Zur Anwendung der Katastrophentheorie in der Psychologie

M. v. Saldern

Zusammenfassung, Summary, Resume

Durch die Wiederentdeckung der Systemtheorie ist in den letzten Jahren immer häufiger zur Anwendung der Chaos- und Katastrophentheorie in der Psychologie zu beobachten. Dies geschieht allerdings nicht empirisch, sondern ausschließlich über Plausibilitätsargumentationen. Deshalb erscheint es notwendig, die Fruchtbarkeit dieser Modelle für die Psychologie zu überprüfen. Es wird ein Überblick über chaos- und katastrophentheoretische Modelle gegeben und Anwendungsbeispiele für die Psychologie diskutiert. Es kann festgehalten werden, daß diese nicht-linearen Modelle zwar einen gewissen Stellenwert errungen haben, eine Anwendung aber nur dann sinnvoll und richtig ist, wenn (1) der Systembegriff geklärt ist, (2) ein adäquates statistisches Modell gefunden wird.

The application of catastrophe theory in psychology

In recent years the renaissance of the system theory has increased the application of the chaos- and catatrophe theory in psychology. This is not been done empirically, but only with arguments about the plausibility. Therefor it seems to be necessary to discuss the possibilities of application of this kind of nonlinear models. An overview about this models is given as well as an discussion about the application in psychology. Results show that these kinds of models are adquat only when (1) the system is defined clearly and (2) a statistical model is found.

Es scheint in jüngster Zeit Gründe dafür zu geben, sich auch in der Psychologie mit der Systemtheorie zu beschäftigen, da diese - zumindest auf den ersten Blick - ein Begriffs- und vor allem Methodeninventar zur Verfügung stellt, welches zur Klärung offener Fragen dienlich sein kann. Dabei scheinen nicht-lineare Modelle besondere Anziehungskraft zu besitzen. Bisher waren Analyse und Kategorisierung die natürlichen Instrumente wissenschaftlichen Fortschritts. Man muß sich diesbezüglich wohl dem Urteil von TROITZSCH anschließen: "Wie stark das Normalverteilungsparadigma die empirischen Sozialwissenschaften beherrscht, läßt sich anhand von Lehrbuchtexten leicht nachweisen, in denen nicht-lineare Zusammenhänge zwischen (dann zwangsläufig nicht normal verteilt) Variablen meist nur mit wenigen Sätzen oder allenfalls auf wenigen Seiten abgehandelt werden" (1987, S. 31). MATURANA kritisierte das hinter dieser Vernachlässigung nicht-lineare Modelle stehende newtonsche Weltbild: "In dieser Weltanschauung werden reale Systeme durch den Versuch, sie zu verstehen, vernichtet". Und weiter: "Es ist eine eiserne Jungfrau, die die gegenwärtige Forschung in tödlicher Umarmung gefangen hält. Für viele ist dies eine durchaus befriedigende Situation, gerade weil diese Umarmung so vollkommen sicher ist" (1982, S. 171). Dies gilt auch für die Psychologie, deren Methodologie nach wie vor weitgehend auf dem newtonschen Weltbild beruht. Gerade aber das naturwissenschaftliche Weltbild hat sich mehrmals entscheidend verändert. LAUTERBORN & MEYER-ILSE (1986) haben die Entwicklung folgendermaßen verdeutlicht:

WITTGENSTEIN	Die Welt ist alles, was der Fall ist.
1900 (Mechanik/Thermodynamik)	Die Welt ist statistisch.
1910 (EINSTEIN)	Die Welt ist relativ.
1930 (Quantentheorie):	Die Welt ist quantenhaft
Heute	Die Welt ist nicht-linear.

Hinter diesen Phasen stehen unterschiedliche Anwendungsbereiche dynamischer Systemansätze. JANTSCH (1986) hat diese in einer Übersicht dargestellt, die hier etwas verändert in Tab. 1 wiedergegeben ist.

Tab. 1 Anwendungsbereiche dynamischer Systemansätze

Mikroskopische Ursachen	Makroskopische Wirkung	
Systemstruktur Systemdynamik	kontinuierlich	diskontinuierlich
kontinuierlich (Gesetz der großen Zahl gilt) Gleichgewicht Equilibration	Differential-gleichungen: a) linear b) nichtlinear	a) Ultrastabilität (Ashby) b) Katastrophentheorie (Thom und Vorgänger)
diskontinuierlich (Gesetz der großen Zahl aufgehoben) Ungleichgewicht Selbstorganisation	a) Dissipative Strukturen (Prigogine & Nicolis) b) statistische Kugelspiele-Autopoiese (Maturana & Varela)	a) Ordnung durch Fluktuation (Prigogine) b) statistische Kugelspiele-Evolution (Eigen & Winkler)

Die letzte oben genannte und derzeit aktuelle Phase hat auch Einfluß auf die Methodologie, die als Chaos- bzw. Katastrophentheorie bekannt geworden ist. Mit diesen Begriffen[1] ist ein übergreifender Forschungsbereich bezeichnet, der Wirklichkeit durch nicht-lineare Modelle zu beschreiben sucht. Die Begriffe selbst sind sehr prägnant, wie HAKEN schon feststellte: "Wissenschaftler nehmen manchmal dramatische Worte aus der Umgangssprache und ordnen ihnen eine fachspezifische Bedeutung zu" (1983, S. 341). Was steckt hinter diesem

[1] Alternative*: Chaologie* s. GLEICK, 1988, S. 88, Anmerkung 9

Ansatz, der ja schon so populär geworden ist[2]. Die Bezeichnungen sind umgangssprachlich auch bekannt: Wer erwähnt nicht gerne das *Chaos* in der Schulklasse oder in der Fußgängerzone, wenn der Beobachter großes Durcheinander zu sehen glaubt? Häufig werden abrupte Änderungen auch als *Katastrophe* bezeichnet. Schon MAX PLANCK hat die Katastrophe - ohne allerdings diesen Begriff zu verwenden - anschaulich beschrieben: "Die Natur scheint in der Tat Sprünge zu machen, und zwar solche von recht sonderbarer Art" (PLANCK, 1965, S. 74).

Die Brisanz dieses neuen Konzeptes liegt aber nicht so sehr in den (schon älteren!) mathematischen Modellen, sondern darin, daß hier Ansätze für eine Lösung psychologischer Fragen gesehen werden. Wie käme ein bekannter Psychologe wie CRONBACH dazu, die typisch psychologische Methodologie in Frage zu stellen[3] oder sogar zu behaupten, daß menschliches Verhalten grundsätzlich nicht-linear abläuft?[4] STERMAN hat die Lage treffend charakterisiert: "The discovery of nonlinear phenomena such as deterministic chaos in the physical world naturally motivates the search for similar behavior in the world of human behavior" (STERMAN, 1988, S. 172).

Es gibt zahlreiche Anwendungen von nicht-linearen Modellen innerhalb der Naturwissenschaften, die sich weitgehend unter dem Begriff Chaostheorie fassen lassen. Nicht-lineare Modelle spielen dabei vor allem in der Meteorologie eine große Rolle. Beispiele für die Anwendung in den Sozialwissenschaften sind die Analyse der Entstehung von Kriegen (SAPERSTEIN, 1984), die Analyse über die Bierdistribution in den USA (STERMAN, 1988) oder betriebswirtschaftliche Fragestellungen (CHEN, 1988). Diese (und weitere) Anwendungen führten dazu, daß nicht-lineare Modelle in den Sozialwissenschaften populär wurden. Es geht aber noch weiter: "Mit der Hinwendung zu ökologisch valider Erkenntnisgewinnung zeigt sich in vielen Wissenschaften die Neigung, nicht-lineare, insbesondere chaotische Phänomene für den Normalfall zu erklären und klassisch-lineare eher als Ausnahme zu betrachten" (ALISCH,. o.J., S. 4). Es zeigte sich, "daß die lösbaren, geordneten Systeme die eigentlichen Ausnahmen darstellten" (GLEICK, 1988, S. 105).

Im folgenden soll es darum gehen, die Begriffe Chaos und Katastrophe und die dahinter stehenden, nach ihnen benannten, Theorien zu erklären und kritisch zu hinterfragen, ob und inwieweit solche Modelle für die Psychologie fruchtbar gemacht werden können.

Ordnung und Chaos

Der Begriff *Chaos* ist in Kontrastierung zum Begriff *Ordnung* relativ leicht verständlich zu machen. Was ist Ordnung? Es ist eine konstruierte Struktur, die man der Wirklichkeit auferlegt, um Heterogenität und

---

[2] Hinweise zur Popularität: ALBRECHT 1989 stellte Grundzüge der Chaostheorie im *Zeit-Magazin* vor. SCHNABEL berichtet über eine Chaos-Konferenz in Freiburg in der *Zeit* v. 7.10.1988.

[3] "Educational events have always been far more complex than our research methods" CRONBACH, 1988, S. 46.

[4] "Subjects were not using linear models" CRONBACH, 1988, S. 47

Kompliziertheit zu verringern. Ordnung ist eine Interpretation und ist abhängig von dem gewählten Modell. Es ist der Betrachter, der Ordnung oder Chaos sieht. VON FÖRSTER (1985, S. 5) hat einleuchtend gezeigt, daß bestimmte Ordnungsbegriff oft so erlernt sind, daß der Mensch andere Ordnungskulturen gar nicht mehr erkennt. Nehmen wir zwei Zahlenfolgen A und B:

A: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

B: 8, 3, 1, 5, 9, 6, 7, 4, 2

Die Ordnung der Reihe A ist sofort einsichtig, Reihe B hingegen scheint auf den ersten Blick durch Unordnung gekennzeichnet. Schreibt man allerdings die Zahlen der zweiten Reihe in (deutsche) Worte, so wird man feststellen, daß diese Worte (<u>a</u>cht, <u>d</u>rei, <u>e</u>ins ...) alphabetisch geordnet sind.

Chaos über die Zeit hinweg betrachtet ist eine irreguläre Bewegung, die aus deterministischen Gleichungen herrührt (HAKEN, 1983, S. 341). Die Schwierigkeit dieser Definition liegt nun aber darin, klar zu definieren, was eine *irreguläre Bewegung* ist. Überlagern sich beispielsweise mehrere Frequenzen, so liegt nur scheinbar eine chaotische Situation vor. "We can thus define an orbit to be chaotic if complete knowledge of which cells the system occupied in the past, that is, all the cell numbers up to the present *t*, does not allow us to determine the cell number at *t*+1 or any other future time" (FORD, 1983, S. 42). Struktur und Verhalten sind also offensichtlich untrennbar miteinander verbunden. Die Regelmäßigkeit im Verhalten bezeichnet man als Ordnung. Ordnung wird gewährleistet durch Information und Informationsübertragung, welche als Ziel Komplexitätsbewältigung hat. Wird Verhalten zyklisch, dann spricht man von Ordnung. Ordnung und Chaos sind allerdings Begriffe, deren extreme Ausprägung als Ideal gesehen werden muß. "Das Gegenteil von Ordnung ist Chaos und der vollständige Mangel an Bestimmtheit bei der Bildung einer Menge von Elementen. Das absolute Chaos ist ebenso wie die absolute Ordnung eine Abstraktion" (LASZLO, 1978, S. 226).

Schon der Philosoph und Mathematiker WHITEHEAD erkannte dies: "Was unsere Erkenntnis anbelangt, gibt es keinen Grund, die wirkliche Welt als rein geordnet oder als rein chaotisch aufzufassen" (WHITEHEAD, 1979, S. 214). Krankheit z.B. kann man über die Begriffe Ordnung und Chaos charakterisieren. Krankheit tritt entweder bei erstarrter Ordnung auf oder bei ungesteuertem Chaos. Gesundheit liegt dann vor, wenn Ordnung und Chaos die Funktionen des Körpers beschreiben können. Der medizinische Sinn der Ordnung liegt in der Stabilität und Konstanz, der Sinn des Chaos in der notwendigen Flexibilität und Anpassung. WHITEHEAD ahnte Ähnliches: "Das richtige Chaos und die richtige Undeutlichkeit sind beide erforderlich für jede effektive Harmonie. Sie erzeugen die massive Einfachheit, die in dem Terminus *Enge* zum Ausdruck kam. Daher darf das Chaos nicht mit einem Übel gleichgesetzt werden; denn Harmonie verlangt die richtige Koordination von Chaos, Undeutlichkeit, Enge und Weite" (WHITEHEAD, 1979, S. 216).

Zentrales Merkmal chaotischer Modelle: der Zeitfaktor

Modelle der Chaostheorie zur Abbildung der Wirklichkeit berücksichtigen den Zeitfaktor: "Aus klassischer Sicht sind die Anfangsbedingungen beliebig, und nur das Gesetz, das die Anfangsbedingungen mit dem Endergebnis verknüpft hat eine wesentliche Bedeutung. Verhielte es sich wirklich so, dann hätte die Frage nach dem Sein keinen anderen Sinn, als den, daß die Wahl der Anfangsbedingungen beliebig sind. Nun entspricht diese Beliebigkeit der Anfangsbedingungen aber einer hochgradig idealisierten Situation, die wir in der Tat nach eigenem Gutdünken herstellen können. Wenn wir komplexe Systeme nehmen - sei es eine Flüssigkeit oder sogar ein sozialer Sachverhalt -, dann unterliegen die Anfangsbedingungen nicht mehr unserem Gutdünken, sondern sind das Ergebnis der vorausgegangenen zeitlichen Entwicklung des Systems" (PRIGOGINE, 1985, S. 260).

Wie zeichnet sich das Verhalten eines solchen Systems aus? EIGEN & WINKLER (1987, S. 44) unterscheiden drei Verhaltensweisen von Systemen: Stabilität, Indifferenz und Instabilität. Stabilität liegt vor, wenn sich die für das Verhalten entscheidenden Parameter die Waage halten. Je rascher die Kommunikation innerhalb des Systems stattfindet, umso größer ist der Prozentsatz der unbedeutenden Schwankungen, die nicht imstande sind, den Zustand des Systems zu verändern, d.h. umso stabiler ist das System" (PRIGOGINE & STENGERS, 1986, S. 181). Instabil ist ein System dann, wenn eine kleine Änderung zu einer lawinenartigen Katastrophe führt. Ein System gilt als indifferent, wenn es alle möglichen Werte annehmen kann. Das System wird durch nichts geregelt.

Nimmt man eine solche Charakterisierung zur Beschreibung des Verhaltens einer Person, dann müßte sie über die Zeit betrachtet idealerweise stabil und nicht indifferent handeln, so daß dies System selbst nicht zerstört wird. Menschliche Handlungen aber basieren auf einer Folge von Entscheidungen zwischen Alternativen. Systemtheoretisch betrachtet liegt eine sog. Zwei-Gabelung (Bifurkation) vor.

Wenn also eine Anwendung für die Psychologie sinnvoll erscheint, dann müssen alle Daten mehrfach über die Zeit erhoben werden. Nur dann kann deutlich werden, wie sich das System Mensch verhält. Dies erscheint wichtig vor dem Hintergrund, da zahlreiche Handlungstheorien davon ausgehen, daß Handlung auf einer zeitlichen Folge von Entscheidungen basieren. Entscheidungen sind Entscheidungen zwischen Alternativen, um diese soll es im folgenden gehen.

Bifurkation

Eine Bifurkation ist eine Stelle in der Entwicklung eines Systems, an der sich dieses zwischen zwei Alternativen entscheiden muß. "Im Grunde ist eine Verzweigung (Bifurkation) nichts anderes als das Auftreten einer neuen Lösung der Gleichungen bei einem kritischen Wert" (PRIGOGINE, 1985, S. 118). Dieses Phänomen der Bifurkation steht mit katastrophenartigen Veränderungen und (psychologisch betrachtet) Konfliktsituationen im Zusammenhang. Das System muß nämlich im entscheidenden Augenblick des Überganges über den kritischen Wert entscheiden.

Der Übergang zur Komplexität hängt also ganz eng mit dieser Möglichkeit neuer Lösungswege zusammen. Sie tritt auf im Gefolge der Instabilität eines Referenzzustandes. Bifurkationen sind an sich nicht negatives, sie können sogar als Quelle von Innovation gesehen werden, da sie Systeme mit neuartigen Lösungen ausstattet werden (eine neue Handlungsalternative wird erlernt). Lösungen durch Bifurkation bringen gebrochene Symmetrien hervor. Dies bedeutet, "daß eine interne Differenzierung zu verschiedenen Teilen eines Systems oder zwischen dem System und seiner Umgebung offen erkennbar wird" (NICOLIS & PRIGOGINE, 1987, S. 113). Symmetriebrechnung ist damit eine der ersten Vorbedingungen für komplexes Verhalten.

So erklärt sich auch die Entwicklung des Systems: Die Voraussetzungen für Systementwicklung sind Offenheit und Ungleichgewichtheit des Gesamtsystems. Das Gesamtsystem kann sich dann entwickeln, wenn Untersysteme zur erhöhten Instabilität kommen. Diese Instabilität wird vom Gesamtsystem unterdrückt bis zu einem Punkt, wo das Gesamtsystem die Fluktuation nicht mehr dämpfen kann. Das Gesamtsystem wird sich ändern. Der Volksmund sagt: Der Krug geht solange zu Wasser, bis er bricht.

Die Entwicklung offener Systeme kann nicht mehr eindeutig aus der vorgegebenen Situation vorhergesagt werden, da in ihrer Entwicklung Verzweigungspunkte (Bifurkationen) auftreten können. Die klassische, strenge Form des Kausalgesetzes (Determinismus) versagt in der Nähe solcher Verzweigungspunkte. Auch durch sehr kleine Änderungen kann sich die Zukunft ganz anders gestalten. "Ein Symmetriebruch ist ein qualitativer Sprung" (v. CRANACH, 1987, S. 15).

"Recht bemerkenswert ist, daß Systeme in der Nähe von Verzweigungen große Schwankungen aufweisen. Das System scheint zwischen verschiedenen möglichen Entwicklungsrichtungen zu zögern und das berühmte Gesetz der großen Zahlen versagt in seinem üblichen Sinne. Eine kleine Schwankung kann eine Entwicklung einleiten, die das Gesamtverhalten des makroskopischen Systems drastisch verändert" (PRIGOGINE & STENGERS, 1986, S. 23). Oder anders ausgedrückt: "Das Zünglein an der Waage kann großes bewirken" (E. U. V. WEIZSÄCKER, 1986, S. 50).

Ein Charakteristikum chaotischer Systeme ist, daß sie sehr sensibel auf Änderungen der Anfangsbedingungen reagieren. Daraus resultiert das zweite Merkmal, nämlich, daß hier das starke Kausalitätsprinzip[5] verletzt wird: Ähnliche Ursachen haben nicht mehr ähnliche Wirkungen (DEKER & THOMAS, 83, S. 63f). Als drittes ist die Unregelmäßigkeit des Prozesses zu nennen. Zuletzt sei die Unberechenbarkeit des langfristigen Verhaltens genannt.

Eine schöne Metapher, um diesen Sachverhalt anschaulich zu beschreiben ist unter dem Namen Schmetterlingseffekt bekannt geworden: Der Schlag eines Schmetterlingsflügels als Ursache für einen Wirbelsturm (GLEICK, 1988, S. 37). (Ursprünglich benutzte LORENZ, auf den dieser Metapher zurückgeht, die Seemöve).

Auf ein schönes und anschauliches Beispiel für Bifurkationen greifen ALLEN, SANGLIER & ENGELEN (1984; ALLEN, 1982) zurück: Origami, die in Japan entstandene Kunst des Papierfaltens. Ziel einer Reihe von Faltungen ist meist ein dreidimensionales Objekt aus der Erfahrungswelt von Kindern und Erwachsenen. Der Ausgangspunkt ist ein ungefaltetes Blatt Papier. Bereits mit der ersten Faltung schließt man bestimmte weitere Möglichkeiten aus (Abb. 1):

```
 Ú----------------------------------------- Seemöve
 ³                         Ú---------------- Kappe
 Ã------------------------´
 ³                         À---------------- Kasten
-´                Ú------------------------- Ente
 Ã----------------´
 ³                À------------------------- Pferd
 ³                Ú------------------------- Vase
 Ã----------------Å------------------------- Tulpe
 ³                À------------------------- Flatternder Vogel
 À----------------------------------------- Hund
```

Abb. 1: Das japanische Papierfalten (Origami) als Beispiel für Bifurkationen

Bemerkenswert an diesem kleinen Ausschnitt des Origami ist die Tatsache, daß der *Flatternde Vogel* der *Tulpe* näher liegt, als der *Seemöve*. Diese Metapher steht für zwei sehr ähnliche Zustände eines Systems, wobei das System es schwer hat, von dem einen in den anderen zu gelangen. Vor diesem Hintergrund scheint es tatsächlich fruchtbar zu sein, diverse psychologische Prozesse unter dem Modell des dynamischen Systems zu beschreiben. Wie soll dies aber praktisch durchgeführt werden?

Nicht-lineare dynamische Systeme

[5] Auf der starken Kausalität beruht z.B. der Gedanke der Reproduzierbarkeit von Untersuchungen. Wird eine Untersuchung repliziert, so kann man annehmen, daß die Folge-Untersuchung nicht exakt identisch ist. Andererseits sollen die gleichen, bestätigenden Ergebnisse folgen. Dies ist nur möglich, wenn das starke Kausalprinzip gilt.

Man sagt der Chaostheorie nach, daß sie schwierig sei. Zumindest ist sie nicht schwieriger als die mathematische Modellbildung generell sein könnte. Man nähert sich dem mathematischen Teil der nicht-linearen Modelle am besten über die Vergegenwärtigung dessen, was man über Regressionen weiß.

a. Linearität und Nicht-Linearität

Man kann u.a. folgenden Fälle voneinander unterscheiden (graphische Darstellungen bei WILSON & BENNETT, 1985, S. 50):

	linear	quadratisch
zweidimensional	$y = a + bx$	$y = a + bx + cx^2$
dreidimensional	$y = a + bx + cy$	$y = a + bx + cz + dx^2 + exz + f$

Man könnte die zwei- und dreidimensionalen Modelle nun erweitern zu kubischen usw. Man sieht: Das lineare Modell (bisher am häufigsten herangezogen) scheint im Vergleich zu den anderen Modellen geradezu trivial zu sein.

b. Stationarität

In der überwiegenden Zahl empirischer psychologischer Untersuchungen nimmt man an, eine Variable y unabhängig von Raum (Koordination x_1 und x_2) und Zeit t beobachtet werden kann. Strikte Stationarität liegt dann vor, wenn folgende drei Bedingungen erfüllt sind:

- Homogenität. Die Variable $y(t, x_1, x_2)$ ist gegenüber Translation invariant: $y(t, x_{1+k}, x_2)$ für jedes beliebige k.
- Isotropie. Die Variable $y(t, x_1, x_2)$ ist gegenüber räumlicher Veränderung invariant: $y(t, x_{1+k}, x_{2+s})$ für jedes beliebige k, s.
- Stationarität. Die Variable $y(t, x_1, x_2)$ ist gegenüber zeitlicher Veränderung invariant: $y(t+p, x_1, x_2)$ für jedes beliebige p.

Die Modelle in der Chaosforschung nehmen weder Linearität noch Stationarität an. Dies ist ein entscheidender Punkt. Daraus ergibt sich, daß in den Modellen Variablen zu verschiedenen Zeitpunkten berücksichtigt werden, die zudem eine nicht-lineare Beziehung haben. Eine Gleichung dieser Art berücksichtigt einmal den Anfangszustand und die Beziehungen zu anderen Variablen. Die Variable Zeit ist also in allen Modellen berücksichtigt. Es bleibt die Frage, wie man ein System über die Zeit hinweg beschreiben kann.

Die Beziehungen zwischen den Variablen über die Zeit hinweg kann man graphisch veranschaulichen. Aus z.B. der *time series analysis* ist die Veranschaulichung bekannt über ein Koordinatensystem Variable X über die Zeit. Für eine zweite Variable entsprechend Variabel Y über die Zeit. Wenn man nun die Werte von X und Y in ein Koordinatensystem (Abszisse: X, Ordinate: Y) einträgt, erhält einen sog. *Zustands*- oder auch *Phasenraum*. Auf diesen Begriff wird im folgenden häufiger zurückgegriffen, denn "im Phasenraum fällt der vollständige Wissensstand über ein dynamisches System zu einem gegebenen Augenblick in einem einzigen Punkt zusammen. Dieser Punkt *ist* das dynamische System - in diesem bestimmten Augenblick" (GLEICK, 1988, S., 198).

Vergegenwärtigt man sich das Verhalten eines Systems im Zustandsraum, so wird es - sofern annähernd stabil im Verhalten - über die Zeit hinweg ähnlich, nahe beieinander gelegene Kurven ziehen. Das System nähert sich über die Zeit einer solchen Bahn, auch Attraktor genannt. Der Begriff des Zustandsraumes ist schon in der klassischen Kybernetik verwendet worden. Das Verhalten eines Systemes wurde als Verhaltenskurve oder auch *Trajektorie* bezeichnet. Im folgenden sollen drei Typen von Attraktoren vorgestellt werden. Als Beispiel wird das Pendel herangezogen.

a. Punktattraktor

Eine Form des Attraktors ist der Punktattraktor. Es ist ein *Fixpunkt*, der zeitunabhängig und stabil ist. Ein "System kommt durch Dämpfung zu Ruhe und hält sich nur an einem einzigen Punkt im Zustandsraum auf" (LAUTERBORN & MEYER-ILSE, 1986, S. 179). Beim Pendel wäre dies der Ruhepunkt, nachdem das Pendel - durch Reibung abgebremst- zur Ruhe gekommen ist (THOMPSON & STEWART, 1986). Man kann dieses System durch zwei Variablen (über die Zeit) beschreiben: Geschwindkeit und Ort (Lage des Pendels). Die Geschwindigkeit beim ruhenden Pendel ist 0, der Ort verändert sind nicht, dadurch ergibt sich ein Punkt, der das System Pendel eindeutig beschreibt.

Ein weiteres einfaches Beispiel für einen eindimensionalen Attraktor ist der Operator *Wurzel* innerhalb der Mathematik (v. FOERSTER, 1985, S. 56). Zieht man aus einer Zahl die Wurzel, aus dem Ergebnis wieder die Wurzel usw., so gelangt man irgendwann zu der Zahl 1. Weiteres Wurzelziehen hat keinen Sinn, es bleibt bei diesem Ergebnis. Die "1" ist ein Punkt-Attraktor: Egal bei welcher Zahl man beginnt, man kommt immer zu der 1 (Analog: Egal, wie stark man ein Pendel anstößt, es kommt immer in Ruhelage). Allerdings hat das System noch einen zweiten Punktattraktor: Die Wurzel aus 0 ist 0.

b. zweidimensional

Führt das System periodische Schwingungen aus (Pendel ohne Reibung oder Anregung von aussen), dann kann man es durch die beiden Variablen Geschwindigkeit und Ort beschreiben: Ist das Pendel kurz vor der Umkehrung der

Bewegung (links oder rechts), dann ist die Geschwindigkeit am geringsten, ist es in der Mitte, ist die Geschwindigkeit am höchsten. Dies kann man graphisch sehr einfach verdeutlichen durch ein Koordinatenkreuz mit den Variablen Geschwindkeit und Ort. Das System Pendel wird nun über die Zeit beschrieben. Man erhält schon nach einmaligen Hin- und Herschwingen des Pendels einen Kreis, den Attraktor. Das Pendel verläßt diesen Kreis nicht mehr. Das System ist durch den Kreis über die Zeit vollständig beschrieben (Ausführliche Darstellung mit vielen Graphiken bei GLEICK, 1988, S. 198f; CRUTCHFIELD et al., 1987, S. 81).

Nehmen wir im weiteren an, daß das Pendel einer Reibung unterliegt und die Pendelschwünge immer kleiner werden bis das Pendel schließlich ganz zum Stillstand kommt. In diesem Falle würde die Geschwindigkeit ebenso wie die Weite der Pendelschwünge abnehmen. Ein solches System wäre nicht durch einen Kreis zu beschreiben, sondern durch eine Spirale, deren Ende der Punkt in der Mitte ist (s.o.: Punktattraktor). In diesem Falle strebt das System Pendel einen Zustand an (die Ruhelage). Systeme, die nicht einen Punkt anstreben, sondern eine Bahn haben einen sog. Grenzzyklus. Dies ist eine anziehende, periodische Bahn (MAYER, 1982, S. 55). Dies sind Zustandskurven eines Systems, die nicht überschritten werden können. Der Systemzustand nähert sich dem Attraktor, erreicht ihn aber nur im Unendlichen. Da das System irgendwann auf einen solchen Attraktor zuläuft, ist es weitgehend vorhersagbar.

c. dreidimensional

Man könnte sich n-dimensionale Zustandsräume denken. Das letzte noch vorstellbare ist der dreidimensionale Zustandsraum. Man nehme an, daß die Bewegung des Pendels von aussen beeinflußt würde, z.B. durch ein Antippen quer zur normalen Bewegungsrichtung. In diesem Falle würde man, um das System zu beschreiben, eine dritte Variable für die zweite Ebene einführen müssen (Lage abseits der normalen Bewegungskurve). Das Pendel strebt zwar weiterhin den Ruhepunkt an, aber nicht auf demselben Attraktor wie im vorherigen Beispiel.

Die Vorhersagbarkeit eines System ist - ist der Attraktor einmal durch Wahl des richtigen Modells erkannt, unproblematisch. Schwieriger wird es, wenn der Attraktor chaotisch wird. Ein Beispiel aus der Küche: Wenn man einen Teig knetet und noch ein wenig Mehl hinzugibt (Anfangszustand), dann ist zu diesem Zeitpunkt die Lage eines Mehlkörnchens noch eindeutig. Beginnt man nun zu kneten, so ist die Lage eines Mehlkörnchens im Teig nach wenigen Knetvorgängen nicht mehr zu bestimmen (= chaotischer Attraktor). Der spätere Ort irgendeines Mehlkörnchens läßt keinen Schluß mehr auf seine Lage zu Beginn des Knetvorganges zu. Trotz dieser Unvorhersagbarkeit ist das System aber nicht völlig beliebig, denn der Systemzustand muß sich ja irgendwo auf dem chaotischen Attraktor befinden.

An einem Beispiel soll im folgenden gezeigt werden, wie man vorgeht: Nehmen wir einmal an, es läge folgendes dynamisches System vor (s. WILSON & BENNETT, 1985, S. 65ff):

$Y_t = 0{,}5Y_{t-1} - 0{,}2Y_{t-2} + X_{t-1}$; (t = Zeitpunkt)

Um diese Gleichung in einem Zustandsraum darzustellen, wird nicht Y_t errechnet, sondern man geht von einem zweidimensionalen Zustandsraum aus, der in Matrixform wie folgt beschrieben wird:

$\mathbf{Z}_{t+1} = \mathbf{A}\mathbf{Z}_t + \mathbf{B}X_t$

Im Einzelnen:

$$\begin{bmatrix} Z^1_{t+1} \\ Z^2_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0{,}2 & 0{,}5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z^1_t \\ Z^2_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} X_t$$

sowie

$$Y_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z^1_t \\ Z^2_t \end{bmatrix}$$

Für den in der Matrixrechnung weniger bewanderten Leser: Es ergeben sich also zwei Gleichungen für Z^1 und Z^2, den beiden Dimensionen des Zustandsraumes.

$Z^1_{t+1} = (0 * Z^1_t) + (1 * Z^2_t) + (0 * X)$

$Z^2_{t+1} = (-0{,}2 * Z^1_t) + (0{,}5 * Z^2_t) + (1 * X)$

Die Ausgangslage (t=0) ist definiert durch

$\mathbf{Z}_0 = [0\ 0]$ und $X_0=1$

Nun setzt man für Z^1_t und Z^2_t die Startwerte ein. Das Ergebnis lautet im ersten Durchgang (t=1) $\mathbf{Z}^1 = [0\ 1]$. Diese neuen Werte werden wiederum rechts des Gleichheitszeichens eingesetzt. Man erhält nun (t=2) $\mathbf{Z}^2 = [1\ 0{,}5]$. Dieser Prozeß wird fortgesetzt.

Nun kann man für Z^1 und Z^2 einzelne Graphiken anlegen, die die Entwicklung beider Variablen über die Zeit hinweg verdeutlichen. Der Zustandsraum ist nichts weiter als die gegeneinander vollzogene Eintragung beider Z in ein Koordinationsystem mit Abszisse und Ordinate. Er verdeutlicht, wie sich das System Y über die Zeit hinweg verhält (Beim Pendel waren es Ort und Geschwindigkeit).

Nimmt man als Modell zur Beschreibung eines Systems eine Gleichung, bei der es mindestens für einen Wert der unabhängigen Variable mehr als eine Lösung gibt und das System von der einen in die andere Lösung fällt, dann liegt eine Katastrophe vor (wobei - wie gesagt - dies eigentlich keine Katastrophe ist, da diese Situation ja im Modell spezifiziert worden ist). "Ein System kann in einen geordneten Zustand übergehen, wenn wir Nebenbedingungen, d.h. seine Umweltbedingungen, ändern. Das Bemerkenswerte hierbei ist, daß selbst eine kleine Änderung von Umweltbedingungen einen qualitativen Umschlag im System auslösen kann, und zwar dann, wenn wir uns an sogenannten kritischen Punkten bei den Umweltbedingungen befinden" (HAKEN, 1987, S. 141).

Katastrophe

Die Katastrophentheorie entstand aus der differentiellen Topologie (ein Zweig der Mathematik). Sie basiert auf der *Singularity Theory* von WITHNEY (s. ARNOLD, 1986). Und wurde RENE THOM (1982) durch den Begriff *Katastrophentheorie* und eine damit verbundene Klassifikation popularisiert. Sie wurde erstmals von ZEEMAN (1976 und 1977 - Aufsatzsammlung) für die Psychologie nutzbar gemacht. Die mathematischen Grundlagen gehen also nicht auf THOM zurück, wie oft behauptet wird.[6]

Die Katastrophentheorie basiert auf zwei Grundbegriffen der heutigen Mathematik: dem Begriff der Funktion (oder der Abbildung) und dem Begriff des dynamischen Systems (THOM, 1981, S. 44).

Der Begriff der *Funktion* hat durchaus philosophischen Ursprung: Die Welt besteht aus dem, was von uns abhängt und dem, was von uns nicht abhängt. Um diese Mischung zu formalisieren, hat das mathematische Denken diesen Gegensatz zugespitzt: Das, was von uns abhängt, ist die Variable (oder auch: das Argument der Funktion). Das, was von uns nicht abhängt, wird durch die Funktion bestimmt, wenn die Variable festgelegt ist.

Auch der Begriff des *dynamischen Systems* beinhaltet ein hermeneutisches Problem: Man stelle sich einen Automaten vor (den Psychologen bspw. durch die *black box* bekannt), bei dem die Eingänge und die Ausgänge bekannt sind. Die Ausgänge sind aber nicht nur durch die Eingänge bestimmt, sondern auch durch das System (innerhalb der box). Der Zustand des Systems ist abhängig von seiner Vergangenheit. Man kennt nur die Relationen zwischen den Ein- und Ausgängen. Die Aufgabe (Interpretation) besteht nun darin, die einfachste von allen Dynamiken zu rekonstruieren, die die Korrespondenz Eingang-Ausgang zu beschreiben in der Lage ist.

[6] Diese historische Perspektive beginnend bei NEWTON ist anschaulich von THOMPSON 1982 dargestellt.

Nehmen wir ein einfaches Newtonsches System wie einen Dampfdruckkessel, dann kann der Druck innerhalb dieses Kessels nur in bestimmten Bereichen Werte annehmen, andernfalls der Kessel explodiert. Es findet eine im allgemeinverständlichen Sinne gesprochen Katastrophe statt: Das System ist zerstört.

Newtons Theorie kann nur weiche, kontinuierliche Veränderungen beschreiben. Die Katastrophentheorie erklärt, wie Systeme von einem postulierten Gleichgewichtszustand in einen anderen Gleichgewichtszustand umklappen können. Dies bezeichnet man in der Katastrophentheorie als Katastrophe, obwohl hier ja gar keine Katastrophe wie bei der Explosion des Dampfdruckkessels vorliegt. Das Umklappen in einen anderen Gleichgewichtszustand ist systemintern geschehen und hat das System nicht zerstört.

Die Katastrophentheorie umfaßt eine Gruppe von mathematischen Modellen zur Beschreibung divergent und diskontinuierlich verlaufender Phänomene. "Bildlich gesprochen verfolgt die Katastrophentheorie also einen Golfball, der durch einen schwungvollen Schlag einen steilen Hang hinaufgetrieben wird. Fällt er vor Erreichen des Kammes zur Erde, so wird er den gleichen Hang herunterrollen und wieder nahe beim Spieler landen. Fällt er aber nur ganz knapp jenseits des Kammes zur Erde, so wird er in ein neues Tal rollen oder auch in einer hochgelegenen Mulde liegenbleiben (JANTSCH, 1986, S. 79).

THOM (1982) konnte zeigen, daß es nicht mehr als 7 *Elementarkatastrophen* gibt, wenn man bis zu vier Kontrollvariablen berücksichtigt. Daraus ergeben sich sieben nicht-lineare Modelle. Die aus der Regression bekannten Konstanten a, b, c und d nennt Thom *Kontrollvariablen*, die Veränderlichen x und y *Verhaltensvariablen*. Die folgende Übersicht ist angelehnt an ZEEMAN (1976), die erste Ableitung der Funktionen wurde weggelassen.

Katastrophe	Kontroll-variablen	Verhaltens-variablen	Funktion
Falte	1 a	1 x	$1/3 x^3 - ax$
Kuspe	2 a,b	1 x	$1/4x^4 - ax - 1/2 bx^2$
Schwalben-schwanz	3 a,b,c	1 x	$1/5x^5 - ax - 1/2bx^2 - 1/3cx^3$
Schmetterling	4 a,b,c,d	1 x	$1/6x^6 - ax - 1/2bx^2 - 1/3cx^3 - 1/4dx^4$

Hyperbel	3	a,b,c	2	x,y	$x^3 + y^3 +ax + bx + cxy$
Ellipse	3	a,b,c	2	x,y	$x^3 - xy^2 + ax + by + cx^2 + cy^2$
Parabel	4	a,b,c,d	2	x,y	$x^2y + y^4 + +ax + by + cx^2 + dy^2$

Tab. 2: Die sieben Elementarkatastrophen

Diese sieben Katastrophen sind mit sehr prägnanten Namen versehen. Sie sind hergeleitet aus der graphischen Darstellung der jeweiligen Funktionen. Die Graphiken sind sehr anschaulich bei ZEEMAN (1976), die Modelle selbst sind allerdings schon bei WHITNEY zu finden (s. ARNOLD, 1986; dort auch umfangreiche Literaturhinweise).

Die einfachste Katastrophe nennt man eine Falte. Ein Beispiel für diese Falte wird von JANTSCH (1986, S. 96) gegeben. Es geht um den Zusammenhang zwischen Bedrohung und der daraus resultierenden Befürwortung militärischer Aktionen. Die sog. Tauben steigern sich in ihrer Befürwortung militärischer Aktionen nur sehr wenig mit steigender Bedrohung. Ist ein bestimmter Wert der Bedrohung überstiegen, so werden die Tauben zu Falken, befürworten also die militärischen Aktionen plötzlich sehr stark.

Anwendung der Katastrophentheorie

Es ist inzwischen mehrfach behauptet worden, daß sich katastrophentheoretische Modelle zur Erklärung psychologischer Sachverhalte eigneten. Besonders häufig wurde dabei auf die Kuspe "in intuitiver Weise" (ALISCH, 1989, S. 30) Bezug genommen, um Plausibilitäten herzustellen. "Es wurde weder diskutiert, welcher Systembegriff etwa für die Beschreibung soziomorphogenetischer Prozesse geeignet ist, noch von welchem topologischen Voraussetzungen eine katastrophentheoretische Erfassung der Morphogenese ausgeht, noch wie ein statistisches Modell aussehen könnte, um empirische Daten mit theoretischen Annahmen in Zusammenhang bringen zu können" (ALISCH, 1989, S. 30).

Die Theorie kann prinzipiell dort zur Anwendung kommen, wo graduell sich verändernde Prozesse zu nicht-linear verlaufenden quantitativen und qualitativen Verhaltensänderungen z.B. in Form von Kipp-phänomenen führen. Es gibt zahlreiche psychologische Ansätze, auf deren Basis die Katastrophentheorie Anwendung finden könnte. Am geeignetsten scheinen Theorien zu sein, die stabiles menschliches Verhalten durch das Zusammenspiel von mindestens zwei entgegengesetzten Kräften erklären. Solange beide Kräfte in der Stärke gleich sind, resultiert stabiles Verhalten, dominiert eine, dann kippt das Verhalten, wird also instabil. Unter ein solches Modell fallen alle Balancetheorien aus den verschiedensten psychologischen Bereichen.

JÄGER geht davon aus, daß eine Energieverschiebung stattfindet. Das Verhalten eines Individuums ist stabil, solange die Energien auf gleiche Weise wirken. Erst eine Energieverschiebung bewirkt eine Veränderung des Verhaltens. Dies setzt voraus, daß es Energien gibt, die das Verhalten steuern. Nach JÄGER ist es gleichgültig, ob es sich um physikalische oder psychische Energien handelt. Es gilt also, psychologische Theorien zu finden, die ein Energiekonzept vertreten. JÄGER (1988) beruft sich z.B. auf FREUDS Libido (Dies ist eine interessante Parallele zu THOM: Dieser berief sich auch auf FREUD, aber aus anderen Gründen, s.o.).

Es ist interessant zu beobachten, daß nahezu alle Anwendungen der Katastrophentheorie in der Physik, Biologie und den Humanwissenschaften usw. sich das Kuspe-Modell zu Hilfe nehmen. Die anderen Modelle werden referiert und graphisch veranschaulicht, aber nicht angewendet. Im psychologischen Bereich liegen auch keine empirischen Untersuchungen vor, sondern es werden Bezüge über Plausibilitäten hergestellt. JÄGER (1988) sieht z.B. Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen (Literatur bei JÄGER, 1988):

- Konditionierungsprozesse (BAKER & FREY, 1980)
- Wahrnehmungsleistungen von Kippfiguren (STEWART & PEREGOY, 1983)
- Psychologische Prozeßdiagnostik (JÄGER, 1988)
- Therapieforschung und - kontrolle (WUTKE, 1980)
- der Life-Event-Ansatz (FILIPP, 1981, 1982)
- Psychoonkologie (ZIEGLER, 1983)

Die Problematik soll an einem Beispiel aufgezeigt werden: JÄGER (1988) zog die Kuspe-Katastrophe zur Erklärung der Reaktionen von Patienten heran, die über ihre Krebskrankheit unterrichtet wurden. Dies geschah nicht empirisch, sondern über eine Plausibilitätsargumentation. Es ist keine Frage, daß die Nachricht, man habe Krebs, eine entscheidende Änderung im Leben darstellt. Eine solche Nachricht ist dennoch als sehr massiver Einfluß auf das Leben zu betrachten und keineswegs als *Schmetterlingseffekt* zu interpretieren, ist also kein Beispiel für die Sensibilität eines dynamischen Systems. Es bleibt letztlich die empirisch zu lösende Frage, ob das herangezogene Modell einen guten *Fit* hat.

Fazit

Die Katastrophentheorie steht nach Ansicht THOMS in einer paradoxen Lage: Sie würde von den Positivisten verworfen, weil sie experimentell nicht beweisbar wäre, und von den Mathematikern, weil sie methodisch nicht streng genug sei. Durch die Popularisierung der Theorie der Singularitäten wird die wichtige mathematische Arbeit also eher vernachlässigt ARNOLD kommt daher zu einem eher vernichtenden Urteil: "Catastrophe theorists try to avoid serious mathematics" (ARNOLD, 1986, S. 39). Katastrophentheoretiker - so ARNOLD weiter - würde nicht mehr mathematisch, sondern experimentell vorgehen, was dazu führt, daß experimentell ermittelte Ergebnisse publiziert würden, die Jahre vorher schon mathematisch gelöst waren. So kommt ARNOLD auch zur Formulierung, Katastrophentheorie sei mystisch, nicht mehr mathematisch (1986, S. 89).

ARNOLD wird aber THOM nicht ganz gerecht: THOM weist selbst daraufhin, daß die Katastrophentheorie besonders über die Erwähnung der sieben Elementarkatastrophen popularisiert werde, es würden "aber all die anderen Aspekte der Katastrophentheorie vernachlässigt, die weniger leicht anzuwenden und viel schwerer zu verstehen sind" (THOM, 1981, S. 48). THOM vergleicht zu seiner Rechtfertigung die Katastrophentheorie mit der Psychoanalyse FREUDS, die schließlich auch akzeptiert sei, ohne beweisbar zu sein (ARNOLD, 1986, S. 90; THOM, 1981). Um die Katastrophentheorie richtig einzuordnen, soll der Schöpfer dieses Ansatzes selbst zu Wort kommen: "Die Katastrophentheorie ist keine wissenschaftliche Theorie im üblichen Sinne des Wortes, wie etwa die Newtonsche Gravitationstheorie in der Physik oder die Darwinsche Evolutionstheorie in der Biologie. Von einer Theorie erwartet man, daß sie eine eindeutige experimentelle Bestätigung findet (bzw., daß man das Poppersche Falsifikationskriterium auf sie anwenden kann). Dies wird jedoch nicht erfüllt, denn einerseits bezieht sich die Katastrophentheorie auf kein spezifisches Fach der wissenschaftlichen Erfahrung und schließt a priori auch keines aus; andererseits kann sie vom Experiment weder bestätigt noch falsifiziert werden" (THOM, 1981, S. 41). Die Katastrophentheorie ist nach THOM vor allem eine Methode und eine Sprache. Für sie gelten ihm zufolge ähnliche Kriterien wie für die Psychoanalyse, denn diese kann man auch nicht falsifizieren, man schließe sie deshalb aber nicht gleich aus der Wissenschaft aus. Diese Art der Rechtfertigung ist Unsinn. Die Katastrophentheorie enthält mathematische Modelle und unterliegt damit den von THOM herangezogenen Kriterium Falsifikation nicht.

Als Fazit aus der intuitiven Anwendung der Chaos- und Katastrophentheorie kristallisieren sich drei Anregungen und vier Kritikpunkte. Es scheint - erstens - eines der unbestreitbaren Verdienste der Katastrophentheorie zu sein, daß sie das Problem der Rolle der Mathematik in der Psychologie aufgeworfen hat (THOM, 1981, S. 52). Damit ist - zweitens - die Erkenntnis verbunden, daß nicht-lineare Modelle stärker in der Methodenausbildung vertreten sein müßten. Es besteht in diesem Bereich und auch in einer ausführlicheren Darstellung in Lehrbüchern offensichtlich Handlungsbedarf (ANDERSEN & STURIS, 1988). Drittens scheint es Konsequenzen für die Theoriebildung zu geben: Wenn das dynamische System (hier: der Mensch) an die Schwelle der Veränderung (seines Verhaltens) tritt, ist die Frage, wie sich das System im ganzen entscheidet. PRIGOGINE geht davon aus, "daß sich Voraussagen zur Wahl des Systems (wenn überhaupt) nur aus seiner Vergangenheit machen lassen" (V. CRANACH, 1987, S. 20). Dies ist eine eindrucksvolle Bestätigung, daß nur eine historische Perspektive (praktisch umgesetzt z.B. durch die Anamnese), aktuelles Verhalten zu erklären in der Lage ist.

Dieses positive Fazit bezieht sich aber auf nicht-lineare Modelle generell und nicht eingeschränkt auf die Katastrophentheorie. Diese hat nämlich gravierende Nachteile: Ein praktisches Problem liegt - erstens - darin, daß im Bereich sozialer Phänomene noch viel zu wenig Daten vorliegen, um derartige Modelle schätzen zu können. Damit wird natürlich einer Plausibilitätsanwendung Vorschub geleistet.

Hinzu kommt zweitens, daß soziale Phänomene nicht so von ihrer Umwelt isoliert werden können wie physikalische (vgl. die ökologische Validität). Selbst kontrollierte Experimente scheinen kein valides Abbild der Realität zu geben, da diese Mikrowelten konstruieren. Ethische Probleme und Veränderungen der Gesetze menschlichen Verhaltens über die Zeit hinweg (also: plötzliche Ungültigkeit des vorher adäquaten Modelles) kommen hinzu. Tatsächlich existierende Systeme werden durch zahlreiche nicht spezifizierte Faktoren (sog. weißes Rauschen) beeinflußt, so daß die Vorhersagekraft der Modelle letztlich gering bleibt.

Es stellt sich - drittens - die Frage, ob das Attraktorenkonzept und die damit verbundene Stabilität eines dynamischen Systems adäquat zur Beschreibung menschlichen Verhaltens ist: Sind Systeme, die sich durch Attraktoren beschreiben lassen, sinnvolle soziale Systeme? Sicher nicht, denn sie haben den gravierenden Nachteil, daß sie sich nicht kurzfristig ändern können (HEIDEN et al., 1985), was man von sozialen Systemen durchaus behaupten kann.

Man mag sich - viertens - vor dem Hintergrund der doch geringen Zahl von Kontroll- und Verhaltensvariablen darüber wundern, daß die Katastrophentheorie einen Erkenntniszuwachs bringen soll. Gerade für psychologische Fragestellungen scheint dies eine schwache Basis zu sein. Eine mögliche Lösung bestünde darin anzunehmen, daß die Variablen über die Aggregierung von Vektoren zustandekommen. Dieser wohl notwendige Umstand verschiebt aber nur das Problem und macht daher die Sache aber nicht einfacher, denn in welchen Vektor bringt man die psychologisch relevanten Variablen unter? Dies mag auch ein Grund dafür sein, daß es noch keine empirischen Untersuchungen unter einem Modell aus der Katastrophentheorie gibt.

Wenn sich darauf beschränkt, nur die elementare Theorie anzuwenden, erreicht man - so THOM (1981, S. 54) - "im Bestfall eine topologische und lokale Klassifizierung der morphologischen Ereignisse." THOM selbst spricht von einer *weichen Theoretisierung*, weil eine wirksame pragmatische Voraussage nicht möglich sei, da man meist nur zu einer semantischen Charakteristik komme. Die schwere Frage nach der geometrischen Modellierung psychischer Handlungen ist damit aber noch nicht beantwortet.

Was bleibt? Es gibt in den unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen eine Reihe von nicht-linearen Phänomen. "Does this mean that catastrophe theory should be used to model every psychological situation? No; it probably could be used fairly often, but it adds information to classical statistical procedures..." (STEWART & PEREGOY, 1983, S. 336).

Literatur

Albrecht, J.: Mit dem Chaos rechnen. Zeit Magazin, 16, 1989, 44-52.
Alisch, L.-M.: Limitieren Grundlagentheoreme das menschliche Denken? Ein Kommentar zu D. Wandscheiders 'Die Gödeltheoreme und das Problem künstlicher Intelligenz'. Unveröff. Manuskript., 1989.
Alisch, L.-M.: Neuer Wissenstypus, Selbstreferentialitätsdynamik und Epochenwandel. Baddeckenstadt: Unveröffentlichtes Manuskript, o.J..
Allen, P.M.: Evolution, modelling, and design in a complex world. Environment and Planning, 9, 1982, 95-111.
Allen, P.M.: Dynamic models of evolving systems. System Dynamics Review, 4, 1988, 109-130.
Allen, P.M., Sanglier, M. & Engelen, G.: Chance and necessity in urban systems. In: P. Schuster (Hrsg.). Stochastic Phenomena and chaotic behavior in complex systems. Berlin: Springer, 1984, 231-249.
Andersen, D.F. & Sturis, J.: Chaotic structures in generic management models: pedagogical principles and examples. System Dynamics Review, 4, 1988, 218-245.
Arnold, V.I.: Catastrophe Theory. Berlin: Springer, 1986
Ballmer, T.T.: Die Interaktion zwischen Ontogenese und Phylogenese: Eine theoretische Rekonstruktion der Evolution von Geist und Sprache. In: K. Kornwachs (Hrsg.). Offenheit - Zeitlichkeit - Komplexität. Frankfurt: Campus, 1984.
Becker, K.-H. & Dörfler, M.: Dynamische Systeme und Fraktale. Braunschweig: Vieweg, 1988.
Chen, P.: Empirical and theoretical evidence of economic chaos. System Dynamics Review, 4, 1988, 81-108.
Cranach, M.v.: Makroskopische Ansichten. Bern: Forschungsberichte. Psychologisches Institut, 1987.
Cronbach, L.J.: Playing with chaos. Besprechung von J. Gleick: Chaos. New York: Viking 1987. Educational Researcher, 17, 1988, 46-49.
Crutchfield, J.P., Farmer, J.D., Packard, N.H. & Shaw, R.S.: Chaos. Spektrum der Wissenschaft, 2, 1987, 78-90.
Cvitanovic, P. (Hrsg.): Universality on chaos. Bristol: Adam Hilger, 1984.
Deker, U. & Thomas, H.:. Die Chaos-Theorie. Bild der Wissenschaft, 1, 1983, 63-75.
Eigen, M. & Winkler, R.: Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall. München: Piper, 1987.
Ford, J.: How random is a coin toss? Physics today, 1983, 40-83.
Förster, H.v.: Sicht und Einsicht. Braunschweig: Vieweg, 1985.
Gleick, J.: Chaos - die Ordnung des Universums. München: Droemer Knaur, 1988.
Großmann, S.: Chaos - Unordnung und Ordnung in nichtlinearen Systemen. Physikalische Blätter, 39, 1988, 139-145.
Haken, H.: Synergetik. Berlin: Springer, 1983.
Haken, H.: Die Selbstorganisation der Information in biologischen Systemen aus der Sicht der Synergetik. In: Küppers, B.-O.(Hrsg.): Ordnung aus dem Chaos. München: Piper, 1983, 127-156.
Hao, B.: Chaos. Singapore: World Scientific, 1984.
Hassenstein, B.: Wie viele Körner ergeben einen Haufen? In: A. Peisl, & A. Mohler (Hrsg.). Der Mensch und seine Sprache. Frankfurt: Ullstein, 1979.
Heiden, U.a.d.: Ordnung und Chaos. Dialektik, 12, 1986, 154-167.
Holden, A.V. (Hrsg.): Chaos. Manchester: Manchester University Press, 1986.
Jäger, R.S. Persönlichkeit als Prozeß: ein Beitrag zur Anwendung der Katastrophentheorie. Zeitschrift für internationale erziehungs- und sozialwissenschaftliche Forschung, 5, 1988, 95-118.
Jäger, R.S. & Gammel, G.: Anwendung der Katastrophentheorie in der Psychologie - ein Paradigmenwechsel? In: Albert, D. (Hrsg.): Bericht über den 34. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Wien 1984, Bd. 1. Göttingen: Hogrefe, 1985, 169-170.
Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums. München: dtv, 1986.
Kunick, A. & Steeb, W.-H. Chaos in dynamischen Systemen. Mannheim: Bibliographisches Institut, 1986.
Laszlo, E.: Evolution und Invarianz in der Sicht der allgemeinen Systemtheorie. In Lenk, H. & Ropohl, G. (Hrsg.). Systemtheorie als Wissenschaftsprogramm. Königsstein: Athenäum, 1987, 132-228.
Lauterborn, W. & Meyer-Ilse, W.: Chaos. Physik in unserer Zeit, 17, 1986, 177-187.
May, R.M.: Simple mathematical models with very complicated dynamics. Nature, 261, 1976, 459-467.
Mayer, D.H.: Turbulenz: Durchbruch in einem lange ungelösten Problem Teil II. Physikalische Blätter, 38, 1982, 87-92.
Mosekilde, E., Aracil, J. & Allen, P.M. Instabilities and chaos in nonlinear dynamic systems. System Dynamics Review, 4, 1988, 14-55.
Mosekilde, E. & Larsen, E. R.: Deterministic chaos in the Beer Production-Distribution Model. System Dynamics Review, 4, 1988, 131-147.

Nicolis, G. & Prigogine, I.: Die Erforschung des Komplexen. München: Piper, 1987.
Packard, N.H., Crutchfield, J.P., Farmer, J.D.& Shaw, R.S.: Geometry from a time series. Physical Review Letters, 45, 1980, 712-716.
Planck, M.: Vorträge und Erinnerungen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1965.
Prigogine, I.: Vom Sein zum Werden. München: Piper, 1985
Prigogine, I. & Stengers, I.: Dialog mit der Natur. München: Piper, 1986.
Reiner, R., Munz, M. & Weidlich, W.: Migratory dynamics of interacting subpopulations: regular and chaotic behavior. System Dynamics Review, 4, 1988, 179-199.
Richardson, G.P. & Sterman, J.D.: A note on migratory dynymics. System Dynamics Review, 4, 1988, 200-207.
Saperstein, A.M.: Chaos - a model for the outbreak of war. Nature, 309, 1984, 303-305.
Schnabel, U.: Ordnung und Chaos. In: Die Zeit, 1988.
Schuster, H. G.: Deterministic choas. Weinheim: Physik Verlag, 1984.
Seifritz, W.: Wachstum, Rückkopplung und Chaos. München: Hanser, 1987.
Sterman, J.D.: Deterministic chaos in models of human behavior: methodological issues and experimental results. System Dynamics Review, 4, 1988, 148-178.
Stewart, I.N. & Peregoy, P.L.: Catastrophe theory modeling in psychology. Psychological Bulletin, 94, 1983, 336-362.
Sturis, J. & Mosekilde, E.: Bifurcation sequence in a simple model of migratory dynamics. System Dynamics Review, 4, 1988, 208-217.
Thom, R.: Structural stability and morphogenesis. Reading: Benjamin/Cummings, 1975.
Thom, R.: Worüber sollte man sich wundern? In: K. Maurin, K. Michalski & E. Rudolph (Hrsg.). Offene Systeme II. Stuttgart: Klett-Cotta, 1981.
Thom, R.: Structural stability and catastrophes - Science and enginieering. N.Y.: Wiley, 1982.
Thompson, J.M.T.: Instabilities and catastrophes in science and engeneering. Chicester: Wiley, 1982.
Thompson, J.M.T. & Stewart, H.B.: Nonlinear dynamics and chaos. London: Wiley, 1986.
Toro, M. & Aracil, J.: Qualitative analysis of system dynamics ecological models. System Dynamics Review, 4, 1988, 56-80.
Troitzsch, K.G.: Bürgerperzeption und Legitimierung. Frankfurt: Lang, 1987.
Weizsäcker, E.-U.: Qualitatives Wachstum. Eine Skizze zur Auseinandersetzung mit Ilya Prigogine/Isabelle Stengers: 'Dialog mit der Natur'. In: G. Altner (Hrsg.). Die Welt als offenes System. Eine Kontroverse um das Werk von Ilya Prigogine. Frankfurt: Fischer, 1986, 48-54.
Whitehead, A.N.: Prozeß und Realität. Frankfurt: Suhrkamp, 1979.
Wilson, A.G.: Catastrophe theory and bifurcation. London: Croom Helm, 1981.
Wilson, A.G. & Bennett, R.J.: Mathematical methods in human geography and planning. Chicester: Wiley, 1985.
Wolschin, G.: Wege zum Chaos. Spektrum der Wissenschaft, 2, 1987, 91.
Zeeman, E.C.: Catastrophe theory. Scientific American, 234, 1976, 65-87 (Heft 4)
Zeeman, E.C.: Catastrophe theory. London: Addison-Wesley, 1977.