Die Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme – Grundsätzliches – Nutzen – Therapie

Guido Strunk

Zusammenfassung

Am 13. Mai 2000 veranstaltete die Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Systemische Therapie und Systemische Studien (ÖAS) eine eintägige Tagung unter dem Titel “Spaß an Theorien – Nutzen für die PraktikerIn”. Der vorliegende Artikel basiert auf dem Vortrag, der auf der genannten Tagung zur „Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme” gehalten wurde. Ausgehend von der Frage „Was ist ein System” werden zwei naturwissenschaftliche Definitionen zum Begriff des Systems dargestellt, miteinander verglichen und in Hinblick auf ihre Potenz zur Erklärung menschlichen Verhaltens beurteilt. Im Abschluss des vorliegenden Artikels werden Schlussfolgerungen für die Systemische Therapie angeboten und kurz diskutiert.

Schlüsselwörter: Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme, Chaostheorie, Synergetik, Mensch-Maschine-Metapher, Dynamische Krankheiten

Abstract

On 13th May 2000 the Austrian working group for systemic therapy and systemic studies (OEAS) organized an one-day conference under the title „fun at theories - use for the practitioner” The following article is based on the lecture, which was held on the conference mentioned for the „theory of nonlinear dynamic systems”. Basing on the question „what is a system” the article deals with two scientific definitions, a comparison of the definitions and a discussion of its power for explaining human behavior. In the termination of the article conclusions for the systemic therapy are offered and discussed briefly.

Keywords: theory of nonlinear dynamic systems, chaos theory, Synergetic, man-machine metaphor, dynamical diseases

Was ist ein System?

Als einfachste und allgemeinste Definition des Begriffs System kann die folgende gelten: Ein System bildet eine von der Umwelt abgrenzbare Ganzheit, die aus mehreren Elementen besteht, die untereinander in wechselseitigen Beziehungen stehen. Diese relativ weite Definition kennzeichnet jedoch jeden Vorgang in der Natur als System. Wohl ist nicht jedes Element der Natur Teil eines jeden beliebigen Systems, aber sehr wohl Teil irgendeines Systems. Im Folgenden soll es um die Nützlichkeit des Begriffes „System” unter der Perspektive zweier „Weltsichten” gehen. Zum einen wird der Begriff aus der Sicht eines mechanischen Weltbildes und zum anderen aus der Sicht der Theorien nichtlinearer dynamischer Systeme betrachtet.

Systeme im Rahmen eines mechanischen Weltbildes

Im Rahmen eines mechanischen Weltbildes nimmt der Systembegriff keine besondere Stellung ein. Systeme werden aufgefasst als einfache Summe ihrer

Einzelteile. Das Erfolgsgeheimnis der modernen Naturwissenschaften war es nämlich, davon auszugehen, dass sich komplexe Systeme verstehen lassen, wenn man jeweils einzeln die Beziehung zwischen jeweils zwei Element eines Systems kennt. In Experimenten lässt sich durch Konstanthaltung der Randbedingungen jeweils isoliert eine Variable systematisch variieren, um deren Einfluss auf eine andere Variable zu studieren (Prinzip der isolierenden Variation – Experiment). Die Einzelerkenntnisse könnten dann zusammengesetzt werden zu komplexen Systemen, deren Verhalten sich als Summe aus den Einzelerkenntnissen ergeben würde; so lautete die Hoffnung der Naturwissenschaften (vgl. z.B. Dürr 1990).

Phänomene wie zufällige Ereignisse und unvorhersehbare Komplexität werden daher verstanden als ein Fehlen von Wissen: So kann es zum einen vorkommen, dass nur unzureichend bestimmt werden kann, welche und wie viele Variablen tatsächlich an einem System beteiligt sind. Zum anderen kann es Beschränkungen geben in dem Wissen darüber, wie die einzelnen Variablen zusammenwirken. Die Hoffnung lautet daher das Verhalten eines beliebigen Systems exakt vorhersagen zu können, wenn alle relevanten Variablen bekannt sind und deren Zusammenwirken jeweils einzeln hinreichend genau beschrieben werden kann. Diese Vorstellungen führten bereits im 18. Jahrhundert zum Laplace'schen (Pierre Simon Laplace, französischer Mathematiker 1749 bis 1827) Dämon:
"Der momentane Zustand des Systems Natur ist offensichtlich eine Folge dessen, was er im vorherigen Moment war, und wenn wir uns eine Intelligenz [einen Dämon; G.St.] vorstellen, die zu einem gegebenen Zeitpunkt alle Beziehungen zwischen den Teilchen des Universums verarbeiten kann, so könnte sie Orte, Bewegungen und allgemeine Beziehungen zwischen all diesen Teilchen für alle Zeitpunkte in Vergangenheit und Zukunft vorhersagen" (Laplace, zitiert nach Breuer 1989, S. 8).

Auch das vielfach zu hörende Argument, dass bestimmte Systeme auf Grund ihrer „Geschlossenheit" nicht nach den Regeln der isolierenden Variation erfasst werden können und damit für immer weiße Flecken auf der Landkarte der Naturgesetze bleiben würden, hebelt nicht die prinzipielle Vorstellung aus, dass diese Systeme nach den gleichen mechanischen Gesetzmäßigkeiten arbeiten und in ihren Verhalten ebenso exakt determiniert sind wie offen zugängliche Systeme, deren Elemente einzeln einer empirischen Analyse unterzogen werden können. Auch wenn das System Mensch durch die Geschlossenheit seines Körpers nicht in seine Einzelteile zerlegt werden kann, muss man auf der Grundlage einer mechanischen Weltsicht davon ausgehen, dass es auf den Naturgesetzen aufbauend bis ins kleinste Detail aus den chemischen und biologischen Vorgängen in seinem Gehirn (und anderswo) determiniert wird. Hier erscheint Komplexität, Kreativität, Freiheit etc. nur als eine Illusion (als eine eitle Selbstverliebtheit des Menschen), als ein Fehlen von Wissen, wenn auch mit der nicht von der Hand zu weisenden Begründung, dass dieses Wissen niemals zu erlangen sein wird.

Dennoch gibt es durchaus erfolgversprechende und Erfolge vorweisende Ansätze, die nach einem solchen Modell, zumindest näherungsweise, die „Mechanik" menschlichen Verhaltens zu erklären versuchen. Die Psychoanalyse zergliedert

(analysiert) menschliches Verhalten z.B. nach dem Modell der psychischen Instanzen. Die Verhaltenstherapie betrachtet (zumindest in ihren Ursprüngen) menschliches Verhalten als aus einfachen linear kausalen Stimulus-Response-Ketten aufgebaut (vgl. z.B. die grundlegende Arbeit von Watson 1913, die zur Begründung des Behaviorismus führte). Erste Ansätze für die Beschreibung menschlichen Lebens aus einfachen mechanischen Grundgesetzen kamen jedoch bereits im 16. Jahrhundert auf:

Der Mensch eine Maschine

Die Lebensvorgänge in Tieren und Menschen und auch Bewegungen des Universums wurden ab dem 16. Jahrhundert im Sinne einer Newton'schen Mechanik erklärt. Damit eng verbunden erfreuten sich Tier- und Menschen-Automaten einer großen Beliebtheit. Zu dieser Zeit (um die Mitte des 16. Jahrhunderts) entstand z.B. die älteste noch erhaltene Automatenfigur in Menschengestalt, eine Lautenspielerin. Ein eisernes Laufwerk setzt beide Füße vor und zurück. Es betätigt die Hand, die die Laute schlägt und bewegt den Kopf der Figur abwechselnd von rechts nach links.

Verfeinerte Fertigungsmöglichkeiten im Uhrenbau und die Durchsetzung eines naturwissenschaftlichen Weltbildes führten zu dieser Entwicklung. Schon seit der Antike hatten Menschen versucht, Statuen von Tieren, Menschen und Göttern durch komplizierte Mechaniken zu beleben. Die Möglichkeiten, die sich durch komplexe uhrwerkartige Mechanismen ergaben, machten es möglich, auch komplexe Bewegungsabläufe nachzustellen. Ein „Androide„, der von Pierre Jaquet-Droz (Vater) konstruiert und gemeinsam mit Jean-Frédéric Leschot und einigen anderen Handwerkern um 1774 gebaut wurde, ist in der Lage mit schönster Handschrift einen Brief zu schreiben. Die Perfektion der Automatenfiguren erreichte ein solches Ausmaß, dass tatsächlich der Eindruck tierischer oder menschlicher Bewegungen entstehen konnte.

Der spanische Arzt Gomez Pereira bezeichnete daher in der Mitte des 16. Jahrhunderts Tiere als Automaten. Menschen sprach er jedoch eine von Gott gegebene Seele zu. Die Entdeckung des Blutkreislaufes durch den englischen Arzt William Harvey 1628 stützte dieses Bild. Das Herz wurde nun angesehen als Zentralmotor eines peripheren Röhrensystems. Der bekannte französische Mathematiker, Naturforscher und Philosoph René Descartes (1596-1650) postulierte ebenfalls, dass es sich bei den Körpern von Tieren um eine komplexe Maschine handle. Menschen weisen nach Descartes Ansicht zudem eine durch Gott gegebene Seele auf. Nerven betrachtet er als hohle Röhren, die Ventile im Kopf betätigen zur Steuerung der Lebensgeister („spiritus animales”), die vom Kopf zu den Muskeln „fließen”. Nach einer Legende hätte Descartes selbst einen Androiden konstruiert, der den Kapitän eines Schiffes ins Wasser geworfen haben soll (vgl. Richter 1989).

Die Möglichkeiten durch technische Nachbildungen künstliche Tiere zu erschaffen bringt den Menschen in die Nähe Gottes. Als Schöpfer empfindet er den Schöpfungsakt nach. Dabei spielte es keine Rolle, dass nicht tatsächlich komplexe

Tiere mit allen ihren Verhaltensweisen nachgebildet werden. Hier kommt vielmehr die Überzeugung ins Spiel zumindest prinzipiell dazu in der Lage zu sein.

Jede Bewegung wurde in Bezug auf Newton und unter der Annahme eines allgemeinen Kausalitätsprinzips als durch physikalische Kräfte bewirkt verstanden. Wenn das Verhalten von Tieren nichts anderes umfasst, als die Bewegungen der Körperteile, so muss dies zwingend durch mechanische Gesetze erklärbar sein. Der englische Philosoph Thomas Hobbes (1588 - 1679) schreibt daher: „Die Natur (die Kunstfertigkeit, mit der Gott die Welt gemacht hat und lenkt) wird durch die Kunstfertigkeit der Menschen wie in vielen Dingen auch darin nachgeahmt, dass sie ein künstliches Tier herstellen kann. Denn da das Leben nur eine Bewegung der Glieder ist, die innerhalb eines besonders wichtigen Teils beginnt - warum sollten wir dann nicht sagen, alle Automaten (Maschinen, die sich selbst durch Federn und Räder bewegen, wie eine Uhr) hätten ein künstliches Leben...?” (zitiert nach Richter 1989, S. 126). In seinen Ausführungen nutzt er Vergleiche wie: Herz - Uhrfeder, Nerven - Seilstränge, Gelenke - Räder.

In diesem Sinne ließ Julien Offroy de la Mettrie (1709 - 1751) die, wie er meinte nirgends nachweisbare, die überflüssige, die wahrscheinlich aus bloßer Angst vor den Theologen hinzugefügte Seele aus Descartes' System fort. Das Tier ist eine Maschine und der menschliche Organismus die perfekte Form der Tiermaschine.

Die Logik dieser Argumentation folgt der Annahme, dass sich psychische Prozesse zunächst und vor allem in den Bewegungen, dem Verhalten eines Menschen äußern. Die Beschränkung auf die Bewegung als operationale Definition, aus deren Vorliegen man ohne weiteres auf „Lebendigkeit” schließen könne, entspricht dem damaligen Zeitgeist, wird angeregt durch Newtons Bewegungsgesetze und die zunehmenden mechanischen Fertigkeiten. Der Fehlschluss aus dieser Argumentation tritt auf, sobald man das Indiz (Bewegung) mit dem zu Bezeichnenden (Lebendigkeit) gleichzusetzen beginnt.

Das Ende der Ewigkeitsvorstellung: Die Entdeckung der Vergänglichkeit

Die direkte Koppelung von Ursache und Wirkung im Rahmen eines allgemein gültigen Kausalitätsprinzips lässt z.B. für physikalische, mechanische Gesetze eine vollständige Umkehrung von Ursache und Wirkung zu. Macht man die Wirkung rückgängig, so wird das „Rückgängig – Machen” selber zur Ursache, die durch die konsistente Gültigkeit der kausalen Gesetze dazu führt, dass prinzipiell jeder Vorgang in der Natur umgekehrt werden kann. Wer schon einmal eine Tasse hat fallen lassen, weiß, dass diese Umkehrbarkeit, - die direkt aus der Kausalitätsannahme folgt - tatsächlich nur prinzipiell gilt. Beschreibungen der Natur, die eine Unzeitlichkeit, weil Umkehrbarkeit der Naturprozesse implizieren, stimmen nicht mit Alltagserfahrungen überein. Erklärungen für solche Phänomene wurden erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts durch die Gesetze der Thermodynamik angeboten. Diese dienten zunächst dazu, auf makroskopischer Ebene Vorgänge in Dampfmaschinen physi-

kalisch zu beschreiben (daher der Name „Thermodynamik”). 1865 formulierte der Physiker Rudolf Clausius (1822 - 1888) die zwei Hauptsätze der Thermodynamik in einer kosmologischen Form, indem er das gesamte Universum als vollständig energetisch geschlossenes System beschreibt (vgl. Coveney & Highfield 1992, S. 196). Energetisch geschlossene Systeme nehmen weder Energie von außen auf, noch geben sie Energie nach außen ab. In solchen geschlossenen Systemen gelten die klassischen physikalischen Erhaltungssätze, wie z.B. der der Energieerhaltung, der als 1. Hauptsatz der Thermodynamik bezeichnet wird. Ein simples Fadenpendel, das an einem Haken an der Zimmerdecke hängt, kann zur Verdeutlichung vereinfachend als energetisch geschlossenes System betrachtet werden. Und als solches wird es da hängen bleiben und sich nicht bewegen. Die Energie im System ist gleich null, und da laut Definition von außen keine zusätzliche Energie zugeführt werden kann, bleibt das auch so. Stößt man das Pendel nun doch einmal an, versorgt es also kurzzeitig mit Energie, so behält das System diese Energie ohne Verluste bei. Dennoch bleibt das Pendel nach einiger Zeit stehen.

Dies scheint dem Energieerhaltungssatz zu widersprechen, lässt sich jedoch mit der „Entropie” der Energie erklären. Physiker bezeichnen mit dem Begriff der Entropie die „Unordnung” von Energie. Je größer die Entropie, desto größer ist die energetische Unordnung. Kurz nach dem Anstoßen des Pendels ist die Ordnung der Energie hoch und die Entropie klein, da die Energie sich streng gerichtet allein in der Bewegung des Pendels konzentriert. Nach und nach verteilt sich die Energie immer mehr im System. Sie wandelt sich durch die Luftreibung und die Reibung der Pendelaufhängung in ungerichtete und für die Bewegung des Pendels unbrauchbare Wärmeenergie um. Diese geht nicht verloren, ist jedoch von zunehmend höherer Entropie, so dass das Pendel zum Stillstand kommt. Alle energetisch geschlossenen Systeme produzieren laufend mehr Entropie und damit den Zerfall ihrer Systemeigenschaften (zum Pendelbeispiel vgl. Schiepek & Strunk 1994). Diese Zunahme an Entropie entspricht dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik und führt unweigerlich zu der Unmöglichkeit einer tatsächlichen Reversibilität physikalischer Vorgänge. Die Umwandlung von Bewegungsenergie in Wärmeenergie hoher Entropie lässt sich nicht rückgängig machen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage neu, wie es vorstellbar sein kann, das mechanische Vorgänge, wie sie durch die klassischen Naturwissenschaften beschrieben werden „negative Entropie” erzeugen können. Der Begriff „negative Entropie” wurde erstmals von Erwin Schrödinger 1943 eingeführt (Schrödinger 1989). Er bezieht sich ursprünglich auf Lebewesen und bezeichnet den nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik prinzipiell nicht vorstellbaren Umstand, dass Lebewesen in der Lage sind ihre Lebensvorgänge über relativ lange Zeiträume aufrecht zu erhalten. Nach Schrödingers Vorstellungen entziehen sie der Umwelt durch die Aufnahme von Nahrung beständig „negative Entropie” und halten sich damit auf einem Niveau einer relativ geringen Entropie.

„Ein Organismus erscheint deswegen so rätselhaft, weil er sich dem raschen Verfall in einen unbewegten ‘Gleichgewichtszustand’ entzieht, und dieses Rätsel hat der

Menschheit so viel zu schaffen gemacht, dass sie seit den frühesten Zeiten des philosophischen Denkens und teilweise auch heute noch behauptet, im Organismus sei eine unkörperliche, übernatürliche Kraft wirksam (vis viva, Entelechie).

Wie entzieht sich der lebende Organismus dem Zerfall? Die Antwort lautet offenbar: Durch Essen, Trinken, Atmen und (im Falle der Pflanzen) durch Assimilation. Der Fachausdruck heißt Metabolismus. Das griechische Wort (μεταβαλλειυ) bedeutet Wechsel oder Austausch. Was wird ausgetauscht? Die ursprünglich zu Grunde liegende Vorstellung ist zweifellos ein Auswechseln von Stofflichem (daher die deutsche Bezeichnung Stoffwechsel für Metabolismus). Es wäre unsinnig anzunehmen, dass der Austausch von Stofflichem das Wesentliche wäre. Jedes Atom Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel usw. ist ebenso viel wert wie jedes andere seiner Art; was ließe sich durch ihren Austausch gewinnen? [...]

Was ist denn dieses kostbare Etwas in unserer Nahrung, das uns vor dem Tode bewahrt? Das ist leicht zu beantworten. Jeder Vorgang, jedes Ereignis, jedes Geschehen - man kann es nennen, wie man will, - kurz alles, was in der Natur vor sich geht, bedeutet eine Vergrößerung der Entropie jenes Teiles der Welt, in welchem es vor sich geht. Damit erhöht ein lebender Organismus ununterbrochen seine Entropie - oder wie man auch sagen könnte, er produziert eine positive Entropie - und strebt damit auf den gefährlichen Zustand maximaler Entropie zu, der den Tod bedeutet. Er kann sich ihm nur fernhalten, d.h. leben, indem er seiner Umwelt fortwährend negative Entropie entzieht - welche etwas sehr Positives ist, wie wir gleich sehen werden. Das, wovon ein Organismus sich ernährt, ist negative Entropie. Oder, um es etwas weniger paradox auszudrücken, das Wesentliche am Stoffwechsel ist, dass es dem Organismus gelingt, sich von der Entropie zu befreien, die er, solange er lebt, erzeugen muss.” (Schrödinger 1989, S. 124ff)

Durch die Einführung einer „negativen Entropie” beschreibt Schrödinger jedoch nur zum Teil die „Tricks des Lebens” (Fischer, im Vorwort zu Schrödinger 1989). Er beschreibt, wie es Lebewesen gelingt, ihre Ordnung eine Zeit lang aufrecht zu erhalten, wie jedoch neue höhere Formen von Ordnung z.B. im Zuge evolutionärer Prozesse entstehen können, vermag er nicht zu erklären. Schrödinger übertitelte das entsprechende Kapitel mit „Ordnung beruht auf Ordnung”, damit bleibt die Frage offen, wie Ordnung aus Unordnung und wie aus Ordnung noch mehr Ordnung entstehen kann. Oder anders ausgedrückt, wie vermögen es bestimmte Systeme Entropie zu verringern, ohne ihrer Umwelt nur Ordnung zu entziehen?

Die Antworten auf die genannte Frage sind nicht älter als 30 Jahre. Sie sind eng mit den Namen Ilja Prigogine und seiner Theorie dissipativer Systeme (z.B. Prigogine & Stengers 1986, Prigogine 1987, Prigogine & Stengers 1993), Hermann Haken und der von ihm begründeten Synergetik (z.B. Haken 1985, Haken & Wunderlin 1991, Haken 1992) und Manfred Eigen, mit der von ihm konzeptualisierten Theorie der Hyperzyklen verknüpft (zusammenfassend und ohne auf bestehende Unterschiede einzugehen wird im Folgenden von der „Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme” die Rede sein). Im Zusammenhang mit den genannten theoretischen Ansätzen steht

das Konzept der „Selbstorganisation” welches erstmals Erklärungen für selbsttätige Ordnungsbildung in der belebten und unbelebten Natur anbietet. Die Fähigkeiten zur selbsttätigen Ausbildung von Ordnungsstrukturen kann als das beeindruckendste Merkmal bestimmter ausgezeichneter Systeme verstanden werden. Disziplinenübergreifend zeigen sich diese Fähigkeiten bestimmter Systeme in analoger Weise in den verschiedensten wissenschaftlichen Fachrichtungen. Die genannten systemtheoretischen Ansätze besitzen damit eine Universalität, die sie über die Detailfragen einzelner disziplinspezifischer Erklärungsansätze erheben. Systeme erscheinen vor diesem Hintergrund als Strukturen mit bestimmten Fähigkeiten und Eigenschaften, die erst im Rahmen einer systemwissenschaftlichen Betrachtung deutlich werden und allgemein Fähigkeiten und Eigenschaften von Systemen beschreiben. Hieraus begründet sich der Anspruch der Systemwissenschaften, eine eigene Disziplin zu sein.

Die Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme

Es lässt sich an unzähligen Beispielen zeigen, dass die Grundannahme eines einfachen deterministischen Weltbildes, dass Systeme nichts anderes sind als die Summe ihrer Einzelteile, nicht zutrifft. Behält man die Überzeugung bei, dass man einfache Systeme mit Hilfe einzelner, jeweils zwischen zwei Elementen geltenden Gesetzmäßigkeiten beschreiben kann, so zeigt sich, dass bereits das Zusammenfügen von drei Variablen zu einem System ein Systemverhalten hervorbringen kann, welches nicht über lange Zeiträume hinweg vorhergesagt werden kann und sich damit gänzlich entgegen der Annahme einer strengen Determinierung verhält. Zudem zeigen sich in einem solchen Fall nicht selten hoch komplexe aber geordnete Verhaltensweisen, die mit Recht als Selbstorganisation im Sinne der Hervorbringung neuer höherer Komplexitäts- und Ordnungsstrukturen bezeichnet werden können.

Als einfaches Beispiel aus der Ökologie mag das System des „Großen Schwammspinners” dienen. So lässt sich die Population des „Großen Schwammspinners”, eines Falters, für ein beliebiges Jahr über eine einfache mathematische Gleichung aus der Zahl der Falter im Vorjahr berechnen. Die so genannte Verhulst-Gleichung (bzw. logistische Gleichung) lautet (vgl. z.B. Briggs & Peat 1990, Schiepek & Strunk 1994; mathematisch anspruchsvoller: Peitgen et al. 1992):

$$\underset{\text{(nächstes Jahr)}}{\text{Anzahl Falter}} = \text{Lb} * \underset{\text{(dieses Jahr)}}{\text{Anzahl Falter}} - \text{Lb} * \underset{\text{(dieses Jahr)}}{(\text{Anzahl Falter})^2}$$

Lb	bezeichnet die Lebensbedingungen in dem System. Das System ist lebensfähig bei Zahlenwerten für Lb zwischen 2,8 (schlechte Lebensbedingungen) und 4,0 für sehr gute Lebensbedingungen.
Anzahl Falter	wird durch Zahlen zwischen 0 und 1 angegeben. Die Zahlenwerte repräsentieren prozentuale Anteile, wobei 1,0 hundert Prozent entspricht und die maximal mögliche Anzahl von Faltern bezeichnet, die in einem Jahr in dem Biotop überleben kann (maximale Ausnutzung der Nahrungsreserven).

Obwohl diese Gleichung mathematisch keinesfalls besonders kompliziert ist, zeigen sich für verschiedene Lebensbedingungen (Lb) höchst unterschiedliche und komplexe Entwicklungen der Anzahl der Falter. Die Tabelle 1 zeigt für „schlechte", „mittelmäßige" und „sehr gute" Lebensbedingungen die Zahl der Falter im Verlauf von 18 Jahren (die Zahlenwerte wurden mit 12 Stellen nach dem Komma berechnet. Die in der Tabelle wiedergegebenen Werte wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet). Jeweils gestartet wird die Berechnung mit 0,6. Der Wert der sich als Ergebnis der Gleichung für das folgende Jahr ergibt, wird dann für die Berechnung des übernächsten Jahres als Ausgangswert herangezogen und so weiter.

	Lebensbedingungen		
	schlecht (Lb = 2,8)	**mittelmäßig** (Lb = 3,0)	**sehr gut** (Lb = 3,9)
Startwert (Jahr Null)	0,60	0,60	0,60
1. Jahr	0,67	0.73	0,94
2. Jahr	0,63	0,60	0,23
3. Jahr	0,66	0,72	0,70
4. Jahr	0,63	0,61	0,82
5. Jahr	0,65	0,72	0,57
6. Jahr	0,64	0,61	0,96
7. Jahr	0,64	0,72	0,17
8. Jahr	0,64	0,61	0,54
9. Jahr	0,64	0,72	0,97
10. Jahr	0,64	0,61	0,12
11. Jahr	0,64	0,72	0,42
12. Jahr	0,64	0,61	0,95
13. Jahr	0,64	0,72	0,20
14. Jahr	0,64	0,61	0,60
15. Jahr	0,64	0,72	0,93
16. Jahr	0,64	0,61	0,24
	ab dem 6. Jahr immer 0,64	*ab dem 3. Jahr immer abwechselnd 0,72 und 0,61*	*keine sich wiederholende Abfolge*

Tabelle 1: Die Vermehrung des Großen Schwammspinners berechnet nach der Verhulst-Gleichung

Während sich die Zahl der Falter bei „schlechten Lebensbedingungen" nach einigen Jahren auf einen festen Wert einpendelt, ergibt sich für „mittelmäßige Lebensbedingungen" ein beständiges Pendeln zwischen zwei Werten. Für „sehr gute" Lebensbedingungen geht jedoch jede Systematik verloren. Tatsächlich lässt sich keine Regelmäßigkeit mehr finden. Die Zahl der Falter schwankt bei „sehr guten" Lebensbedingungen hoch komplex und ohne dass sich die Zahlenabfolgen jemals wiederholen würden. Die mathematische Gleichung beschreibt hier ein Verhalten, welches als deterministisches Chaos bezeichnet wird (vgl. z.B. Schuster 1989; für die Bedingungen von Chaos im psychotherapeutischen Kontext: Strunk 1998).

Die Eigenschaften nichtlinearer dynamischer Systeme

Angesichts der gebotenen Kürze können hier nur einige wenige Aspekte solcher Systeme genauer beschrieben werden:

Komplexität. Nicht der Aufbau oder die Zahl der beteiligten Variablen bestimmt die Komplexität des Systemverhaltens. Bereits einfache leicht überschaubare Systeme mit nur drei beteiligten Einflussgrößen können Verhaltensweisen hervorbringen, die nicht prognostiziert werden können.
Energie. Nur Systeme, die beständig mit Energie versorgt werden, sind in der Lage komplexes selbstorganisiertes Verhalten zu generieren. Dabei kommt der Energie eine besondere Rolle zu. Je nach Ausmaß der zugeführten Energie können bereits kleine, leicht überschaubare Systeme viele verschiedene Verhaltensweisen generieren. Dabei ist die Verhaltensweise selbst eine eigenständige Leistung der Systeme, also selbstorganisiert. Der Energie kommt jedoch die Funktion zu, diese verschiedenen Verhaltensweisen zu ermöglichen.
Stabilität. Jedes Verhalten, das ein System zeigt, ist in gewissen Grenzen stabil, mag es auch noch so komplex erscheinen. Bei einer gegebenen Energie wird ein System nach einer Verstörung immer wieder das gleiche Verhalten aufbauen. Man spricht hier von einem attraktiven Systemverhalten, welches daher als Attraktor bezeichnet wird.
Verhaltensklassen. Obwohl die Verhaltensweisen von Systemen sehr vielfältig sind, können sie in nur vier verschiedene Verhaltensklassen eingeteilt werden. Solche Klassifizierungen helfen das Systemverhalten abstrahierend zu beschreiben. Für jede der vier Verhaltensklassen scheinen verschiedene Gesetzmäßigkeiten zu gelten. Diese Gesetzmäßigkeiten sind jedoch unabhängig von der Natur des jeweiligen Systems sie gelten in physikalischen, chemischen, biologischen, psychischen, sozialen Systemen gleichermaßen.

Damit bietet die hier beschriebene Systemtheorie sowohl Begriffe als auch theoretische Annahmengefüge, die zu überprüfbaren Hypothesen führen. Die hier beschriebene Systemtheorie ist eine Systemtheorie, die empirischen Fragen offen steht und innovativ zu einer Reihe von empirischen Fragestellungen geführt hat.

Folgerungen für die Psychotherapie / Psychopathologie

Die mathematischen Grundlagen der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme und ihrer Spielarten, der Chaostheorie, der Synergetik und der Theorie dissipativer Strukturen, lassen sich aus verschiedenen Gründen gut auf die Kernannahmen konstruktivistischer Erkenntnistheorien beziehen. Systeme werden auch hier als operational geschlossen aufgefasst, nämlich als aus Elementen bestehend und durch Relationen zwischen diesen Elementen operational verbunden.

Mathematisch sind diese Elemente durch Variablen beschreibbar. Relationen werden durch mathematische Operationen abgebildet, so dass ein System durch Differenzialgleichungen modelliert werden kann. Jeder Zustand des Systems zum Zeitpunkt t

ergibt sich durch Berechnung auf Grundlage der Variablenwerte zum genau vorhergehenden Zeitpunkt. So werden die modellierten Systeme einer mathematischen Analyse zugänglich.

Eine Analyse von Zeitreihendaten aus empirischen Systemen erlaubt es zudem, bestimmte Systemeigenschaften zu identifizieren, ohne dass ein theoretisches Modell für das System vorher bekannt wäre (für Verfahren zur Systemanalyse aus psychologischer und psychiatrischer Sicht vgl. Schiepek & Strunk 1994).

Daraus resultiert ein entsprechend neu formuliertes Verständnis von Krankheit und Gesundheit, das sog. Konzept der „Dynamischen Krankheiten„ (Glass & Mackey 1977; Mackey & Heiden 1982; Mackey & Milton 1987; Heiden 1993). Dem Konzept der Dynamischen Krankheiten liegt die Vorstellung zu Grunde, dass der menschliche Organismus ein komplexes System interagierender Entitäten ist. Diese Auffassung beschränkt sich nicht nur auf die materielle Seite der menschlichen Existenz (Moleküle, Zellen, Organe etc.), sondern berücksichtigt die Tatsache, „...dass der Mensch ein Beziehungsgeflecht umfasst, zu dem mindestens die Hauptkomponenten Körperlichkeit, Fühlen, Wahrnehmen, Denken und Verhalten gehören, von denen jede mit jeder interagiert” (Heiden 1993, S. 52).

Als zentrales Bestimmungsstück der Theorie Dynamischer Krankheiten wird das Konzept des „Attraktors” aus der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme übernommen. Ein Attraktor beschreibt allgemein ein stabiles Verhalten eines Systems. Ein Attraktor vieler dynamischer Systeme, auch des Menschen, ist die Homöostase. Für den Menschen sind verschiedene homöostatische Subsysteme beschrieben, wie Körpertemperatur und Blutdruck. Ein homöostatisches System ist ständig bestrebt einen bestimmten Zustand einzuhalten, - dynamisch ausgedrückt versucht es Veränderungen aufzuheben, einen Gleichgewichtszustand zu erreichen („Fixpunkt-Attraktor”; vgl. das Beispiel des Großen Schwammspinners, Tabelle 1, schlechte Lebensbedingungen).

Löst man sich beim Homöostaseprinzip vom Phänomen einer angestrebten „Unveränderlichkeit”, so kann man auch oszillierende Zustände als stabil auffassen. Z.B. kann der Herzrhythmus oder der Atemrhythmus als stabil, im Sinne einer stabilen Frequenz beschreiben werden (vgl. das Beispiel des Großen Schwammspinners, Tabelle 1, mittelmäßige Lebensbedingungen). Auf der Grundlage mathematischer Methoden können auch für hoch komplexe Verhaltensweisen stabile, qualitative Eigenschaften nachgewiesen werden. So können Zyklen beliebig „verschlungen” sein, bevor sie von vorne beginnen („Torus-Attraktoren”). Das Systemverhalten kann aber auch so komplex sein, dass nur in einer aufwändigen mathematisch-empirischen Analyse eine stabile Ordnung nachgewiesen werden kann („chaotischer- oder auch seltsamer Attraktor” vgl. das Beispiel des Großen Schwammspinners, Tabelle 1, sehr gute Lebensbedingungen).

Attraktoren sind selbstorganisierte Eigenleistungen der sie generierenden Systeme. Sie sind nicht von außen vorgegeben, sondern entstehen aus den Wechselwirkungen

zwischen den Systemkomponenten. Wie am Beispiel des Großen Schwammspinners deutlich wird, kann ein und das selbe System in Abhängigkeit von bestimmten äußeren Bedingungen verschiedene Attraktoren aufweisen. Diese äußeren Bedingungen werden in der Theorie der Synergetik (z.B. Haken 1985, Haken & Wunderlin 1991, Haken 1992) „Kontrollparameter" genannt. „Kontrollparameter" regeln den „Energiedurchfluss" im System. Je nachdem wie stark ein und das selbe System mit Energie versorgt wird (z.B. schlechte, mittelmäßige oder sehr gute Lebensbedingungen beim Großen Schwammspinner), zeigt es selbstorganisiert verschiedene Verhaltensweisen.

Schon in der traditionellen psychiatrischen Nosologie werden psychische Störungen vielfach nach ihren Verlaufsgestalten beschrieben (z.B. Kraepelin, 1909). Solche Verlaufsgestalten werden in der Theorie dynamischer Krankheiten als Attraktoren verstanden. Auch diese „kranken" Attraktoren sind eine autonom organisierte Eigenleistung des Systems, sie können a) durch eine Verschiebung in den Parametern der Energiezufuhr (Kontrollparameter) oder b) durch eine starke „Verstörung" des Systems (z.B. durch Live-Events oder Traumata) ausgelöst werden.

Die mathematischen Ansprüche an die Theorienbildung und die empirischen Methoden in diesem Zweig der modernen Systemwissenschaften führen zu einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit Mathematikern, Physikern und Informatikern. Dennoch gibt es in der Klinischen Psychologie und der psychiatrischen Forschung ein eigenständiges Forschungsprogramm und „Systemwissenschaftliches Forschungskonzept". Dabei handelt es sich um ein zunächst genuin im Systemischen Denken verwurzeltes Forschungsgebiet (z.B. Kriz 1990, Reiter & Steiner 1994, Reiter 1992, Schiepek 1993, Schiepek & Kowalik 1994, Schiepek & Strunk 1994, Manteufel 1995, Ludewig 1996).

Der Mathematiker an der Heiden (1993), kommt in diesem Sinn für das Konzept der Dynamischen Krankheiten zu drei Folgerungen für die psychotherapeutische Praxis, die mit den therapeutischen Grundhaltungen der Systemischen Therapie gut übereinstimmen.

1. Da das gleiche System sowohl „krank" als auch „gesund" sein kann, ohne dass sich seine Struktur ändert, ist der „gesunde" Systemzustand in Form einer Selbstheilungskapazität im System jederzeit vorhanden.
2. Interventionen setzen aus dieser Sicht a) an den Parametern des Systems an oder stützen sich b) auf eine Verstörung des Systems. Beide Interventionsmöglichkeiten können erfolgreich sein. Heilung setzt keine Problemkenntnis voraus.
3. Wiederherstellung der Gesundheit muss nicht notwendigerweise bedeuten, dass die gleichen Attraktoren, die vor der Erkrankung realisiert wurden, wieder angestrebt werden.

Zusammenfassung

Bei der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme handelt es sich um einen elaborierten theoretischen und methodischen Ansatz, der aus den Naturwissen-

schaften stammend zu den gleichen grundsätzlichen Schlussfolgerungen für psychotherapeutisches Handeln führt, wie sie auf der Grundlage anderer theoretischer Ansätze (z.B. konstruktivistische System-Theorien) für die systemische Therapie bereits beschrieben wurden.

Das zeigt zumindest die Kompatibilität dieses Ansatzes zur systemischen Therapie. Darüber hinaus liefert der hier beschriebene theoretische und methodische Ansatz jedoch auch eigenständige und innovative Interpretationen systemisch therapeutischen Handelns und hilft vor allem dort Zusammenhänge zu verstehen, wo andere Ansätze auf eine bloße phänomenologische Beschreibung beschränkt bleiben. Einige der Stärken der Theorie dynamischer Systeme sollen im Folgenden kurz aufgelistet werden:

1. Die Theorie dynamischer Systeme erklärt Prozesse der Selbstorganisation (vgl. z.B. Tschacher et al. 1992)
2. Komplexität, Unvorhersagbarkeit, Ordnung und Dynamik werden in einem kohärenten und in sich schlüssigen Ansatz als einander nicht ausschließende Phänomene beschrieben und in ihrer Entstehung erklärt (vgl. z.B. Haken 1985, Küppers 1987, Haken & Wunderlin 1991)
3. Das Konzept der Kontrollparameter, als Ansatzpunkt für Interventionen in der Therapie, lenkt das Augenmerk auf energetische Aspekte der menschlichen Psyche. Veränderungen (Attraktorwechsel, auch Phasenübergänge genannt) können besonders effektiv durch Veränderungen in der Energie induziert werden. Im Rahmen psychischer Systeme ist hier z.B. an Emotionen und Motivationen als wichtige Energieträger zu denken (vgl. z.B. Ciompi 1982).
4. Die Offenheit der Theorie für Systemelemente aus verschiedenen Phänomenbereichen macht es möglich, den Menschen als bio-psycho-soziales System im Rahmen eines übergreifenden Ansatzes zu verstehen (vgl. z.B. Schiepek 1996).
5. Die engen Verbindungen zu mathematischen Methoden eröffnen ein weites Feld für die Psychotherapieforschung, jenseits einfacher Vorher-Nachher-Vergleiche (vgl. z.B. Schiepek et al. 1995, Schiepek 1994).

Literatur

Breuer F (1989) Wissenschaftstheorie für Psychologen. Eine Einführung. Aschendorff Verlag, Münster
Briggs J, Peat FD (1990) Die Entdeckung des Chaos. Hanser, München
Ciompi L (1982) Affektlogik. Über die Struktur der Psyche und ihre Entwicklung. Klett, Stuttgart
Coveney P & Highfield R (1992) Anti - Chaos. Der Pfeil der Zeit in der Selbstorganisation des Lebens. Rowohlt Verlag, Reinbeck
Dürr H-P (1990) Das Netz des Physikers. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse in der Verantwortung. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
Glass L & Mackey MC (1977) From clock to chaos. The Rhythms of Life. University Press, Princeton
Haken H (1985) Synergetik. Eine Einführung. Springer, Berlin
Haken H, Wunderlin A (1991) Die Selbststrukturierung der Materie. Vieweg, Braunschweig
Haken H (1992) Synergetics in Psychology. In: Tschacher W, Schiepek G & Brunner EJ (Hrsg) Self-Organization and Clinical Psychology. Springer, Berlin
Heiden U, an der (1993) Dynamische Krankheiten - Konzepte und Beispiele. In: Schiepek G & Spörkel H (Hrsg) Verhaltensmedizin als angewandte Systemwissenschaft. Mackinger, Bergheim bei Salzburg

Kraepelin E (1909) Psychiatrie. Ein Lehrbuch, 8. Auflage. Barth, Leipzig
Kriz J (1990) Synergetics in Clinical Psychology. In: Haken H, Stadler M (Hrsg) Synergetics of Cognition. Springer, Berlin
Küppers B-O (Hrsg) (1987) Ordnung aus dem Chaos. Piper, München
Ludewig K (1996) Systemische Therapie in Deutschland. Ein Überblick. System-Familie 1:95-115
Mackey MC, Heiden U, an der (1982) Dynamical Diseases and Bifurkations. Funktionelle Biologie & Medizin 1:156-164
Mackey MC, Milton J (1987) Dynamical Diseases. Annals of the New York Academy of Sciences 50(4):16-32
Manteufel A (1995) “Chaosmania” - Über Chaostheorie und ihren Nutzen für Klinische Psychologie und Psychiatrie. Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften 9(1):24-40
Peitgen H-O, Jürgens H, Saupe D (1992) Bausteine des Chaos. Fraktale. Springer; Klett-Cotta, Berlin
Prigogine I, Stengers I (1986) Dialog mit der Natur. 5. Auflg. Piper, München
Prigogine I (1987) Die Erforschung des Komplexen. Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften. Piper, München
Prigogine I, Stengers I (1993) Das Paradoxon der Zeit. Zeit, Chaos und Quanten. Piper, München
Reiter L (1992) Clinical Constellations: A Concept for Therapeutic Practice. In: Tschacher W, Schiepek G, Brunner EJ (Hrsg) Self-Organisation and Clinical Psychology. Springer, Berlin
Reiter L, Steiner E (1994) Klinische Synergetik und Selbstorganisation: Ein wissenschaftliches Feld formiert sich. Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften 8(1):52-66
Richter S (1989) Wunderbares Menschenwerk. Aus der Geschichte der machanischen Automaten. Edition Leipzig, Leipzig
Schiepek G (1993) Systemorientierte Psychotherapie. Psychotherapie Forum 1(1):8-16
Schiepek G (1994) Ist eine systemische Psychotherapieforschung möglich? Zeitschrift für klinische Psychologie, Psychopathologie und Psychotherapie, 4:297-318
Schiepek G, Kowalik ZJ (1994) Dynamik und Chaos in der psychotherapeutischen Interaktion. Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis 4:503-527
Schiepek G, Strunk G (1994) Dynamische Systeme. Grundlagen und Analysemethoden für Psychologen und Psychiater. Asanger, Heidelberg
Schiepek G, Strunk G, Kowalik ZJ (1995) Die Mikroanalyse der Therapeut-Klient-Interaktion mittels Sequentieller Plananalyse. Teil II: Die Ordnung des Chaos. Psychotherapie Forum 3(2):87-109
Schiepek G (1996) Der Appeal der Chaosforschung für die Psychologie. Philipp Reclam jun., Stuttgart
Schrödinger E (1989) Was ist Leben?. Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet. (Original 1951). Piper, München
Schuster HG (1989) Deterministic Chaos. VCH (2. Ed.), Weinheim
Strunk G (1998) Die Selbstorganisationshypothese der Psychotherapie. Systeme. Interdisziplinäre Zeitschrift für systemtheoretisch orientierte Forschung und Praxis in den Humanwissenschaften 12(2):3-21
Tschacher W, Schiepek G, Brunner EJ (1992) Self-Organization and Clinical Psychology. Empirical Approaches to Synergetics in Psychology. Springer, Berlin
Watson JB (1913) Psychology as the Behaviourist views it. Psychological Review

Dipl. Psych. Guido Strunk
Salisstraße 5/6/26
A-1140 Wien