kurze Meßpunktabstände im Bereich von einigen Sekunden vorgesehen. Eine hohe Reliabilität ist zu erwarten. Wegen des großen Aufwands wäre dennoch ein automatisiertes Verfahren anzustreben.

Validität:

Die Zusammenhänge zwischen räumlichen interpersonellen Distanzen und einer Reihe von Variablen (Stress, motivationale Größen, physische Umwelt, Kultur, wahrgenommene Ähnlichkeit usw.) sind durch Untersuchungen in Ökologischer

Psychologie und Sozialpsychologie gut belegt (s.o.). Studien der Evolution und Dynamik solcher Maße sind mir allerdings nicht bekannt. Die vorhandenen (Querschnitts-)Studien sowie familientherapeutische Fallberichte legen nahe, daß in die oben genannten Maße systemische Variablen der Familien- bzw. Gruppenkohäsion und des Koalitionsverhaltens eingehen.

b) Physiologische Variablen

Die zweite Datenebene, die zur Charakterisierung der sozialen Dynamik herangezogen werden soll, ist die Ebene physiologischer Parameter im Sinne einer "sozialen Physiologie". Es sollen vorerst zwei verschiedene Biosignale bei jeder Person des untersuchten sozialen Systems über den gesamten Untersuchungszeitraum (also etwa während der ganzen Beratungsstunde) registriert werden: die Herzfrequenz und die Atemfrequenz. Das jeweilige Signal soll vor allem auch für phasische Veränderungen empfindlich sein, so daß auch kurzzeitige, in der Interaktion der Mitglieder des sozialen Systems aufeinander bezogene Variationen in den Zeitreihen abgebildet sind.

Die individuellen Zeitreihen sind in zweierlei Hinsicht von Bedeutung:

- Für sich genommen enthalten sie das Ausmaß der physiologischen Aktivierung ("arousal") pro Zeitpunkt (mit einer gewissen Verzögerung sowie einer Mittelung, bedingt durch die rhythmische Natur des zugrundeliegenden Körpervorgangs).

- Aufeinander bezogen sind in Differenz- und Korrelationsmaßen die Verknüpfungen zwischen den Individuen erfaßbar. So kann etwa die Synchronisation von Herz- oder Atemrhythmen (Phasenkopplung) über alle Individuen hinweg in eine Zeitreihe eingebunden werden.

- Prozesse von pacing und leading können auf die physiologische Ebene abgebildet studiert werden. Dynamische Modelle von getriebenen Oszillatoren in der Physik werden wohl kaum die Vorgänge psychophysiologischer Phasenkopplungen zufriedenstellend beschreiben. Dennoch existieren zumindest Analogien: auch

physiologische Oszillatoren sind gekoppelt, selbst wenn hierüber nur begründete Vermutungen (Enke, 1983; Bandler & Grinder, 1982) bestehen. Es wäre interessant zu sehen, ob diese Kopplung in Abhängigkeit von Parametern der Kommunikation zwischen Personen unterschiedliche dynamische Muster erbringt, oder auch chaotische Regimes (natürlich nicht chaotisch in Bezug auf den einzelnen Oszillator: mir ist nicht bekannt, daß Kommunikation zu Herzkammerflimmern führen kann...).

Ich könnte mir also vorstellen, daß die in manchen Parameterbereichen komplexen Dynamiken etwa des Van der Pol-Oszillators zur Hypothesenbildung herangezogen werden können (Thompson & Stewart, 1986, S. 84ff.). Eine Reihe von synergetischen Untersuchungen zu komplexen, selbstorganisierten Bewegungsmustern (z.B. Trab und Galopp bei Pferden) und den Phasenübergängen zwischen ihnen könnte Anregungen zu einer Modellierung von Grenzregulationsvorgängen wie von physiologischen Koppelungen bieten (Schöner & Kelso, 1988; Haken, 1988a).

Wie bereits bei den Maßen, die unter a) Nähe-Distanz-Regulation beschrieben sind, ist der unter kontrollierten Bedingungen hohe Grad an Reliabilität, zusammen mit der großen Anzahl meßbarer Werte während einer therapeutischen Sitzung, ein Grund für die Wahl physiologischer Variablen.

Die Validität der physiologischen Maße für eine inhaltliche Kennzeichnung eines sozialen Systems ist zu relativieren: einerseits ist die Reagibilität kardiovaskulärer Maße auf emotionale Zustände verschiedener Qualität gut belegt, andererseits kann im Einzelfall eine Herzratenänderung kaum eindeutig interpretiert werden. Dazu möchte ich aber betonen, daß nicht bezüglich der validen Einzelaussage ein Erkenntnisinteresse besteht, sondern bezüglich der formaldynamischen Analyse von makroskopischen und mesoskopischen Parametern (s. 5.4.2, 5.4.3).

Die physiologischen Erhebungen können in verschiedenen sozialen Systemen durchgeführt werden. Zunächst wären systematische Erkundungsbeobachtungen angeraten, um Methode und nicht zuletzt das technische Instrumentarium zu erproben. Man könnte etwa vorsehen, in Therapiesitzungen mit zehn Familien/Paaren je zwei Zeitreihen darzustellen (in der Anfangsphase und Endphase eines sich über Monate erstreckenden Behandlungsprozesses).

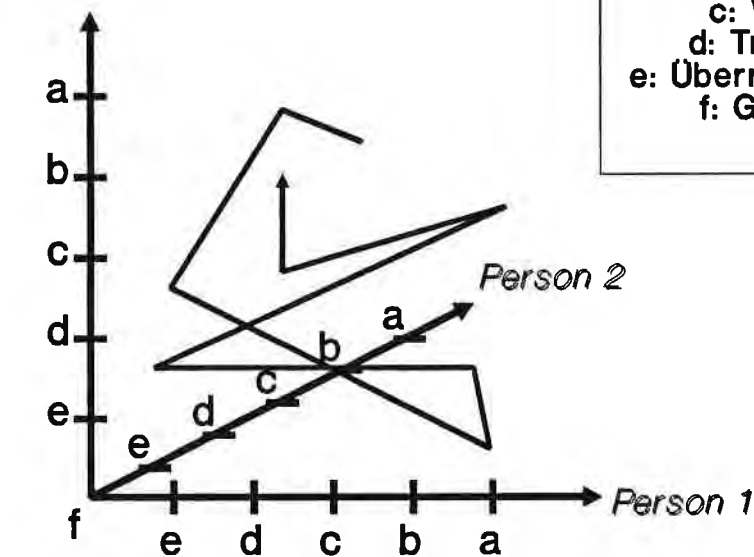
c) Mimische Variablen

Eine Erhebung des mimischen Ausdrucksverhaltens erfordert, daß von jeder Person eine Videoaufzeichnung erstellt wird, anhand derer ein Kodiersystem (z.B. FACS nach Ekman & Friesen, 1978) Anwendung finden kann. Nach der Kodierung stehen parallele Zeitreihen

von Kodierungen *Person 3*

zur Verfügung, die einen diskreten Raum aufspannen, den man als einen "sozialen Ausdrucksraum" bezeichnen könnte (s. Abb. 6.15).

Die Ausdrucksdynamik in einer Triade läßt



a: Ekel
b: Furcht
c: Wut
d: Trauer
e: Überraschung
f: Glück

Abb. 6.15: "sozialer Ausdrucksraum" einer Triade

sich damit als eine Abbildung $m_{t+1} = F(m_t)$ eines Wertetripels $m = (p_1, p_2, p_3)$ darstellen. Eine alternative Form der Modellierung solcher Ketten von Ratingkategorien kann über Übergangswahrscheinlichkeiten, d.h. als Markov-Prozess erfolgen (vgl. das Zeichensystem PAKS nach Schiepek & Kaimer, 1989). Ein Beispiel für eine "Sequenz-Struktur Analyse" findet sich in Valsiner (1986).

6.3 Experimentelles Setup

Das experimentelle Design der Methode rekursive Skulpturierung ist wenig aufwendig; es wurde bereits oben in 6.1 beschrieben.

Für die im weiteren vorgeschlagenen, insbesondere die soziophysiologischen

Beobachtungen ist eine Reihe wissenschaftlicher Geräte nötig. Die Datenaquisition und Datenverarbeitung umfaßt folgende Stufen:

a) Ableitung und Aufzeichnung der Biosignale

Für soziophysiologische Zwecke ist natürlich eine mehrkanalige simultane Ableitung erforderlich. Weiterhin muß das Datenmaterial elektronisch abgespeichert werden können: der PC-Laborrechner ist das Kernstück des Setups (vgl. Schandry, 1989, S.119f; Foerster, 1984). Die benötigten Sensoren dürfen die soziale Interaktion nicht behindern, oder müssen zumindest gewöhnungsfähig sein. Vorläufig halte ich es noch für angeraten, eine Ableitung per Kabel durchzuführen, insbesondere wenn die Situation etwa eine im Sitzen durchgeführte verbale Therapie ist. Hierfür sprechen weiterhin Gründe der Rauscharmut, Artefaktanfälligkeit und Kostengründe. Allerdings haben meine Recherchen ergeben, daß die Ableitung ohne Draht (Telemetrie) zunehmend auch in Betracht gezogen werden kann, da telemetrische Anordnungen inzwischen auch in einem Kostenbereich unter 100.000 DM zur Verfügung stehen (für eine Anwendung vgl. Larbig, 1982; Fa. Glonner, München).

Eine für die Untersuchung kleinerer sozialer Systeme (fünf Personen) zusammengestellte Konstellation dient der Erfassung der Herzaktivität und Atemraten ("Biofeedback 4500": Fa. Hogrefe Apparatzentrum, Göttingen; SOM Biofeedback, Murrhardt). Sie umfaßt folgende Module:

- eine Grundeinheit (Tischgehäuse mit 6 Steckplätzen, Stromversorgung, Datenbus);
- fünf Puls-Module (Messmodule zur Ableitung der Herzrate über fotoelektrische Aufnehmer);
- fünf Atemgürtel mit Transducer (zur Ableitung der Atemaktivität);
- ein PC-Modul (Brücke zwischen Grundeinheit und Computer).

b) Meßdatenerfassung

Zur Aufzeichnung der erfaßten analogen Meßwerte mit Hilfe des Computers wird

ein Analog/Digital-Wandler benötigt. Ein solcher Wandler liegt als eine Steckkarte vor, die einen freien Steckplatz im PC benötigt (s. Kataloge 1988/89: Fa. Data Translation, 1988; Fa. Keithley Instruments, 1988). Zu beachten ist die Abtastrate, mit der das Analogsignal digitalisiert wird: diese muß in Abhängigkeit von der höchsten Frequenz im Signal, die noch aufgelöst werden soll, gewählt werden. Ein Erfahrungswert besagt, daß eine günstige Abtastrate etwa um eine Größenordnung über der höchsten Frequenz liegt.

Es wird zumindest ein AT-kompatibler Computer (etwa mit 80386 Prozessor, 1 MB Hauptspeicher, 1 Floppylaufwerk 1,2 MB, VGA-Grafikkarte und Monitor) benötigt. Ein zusätzlicher arithmetischer Coprozessor wird durch die umfangreichen Rechenoperationen beim Betrieb von ASYST (s.u.) notwendig. Weiterhin muß zur Datenspeicherung ein Massenspeicher (z.B. mindestens eine Festplatte mit 40 MB) installiert sein. Der Computer dient als Basisinstrument zur Datenerfassung und Auswertung, ferner als Werkzeug zur Simulation (vgl. 6.1.3).

c) Auswertung der digitalisierten Zeitreihen

Hierzu existieren verschiedene programmierbare, interaktive Softwarepakete mit umfangreichen Analyse-, Statistik- und Grafikfunktionen. Die verwendete A/D-Wandlerkarte muß selbstverständlich durch die Software unterstützt werden. Ein geeignetes Paket ist ASYST (Macmillan Software Co.), das in naturwissenschaftlichen Projekten häufig verwendet wird (pers. Mitteilung Peinke, 1989). Allerdings muß erwähnt werden, daß nur "einfache" Charakteristiken der Zeitreihen (wie die Fourier-Transformation FFT oder grafische Attraktor- und Phasenraumdarstellungen) mit Hilfe des auf einem AT-Computer lauffähigen Systems ASYST durchgeführt werden können. Für die noch aufwendigeren Dimensionalitäts- und Lyapunov-Berechnungen sind höhere Anforderungen an Programmierwissen und Rechnerkapazität gestellt, so daß diese Untersuchungen bislang nicht mit handelsüblicher Software und PC-Hardware möglich sind. Die hierzu nötige Unterstützung kann durch universitäre Forschungskontakte ersucht werden.

6.4 Fragen der Interpretation formaler (räumlicher und physiologischer) Variablen

Um die in Kapitel 5 genannten Kennwerte für die untersuchten Systeme zu erhalten, müssen die Meßwerte gewissen Standards hinsichtlich Zahl der Einzelmeßpunkte (etwa in der Größenordnung von mehreren Tausend), Rauscharmut usw. genügen. Dies hat, wie bereits oben angemerkt, die Wahl der zu erhebenden sozialen Variablen mitbestimmt. Die Wahl dieser Variablen ist also nicht völlig freiwillig, sondern eben typisch für die Operationalisierungsnöte, die die Psychologie notwendig kennzeichnen.

Was "bedeutet" nun also ein in der oben skizzierten Weise erhobenes Muster der formalen Variablen, wenn auf die psychische und soziale Ebene zurückübersetzt wird? Fragen dieser Art sind zum jetzigen Zeitpunkt leider nur ansatzweise zu beantworten. So ist es ein Fernziel des hier vertretenen Forschungsprogramms der "sozialwissenschaftlichen Synergetik" (Tschacher & Brunner, 1989), eine auch semantische Phasenraumtopologie zu erarbeiten, die für konkrete Entscheidungen der psychosozialen Praxis hilfreich sein kann.

In dem vom mir skizzierten Forschungsansatz gehe ich implizit davon aus, daß eine interpretative Bedeutungszuweisung an Zeitreihen sozialer Maße relativ spät erfolgen soll. Erst auf der Grundlage von Erfahrungswissen über formale Kennzeichen sozialer Dynamik können dann interpretative Schlüsse gezogen werden. Ich verwahre mich strikt gegen die Hybris philosophischer Ansätze, die im Zeichen einer ästhetisierenden "Theoriebautechnik" auf solchen Wissenserwerb verzichten; und diesen Verzicht flugs in eine a priori-Epistemologie einbinden, die schnell beweist, daß unmöglich ist, was sowieso nicht versucht wurde. Meiner Ansicht nach sind Theoriegebäude dieser Art (ich denke an Luhmann, 1984 und Maturana & Varela, 1980; s. Kapitel 8) notwendig tautologisch.

Kapitel 7

FOLGERUNGEN FÜR DIE SYSTEMISCHE THERAPIE

7.1 Horizontale und vertikale Rekursion

Bisher bin ich nur indirekt auf Fragen der psychotherapeutischen Relevanz des hier vertretenen Ansatzes eingegangen. Dennoch war es meine Auseinandersetzung mit neuen Wegen in der Psychotherapie, die den Ausgangspunkt und die ursprüngliche Motivation für diese Arbeit lieferten (Tschacher & Herrmann, 1984). Als angehender Familientherapeut schien mir die Dissonanz zwischen der rapide expandierenden Praxis sich als systemisch bezeichnender Therapeuten und der relativen Stagnation der Forschung in diesem Feld auffällig. Wo dagegen geforscht und wissenschaftlich hinterfragt wurde - in der Verhaltenstherapie - erwies sich das Objekt dieser Bemühungen häufig als banal und eingeschränkt. War dieses Dilemma zwangsläufig: über ein therapeutisches Nichts alles zu wissen, doch darüber, was die "systemische" Therapie ausmachte, nichts?

Der Zustand der Disziplin Psychologie ist häufig als uneinheitlich, als permanent in einer Art vorparadigmatischen Dauerkrise befindlich beschrieben worden. Über das ganze Feld verstreut liegen Bruchstücke von Entwürfen, Theorien, Ansätzen - manche davon hatten für mich ein gewisses Flair: die Familientherapie, die Ökologische Psychologie, Lewins steckengebliebene Entwürfe, der Gestaltbegriff, Pribrams Anleihen in der Physik und einige mehr. Hinzu kamen Anregungen von jenseits der klassischen Grenzen der Psychologie: Versuche der Annäherung an künstliche Intelligenz, konnektionistische Ansätze in der Cognitive Science und nonlineare Physik. Schließlich war da noch ein Wunsch, dies alles irgendwie zu integrieren, zusammenzubinden - eine Vorliebe, die bei Familientherapeuten nicht ganz zufällig häufiger anzutreffen ist.

Ich habe in der vorliegenden Arbeit zu zeigen versucht, daß soziale Systeme vom Standpunkt einer Metatheorie der Selbstorganisation her konzipiert werden sollen, und habe herausgearbeitet, wie das geschehen kann: nämlich empirisch und quantitativ. Bei allen Gemeinsamkeiten mit hermeneutischen Positionen wie der Betonung eines idiographischen statt gruppenstatistischen Vorgehens und der nichtreduktionistischen Betrachtungsweise wurde deutlich, daß die Entwicklung eines Forschungsprogramms der Selbstorganisation nur mit wissenschaftlichen Methoden vorangetrieben werden kann. Zeitgemäßes esoterisches "Episto-Babble" (Guttman, 1985) würde den Gebrauch der neuen Konzepte frühzeitig desavouieren.

Welche Auswirkungen kann nun der Selbstorganisationsansatz für systemische Therapie haben, welche neuen Perspektiven entstehen?

Um meine Beschäftigung mit dieser Frage vorzubereiten, möchte ich eine Unterscheidung treffen, die ich für wesentlich halte; es ist die Differenzierung in zwei Formen der Rückbezüglichkeit bzw. **Rekursivität**:

* **horizontale Rekursivität**: Hierunter möchte ich die Kausalverknüpfungen eines Systems auf einer bestimmten logischen Ebene fassen. Wenn oben Systeme mit rekursiven Verknüpfungen angesprochen waren, war es immer zwischen Komponenten ein und desselben Typs innerhalb einer Ebene, die häufig als Mikroebene bezeichnet wurde. Die kausalen Wechselwirkungen dort können grob in positive Rückkopplungen (selbstexzitativ, autokatalytisch) und negative Rückkopplungen (selbsthemmend) eingeteilt werden. In speziellen Fällen treten beide Formen der Wechselwirkung ineinander verschränkt auf: Beispiele wie die autokatalytische selbstorganisierte Belousov-Zhabotinsky-Reaktion (Kapitel 1) oder das Auswalzen und Falten im chaotischen Attraktor (Kapitel 3) wurden beschrieben.

* **vertikale Rekursivität**: Diese kann nur in hierarchischen Systemen im Sinne von J.S. Nicolis (1986a,b) auftreten, also in Systemen, die zu einer kognitiven Repräsentation ihrer Umwelt und von Teilen ihrer selbst fähig sind. Die Wechselwirkungen und Interaktionen finden im Falle vertikaler Rekursivität zwischen den hierarchischen Ebenen statt, also zwischen Ebene und Metaebene und Metametaebene etc. Auch hier sind Prozesse möglich, die durch dynamische Begriffe beschrieben werden können,

wenngleich nur metaphorisch (s.u.). Die vertikale Rekursion öffnet sich empirischer Untersuchung ungleich schwerer als die horizontale, da man letztlich auf introspektive Daten angewiesen ist.

Ich halte es für entscheidend wichtig zu konstatieren, daß die beiden Arten von Rekursivität nicht in eins gesetzt werden dürfen. Insbesondere ist das Phänomen der

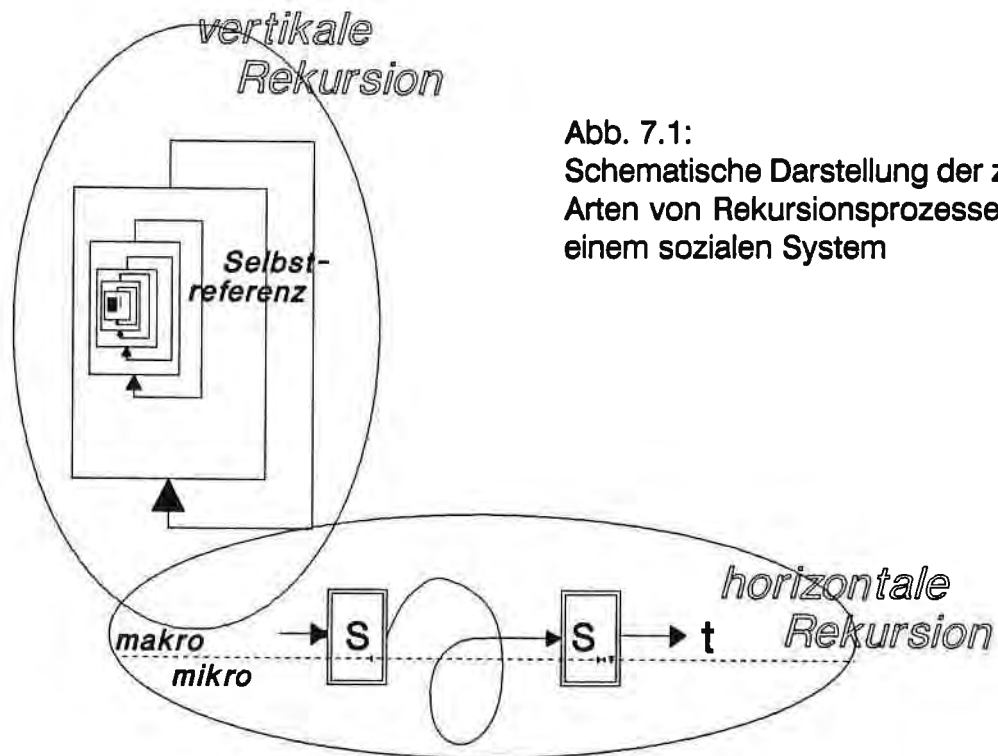


Abb. 7.1:
Schematische Darstellung der zwei
Arten von Rekursionsprozessen in
einem sozialen System

Selbstorganisation, wie es in der Synergetik und anderen naturwissenschaftlichen Ansätzen beschrieben ist, als ein Ergebnis horizontaler Rekursionen innerhalb einer Mikroebene aufzufassen. Diese kann dann als Emergenz eine neue Ebene des Systems erzeugen, etwa so wie Kognition als emergente Ebene eines Nervensystems entsteht (Bunge & Ardila, 1987). Vertikale Rekursion ist dagegen darauf angewiesen, daß mindestens zwei Ebenen eines Systems bereits existieren (Nicolis, 1986a). Damit ist vertikale Rekursivität stets der horizontalen nachgeordnet. Diese zentrale Unterscheidung zwischen den beiden unterschiedlichen Prozessen in sozialen Systemen ist in Abb. 7.1 verdeutlicht.

Offensichtlich ist nun Psychotherapie eine Tätigkeit, die wie keine andere beide

Formen der Rekursivität anspricht.

- * Therapie findet ja in einem komplexen sozialen System statt, das selbstorganisiert ist (eine Familie kommt zum Therapeuten) oder unter der Therapie wird (im Falle von Einzel- oder Gruppentherapie): hier ist die horizontale Rekursivität zwischen Emotions-Kognitionseinheiten angesprochen.
- * **Gleichzeitig** findet Therapie zwischen kognizierenden Persönlichkeiten statt, die die therapeutische Situation, die sie mitverursachen, reflektieren; wobei zugleich diese Reflektion die therapeutische Situation mitverursacht: es entstehen also zwangsläufig auch vertikale Rekursionen.

Beide Dynamiken sind in der Psychotherapietradition häufig angesprochen worden. Ich halte es für einen großen Verdienst zuerst der Psychoanalyse und dann in raffinierterer Form der Familientherapie, die aus der vertikalen Rekursivität von therapeutischen Situationen erwachsenden Effekte und Artefakte explizit (wenn auch kaum empirisch) konzipiert zu haben sowie in die therapeutische Praxis integriert zu haben. "Vertikal" sind die Konzepte der Übertragung und Gegenübertragung, deren Auslösung und schließliche Auflösung den Kern der psychoanalytischen Therapie bilden (Racker, 1988; Little, 1951). Im Bereich systemischer Therapieauffassungen wird der vertikale Bereich durch umfangreiche Supervisionsmaßnahmen (s.u.) zu kontrollieren gesucht.

Dennoch scheint mir die zur Zeit in der systemischen Psychoszene sich abspielende Diskussion den Zusammenbruch schon erreichter Klarheit anzuzeigen: diese Diskussion beruht m.E. auf der Vermischung von horizontaler und vertikaler Rekursivität. Die stets aufzufindende rhetorische Figur ist folgende: es wird gezeigt, daß mit der Einbeziehung des Beobachters in das zu Beobachtende (Selbstreferenz, vertikale Rekursion) logisch unlösbare Probleme auftreten können, wie Paradoxa und infinite Regresse (s.u.). Darauf, gewissermaßen überwältigt von den Paradoxien der Selbstreferenz, wird die Verwirrung zum Charakteristikum und zum Prinzip erhoben - wenn die geforderte selbstreferentielle Kybernetik (der Beobachter beobachtet seine Beobachtung; v. Foerster, 1985) auf keinen festen Boden mehr gelangt, so darf es

prinzipiell keinen festen Boden mehr geben. Die Schlußfolgerungen der erkenntnistheoretischen Epigonen aus der Psychoszene münden schließlich in verschiedene Formen des Solipsismus; die Problemstellungen der Philosophiegeschichte werden neu aufgeworfen und letztgültig beantwortet, wobei die Letztgültigkeit von Monade zu Monade variiert. Wortreich wird reklamiert, man könne nichts wissen, da es keinen input an Information in Bewußtseinssysteme geben könne, also gelte für Therapie: "nothing goes!" (Willke, 1988); Systeme könnten nicht verändert werden, da sie sich (prinzipiell) nur selbst verändern könnten; andernfalls werde die Autopoiese unterbrochen und das System sterbe (Willke, 1987); Man müsse einfach akzeptieren, was Tatsache ist, wobei das Realitätsprinzip laute: "What is is; what ain't ain't." - dies zu leugnen oder darüber ärgerlich zu werden, sei ein "epistemologischer Fehler" (Dell, 1982); Man müsse schließlich auf erkennende Gewißheit und diagnostische Daten völlig verzichten, und statt Therapie eine Art epistemologische Konversation betreiben (Ludewig, 1987). Solche Thesen folgern m.E. nicht notwendig aus den Eigenheiten von Systemen, die horizontale Rekursivität und Selbstorganisation aufweisen, sondern sind Schlußfolgerungen aus Problemen der Selbstreferenz, die bei vertikaler Rekursion auftreten. Ich möchte hier aber nicht weiter auf die tautologische Rhetorik des sog. radikalen Konstruktivismus (s. Kapitel 8) eingehen und mich stattdessen den Fragen zuwenden, die therapeutische Interventionen in selbstorganisierte Systeme betreffen.

Therapie findet zu einem beträchtlichen Teil auf der Ebene der Selbstorganisation, also der horizontalen Rekursionen statt. Ich möchte damit zum Ausdruck bringen, daß Therapie als Thema selbstverständlich ein empirisches Thema ist. Keine formalphilosophischen Überlegungen können inhaltlich irgendetwas hierzu beitragen; es ist undenkbar, daß aus rein epistemologischen Erwägungen heraus etwa entschieden werden könnte, daß therapeutische Veränderung möglich oder unmöglich sei, daß es Probleme oder Pathologie gibt oder nicht gibt, daß man Prognosen und Diagnosen aufstellen kann oder nicht. Die Funktionsweise eines sozialen Systems ändert sich nicht dadurch plötzlich, daß der Therapeut sich einer "Kybernetik zweiter Ordnung" zuwendet.

Wenn meine Prämisse, daß soziale Systeme selbstorganisiert sind, stimmt (und dies ist wiederum nicht theoretisch oder ideologisch entscheidbar), müssen die

Ordnungsparameter des entsprechenden kohärenten Verhaltens bestimmbar sein und diagnostiziert werden können. Ich habe oben ein Forschungsprojekt vorgeschlagen, das diese Zusammenhänge in einem Teilbereich des Grenzregulationsverhaltens und auf physiologischer und nonverbaler Ebene zu finden sucht.

Therapie bedeutet dann, die identifizierte selbstorganisierte Dynamik des sozialen Systems zu beeinflussen und zu ändern. Diese Dynamik ist topologisch als Attraktor vorhanden, d.h. als ein Gleichgewichtszustand, der sich nach einer Beeinflussung durch den Therapeuten oder andere Faktoren gewöhnlich wieder einstellt. Das ist banal, denn wir wissen ja, daß gutes Zureden oder die einfache Anwesenheit des Therapeuten Familiensysteme selten tiefgreifend, d.h. in ihrer Selbstorganisation verändert. Man hat dies als eine Art von systemischem Widerstand etikettiert (Haley, 1985); jedenfalls handelt es sich dabei um ein nonlineares homöostatisches Phänomen. Formal gesehen, sind zwei Veränderungsszenarien möglich:

- * das System wird durch eine Intervention so weit "verstört" (Ludewig, 1983), daß es sich außerhalb des Bassins des vorhandenen Attraktors wiederfindet. Im Falle der Multistabilität sucht es einen anderen schon im Phasenraum vorhandenen Attraktor auf.
- * Kontrollparameter des Systems werden in Therapie so weit verstellt, daß das System in neu evolvierte Attraktoren hineinbifurkiert.

In beiden Fällen ist es von entscheidender Bedeutung, den neuen Attraktor im Laufe der Zeit durch "Übung" oder "Verstärkung" so weit zu "vertiefen" oder den alten "zuzuschütten", daß eine Rückkehr zum alten dynamischen Regime unwahrscheinlich wird.

Diese formale Sichtweise kann natürlich ebensowenig inhaltliche Aussagen über die beste Art der Intervention treffen wie dies epistemologische Prinzipien können. Aber sie bedingt und fordert konkrete Studien zu dieser Frage. Es ist also notwendig, in einem dynamischen Forschungsprogramm Inventare von Interventionen auf ihre Wirkung hin zu untersuchen, ebenso wie schon zuvor empirisches Wissen über die Phasenraumdynamik von einzelnen sozialen Systemen zu sammeln.

Im Unterschied zu esoterischen Kritikern der Psychotherapie gehe ich nicht davon aus, daß die einzig wahre Therapiemethode erst noch zu finden sei. Häufig führt dies sogar nur dazu, daß irgendeiner von Hunderten von Therapieansätzen in neuer terminologischer Verbrämung wiederinszeniert wird (ein Beispiel ist m.E. Ludewig (1987), der nach harter epistemologischer Auseinandersetzung mit Familientherapie eine Verbaltherapie vorschlägt, die verblüffend der RET nach Ellis (1977) ähnelt). Stattdessen möchte ich vorschlagen, mit größtmöglichem Eklektizismus Therapieforschung auf dem synergetischen und formaldynamischen Hintergrund, den ich entwickelt habe, zu betreiben.

Die Methodologie, auf der solche Forschung basiert, bewegt sich somit auf der Ebene der horizontalen Rekursivität. In den Interventionen, die es zu untersuchen gilt, werden aber durchaus vertikale Rekursionen angesprochen und angeregt werden. Es ist bekannt, daß das Herbeiführen von Paradoxien und double binds eine beträchtliche therapeutische Potenz haben kann (Rosen, 1985; Selvini Palazzoli et al., 1985; Gurman et al., 1986). Gerade therapeutische Situationen sind ja, wie oben bereits gesagt, stark mit vertikalen Vorgängen durchsetzt - nur müssen die dabei erzeugten logischen "binds" strikt von der psychologischen Theorie getrennt bleiben, die ihre Wirkung untersucht. Ein Psychologe, der paradoxe Therapie untersucht oder einsetzt, ist m.E. für die Wissenschaft verloren, wenn seine Theoriebasis auch paradox ist.

Die Stufen, die eine auf der Selbstorganisations-Metatheorie basierende Therapieforschung zu bewältigen hat, lassen sich etwa folgendermaßen benennen:

- Suche eine der Aufgabe angemessene Methodologie (die Theorie dynamischer Systeme, Hakens mathematische Modellansätze) und Metatheorie (Synergetik).
- Suche nach quantifizierbaren "Fenstern" in die selbstorganisierte Dynamik der interessierenden Systeme, suche eine oder mehrere Observable (s. die Ansätze in Kapitel 5).
- Experimentiere mit verschiedenen Designs der Datenaquisition (vgl. Kapitel 6), entscheide dich für ein festes Paradigma der Datenerhebung.
- Erstelle eine Bibliothek von Dynamiken einzelner Systeme mit diesem Paradigma. Suche nach Modellen/Simulationen, deren Dynamiken mit den

empirischen Daten vergleichbar sind.

- Beschreibe die dynamischen Auswirkungen therapeutischer Interventionen. Suche entsprechendes Verhalten in den Modellen.
- Interpretiere die Daten im Sinne einer überprüfbaren Therapietheorie.

Vergleicht man dieses Programm mit anderen Ansätzen der Therapieforschung und -evaluation in der Klinischen Psychologie (Garfield & Bergin, 1986; Smith et al., 1980), so wird deutlich, daß hier darauf verzichtet wird, mit Mitteln einer statistischen Varianzaufklärung, also etwa in durch Kontrollgruppen abgesicherten experimentellen Gruppenvergleichsdesigns zu arbeiten. Der Grund hierfür liegt in der grundsätzlichen Beschränktheit dieses linearen Standardansatzes der Psychologie (Dörner, 1989b; s. Kapitel 2).

7.2 Ist der Therapeut Teil des Systems?

Selbstverständlich ja, aber doch nie ganz... Es ist diese zentrale Frage, die sich durch die gesamte systemtherapeutische Literatur zieht. Angesprochen ist damit das Problem der "Selbstreferenz", der vertikalen Rekursionen; betroffen sind hiervon auch wesentliche therapeutische Fertigkeiten bezüglich vertikaler Rekursion, die den Kern einer therapeutischen Ausbildung ausmachen (sollten):

- auf welche Weise kann ich mich als Therapeut dem System nähern und anschließen?
- wie kann ich im System Abstand wahren oder wiedererlangen?
- wie kann ich mich wieder aus dem System zurückziehen?
- was bleibt im System zurück: sind die verbleibenden "offenen Gestalten" veränderungsrelevant und hilfreich oder irrelevant oder schädlich?

Verschiedene Verfahren sind in der Familientherapie ausgearbeitet worden, damit der Therapeut nicht im System untergeht, sondern seine Validität erhalten kann. Dazu

gehört Therapie mit einem Kotherapeuten ("Ich kann mir nicht vorstellen, daß ein Therapeut allein soviel Macht besitzt, daß er hingehen, die Familie verändern und sich wieder lösen kann...Ich möchte nicht für den Rest des Lebens mit einem Bein im Sumpf steckenbleiben.": C. Whitacker, zitiert nach Minuchin, 1985). Die Mailänder Schule hat komplizierte Arrangements entwickelt, in denen die Therapeuten zusätzlich durch Supervisoren draußen hinter der Einwegscheibe beobachtet werden (Selvini Palazzoli et al., 1985; Boscolo et al., 1988). Die strategische Familientherapie nach Haley verwendet in der Ausbildung eine Telefonverbindung, über die ein Supervisor von draußen in das Therapiesystem hinein "on line" intervenieren kann. Zusätzlich sollte ein Therapeut durch Selbsterfahrung um seine Möglichkeiten, Zugang zum System zu schaffen, wissen (Minuchin, 1985), so daß dieses Wissen sozusagen einen festen Bezugspunkt nach draußen bietet. Weiterhin kann eine Therapieausbildung ein festes Repertoire an Möglichkeiten trainieren, sich als Therapeut während der Therapie aus dem System auszugrenzen, Zäsuren zu schaffen, zurückzuspiegeln etc.

Mit anderen Worten: es gibt konkrete trainierbare Maßnahmen, der Gefahr eines Verlorengehens im System entgegenzuwirken (Guntern, 1985). Vertikale Rekursionen und Selbstreferenz können gestoppt werden, indem von vornherein feste Bezugspunkte ("Anker") geschaffen werden. Die Kunst des Therapierens besteht sicher zum Teil darin, zumindest mit dem kleinen Finger außerhalb des (konstruierten) Sumpfes zu bleiben, und den Kontakt zur Realität mit Hilfe kleiner Dogmen zu erhalten.

7.3 Zur Therapierbarkeit selbstorganisierter Systeme

Mit der Kritik an einer verhaltenstherapeutischen can do!-Einstellung zu Therapie stimme ich insofern überein, daß eine systemische Sichtweise notwendig Grenzen der Therapierbarkeit voraussagt. Diese Grenzen liegen im Selbstorganisationskonzept selbst deutlich zutage. Eine selbstorganisierte Entität läßt sich nicht beliebig organisieren. Veränderungen können an den Kontrollparametern ansetzen: das System wird sich seinen eigenen Weg durch Bifurkationsbäume suchen. Verändert man die Position im

Phasenraum, warten dort bereits vorgeformte Attraktoren des Systems. Ich meine, daß Vertretern einer entwicklungszentrierten oder humanistischen Therapieauffassung darin zugestimmt werden kann, daß es in Therapie entscheidend darauf ankommt, Systemen bei der Weiterentwicklung ihrer eigenen Dynamik zu helfen. Statt um das zielgenau geplante Verändern geht es um das Evolvieren-lassen (Schiepek, 1989a).

Therapie ist damit nur eine Methode des Möglichen. Man muß einräumen: dem Lernen sind durch die Dynamik Grenzen gesetzt. Lernen neuer Muster kann nicht gegen die Muster, die die Dynamik bereitstellt, erfolgen, sondern nur mit der Dynamik erfolgreich sein. In der Geschichte des Systems erfolgte Symmetriebrechenen bilden die Ausgangsbasis für therapeutischen Wandel, und können nicht selbst wieder rückgängig gemacht werden. Was m.E. im Bereich des Möglichen liegt, ist, bereits vorhandene Attraktoren aufzusuchen und zu vertiefen.

Das Angebot, neue Muster aufzusuchen, liegt bereits in der therapeutischen Situation selbst: der gegenwärtige Zustand hat zu Problemen oder Unzufriedenheit geführt; die Problemlösefähigkeiten, die der regierende Attraktor zuläßt, sind gescheitert, vielleicht ist bereits "die Lösung zum Problem geworden" (Watzlawick et al., 1969); es besteht Hilflosigkeit, wenn Kontrollversuche stets in neue Orbits des Problems und davongaloppierende Selbstreferenzzirkel einmünden; das Problem hat sich dadurch verschärft, der Attraktor ist als *circulus vitiosus* vertieft. Ohne jetzt einen prototypischen Therapieverlauf skizzieren zu wollen, steht fest, daß es irgendwann nach diesem Stand der Dinge notwendig ist, den Übergang in ein neues dynamisches Regime, einen neuen Attraktor anzuregen. Dieser Attraktor muß in der "dynamischen Welt" des Systems liegen, wenn auch hinter dem Horizont des jetzigen. Der neue Attraktor mag

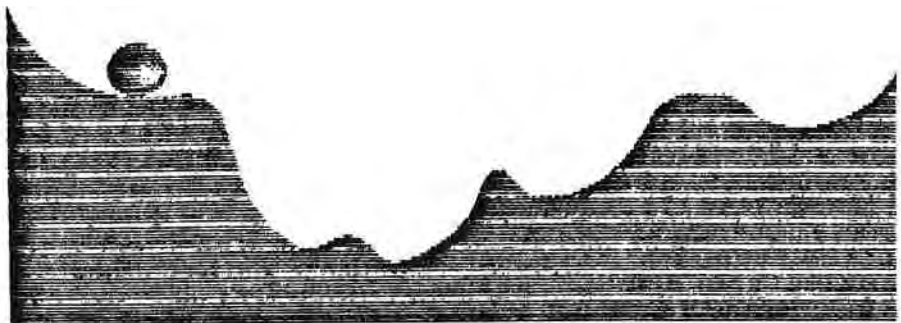


Abb. 7.2:
Potentiallandschaft

virtuell sein, denn er kann dem Therapeuten nicht bekannt sein, wenn er vom System bisher nicht aufgesucht wurde. Der Übergang (Phasenübergang, "Katastrophe") in den neuen Attraktor ist der "energieaufwendigste" Schritt innerhalb der Therapie, da, metaphorisch gesprochen, die Kugel zuerst über ein relatives Potentialmaximum gehoben werden muß (s. Abb. 7.2).

Die zugehörige Therapiephase ist "heiß": konfrontativ, emotional, intensiv. Dynamisch gesehen mag das System chaotisch sein, also sensibel abhängig von kleinsten Wirkgrößen. Ist der neue Attraktor erreicht, schließt sich eine Konsolidierungsphase mit Maßnahmen der Absicherung und "Rückfallverhütung" an, bis das neue Gleichgewicht eingegraben (gelernt) ist, bzw. die Wege zurück zum alten Attraktor verbaut sind. Die Konsolidierung erreichter Veränderungen ist ein therapeutischer Prozess, dem ebenso große Bedeutung zukommt wie dem Bewirken der Veränderung selbst (deshalb ist auch Haken (1987, pers. Mitteilung) darin zuzustimmen, daß die Untersuchung von "Rückschlägen" nach Behandlung ein wichtiges Thema einer dynamischen Therapieforschung ist).

Wenn in Zukunft empirische Forschung zur Dynamik sozialer Systeme innerhalb und außerhalb therapeutischer settings die notwendige Datenbasis bereitgestellt haben wird, halte ich es für möglich, entlang der hier entwickelten Linien zu einer übergreifenden Sprache zu finden. Mit dieser Sprache kann bislang isoliert vorliegendes Wissen im Bereich der Klinischen Psychologie miteinander und mit anderen Disziplinen verknüpft werden. Ich nehme an, daß es dann auch möglich sein wird, eine Neueinschätzung alter Begriffe unter dynamischen oder synergetischen Vorzeichen vorzunehmen.

Als ein Kandidat für eine solche Neueinschätzung hat sich mir in klinischen Zusammenhängen das alte psychoanalytische Konzept des "Wiederholungszwangs" aufgedrängt. Darunter wird eine ("neurotische") Tendenz verstanden, dieselben Verhaltensabläufe und emotionalen Muster wieder und wieder in Szene zu setzen. Für Freud war dies eine Manifestation des Thanatos (vgl. hierzu Bischof, 1985), d.h. im Wiederholungszwang manifestierte sich eine regressive und konservative Motivation, frühere Zustände wieder aufzusuchen (Freud, 1920). Die zentrale Stellung des Konzepts

zeigt sich darin, daß das Übertragungsphänomen als aus derselben Quelle gespeist angesehen werden kann: als eine Art Abbildung rekurrerender formaler Prozesse auf jeweils gerade aktuelle Situationen.

Damit ist auch bereits die Fassung in dynamische Begriffe angesprochen; die Wiederholung mag einfach daher rühren, daß nach beliebigen Fluktuationen, die einer neuartigen Situation und Umweltkonstellation entspringen, das soziale System wieder denselben Attraktor ansteuert. Mit anderen Worten: das System funktioniert auf der horizontalen Ebene seiner Selbstorganisation. Interessanterweise finden sich solche Wiederholungen auch vertikal, wenn eine Interaktionsfigur, ein "Spiel" in Sinne der Transaktionsanalyse, zum Thema der gemeinsamen Reflexion innerhalb der Therapie wird, dann aber die Interaktion auf der Metaebene sofort wieder in den Bahnen der als Problem identifizierten Interaktionsfigur verläuft. Die Lösung des Problems erzeugt ein isomorphes Metaproblem. In solchen Abläufen, die sich mehrmals hintereinander abspielen können, zeigt sich die Abgründigkeit der Selbstreferenz: ich habe therapeutische Einzelarbeiten in Gruppen durchgeführt, in denen es sich ergab, daß bis zu fünfmal jeweils neu eine solche Interaktionsfigur reflektiert wurde, die dann auf der Reflektions(meta)ebene wieder entstand. Versuche, diese immer transparenter werdende Isomorphie dem Betroffenen zurückzuspiegeln, führten zur jeweils nächsten Metainszenierung des gleichen Spiels. Der Betroffene konnte sich den Prozess, der sich da auf der vertikalen Ebene ergab, nicht bewußt machen, ohne ihn zugleich weiterzutreiben - die beobachtende Gruppe war sich der Rekursion bewußt, konnte sie aber durch verbales "Erklären" nicht abbrechen. Zur weiteren Illustration können Fallbeispiele aus der schulpsychologischen Praxis dienen (Jost, 1989, pers. Mitteilung), die zeigen, wie sich schülertypisches Verhalten in den Kontext von Supervisionsveranstaltungen für Lehrer hinein perpetuiert. In anekdotischer Form ausgedrückt: selbstähnliche Interaktionsstrukturen sind etwa dann vorhanden, wenn eine Supervisionsgruppe von Lehrern sich zu einer "Klasse" formiert, den Supervisor also als eine Art Metalehrer attribuiert und sich anschickt, "durch Schwatzen den Unterricht zu stören". Um die Ironie zu vervollständigen, mag man sich vorstellen, das Thema der Supervisionsveranstaltung laute: "Stören im Unterricht".

Die Variante des "vertikalen Wiederholungszwangs" erinnert an die selbstähnlichen fraktalen Strukturen, die die Dynamik iterativer Abbildungen (s. Kapitel 3) kennzeichnen. In der Mathematik bezeichnet man das auch als Skaleninvarianz, denn die Muster sind ähnlich, egal mit welchem Maßstab man die graphischen Darstellungen der Dynamik betrachtet (Abb. 7.3 umseitig; s.a. Abb. 3.24).

Angeregt durch Mandelbrots Arbeiten (1987) findet man immer mehr natürliche Gebilde, die ebenso skaleninvariant sind, wenn auch verständlicherweise nicht ad infinitum wie mathematische Fraktale. Am Beispiel eines Felsengebirges etwa zeigt sich die typische Gestalt womöglich auch in einem kleinen Nebengipfel, der wiederum einzelne Felszacken besitzt, deren jede wieder in sich zerklüftet und gezackt ist; bis hin zu zentimetergroßen Vorsprüngen findet sich die gleiche invariante Berggestalt wieder, gewissermaßen auf der Kilometer- wie

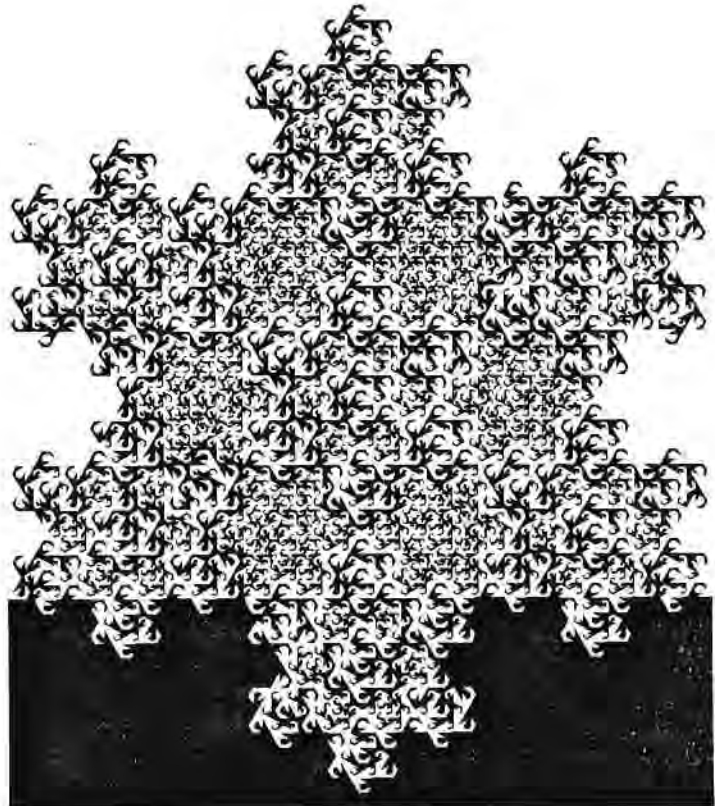


Abb. 7.3: fraktales Gebilde (aus: Mandelbrot, 1987)

der Zentimeterskala. Die Skaleninvarianz hat in natürlichen Formen ihre Grenze spätestens darin, daß die Ebene der Kristalle und Moleküle verschieden gestaltet sind. Dennoch ist Selbstähnlichkeit hier mehr als eine oberflächliche Übereinstimmung oder eine Metapher, denn es zeigt sich darin eine Ähnlichkeit der Morphogenese in verschiedenen Skalenbereichen, es zeigt sich das Wirken einer gleichen Dynamik. Insofern können m.E. auch die beschriebenen vertikalen Selbstähnlichkeiten in der Dynamik sozialer Systeme in dieser Weise verstanden werden. Die Skaleninvarianz besteht darin, daß auch unter der Lupe therapeutischer Intervention und Reflektion die Dynamik des sozialen Systems gleiche Strukturen erzeugt.

Wenn soziale Systeme in horizontaler (zeitlicher) und vertikaler (reflektiver) Richtung selbstähnliche Muster erzeugen, wird das natürlich Auswirkungen auf Fragen der Therapie und Supervision in diesen Systemen haben. Dies führt in direkter Linie zurück zu der Frage, ob der Therapeut oder Supervisor als vollständig im System eingetaucht konzipiert werden muß. Wäre dies der Fall, gäbe es keinen Grund anzunehmen, daß er nicht Teil der Produktion von Selbstähnlichkeiten durch das soziale System wird. Seine Interventionen wären dann Inventionen des sozialen Systems, die in sich den Keim der Dynamik tragen, die sie doch verändern sollen. Aus prinzipiellen Erwägungen ist also zu fordern, daß der Therapeut einen festen Bezug zu Ankern außerhalb des Systems aufrechterhalten kann.

Ich denke, daß weiterhin die Art der Zuwendung von Aufmerksamkeit, die unser (idealtypischer) Therapeut dem System zukommen läßt, von Bedeutung ist. Ein komplexes, rekursives System erzeugt Information ohne Unterlaß, sei es in Form von Verhalten oder in Form neuer "Probleme" (oder neuer Bedeutungszuschreibungen an Verhalten und Probleme). Der "Bewußtseinsstrom" der Individuen und der Kommunikationsstrom zwischen ihnen kommt nie in Form einer festen Struktur zum Stillstand (Bewußtseins- und Kommunikationsstrom kann nicht sinnvoll voneinander geschieden werden, sie bilden ineinander verwoben die Mikroebene des Systems, wie in Kapitel 5 ausgeführt). Es liegt mithin am chimärenhaften Charakter dieser Systeme, daß die Selbstähnlichkeiten in stets neue Themen gegossen sind; das Sammeln relevanter semantischer Daten durch den Therapeuten käme an kein Ende, außer schnell an das unmerkliche Ende der Miteinbeziehung des Therapeuten in das Funktionieren des Systems.

Es scheint mir also nicht sinnvoll, als Therapeut Wissen über die semantische Produktion des Systems zu sammeln, um dieses verstehen zu lernen. Weder ein Hier-und-jetzt-Vorgehen noch ein vergangenheitsorientierter Ansatz scheint geeignet, die Informationsproduktion des Systems prognostizierbar zu machen. Diagnoseaufgabe des Therapeuten ist stattdessen, von den Inhalten zu defokussieren, und einen Eindruck von der Art und Weise zu erlangen, wie sich das System in Aktion fraktal verknäuelte, welche Selbstähnlichkeiten produziert werden. Ich erwarte, daß dies ein

therapeutisches Wissen jenseits der Nichtprognostizierbarkeit und der fortlaufenden Informationsproduktion ist. So verstandene Diagnostik entspricht dem Auffinden eines seltsamen Attraktors einer chaotischen Dynamik.

Konsequenzen für die Interventionstechnik ergeben sich aus dem Problem, als Therapeut nicht in die Rekursivität des Systems voll einbezogen zu werden. Von dieser Warte aus begründet sich ein kurzzeittherapeutischer Ansatz, wie er für familientherapeutische Vorgehensweisen üblich ist. Im Extrem könnte man eine "hit-and-run"-Methode vertreten: der Therapeut ist und bleibt dem System fremd, um dessen Rekursivität nicht unterworfen zu werden; die verändernde Intervention muß das System so "verstören", daß es für entscheidende Augenblicke aus dem Potentialtal des gegenwärtigen Attraktors herausgehoben wird. In der sensiblen Phase dieser Zeitspanne mögen systemeigene Fluktuationen oder eine weitere gerichtete Intervention dazu führen, daß das System in das Bassin eines anderen Attraktors gelangt. Der Therapeut entfernt sich, um nicht in restaurative Bestrebungen eingebaut zu werden, bzw. "zur Verantwortung gezogen zu werden". Eine effektive Intervention besteht also aus zwei Komponenten: einem intensiven, energiereichen, kriseninduzierenden Schritt, der das System auf seiner Mikroebene massiv verstört, und einem gerichteten Schritt, der entscheidet, welchen neuen Attraktor es aufbaut.

Wie die konfrontative Therapietechnik (Farelli & Brandsma, 1986) ist ein solches Vorgehen für auf Harmonie bedachte Therapeuten wenig geeignet. Weiterhin sollte ein "hit-and-run-Therapeut" nicht auf die emotionale Stützung durch seine Klienten angewiesen sein, denn mit konfrontativer Verstörung mögen durchaus negative Emotionen einhergehen. Andererseits ist es nicht zwingend, daß ein effektiver konfrontativer Therapeut mit emotionalen Kosten aus der Intervention hervorgeht, denn eine Sündenbockrolle wäre bereits wieder Zeichen für einen Kunstfehler innerhalb der genannten Therapieauffassung: als der Sündenbock ist man bereits zu weit im System eingebunden.

Es liegt nahe, in diesem Zusammenhang auch die Frage nach der ethischen Verantwortbarkeit von Therapie, insbesondere konfrontativ-verstörender Therapie, aufzuwerfen (Haley, 1985; Reiter-Theil, 1988). Es ist gut möglich, daß der neue Attraktor

zu anderen Problemen und neuem Leiden führt. Wer soll Verantwortung übernehmen angesichts der komplexen Kausalität selbstorganisierter Systeme? Die Absicht, nicht zu schaden, nimmt einer effektiven Intervention nicht das Risiko. Ich fürchte, daß ethisches Verantwortungsdenken mit systemischem Denken zumindest teilweise inkompatibel ist, weil systemisches Denken weder personenzentriert noch linearkausal bleiben kann. Ich kann diesen Fragen hier allerdings nicht weiter nachgehen.

Schließlich möchte ich in Zusammenhang mit den genannten beiden Arten der Rekursivität auch auf die experimentelle Struktur des in Kapitel 6 beschriebenen Ansatzes der "rekursiven Skulpturierung" verweisen. Das instruierte Vorgehen soll dort eine analoge Situation schaffen: wenn im beschriebenen Beispiel jede versuchte Lösung stets wieder Problem wird (vgl. Watzlawick et al., 1969), ist dort ebenfalls jede Abbildung von Gruppeninteraktion zugleich selbst schon wieder Interaktion. Schiepek (1989a) verweist diesbezüglich auf weitere ähnliche Phänomene, wie etwa sog. "performative utterances" (v. Foerster, 1988), in denen Bezeichner und Bezeichnetes zusammenfallen. Wenngleich ich, anders als dies bei v. Foerster dargestellt ist, nicht der Auffassung bin, daß solche und weitere selbstreferentielle logische Figuren geeignet sind, eine neue (konstruktivistische) Epistemologie zu begründen (vgl. Kapitel 8), scheint doch von Interesse zu ergründen, ob der genannte Ansatz bei der Erforschung von Prozessen der Gruppenentwicklung von Nutzen ist. Als einen weiteren sozialwissenschaftlichen methodischen Ansatz, kommunikative Selbstähnlichkeit empirisch zu betrachten, sei das von Schiepek & Reicherts (1990) konzipierte Planspielprojekt genannt.

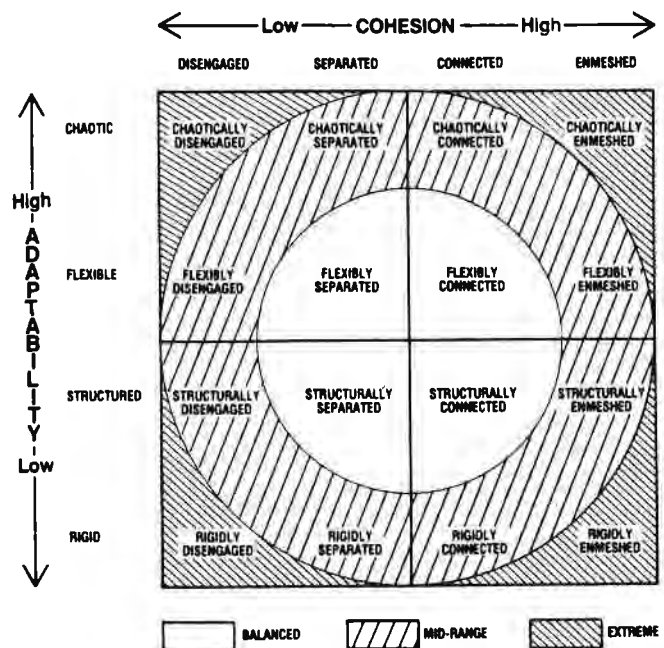
7.4 Chaos in sozialen Systemen

In der Familientypologie des Circumplex-Modells nach Olson (1986; vorher Olson et al., 1979) werden chaotische Familien als Gegenpol zu rigiden Familien präsentiert; es handelt sich um eine extreme Ausprägung auf der Adaptability-Dimension (s. Abb. 7.4).

Mit "chaotisch" ist hier eher die umgangssprachliche Bedeutung des Wortes ge-

meint (die freilich durch Fragebogen- und andere Instrumente operationalisiert wurde), also sinngemäß etwa: nicht vorhersagbar, regellos, stark abhängig von äußeren Einflüssen, ohne feste Grenzen. Es dürfte schwierig sein, dies mit der dynamischen Eigenschaft des (deterministischen)

Abb. 7.4 Circumplex-Modell zur Beschreibung von Familien- und Paarsystemen (aus: Olson, 1986)



Chaos vollständig in Übereinklang zu bringen. Um kurz zu rekapitulieren: chaotisch ist eine Dynamik, die bei konstanten Umweltparametern sensibel abhängig von Anfangsbedingungen und damit langfristig nicht vorhersagbar ist, wenngleich der Entwicklung des Systems eine recht einfache (d.h. niedrig-dimensionale) nicht-stochastische Regel zugrundeliegen kann.

Wenn bislang davon die Rede war, Familien und sonstige soziale Systeme als selbstorganisierte Systeme innerhalb eines synergetischen Ansatzes aufzufassen, mag die Erwartung entstanden sein, die Selbstorganisation drücke sich in Form von Kohärenz und Regelmäßigkeit aus, also etwa als einfache Fixpunkte oder zyklische Attraktoren. Obwohl auch hierüber im Vorgriff auf empirische Untersuchungen nicht entschieden werden kann, halte ich es dennoch für plausibel, mit umfangreichen chaotischen Prozessen in sozialen Systemen zu rechnen. Der dynamische Forschungsansatz aus Kapitel 5 kann diese Prozesse mit Kennwerten charakterisieren.

Die Erwartung chaotischer Dynamiken scheint mir aus verschiedenen Gründen plausibel. Ein negatives Indiz ist, daß überdauernde einfache Fixpunkte (Homöostasen) und Grenzyklen in sozialen Systemen so auffällig sind, daß die entsprechenden Phänomene längst zum Fundus psychologischen Wissens gehörten. Das menschliche Sensorium ist bekanntlich so sensibel geeignet, prägnante Gestalten aus einem

Reizhintergrund herauszufiltern, daß einfache Kohärenzen kaum unbemerkt blieben - für das Offensichtliche braucht es keine Phasenraumanalysen oder lag sequential analyses. Dieses Argument deutet also darauf hin, daß selbstorganisierte kohärente Muster

- * in nicht unmittelbar wahrnehmbaren Observablen doch zutage treten (deshalb die in Kapitel 5 vorgeschlagenen "Fenster" in die Selbstorganisation);

oder

- * in einem menschlicher Informationsverarbeitung unzugänglichen zeitlichen Skalenbereich stattfinden (innerhalb einer oder weniger Sekunden? innerhalb von Jahren?);

oder

- * selten sind gegenüber einer vorherrschenden chaotischen Dynamik.

Von einem Funktionalitätsstandpunkt her gesehen hätte eine chaotische Dynamik gewisse Vorteile: sie erhöht die Anpassungsfähigkeit (Adaptabilität) des Systems gegenüber Umwelteinflüssen; in der Familientherapie gelten rigide Interaktionsmuster denn auch als dysfunktional (Brunner, 1986).

7.5 Grenzen empirischer Zugänglichkeit

All die empirischen Ansätze zur Erforschung sozialer und therapeutischer Dynamiken können und sollen m.E. nicht den Blick dafür verstellen, daß es offensichtliche Grenzen des Diagnostizierbaren und wissenschaftlich Formulierbaren gibt. Dies gilt insbesondere für den komplexen Bereich eines reflektierenden und zu Selbstreflexion anregenden Verhaltens, wie es Psychotherapie darstellt (Schiepek, 1987; Ciompi, 1988). Bestimmte Aspekte von Therapieprozessen sind wohl nicht beobachtbar. Dies gilt mit Sicherheit für viele kognitive Mikroprozesse (die virtuellen Komponenten sozialer Systeme, s. Kapitel 5), die auch der Introspektion nicht zugänglich sind (Neumann, 1989; Dixon, 1981). Schließlich sind selbstreferentielle Prozesse aus prinzipiellen

Gründen nie vollständig auflösbar, worauf ich in Kapitel 8 noch eingehen möchte; das Paradox der Selbstreferenz erzeugt einen Bereich der Intransparenz (Gödel, 1932), der dem vollständigen Wissen über Therapieprozesse a priori fehlt. Wie entscheidend oder wesentlich für ein Verständnis sozialer Systeme dieser intransparente "blinde Fleck" ist, kann gleichfalls nicht gewußt werden.

Allerdings kann man, was man überhaupt wissen kann, auch genau wissen. Was man nicht wissen kann, kann auch nicht sprachlich gefaßt werden, es sei denn durch sprachliche Andeutung und Metaphorik.

Dies läßt sich bei vielen Vertretern der Philosophie Maturanas und Luhmanns im Bereich der Systemtherapie zeigen (Simon, 1988; Ludewig, 1988): Sprache verliert dann ihren wissenschaftlichen und analytischen Charakter, und wird zu einem Vehikel konnotativer, beiläufiger Information. Die wissenschaftlichen Kriterien von Reliabilität und Validität werden als gegenstandslos oder prinzipiell uneinlösbar angesehen, und machen ästhetischen oder dogmatischen Bewertungen Platz. Statt Replizierbarkeit und Effektivität wird die Schönheit oder die Konventionalität ("konsensuelle Übereinstimmung") zum Maßstab der Beurteilung.

Im Gegensatz zu einer solchen Auffassung vertrete ich einen Standpunkt der Machbarkeit (Fodor, 1987). Prinzipiell skeptische oder solipsistische Epistemologien bringen den Wissenschaftler um die Möglichkeit des Scheiterns. Das wäre dann auch das Ende des Unternehmens Wissenschaft.

Kapitel 8

SELBSTORGANISATION UND KOGNITION

8.1 Skizzierung des Autopoiesebegriffs

Als eine Selbstorganisationstheorie mit epistemologischen Ambitionen versteht sich die Theorie der Autopoiese nach Maturana & Varela (1980, 1987) bzw. Maturana (1987). In seiner Einleitung zu "Autopoiesis and Cognition" (1980) berichtet Maturana über die Entstehungsgeschichte des Konzepts "Autopoiese" und über die Grundlegung einer Biologie der Kognition. Angesichts der dankbaren Rezeption, die Maturana und Varela im Bereich der systemischen Therapie erfahren haben, während gleichzeitig diese theoretischen Ansätze in ihrer eigenen Disziplin ignoriert werden, möchte ich die Brauchbarkeit dieser Konzepte für Psychologie und Kognitionswissenschaft ebenfalls in Frage stellen.

Maturana beschreibt seine Auseinandersetzung mit der zentralen Frage der Biologie nach der "Organisation des Lebenden" und seine Unzufriedenheit mit der Liste von Eigenschaften, die als Antwort darauf zusammengestellt wird: Reproduktion, Heredität, Wachstum etc. (Maturana & Varela, 1980, S. xii ff.). Nach einer Reihe von Jahren habe er entdeckt, daß die Unmöglichkeit, das Wesen des Lebendigen auf diese Weise zu umreißen, an epistemologischen und linguistischen Gründen liegen müsse:

"... one can only say with a given language what the language permits. I had to stop looking at living systems as open systems defined in an environment, and I needed a language that would permit me to describe an autonomous system in a manner that retained autonomy as a feature of the system or entity specified by the discription." (S. xiii)

Es wird hier deutlich, daß Autonomie zu einem zentralen Charakteristikum von Lebewesen erklärt wird. Diese Autonomie wird negativ so definiert:

"Therefore, notions of purpose, goal, use or function, had to be rejected ... Thus, eventually, I made a distinction between what I called self-referred and allo-referred systems, a distinction that separated systems that could only be characterized with reference to themselves, such as living systems, from systems that could only be characterized with reference to a context."

Autonomie wird also als eine selbstreferentielle Abgeschlossenheit von der Umwelt aufgefaßt. Diese Abgeschlossenheit ist ein zentraler Begriff innerhalb der Autopoiesetheorie. In Maturana (1987) wird dies folgendermaßen eingeführt:

"Im Hinblick auf seine Zustände operiert ein autopoietisches System als geschlossenes System, das nur Zustände der Autopoiese erzeugt. Oder anders ausgedrückt: Jeder Zustand in einem autopoietischen System ist ein Zustand der Autopoiese, anderenfalls befindet sich das System in einem Zustand der Auflösung." (S. 97)

Es ist hier auch auf den Grundbegriff des "struktur-spezifizierten Systems" zu verweisen, der auf jedes Objekt wissenschaftlicher Beobachtung notwendig zutrefte:

"Wenn ein struktur-spezifiziertes System in eine Interaktion mit einer unabhängigen Einheit eintritt, dann ist alles, was ihm zustößt, durch seine Struktur spezifiziert und nicht durch die unabhängige Einheit, die (...) lediglich als Auslöser (...) dient." (S.93)

Autopoietische Systeme sind struktur-spezifiziert, also nicht durch eine äußere Ursache kausal zu spezifizieren. Ebendies gilt auch für das Nervensystem, das als Teil des lebenden Systems der Autopoiese dient, denn "anderenfalls würde das lebende System zerfallen" (S. 99). Das Nervensystem wird als "Erweiterung" des kognitiven Bereichs des lebenden Systems bezeichnet:

" (...) das Phänomen der Kognition [ist] (...) in Wirklichkeit die Realisierung der Autopoiese des lebenden Systems in diesem Medium. Für ein lebendes System bedeutet Leben Kognition, und sein kognitiver Bereich ist deckungsgleich mit dem Bereich seiner autopoietisch möglichen Zustände." (S. 101)

Zur Geschlossenheit heißt es weiterhin, das Nervensystem operiere als ein geschlossenes System, und besitze "keine Input-Output-Oberflächen als grundlegende Merkmale seines Operierens". Deshalb wird Wahrnehmung mit einem Instrumentenflug im Nebel verglichen; nach geglückter Landung könnte das Nervensystem als Pilot nur sagen:

"'Was für ein Flug? Was für eine Landung? Ich bin nicht geflogen, ich habe nur meine Anzeigegeräte in bestimmten Bereichen konstant gehalten.' Tatsächlich gab es einen Flug nur für einen äußeren Beobachter (...)" (S. 105)

Für das Nervensystem gibt es weder innen noch außen, nur "die Erhaltung der eigenen

Korrelationen" zwischen Efferenzen und Afferenzen (Maturana & Varela, 1987, S. 185).

In diesem Zusammenhang verweist Maturana auch auf seine Arbeiten zur Sinnesphysiologie des Frosches, die zwar nicht fundamental von den Ergebnissen anderer Forscher abgewichen seien, aber folgende neue Interpretation erlaubten:

"... the new approach required us to treat seriously the activity of the nervous system as determined by the nervous system itself, and not by the external world; thus the external world would only have a triggering role in the release of the internally-determined activity of the nervous system." ... "no distinction was possible between perception and hallucination..." (Maturana & Varela, 1980, S. xv)

All dies ist semantisch im Begriff "Autopoiese" eingebunden, der sich dann auch als sehr fruchtbar erwiesen habe:

"Curiously, but not surprisingly, the invention of this word proved of great value. It simplified enormously the task of talking about the organization of the living without falling into the always gaping trap of not saying anything new because the language does not permit it." (S. xvii).

8.2 Kritik der Autopoiesetheorie

Ich denke nun, daß genau dies eingetreten ist. Meine Kritik an der Begrifflichkeit der Autopoiese will ich in folgende Thesen fassen:

Die autopoietische Begrifflichkeit ist tautologisch (s. 8.2.1);

Der Autopoiesebegriff impliziert einen Solipsismus (s. 8.2.2);

In der Autopoiesetheorie kommt weiterhin ein Biologismus zum Tragen, der einem Verständnis lernender und kommunizierender Organismen zuwiderläuft (s. 8.2.3).

Auf diese drei Kritikpunkte an einer autopoietischen Theorie, und damit an einer radikal-konstruktivistischen Epistemologie im Sinne v. Foersters (1985), Schmidts (1987) oder v. Glasersfelds (1987), möchte ich im folgenden kurz eingehen.

8.2.1 Kritik der Tautologie

a) "What is is; what ain't ain't."

("reality principle" aus: Dell, 1982)

Wie aus Maturana & Varela (1980) hervorgeht, wurde die neue Begrifflichkeit der Autopoiesetheorie entwickelt, um eine Sprache zur Verfügung zu haben, der die selbstreferentielle Autonomie lebender Systeme implizit ist. Man kann nun vertreten, daß es für die Anwendbarkeit einer Theorie, also ihre Überprüfbarkeit, ziemlich unvorteilhaft ist, wenn ihre Hauptaussage nicht in Form von Sätzen vorliegt, sondern als implizite Prämisse ihrer Terminologie. Was den Begriffen implizit ist, kann die Theorie nicht mehr hinterfragen.

Für die Theorie gilt dann, was sie als zentrale Eigenschaft lebender Systeme behauptet hat: die Abgeschlossenheit. Nur: eine hermetische Theorie erzeugt nichts und erklärt nichts außer sich selbst. Diese Tautologie hat auch bewirkt, daß die Theorien der Autopoiese sämtlich ohne empirischen Anspruch auftreten, sich stattdessen damit begnügen, sich als philosophische Lehren immer weiter zu differenzieren, ohne doch aus ihrer Hermetik herauszukönnen. Damit schwindet der wissenschaftliche epistemische Ertrag; es müßten also nun andere (etwa ästhetische) Maßstäbe an die Theorie angelegt werden. Wer unklar-bombastische Aussagen, die zirkulär auf sich zurückweisen sowie terminologische Neologismen schön findet, mag diese bei Maturana, Varela und Luhmann goutieren. Für eine empirische Forschung sind sie nicht tauglich.

b) Das Gleiche und dasselbe ist nicht dasselbe...

Solcherart zirkuläre Theorien bleiben in der Tautologie der Selbstreferenz befangen: Ein Gegenstand könne, heißt es, nur durch Bezug auf sich selbst erklärt werden - was bedeutet, daß er eben nicht erklärt werden kann.

Im Vergleich zu Modellierungen selbstorganisierter Systeme, wie wir sie aus der

Synergetik oder Dynamik her kennengelernt haben, fehlt offenbar zumindest zweierlei an einer solchen "Theorie":

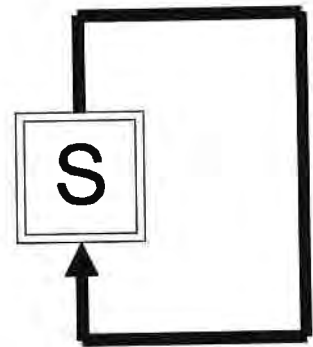
- * ein Anfangswert, der die Dynamik zum Zeitpunkt t_0 quantifiziert;
- * ein Algorithmus, der die quantitative Evolution des Ausgangswerts beschreibt.

Die Zeitlosigkeit und Unbestimmtheit erscheint aus mathematischer oder dynamischer Sicht als offensichtliches Defizit der Autopoiesetheorie.

Anders gesagt: eine "Erklärung" oder "Charakterisierung" eines Systems durch Rekurs auf das Systems selbst, etwa dargestellt in dieser Weise (Abb. 8.1, angelehnt an v. Foerster, 1985), ist tautologisch.

Abb. 8.1:

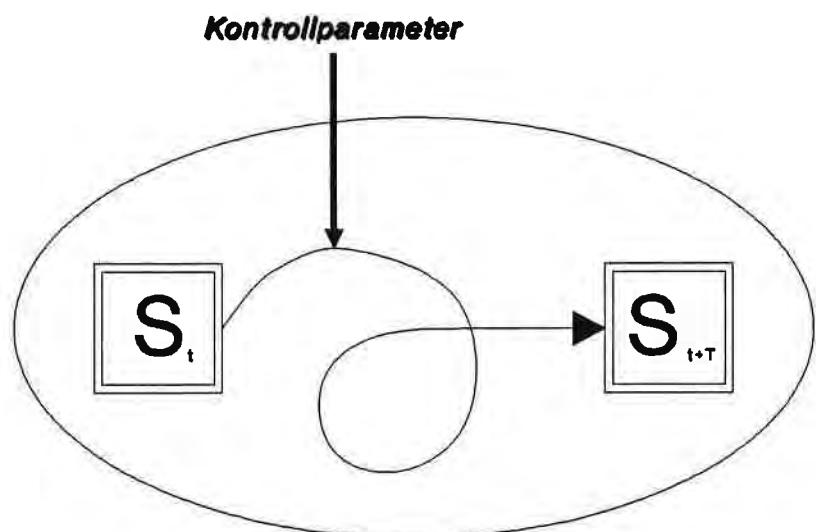
Das System S erklärt sich selbst im Sinne einer selbstreferentiellen Dynamik (angelehnt an v. Foerster, 1985)



Im Gegensatz dazu muß eine Modellierung eines Selbstorganisationsprozesses immer und explizit in der Zeit und mit einer Umwelt (in Form von Kontrollparametern) erfolgen, etwa entsprechend Abb. 8.2:

Abb. 8.2:

rekursive Dynamik eines Systems in der Zeit



Selbstorganisierte Prozesse sind dynamisch und offen für kausale Einflüsse

aus der Umwelt, die die Evolution des Systems entlang Bifurkationen weiterrücken.

c) Geschlossenheit

Aus physikalisch-materialistischer Sicht (Maturana (1982) betont immerhin, daß Lebewesen "mechanistische Systeme" seien) fehlt entscheidend die Klärung des energetischen und thermodynamischen bzw. informationstheoretischen Aspekts eines solchen autopoietischen Systems, also die Klärung der Grenzprozesse, die das System aufrechterhalten. Damit befaßt sich der autopoietische Ansatz nun freilich überhaupt nicht; es wird nur beiläufig gesagt, daß diese Systeme natürlich energetisch offen seien.

Sehr deutlich herausgestellt wird dagegen die "operationale Geschlossenheit" autopoietischer Systeme (s.o.). Maturana & Varela (1980) drücken das seltsamerweise so aus: "Autopoietic machines do not have inputs or outputs." (S. 81). Dasselbe wird vom Nervensystem gesagt: "Ein geschlossenes neuronales Netzwerk hat weder Input- noch Outputoberflächen als charakteristische Merkmale seiner Organisation, ..." (Maturana, 1982, S. 142).

Man muß nun vermuten, was hier als input bezeichnet und für unmöglich erklärt werden soll; möglicherweise ein input bezüglich der operationalen oder Organisationsweise dieser Systeme? Aber an dieser Stelle droht bereits wieder eine Banalität, eine Tautologie - es wird natürlich niemand behaupten, Lebensinputs in den Lebensprozeß eines autopoietischen Systems vornehmen zu können. Ebenso wenig wird ernsthaft die Meinung vertreten, daß Gedanken per se eine soziale Qualität hätten (das wäre Telepathie), oder daß sie Teil des biologischen Organismus seien (das wäre Telekinese, etwa im Sinne von sog. Fernheilern). Luhmann (1988) bezieht sich auf dies, wenn er, nach einer Erweiterung des Gedankens der autopoietischen Geschlossenheit auf soziale Systeme (Kommunikationskomponenten) und "Bewußtseinssysteme" (kognitive Komponenten), fragt:

"Aber wissen wir das nicht sowieso? ... Die im geschlossenen Netzwerk reproduzierten Elementareinheiten sind anschlußfähig nur an Elementareinheiten des gleichen Netzwerks. Kein Lebensvorgang ist jemals Bewußtseinsakt oder Kommunikation; aber auch keine Kommunikation ist jemals ein Akt der Reproduktion von Bewußtsein, geschweige denn ein Moment der Autopoiesis des Lebens." (S. 48)

Weiterhin zur Geschlossenheit:

"Daß das eine das andere voraussetzt und daß kausale Interdependenzen bestehen, bedarf kaum der Erwähnung. (...) Ich nehme an, daß eine psychotherapeutische Praxis hauptsächlich an Fragen interessiert sein wird, die sich aus den Interdependenzen dieser Systeme ergeben. (...) Ich hoffe, Sie empfinden zunächst einmal die Merkwürdigkeit dieses theoretischen Konzepts und ahnen die Umwege des Rekonstruierens, die dann hoffentlich fruchtbare Umwege sein werden."

Dies mag man hoffen; ich hoffe, daß die tautologische Wahrheit der Grundlegung dieser Theorie deutlich wird. Man könnte paraphrasierend sagen: 'Das Hauptkennzeichen des Lebens ist, daß es ununterbrochen Lebensoperationen durchführt. Also ist es bezüglich dieser Operationen abgeschlossen. Werden die Lebensoperationen unterbrochen, so ist dies mit dem Leben nicht vereinbar.' Oder entsprechend: 'Das Nervensystem operiert mit neuronalen elektrischen Impulsen. Licht und Schall sind keine elektrischen Impulse. Das Nervensystem ist also operational geschlossen.'

Das Nervensystem ist nun aber nicht abgeschlossen bezüglich Energie. Das Nervensystem ist auch nicht abgeschlossen bezüglich chemischer Stoffe, weshalb Kognitionen durch Drogen induziert werden können. Daß das Licht ("ambient light" nach Gibson, 1979) nicht als Licht passiv über ein Linsensystem im Gehirn abgebildet wird, sondern aktiv in Form neuronaler Entladungsmuster, später auch als synaptische Verdrahtung und als Proteinstrukturen "repräsentiert" sein kann, ist unstrittig. Insofern bezieht sich die autopoietische Abgeschlossenheit gerade eben nicht auf diejenigen Operationen des neuronalen Systems, die für sein Funktionieren zentral sind, nämlich die energetische und materielle Öffnung. Das Argument der Abgeschlossenheit geht damit ins Leere, denn der mit ihm attackierte "Abbildrealismus" hat keine wissenschaftlichen Anhänger.

8.2.2 Kritik des Solipsismus

Aber es gibt eine andere Lesart des Gedankens der Autopoiese, die sich auf die Abgeschlossenheit beruft und daraus eine Erkenntnistheorie gewinnt, die jede objektive Erkenntnis für unmöglich erklärt. Ich denke, daß sich dabei der Terminus "Abgeschlos-

senheit" semantisch selbständig gemacht hat, so daß aus der Tautologie eine Absurdität des Solipsismus geworden ist. Wo ursprünglich Abgeschlossenheit bezüglich der Art der Komponenten gemeint ist, wird nun Abgeschlossenheit schlechthin gelesen.

In der Position des radikalen Konstruktivismus wird die Welt als eine Konstruktion eines Beobachters verstanden, denn Wahrnehmung sei die neuronale Errechnung einer Errechnung usw., also eine unendliche Rekursion, abgeschlossen zur Realität hin. (Dies wird teilweise sogar neurophysiologisch begründet (Schwarz, 1987; v. Foerster, 1985), gewissermaßen in der Überzeugung, daß objektives, empirisches Wissen am überzeugendsten geeignet sei, eine subjektivistische, antiempirische Epistemologie zu belegen.) Diese Rekursion kann "Eigenwerte" erzeugen, d.h. feste Ergebnisse der Errechnung im Sinne von Attraktoren, was v. Foerster (1985) als Beleg dafür nimmt, daß allein durch die organismische Dynamik ein Verhalten, eine Wahrnehmung resultiert. Auf seinen Vortragsreisen verwendet v. Foerster immer wieder das Beispiel des wiederholten Wurzelziehens, das für beliebige Anfangswerte nach einigen Durchgängen stets als Eigenwert die Zahl 1 erzeugt. Daran wird belegt, daß nicht der Reiz, sondern der Organismus für sein Verhalten verantwortlich sei.

Die epistemologischen Erörterungen, die das Konzept der Autonomie bzw. der operationalen Geschlossenheit bedingt, sind nicht wie behauptet originell, sondern in der wissenschaftstheoretischen und philosophischen Diskussion bekannt (und übereinstimmend als unfruchtbar verworfen).

In Zusammenhang mit dem Problem des Relativismus der Erkenntnis möchte ich auf das Fries'sche Trilemma verweisen (Popper, 1934/1984; als "Münchhausen-Trilemma" bei Albert, 1968). Das Trilemma entsteht bei der Suche nach der Basierung, der Letztbegründung von Sätzen der Wissenschaft. Fries (ein deutscher Philosoph und Physiker, 1773-1843) nannte folgende drei Möglichkeiten bei dem Versuch, Sätze als wahr zu erkennen:

- * **infiniter Regreß:** bei der Suche nach einer logischen Beweisführung wird ein Satz durch einen anderen Satz erklärt, dies geht weiter ad infinitum;
- * **Dogmatismus:** der Regreß wird irgendwann willkürlich abgebrochen;
- * **Psychologismus:** der Satz wird über ein Erlebnis, eine Erfahrung begründet.

Ein Trilemma ist die Situation deshalb, da offensichtlich alle drei Lösungen des Basisproblems selbst wieder problematisch sind. Am wenigsten wurde das noch für den Psychologismus gesehen, der deshalb etwa durch den Positivismus (Carnap, 1933; Wittgenstein, 1975) in Form von sog. Protokollsätzen oder Erlebnissätzen als Basis gewählt wurde. Bekanntlich lehnt der kritische Rationalismus nach Popper auch dies wegen der Theoriebelastetheit selbst von Protokollsätzen und wegen des Induktionsproblems ab, und ersetzt die Letztbegründung durch einen Kritizismus.

Der kritische Rationalismus wurde von verschiedenen Autoren noch radikalisiert, insbesondere hinsichtlich der Popperschen Auffassung zur Falsifikation. Lakatos (1970) entwickelte den Begriff des "Wissenschaftsprogramms", dessen Kern weitgehend vor Kritik und Falsifikation geschützt sei. Kuhn (1967) ging von der Annahme von Wissenschaftsparadigmen aus, auf deren Hintergrund sich wissenschaftliche Erkenntnis stufenweise entwickelt. Feyerabend (1986) schließlich entfernt sich mit seinem wissenschaftstheoretischen Anarchismus ("anything goes") am weitesten von kritischem Rationalismus.

Es zeigt sich m.E., daß der konstruktivistische Ansatz, wie andere vor ihm, versucht, sich am eigenen Zopf aus dem Sumpf zu ziehen. v. Foerster (1985) meint, der infinite Regreß komme in dynamischen neuronalen Systemen bei Eigenwerten zum Stehen, und man könne ohne einen Realismus festen Grund erlangen. Dieser feste Grund ist aber solipsistisch, da nur Eigenschaften des kognizierenden Systems in die Eigenwerte eingehen. Aus dem Relativismus und Solipsismus, der aus der Autopoiesetheorie abgeleitet wird, werden dann im Bereich systemischer Therapie Folgerungen gezogen: zumeist dergestalt, daß ein Ziel oder Instrument von Therapie nun "aus prinzipiellen epistemologischen Gründen" nicht mehr möglich sei (Willke, 1987; Ludewig, 1987; Schiepek, 1989a); das Problem der Macht in Therapie gegenstandslos sei (Bosch, 1986; Levold, 1986); Diagnosen und Zielsetzungen vereitelt sind (Schiepek, 1989a). Kurzum, der selbstreferentielle Kern der autopoietischen Terminologie erlaubt entweder alles (Tautologie, s. 8.2.1) oder schließt alles aus (Solipsismus und Paradox, 8.2.2). Also ist es den jeweiligen Weltbild-Konstrukteuren an die Hand gegeben, sich je nach Befindlichkeit zu bedienen. Daß manche Autoren aus dem Therapiebereich die

letztere Alternative wählen, kann psychologisch auch als Projektionsphänomen verstanden werden. Insgesamt scheint mir hier die Bemerkung von Popper & Eccles (1982, S. 113) zu treffen, die mit etwas anderer Zielrichtung die Auffassung, daß jedes Argument ideologisch, jede Erkenntnis interessegeleitet sei, als "selbstzerstörerischen Relativismus" bezeichnen.

8.2.3 Kritik des Biologismus: Darwinismus statt Lernen?

Der Autopoiese-Begriff ist m.E. implizit biologistisch. Dies ist keine Kritik, denn zur Erklärung des Wesens lebender Systeme wurde er ja entwickelt (daß er zudem für die heutige empirische Biologie keine Perspektiven bietet, liegt an seiner Tautologie und wurde oben ausgeführt). Veränderung eines Organismus wird im Sinne der Abgeschlossenheit als nur aus dem System selbst heraus bewirkt verstanden; das kognitive System sei "informationsdicht" (Schmidt, 1987): dies ist die klassische Gegenposition zu jeder Art von Lerntheorie, die Veränderung durch Interaktion mit der Umwelt voraussetzt. Die alte Kontroverse, ob ein bestimmtes Verhalten oder eine Eigenschaft angeboren/vererbt oder erworben/gelernt sei, mit allen Implikationen bezüglich ihrer Veränderbarkeit und Therapierbarkeit, ist hier wieder angesprochen. Diese Kontroversen ziehen sich ja wie ein roter Faden durch die Geschichte der Verhaltenswissenschaften, mit wechselnden Vertretern der "angeboren"-Position (Soziobiologie; Ethologie) und der "erworben"-Position (Psychoanalyse; Behaviorismus). Beliebte Streitpunkte waren etwa die Veränderlichkeit der Persönlichkeit ("Ist Intelligenz trainierbar?") oder die genetische oder psychische Genese psychischer Störungen (z.B. der Schizophrenie).

Es ist kaum zu erwarten, daß diese Fragen jemals eindeutig entschieden werden. Dazu ist das Gebiet zu sehr mit philosophischen Grundlagenproblemen vorbelastet, die für sich bereits nicht gelöst werden können, wie das Leib-Seele-Problem (Bunge, 1984; Popper & Eccles, 1982; Metzinger, 1985). Es scheint mir auch diesbezüglich die Position der Autopoiese-Theorie nicht klar zu sein: so wird einerseits eine materialisti-

sche Position vertreten, indem lebende Systeme als mechanistisch bezeichnet werden. In der Rezeption des Autopoiese-Begriffs durch eine konstruktivistische Epistemologie jedoch wird eine idealistische Position vertreten, wenn jede Erkenntnis als durch einen Beobachter erzeugte Konstruktion aufgefaßt wird, und andere Kriterien als solche der Konvention ausgeschlossen werden. In der Diskussion einer Biologie der Kognition findet sich eine Sprache, die mentalistische und physiologische Begriffe in eins setzt, das heißt, daß eine psychophysische Identitätstheorie versucht wird (eine Kritik hierzu findet sich in Roth, 1987).

Der Kernpunkt einer Biologie der Kognition ist die operationale Abgeschlossenheit der Kognition gegen die nicht-kognitive Umwelt. Diese Geschlossenheit betrifft einen wesentlichen Punkt einer jeden Kognitionstheorie, insbesondere aber einen zentralen Begriff der Psychologie insgesamt: den Begriff des Lernens und der Wahrnehmung. Es scheint mir die durchgängige implizite Prämisse des Autopoiese-Begriffs zu sein, daß Lernen, wenn nicht solipsistisch gänzlich negiert, so doch in die Randposition der "strukturellen Koppelung", eines darwinistischen "ontologischen Driftens" gedrängt wird. Der Gegensatz zu der gängigen Grundlegung der Kognitionswissenschaft durch den Begriff der internen Repräsentation (Pylyshyn, 1984; Fodor, 1981, 1987; Johnson-Laird, 1983), die den Menschen geradezu als einen "informavore" charakterisiert (Miller, 1984), könnte nicht radikaler und provozierender sein.

Leider ist diese Prämisse der Terminologie von Maturana & Varela inhärent, und so nicht mehr auf der Basis von Argumenten oder Sätzen verfechtbar. Die biologische Position in der Cognitive Science wurde aber kürzlich von Piattelli-Palmarini (1989) dargelegt.

Piattelli-Palmarini (1989) vertritt die grundsätzliche Hypothese, die Erkenntnisse der neueren Biologie hätten für die Cognitive Science und die Linguistik zur Folge, daß auf einen Begriff des Lernens vollständig verzichtet werden könne. Statt eines adaptiven Lernens des einzelnen Organismus durch "Instruktion" wird ein selektives Modell des Auswählens aus vom Organismus erzeugten Möglichkeiten vorgeschlagen. Zur Begründung werden die Entwicklung der Immunologie, die Linguistik nach Chomsky (1986) sowie neuere Trends auf dem Gebiet der Evolutionstheorie herangezogen. Im

Falle der Immunologie (wie bildet der Organismus spezifische Antikörper gegen die Vielzahl möglicher Antigene?) hat sich die auf den ersten Blick kontraintuitive Theorie durchgesetzt, daß ein immenses Repertoire an Antikörpern und T-Zellen-Rezeptoren spontan bereitgestellt wird, auch wenn sie in der Mehrzahl nie verwendet werden müssen (Marrack & Kappler, 1987). Es wird also nicht ein eindringendes Antigen als Schablone zur Herstellung von neuen Antikörpern herangezogen, wie es einem "Lernen durch Instruktion" entspräche. Der Umweltkontakt beschränkt sich auf ein triggering passender vorgefertigter Elemente des Repertoires. Ähnliche Begründungen entstammen dem Bereich der Linguistik (die Tiefenstruktur der Sprache ist genetisch fixiert) und der Evolutionstheorie (der "neo-neo-Darwinismus" verzichtet nach Piattelli-Palmarini weitgehend auf die Begriffe des Problemlösens und der Adaptation).

"The key role of the environment is not that of supplying more structure, but rather that of steering a selection. The a priori faith in the economy and the parsimony of nature entailed a concept of learning as a construction, a progressive enrichment in, and of, structures. The present, largely a posteriori, ascertainment of the profligacy of nature suggests we should conceive of "learning" (between quotes) as a process of triggering, filtering, parameter-setting, progressive specialization and selection." (S. 13)

Im Analogieschluß fordert Piattelli-Palmarini, die Abkehr von einem Konzept des Lernens müsse auch für die Psychologie gültig sein.

Ich hoffe, daß deutlich geworden ist, daß die Argumentationslinien der Autopoiese-Theorie und einer so verstandenen evolutionären Kognitionstheorie sehr ähnlich sind. Im Lichte einer systemischen und dynamischen Betrachtungsweise, wie ich sie für den Bereich sozialer Systeme vorgeschlagen habe, scheint mir diese Auffassung eines Funktionierens des kognitiven Systems einseitig und irreführend. Jedoch möchte ich vor der Darstellung einer integrativen dynamischen Sichtweise zur Kognitionspsychologie einräumen, daß die vertretene Autonomie lebender Systeme im dem Sinne zutrifft, daß mit Sicherheit das behavioristische tabula-rasa-Dogma falsch ist, und zu Recht nicht mehr ernsthaft vertreten wird. Es ist schon aufgrund reiner Plausibilitätsüberlegungen auszuschließen, daß allein die Reizumwelt und die dort vorhandenen Kontingenzen die Entwicklung und Ausformung des kognitiven Systems ausreichend erklären könnten: dazu sind die sensorischen inputs, auf die etwa ein

Neugeborenes zurückgreifen kann, bei weitem zu informationsarm, erratisch und uneindeutig. Ein Mensch, der lediglich auf Lernen angewiesen wäre, wäre kein Mensch. Information im Sinne neuer kognitiver Strukturen wird nicht allein (vielleicht nicht einmal überwiegend?) durch die Umwelt bereitgestellt, sondern vom kognitiven System immer auch aktiv erzeugt. Diese Erkenntnis ist allerdings für die Kognitive Psychologie nicht ganz neu, sofern diese die ordnenden Prinzipien der Wahrnehmung (z.B. Köhler, 1920; Neisser, 1976) als aktiv vom Individuum erzeugt auffaßt. Einleuchtende Beispiele für die informationsgenerierende Aktivität der Wahrnehmung sind die Wahrnehmungstäuschungen (Abb. 8.3).

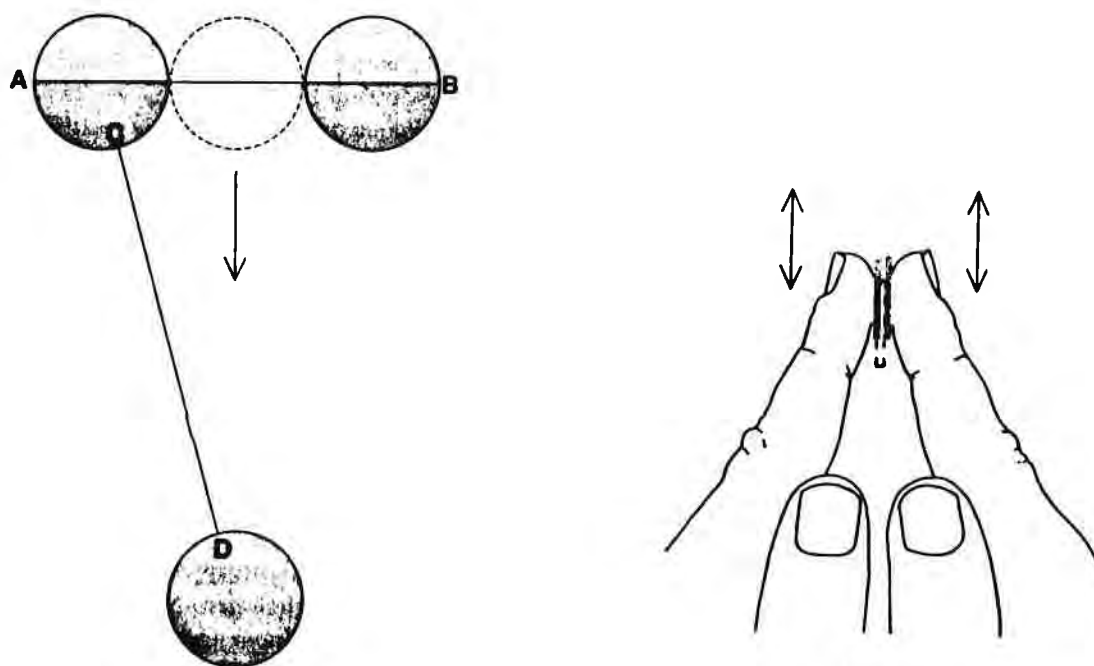


Abb. 8.3:

Zwei Beispiele für Wahrnehmungstäuschungen: links ein der Müller-Lyer-Täuschung ähnliches Phänomen, das auftritt, wenn man von drei nebeneinanderliegenden gleichgroßen Münzen die mittlere so weit nach unten verschieben soll, daß die Strecke AB gleich der Strecke CD wird. Rechts die Geisterpfennig-Illusion: Reibt man in der gezeigten Weise zwei Münzen gegeneinander, erscheint im durch die Finger gebildeten spitzen Winkel der "Geisterpfennig" (aus: Gardner, 1979)

8.3 Die zwei Aspekte der Kognition

Nach dem bisher Gesagten scheint es mir naheliegend, die Auffassung zu vertreten, jedem kognitiven System kämen zwei Aspekte zugleich zu: ein synthetisch-modellierender Aspekt und ein analytisch-repräsentierender Aspekt. In allen außer pathologischen Extremen sind beide Aspekte in aufeinander bezogener Form vorhanden. In manchen psychiatrischen Zuständen (Halluzination, Wahn) können sie gewissermaßen entmischt auftreten.

8.3.1 Modellierung

Die konstruktive, synthetisch aufbauende Aktivität der Kognition (und des Wahrnehmungsapparates) sorgt für die Matrix, innerhalb der Information verarbeitet werden kann. Ein Mensch im bewußten Zustand ist (fast) immer "dreifach orientiert", nämlich bezüglich seiner Person, des Ortes und der Zeit; d.h. er kogniziert stets auf der Basis eines "mental Modells" oder "propositionalen Netzwerks" seiner Welt, das seine räumliche Umgebung (etwa als "cognitive map" im Sinne von Lynch, 1960), seine persönliche Identität (ein mentales Modell seiner selbst, seine ichbezogenen Theorien und Attributionen nach Kelly, 1955) und die aktuelle Position auf einer subjektiven Zeitachse umfaßt. Nur innerhalb dieses Rahmens, der vom kognitiven System aktiv konstruiert wird, kann perzipierte Reizinformation semantisch eingeordnet werden. Berichte über die Auswirkungen umschriebener neurologischer Anomalien zeigen eindrucksvoll die Bedeutung solcher Orientierung (Sacks, 1986).

Für die aktive apriorische Modellierung durch das kognitive System gibt es eine große Zahl empirischer Befunde. Die Untersuchung des Einflusses emotionaler, sozialer und persönlichkeitspezifischer Variablen auf Wahrnehmung und Kognition sind schlechterdings das Hauptthema der Psychologie überhaupt. Auch die computationale Forschung belegt dies durch Simulationsstudien: u.a. zeigt die Fragilität und Unzuverlässigkeit von Produktionssystemen (s.u.) bei Erweiterung der Wissensbasis, daß das

kognitive System bei der Informationsaufnahme sehr viel mehr tut als die neue Information dem bestehenden Wissen nur hinzuzuaddieren. Nicolis (1986a) legt ausführlich dar, daß für kognitive Informationsverarbeitung ein "one-to-one mapping" im Sinne einer statischen Informationstheorie nach Shannon (1948) ungenügend ist.

Die Frage, wie dieser Modellierungsaspekt kognitiver Systeme am effektivsten selbst wieder zu modellieren wäre, ist die Kernfrage der Cognitive Science und der Künstlichen-Intelligenz-Forschung. Gegenwärtig lassen sich drei unterschiedliche Ansätze zu ihrer Beantwortung ausmachen: eine symbol- und sprachnahe Modellierung durch Propositionen und Produktionssysteme, eine analoge Modellierung durch mentale Modelle, sowie eine Modellierung durch konnektionistische Netze (s. Exkurs 8.4).

8.3.2 Informationsverarbeitung

Kognitive Systeme sind als hierarchische Systeme (Nicolis, 1986a) in einem materiellen Medium (einem Nervensystem o.ä.) implementiert. Dieses Medium ist selbstorganisiert, und somit energetisch und materiell offen sowie thermodynamisch gleichgewichtsfern. Dies hat zur notwendigen Folge, daß das Medium auch informationsoffen ist (vgl. die Behandlung der Entropieflüsse in selbstorganisierten Systemen in Kapitel 1 und 4). Die Tatsache, daß Selbstorganisation Ordnung emergent erzeugt, bedeutet keinesfalls, daß das System einen informationell abgeschlossenen Kosmos ausbildet, wie es der radikale Konstruktivismus fordert. Selbstorganisation und Informationsverarbeitung sind ineinander verschränkt, wie es auch Haken (1988a) in seiner Behandlung der Synergetik der Informationsverarbeitung voraussetzt:

"The interaction of the system with its environment, together with the genetic information laid down in the system leads to the formation of new information. Through the continuous testing of the new information stored and created in the brain by the environment, new contexts are established and thus a new kind of semantics occur. (...) the building up of semantics requires a high degree of cooperativity within the system and a repeated interaction with the outside world." (S. 28)

Ebenso wie Informationsverarbeitung nur innerhalb eines synthetischen Modells der

Welt, also niemals als Wahrnehmen eines "Dinges an sich", möglich scheint, kann das kognitive System nur dann ein Modell herstellen, insofern es Information aus der Umwelt sich einverleibt und verarbeitet. Dieses Wirken komplementärer Prozesse kann man analog der positiven und negativen Rückkopplung selbstorganisierter Systeme sehen: Musterbildung emergiert aus dem Ineinandergreifen beider Prozesse.

Die Informationsaufnahme durch das kognitive System ist, nebenbei gesagt, auch experimentell zweifelsfrei belegt; es wäre interessant, wie die alternative Erklärung eines radikalen Konstruktivisten für die hirnephysiologischen Phänomene eines evozierten Potentials oder einer kontingenten negativen Variation aussähe (Birbaumer & Schmidt, 1989). Nicolis (1986a) argumentiert aus quantitativen Erwägungen folgendermaßen:

"It is roughly estimated ... that the stored information in the human DNA falls short, by at least two orders of magnitude, of the amount required for the complete specification of the circuitry of the human cortex. Therefore a substantial portion of the structure (interneuronal synaptic connections) as well as the function of the human cortex should be attributed to the stochastic interplay between the developing human neonate and its environment." (S. 348)

8.4 Exkurs zur Künstlichen Intelligenz-Forschung: die Simulation einer Simulation

Oben wurde Kognition als aus zwei Aspekten bestehend beschrieben, aus einem simulativ-synthetischen und einem repräsentativ-analytischen. Das Ziel der Cognitive Science und der Forschung zur künstlichen Intelligenz (auch "KI") ist es, kognitive Prozesse in einem künstlichen Medium (z.B. einem Computer) nachzubilden (Newell & Simon, 1972). Es versteht sich von selbst, daß dieser sich herausbildende neue interdisziplinäre Wissenschaftszweig von unmittelbarer Relevanz für die Kognitive Psychologie ist, insofern diese gezwungen ist (bzw. die Möglichkeit erhält), ihre Theorien zur Kognition in lauffähige Modelle zu implementieren und damit zu testen (Boden, 1977; Pylyshyn, 1984; Simon, 1981; Bobrow & Hayes, 1985).

In einem kurzen Überblick möchte ich drei verschiedene Konzeptionen beschreiben, die in der Cognitive Science im Zusammenhang mit der Frage nach der

kognitiven Repräsentation (8.3.2) verfolgt werden.

a) der propositionale Ansatz:

Dieser Ansatz basiert auf der Verknüpfung und Vernetzung von einfachen Sätzen, die als Produktionsregeln oder Propositionen bezeichnet werden. Eine Proposition ist ein Wenn-Dann-Satz, d.h. in einem Bedingungsteil sind Tests spezifiziert, die über die Ausführung eines Aktionsteils entscheiden. Ein Produktionssystem besteht aus folgenden Komponenten: Sämtliche Propositionen sind in einem Produktionenspeicher zusammengefaßt, der damit das prozedurale Wissen des Systems darstellt (also das Wissen darüber, wie Symbole/Kognitionen zu prozessieren sind). In einem Arbeitsspeicher (von Newell (1973) als Analog zum menschlichen Kurzzeitgedächtnis aufgefaßt) ist das deklarative Wissen enthalten, etwa in Form von in Sätzen formulierten Tatbeständen. Eine dritte Systemkomponente ist der Interpret, der den Ablauf der Verarbeitung und Veränderung von Produktionen steuert (Opwis, 1988).

Im Zusammenspiel dieser Komponenten kann der Prozeß der Informationsverarbeitung modelliert werden: Daten im Arbeitsspeicher werden mit den Bedingungen der Propositionen im Produktionenspeicher verglichen (pattern matching), und dabei positiv betroffene Propositionen werden in einer "Konfliktmenge" instantiiert. Der nächste Schritt ist die Auswahl derjenigen Instantiierungen, die schließlich wirklich ausgeführt werden sollen. Hierzu müssen Konfliktlösungsstrategien formuliert sein, die Teil des Kontrollwissens des Interpreters sind (genauer bei Anderson, 1982, 1983; Langley, 1983; Ohlsson, 1984). Schließlich wird der Dann-Teil der als Sieger aus dieser Konfliktresolution hervorgegangenen Proposition ausgeführt: sei es als Zug eines Schachautomaten, als Diagnose in einem medizinischen Expertensystem (wie etwa MYCIN: Shortliffe, 1976) oder einem tutoriellen System (Tschacher et al., 1988: Diagnose von physikalischen Mißkonzepten).

Der propositionale Ansatz ist somit ein symbolverarbeitender sprachnaher Ansatz, der sich zur Darstellung relativ eindeutig erfaßbaren Wissens eignet, und hier auch plausibel im Sinne einer "folk psychology" (Fodor, 1987) erscheint. Er findet seine Grenzen sehr schnell dann, wenn Information in Form von Mustern, Bildern und

Relationen vorliegt.

Dies führte in der KI innerhalb der letzten Jahre zur verstärkten Beachtung des Ansatzes mentaler Modelle.

b) Der Ansatz der mentalen Modelle

Dieser Ansatz geht wesentlich auf Johnson-Laird (1980, 1983) zurück, der eine Theorie menschlicher Kognition als analoge Repräsentation entwickelte. Anstatt also eine deklarative Repräsentation über diskrete propositionale Sätze zu erlangen, wird die Relationsstruktur wahrgenommener Objekte und Prozesse analog abgebildet. Statt einer symbolischen Enkodierung gilt als zentraler Bestandteil von Kognition hier die Bildung isomorpher mentaler Modelle. Eine Debatte zu analogen Eigenschaften der mentalen Repräsentation fand bereits vorher in der Kognitiven Psychologie in Form der "imagery debate" statt (Rumelhardt & Norman, 1983; Kosslyn, 1976, Pylyshyn, 1973). Ebenso kann hier auf das Konzept der cognitive map verwiesen werden (Tolman, 1948; Rössler, 1981). Ein Überblick zu Untersuchungen über analoge Repräsentationen findet sich in Steiner (1988).

Nach Forbus & Gentner (1986) können beim Aufbau mentaler Modelle (untersucht besonders im Inhaltsbereich der Physik) verschiedene Stufen der modellhaften Repräsentation durchlaufen werden: die Abstraktheit der Modelle nimmt von der ersten prototypischen, kontextbezogenen Stufe zum abstrakten qualitativen Wissen eines Experten zu. "Denken" entspricht einem "Laufenlassen" von mentalen Modellen (envisioning nach deKleer & Brown, 1983, 1984). Eine computationale Theorie des Sehens als Konstruktion zunehmend genauer visueller Modelle wurde von Marr (1982) entwickelt.

Zum Ansatz mentaler Modelle gibt es innerhalb der Cognitive Science inzwischen eine sehr differenzierte Theoriebildung; allerdings scheint die Umsetzung in konkrete Computermodele noch kaum gelungen - in den Projekten zum DFG-Forschungsschwerpunkt Wissenspsychologie beispielsweise sind die Theorien inzwischen oft an mentale-Modell-Vorstellungen angelehnt, während die realisierte Implementierung typischerweise weiterhin dem propositionalen Schema verbunden ist.

c) Der konnektionistische Ansatz

Dieser Ansatz unterscheidet sich von den gängigen Theorien und Modellen der Informationsverarbeitung in der orthodoxen Cognitive Science entscheidend dadurch, daß er nicht mehr von seriellen Prozessen in symbolischen Systemen (abbildbar durch v. Neumann-Computer) ausgeht (vgl. die Überblicksartikel von Lischka & Diederich, 1987; Kemke, 1988; Palm, 1988). Repräsentation und Verarbeitung finden in sog. neuronalen Netzen statt, die inputs parallel verarbeiten können (McClelland, 1988; Hebb, 1949). Analog zum Aufbau von Nervensystemen wird ein System aus vielen einfachen Komponenten (Neuronen oder primitive Prozessoren) aufgebaut, die als input Muster von Erregungen erhalten, und auf dieser Grundlage die Struktur ihrer inneren Verknüpfungen verändern (s. Abb. 8.4).

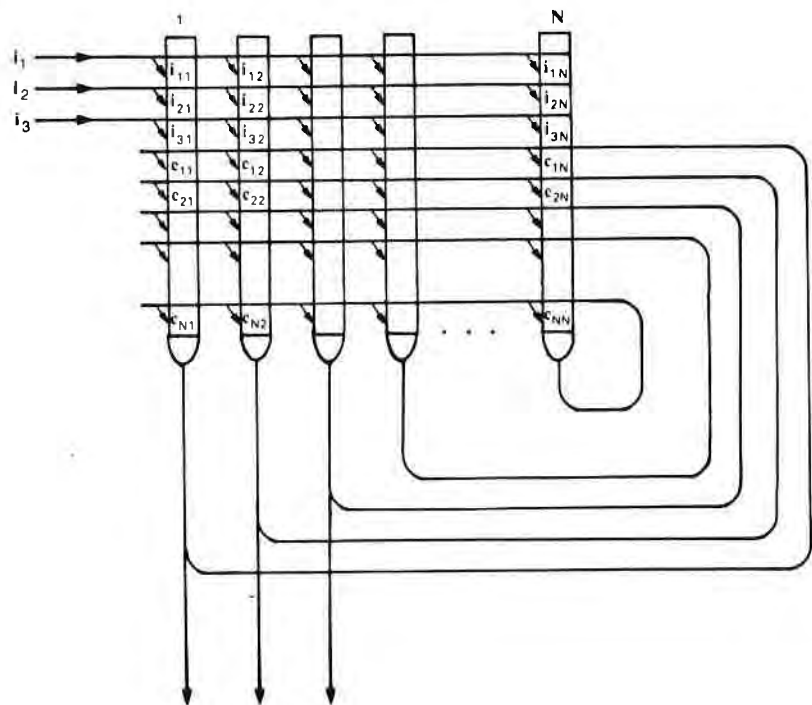


Abb. 8.4:
schematisches Modell eines neuronalen Netzwerks. Die Säulen 1 bis N stellen Neurone dar; c_{ij} sind die synaptischen Verbindungsstärken, i_1 bis i_3 einige Input-Fasern (aus: Palm, 1988)

Kognition wird dadurch als ein Aspekt der massiv-parallelen Interaktion solcher hochvernetzter Komponenten angesehen - sie geht aus der Interaktion der Mikroebene hervor. Damit ist ein Kritikpunkt an künstlicher Intelligenz ausgeräumt, der von Winograd & Flores (1986) und Dreyfus (1972) aus hermeneutischer Perspektive an die Adresse der symbolverarbeitenden KI gerichtet wurde: die Explikation von Wissen für die computationale Verarbeitung stoße an prinzipielle Grenzen der Reflexion, produziere

eine nicht hintergehbare Blindheit, weshalb Computer niemals wirklich intelligent sein könnten (Lischka & Diederich, 1987; Gödel, 1932). Das konnektionistische Paradigma hat m.E. das Potential, diesem Einwand dadurch zu begegnen, daß es denkbar wird, eine (zukünftige) parallele Maschine sich ihr Weltwissen via Selbstorganisation selbst aneignen zu lassen. Statt mittels eines "knowledge engineering" wie bei Produktions- und Expertensystemen entstünde auch künstliche Intelligenz weitgehend durch die selbstorganisierte Evolution von emergenten kognitiven Strukturen in einem Lern- und Entwicklungsprozeß. Zudem belegt Nicolis (1986), wiederum durch eine numerische Übersichtsrechnung, daß Kognition die Möglichkeiten serieller Computer mit v. Neumann-Architektur prinzipiell übersteigt, und fordert von daher analoge Computer mit chaotischen Prozessoren (s.u.).

Huberman & Hogg (1987) argumentieren, daß in ausgedehnten (large scale) KI-Systemen mit Phasenübergängen und anderen nonlinearen Effekten zu rechnen ist, die das globale Verhalten des Systems plötzlich verändern können. Dies betrifft konnektionistische Systeme und zelluläre Automaten (vgl. 6.1.4; Wolfram, 1984), die als computationale dynamische Systeme entworfen sind, aber auch große Produktionssysteme, deren Produktionsspeicher als spreading activation-Netzwerk konzipiert ist (vgl. Langley, 1983). Die globale Dynamik entwickelt sich durch die Konkurrenz von Aktivierung und Zerfall ab einer bestimmten topologischen Konnektivität der einzelnen Knoten. Huberman & Hogg vertreten, daß die Emergenz dieser universellen Phänomene einen alternativen Ansatz für das Studium und Design kognitiver Modelle und künstlicher Intelligenz möglich macht (s.a. Huberman, 1988: "computational ecologies").

Neuronale Netze haben Eigenschaften eines assoziativen Speichers: Muster, die der Speicher "gelernt" hat, können vervollständigt werden, auch wenn nur ein Teil, oder eine unscharfe, rotierte oder verzerrte Kopie des Originalmusters präsentiert wird. Diese Eigenschaft des Mustererkennens ist typisch für menschliche Wahrnehmung: wir erkennen etwa ein Gesicht in jeder Entfernung und Perspektive, auch wenn es fotografiert, gezeichnet oder karikiert ist. Mustererkennung (pattern recognition) ist ein Vorgang, der der Musterbildung (pattern formation) in selbstorganisierten Systemen analog ist, indem ein Ordnungsparameter die Freiheitsgrade einer Mikroebene versklavt

(Haken, 1989).

Ich denke, daß im konnektionistischen Ansatz eine geeignete Tiefensimulation für eine Selbstorganisationsauffassung kognitiver Systeme (wie die in der vorliegenden Arbeit vertretene) entstanden ist; dafür sprechen die Arbeiten und Symposien, die innerhalb des synergetischen Forschungsprogramms Themen des Konnektionismus und des PDP (parallel distributed processing) aufnehmen und in den Kontext einer Selbstorganisationstheorie stellen (Haken, 1985, 1987a, 1988b; Basar et al, 1983). Auch das letzte Symposium in Elmau über Synergetik und Kognition war teilweise diesen Modellen gewidmet (Haken & Stadler, 1990; Tschacher, 1990).

Der vorstehende kurze Abriß zu aktuellen Ansätzen in der Kognitionswissenschaft und KI hat gezeigt, daß auch hier das Konzept der Selbstorganisation begonnen hat, Auswirkungen zu zeigen, und Auswege aus den Sackgassen der herkömmlichen "computational theory of mind" (Reiter & Steiner, 1986) zu weisen. Ebenso wird aber auch ersichtlich, daß die Autopoiesetheorie hierzu nicht beitragen kann, denn die genannten Modelle dienen der Informationsverarbeitung und Repräsentation. Dennoch geht der Vorwurf eines Abbildungsrealismus, einer nur passiv-rezeptiven Wahrnehmung, wie er von konstruktivistischer Seite gern erhoben wird, insofern fehl, als innerhalb der Kognitionswissenschaft, besonders einer synergetisch geprägten, das aktive selbstinitiierte Modellieren bei Kognition und Wahrnehmung betont wird.

8.5 Deterministisches Chaos in der Informationsverarbeitung

Ein interessanter Aspekt einer synergetisch-dynamischen Betrachtungsweise hirnelektrophysiologischer Daten ist die Frage, inwieweit die neurologische Dynamik Eigenschaften des deterministischen Chaos aufweist. Studien haben ergeben, daß für verschiedene Schlafstadien die ableitbare elektrische Aktivität des Kortex chaotische Attraktoren von relativ niedriger Dimensionalität aufweist (Babloyantz, 1986). Die Dimension im Schlafstadium 2 lag bei $d \approx 5$ (Einbettungsdimension 6; größter Lyapunov-Exponent zwischen .4 und .8), im Schlafstadium 4 bei $d \approx 4$ (Einbettungsdimension 5;

größter Lyapunov-Exponent zwischen .3 und .6; vgl. Kapitel 5). Im wachen Zustand und im REM-Schlaf konnte keine Sättigung beobachtet werden, die Dimensionalität des Signals war demnach $d > 9$. Je tiefer der Schlaf war, desto niedriger in der Dimensionalität war die EEG-Dynamik. Weiterhin ist bekannt, daß der Zustand der Bewußtlosigkeit während eines epileptischen Anfalls von typischen periodischen spike-and-wave-Mustern des EEGs begleitet ist (Birbaumer, 1975). Mayer-Kress (1986) erinnert an diese Grenzzykeldynamik im EEG und zitiert Farmers (1982) Wunsch für die Teilnehmer des Elmau-Symposiums, der Chaos mit kreativem Denken gleichsetzt: "May your chaos always be of high dimension."

Fuchs et al. (1987) zeigen, daß das EEG einer wachen entspannten Person (α -Rhythmus) als Überlagerung von lediglich drei unabhängigen räumlichen Moden (Ordnungsparametern) rekonstruiert werden konnte; da zwei der Moden komplexe Zahlen waren, entspricht dies einem Zusammenwirken von fünf unabhängigen Variablen, die das räumliche EEG-Muster beschreiben.

Aus den Ergebnissen solcher Untersuchungen können Rückschlüsse über die Funktion chaotischer Dynamik bei der Informationsverarbeitung gezogen werden (Nicolis, 1986a). So sind die oben genannten zwei Aspekte von Kognition in den dynamischen Eigenschaften eines Attraktors darstellbar:

- * Kognition ist informationserzeugend und kreativ; dem entspricht die Divergenz chaotischer Dynamik. Die sensible Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen, die für Chaos grundlegend ist, sorgt für eine reichhaltige Reaktion auf externen input (Babloyantz, 1986).
- * Kognition als Informationsverarbeitung komprimiert Information aus der Umwelt. Dem entspricht die attrahierende Eigenschaft des Chaos, denn jede Ausgangsposition im Einzugsbereich des Attraktors wird schließlich auf die invariante Mannigfaltigkeit (eben den seltsamen Attraktor) hin abgebildet.

Ein Gehirn kann je nach "Bewußtseinslage" verschiedene qualitativ unterschiedliche Attraktoren realisieren, wie aus den EEG-Analysen hervorgeht. Nicolis (1986b) spekuliert, daß die Fähigkeit des kognitiven Systems, die externe Welt abzubilden, damit zusammenhängt, daß es mehrere koexistierende seltsame Attraktoren besitzt (s.

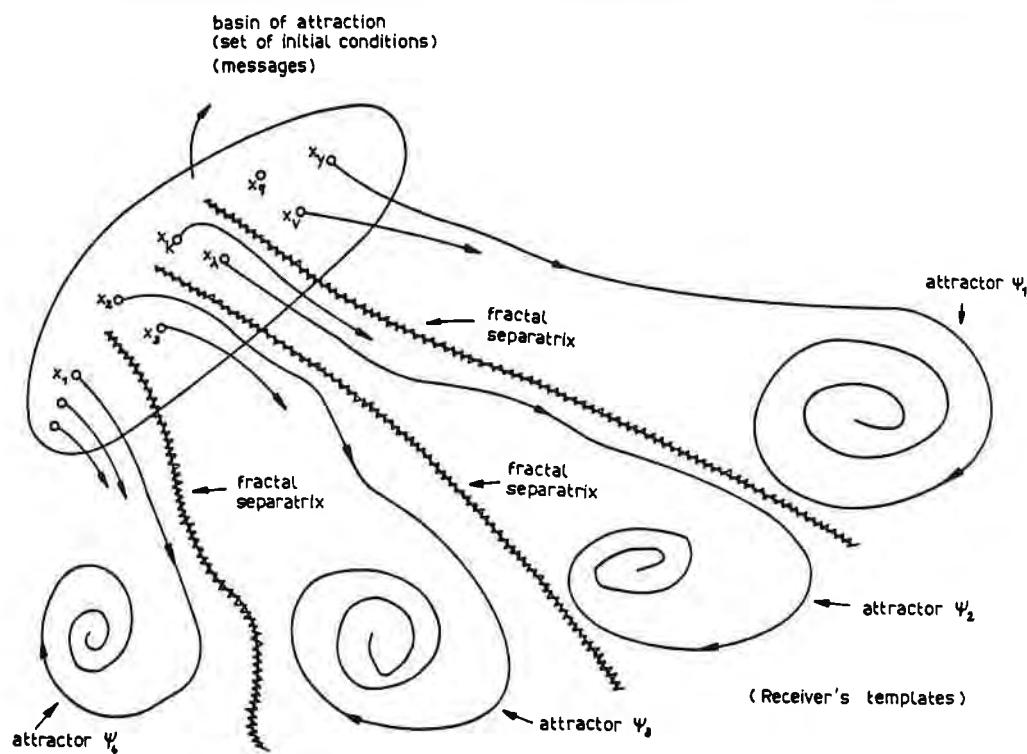


Abb. 8.5:
Das kognitive System als eine Anzahl von Attraktoren, die die vorhandene Information abbilden (aus: Nicolis, 1986b)

Abb. 8.5), die jeweils einen fraktal begrenzten Einzugsbereich abdecken. Ein Attraktor ist damit ein Prozessor, der Information komprimieren und speichern kann.

Insgesamt scheint die Diskussion über die Funktionalität chaotischer Prozesse in biologischen Systemen inzwischen zugunsten des Chaos entschieden (Winfree, 1980). Im Zusammenhang mit der Devise "healthy chaos - chaotic health" argumentieren Goldberger & Rigney (1988), daß in einer Reihe physiologischer Parameter extreme Periodizität Zeichen pathologischer Veränderungen sei, Chaos dagegen der in der Auseinandersetzung mit einer fluktuierenden Umwelt wichtigen Adaptabilität unterliege.

Im voranstehenden habe ich versucht, einer biologischen Theorie der Kognition und des neuronalen Systems einige alternative Ansätze zur Selbstorganisation und Dynamik kognitiver Systeme gegenüberzustellen. Insbesondere die tautologischen Züge der Autopoieseterminologie und die solipsistische Epistemologie des radikalen

Konstruktivismus wurden kritisiert; stattdessen favorisiere ich eine Konzeption des kognitiven Systems als informationsoffen und -verarbeitend. Um eine Analogie zu gebrauchen: so wie ein einfaches selbstorganisiertes System ungeordnete Energie in geordnete Bewegungsmuster wandelt, und deshalb nur als energetisch offenes System möglich ist, wandelt das Gehirn Information aus seiner Umwelt (und Teilen seiner selbst) in Kognitionen und kognitive Strukturen um, und muß deshalb informationsoffen sein. Daß das Gehirn Information auch selbst konstruiert und ordnet, bleibt dabei unbestritten: Träume, Phantasie und mentale Modelle sind Beispiele hierfür.

Wenn schließlich Menschen neben den selbstinitiierten Kognitionen offen für Informationen über Kognitionen anderer Individuen sind, entstehen soziale Systeme. Soziale Systeme sind damit nichts qualitativ von kognitiven Systemen verschiedenes; die Komponenten sind in beiden Fällen Kognitions-Emotions-Einheiten sowie die informationellen Flüsse zwischen den kognitiven Systemen und ihrer Umwelt. Pointiert könnte man sagen: ein soziales System ist ein sich über mehrere Individuen erstreckendes kognitives selbstorganisiertes System.

- ABRAHAM, R. H. & SHAW, C. D. 1983. Dynamics - The Geometry of Behavior (Vol. 0-3). Santa Cruz: Aerial Press.
- ABRAHAM, R. H. & SHAW, C. D. 1984a. Chaotic Behavior (Dynamics-The Geometry of Behavior, Vol. 2). Santa Cruz: Aerial Press.
- ABRAHAM, R. H. & SHAW, C. D. 1984b. Global Behavior (Dynamics-The Geometry of Behavior, Vol. 3). Santa Cruz: Aerial Press.
- AIELLO, J. 1987. Human Spatial Behavior. In: Stokols, D. & Altman, I. (Eds.): Handbook of Environmental Psychology, New York: Wiley, 389- 504.
- ALBERT, H. 1968. Traktat über kritische Vernunft. Tübingen: Mohr.
- ALLEN, P. M. & SANGLIER, M. 1980. Order by Fluctuation and the Human System. In: Zeleny, M. (Ed.): Autopoiesis, Dissipative Structures and Spontaneous Social Orders, Boulder.
- ALLPORT, G. W. 1962. The General and the Unique in Psychological Science. Journal of Personality, 30, 405-422.
- ALTMAN, I. 1975. The Environment and Social Behavior. Monterey, Cal.: Brooks/Cole.
- AN DER HEIDEN, U., ROTH, G. & SCHWEGLER, H. 1985. Die Organisation der Organismen: Selbsterstellung und Selbsterhaltung. Funkt. Biol. Med. 5, 330-346.
- AN DER HEIDEN, U. 1987. Das intensionale und das extensionale Abgrenzungsproblem komplexer Systeme. Universität Witten/Herdecke: unveröff. Manuskript.
- ANDERSON, J. R. 1982. Acquisition of Cognitive Skill. Psychological Review, 89, 369-406.
- ANDERSON, J. R. 1983. The Architecture of Cognition. Cambridge, Ma.: Harvard University Press.
- ARNOLD, V. I. 1972. Lectures on Bifurcations in Versal Families. Russ. Math. Surv. 27, 54-123.
- ASHBY, W. R. 1985. Einführung in die Kybernetik. Frankfurt: Suhrkamp.
- BABLOYANTZ, A. 1986. Evidence of Chaotic Dynamics of Brain Activity During the Sleep Cycle. In: Mayer-Kress, G. (Ed.): Dimensions and Entropies in Chaotic Systems, Berlin: Springer, 241-245.
- BAKEMAN, R. & GOTTMAN, J. M. 1986. Observing Interaction: An Introduction to Sequential Analysis. Cambridge: Cambridge University Press.
- BANDLER, R. & GRINDER, J. 1982. Reframing (Neuro-linguistic Programming and the Transformation of Meaning). Moab, Utah: Real People Press.
- BARKER, R. G. 1968. Ecological Psychology. Stanford: Stanford University Press.
- BARKER, R. G. 1978. Habitats, Environment, and Human Behavior. San Francisco: Jossey-Bass.

- BASAR, E., FLOHR, H., HAKEN, H. & MANDELL, A. J. (Eds.) 1983. Synergetics of the Brain. Berlin: Springer.
- BECK, A. P. 1983. A Process Analysis of Group Development. Group, 7, 19-26.
- BECKER, K.-H. & DÖRFLER, M. 1986. Computergrafische Experimente mit Pascal (Chaos und Ordnung in dynamischen Systemen). Braunschweig: Vieweg.
- BELL, P. A., FISHER, J. D. & LOOMIS, R. J. 1978. Environmental Psychology. Philadelphia: Saunders.
- BÉNARD, H. 1901. Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide transportant de la chaleur par convection en régime permanent. Annales de Chimie et de Physique, 23, 62-144.
- BERGÉ, P., POMEAU, Y. & VIDAL, C. 1984. Order within Chaos (Towards a Deterministic Approach to Turbulence). New York, Paris: Wiley, Hermann.
- BERGIN, A. E. & STRUPP, H. H. 1970. New Directions in Psychotherapy Research. Journal of Abnormal Psychology, 76, 13-26.
- BERLINSKI, D. 1978. Catastrophe Theory and its Applications: A Critical Review. Behavioral Science, 23, 402-416.
- BERTALANFFY, L. v. 1968. General System Theory. New York: Braziller.
- BERTALANFFY, L. v., BEIER, W. & LAUE, R. 1977. Biophysik des Fließgleichgewichts. Braunschweig: Vieweg.
- Bibliographisches Institut 1987. Meyers kleines Lexikon Philosophie. Mannheim: Meyers Lexikonverlag.
- BIRBAUMER, N. 1975. Physiologische Psychologie. Heidelberg: Springer.
- BIRBAUMER, N. & SCHMIDT, R. F. 1989. Biologische Psychologie. Berlin: Springer.
- BISCHOF, N. 1985. Das Rätsel Ödipus (Die biologischen Wurzeln des Urkonfliktes von Intimität und Autonomie). München: Piper.
- BOBROW, D. G. & HAYES, P. J. (Eds.) 1985. Artificial Intelligence - Where are We? Artificial Intelligence, 25, 375-415.
- BODEN, M. A. 1977. Artificial Intelligence and Natural Man. New York: Basic Books.
- BORTZ, G. 1985. Lehrbuch der Statistik (Für Sozialwissenschaftler). Berlin: Springer.
- BOSCH, M. 1986. Macht, Familientherapie und das systemisch-organismische Paradigma. Zeitschrift für systemische Therapie, 4, 232-242.
- BOSCOLO, L., CECCHIN, G., HOFFMAN, L. & PENN, P. 1988. Familientherapie - Systemtherapie (Das Mailänder Modell). Dortmund: verlag modernes lernen.
- BOSSEL, H. 1987. Systemdynamik (Grundwissen, Methoden und BASIC- Programme zur Simulation dynamischer Systeme). Braunschweig: Vieweg.
- BOWEN, M. 1978. Family Therapy in Clinical Practice. New York: Jason Aronson.

- BOX, G. E. & JENKINS, G. M. 1970. Time Series Analysis. Forecasting and Control. San Francisco: Holden-Day.
- BRÄHLER, E., KLEIN, H. & OVERBECK, A. 1984. Die automatische Interaktionschronographie von Familientherapiesitzungen. In: Brunner, E. J. (Ed.): Interaktion in der Familie, Berlin: Springer, 173-190.
- BRAY, W. C. 1921. A Periodic Reaction in Homogeneous Solution and Its Relation to Catalysis. Journal of the American Chemical Society, 43, 1262-1267.
- BROADBENT, D. E. 1958. Perception and Communication. New York: Pergamon.
- BRUNNER, E. J. 1986. Grundfragen der Familientherapie (Systemische Theorie und Methodologie). Berlin: Springer.
- BRUNNER, E. J. 1988. Pioniere systemischen Denkens. In: Reiter, L., Brunner, E. J. & Reiter-Theil, S. (Eds.): Von der Familientherapie zur systemischen Perspektive, Berlin: Springer.
- BRUNNER, E. J., ODRONITZ-DIETERLE, A. & BRUNNER-WÖRNER, R. 1984. Der Reutlinger Familieninteraktions-Diagnosebogen: Ein Kategoriensystem zur Erfassung familiärer Interaktion. In: Brunner, E. J. (Ed.): Interaktion in der Familie, Berlin: Springer, 273-288.
- BRUNNER, E. J. & SCHIEPEK, G. 1989. Sozialwissenschaftliche Synergetik (Antrag auf Förderung eines interuniversitären Forschungsvorhabens). Universitäten Tübingen und Bamberg: unveröff. Manuskript.
- BUNGE, M. 1979. Treatise on Basic Philosophy, Vol. 4 (Ontology II: A World of Systems). Dordrecht: Reidel.
- BUNGE, M. 1984. Das Leib-Seele-Problem (Ein psychobiologischer Versuch). Tübingen: Mohr.
- BUNGE, M. & ARDILA, R. 1987. Philosophy of Psychology. New York: Springer.
- CAMPBELL, D. T. & STANLEY, J. C. 1963. Experimental and Quasi-experimental Designs for Research on Teaching. In: Gage, N. L. (Ed.): Handbook of Research on Teaching, Chicago: Rand-McNally, 171-246.
- CANNON, W. B. 1932. The Wisdom of the Body. New York: Appleton.
- CAPPELLA, J. N. & GREENE, J. O. 1982. A Discrepancy-arousal Explanation of Mutual Influence in Expressive Behavior in Adult and Infant-adult Interaction. Communication Monographs, 49, 89-114.
- CARNAP, R. 1933. Über Protokollsätze. Erkenntnis, 3, 215-228.
- CASTI, J. L. 1987. Behavior to Cognition: A System-Theoretic Inquiry into Brains, Minds, and Mechanisms. In: Casti, J. L. & Karlqvist, A. (Eds.): Real Brains - Artificial Minds, New York: Elsevier, 47-76.
- CHOMSKY, N. 1986. Knowledge of Language (its Nature, Origin, and Use). New York: Praeger.
- CIOMPI, L. 1988. Außenwelt Innenwelt (Die Entstehung von Zeit, Raum und psychischen Strukturen). Göttingen: Vandenhoeck.

- CISSNA, K. N. 1984. Phases in Group Development: the Negative Evidence. *Small Group Behavior*, 15, 3-32.
- CLAUB, G. & EBNER, H. 1977. *Grundlagen der Statistik (für Psychologen, Pädagogen und Soziologen)*. Thun: Verlag Harri Deutsch.
- CRUTCHFIELD, J.; FARMER, J.D.; PACKARD, N.; SHAW, R.; JONES, G.; DONELLY, R.J.; 1980. Power Spectral Analysis of a Dynamical System. *Physics Letters*, 76A, 1-4.
- CRUTCHFIELD, J. P., FARMER, J. D., PACKARD, N. H. & SHAW, R. S. 1987. Chaos. *Spektrum der Wissenschaft*, 78-90.
- Data Translation 1988. *Data Acquisition Handbook 1988/89*. Marlboro, Ma.: Data Translation Inc.
- DAVIES, D. & KUYPERS, B. C. 1985. Group Development and Interpersonal Feedback. *Group & Organization Studies*, 10, 184-208.
- DAVISON, G. C. & NEALE, J. M. 1988. *Klinische Psychologie (Ein Lehrbuch)*. München: Psychologie Verlags Union.
- DEKER, U. & THOMAS, H. 1983. Die Chaos-Theorie. *Bild der Wissenschaft*, 62-75.
- DE KLEER, J. & BROWN, J. S. 1983. Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models. In: Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.): *Mental Models*, Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 155-190.
- DE KLEER, J. & BROWN, J. S. 1984. A Qualitative Physics Based on Confluences. *Artificial Intelligence*, 24, 7-83.
- DELL, P. F. 1982. Beyond Homeostasis: Towards a Concept of Coherence. *Family Process*, 21, 21-41.
- DEWDNEY, A. K. 1987. Computer-Kurzweil. *Spektrum der Wissenschaft*, 6-9.
- DIEDERICH, J. 1986. *Kognitive Parallelverarbeitung*. München: Oldenbourg. (GMD-Bericht Nr.159)
- DIXON, N. F. 1981. *Preconscious Processing*. Chichester: Wiley.
- DÖRNER, D. 1984. Modellbildung und Simulation. In: Roth, E. (Ed.): *Sozialwissenschaftliche Methoden*, München: Oldenbourg, 337-350.
- DÖRNER, D. 1989a. Die kleinen grünen Schildkröten und die Methoden der experimentellen Psychologie. *Sprache & Kognition*, 8, 86-97.
- DÖRNER, D. 1989b. *Die Logik des Mißlingens*. Reinbek: Rowohlt.
- DÖRNER, D., KREUZIG, H. W., REITHER, F. & STÄUDEL, T. (Eds.) 1983. *Lohhausen: Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- DOHERTY, W. J. 1986. Quanta, Quarks, and Families: Implications of Quantum Physics for Family Research. *Family Process*, 25, 249-264.
- DREYFUS, H. L. 1972. *What Computers Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. New York: Harper & Row.

- DRUWE, U. 1988. "Selbstorganisation" in den Sozialwissenschaften. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 40, 762-775.
- EIGEN, M. 1982. Ursprung und Evolution des Lebens auf molekularer Ebene (in *Physics, Chemistry, and Biology*). In: Haken, H. (Ed.): *Evolution of Order and Chaos (in Physics, Chemistry, and Biology)*, Berlin: Springer, 6-25.
- EIGEN, M. & SCHUSTER, P. 1979. *The Hypercycle (A Principle of Natural Self-Organization)*. Berlin: Springer.
- EIGEN, M. & WINKLER, R. 1975. *Das Spiel (Naturgesetze steuern den Zufall)*. München: Piper.
- EKMAN, P. & FRIESEN, W. V. 1971. Constants across Cultures in the Face and Emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 17, 124-129.
- EKMAN, P. & FRIESEN, W. V. 1978. *Manual for the Facial Action Coding System*. Palo Alto, Cal.: Consulting Psychologists Press.
- ELKAIM, M. 1985. From General Laws to Singularities. *Family Process*, 24, 151-164.
- ELLIS, A. 1977. *Die rational-emotive Therapie*. München: Pfeiffer.
- ENKE, H. 1983. Soziophysiologie. In: Enke, H. & Tschuschke, V. (Eds.): *Psychotherapeutisches Handeln*, Stuttgart: Kohlhammer, 101-118.
- FARMER, J. D. 1982. Dimension, Fractal Measures, and Chaotic Dynamics (in *Physics, Chemistry, and Biology*). In: Haken, H. (Ed.): *Evolution of Order and Chaos (in Physics, Chemistry, and Biology)*, Berlin: Springer, 228-247.
- FARRELLI, F. & BRANDSMA, J. M. 1986. *Provokative Therapie*. Berlin: Springer.
- FEIGENBAUM, M. J. 1978. Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations. *J. Stat. Phys.* 19, 25-52.
- FENGLER, J. 1986. Soziologische und sozialpsychologische Gruppenmodelle. In: Petzold, H. & Fröhmann, R. (Ed.): *Modelle der Gruppe in Psychotherapie und psychosozialer Arbeit*, Paderborn: Junfermann, 33-108.
- FEYERABEND, P. 1986. *Wider den Methodenzwang*. Frankfurt: Suhrkamp.
- FISHER, J. D., BELL, P. A. & BAUM, A. 1984. *Environmental Psychology*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- FODOR, J. A. 1981. *Representations (Philosophical Essays on the Foundations of Cognitive Science)*. Brighton: Harvester Press.
- FODOR, J. A. 1987. *Psychosemantics: the Problem of Meaning in the Philosophy of Mind*. Cambridge, Ma.: MIT Press.
- FOERSTER, F. 1984. *Computerprogramme zur Biosignalanalyse*. Berlin: Springer.

- FOERSTER, H. v. 1985. Entdecken oder Erfinden. Wie läßt sich Verstehen verstehen? In: Gumin, H. & Mohler, A. (Ed.): Einführung in den Konstruktivismus, München: Oldenbourg, 27-68.
- FOERSTER, H. v. 1988. Abbau und Aufbau. In: Simon, F. B. (Ed.): Lebende Systeme, Berlin: Springer, 19-33.
- FORBUS, K. D. & GENTNER, D. 1986. Learning Physical Domains: Toward a Theoretical Framework (An Artificial Intelligence Approach). In: Michalski, R. S., Carbonell, J. G. & Mitchell, T. M. (Eds.): Machine Learning (An Artificial Intelligence Approach), Los Altos: Morgan Kaufmann, 311-348.
- FREUD, S. 1920. Jenseits des Lustprinzips (Gesamtausgabe Bd. XIII). Frankfurt: Fischer.
- FRIESEN, W. V. & EKMAN, P. 1984. EMFACS-7. Unpublished manual.
- FRIJDA, N. H. 1965. Mimik und Pantomimik (Handbuch der Psychologie, 5. Band). In: Kirchhoff, R. (Ed.): Ausdruckspsychologie (Handbuch der Psychologie, 5. Band), Göttingen: Hogrefe, 351-421.
- FRINDTE, W., SCHWARZ, H. & ROTH, F. 1989. Selbst- und Fremdorganisation in sozialen Systemen - ein neuer sozialpsychologischer Ansatz (Oder: wie bewegen wir soziale Systeme, daß sie sich selbst bewegen?). Jena: Forschungsergebnisse der Friedrich-Schiller-Universität Nr. 6/89/1 (Sektion Psychologie).
- FUCHS, A., FRIEDRICH, R., HAKEN, H. & LEHMANN, D. 1987. Spacio-Temporal Analysis of Multi-Channel Alpha EEG Map Series. In: Haken, H. (Ed.): Computational Systems - Natural and Artificial, Berlin: Springer, 74-85.
- GARDNER, M. 1979. Mathematical Circus. New York: Alfred A. Knopf.
- GARDNER, M. 1983. Kabarett der Täuschungen. Berlin: Ullstein.
- GARFIELD, S. L. & BERGIN, A. E. (Eds.) 1986. Handbook of Psychotherapy and Behavior Change. New York: Wiley.
- GENTNER, D. & STEVENS, A. L. 1983. Mental Models. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- GERSICK, C. J. G. 1988. Time and Transition in Work Teams: Toward a New Model of Group Development. Academy of Management Journal, 31, 9-41.
- GIBSON, J. J. 1979. The Ecological Approach to Visual Perception. Boston: Houghton Mifflin.
- GLANSDORFF, P. & PRIGOGINE, I. 1971. Thermodynamic Theory of Structure, Stability, and Fluctuations. New York: Wiley.
- GLASERSFELD, E. v. 1987. Wissen, Sprache und Wirklichkeit (Arbeiten zum radikalen Konstruktivismus). Braunschweig: Vieweg.
- GLEICK, J. 1988. Chaos - die Ordnung des Universums (Vorstoß in Grenzbereiche der modernen Physik). München: Droemer-Knaur.
- GÖDEL, K. 1932. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, 173-198.

- GOLDBERGER, A. L. & RIGNEY, D. R. 1988. Sudden Death is not Chaos. In: Kelso, J. A. S., Mandell, A. J. & Shlesinger, M. F. (Eds.): *Dynamic Patterns in Complex Systems*, Singapore: World Scientific, 248-264.
- GRASSBERGER, P. & PROCACCIA, I. 1983. Measuring the Strangeness of Strange Attractors. *Physica*, 9D, 189-208.
- GRINDER, J. & BANDLER, R. 1981. *Trance-formations*. Moab, Utah: Real People Press.
- GUCKENHEIMER, J. & HOLMES, P. 1983. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. New York: Springer.
- GUNTERN, G. 1985. Ausbildung und Therapiekontrolle in der Systemtherapie. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 3, 141-153.
- GURMAN, A. S., KNISKERN, D. P. & PINSOFF, W. M. 1986. Research on Marital and Family Therapies. In: Garfield, S. L. & Bergin, A. E. (Eds.): *Handbook of Psychotherapy and Behavior Change*, New York: Wiley, 565-626.
- GUTTMAN, H. A. 1985. Epistemologie, Systemtheorien und die Theorie der Familientherapie. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 3, 13-20.
- HAKEN, H. & STADLER, M. (Eds.) 1990. *Synergetics of Cognition*. Berlin: Springer.
- HAKEN, H. 1983a. *Synergetik: eine Einführung (Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie)*. Berlin: Springer. (2. Auflage)
- HAKEN, H. 1983b. *Advanced Synergetics (Instability Hierarchies of Selforganizing Systems and Devices)*. Berlin: Springer. (3. Auflage)
- HAKEN, H. 1984. *Erfolgsgeheimnisse der Natur (Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken)*. Frankfurt: Ullstein.
- HAKEN, H. 1985. Operational Approaches to Complex Systems. An Introduction (in Neurobiology, Physics, and Computers). In: Haken, H. (Ed.): *Complex Systems - Operational Approaches (in Neurobiology, Physics, and Computers)*, Berlin: Springer, 1-13.
- HAKEN, H. 1987a. Synergetic Computers for Pattern Recognition and Associative Memory. In: Haken, H. (Ed.): *Computational Systems - Natural and Artificial*, Berlin: Springer, 2-23.
- HAKEN, H. 1988a. *Information and Self-Organization (A Macroscopic Approach to Complex Systems)*. Berlin: Springer.
- HAKEN, H. 1989. Synergetics as a Tool to Conceptualize and Mathematize Cognition and Behavior: How Far Can We Go? (Vortrag, gehalten auf dem "International Symposium on Synergetics of Cognition", Schloss Elmau, 4. Juni 1989).
- HAKEN, H. (Ed.) 1987a. *Computational Systems - Natural and Artificial*. Berlin: Springer.
- HAKEN, H. (Ed.) 1988b. *Neural and Synergetic Computers*. Berlin: Springer.
- HALEY, J. 1985. *Direktive Familientherapie (Strategien für die Lösung von Problemen)*. München: Pfeiffer.

- HALL, E. T. 1966. The Hidden Dimension. Garden City, N.Y.: Doubleday.
- HANDFINGER, R. 1984. The Contextual Organization Model for Processing and Evaluating (COMPE): A Theoretical Tool for Practitioners in the Behavioral Sciences. *Small Group Behavior*, 15, 375-386.
- HAWKING, S. W. 1988. Eine kurze Geschichte der Zeit (Die Suche nach der Urkraft des Universums). Reinbek: Rowohlt.
- HAYES, B. 1988. Zelluläre Automaten. *Spektrum der Wissenschaft*, Sonderband Computer II, 60-67.
- HEBB, D. O. 1949. The Organization of Behavior. New York: Wiley.
- HEIMANN, H., SCHNEIDER, F., ELLGRING, J. & HIMER, W. 1989. Mimisches Ausdrucksverhalten Schizophrener. Tübingen, Berlin: unveröff. DFG-Antrag.
- HERSEN, M. & BARLOW, D. H. (Eds.) 1976. Single Case Experimental Designs. Oxford: Pergamon.
- HOCH, P. H. & ZUBIN, J. (Eds.) 1964. The Evaluation of Psychiatric Treatment. New York: Grune and Stratton.
- HUBERMAN, B. & CRUTCHFIELD, J. P. 1979. Chaotic States of Anharmonic Systems in Periodic Fields. *Phys. Rev. Lett.* 43, 1743-1747.
- HUBERMAN, B. A. & HOGG, T. 1987. Phase Transitions in Artificial Intelligence Systems. *Artificial Intelligence*, 33, 155-171.
- HUBERMAN, B. A. (Ed.) 1988. The Ecology of Computation (Studies in Computer Science and Artificial Intelligence). Amsterdam: North-Holland.
- ITTELSON, W. H., PROSHANSKY, H. M., RIVLIN, L. G. & WINKEL, G. H. 1974. An Introduction to Environmental Psychology. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- IZARD, C. E. 1971. The Face of Emotion. New York: Appleton.
- JAMES, W. 1890. Principles of Psychology. New York: Holt.
- JANTSCH, E. 1979. Die Selbstorganisation des Universums (Vom Urknall zum menschlichen Geist). München: Hanser.
- JAYNES, E. T. 1985. Macroscopic Prediction. In: Haken, H. (Ed.): *Complex Systems - Operational Approaches*, Berlin: Springer, 254-269.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. 1980. Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. 1983. Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness. Cambridge: Cambridge University Press.
- KAMINSKI, G. & IMMELMANN, K. 1987. Die ökologische Perspektive (Verhalten bei Mensch und Tier). In: Deutsches Institut für Fernstudien: *Funkkolleg Psychobiologie (Verhalten bei Mensch und Tier)*, Weinheim: Beltz, 57-119.

- KANTOR, D. & LEHR, W. 1975. Inside the Family (Toward a Theory of Family Process). San Francisco: Jossey-Bass.
- KEBECK, G. 1984. Feidtheorie (Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen). In: Lück, H. E., Miller, R. & Rehtien, W. (Ed.): Geschichte der Psychologie (Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen), München: Urban & Schwarzenberg, 96-101.
- Keithley Instruments 1988. Data Aquisition & Control (Catalog Vol. 18). Taunton, Ma.: MetraByte Corporation.
- KELLY, G. A. 1955. The Psychology of Personal Constructs. New York: Norton. (Vol. 1 & 2)
- KELSO, J. A. S., MANDELL, A. J. & SHLESINGER, M. F. (Eds.) 1988. Dynamic Patterns in Complex Systems. Singapore: World Scientific.
- KEMKE, C. 1988. Der neuere Konnektionismus. Informatik-Spektrum, 11, 143-162.
- KIESLER, D. J. 1966. Some Myths of Psychotherapy Research and the Search for a Paradigm. Psychological Bulletin, 65, 110-136.
- KLEITER, G. D. & SCHWARZENBACHER, K. 1989. Beyond the Answer: Post-error Processes. Cognition, 32, 255-277.
- KOÇAK, H. 1986. Differential and Difference Equations through Computer Experiments (With Diskettes Containing PHASER: An Animator/ Simulator for Dynamical Systems for IBM Personal Computers). New York: Springer.
- KÖHLER, W. 1920. Die physischen Gestalten in Ruhe und in stationärem Zustand. Braunschweig: Vieweg.
- KOLATA, G. B. 1977. The Emperor has no Clothes. Science, 196, 350-351.
- KOLERS, P. A. & SMYTHE, W. E. 1984. Symbol Manipulation: Alternatives to the Computational View of Mind. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 23, 289-314.
- KOSSLYN, S. M. 1976. Can Imagery be Distinguished from Other Forms of Internal Representations? Evidence from Studies of Information Retrieval Times. Memory and Cognition, 4, 291-297.
- KRAUSE, H. 1989. Die Methode der Computersimulation zur Beschreibung der Dynamik sozialer Systeme (Untersuchung von Modellen der Selbstorganisation). Universität Tübingen: unveröff. Magisterarbeit.
- KRINSKY, V. I. 1984b. Autowaves: Results, Problems, Outlooks (Autowaves and Structures Far from Equilibrium). In: Krinsky, V. I. (Ed.): Self-Organization (Autowaves and Structures Far from Equilibrium), Berlin: Springer, 9-21.
- KRINSKY, V. I. (Ed.) 1984a. Self-Organization (Autowaves and Structures Far from Equilibrium). Berlin: Springer.
- KRIZ, J. 1985. Grundkonzepte der Psychotherapie. München: Urban & Schwarzenberg.
- KRIZ, J. 1987. Systemebenen in der Psychotherapie. In: Schlippe, A. v. & Kriz, J. (Eds.): Symposium Familientherapie, Kontroverses - Gemeinsames <1986, Osnabrück>, Wildberg: Bögner-Kaufmann, 76-87.

- KRIZ, J. 1990. Synergetics in Clinical Psychology. In: Haken, H. & Stadler, M. (Eds.): Synergetics of Cognition, Berlin: Springer, 393-404.
- KROHN, W., KÜPPERS, G. & PASLACK, R. 1987. Selbstorganisation - Zur Genese und Entwicklung einer wissenschaftlichen Revolution. In: Schmidt, S. J. (Ed.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt: Suhrkamp, 441-465.
- KRUEGER, F. R. 1984. Physik und Evolution (Physikalische Ansätze zu einer Einheit der Naturwissenschaften auf evolutiver Grundlage). Berlin: Paul Parey.
- KRUSE, P. & STADLER, M. 1990. Stability and Instability in Cognitive Systems: Some Old Phenomena and New Perspectives. In: Haken, H. & Stadler, M. (Eds.): Synergetics of Cognition, Berlin: Springer, 201-215.
- KÜPPERS, G. 1987. Die verschiedenen Konzepte der Selbstorganisation - ein Vergleich. Universität Bielefeld: unveröff. Manuskript.
- KUGLER, P. N. & TURVEY, M. T. 1987. Information, Natural Law, and the Self-assembly of Rhythmic Movement. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- KUHN, T. S. 1967. Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp.
- KUNCE, J. T., KUNCE, H. W., MOORE, E. J. & LAVIN, T. 1981. Interactional Personality, Mathematical Simulation, and Prediction of Interpersonal Compatibility. Journal of Clinical Psychology, 37, 749-754.
- KUTTER, P. 1986. Gibt es typische Verläufe in der psychoanalytischen Gruppentherapie? Gruppenpsychotherapie und Gruppendynamik, 22, 1-8.
- LACEY, J. L. & LACEY, B. C. 1970. Some Autonomic-central Nervous Relationships. In: Black, P. (Ed.): Physiological Correlates of Emotion, New York: Academic Press.
- LAKATOS, I. 1970. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In: Lakatos, I. & Musgrave, A. (Eds.): Criticism and the Growth of Knowledge, Cambridge, 91-196.
- LANGLEY, P. 1983. Exploring the Space of Cognitive Architectures. Behavior Research Methods & Instrumentation, 15, 289-299.
- LARBIG, W. 1982. Schmerz. Stuttgart: Kohlhammer.
- LEVOLD, T. 1986. Die Therapie der Macht und die Macht der Therapie. Zeitschrift für systemische Therapie, 4, 243-252.
- LEWIN, K. 1936. Principles of Topological Psychology. New York: McGraw-Hill.
- LEWIN, K. 1942. Field Theory of Learning. Yearbook of the National Society for the Study of Education, 41, 215-242. (Wiederabdruck in der Lewin-Werkausgabe, Bd. 4, 157-185)
- LEWIN, K. 1947. Frontiers in Group Dynamics. Human Relations, 1, 2-38. (deutsch in Lewin, 1963: Feldtheorie in den Sozialwissenschaften)
- LEWIN, K. 1969. Grundzüge der topologischen Psychologie. Bern: Huber.

- LEWIS, C. M. 1985. The Impact of Tasks of Group Development on the Psychotherapeutic Treatment of Depression in Groups. *International Journal of Mental Health*, 13, 105-118.
- LISCHKA, C. & DIEDERICH, J. 1987. Gegenstand und Methode der Kognitionswissenschaft. *GMD-Spiegel*, 2/3, 21-32.
- LITTLE, M. 1951. Countertransference and the Patient's Response to it. *International Journal of Psychoanalysis*, 32.
- LORENZ, E. N. 1963. Deterministic Non-periodic Flow. *J. Atmos. Sci.* 20, 130-141.
- LORENZ, K. 1978. *Vergleichende Verhaltensforschung (Grundlagen der Ethologie)*. Wien: Springer.
- LUDEWIG, K. 1983. Die therapeutische Intervention - eine signifikante Verstörung der Familienkohärenz im therapeutischen System. In: Schneider, K. (Ed.): *Familientherapie in der Sicht psychotherapeutischer Schulen*, Paderborn: Junfermann, 78-95.
- LUDEWIG, K. 1987. Vom Stellenwert diagnostischer Maßnahmen im systemischen Verständnis von Therapie. In: Schiepek, G. (Ed.): *Systeme erkennen Systeme*, München: Psychologie Verlags Union, 155-173.
- LUDEWIG, K. 1988. Welches Wissen soll Wissen sein? Reflektionen eines Praktikers zu Fragen einer systemischen Forschung. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 6, 122-127.
- LUHMANN, N. 1985. *Ökologische Kommunikation*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- LUHMANN, N. 1988. Selbstreferentielle Systeme. In: Simon, F. B. (Ed.): *Lebende Systeme*, Berlin: Springer, 47-53.
- LUHMANN, N. 1984. *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt: Suhrkamp.
- LYNCH, K. 1960. *The Image of the City*. Cambridge, Ma.: MIT Press.
- MANDELBROT, B. B. 1987. *Die fraktale Geometrie der Natur*. Basel: Birkhäuser.
- MANDL, H. & HUBER, G. L. 1983. Theoretische Grundpositionen zum Verhältnis von Emotion und Kognition. In: Mandl, H. & Huber, G. L. (Eds.): *Emotion und Kognition*, München: Urban & Schwarzenberg, 1-60.
- MARR, D. 1982. *Vision (A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information)*. San Francisco: Freeman.
- MARRACK, P. & KAPPLER, J. 1987. The T Cell Receptor. *Science*, 238, 1073-1079.
- MATURANA, H. R. 1982. *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit*. Braunschweig: Vieweg.
- MATURANA, H. R. 1987. Kognition. In: Schmidt, S. J. (Ed.): *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*, Frankfurt: Suhrkamp, 89-118.
- MATURANA, H. R. & VARELA, F. J. 1980. *Autopoiesis and Cognition (The Realization of the Living)*. Dordrecht: Reidel.

- MATURANA, H. R. & VARELA, F. J. 1987. Der Baum der Erkenntnis. Bern: Scherz.
- MAY, R. M. 1976. Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics. *Nature*, 261.
- MAYER-KRESS, G. (Ed.) 1986. Dimensions and Entropies in Chaotic Systems. Berlin: Springer.
- MCCLELLAND, J. L. 1988. Connectionist Models and Psychological Evidence. *Journal of Memory and Language*, 27, 107-123.
- MCCLELLAND, J. L. & RUMELHART, D. E. 1988. Explorations In Parallel Distributed Processing (A Handbook of Models, Programs, and Exercises). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- MCDAVID, J. W. & HARARY, H. 1968. Social Psychology (Individuals, Groups, Societies). New York: Harper & Row.
- METZINGER, T. 1985. Neuere Beiträge zur Diskussion des Leib-Seele-Problems. Frankfurt: Peter Lang.
- MILLER, G. A. 1984. Informavores (Interdisciplinary Messages). In: Machlup, F. & Mansfield, U. (Eds.): The Study of Information (Interdisciplinary Messages), New York: Wiley.
- MILLER, G. A., GALANTER, E. & PRIBRAM, K. H. 1960. Plans and the Structure of Behavior. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- MILTNER, W., BIRBAUMER, N. & GERBER, W.-D. 1986. Verhaltensmedizin. Berlin: Springer.
- MINUCHIN, S. 1977. Familie und Familientherapie (Theorie und Praxis struktureller Familientherapie). Freiburg: Lambertus.
- MINUCHIN, S. & FISHMAN, H. C. 1985. Praxis der strukturellen Familientherapie. Freiburg: Lambertus.
- MINUCHIN, S., ROSMAN, B. & BAKER, L. 1981. Psychosomatische Krankheiten in der Familie. Stuttgart: Klett-Cotta.
- MOLEN, M. W. v. d., SOMSEN, R. J. M. & ORLEBEKE, J. F. 1985. The Rhythm of the Heart Beat in Information Processing. In: Ackles, P. K., Jennings, J. R. & Coles, M. G. H. (Eds.): Advances in Psychophysiology: A Research Annual, Greenwich, Co.: JAI Press, 1-88.
- MONOD, J. 1971. Zufall und Notwendigkeit. München: Piper.
- MUSTERLE, W. A. 1987. Entwicklung eines multivariablen, graphischen Displays zur Überwachung eines chemischen Reaktors. Universität Tübingen: Dissertation.
- NEISSER, U. 1976. Cognition and Reality (Principles and Implications of Cognitive Psychology). San Francisco: Freeman.
- NEUMANN, J. v. & MORGENSTERN, O. 1963. Theory of Games and Economic Behaviour. Princeton: University Press.
- NEUMANN, J. v. 1963. The General and Logical Theory of Automata (Volume V). In: Neumann, J. v. (Ed.): Collected Works (Vol. V), Oxford: Plenum, 288-328.
- NEUMANN, O. 1989. Kognitive Vermittlung und direkte Parameterspezifikation. Zum Problem mentaler Repräsentation in der Wahrnehmung. *Sprache & Kognition*, 8, 32-49.

- NEWELL, A. 1973. Production Systems: Models of Control Structure. In: Chase, W. G. (Ed.): Visual Information Processing, New York: Academic Press, 463-526.
- NEWELL, A. & SIMON, H. A. 1972. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- NICOLIS, G. & PRIGOGINE, I. 1987. Die Erforschung des Komplexen (Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften). München: Piper.
- NICOLIS, J. S. 1986a. Dynamics of Hierarchical Systems (An Evolutionary Approach). Berlin: Springer.
- NICOLIS, J. S. 1986b. A Study Program of Chaotic Dynamics Applied to Information Processing. In: Ebeling, W. & Ulbricht, H. (Eds.): Selforganization by Nonlinear Irreversible Processes, Berlin: Springer, 174-187.
- OBRIST, P. 1981. Cardiovascular Psychophysiology. New York: Plenum.
- OHLSSON, S. 1984. PRISM: Tutorial, Manual and Documentation. Pittsburgh, Pa.: Carnegie Mellon University.
- OLSON, D. H. 1986. Circumplex Model VII: Validation Studies and FACES III. Family Process, 25, 337-351.
- OLSON, D. H., SPRENKLE, D. H. & RUSSELL, C. S. 1979. Circumplex Model of Marital and Family Systems: I. Cohesion and Adaptability Dimensions, Family Types, and Clinical Applications. Family Process, 18, 3-28.
- OPWIS, K. 1988. Produktionssysteme. In: Mandl, H. & Spada, H. (Eds.): Wissenspsychologie, München: Psychologie Verlags Union, 74-98.
- PACKARD, N. H., CRUTCHFIELD, J. P., FARMER, J. D. & SHAW, R. S. 1980. Geometry from a Time Series. Phys. Rev. Lett. 45, 712-716.
- PALM, G. 1988. Modellvorstellungen auf der Basis neuronaler Netzwerke. In: Mandl, H. & Spada, H. (Eds.): Wissenspsychologie, München: Psychologie Verlags Union, 488-504.
- PATTERSON, M. L. 1976. An Arousal Model of Interpersonal Intimacy. Psychological Review, 83, 235-245.
- PATTERSON, M. L. 1982. A Sequential Functional Model of Nonverbal Exchange. Psychological Review, 89, 231-249.
- PAWLIK, K. 1988. "Naturalistische" Daten für Psychodiagnostik: Zur Methodik psychodiagnostischer Felderhebungen. Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie, 9, 169-181.
- PEINKE, J. 1988. Nichtlinearitäten und Chaos beim Elektronentransport in Halbleitern. Universität Tübingen: Dissertation.
- PEITGEN, H.-O. & RICHTER, P. H. 1986. The Beauty of Fractals (Images of Complex Dynamical Systems). Berlin: Springer.
- PIATTELLI-PALMARINI, M. 1989. Evolution, Selection and Cognition: From "Learning" to Parameter Setting in Biology and in the Study of Language. Cognition, 31, 1-44.
- POINCARÉ, H. 1899. Les Methodes Nouvelles de la Mécanique Celeste. Paris: Gauthier-Villars. (Vol. 1-3)

- POPPER, K. R. 1984. Logik der Forschung. Tübingen: Mohr. (Erstveröff. 1934)
- POPPER, K. R. & ECCLES, J. C. 1982. Das Ich und sein Gehirn. München: Piper.
- POSTON, T. & STEWART, I. N. 1978. Nonlinear Modeling of Multistable Perception. Behavioral Science, 23, 318-334.
- PRIGOGINE, I. 1979. Vom Sein zum Werden (Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften). München: Piper.
- PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. 1981. Dialog mit der Natur (neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens). München: Piper.
- PYLYSHYN, Z. W. 1973. What Tells the Mind's Eye the Mind's Brain: a Critique of Mental Imagery. Psychological Bulletin, 80, 1-24.
- PYLYSHYN, Z. W. 1984. Computation and Cognition (Toward a Foundation for Cognitive Science). Cambridge, Ma.: MIT Press.
- RACKER, H. 1988. Übertragung und Gegenübertragung (Studien zur psychoanalytischen Technik). München: Ernst Reinhardt.
- REITER, L. & STEINER, E. 1986. Paradigma der Familie: Turings Maschine oder autopoietisches System? Familiendynamik, 11, 234-248.
- REVENSTORF, D. 1979. Zeitreihenanalyse für klinische Daten (Methodik und Anwendungen). Weinheim: Beltz.
- RÖSSLER, O. E. 1976. An Equation for Continuous Chaos. Phys. Lett. 57A, 397-398.
- RÖSSLER, O. E. 1981. An Artificial Cognitive Map System. BioSystems, 13, 203-209.
- RÖSSLER, O. E. 1987. Vorlesung zur Chaostheorie. Universität Tübingen (unveröff.)
- RÖSSLER, O. E., KAHLERT, C., PARISI, J., PEINKE, J. & RÖHRICHT, B. 1986. Hyperchaos and Julia Sets. Z. Naturforsch. 41a, 819-822.
- ROGERS, C. R., GENDLIN, E. T., KIESLER, D. & TRUAX, C. B. 1967. The Therapeutic Relationship and Its Impact (A Study of Psychotherapy with Schizophrenics). Madison: University of Wisconsin Press.
- ROSEN, S. (Ed.) 1985. Die Lehrgeschichten von Milton H. Erickson. Hamburg: ISKO-PRESS.
- ROSENTHAL, R. & ROSNOW, R. L. (Eds.) 1969. Artifacts In Behavioral Research. New York.
- ROTH, G. 1986. Selbstorganisation - Selbsterhaltung - Selbstreferentialität: Prinzipien der Organisation der Lebewesen und ihre Folgen für die Beziehung zwischen Organismus und Umwelt (Die Entstehung von Ordnung in Natur und Gesellschaft). In: Dress, A., Hendrichs, H. & Küppers, G. (Eds.): Selbstorganisation (Die Entstehung von Ordnung in Natur und Gesellschaft), München: Piper, 149-180.
- ROTH, G. 1987. Autopoiese und Kognition: Die Theorie H.R. Maturanas und die Notwendigkeit ihrer Weiterentwicklung. In: Schiepek, G. (Ed.): Systeme erkennen Systeme, München: Psychologie Verlags Union, 50-74.

- ROUX, J.-C., SIMOYI, R. H. & SWINNEY, H. L. 1983. Observation of a Strange Attractor. *Physica*, 8D, 257-266.
- RUMELHART, D. E. & NORMAN, D. A. 1983. Representation In Memory. La Jolla: University of California at San Diego.
- SACKS, O. 1985. The Man who Mistook his Wife for a Hat. London: Pan Books.
- SATIR, V. 1973. *Familienbehandlung (Kommunikation und Beziehung in Theorie, Erleben und Therapie)*. Freiburg: Lambertus.
- SATIR, V. 1975. *Selbstwert und Kommunikation (Familientherapie für Berater und zur Selbsthilfe)*. München: Pfeiffer.
- SCHANDRY, R. 1989. *Lehrbuch der Psychophysiologie (Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens)*. München: Psychologie Verlags Union.
- SCHIEPEK, G. 1986. *Systemische Diagnostik in der Klinischen Psychologie*. München: Psychologie Verlags Union.
- SCHIEPEK, G. 1989a. *Systemisches Denken: Konsequenzen für die Klinische Psychologie*. Universität Bamberg: Habilitationsschrift.
- SCHIEPEK, G. 1989b. Selbstreferenz und Vernetzung als Grundprinzipien zweier verschiedener Systembegriffe - Vorüberlegungen für eine sozialwissenschaftliche Synergetik. *System Familie*, 2, 229-241.
- SCHIEPEK, G. & KAIMER, P. 1989. Selbstorganisationsprozesse in dynamischen sozialen Systemen, untersucht anhand systemischer Kurzzeittherapien (Teilprojekt III "Sozialwissenschaftliche Synergetik"). Universität Bamberg: unveröff. Manuskript.
- SCHIEPEK, G. & REICHERTS, M. 1990. Das Planspiel als Untersuchungsparadigma für selbstorganisierende Systeme: Die Koevolution sozialer und psychischer Systeme (Teilprojekt IV "Sozialwissenschaftliche Synergetik"). Universitäten Bamberg und Fribourg: unveröff. Manuskript.
- SCHIEPEK, G. & SCHAUB, H. 1989. Als die Theorien laufen lernten... Eine Computersimulation zur Depressionsentwicklung. Universität Bamberg: Memorandum No. 67.
- SCHIEPEK, G. (Ed.) 1987. *Systeme erkennen Systeme (Individuelle, soziale und methodische Bedingungen systemischer Diagnostik)*. München: Psychologie Verlags Union.
- SCHIEPEK, G. (Ed.) 1988. *Diskurs systemischer Methodologie (Heft 2)*. Zeitschrift für systemische Therapie, 6 (Heft 2).
- SCHMAIS, C. 1981. Group Development and Group Formation in Dance Therapy. *Arts in Psychotherapy*, 8, 103-107.
- SCHMIDT, S. J. 1987. Der Radikale Konstruktivismus: Ein neues Paradigma im interdisziplinären Diskurs. In: Schmidt, S. J. (Ed.): *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*, Frankfurt: Suhrkamp, 11-88.
- SCHMITZ, B. 1989. *Einführung in die Zeitreihenanalyse (Modelle, Softwarebeschreibung, Anwendungen)*. Bern: Huber.

- SCHNEIDER, H.-D. 1985. Kleingruppenforschung. Stuttgart: Teubner.
- SCHÖNER, G. & KELSO, J. A. S. 1988. Dynamic Patterns of Biological Coordination: Theoretical Strategy and New Results. In: Kelso, J. A. S., Mandell, A. J. & Shlesinger, M. F. (Eds.): Dynamic Patterns in Complex Systems, Singapore: World Scientific, 77-102.
- SCHÖPPE, A., TSCHACHER, W. & BRUNNER, E. J. 1989. Ist der Transfer naturwissenschaftlicher Begriffe in die Sozialwissenschaften möglich? Replik zu einem Artikel von Ulrich Druwe. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, 41, 378-380.
- SCHWARZ, J. R. 1987. Die neuronalen Grundlagen der Wahrnehmung. In: Schiepek, G. (Ed.): Systeme erkennen Systeme, München: Psychologie Verlags Union, 75-93.
- SCHWEITZER, J. & WEBER, G. 1983. Beziehung als Metapher: Die Familienskulptur als diagnostische, therapeutische und Ausbildungstechnik. Familiendynamik, 8, 113-128.
- SELVINI PALAZZOLI, M., BOSCOLO, L., CECCHIN, G. & PRATA, G. 1985. Paradoxon und Gegenparadoxon. Stuttgart: Klett-Cotta. (4. Auflage)
- SHANNON, C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Techn. J. 27, 370-423.
- SHAW, R. S. 1984. The Dripping Faucet as a Model Chaotic System. Santa Cruz: Aerial Press.
- SHORTLIFFE, E. H. 1976. Computer-based Medical Consultations: MYCIN. New York: Elsevier.
- SIMON, F. B. & STIERLIN, H. 1984. Die Sprache der Familientherapie: ein Vokabular (Überblick, Kritik und Integration systemtherapeutischer Begriffe, Konzepte und Methoden). Stuttgart: Klett-Cotta.
- SIMON, F. B. (Ed.) 1988. Lebende Systeme (Wirklichkeitskonstruktionen in der systemischen Therapie). Berlin: Springer.
- SIMON, H. B. 1981. Studying Human Intelligence by Creating Artificial Intelligence. Scientific American, 69, 300-308.
- SKINNER, B. F. 1953. Science and Human Behavior. New York: Macmillan.
- SMALE, S. 1980. The Mathematics of Time (Essays on Dynamical Systems, Economic Processes, and Related Topics). New York: Springer.
- SMITH, M. L., GLASS, G. V. & MILLER, T. I. 1980. The Benefits of Psychotherapy. Baltimore: John Hopkins University Press.
- SOMMER, R. 1969. Personal Space. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- STEIMER, E., KRAUSE, R., SÄNGER-ALT, C. & WAGNER, G. 1988. Mimisches Verhalten schizophrener Patienten und ihrer Gesprächspartner. Zeitschrift für Klinische Psychologie, 17, 132-147.
- STEINER, G. 1988. Analoge Repräsentation. In: Mandl, H. & Spada, H. (Eds.): Wissenspsychologie, München: Psychologie Verlags Union, 99-122.
- STEMMLER, G. 1984. Psychophysiologische Emotionsmuster. Frankfurt: Peter Lang.
- STEWART, I. N. & PEREGOY, P. L. 1983. Catastrophe Theory Modeling in Psychology. Psychological Bulletin, 94, 336-362.

- STIERS, M. J. 1987. A Kleinian Analysis of Group Development. *Group*, 11, 67-77.
- STOKOLS, D. & ALTMAN, I. 1987. *Handbook of Environmental Psychology*. New York: Wiley.
- STOOP, R., PEINKE, J., PARISI, J., RÖHRICHT, B. & HUEBENER, R. P. 1989. A p-Ge Semiconductor Experiment Showing Chaos and Hyperchaos. *Physica*, 35D, 425-435.
- SUSSMANN, H. J. & ZAHLER, R. S. 1978. A Critique of Applied Catastrophe Theory in the Behavioral Sciences. *Behavioral Science*, 23, 383-389.
- SWINNEY, H. L. 1986. Experimental Observations of Order and Chaos. In: Thompson, J. M. T. & Stewart, H. B. (Eds.): *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Chichester: Wiley, 332-349.
- SWINNEY, H. L. & ROUX, J. C. 1984. Chemical Chaos. In: Vidal, C. & Pacault, A. (Eds.): *Non-Equilibrium Dynamics in Chemical Systems*, Berlin: Springer.
- TAKENS, F. 1981. Detecting Strange Attractors in Turbulence (898). In: Rand D.A.; Young, L.S. (Eds.): *Lecture Notes in Mathematics* (898), Berlin: Springer.
- TEUFEL, R. 1985. Erklärungsuntersuchungen von Herzfrequenzkorrelationen (Eine soziophysiologische Erkundungsstudie). Universität Ulm: Dissertation.
- THOM, R. 1972. *Stabilité structurelle et morphogénèse*. Reading: Benjamin.
- THOMPSON, J. M. T. & STEWART, H. B. 1986. *Nonlinear Dynamics and Chaos (Geometrical Methods for Engineers and Scientists)*. Chichester: Wiley.
- TIMAEUS, E. 1974. *Experiment und Psychologie (Zur Sozialpsychologie psychologischen Experimentierens)*. Göttingen: Hogrefe.
- TOFFOLI, T. & MARGOLUS, N. 1987. *Cellular Automata Machines (A new environment for modeling)*. Cambridge: MIT Press.
- TOLMAN, E. C. 1948. Cognitive Maps in Rats and Men. *Psychological Review*, 55, 189-208.
- TREISMAN, A. M. 1969. Strategies and Models of Selective Attention. *Psychological Review*, 76, 282-299.
- TSCHACHER, W. 1990. Tagungsbericht: International Symposium on Synergetics of Cognition, Schloß Elmau, 4.-8.6.1989. *System Familie*, 3, 51-52.
- TSCHACHER, W. & BRUNNER, E. J. 1989. Dynamische Analyse formaler Parameter von sozialen Systemen (Teilprojekt I "Sozialwissenschaftliche Synergetik"). Universität Tübingen: unveröff. Manuskript.
- TSCHACHER, W., BRUNNER, E. J. & SCHIEPEK, G. 1990. Aspekte sozialwissenschaftlicher Synergetik: Theorie - Methodologie - Forschungspraxis (Zweites Weinheimer Symposium 1989). In: Brunner, E. J. & Greitemeyer, D. (Eds.): *Die Therapeutenpersönlichkeit (Zweites Weinheimer Symposium 1989)*, Wildberg: Bögner-Kaufmann, 194-201.
- TSCHACHER, W. & BRUNNER, J. E. 1990. Distanzregulierung und Gruppenstruktur beim Prozeß der Gruppenentwicklung (Eine explorative Feldstudie und eine Computersimulation). Universität Tübingen: Berichte aus dem Arbeitsbereich Pädagogische Psychologie Nr. 26.

- TSCHACHER, W. & HERRMANN, U. 1984. Kommunikationsstrukturen in Familien mit Migränekindern (Eine systemorientierte Interaktionsstudie). Universität Tübingen: unveröff. Diplomarbeit.
- TSCHACHER, W., TERGAN, S.-O. & MANDL, H. 1988. Fehlkonzepte im physikalischen Gegenstandsreich der Bewegungsüberlagerung. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen. (Forschungsbericht Nr. 49)
- TUCKMAN, B. 1965. Developmental Sequence in Small Groups. *Psychological Bulletin*, 63, 384-399.
- TUCKMAN, B. & JENSEN, M. 1977. Stages of Small-group Development. *Group and Organizational Studies*, 2, 419-427.
- VALSINER, J. (Ed.) 1986. *The Individual Subject and Scientific Psychology*. New York: Plenum.
- VASILEV, V. A., ROMANOVSKII, Y. M., CHERNAVSKII, D. S. & YAKHNO, V. G. 1987. *Autowave Processes in Kinetic Systems (Spatial and Temporal Self-organization in Physics, Chemistry, Biology, and Medicine)*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- VIDAL, C. & PACAULT, A. (Eds.) 1981. *Nonlinear Phenomena in Chemical Dynamics*. Berlin: Springer.
- VIDAL, C. & PACAULT, A. (Eds.) 1984. *Non-Equilibrium Dynamics in Chemical Systems*. Berlin: Springer.
- VOß, W. 1989. *Rechnergestützte Methoden in den Sozialwissenschaften*. München: Oldenbourg.
- WATZLAWICK, P. 1986. Blick zurück nach vorn - ein Gespräch. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 4, 189-196.
- WATZLAWICK, P., BEAVIN, J. H. & JACKSON, D. D. 1969. *Menschliche Kommunikation (Formen, Störungen, Paradoxien)*. Bern: Huber.
- WEIDLICH, W. & HAAG, G. (Eds.) 1983. *Concepts and Models of a Quantitative Sociology (The Dynamics of Interacting Populations)*. Berlin: Springer.
- WEINGARTEN, E., SACK, F. & SCHENKEIN, J. (Eds.) 1976. *Ethnomethodologie: Beiträge zu einer Soziologie des Alltagshandelns*. Frankfurt: Suhrkamp.
- WILLI, J. 1975. *Die Zweierbeziehung*. Reinbek: Rowohlt.
- WILLKE, H. 1987. Systembeobachtung, Systemdiagnose, Systemintervention - weiße Löcher in schwarzen Kästen? In: Schiepek, G. (Ed.): *Systeme erkennen Systeme*, München: Psychologie Verlags Union, 94-114.
- WILLKE, H. 1988. Therapeutisches Handeln - eine Risikoanalyse. *Zeitschrift für systemische Therapie*, 6, 110-114.
- WINFREE, A. T. 1980. *The Geometry of Biological Time*. New York: Springer.
- WINFREE, A. T. 1987. *When Time Breaks Down (The Three-Dimensional Dynamics of Electrochemical Waves and Cardiac Arrhythmias)*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- WINFREE, A. T. 1988. *Biologische Uhren (Zeitstrukturen des Lebendigen)*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.

- WINOGRAD, T. & FLORES, F. 1986. Understanding Computers and Cognition. A New Foundation for Design. Norwood, N.J.: Ablex.
- WIRSCHING, M. & STIERLIN, H. 1982. Krankheit und Familie. Stuttgart: Klett-Cotta.
- WITTGENSTEIN, L. 1975. Tractatus logico-philosophicus. Frankfurt: Suhrkamp. (Erstveröff. 1921)
- WOLF, A.; SWIFT, J.B.; SWINNEY, H.L.; VASTANO, J.; 1985. Determining Lyapounov Exponents from a Time Series. Physica, 16D, 285-317.
- WOLFRAM, S. 1984. Universality and Complexity in Cellular Automata. Physica, 10D, 1-35.
- WUNDERLIN, A. & HAKEN, H. 1983. Some Applications of Basic Ideas and Models of Synergetics to Sociology. In: Frehland, E. (Ed.): Synergetics - From Microscopic to Macroscopic Order, Berlin: Springer, 174-182.
- ZAIKIN, A. N. & ZHABOTINSKY, A. M. 1970. Concentration Wave Propagation in Two-dimensional Liquid-phase Self-oscillating System. Nature, 225, 535-537.
- ZEEMAN, E. C. 1976. Catastrophe Theory. Scientific American, 234, 65-83.
- ZUSE, K. 1969. Rechnender Raum. Braunschweig: Vieweg.

- Abgeschlossenheit 90f, 168, 170, 173f, 176f
- Attraktor 49-51, 55, 60, 64, 66f, 69, 71, 73-75, 77f, 101, 104-108, 110, 119, 126, 130, 144, 148, 152, 156-158, 161, 188, 189
- Attraktorlandschaft 57
- Autokatalyse 16, 19
- Autopolese 84, 90, 151, 167-170, 173, 176-178
- autowave 20

- Behaviorismus 2, 3, 25, 176
- Belousov-Zhabotinsky-Reaktion 13, 17, 39, 41, 79, 86, 148
- Bénard-Konvektion 12, 17
- Bifurkation 16, 55-59, 69
- Bifurkationskaskade 56, 69

- Cognitive Science 24, 30, 127, 147, 177, 181f, 184f

- deterministisches Chaos 64, 66, 98, 187
- Differentialgleichung 61, 74
- Differenzengleichungen 44, 52, 60, 61, 101
- Dimensionalität 32, 105-107, 187f
- Dissipation 40, 48, 59, 81

- EEG 188
- Eigenwert 174
- Emergenz 14f, 46, 79f, 88, 116, 149, 186
- Endomorphismus 79
- Entelechie 87
- Entropie 9-11, 13, 14, 19, 22, 59, 60, 81f, 110
- Epistemologie 145, 162, 169, 174, 177, 189
- Evolution 82, 86
- Evolution 11, 13-15, 31, 41, 46, 49, 56f, 82, 86, 120, 128, 140, 171, 178, 186
- Expertensystem 183

- Familientherapie 5, 27, 36f, 89, 97, 134f, 139, 147, 150, 153-155, 164
- Folgenbaumkonstante 44
- Feldtheorie 11, 33, 34, 36
- Fixpunkt 49, 52, 72, 108
- Fluktuation 55, 56
- Forschungsprogramm 13, 45, 77, 83, 90, 111, 152
- Fourieranalyse 103-106
- Fraktalität 72, 79, 127

- "Game of Life" 127, 131
- Gestaltpsychologie 25, 33, 37
- Gleiter 131
- Grenze 6, 37, 40f, 50, 71, 92, 116, 138, 159
- Grenzregulation 38-40, 120, 135, 138
- Grenzyklus 50, 53, 57, 64, 104, 108
- Gruppe 35, 44, 89, 93, 114-125, 132, 133, 158
- Gruppenbildung 6, 113-115, 119-121, 132
- Gruppendynamik 35, 115, 120, 132

- Hamiltonfunktion 47, 81
Holismus 5
Homöostase 17
Hyperzyklus 85, 86
- Idiographisch 32, 94
Informationsverarbeitung 181, 183, 185, 187, 188
Interaktion 37, 38, 77, 84, 89, 90, 115, 126, 134f, 139f, 143, 158, 162, 168, 176, 185
Intervention 36, 120, 152, 159, 161, 162
- Katastrophentheorie 57, 59
Kognition 7, 26, 38, 88, 92f, 149, 167f, 177, 180, 182, 184-189
Kommunikation 37, 89, 91-94, 115f, 136, 141, 172
Komponente 78, 93
Konstruktivismus 7, 31, 46, 85, 91, 151, 174, 181, 190
Kontrollparameter 15f, 18, 47, 57f, 62, 64, 78, 152
Künstliche Intelligenz 7, 24, 127, 147, 182, 184-187
Kybernetik 13, 26, 150f
- Lebensraum 33, 36
Lyapunov-Funktion 59, 60, 83
- Makroebene 32, 38-40, 95, 128
Mandelbrotmenge 71, 72
Mentale Modelle 190
Mimik 136
Multistabilität 56, 152
Mustererkennung 186
- Nichtlinearität 15
- offenes System 48, 190
Ökopsychologie 27, 29, 36, 88
Operationalisierung 98, 117, 118
Ordnungsbildung 9, 11, 14, 41, 78, 87, 117, 127
- Paradigma 13, 127, 153, 186
Paradox 153, 165, 175
Parameterraum 36, 53, 55, 57, 59, 67, 69
Pendel 18, 21f, 47f, 50, 52, 54
Phasenportrait 46f, 49, 51, 54, 100, 102f, 105
Phasenraum 36, 46, 49-51, 55, 74f, 78f, 100f, 106, 108, 152, 156
Phasenübergang 62, 157
physiologische Parameter 134, 140
Poincaré-Schnitt 61
Populationsdynamik 21, 24, 61, 116
Potential 52, 54, 55, 59, 60, 186
Produktionssystem 183
Proposition 183

- Reduktionismus 5, 15, 26
- Regelkreis 26
- rekursive Skulpturierung 118, 133, 142
- Rekursivität 7, 31, 34, 148-151, 153, 161, 162
- Reliabilität 118, 124, 139, 141, 165
- Repräsentation 30, 34, 148, 177, 183-185, 187
- Rückkopplung 16, 25, 46, 77, 79, 182

- Selbstähnlichkeit 7, 69, 72, 78, 79, 109, 159, 162
- Selbstdesorganisation 11
- Selbstreferenz 34, 150f, 154f, 158, 165, 170
- Selektion 56, 57, 86
- sensible Abhängigkeit 15, 77, 106, 108, 109, 128, 188
- Separatrix 71
- Simulation 34, 45, 64, 99f, 125-129, 131-133, 136, 144, 182
- Skulptur 117f, 120, 122, 123
- Solipsismus 151, 169, 173-175
- soziales System 89, 90, 92, 93, 97, 116, 190
- Stabilitätsanalyse 60, 78
- Symmetrie 14, 20, 22, 41, 55
- Synergetik 3, 6, 23, 32, 77f, 80, 82f, 87, 98, 113, 116, 128, 133, 145, 149, 153, 171, 181, 187
- Systemgrenzen 19, 82
- Systemtheorie 1, 4, 6, 16, 25, 88, 91, 92

- Theorie dynamischer Systeme 6f, 12, 41, 43-46, 57, 77, 83, 98f, 132, 133, 153
- Therapie 5, 29, 36, 92, 134, 143, 147f, 150-153, 155-158, 160f, 167, 175
- Thermodynamik 9-11, 13, 81-83, 98
- Topologie 32, 43, 60
- Torus 50, 75, 104
- TOTE-Schema 26
- Trajektorie 32, 46f, 55, 74f, 77, 104, 110
- Trennflächen 23
- Trilemma 174, 175

- Verhulst-map 62-67, 69, 109
- Vitalismus 87

- Wachstum 16, 24, 62, 88, 167
- Wiederholungszwang 157

- Zeitreihenanalyse 29, 32f, 45, 99
- zirkuläre Kausalität 19

ANHANG A:**Transkript zu Kapitel 6.1: Gruppenexperiment (4.11.1988)**

Ts: Meine Vorstellung ist: zweite Stufe wäre, die Gruppe tauscht sich untereinander aus. Also man kann, es könnte jeder vorlesen, was er aufgeschrieben hat, oder das, was er möchte, daß er den andern mitteilt davon.

Br: Das, was jeder aufgeschrieben hat, das, was er meint, was er den andern sagen will, kann er vorlesen oder sagen.

Ts: Also ich würd dann einfach jeden bitten, kurz etwas zu sagen, oder ...

A: Also ob man möchte oder ...

Ts: oder möglicherweise auch zu sagen, auch zu sagen, ich möchte jetzt grade nichts sagen. Das ist auch eine Kommunikation. Es geht darum, daß die Gruppe, die Gruppe sich selber unter sich austauscht, in sich.

C: Ja also mich würd jetzt interessieren, wie für euch das war. Der Anfang, bis wir endlich ... also für mich wars endlich mal acht Teilnehmer drinnen waren. Wie das für euch war. Also für mich wars recht langwierig und , ja also ich war eben versucht, irgend jemand jetzt zu holen, sagen, jetzt mach doch mit oder so.

F: Also mir gings auch so. Ich dachte auch, ja wie lang dauerts jetzt noch, bis die letzte kommt und ich denk schon, daß wir versucht haben, Blickkontakt aufzunehmen zu andern Leuten, und vor allem die, die man schon kennt. Und ja gut, daß das eben auch bewirkt, daß sich dann schließlich doch noch Leute reinbegeben.

A: Ich kam mir vor wie bei dem Spiel "Zublinzeln".

D: Also am Anfang fand ichs auch sehr spannungsgeladen, da hatte ich auch so eine Versuchung, jetzt jemanden zu nötigen reinzukommen. Es war schwer, der zu widerstehen. Und gegen Schluß zu, als dann nur noch ein oder zwei fehlten, fand ichs dann nicht mehr so schwierig. Da konnt ich es besser aushalten, weil wir schon mehrere waren. Da war die Versuchung nicht mehr so groß. Da wars mir dann wichtiger, daß die Leute freiwillig reinkommen und daß ich nicht da zieh, klar.

H: Ja ich fand die Situation unheimlich spannend, also ich hab gemerkt, wenn ich am Anfang da in den Kreis reingesessen wär, dann wärs wahrscheinlich lockerer gegangen, ja also das ist immer spannender geworden bei mir so das Gefühl: ja jetzt mußt doch, oder könntst doch, was kommt auf dich zu und die Angst halt auch, was passiert dann. Also wenn du bei dem Experiment mitmachst.

B: Was mich verwundert hat, daß wir dann sofort auch wieder in einen Kreis gesessen sind und so ne neue Kleingruppe gebildet haben nach außen hin auch sichtbar. Das heißt eigentlich, da wundert mich, daß wir drel Männer hier sitzen, und die Frauen da drüben.

H: Das fand ich aber auch interessant, wie sich das entwickelt hat, daß du dich hier plaziert hast und du dich dann genau gegenüber und die Frauen quasi so anders. Interessanter Prozess.

G: Ich war eigentlich platt, daß es so lang gedauert hat. Ich hätt eigentlich gehofft, daß es schneller geht. Es war ganz witzig, ziemlich lange draußen zu sitzen und zu merken, je mehr sich der Kreis hier füllt, und je weniger fehlen, umso mehr steigt der Druck auf die Leute, die draußen sitzen, um das Experiment endlich zu einer Achtergruppe zu bringen.

E: Also mich würde interessieren, welches Thema bei euch das Thema ist, also ich hab keins gefunden. Was ich mir denken könnte, das ist irgendwie so Kooperation, Zusammenarbeit. Grad weil sich dann ihr zwei niedergesetzt habt, und er sich dann auch dazugesetzt hat, daß man irgendwie versucht, eine Gruppe zu bilden.

C: Also ich hab auch an so ein Thema gedacht, weil ich am Ende, als wir dann alle saßen, hab ich gedacht, jetzt könnten wir eigentlich irgend so in Spiel machen. Deswegen find daß das schon, daß das mit dir zusammenfällt.

Ts: Darf ich, darf ich jetzt zur nächsten Iteration auffordern. Bitte...

...

Was heißt das?

Ts: Also noch, ja: jetzt ist ausgetauscht worden. Jetzt möchte ich, jetzt würde mich interessieren, wie hat sich die Gruppe weiterentwickelt, wie drückt sich das aus in der räumlichen Konstellation. Also die nächste Skulptur.

Br: Sie haben dazu Zeit...

Ts: Genau, einige Minuten Zeit dazu, diese Skulptur zu finden, wie die neue räumliche Konstellation aussieht. ... Ja, nonverbal

...

Das heißt, wir stehen jetzt auf und laufen durch die Gegend.

Ts: Zum Beispiel, ja.

Br: Machen Sie auf Ihrem Zettel einen Strich.

(Bewegung der Gruppe)

Ts: OK, dann wäre das das Einfrieren der neuen Skulptur. Ich würde um den gleichen Vorgang also nochmals bitten. Also wieder mit Niederschreiben, und dem Austausch von statements.

Br: Wollen Sie bitte einen Strich machen, wenn Sie noch keinen gemacht haben, damit das klar ist, daß das jetzt das zweite Einfrieren ist. Wieder das gleiche Vorgehen, erstens: was nehme ich wahr, zweitens: was ist das Gruppenthema.

Ts: Die Koordinaten sind nicht mehr wichtig.

Br: Es ging uns nur darum, daß wir nachher Bezug haben, den Zettel zu dem was wir auf dem Videoband sehen.

A: Erstens, was nehme ich wahr...

Br: Zweitens, was ist das Gruppenthema. ...Und nach Ihrem Aufschreiben wäre wieder wichtig, daß Sie das, was Sie sagen möchten, von dem was sie aufgeschrieben haben, sagen. Und wenn Sie nichts sagen möchten, sagen sie: Ich möchte nichts sagen.

Ts: Jetzt müssen wir an die Selbstorganisation appellieren, damit wir das Geschehen nicht dirigieren.

Br: Ich glaube allmählich wissen Sie...

Ts: Es spielt sich ein.

D: Also mir ist aufgefallen, daß sämtliche Frauen aufgestanden sind, sich in diese Richtung bewegt haben, die Männer alle drei sitzen geblieben sind. Ich denk jetzt so vom Ziel her, oder vom Thema her konnt ich diesmal nicht so richtig unterscheiden: gings darum, so Zusammengehörigkeit mehr auch nach außen hin darzustellen, näher zusammenzurücken einfach. Vielleicht auch sowas wie Wärme oder sowas entstehen zu lassen. Aber ich muß sagen, ich hab mich dermaßen darüber geärgert, daß das offensichtlich nur von den Frauen ausgeht, daß ich mich ganz schnell wieder hingesezt hab, wo ich gesessen bin. Weil ich das wirklich nicht eingesehen hab.

A: Ich hab was Ähnliches gefunden wie du. Nämlich war das Zusammenfinden, also nicht Zusammenrücken, sondern besser so ein Abtasten und Finden und Gucken und so. Für mich war das irgendwie ein freundlicher Akt. Einfach nur freundlich ohne...

F: Ja ich find auch also die Gruppe ist irgendwie schon näher zusammengekommen, mir selber ich seh jetzt bei meiner Position so gegenüber von Leut, die ich kenn oder bei Leuten wo ich schon Kontakte hab und das ists für mich jetzt. Was ich jetzt bei mir seh. Aber ich weiß nicht, ob das was aussagt. Und was ich auch, was auch auffällt, ja, ist jetzt, daß sie (D) so halb drin ist.

E: Also ich find ja daß sichs so in Richtung Zusammenarbeit entwickelt, aber mir ist es nicht klar, wies weitergehen soll.

G: Also ich find gar nicht, daß sich die Gruppe großartig viel näher zusammengefunden hat. Sie hat sich jetzt näher zusammengesetzt, aber vom Zusammenfinden hab ich eigentlich nichts gemerkt. Das ist für mich ein Grund, weshalb ich sitzen geblieben bin, einfach um zu gucken, was passiert. Ich mein, ich hätte auch rumlaufen können, dann hätt ich halt auch meinen Platz gewechselt, aber ich glaub, daß das nicht so viel dran geändert hätte.

F: Ja klar, wenn jeder sitzen bleibt, dann ändert sich natürlich nichts.

G: Nee, ich glaub auch, daß sich auch durch das Rumlaufen nicht viel geändert hat. Also außer daß der räumliche Ort verändert worden ist.

C: Also mir gings eigentlich so, daß ich mich jetzt letztendlich über mich selbst geärgert hab, weil ich der Anweisung gefolgt bin. Das war eigentlich nicht meine Absicht, daß ich da was Neues formlieren sollt, sondern ich hab gedacht, eher so, jetzt könnten wir eigentlich irgendwie was zusammen machen, ein Spiel oder irgend sowas, weil wir schon so gesessen sind. Und nachdem die Anweisung kam, und da hab ich mich dann hinterher über mich selber geärgert, daß ich nicht gesagt hab: Ich will das eigentlich gar nicht, da jetzt irgendwie was Neues auszuprobieren.

H: Also ich glaub, bei mir wars auch so daß ich irgendwie so - also einen Druck gehabt hab oder Erwartung gehabt habe, ich müßt jetzt praktisch - also mir ist das am Anfang extrem aufgefallen, diese geschlechtsspezifischen Positionen, und hab das irgendwie dann so als bewußter Akt gemacht, aber ich weiß jetzt eigentlich auch nicht so recht, ja, also was ich damit jetzt bewirken wollt, oder fällt mir jetzt so im Nachhinein - also der Aspekt, wo du da noch gesagt hast, fand ich ganz interessant dazu.

B: Mir ist da anfangs einfach zu schnell gegangen, als daß ich mich dann noch entscheiden konnte, was ich jetzt unternehmen soll, und ...(?) fiel mir dann auf, daß du draußen sitzt. Ja grad, also ich würd jetzt das nächstemal versuchen, was dran zu verändern für mich, weil im Gegensatz zu dir fühl ich mich jetzt so, daß ich denk ich hätte was tun sollen. Liegt sicher an meiner ...(?)

Ts: ... soll also heißen, bitte nochmals, da capo.

Br: da capo al fine.

G: nochmal rumlaufen?

Br: Ja.

Br: ... bitte wieder einen Strich unter das Vorhergehende.

A: Und die Wahrnehmung bezieht sich immer auf einen selber?
Und das Gruppenthema auf die Gruppe.

Br: Ja, das Gruppenthema ist auch das, was Sie als Gruppenthema wahrnehmen.

A: Also bei mir hat sich, als du vorhin sagtest, ich hab mich entschlossen, daß ich nachher was tun werde, dann hat sich bei mir so eine Behaglichkeit eingestellt. Ich hab bloß drauf gewartet, daß du aufstehst, damit ich hier liegen kann. Und was ich so in der Gruppe wahrnehme, das ist so, so: Ich tu jetzt aber das, was ich will. Und was hier irgendwie find ich das gut ... (?) daß du sitzen geblieben bist dementsprechend und ja. Auf mich macht das, also für mich mir gibt das viel Sicherheit, wenn ich denk, jeder tut jetzt das, was er will.

F: Also mir gings jetzt einfach so, ich war wenig motiviert, jetzt grad was zu tun, und ich denk halt, das ist grad allgemein so die Gruppenmotivation so, was zu tun oder was zu schaffen oder irgendwas darzustellen ist wohl grad nicht so besonders groß. Daß du deine Position gewechselt hast, das war wohl auch eben aus der vorherigen Position groß oder das was sie jetzt gesagt hat zum Beispiel, du mußt selber was tun, um an der Position was zu verändern. Ja das ist eigentlich so - aber, also ich fühl mich nicht unwohl oder so, aber ich denk halt, wenn das jetzt weiterging, ist die Frage ob jetzt die Motivation immer mehr abnimmt und wir am Schluß bloß noch so dasitzen und also gar nichts mehr ab- also an sich nichts Tätiges mehr abläuft oder so.

G: Bei mir wechselt die Motivation ständig. Ja also im Moment wo es ums Aufschreiben ging, hab ich geschriebe, das momentane Gefühl ist so ein bißchen Langweile oder so kommt bei mir grade auf, aber auf der anderen Seite durch das Beobachten kommt auch wieder eine Motivation. Ich nehme an, wenn sich jetzt noch mehr bewegen würde, würd ich mich wahrscheinlich wirklich bewegen aktiv, um zu gucken, was denn so passiert. Ich war auch gerade gespannt, was passiert, nachdem er sich bewegt hat, aber sonst nicht viel es hat sich sonst nicht viel getan. Aber weil was du gesagt hast, keine große Motivation da.

E: Also für mich ist jetzt die Gruppe irgendwie aufgebrochen, weil er sich rausbewegt hat. Jetzt ist da hinten so eine Kleingruppe entstanden.

D: Also ich hab mich gefreut, daß er sich da hingesetzt hat. Und es hat mir dann auch ermöglicht, sozusagen mich noch ein paar Millimeter mehr in die Gruppe reinzubewegen. Also insgesamt hab ich so das Gefühl gehabt, daß so eine kleine Korrektur entsteht zu dem was vorher war. Wobei ich noch nicht den Eindruck hab, daß es jetzt endgültig ist, also irgendwie hab ich noch das Gefühl, da ist noch eine Spannung drin.

C: Also mir gehts so ... (?) daß ich im Moment gar nicht motiviert bin. (Pause)

A: Also nicht motiviert, dich zu bewegen, oder? Du siehst eigentlich so aus, als wenn du ganz arg guckst, was was passiert. Also das ist ja auch eine Motivation. Vielleicht versteh ich dich falsch.

C: Nee, - also ich hab irgendwie für mich das Gefühl, daß wenn ich jetzt irgendso einen Positionswech-

sel durchführ, daß sich da irgendwie - nicht arg viel ändert für mich so.

G: ...(?) so langsam kriegts für mich einen Experimentcharakter.

B: Was bis jetzt kam, macht mir auch wieder mehr Motivation weiterzumachen. Wo ich dann saß, hab ich erstmal gedacht, na bleib ich erstmal wohl wieder sitzen. ...(?)

H: Also ich bin jetzt auch nicht (?) motiviert. Bei mir wars genauso, daß ich halt erstmal abgewartet hab, also keine Lust mehr gehabt habe, jetzt nochmal irgendwie in der Entwicklung von einem Prozess oder so jetzt was zu machen, sondern erstmal abzuwarten, was passiert. Und so eine arge Motivation hab ich im Moment jetzt grad auch nicht.

C: Also für mich lsts jetzt so entweder - ich setz mich jetzt auf meinen Stuhl zurück. Ja jetzt irgendwie ich glaub ich setz mich wirklich auf meinen Stuhl jetzt, weil ich irgendwie keinen Sinn grad seh. (Steht auf und verläßt die Gruppe)

G: Schade.

C: Ganz am Anfang hab ich mich so unter Druck gefühlt, jetzt müßt man irgendwie was machen so. Und jetzt grad ist das nicht so.

Ts: OK, damit fängt also die nächste, die Findung der nächsten Skulptur an. Ich darf also dazu auffordern, zur nächsten Skulptur voranzuschreiten.

..
Ich möchte mal fragen, wie lang es geht.

Ts: Na so gegen, bis zwölf ungefähr...

..
Bis zwölf?

(Skulptur ohne C, F steht)

(Aufschreiben)

B: Ich wär am liebsten aufgestanden, nachher noch.

F: Also mir gings so: Ich muß irgendwas verändern und - also mir gings auch ganz gut so stehend so von oben den Überblick zu haben und ja echt mal wieder was anders zu machen. Ich mein nicht immer bloß wieder weiter zu rücken, nicht immer relaxter hinzulegen, was hier - wie ichs hier bei einzelnen Leuten gesehen hab, so so drei nebeneinander auf dem Boden, ich dachte irgendwie nee, einfach vom ..(?), aber es ist immer noch ein Kreis und es ist OK.

A: Für mich ist jetzt das ganze - , wo ich jetzt hochgeguckt hab ich gesehen, das ist ja jetzt wieder ein Kreis und du bist jetzt irgendwo ganz - , du hast zwar deinen Platz überhaupt nicht verändert, soweit ich das gesehen hab, aber trotzdem mit drin (zu D). Und (zu C) wie heißt denn du?

C: Sabine.

A: Die Sabine ist jetzt draußen, ein - also eindeutig draußen. Und ich merk da bei mir so: Hilfe, da geht

eine. Genauso wie vorher, bloß vorher war mir das noch nicht so klar. Als du (D) draußen gesessen bist, das war auch so: warum sitzt die jetzt draußen?

E: Also ich hab mirs auch überlegt, ob ich jetzt rausgeh, und hab mir gesagt, nee, es ist ja noch nicht vorbei, bleib ich noch da, aber jetzt nehm ich an es hat sich irgendwie geklärt. Also, ... (?) es ist jetzt irgendwie stabiler geworden. Irgendwie realistischer oder so. ... (?) Position oder so.

H: Also mir gings auch so, ich hab mir überlegt, ob ich aussteigen soll oder so, wie die Sabine, dann hab ich mir gedacht, nee jetzt mach ich mirs gemütlich irgendwie und leg mich da jetzt hin das fand ich dann irgendwie so witzig, weil das dann jeder so gemacht hat, so gemütlich eingerichtet, so ja für längere Zeit eine Lage bezogen. Das hat mich ein bißchen verwundert, daß - also ich hab - ich hab - nicht gewußt - ich hab gedacht, du kannst jetzt nicht entscheiden, was du machen sollst.

F: Hm-hm, so wars nicht, ich dachte, ich muß jetzt mal was anders machen, für mich, verstehst, und ich - wie gesagt, die Position war für mich sehr angenehm, so von oben runter die Leute so von oben zu sehen. Ich hab mich deshalb nicht unbedingt ausgegrenzt gefühlt oder so, sondern ich dachte für mich, ich möchte mal was anders. Ich möchte jetzt nicht noch mehr ablaschen und am Schluß liegen wir alle da irgendwie - sondern ich wollte jetzt irgendwas, weißt (zu H), was tun, was aktivieren oder ich weiß nicht.

G: Ich wollte eigentlich hauptsächlich gucken, was passiert. Also - deswegen - ich mein, ich hab mich eigentlich hauptsächlich aus Raumgründen von da hinten weggesetzt und mich hier hingesetzt, einfach um zu gucken, wie die Struktur sich verändert. Das find ich zum Beispiel witzig, daß jetzt wieder ein Kreis entstanden ist, nur halt völlig - völlig anders orientiert: also vorher war er dahinten, jetzt hat er sich halt hier herüber verlagert. Also ich hätt's auch witzig gefunden, wenn sich der Kreis jetzt irgendwie anders gebildet hätte, und ich in meiner Ecke halt sitzen geblieben wär. Aber ich finds auch Interessant, daß genau das eben nicht stattgefunden hat.

A: Also was ich witzig finde, ist, daß es ein Kreis geworden ist, weil ich hab - ich bin zwar rumgelaufen aber ich hab erst gemerkt, daß es ein Kreis geworden ist, als ich wieder hochgesehen hab, daß ich jetzt im Kreis sitze. Der Kreis war für mich ganz zufällig.

D: Ich hab so den Eindruck gehabt so, wir haben zwar jetzt so ein Thema, das wir irgendwie machen sollen, jetzt wieder eine andere Skulptur oder sowas zu bilden, und am Anfang hatten wir Schwierigkeiten, damit überhaupt umzugehen. Da seh ich halt, du bist rausgegangen, irgendwie hast dich praktisch dem entzogen ein Stück weit, und wir andern haben das mehr jetzt so spaßig gemacht, also hatten schon noch Motivation, da jetzt was dran zu machen, aber irgendwie auf eine Art und Weise, daß ichs nur noch witzig fand gell. (zu A) also wie du da deine Runden gedreht hast...

A: Ja, das Rundendrehen war für mich mehr so eine Ratlosigkeit: was mach ich jetzt mit der Sabine, ich fühl mich da verantwortlich.

C (von außerhalb): Also für mich ist es jetzt so, daß ich mir das eigentlich echt jetzt von außen angucken konnte, und es hat sich nichts verändert.

F: Wie gscheit (?)

C: Im Endeffekt sitzen alle wieder so wie vorher. Und das war für mich eigentlich so der Druck, dem - entweder ich sag, mach jetzt irgendwie eine Vorschlag, - was weiß der Geier was, lesen wir eine Geschichte oder erzählen uns was, oder so ja, daß es Thema gibt. Oder wir machen so weiter, wir laufen ein paarmal rum und zuletzt sitzen wir wieder so.

G: Aber ich find die statischen Momente, find ich gar nicht so interessant. Also -

C: Das ist das Ergebnis erst einmal -

G: Klar, klar das ist das Ergebnis, aber was ich viel interessanter finde, ist wie das Ergebnis zustande kommt. Also ich sitze hier auch irgendwie ein bißchen gespalten, einerseits nehme ich hier dran teil, aber auf der anderen Seite gucke ich mir auch irgendwie von außen an.

C: Komm halt her.

G: Ach nee, es ist viel spannender, es von hier innen zu betrachten als von außen. Weil du selber was mit verändern kannst.

C: Das frage ich mich ja gerade, ob sich so viel verändert hat.

Br: Da die Zeit voranschreitet, bitten wir noch um eine Abschlussskulptur.

Ts: (Zu H) Ich glaube, sie hat noch keine Gelegenheit gehabt ...

H: Ich? doch ich hab schon was ...

Ts: Eine letzte Skulptur.

(Es entsteht Skulptur 5)

A: Eingefroren, oder?

(Beim Aufschreiben entsteht Skulptur 6)

G: Ah, interessant.

A: Also was ich jetzt gemerkt hab, ich wollte gern so, ich wollte jetzt gern eine richtig schöne große Abschlussskulptur, von mir aus. Und, ja dann war eigentlich dieselbe Situation wie vorher am Anfang auch: daß ich eben da gesessen bin und noch zwei dann dazu, und die anderen so drum herum gestanden und gelacht und nicht wissen - also - für mich war das eine Wiederholung. Und gleichzeitig auch: na ja gut, dann halt nicht.

G: Warum hat sich eure Figur eigentlich wieder aufgelöst?

A: Na weil wir schreiben müssen.

G: Na das ist kein Problem, das hätte ich auch holen können.

A: Stimmt. Aufgelöst hat sie sich, weil ich hab angefangen mit Auflösen. Gell?

G: Das ist ja auch kein Grund.

F: Für mich war einfach - klar ich werte das jetzt aus und damit löse ich die Figur auf. Und gar nicht viel mehr zu denken. Aber ich fand's interessant, also wir drei sind da in der Mitte gesessen und haben die Figur gemacht, ihr zwei (E und H) seid so in einer halb sitzenden Haltung, genau gleich, dagesessen solidarisiert oder was weiß ich, und die zwei Männer (B und G), die sind gestanden. Du (G) bist stehen geblieben und du (B) hast dich dann irgendwann unwohl gefühlt und hast dich dann hingesetzt.

..
nee

F: Oder war das - hast dich nicht hingesezt, war das immer noch - na gut. Es ist interessant so, die verschiedenen Positionen.

B: Ich hab nur noch überlegt, ob ich mit ihm auch noch so ne - noch was mach. Dazu hab ich mich dann aber doch nicht entschließen können, und dann bin ich stehen geblieben.

H: Also für mich war es so, daß ich das Gefühl gehabt hab, also wir haben zwar tolle kreative Ader gehabt dann so - zu gruppieren, aber irgendwie hab ich das Gefühl gekriegt, jetzt so zum Abschluß so Harmoniegebilde zu machen, das - das hat mich innerlich ziemlich also so abgeschreckt und das wollt ich dann auch nicht, weil ich das Gefühl gehabt hab, das sei jetzt so eine künstliche Erwartung oder künstliche Atmosphäre. Und ja, dann wußte ich halt nicht so recht, was ich jetzt machen sollte.

G: Ich find eigentlich, die Abschlußfigur ist erst jetzt eingetreten. Das vorher war meiner Meinung nach überhaupt keine Abschlußfigur, dieses - die drei Personen, die da zusammengesessen sind. Weil ich find, wenn es eine Abschlußfigur gewesen wäre, dann wäre die erhalten geblieben.

A: Das stimmt.

F: hm.

G: Aber jetzt ist wieder alles auseinandergerückt, er (B) hat sich inzwischen auch rausgesetzt. Also das erscheint mir viel eher als eine Abschlußfigur hier.

A: Das stimmt, das war vielleicht mehr so ein Zwischenstadium.

G: Ich weiß nicht, es war überhaupt kein - keine, wie heißt das, Gefrierpunkt da. Also, da hieß es zwar, OK es wird eingefroren, aber danach haben sich alle lustig weiterbewegt. Also ihr habt eure Figur aufgelöst, er hat sich - steht nicht mehr, er sitzt inzwischen draußen.

H: Ich glaub, daß das auch von dem kam, daß man halt so das Gefühl hat, man muß jetzt noch eine Leistung bringen zum Schluß, also in einer Abschlußfigur oder sowas. Das Gefühl hab ich eben, deshalb konnt ich das irgendwie nicht.

F: Ja für mich wars schon so. Ich hab ja vorher schon gedacht, ich möcht noch irgendwas machen und - gut...

G: Mich täts mal interessieren, was passiert wäre, wenn nicht offiziell gesagt gewesen wäre, daß das jetzt die letzte Figur ist, sondern daß es noch so, was weiß ich, fünf bis zehn Runden weitergeht.

F: Dann hätten wir vielleicht weitergemacht, ich weiß es nicht. Vielleicht wär tatsächlich irgendwann mal ne - irgendwas entstanden.

A: Für mich hat Abschluß, hat Einfrieren was mit Bequemlichkeit zu tun, stell ich grad fest. Also, wie wir zu dritt gesessen sind, das war für mich so ein bisschen ein Hinundherschaukeln und instabil, hingegen wenn ich alleine sitz, dann ist es - ist das irgendwie stabil. Und für mich allein, daß - daß das dann einfriert und bleibt, ja ist das einfach sicherer.

B: Ich hätt mich bloß nicht rausgesetzt, wenn ich - wens weitergegangen wäre. Ich wollt mirs auch gemütlich machen zum was Schreiben, aber wenn ich gewußt hätte, daß - daß weitergegangen wär, wär ich wahrscheinlich - wär vermutlich auf den Boden gesessen und dringeblichen. Und so hab ich schon gewußt, ja es ist eh vorbei, auch räumlich jetzt schon nach außen gehen.

G: Ja es ist halt eine Vorwegnahme des Schlusses. Also ein Hineinbringen des Schlusses in die Aktion da.

E: Also für mich war die vierte, also die vorige Phase, da wars wie - wie eine stabile Konstellation. Während sich das jetzt, so hätt's eigentlich bleiben können, während sich das jetzt, dadurch daß so drüben zusammengerückt sind, hat sich die Gruppe aufgelöst eigentlich. Ja...

A: Ja dadurch, daß wir wieder auseinander gegangen sind eigentlich.

E: Dadurch - daß ihr - daß ihr zusammengesetzt habt.

A: Dadurch hat sichs aufgelöst? Findst du? Weil ich hab eher den Eindruck, dadurch hat sichs aufgelöst, daß wir uns wieder auseinander gesetzt haben. Gesetzt den Fall, wir würden jetzt immer noch zusammen hier drin sitzen, - ja denk ich, dann wär ...

G: Wär ein interessantes Gruppenbild.

A: Ja das - dann wärens denn eben irgendwie drel.

G: Ja dann hätt sich die Großgruppe dann aber auch irgendwie aufgelöst.

F: Ja aber die große Gruppe hätt sich auch nicht (?) integrieren können irgendwie, zum Beispiel. Dann wär eine neue Gruppe oder irgend - eine neue Formation entstanden.

G: Das wär aber ziemlich eng geworden.

C (nach Handbewegung Br): Ich hab mich grad mit ihr unterhalten...

(Frau aus dem Außenkreis): Für mich von außen. daß es jetzt ewig weitergeht aber ich hab jetzt das Problem ich muß jetzt gehen. Ich würde gern was dazu sagen ... von außen einige Sachen beobachten können ... diese Mann-Fraukonstellation z.B. ...

ANHANG B:

Quelltext zum Simulationsprogramm in Kapitel 6

```

program simulation (input, output);
{*****}
Copyright 1989:
    Wolfgang Tschacher
    Peter Tritschler
    Idee: A.K. Dewdney
{*****}
uses crt,printer;
type raum = array [0..31,0..21] of char;
    perspos = record xkoord:0..31;
                  ykoord:0..21;
    end;
    personen = 'A'..'H';
    xkoord = 0..31;
    ykoord = 0..21;
    wunsch = array ['A'..'H','A'..'H'] of real;
    fwunsch = file of wunsch;
    posit = file of integer;
var wun: wunsch;
    x: xkoord;
    y: ykoord;
    f: fwunsch;
    pos: posit;
    r: raum;
    pp: array ['A'..'H'] of perspos;
    p,q: personen;
    z,a,b,c: char;
    dx,dy,xx,yy,i,j,px,py: integer;
    dist,summe,altsum,minsum: real;
    pe: perspos;
    iter: integer;
label neueingabe, wieder;

Begin
{ Erstellen, Einlesen oder Veraendern der Wunsch-datel }
repeat writeln ('Soll die Matrix der Wunschabstaende');
    writeln ( ' Neu erstellt (n),' );
    writeln ( ' Eingelesen und verwendet (e),' );
    writeln ( ' Eingelesen und veraendert werden (v) ?');
    readln (c)
    until (c='n') or (c='e') or (c='v');
    if c='n' then

        {Wunschabstandsdatei neu erstellen}
        begin
            writeln ('Bitte den Wunschabstand der einzelnen Personen');
            writeln ('zueinander als Real-Zahl eingeben! (Zulssiger)');
            writeln ('Bereich ist zwischen 0 und 100.') );
            assign (f,'wunsch.dat');

```

```
rewrite (f);
for p:= 'A' to 'H' do
begin
  for q:= 'A' to 'H' do
  begin if p=q then
    begin wun [p,q]:= 0;
      write (f,wun);
    end
    else
    begin repeat write (p,' zu ',q,': ');
      read (wun[p,q]);
      until (wun[p,q] >=0) and
        (wun[p,q] <=100);
      write (f,wun);
    end;
  end;
end;
close(f);
end;

if c='e' then
{Wunschabstandsdatei einlesen}
begin
  assign (f,'wunsch.dat');
  reset (f);
  writeln(' A B C D E F G H');
  for p:= 'A' to 'H' do
  begin
    write(p, ' ');
    for q:= 'A' to 'H' do
    begin
      read (f,wun);
      write (wun[p,q]:2:1, ' ');
    end;
    begin
      writeln
    end
  end;
  close (f); writeln; writeln;
end;

if c='v' then
{Wunschabstandsdatei einlesen und veraendern}
begin
  assign (f,'wunsch.dat');
  reset(f);
  writeln;
  writeln('Die Wunschabstands-Datel:');
  for p:= 'A' to 'H' do
  for q:= 'A' to 'H' do
  begin
    j:= filepos (f);
    read (f,wun);
    write (p,' zu ', q,': ',wun[p,q]:2:2, ' * ');
```

```

write (' Veraendern? (j/n): ');
repeat readln (c) until (c='j') or (c='n');
if c='j' then
begin
seek (f,1);
writeln ('neue Real-Zahl: ');
readln (wun[p,q]);
write (f,wun);
writeln;
end;
writeln;
end;
reset (f);
writeln;
writeln ('Die veraenderten Daten: ');
p:= 'A';
q:= 'A';
while not eof(f) do
begin
read (f,wun);
write (wun[p,q]:2,'** ');
if (q='H') then
begin if p<>'H' then p:=succ (p);
q:='A';
end;
q:= succ(q);
end;
close(f);
writeln; writeln;
end;

```

(* Beschreibung des Raumes *)

For x:=0 To 31 Do

Begin

For y:=0 To 21 Do

Begin

If ((x=0) Xor (x=31)) Or ((y=0) Xor (y=21)))

Then r[x,y] := '+'

Else r[x,y] := ' ';

End;

End;

{ Erstellen einer Positionsliste der Personen }

neueingabe:

write('Soll auf die Positionsliste zurueckgegriffen werden? j/n: ');

readln (a);

writeln;

Case a Of

'j','J': begin {Positionslistenzugriff}

assign(pos,'posit.dat');

reset(pos);

for p:= 'A' to 'H' do begin

writeln('Person ',p,' hat die Ausgangsposition');

read (pos,px);

```

    pp[p].xkoord:= px;
    read (pos, py);
    pp[p].ykoord:= py;
    writeln ('X = ',px,'   Y = ',py);
    end;
end;

{Positionsliste anlegen}      'n','N': Begin
    assign (pos,'poslt.dat');
    rewrite (pos);
    writeln('Geben Sie bitte die X/Y-Koordinaten der Personen A bis H ein!');
    writeln ('X von 1 - 30, Y von 1 - 20');
    writeln ('-----');
    Begin
        For p:= 'A' To 'H' Do
            Begin
write ('Die Koordinaten der Person ',p,'. X= '); readln (px);
                write ('                      Y= '); readln (py);
                pp[p].xkoord:= px;
                write(pos,px);
                pp[p].ykoord:= py;
                write(pos,py);
                End;
            End;
        End;
    Else  writeln ('Neue Eingabe!');
        Goto neueingabe;
    End;

{ Einfuegen der Positionsliste in die Beschreibung des Raumes }
Begin
For p:= 'A' To 'H' Do
    r[pp[p].xkoord,pp[p].ykoord]:= p;
End;

{ Ausdruck des Raumes }
Begin
writeln;
writeln ('Das Feld mit den Personenpositionen');
writeln;
For y:=21 Downto 0 Do
    Begin
        For x:= 0 To 31 Do write (r[x,y], ' ');
        writeln;
    End;
End;

    { iterative Berechnung der Bewegung im Raum }
wieder:
iter:= 1;
repeat

for p:= 'A' to 'H' do begin
{ WRITE ('p:',p);}

```

```

altsum:= 1000;
for dx:= -1 to 1 do
  begin
    for dy:= -1 to 1 do
      begin
        x:= pp[p].xkoord + dx; { WRITE('x:',x);}
        y:= pp[p].ykoord + dy; { WRITE('y:',y);}
        summe:= 0;
        if ((x=0) or (x=31) or (y=0) or (y=21)) then summe:= 1001;
        for q:= 'A' to 'H' do
          begin { WRITE('q: ',q);}
            if ((x-pp[q].xkoord=0) and (y-pp[q].ykoord=0)) then
              summe:= 999;
            dist:= sqrt(sqr(x-pp[q].xkoord) + sqr(y-pp[q].ykoord));
            summe:= summe + abs(dist-wun[p,q]);
          end;
        if summe < altsum then
          begin
            xx:= x;
            yy:= y; { WRITELN ('ist min! ');}
            altsum:= summe;
          end
        end;
        begin
          r[pp[p].xkoord,pp[p].ykoord]:= '.';
          pp[p].xkoord:= xx;
          pp[p].ykoord:= yy;
          write(r[xx,yy]);
        end;
        r[xx,yy] := p;
      end;
    end;
  end;
  {Ausdruck des iterierten Raumes}
  begin
    writeln ('Das Feld nach der ',iter,'. Iteration:');
    iter:= iter + 1;
    writeln;
    for y:= 21 downto 0 do
      begin
        for x:= 0 to 31 do write (r[x,y], ' ');
        writeln;
      end;
    end;
    delay(200); gotoxy(1,25);
    until keyPressed; halt;
  end.

```