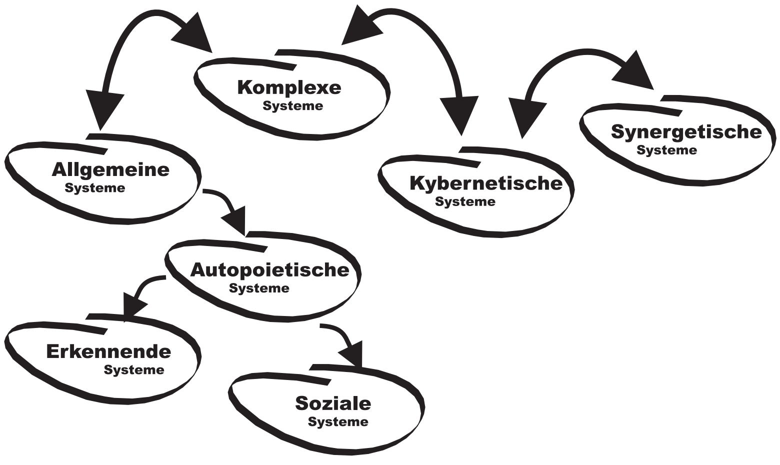

Systemtheoretische Ansätze in den Natur- und Geisteswissenschaften

Eine Übersicht

Dirk Rathje, email@dirk-rathje.de

2. Dezember 1999

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Einführung

Die Teile habe ich nun in meiner Hand,
fehlt leider noch das geistige Band.
Goethe

1.1 Versteht Euch!

Systemtheoretische Ansätze in den Disziplinen und dazwischen

Systeme sind *en vogue*. Das neue Paradigma. Und überall.
Fast alle Wissenschaften - ob sie sich nun dem Geiste oder der Natur widmen - haben auch einen systemtheoretischen Zugang zu ihrem Fach. Fast so, als müsse man die Jahrhunderte des kühlen Reduktionismus wieder gutmachen. Systemtheoretische Überlegungen dienen dabei zweier Herren. Zum einen erlauben sie den Wissenschaftlern, das eigene Fach besser zu verstehen. Zum anderen eignen sie sich hervorragend für das interdisziplinäre Arbeiten - zumindest in der Theorie. Denn oft sprechen Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen von denselben Dingen, benennen sie jedoch anders und verstehen sich nicht.

Begriffsbildung ist ein emergenter Prozess

Begriffsbildung ist ein emergenter Prozess im komplexen System Wissenschaft. Aus lokalen Benennungen, die eine Arbeitsgruppe oder eine einzelne Wissenschaftlerin vornimmt, entsteht durch Kommunikation in iterativen Schritten die Standardterminologie für ein Fach. Newton nannte sie ... Leibniz sprach von ... Die moderne Mathematik hat sich auf Infinitesimalrechnung geeinigt. Die Terminologie eines Faches bildet aus lokalen Phänomenen eine globale Struktur. Dieser Prozess ist bei weitem noch nicht in allen Fächern abgeschlossen. In einigen wird er es vielleicht auch niemals werden. So fand Klaus Merten in seiner Studie *Kommunikation. Eine Begriffs- und Prozessanalyse* (1977) allein 160 verschiedene Definitionen für den Begriff *Kommunikation*. Doch selbst wenn Disziplinen eindeutige Terminologien erarbeitet haben, tun sich die Wissenschaftler im Umgang mit Kollegen aus anderen Fächern schwer: Zu festgefahren sind oft die Vorbehalte der schöngeistigen Kollegen und der Mitstreiter aus den Naturwissenschaften. Dann isoliert Lokalität, endet im Unvermögen, den anderen zu verstehen, und lähmt den Versuch, aus all dem eine Wissenschaft zu machen. Am selben Strang zu ziehen. Dies ist ein Appell für eine Vereinheitlichung der Wissenschaften! Systemtheoretische Ansätze könnten aus dem lokalen Beziehungsgeflecht der unterschiedlichen Disziplinen unser Weltverständnis verbessern. Dazu muss man jedoch wissen, wovon die anderen sprechen.

Die folgende Übersicht versteht sich als ein kleiner Beitrag dazu.

1.2

Systemtheorien.

Ethymologie

Der Begriff System beruht auf dem griechischen *systema*, das Zusammengesetzte. Es ist aber von der wahllosen Zusammenstellung - gewöhnlich Aggregat genannt - zu unterscheiden. *systema* repräsentiert die beabsichtigte, planvolle Zusammensetzung.

systema: gr. das Zusammengesetzte

Wissenschaftsmethoden

Wissenschaftstheoretisch kann man den systemorientierten Ansatz als einen Mittelweg zwischen Reduktionismus und Holismus verstehen. Der Reduktionimus versucht das Ganze auf seine Teile zu reduzieren. Der Holismus hingegen wehrt sich sogar dagegen, die Teile des Ganzen überhaupt näher zu betrachten. Er erachtet sie als sekundär und wendet sich nur dem Ganzen zu. Systemtheoretische Ansätze betrachten sowohl die Teile als auch deren Summe.

Der systemorientierte Ansatz zwischen Reduktionismus und Holismus.

Der Name Systemtheorie ist irreführend. Denn es handelt sich dabei nicht um *eine* Theorie. In Anlehnung an die Stellung zwischen Reduktionismus und Holismus wäre ein Begriff wie *Systemismus* wohl angebrachter, wäre mit dem Ismus nicht auch eine starre Fixierung konnotiert. Aus diesem Grund spreche ich hier von systemtheoretischen Ansätzen.

Es gibt nicht die *eine* Systemtheorie.

Als Ludwig von Bertalanffy mit seiner *Allgemeinen Systemtheorie* ein methodisches Programm geschaffen hatte, begann in den einzelnen Wissenschaften ein Auskristallisationsprozess, bei dem unterschiedliche Systemtheorien entwickelt wurden. Leider führte dabei die Namensgebung - wohl aufgrund zeitökonomischer Belange - dazu, dass in den meisten Fällen immer nur von *der* Systemtheorie gesprochen wird. Dabei gibt es mitunter in den einzelnen Disziplinen mehrere Kandidaten, welche den Namen verdienen würden, die in einem evolutiven Kampf um Anerkennung jedoch unterlegen waren. Als Beispiel sei hier die Soziologie erwähnt. In Deutschland wird Systemtheorie meist mit den Arbeiten Niklas Luhmanns gleichgesetzt. Es ist aber nur ein Ansatz unter anderen. Amerikaner werden wahrscheinlich eher an die Werke von Talcott Parson denken.

Auskristallisation in den einzelnen Disziplinen

Dies sollte jedoch auch der Arbeitsgruppe um Gerhard Mack zu denken geben. Der Name *Theory of Complex Systems* scheint sich mir nicht geügend abzuheben aus dem Meer der wissenschaftlichen Ideen. Vielleicht wäre es sinnvoll, die enzymatische Dynamik im Namen erscheinen zu lassen.

Ist der Name *Theory of Complex Systems* nicht zu allgemein?

1.3

Historischer Abriss.

Antike und Mittelalter

In Platons Werk *Timaios*, in dem er Aufbau und Ordnung des Kosmos untersucht, beginnt sich zuerst der Systembegriff als *terminus technicus* abzuzeichnen. Doch neben der Kosmologie findet er auch in der Musiktheorie Verwendung. Dort bezeichnete *systema* die aus Intervallen zusammengesetzten Tonar-

Systeme in der antiken Kosmologie und Musiklehre

ten (Tonleitern). Über die pythagoreische Harmonie der Himmelssphären werden beide Begriffe dann wieder in Zusammenhang gesetzt.
In der Musiktheorie bleibt der Systembegriff aber auch in römisch-lateinischer Zeit erhalten. Aufgrund seines Abstraktheitsgrades findet er im Mittelalter auch in der Logik und Wissenschaftstheorie Anhänger. Bartholomäus Keckermann schreibt 1600 seine *Systema Logicae*, in der er auch ein System definiert.

Das moderne Fundament

Allgemeine Systemtheorie, Kybernetik und Informationstheorie

Der moderne systemtheoretische Ansatz beruht auf den Arbeiten Ludwig von Bertalanffys von 1949. Seine Gedanken zu einer biologischen Systemlehre aus den dreißiger Jahren, erweiterte er zum interdisziplinären Rahmen der *Allgemeinen Systemtheorie*, um die es im zweiten Kapitel gehen wird. Nahezu zeitgleich entstanden jedoch auch die ersten Beiträgen zur Kybernetik von Norbert Wiener und der syntaktischen Informationstheorie von Claude E. Shannon. Die Kybernetik wird in Kaptitel 3 behandelt werden.

Die zweite Welle

Katastrophentheorie, dissipative Systeme, Synergetik

Ein neuer Schub an systemtheoretischen Ansätzen in den Naturwissenschaften ist in den sechziger Jahren zu verzeichnen. Die entsprechenden Standardwerke erscheinen jedoch erst im darauffolgenden Jahrzehnt. Es handelt sich hierbei um die *Katastrophentheorie* von Thom[1]. Hierbei geht es darum, dass Systemzustände instabil werden können, wenn man Parameter kontinuierlich verändert. Ferner zu erwähnen sind die *dissipativen Systeme* von P. Glansdorff und I. Progogine sowie die *Synergetik* von Hermann Haken. Diese Übersicht beschäftigt sich im siebten Kapitel mit der Synergetik.

Theorie sozialer Systeme

Auch in den Sozialwissenschaften entwickeln sich in den sechziger Jahren moderne Systemtheorien. Die wohl elaborierteste ist die Theorie sozialer Systeme von Niklas Luhmann, mit der sich das sechste Kapitel befasst.

1.4 Sind Systeme real oder nur Modelle?

Menschen erfinden Systeme, um die Welt zu begreifen

Ein System im Mackschen Sinne geht davon aus, dass wir Menschen die Realität nur in Form von Objekten und zweiwertigen Beziehungen dazwischen darstellen können. Mack sieht darin die grundlegende Struktur, die uns Menschen zur Verfügung steht, um beliebige Systeme zu beschreiben. Damit ist ein System ein geistiges Konstrukt, welches die Realität modellhaft - nicht unbedingt isomorph - abbildet. Es ist nur in diesem Sinne real.

Lokalität dient der Komplexitätsreduktion

Es ist aber die einzige Möglichkeit, mit der wir uns die Welt vorstellen können. Das Universum ist viel zu komplex, als dass wir es ganz erfassen könnten. So sieht der frühe Luhmann die wesentliche Funktion von Systemen darin, die Komplexität der Welt zu reduzieren. Hier greift auch Macks Ansatz der Lokalität. Dadurch dass nicht alle Objekte mit allen in Beziehung gleicher Qualität stehen, kann sich Ordnung in Systemen einstellen: Es gibt fundamentale (lokale) Beziehung und solche, die aus den fundamentalen zusammengesetzt sind.

[1] R. Thom, 1975: Strutural Stability and Morphogenesis. Benjamin Reading, Mass.

Die Antwort lautet also: Weil wir Menschen Systeme schaffen, existieren überhaupt erst Dinge für uns. Nur durch die Unterscheidung von Ding (System) und seiner Umwelt, sind wir in der Lage, aus der gewaltigen Komplexität des Urstoffs Universum Dinge zu fischen. Vielleicht ist dies ja die Gödelsche Grenze für den Menschen?

Es ist aber möglich, zwei Typen von Systemen zu unterscheiden:

1. Idealsysteme wie das Periodensystem der Elemente oder das Wahnsystem eines Geisteskranken. In diesen Systemen versucht derjenige, der das System von dessen Umwelt differenziert, Ordnung in die Wahrnehmung des Ausdifferenzierten zu bringen.

2. In Realsystem interagieren Objekte real miteinander.

Ununterscheidbarkeit von Ideal- und Realsystemen

Inwieweit eine solche Unterscheidung Sinn macht, ist fraglich. In einer Computersimulation des Sonnensystems interagieren die virtuellen Objekte nicht wirklich kausal aufeinander. Es handelt sich also eigentlich, um eine Idealsystem, das jedoch - wäre die Simulation perfekt - vom Realsystem nicht zu unterscheiden wäre. Ein Neuaufguss der Geist-Seele-Debatte.

1.5 Was ist Emergenz?

Emergenz: lat. Emporkommen

Ganz wesentlich für systemtheoretische Betrachtungen ist das Phänomen der Emergenz. Denn hierin zeigt sich gerade, dass das System mehr ist als die Summe seiner Teile. Ethymologisch stammt der Begriff Emergenz aus dem Lateinischen und bedeutet soviel wie das Emporkommen.

Elektrischer Schwingkreis als emdergentes Phänomen

Betrachten wir als Beispiel eine Spule und einen Kondensator. Die zeitliche Entwicklung des Stroms durch einen Kondensator wird durch eine Differentialgleichung erster Ordnung beschrieben ($I = C\dot{U}$). Die Spannung an einer Spule ergibt sich auch aus einer Differentialgleichung erster Ordnung ($U = L\dot{I}$). In beiden Fällen ist schnell eine Sättigung erreicht. Schließt man jedoch Spule und Kondensator zu einem Schwingkreis zusammen, so ergibt sich eine Differentialgleichung zweiter Ordnung und ein gänzlich anderes Verhalten: Eine Schwingung. Der ganze Schwingkreis ist mehr als die Summe seiner Teile. Die Schwingung ist ein emergentes Phänomen.

1.6 Systemtheoretische Ansätze und Physik: ein Widerspruch?

Reduktionismus

Reduktionisitische Physik war lange Zeit Leitwissenschaft

Bis in das zwanzigste Jahrhundert hinein war die Physik Leitwissenschaft. Ihre reduktionistische Strategie bestand darin, die Welt in kleine, isolierte Teil zu zerlegen. Mit großem Erfolg. Dieser mag damit zusammengehangen haben, dass die zu bearbeitenden Probleme von recht einfacher und überschaubarer Natur waren. Wir werden uns später mit dem Begriff der Komplexität noch näher auseinandersetzen. Aber eine mögliche Beschreibung von Komplexität liegt gerade darin, dass sich der reduktionistische Ansatz der klassischen Physik auf komplexe Phänomene nicht anwenden lässt.
Man unterscheidet drei Formen von Reduktionismus:

methodischer Reduktionismus

1. Der *methodische Reduktionismus* versucht durch das Zerlegen des Gan-

zen zu allgemeinen Aussagen zu gelangen. Man sucht auf der Ebene der kleinsten Elemente (klein definiert sich hier über sinnvoll) nach elementaren Zuständen und fundamentalen Prozessen. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um eine Systemanalyse. Es ist eine in der Wissenschaftstheorie weit verbreitete Auffassung, dass der methodische Reduktionimus unvermeidlich und fruchtbar ist.

erkenntnistheoretischer Reduktionimus

2. Der *erkenntnistheoretische Reduktionismus* versucht Hierarchien der Erklärungssysteme für unterschiedliche Phänomene zu bilden. Dabei werden Theorien auf fundamentalere reduziert. Newtons Gravitationslehre ging auf diese Weise in die Allgemeine Relativitätstheorie ein, und Mendels Vererbungslehre findet sich als Teil in der moderen Molekulargenetik wieder. Der erkenntnistheoretische Reduktionsmus ordnet auch die einzelnen Disziplinen. Niemand leugnet, dass die Grundlagen der Biologie physikalischer und chemischer Natur sind. Niemand bestreitet, dass sich die Chemie aus der Quantenelektrodynamik ergibt.

Disziplinen differenzieren sich aus

Sieht man die soziale Funktion der einzelnen Wissenschaften darin, Probleme zu lösen, so mussten sie sich ausdifferenzieren. So ist der erkenntnistheoretische Gewinn der Quantenelektrodynamik für die Beschreibung elektronischer Systeme von nebensächlichem Belang: Das System Elektrotechnik musste sich vom System Physik differenzieren, und somit eigene Methoden schaffen, mit denen ihr Untersuchsgegenstand besser erfasst werden kann. Ähnliches ereignete sich mit der Chemie. Die Ausdifferenzierung war hier zunächst historischen Ursprunges. Man kannte keine Atome, man kannte keine Quantenlekektrodynamik, man wusste nicht, wie man chemische Bindungen auf die Physik zu reduzieren vermag. Mittlerweile weiß man es. Aber es gibt immer noch zwei Wissenschaften: die Physik und die Chemie. Denn zum einen sind beispielsweise Pfadintegralberechnungen in der Chemie nur bedingt zu gebrauchen. Zum anderen haben sich ganz andere Methoden entwickelt, die gerade das Wissenschaftssystem Chemie auszeichnen.

Deswegen ist die Physik im Sinne eines erkenntnistheoretischen Reduktionismus fundamentaler. Das heißt nicht, dass sie wichtiger ist als Chemie, Biologie oder Elektrotechnik.

Der Mehrheit der Wissenschaftstheoretiker erscheint der erkenntnistheoretische Reduktionismus erstrebenswert im Sinne des Auffindens immer umfassenderer Gesetzmäßigkeiten.

ontologischer Reduktionismus

3. Systemtheoretiker lehnen hingegen den *ontologischen Reduktionismus* ab. Denn es ist naiv zu behaupten, die Gesetze der Elementarteilchenphysik bestimmen das Wesen biologischer Systeme. System lassen sich nicht restlos aus den Einzelteilen erklären. Das Verständnis der Subsysteme ist eine notwendige, aber keine ausreichende Bedingung, um das Wesen eines Systems zu erfassen.

Klassische Physik maximiert sinnvollen Reduktionismus

Es ist ein Charakteristikum der klassischen Physik, den methodischen und erkenntnistheoretischen Reduktionsmus bis an seine Grenzen auszureizen. Das reduktionistische Sezieren der Welt ist dabei ungeheuerlich produktiv. Lange Zeit war die theoretische Physik die einzig wahre nomothetische Disziplin, eine Wissenschaft also, die quantitative Gesetze aufstellen und erklären konnte. Der Reduktionismus versagt jedoch, wenn es um die Beschreibung komplexerer Objekte geht. Besonders die Biologie befand sich von Anfang an in der schwierigen

Lage, dass sich lebende Systeme nicht so leicht in einfache Einheiten aufspalten lassen, deren Zusammenwirken sich aus simplen Gesetzen ableiten lässt. Hier sind physikalischer Reduktionismus und systemtheoretische Ansätze im Widerspruch.

Thermodynamik und Systeme

Thermodynamische Systeme sind eigentlich Aggregate

In der neueren Physik gibt es jedoch durchaus Bemühungen, eine systemische Betrachtung zwischen den Teilen und dem Ganzen zu verfolgen. Diese Epoche beginnt mit der Gleichgewichts-Thermodynamik. Das Systemverständnis, das in der Thermodynamik vorherrscht, grenzt sich jedoch von der Auffassung ab, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Hier stehen die Beziehungen der Elemente untereinander im Hintergrund. Oft ist man sogar auf eine Reduktion von Beziehungen angewiesen, um quantitative Aussagen machen zu können. So sorgen hohe Temperaturen und niedrige Drücke für eine Vereinheitlichung des Beziehungsgeflechts aus Gasatomen oder Elementarmagneten. In der Thermodynamik wird der Systembegriff auf die Unterscheidung System/Unwelt reduziert. Im ethymologischen Sinne müsste man von einem Aggregat und keinem System sprechen.
Zudem befasst sich die Gleichgewichts-Thermodynamik mit geschlossenen Systemen. Oder falls sie offen sind, stehen die Systeme im Gleichgewicht mit ihrer Umwelt. Abzugrenzen hiervon ist die Nichtgleichgewichts-Thermodynamik.

Kapitel 2

Allgemeine Systemtheorie

2.1

Die Krise in der Biologie.

Der deduktive Ansatz der Physik scheitert an Vorgängen des Lebens

In der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts erwächst der Systembegriff aus einer biologischen Kritik der Physik. Der deduktive Ansatz, das Sezieren des Kosmos in Einzelphänomene ist zwar in vielen Bereichen überaus erfolgreich, hat aber fundamentale Probleme, auf biologische Vorgänge übertragen zu werden. Leben tritt niemals isoliert auf. Leben lässt sich nicht auf einzelne chemische Reaktionen reduzieren. Lebende Systeme sind immer offen und komplex.

Was ist ein lebendes System?

Die Biologie, die Lehre vom Leben, hatte ein gewaltiges Problem. Denn sie konnte mit Mitteln der gängigen Wissenschaftsmethodik noch nicht einmal ihren eigenen Untersuchungsgegenstand greifen: Das Leben blieb außen vor. Aus diesem Grund kam es in den 1930er Jahren zu einem Paradigmawechsel in der Biologie: vom Einzelphänomen zur Vernetzung von Einzelphänomenen, dem System. Für diesen Methodenwechsel steht vor allem der Zoophysiologe Ludwig von Bertalanffy (1901-1972). Er kann als Begründer der interdisziplinären *Allgemeinen Systemtheorie* genannt werden, die er in den 1940er Jahren einführte.

Ausweg: System

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

Was für den Reduktionisten das Atom, ist für den Systemtheoretiker das Ganze, das eben mehr ist als die Summe seiner Teile: das System. Es besteht nicht nur aus seinen Elementen, sondern auch aus den Beziehungen zwischen den einzelnen Bestandteilen.

Die Allgemeine Systemtheorie sucht nach Prinzipien, die ganz allgemein für Systeme gelten. Dies geschieht hauptsächlich im Sinne von Differentialgleichungssystemen, deren allgemeine Eigenschaften untersucht werden. Sie schafft damit die Vorlage für die Theorien dynamischer Systeme.

Von Bertalanffy vergleicht die Bedeutung einer ausgearbeiteten Allgemeinen Systemtheorie mit der der Statistik. Während letztere für alle Disziplinen von großem Nutzen ist, die sich mit zufälligen Ereignisse befassen, dient die Allgmeine Systemtheorie jenen Disziplinen, die sich mit dem organisierten Ganzen beschäftigen (*von Bertanlanffy, General System Theory, S. 37*).

Bertalanffys Systemdefinition

Von Bertalanffy Systembegriff ist sehr allgemein. Er betont, dass ein System mathematisch auf unterschiedliche Arten und Weisen definiert werden kann. Oft wird bei ihm ein System jedoch durch gewöhnliche beziehungsweise partielle Differentialgleichungen beschrieben.

> Wir definieren ein *System* als eine Anzahl von in Wechselwirkung stehenden Elementen $p_1, p_2, \ldots, p_n$ charakterisiert durch quantita-

> tive Maße $Q_1, \ldots, Q_n$. Ein solches kann durch ein beliebiges System von Gleichungen bestimmt sein.
> *von Bertalanffy: Zu einer allgemeinen Systemlehre, in: Biologia Generalis. Archiv für die allgemeinen Fragen der Lebensforschung 19, Seite 114-129*

Allgemeine Systemtheorie als interdisziplinäres Forschungsprogramm

Allgemeine Systemtheorie als Ergänzung der Newtonschen Methode

Seine Ideen präsentierte von Bertalanffy zuerst 1937 in an der Universität von Chicago. Aber erst als er nach dem Zweiten Weltkrieg der Meinung war, die Biologie hätte ein wenig von ihrer Theoriefeindlichkeit verloren, veröffentlichte er seine Gedanken. Er meinte nicht, mit seiner Systemtheorie "das (wissenschaftliche) Ei des Kolumbus" gefunden zu haben. Er sah es als eine Möglichkeit neben der gleichzeitig aufkeimenden Kybernetik - mit all ihren Stärken und Schwächen. Auch streitet von Bertalanffy der Deduktion nicht ihre Existenzberechtigung ab. Ihm lag vielmehr daran, die Newtonsche Methode zu ergänzen. Von Anfang wollte er die Allgemeine Systemtheorie als interdisziplinäres Werkzeug entwickeln:

> In Wissenschaften, die sich, wie die Bevölkerungslehre, die Soziologie, aber auch weite Gebiete der Biologie, nicht dem Rahmen der physikalisch-chemischen Gesetzlichkeit einordnen, treten dennoch exakte Gesetzmäßigkeiten auf, die durch passend gewählte Modellvorstellungen erreicht werden können. Es sind logische Homologien, die sich aus den allgemeinen Systemcharakteren ergeben, und aus diesem Grunde gelten formal gleichartige Beziehungen auf verschiedenen Erscheinungsbereichen und bedingen die Parallelentwicklung in verschiedenen Wissenschaften.
> *von Bertalanffy: Zu einer allgemeinen Systemlehre, in: Biologia Generalis. Archiv für die allgemeinen Fragen der Lebensforschung 19, Seite 114-129*

Was in diesem Zitat von Bertalanffy ankündigt wurde, ist eingetreten. Systemtheoretische Denkweisen finden sich in den verschiedensten Wissenschaften - von der Astronomie, über die Soziologe und Wirtschaft bis hin zur Zoologie. Doch in den meisten Fällen handelt es sich hier nur um eine methodische Interdisziplinarität; man benutzt eine ähnliche Terminologie. Auf inhaltlicher Ebene findet viel seltener Austausch statt.
Von Bertalanffy sieht die Notwendigkeit eines systemtheoretischen Ansatzes, wenn es darum geht, das Phänomen der Organisation zu beschreiben und erklären.

> [...] classical science was highly successful in developing the theory of unorganized complexity which stems from statistics, the laws of change, and, in the last resort, the second law of thermodynamics. Today our main problem is that of organized complexity, Concepts like those of organizing, wholeness, teleology, control, self-regulation, differentiation and the like are alien to conventional physics. However, they pop up everywhere in the biological, behavioral, and the social sciences, and are, in fact, indispensable for dealing with living organisms or social groups.
> *von Bertalanffy: General Systems Theory, in: General Systems. Yearbook of the Society für the Advancement of General Systems Theory, Bd 1, S. 1 - 10, 1956*

2.2

Die Entwicklung der Allgemeinen Systemtheorie.

Niklas Luhmann beschreibt in seinem Hauptwerk *Soziale Systeme* drei Phasen der Allgemeinen Systemtheorie:

Das Ganze und seine Teile

1. Die erste Phase ist durch das Schema vom Ganzen und seinen Teilen charakterisiert. Das Ganze erhält aufgrund der Vernetzung seiner Teile neue Qualitäten.

System/Umwelt, Existenz ist Differenz

2. Danach gewinnt die Unterscheidung zwischen System und Umwelt an Bedeutung. Dabei müssen System und Umwelt nicht unbedingt räumlich voneinander getrennt sein - es existieren auch rein funktionale Ausdifferenzierung wie im Beispiel des Immunsystems. Für Niklas Luhmann spielt Differenz die ganz entscheidene Rolle. Hier bricht er mit der westlichen Philosophie, in der seit Parmenides die Identität zu den Hauptbegriffen zählt. Luhmann sieht in der Identität nicht den Grund für die Existenz. Vielmehr ist etwas nur dann, wenn es von anderem - seiner Umwelt - unterschieden ist. Existenz ist Differenz.

Autopoiese

3. In der dritten und aktuellen Phase hat sich ein zweiter Paradigmawechsel ereignet: die Theorie autopoietischer Systeme. Dieser konstruktivistische Ansatz ist aus der Kybernetik-Schule Heinz von Foerster hervorgegangen. Er wird im vierten Kapitel besprochen.

2.3

Die Theorie offener Systeme.

Die Theorie offener Systeme ist ein Teilbereich der Allgemeinen Systemtheorie. Mit ihr erweitert von Bertalanffy die Gleichgewichts-Thermodynamik.

Offene Systeme im Fließgleichgewicht.

Organismen sind offene Systeme

Organismen sind keine geschlossene, sondern offene Systeme. Es gibt einen fundamentalen Unterschied zwischen Systemen im chemischen Gleichgewicht und Organismen, die Stoffwechsel betreiben. Aus diesem Grund bietet sich die Gleichgewichts-Thermodynamik zur Beschreibung lebender Systeme nicht an. Da es bei geschlossenen Systemen keinen Austausch mit der Umwelt gibt, muss es nach einer gewissen Weile in einen Zustand des Gleichgewichtes übergehen. Ein chemische Gleichgewicht kann dann zwar ohne Energiezufuhr aufrechterhalten bleiben, es ist jedoch auch nicht in der Lage Arbeit zu leisten.

In offenen Systeme können sich Fließgleichgewichte einstellen

Ein offenes System tauscht jedoch mit seiner Umwelt Materie, Energie und Information aus. Diese Offenheit bedeutet keineswegs Beliebigkeit. Denn es zeigt sich, dass trotz ständiger Veränderung der Struktur das Wesen des Systems erhalten bleibt. Von Bertalanffy hat hierfür den Begriff des *Fließgleichgewichts* eingeführt.

Enzymkettenreaktion als Beispiel für ein Fließgleichgewicht

Im Fließgleichgewicht bleibt die Entropie nahezu konstant. Dazu ist eine Energiezufuhr von außen notwendig. Ein lebendes System ist daher nur im Nichtgleichgewichtszustand funktionsfähig. Fließgleichgewichte sind quasistationäre Zustände voller Dynamik. Ein solches Beispiel ist eine Enzymreaktionskette.

Am anabolischen Aufbau eines Biomoleküls sind meist zahlreiche Enzyme beteiligt. Die Produkte eines enzymatischen Katalyse dient einer weiteren wieder als Edukte, so dass sich niemals ein Gleichgewicht einstellen kann. An den Enden der Kette müssen jedoch Vorkehrungen getroffen werden, dass ständig neue Edukte herbei- und die Produkte weggeschafft werden.
Dem Fließgleichgewicht können zwei Sorten von Prozessen überlagert sein. Zum einen innere, periodische Vorgänge, wie etwa die Atmung oder der Herzschlag. Zum anderen können Organismen auf äußere Stimuli reagieren. Dabei handelt es sich um Störungen, nach denen das System wieder in den Zustand seines quasistationären Gleichgewichts zurückkehrt.

Zwei Sorten überlagerter Prozesse

Ein offenes System kann autonom sein in dem Sinne, dass es sich von selbst auf Änderungen der Umweltbedingungen einstellt. Es verhält sich adaptiv. Dies ist von der sonst üblichen Kausalitätsvorstellung zu unterscheiden, nach der die Umwelt das System eindeutig bestimmt. Bei offenen Systemen liegt keine lineare Kausalität vor, in dem Sinne, dass ein bestimmter Umweltreiz eine und nur eine mögliche Reaktion des System zulässt und diese auch auslöst. Offene Systeme reagieren vielmehr mit einer gewissen Eigenlogik auf Umweltreize. Als Beispiel sei der Mensch zu nennen, den man zwar zu einem bestimmten Grade von außen steuern kann, der im Großen und Ganzen jedoch eine autonome Einheit darstellt. Das System organisiert sich selbst. Es wird nicht von außen organisiert.

Fließgleichgewichte machen offene Systeme autonom und adaptiv

Äquifinalität

Eine weitere wesentliche Eigenschaft offener Systeme ist die Äquifinalität (*equifinality*). Sie beschreibt, dass offene Systeme auch bei unterschiedlichen Anfangsbedingungen denselben Endzustand einnehmen können. Dies unterscheidet sie von geschlossenen Systemem.
So hängt der Zustand eines Plantensystem sehr stark von dessen Anfangsbedingungen ab. Auch bei einer chemischen Reaktion ergibt sich die Konzentration der Endprodukte aus der der Ausgangsstoffe. Anders sieht es bei lebenden Systeme aus: Aus einer Eizelle, die sich einmal geteilt hat, kann man ein Zwillingspaar schaffen. Diese Freiheiten haben den deutschen Biologen Driesch dazu veranlasst an eine vitalistischen Kraft zu glauben, der für die Entstehung von Lebewesen verantwortlich ist. Driesch glaubte, dass die Äquifinaltität, nicht mit physikalischen Gesetzen erklärt werden kann. Er irrte. Es müssen jedoch offene Systeme im Fließgleichgewicht betrachtet werden. Und dies geschah erst mit von Bertalanffy.

Fließgleichgewicht hängt nicht vom Anfangszustand ab

2.4 Macksche Systemtheorie versus Allgemeine Systemtheorie

Von Bertalanffys Definition eines Systems als eine Menge von Elementen, die in gegenseitiger Beziehung stehen, ähnelt sehr stark der Kategorieneigenschaft eines komplexen Systems in der Mackschen Beschreibung. Nicht allzu verwunderlich, schließlich handelt es sich in beiden Fällen um systemtheoretische Ansätze, die versuchen weder reduktionistisch noch holisitsch zu sein.
Beide Beschreibungsweisen unterscheiden sich jedoch sehr stark in der Art und Weise, wie sie Dynamik integrieren. Von Bertanlanffy sieht die Eigenschaften der einzelnen Systemkomponenten durch Differentialgleichungen gegeben. Macks Dynamik scheint hier qualitativer. Die wenigen Fundamentalenzyme

Systembeschreibung recht ähnlich

Dynamiken sind unterschiedlich realisiert ändern nicht die Eigenschaften von Objekten - elementare Objekte haben noch nicht einmal Eigenschaften. Dynamik funktioniert bei Mack ausschließlich im Sinne von Strukturveränderung.

Macksche Systemtheorie macht die theoretische Physik noch nomothetischer

Von Bertalanffy versuchte, Erklärungsmuster in die bis dato nahezu ausschließlich beschreibende Biologie einzuführen. Damit brachte er ein nomothetisches Prinzip in seine Wissenschaft, also den Versuch Gesetzmäßigkeiten anzugeben. Der Macksche Ansatz scheint diese Erklärungsmuster jedoch noch weiter abstrahieren zu können, indem er quantitative Gesetzmäßigkeiten auf eine rein strukturelle Basis stellt - also wirklich erklärt. Damit könnten der Macksche Systemeansatz die Tradition der theoretischen Physik als nomothetische Wissenschaft nicht nur weiterführen, sondern sogar erweitern.

Kapitel 3

Theorie der Steuerung - Kybernetik

Einige Vertreter: Ross Ashby, Norbert Wiener, Heinz von Foerster.

Biographische Notiz:
Norbert Wiener, geboren 1894 in Columbia, promoviert im Alter von 18 Jahren mit einer Arbeit über mathematische Logik. Nach einem Ausflug nach Cambridge und Göttingen, wo er mit Russell beziehungsweise Hilbert arbeitet, nimmt er eine Stellung an der mathematische Fakultät des Massachusetts Institute of Technology an. Während des Zweiten Weltkrieges arbeitet er an ballistischen Problemen. Diese führen ihn zum Konzept der Kybernetik. Sein Hauptwerk *Cybernetics* erscheint 1948. Es folgen weitere Arbeiten über Kybernetik und Quantentheorie. Wiener stirbt am 18. Mai 1964 in Stockholm.

3.1 Einführung

Präkybernetische Systeme

Von Aquädukten und Dampfmaschinen

Archäologische Funde zeigen, dass in Mesopotamien bereits vor viertausend Jahren ausgeklügelte Bewässerungsanlagen zum Einsatz kamen. Doch bekannter sind wohl die *Aquädukte* des antiken Griechenlands und Roms. In ihnen wurden Kombinationen von Ventilen eingesetzt, um den Wasserstand konstant zu halten.
Die Regelungskunde machte einen gewaltigen Schritt vorwärts, als man lernte, mit Hilfe von Rückkopplungseffekten Information über den Zustand eines Systems zu gewinnen und diese Information zur Steuerung einzusetzen. Einer der ersten Kontrollmechanismen dieser Art geht auf den Holländer Corelis Drebbel (1572-1633) zurück. Er kombinierte thermische und mechanische Effekte, um die Temperatur in seinem Ofen, dem *Athanor*, auf einer konstanten Temperatur zu halten. Es ist überliefert, dass dieser Temperatur-Kontrollmechanismus ein großer Erfolg gewesen sein soll. Im Gegensatz zum Projekt, das Drebbel mit dem Athanor verfolgte: nämlich aus Blei Gold zu machen. Später im siebzehnten Jahrhundert erfand Christian Huygens (1629-1695) eine Schwungrad-Konstruktion, mit der sich die Geschwindigkeit von Windmühlen steuern ließ. Auf dieses Gerät geht der Regelungsmechanismus zurück, den der Engländer James Watt (1736-1819) für seine *Dampfmaschine* einsetzte: den Fliehkraftregler. Mit ihm kam die industrielle Revolution. Und damit schuf der Fliehkraftregler die Grundlage, als erster Kontrollmechanismus zum Massenprodukt zu werden. Er wurde zum Maskottchen für die Regelungskunde.

Rückgekoppelte Systeme heißen kybernetisch

Die meisten modernen Erfindungen sind ohne den Einsatz rückgekoppelter

Steuerung undenkbar. Die Landung auf dem Mond. Die Stabilisierung eines Hubschraubers. Der Kühlschrank. Die Verstärkung von Musiksignalen durch einen Transistor. Der 24-Stunden-Betrieb eines Kernkraftwerkes. Das künstliche Herz. Industrie- und Hausroboter. Systeme, die rückgekoppelt gesteuert werden, heißen kybernetisch. Ashby definiert ein kybernetisches System als "offen für Energie, aber geschlossen für Information, Regelung und Steuerung *Ashby: Einfürhung in die Kybernetik, Seite 19*.

Ethymologie

kybernetes: gr. der Steuermann

Das griechische *kybernetes* bedeutet Steuermann, also eine Person, die allen Widrigkeiten trotzend zum Ziel führt. Ampère griff das Wort vor anderthalb Jahrhunderten zum ersten Mal im Kunstwort *cybernetique* wieder auf, um die bis dahin nicht existierende Wissenschaft von der Staatslenkung zu beschreiben. Mit nur mäßigem Erfolg. Anders erging es Norbert Wiener, der 1948 mit seinem Werk *Cybernetics* eine neue Disziplin ins Leben rief. Wiener legte damit die Grundsteine für den Begriff der Kybernetik, der schon bald darauf zum Modewort avancierte. Im Russischen Sprachgebrauch wird auch die Informatik zur Kybernetik gezählt. Nicht so im Westen. Hier wird strikter unterschieden zwischen den Computerwissenschaften und der Theorie von der Regelung komplexer Systeme.

Was ist Kybernetik?

Die Kybernetik versteht sich als übergreifende Wissenschaftsdisziplin, die sich mit der formalen mathematischen Beschreibung von Systemen beschäftigt. Diese Systeme zeichnen sich durch das Prinzip der selbsttätigen Regelung aus. Dabei wird auf Informationen reagiert, die Aussagen über den eigenen Zustand macht. Verantwortlich für diese Regelung kann ein Mensch oder eine Maschine sein, die dann jeweils einen Bestandteil des kybernetischen Systems bilden. In kybernetischen Systemen wirkt daher mindestens ein Rückkopplungsmechanismus. Die Kybernetik fragt also nicht, was ein System ist, sondern was es

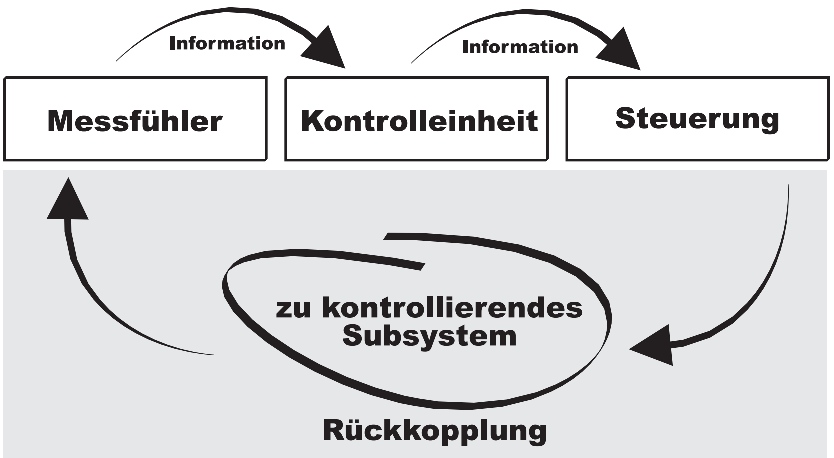

Abbildung 3.1:
Ein rückgekoppeltes, kybernetisches System. Der Fühler misst einen Wert im zu kontrollierenden System. Diese Information wird in einer Kontrolleinheit verabeitet, dort zum Beispiel mit einem Sollwert verglichen. Anschließend kann eine weitere Einheit steuernd in das System eingreifen.

tut. Sie untersucht dabei alle möglichen Verhalten und Funktionen und ist in diesem Sinne behaviouristisch. Dabei muss es die behandelten Systeme (noch) nicht geben:

> Kybernetik verhält sich zur realen Maschine - ob elektronisch, mechanisch , neural, ökonomisch - weitgehend so, wie sich Geometrie zu einem realen Gegenstand auf unserem Planeten verhält.
> sourceAshby: Einführung in die Kybernetik, Seite 16

Die theoretischen Säulen, auf denen die Kybernetik ruht, sind

- die syntaktische Informationstheorie udn
- die Regelungskunde[1] (*control theory*)
  Die Steuerungs- und Regelkunde, die im deutschen Sprachgebrauch (leider) oft auch als Systemtheorie bezeichnet wird.

Diese Zweiteilung zeigt auch der Untertitel von Wieners Buch an: *The science of communication and control in the animal and the machine.* Mittlweile würde man den Gegenstandsbereich der Kybernetik jedoch auch auf das menschlichen Individuum und die Gesellschaft ausdehnen.

Kybernetische Systemtypen

Zu Beginn dieses Kapitels haben wir bereits einige Beispiele kybernetischer Systeme kennengelernt. Karen Gloy[2] hat daraus drei Typen abstrahiert:

1. *geregeltes System: der Kühlschrank*
   Hier findet sich ein einfacher Regelkreis. Der Istwert wird mit einem Sollwert verglichen. Wenn beide nicht übereinstimmen, werden entsprechende Maßnahmen ergriffen.
2. *programmiertes System: die Waschmaschine*
   Diese Systeme existieren in der Zeit. Der Kontrollmechanismus kann sein Verhalten ändern. Es gibt ein von Menschen geschaffenes Programm (Waschmaschine), oder aber die Zeitabfolge ist dem System von selbst mitgegeben (Aufwachsen eines Menschen).
3. *lernfähiges System*
   Hier gibt es kein statisches Programm. Das System ist lernfähig. In dieser Etappe geht die Kybernetik stetig in die Entwicklung Künstlicher Intelligenz über.

3.2 Syntaktische Informationstheorie

Keine Theorie der Bedeutung

Die Frage nach der Information ist noch längst nicht beantwortet. Besonders das Konzept der *Bedeutung* wehrt sich, durch naturwissenschaftliche Verfahren quantifiziert zu werden. Während wir in der Alltagssprache Information meist mit der Vorstellung von inhaltlichem Wissen oder Bedeutung verwenden, betrachtet die Informationstheorie von Claude E. Shannon nur syntaktische

[1] im Deutschen gibt es durchaus einen semantischen Unterschied zwischen den Begriffen *Steuerung* und *Regelung*. Mit Regelung ist meist ein Eingreifen (ein Steuern) in ein System im kybernetischen Sinn gemeint, d.h. rückgekoppelt.

[2] Das Verständnis der Natur, Band I, C.H. Beck, 1995

Information - keine semantische. Shannon wehrte sich sogar dagegen, sein Werk Informationstheorie zu nennen und plädierte für den Namen *Theorie der Kommunikation*. Wir wenden uns hier nur der syntaktischen Information zu.

Information ist Auswahl

Information liegt vor, wenn aus einer gegebenen Menge an Möglichkeiten eine Untermenge ausgewählt wird. Machen wir das an einem Beispiel deutlich: Wenn in einem Fahrstuhl maximal zehn Personen Platz finden, so erhalten wir Information, wenn wir erfahren, dass sich mehr als fünf Menschen darin befinden. Eine Aussage, die uns bescheinigt, es seien weniger als zwanzig Personen in dem Lift, ist für uns informationsleer. Information ist Auswahl. Information ist etwas, was Ungewissheit verringert. Claude E. Shannon hat 1948 Signale daraufhin untersucht, wie viel Information sie übermitteln können. Als Ergebnis zeigte sich, dass der Informationsgehalt einer Botschaft durch die negative Entropie beschrieben werden kann.

Signal

Signal = energetischer oder materieller Träger einer Information

Auf Norbert Wiener geht der oft zitierte Ausdruck

> information is information, neither matter nor energy
> *Norbert Wiener: Cybernetics*

zurück. Damit sagt er zwar noch nicht, was Information ist, fügt sie der Physik aber als weiteren Grundbegriff hinzu. Dennoch ist Information auf Materie und Energie angewiesen, wenn es darum geht sie in der physikalischen Welt darzustellen. Der energetische oder materielle Träger einer Information heißt Signal. Jede physikalische Größe kann ein Signal sein. Der Umkehrschluss gilt nicht. Denn ein Signal ist eine physikalische Größe zusammen mit einem Sender und einem Empfänger. In der Kybernetik kommt es nicht in erster Linie auf den physikalischen Träger der Information an. Es ist jedoch wichtig, dass die einzelnen Signale unterscheidbar sind. Signale können diskret oder kontinuierlich sein.

3.3

Exkurs: Information

Dieser Abschnitt kann übersprungen werden.

Kommunikation

Kommunikation = Informationsübertragung

Kommunikation liegt im Shannonschen Sinne dann vor, wenn ein Sender einem Empfänger mittels eines Kanals Informationen überträgt. Ganz wesentlich ist hierbei, dass der Sender in der Auswahl seiner Information frei ist. Denn wäre er einem Naturgesetz unterworfen, wie es etwa das regelmäßige Aussenden von Röntgenblitzen eines Pulsars ist, so würde es dem Empfänger reichen, von diesem Naturgesetz zu wissen. Die Pulsarblitze wären frei von Information. Das werdens ie aber natürlich erst dann, wenn das Naturgesetz entdeckt wurde.

Man kann niemals sicher gehen, dass keine Information vorliegt

Ein Singal enthält für einen Empfänger gerade dann Information, wenn er nicht in der Lage ist, die Kausalfaktoren, die das Verhalten des Senders bestimmen, vollkommen auszumachen. Pulsare lieferten der Wissenschaftsgemeinde also so lange Information, bis sie auf den Trichter kam, dass es sich um rotierende Neutronensterne handelt. Was ist aber, wenn es kleine Unregelmäßigkeiten in der Regelmäßigeit gibt, die uns bisher noch nicht aufgefallen sind, die aber vielleicht Rückschlüsse auf die Geschichte des Himmelskörpers geben? Sendet der Pulsar dann jetzt immer noch Information, oder nicht? Da wir unser Wissen nur auf induktive Weise gewinnen können, werden wir niemals sicher sein, ob wir die Kausalfaktoren, die auf ein Objekt einwirken, vollkommen ausmachen können. Die Größe und Komplexität des Universums im Verhältnis zu unserer doch bescheidenen Aufnahmefähigkeit lässt dies sogar unmöglich erscheinen.

Informationen über Informationen

Das 20. Jahrhundert war das Jahrhundert der Informationkodierung und -entschlüsselung. Information als abstrakte Größe kann nur in kodierter Form (über Signale) ausgetauscht und gespeichert werden. Sprache und Schrift sind die bekanntesten Vertreter solcher Kodierungen. Wenn man von einer Kodierung in einer andere wechseln will, ist es wichtig, dass dabei möglichst wenig Information verlorengeht, dass man einem Isomorphimus möglichst nahe kommen.

Information liegt immer kodiert vor

Das 20. Jahrhundert zeichnete sich aber nicht nur dadurch aus, dass immer bessere Sprachen gefunden wurden, um Information darzustellen. Vielmehr wurde die Möglichkeit der Selbstreferenzierung von Information entdeckt. Die Menge aller Information enthält auch Information über diese Information, sowie Information über die Information über die Information...

Selbstreferente Information

Die Bedeutung der Selbstbezüglichkeit der Information kommt in der Dokumentenbeschreibungssprache *XML* zum Ausdruck, die das Auffinden von Information im *World Wide Web* erleichtern soll, weil im selben Dokument angebenen wird, welche Information vorliegt (zum Beispiel, dass es sich um eine Liste mit Namen von Bibliothekaren handelt) als auch die Information selbst (eben die Namen der Bibliothekare).

XML bietet selbstreferentielle Kodierung

Die Kodierung von Information gewann im 20. Jahrhundert in drei unterschiedlichen Disziplinen beachtliche Bedeutung:

1. *Computerwissenschaft*
   Eine sinnvolle Codierung war für die Entwicklung der Computer von außerordentlicher Wichtigkeit. Die Darstellung von Zahl und Befehlen in binäre Folgen von Nullen und Einsen ermöglichte eine einfache und sichere technische Umsetzung. Diese Codierung stellte jedoch auch die Information (Zahlen, Buchstaben, usw.) auf dieselbe Stufe wie den Befehl. Diese ermöglichte Computerprogramme, sich selbst zu verändern und zu reproduzieren. Auf der Schattenseite dieser Entwicklung zeigten sich Computerviren, die biologische Vorbilder nachahmend in der Lage waren, größeres Unheil zu verrichten. Aber auch höhere Programiersprachen wie Lisp oder Prolog erlauben die Selbstbezüglichkeit, aus der sich ungeahnte Möglichkeiten ergeben.

   Selbstbezüglichkeit in der Informatik

2. *Mathematische Grundlagenforschung*
   In der Metamathematik führte die Gödelsche Codierung zum gleichnamigen Unvollständigkeitssatz, der die Träume der Mathematiker von einer perfekten Theorie zerplatzen ließ. Im Jahr 1900 stellte Hilbert die Frage, ob aus einem mathematischen Axiomensystem ein Algorithmus hervorgehen könne, der in der Lage ist, die Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit der Theorie zu beweisen? Es ging darum, ob der Prozess der mathematischen Beweisführung automatisierbar ist? Der Mathematiker Kurt Gödel zeigte, dass die Widerspruchsfreiheit eines Axiomensystem nicht mit den im System selbst geschaffenen Mitteln bewiesen werden kann. Eine mathematische Theorie kann also nicht selbstreferentiell alle

   Selbstbezüglichkeit in der Metamathematik

Aussagen über sich beweisen. Dies bedeutet nicht, dass Axiomensysteme nicht zu selbstbezüglichen Aussagen in der Lage sind. Vielmehr benutzte Gödel sogar ein selbstreferentielles Verfahren, um in einem Axiomensystem eine Aussage der Art "Ich kann nicht in diesem Axiomensystem beweisen werden." zu erzeugen. Dies ist der Kernpunkt des Beweises.

Selbstbezüglichkeit im Leben

3. *Biochemie*
   Im 20. Jahrhundert entdeckten Watson und Crick die Doppelhelix-Natur der Desoxyribonukleinsäure (DNA). Wenige Jahrzehnte darauf wurde der genetische Code entschlüsselt. Bei ihm handelt es sich um eine Abbildungsvorschrift zwischen zwei chemischen Systemen: Den Nukleotiden auf der einen und den Aminosäuren auf der anderen Seite. Die Zelle arbeitet dabei höchst selbstreferetiell. Denn die gesamte genetische Information, die in der DNA gespeichert ist, beinhaltet auch das Kochrezept, wie diese abstrakte Information in die biologische Welt der anderen Biomoleküle zu übertragen ist.

3.4

Regelungskunde.

Regelung orientiert sich an eigenem Erfolg

Unter Regelung versteht man eine Steuerung, die sich selbst an ihrem Erfolg orientiert. Der Pilot überprüft den Kurs seines Flugzeuges, kann auf Abweichungen eingehen und kommt so am Zielflughafen an. Das Thermostat misst die Temperatur, die gleichzeitig auch das Ziel festlegt. Bei Abweichungen des Istwerts vom Soll wird entsprechend eingegriffen.

Regelkreise

Diese Regelung geschieht in der Kybernetik über Regelkreise - ein Begriff von solch zentraler Bedeutung, dass die Phrase "Am Anfang war der Regelkreis" in den ersten Jahren der Kybernetik die Runde machte. Für ein mathematisches Modell eines kybernetischen Systems sind dabei zwei Informationen von Bedeutung.

- eine genaue mathematische Beschreibung der Systemeigenschaften. Dies geschieht oft mit Hilfe von Differentialgleichungen und

kybernetische Systeme sind teleonomisch

- eine mathematische Formulierung des Ziels. Denn kybernetische Systeme sind teleonomisch, das heißt zielgerichtet. Sie vergleichen den Ist- mit dem Sollwert. Der Sollwert ist das Ziel.

Die vier Ursachen Aristoteles

Die Zielgerichtetheit gründet auf einer alternativen Auffassung von Kausalität. Aristoteles sah unter dem Begriff der Kausalität noch eine Vielzahl von Ideen vereinigt: die *Stoff-, Form-, Wirk- und Zweckursache*. Ein Haus geht in diesem Sinne auf ganz unterschiedliche Ursachen zurück. Der Stoff, aus dem das Gebäude besteht, ist natürlich seine Ursache. Dieser Stoff wird nun in eine bestimmte Form gebracht. Auch die Form verursacht das Haus. Des weiteren möchte der Baumeister ein Gebäude erschaffen: dies ist die Zweckursache. Dazu legen Bauleute Hand an (Wirkursache).
Unser modernes Kausalitätsverständnis ist jedoch meist auf das der Wirkursache reduziert.

Wirkursache versus Zweckursache oder: Effiziente Kausalität versus finale Kausalität.

Die Wirkursache geht der Wirkung voraus

Nehmen wir an, ein Postbote möchte ein Paket abliefern. Die entsprechende

Haustür ist bereits in Sichtkontakt. Der Überbringer möchte sich nun auf die Wirkursache beschränken. Dazu kann er eine Flugbahn berechnen, auf der das Paket an sein Ziel gelangt. Dazu hat die Mechanik hervorragende Methoden geschaffen. Es ist - theoretisch - möglich, die genauen Abwurfbedingungen anzugeben, unter denen das Paket sein Ziel erreichen wird. Dieser Abwurf wäre dann Ursache für die Wirkung der Ankunft. So funktioniert die Welt aber nur in den seltesten Fällen.

Die Zweckursache ist die Wirkung

Viel öfter gibt man sich mit approximativen Zwischenlösungen zufrieden. Diese werden dann in einem iterativen Verfahren verbessert - bis das Ziel erreicht ist. Dies erlaubt viel mehr Flexibilität. Denn ein korrigierendes Eingreifen ist nicht mehr möglich, wenn der Postbote das Paket erst einmal abegeworfen hat. einmal in der Luft befindet. Der kleinste Windhauch könnte alle Berechnungen zur Makulatur werden lassen. Aus diesem Grund berechnet er erst gar nicht. Der Postbote wird vielmehr zur Tür gehen. Dabei muss er aufpassen, nicht über die Bordsteinkante zu stolpern. Auch wird er das Gartentor öffnen müssen. Ganz wesentlich ist hierbei, dass die Wirkung der Ursache vorausgeht. Denn die Ursache für all diese Aktionen ist die Paketauslieferung. Kybernetiker sprechen hier von finaler (zielgerichteter) Kausalität. Heinz von Foerster drückt dies wie folgt aus:

> Nun, damit ich um 9 Uhr hier bin, muss ich um 7:20 in Pescadero losfahren. Die Wirkung, nämlich dass ich um 7:20 das Haus verlasse, war verursacht durch meinen Wunsch, um 9 Uhr hier bei Ihnen zu sein. Folglich ist die Wirkung der Ursache vorangegangen.
> *Heinz von Foerster*

Finale Kausalität erlaubt Korrektur

Bei der finalen Kausalität kann korrigierend eingegriffen werden, um die finale Ursache zu erreichen. Man muss nicht auf Anhieb alles richtig machen, noch muss man einen optimalen Weg berechnen. Man kann steuernd auf begangene Fehler eingehen. Die finale Kausalität ist weniger effizient, aber sicherer als die effiziente Kausalität. Da die Kybernetik Zielursachen bedient, unterscheidet sie sich drastisch in ihrem Kausalitäts-Verständnis von der klassischen Physik.

Rückkopplung

In der Kybernetik definiert man das Ziel, nicht den Weg. Das System steuert sich dann selbst. Diese Selbstregulation kann allerdings nur erfolgen, wenn dem System Informationen über den eigenen Zustand zur Verfügung stehen. Die ist das Prinzip der Rückkopplung.

Rückkopplung kombiniert finale und effiziente Kausalität

Dabei werden effiziente und finale Kausalität kombiniert. Das Ziel ist klar, nun müssen Teilschritte erbracht werden, um es zu erreichen. Eine Überprüfung der Informationen über das Zwischenziels (Istwert) mit den Sollwerten führt zu einer schleifenartigen Kopplung des Systems mit sich selbst. Dieser Prozess findet erst ein Ende, wenn das Ergebnis stimmt - was aufgrund äußerer Störungen jedoch nur selten der Fall ist. Die Rückkopplung übernimmt in kybernetischen Systeme die Rolle, welche die Wahrnehmung in organischen innehat. Die Kybernetik geht davon aus, dass dynamische Stabilität auf zirkulärer Kausalität beruht.

3.5 Kybernetische Systeme versus offene Systeme

Während die Kybernetik auf Rückkopplungsmechanismen und Informationsverarbeitung beruht, sieht sich die Theorie offener Systeme als eine Verallgemeinerung der Thermodynamik. Information spielt bei offenen Systeme nur eine ganz untergeordnete Rolle. Organsisierte Komplexität stellt sich hier in Form von Fließgleichgewichten ein. Kybernetische Systeme sind hingegen oft thermodynamisch geschlossen. Um in einen Zustand höherer Ordnung zu gelangen, scheint bei kybernetischen Systemen die Informatioszufuhr von außen, oder zumindest interner Informatonsabgleich, notwendig zu sein.

Kybernetik betrachtet den Prozess, Systemtheorie die Struktur

Ein Organimus als kybernetisches System erinnert dann stark an einen elektrischen Schaltplan oder eine chemische Fabrik. Von Bertalanffy vergleicht den Unterschied zwischen Kybernetik und der Theorie offener Systeme selbst mit dem antiken Antonym *Prozess* und *Struktur*. Beide Disziplinen versuchen die Organsisation zu verstehen, die sich in Systemen ausbildet. Dabei konzentriert sich die Systemtheorie mehr auf Struktur, während die Kybernetik eher versucht, die Funktionsmechanismen aus einer Informationsperspektive zu hinterfragen.

Unterschiede weichen auf

Schon schwerer ist es, zwischen der Allgemeinen Systemtheorie und der Kybernetik zu unterscheiden. Ob sich nun jemand Kybernetiker oder Systemtheoretiker nennt, hängt hier auch mit dem kulturellen Hintergrund zusammen. In den Vereinigten Staaten dominiert die Kybernetik, in Europa die Systemtheorie. Man sollte jedoch einräumen, dass sich beide Disziplinen aufeinander zu entwickeln. Die Unterschiede weichen auf.

Doch während Systemtheoretiker die Kybernetik als Teil ihrer Disziplin auffassen, tun es die Kybernetiker ebenso. Rupert Riedl fasst es so:

> Systemtheorie und Kybernetik waren eine Art geistesgeschichtlicher Zwillingsgeburt; aber Ludwig von Bertalanffy und Norbert Wiener waren in diesem Sinne keine eineiigen Zwillinge.
>
> *Ruper Riedel in: Kratsky und Bonet (Hrsg.), Systemtheorie und Reduktionismus, Seite 50*

3.6 Kybernetik versus Mackscher Systemtheorie

"Objektorientierte" Systemsimulation

In vielen Bereichen erscheint die Kybernetik sehr differentialglelichungslastig. Weniger die Objekte, die das System ausmachen. stehen im hier im Mittelpunkt, sondern Konzentration und Mittelwerte. Dies hängt sicherlich eng zusammen mit der beschränkten Rechenleistung in den Tagen der Kybernetik. Doch mittlerweile ist die Computertechnik so weit fortgeschritten, dass Systeme "objektorientert" simuliert werden können - aufgrund des individuellen Verhaltens der Konstituenten und nicht mit Hilfe gemittelter Eigenschaften.

keine Lokalität

Das Konzept der Lokalität findet in der Kybernetik keinen Eingang. Wie im Vergleich zur Allgemeinen Systemtheorie gezeigt wurde, geht es der Kybernetik eher um den Prozess als um die Struktur.

Kapitel 4

Theorie autopoietischer Systeme (Maturana, Varela)

4.1

Der Begriff der Autopoiese.

Alles Leben ist autopoietisch organisiert

Als der chilenische Biologie Humberto R. Maturana in den 1960er Jahren versuchte, Kognition aus einer biologischen Perspektive zu verstehen, wurde ihm klar, dass er zunächst eine Definition von Leben in Organismen geben müsse. Zusammen mit seinem früheren Studenten Fransisco J. Varela entwickelte er daraufhin das Konzept der Autopoiese. Nach ihrer Auffassung ist jedes physikalische System, welches Autopoiese zeigt, lebendig. Es handelt sich bei dieser Definition um einen mechanistischen Ansatz, der keine Lebenskraft voraussetzt, sondern auf den physikalischen Gesetzmäßigkeiten aufbaut. Die beiden Chilenen führen Leben auch nicht auf ein teleologisches Lebensprinzip zurück und unterscheiden sich hierbei drastisch von kybernetischen Ansätzen. Ebensowenig verstehen sie unter Leben eine Klasse von Eigenschaften wie Reproduktion, Bewegung, Evolution usw., so wie sie noch in vielen Lehrbüchern der Biologie zu finden ist.

Autopoiese = Selbsterhaltung

Bei der Autopoiese handelt es sich um ein Kunstwort aus *autos* (selbst) und *poisis* (machen, erhalten, herstellen). Es geht auf Maturana zurück und heißt so viel wie Selbstmachung oder Selbsterhaltung

> Eine autopoietische Maschine ist eine Maschine, die als Netzwerk von Prozessen der Produktion (Transformation und Destruktion) von Bestandteilen organisiert (als Einheit definiert) ist, das die Bestandteile erzeugt, welche
>
> 1. aufgrund ihrer Interaktionen und Transformationen kontinuierlich eben dieses Netzwerk an Prozessen (Relation), das sie erzeugte, neu generieren und verwirklichen, und die
> 2. dieses Netzwerk (die Maschine) als eine konkrete Einheit in dem Raum, in dem diese Bestandteile existieren, konstituieren, indem sie den topologischen Bereich seiner Verwirklichung als Netzwerk bestimmen.
>
> *Maturana/Varela: Autopoietische Systeme - eine Bestimmung der lebendigen Organisationen, in: Maturana, Erkennen, S. 184*

Autopoietische Systeme stellen ihre Bestandteile selbst her

Autopoietische Systeme sind also lebende Gebilde, die ihre Bestandteile selbst herstellen und sich damit erhalten. Bei nicht-lebenden (allopoietischen) Systemen wie zum Beispiel einem Motor müssen bei Defekt Teile von außen ausgetauscht werden.

Das prominenteste Beispiel für ein lebendes, autopoietisches System ist eine biologische Zelle: Sie produziert im Prozess des Anabolismus ihre eigenen Bestandteile - darunter Proteine, Nukleinsäuren, Glukoside. Diese Bestandteile wechselwirken derart miteinander, dass sie in einem zirkulären Prozess zur Herstellung von Bauteilen desselben Typs beitragen. Dabei grenzt sich die Zelle zwar von ihrer Umwelt durch eine Membran ab. Zur Aufrechterhaltung der Selbsterhaltung ist jedoch ein Austausch mit der Umwelt unumgänglich. Doch es drängt sich hier nicht die Umwelt auf. Vielmehr gehört die Steuerung der Membrandurchlässigkeit zur autopoietischen Organisation der Zelle. Nicht die Umwelt steuert, was in die Zelle gelangt, sondern die Zelle entscheidet, was sie braucht.

Autopoietische Systeme sind operational geschlossen

Maturana und Varela sprechen davon, dass autopoietische Systeme operational geschlossen sind. Mathematiker würden von rekursiven Operationen sprechen. Die Geschlossenheit schließt allerdings keine Offenheit im thermodynamischen Sinn aus. Sie bietet durchaus die Möglichkeit dazu. Dieser Gedanke wird noch einmal aufgegriffen werden, wenn es um die operationale Abgeschlossenheit von psychischen Systemen geht. Aufgrund ihrer Geschlossenheit sind lebende Systeme autonom, aufgrund ihrer thermodynamischen Offenheit jedoch nicht autark.

Reproduktion

Reproduktion gehört nicht zur Organisation eines autopoietischen Systems.

Es ist wichtig, Autopoiese von Reproduktion zu unterscheiden. Heinz von Foerster fasste das während eines Vortrage einmal wie folgt zusammen: "Wir alle sind in diesem Moment höchst lebendig, aber niemand reproduziert sich jetzt gerade." Reproduktion ist für Maturana und Varela eine Begleiterscheinung des Lebens, die ihm Entwicklung ermöglicht. Es handelt sich dabei aber um keine notwendige Bedingung. Denn damit sich etwas reproduzieren kann, muss es bereits vorher als (autopoietische) Einheit konstituiert sein. Es muss also eine Organisation besitzen. Und damit kann Reproduktion nicht Bestandteil dieser Organisation sein.

Erweiterung des Autopoiesebegriffs

In den späten 1970er Jahren erweitere Varela das Konzept der Autopoiese auf das der Autonomie. Die Theorie autopoietischer Systeme wurde damit zum Teil der Theorie autonomer Systeme:

> [Autonomous systems are] defined as a composite unity by a network of interactions of components that
>
> 1. through their interactions recursively regenerate the network of interactions that produced them, and
> 2. realize the network as a unity in the space in which the components exist by constituting and specifying the unity's boundaries as a cleavage from the background...
>
> *Varela: Autonomy and autopoiesis, in: Roth, Gerhard, and Helmut Schwegler (eds.) Self-organizing Systems: An Interdisciplinary Approach, Frankfurt/New York: Campus Verlag, 1981, pp. 14-23.*

Niklas Luhmann (siehe Kapitel 6) weitete den Autopoiesebegriff auf soziale Systeme aus: Durch Volontariatsausbildungen schaffen Medienbetriebe in ihrem System ihren eigenen Nachwuchs. Genauso funktioniert es im Wissenschaftssystem. Und in der Wirtschaft gründen Firmen Firmen.
Neben der Soziologie findet die Theorie autopoietischer Systeme mittlerweile auch im Softwaredesign, in der künstlichen Intelligenz und der Psychotherapie Anwendung.

4.2

Organisation und Struktur.

Während ein elementares Objekt nur Eigenschaften besitzt, bilden zusammengesetzte Objekte Organisation und Struktur aus:

- Den Kern der Beziehungen der Systembestandteile untereinander nennen Maturana und Varela die Organisation des Systems. Die Organisation bleibt auch bei der zeitlichen Entwicklung des autopoietischen Systems (bis zu seinem Tod) erhalten.

  Organisation gibt einem System Identität

  > The relations that define a machine as a unity, and determine the dynamics of interactions and transformations which it may undergo as such a unity, constitute the organization of the machine.
  > *Maturana/Varela in: Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living, D. Reidel Publishing Co., 1980.*

  Lebende Systeme zeichnen sich durch eine autopoietische Organisation aus.Zur *Ontogenese* eines Lebewesens ist die Geschichte des strukturellen Wandels zusammengefasst.

  Maturana und Varela geben folgende Beispiele für Organisationen (Baum der Erkenntnis): den Organismus (autopoietische Organisation), die Kolonie und die Gesellschaft.

- Die Organisation legt ein System jedoch noch nicht eindeutig fest. Instanzen von Organisation nennt man Struktur. Die Strukur eines System kann sich ändern, ohne dass das System seine Identität verliert.

  Struktur als Instanz von Organisation

  > [...]in a toilet the organization of the system of water-level regulation consists in the relations between an apparatus capable of detecting the water level and another apparatus capable of stopping the inflow of water. The toilet unit embodies a mixed system of plastic and metal comprising a float and a bypass valve. This specific structure, however, could be modified by replacing the plastic with wood, without changing the fact that there would still be a toilet organization.
  > *Maturana/Varela in: Tree of Knowledge, New Science Press, 1987*

Autopoietische Systeme sind autonom, jedoch nicht autark

Es liegt eine gewisse strukturelle Plastizität vor, die Douglas Hofstadter im anderen Kontext[1] als Fluidität bezeichnet. Die Struktur eines solchen Systems

[1] Douglas R. Hofstadter: Die Fargonauten - über Analogie und Kreativität, Klett-Cotta Stuttgart, 1996

legt die möglichen Strukturveränderungen fest. Ein autopoietisches System unterliegt ständigem strukturellem Wandel. Ein autopoietisches System ist operational geschlossen oder autonom. Dies setzt thermodynamische Offenheit voraus, es ist also nicht autark. Aufgrund ihrer operationalen Geschlossenheit beziehen sich autopoietische Systeme ausschließlich auf sich selbst.

Strukturdeterminiertheit

Mit der Aussage, dass autopoietische Systeme strukturdeterminiert sind, wollten Maturana und Varela zum Ausdruck bringen, dass Dynamik in einem System von seiner Struktur bestimmt ist und nicht von seiner Umwelt. Damit wird der Begriff der Autonomie gefestigt.
Äußere Reize können interne strukturelle Transformation auslösen, sie bestimmen sie jedoch nicht.

4.3 Macksche Systemtheorie und Autopoiese

Wenn man die Theorie autopoietischer Systeme mit der Mackschen Theorie komplexer Systeme vergleicht, kommt man an der Strukturdeterminiertheit nicht vorbei. Die enzymatische Dynamik ist ausschließlich strukturdeterminiert.

Kapitel 5

Theorie erkennender Systeme (Konstruktivismus)

Die Vertreter: Gregor Bateson (Anthropologe), Ernst von Glasersfeld (Psychologe und Mathematiker), Heinz von Foerster (Kybernetiker, Physiker und Philosoph), Jean Piaget (Psychologe), Paul Watzlawick (Kommunikationsforscher), Humberto Maturana (Biologe), Francisco Varela (Biologe)

Biographische Notiz:
Heinz von Foerster, geboren am 13. November 1911 in Wien, hineingeboren in eine Welt voller Persönlichkeiten: Sein Onkel war Ludwig Wittgenstein, sein Urgroßvater machte sich als Städteplaner in Wien verdient, indem er die Befestigungsanlage durch die repräsentative Ringstraße ersetzte, seine Großmutter gründete die erste Zeitschrift in Europa, deren erklärtes Ziel die Befreiung der Frau war. Von Foerster bezeichnet sich als schlechten Schüler - nur in den Naturwissenschaften und der Mathematik nicht. Also began er nach der Matura das Physikstudium.
Als Hitler 1938 in Österreich einmarschiert, flieht von Foerster nach Berlin. Dort ist nicht bekannt, dass seine Familie teilweise jüdisch ist und dort widmet er sich der Grundlagenfoschung in der Plasmaphysik: “Das war ja auch der Zweck des Ganzen: das Ziel so weit zu stecken, dass Hitler es nicht erreichen konnte.” 1939 heiratet von Foerster. Nach dem Bombardement Berlins zieht er nach Schlesien. Nach Verirrungen wieder in Berlin, in Heidelberg und Wien kommt er 1949 in New York an. Dort begann seine Karriere als Kybnernetiker und treibende Kraft des Konstruktivismus.

5.1 Gegen den Objektivismus.

Anforderungskatalog Wirklichkeit.

Es gibt jede Menge Punkte, die wir uns von der Wirklichkeit erfüllt wünschen:

1. Sie soll existieren.
2. Wir sollen in der Lage sein, sie erkennen zu können.
3. Sie soll nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten funktionieren und
4. Wir wollen Gewissheit drüber, dass es wahr ist, was wir über sie herausgefunden haben.

Es gibt keine Objektivität

Der radikale Konstruktivismus stellt diese Wünsche in Frage. Seine Anhänger verneinen die Existenz von Objektivität, welche die wissenschaftliche Methode liefern soll. Das Beobachtete ist nicht unabhängig vom Beobachter.

Beobachter und Beobachtetes hängen zusammen

In der Speziellen Relativitätstheorie ist die Erfahrung von Raum und Zeit abhängig vom Bewegungszustand des Beobachters. Und die Heisenbergsche Unschärferelation zeigt, dass Beobachtung (= Messung) immer das beobachtete Systeme stört (= verändert), ja der Begriff der Messung geht ganz fundamental in die Quantentheorie ein. Der radikale Konstruktivismus setzt Beobchter und Beobachtetes noch drastischer in Relation, indem er behauptet, dass wir Wirklichkeit nicht entdecken, sondern erfinden oder eben konstruieren. Das englische Wort *fact*, aber auch in der deutschen Tatsache steckt bereits ein Einsicht, dass Daten und Erkenntnis gemacht beziehungsweise getan werden.

Objektivismus

Objektivismus: Es gibt reale Objekte mit Eigenschaften unabhängig der Beobachtung

Objektivisten gehen davon aus, dass es Wissen über ein Objekt gibt und dass dieses Wissen unabhängig von der Beobachtung existiert. Das Objekt ist Teil der Wirklichkeit, seine Eigenschaften können mit den entsprechenden Methoden herausgearbeitet werden. Dieses Vorgehen wir jedoch von einem gewaltigen Zweifel überschattet: Es gibt keine Möglichkeit, die Existenz von Realität zu beweisen.

Wissenschaftliche Methode definiert Objektivität

Wissenschaftliche gehen daher meist axiomatisch davon aus, dass es Wirklichkeit gibt, die objektiv erfahrbar ist. Die wissenschaftliche Methode versucht durch eine Formalisierung ihrer Herangehensweise, einen Begriff der *Objektivität* oder zumindest *Intersubjektivität* zu fassen. Es ist jedoch allgemein akzeptiert, dass die Wissenschaft nicht mit realen Dingen arbeitet, sondern mit deren geistig/sprachlichen Darstellungen. Das Wort "Stuhl" hat nichts Stuhlartiges. Um diese Symbole benutzen zu können, lernen Menschen in einem Sozialisierungprozess von denselben Dingen zu sprechen.

Der Beobachter hat in der wissenschaftlichen Methode keinen Platz

Wissenschaft beruht auf Empirismus: Alles Wissen muss sich aus Daten herleiten lassen, die mit Hilfe der Sinne wahrgenommen wurden. (Subjektive) Voreingenommenheit des Beobachters soll dadurch ausgeschlossen werden, dass man den Beobachter ausschließt. Die Reproduzierbarkeit ist deshalb ein wesentlicher Eckpfeiler der wissenschaftlichen Methode. Jeder soll ein Experiment wiederholen können. Die persönliche Erkenntnis wird dann zur allgemeinen Entdeckung, die unabhängig vom Beobachter ist. Objektivität ist keine Eigenschaft der Erkenntnis eines Einzelnen, sondern die der Gemeinschaft.

Objektivität ist eine Eigenschaft der Gemeinschaft

Doch dies ist eine Pseudo-Objektivität. Der Beobachter wurde nicht entfernt: Der Einzelne wurde lediglich durch die Gemeinschaft aller Beobachter ersetzt.

5.2 Die biologische Grundlage: Neurologische Geschlossenheit

Das Nervensystem ist operational geschlossen

Für Maturana, Varela und Foerster ist das Nervensystem operational geschlossen und rückgekoppelt.

Der biologische Sehapparat ist keine Fotokamera

Diese Überlegungen basieren auf Experimente von Maturana und Varela zur Farbwahrnehmung von Tauben. Dabei zeigte sich, dass es keine eindeutige Korrelation (sprich: Kausalität) gibt zwischen den physikalischen Eigenschaften des Lichts und der Aktivität der Ganglienzellen, die sich direkt hinter der Netzhaut befinden. Das Verhalten der unterschiedlichen Neuronen ist korreliert, aber nicht das zwischen Lichtquelle und Nervensystem. Das Nervensystem ist daher keine Fotokamera, die Bilder von der Umwelt knipst. Der Schluss von Maturana und Varela: Das Nervensystem ist geschlossen, es ist ein selbstbezügliches Netzwerk interagierender Neuronen. Die Ergebnisse, die in der Tierwelt gefunden wurden, konnten experimentell auch beim menschlichen Nervensystem bestätigt werden: Es ist geschlossen, rekursiv, selbstreferentiell und hat keinen direkten Zugang zu seiner Umwelt.

Das Nervensystem kann durch äußere Reize irritiert werden

Die operationale Geschlossenheit bedeutet nun nicht, dass das System thermodynamisch geschlossen ist. Hier sei an autopoietische Systeme erinnert. Vielmehr können Reize von außen das System irritieren. Es kann, muss aber nicht, für diese Reize offen sein: Zwar regisitrieren wir die Geschehnisse in unserem Gesichtsfeld, wird nehmen sie jedoch nicht unbedingt wahr. Erst wenn wir wollen, erkennen wir in der Person am Straßenrand das Kind. Beim Nervensystem handelt es sich also um keine signalverarbeitende Maschine, wie sie in der Informatik auftreten. Im konstruktivistischen Verständnis fertigt das Nervensystem kein Bild der Umwelt an, sondern konstruiert durch sein Verhalten ein eigenes Bild der Welt.

Kein klassisches Kausalverständnis

Ein autopoietisches System steht mit seiner Umwelt in keinem klassichen Kausalverhältnis. Auf der Ebene des neurologischen Systems gibt es keinen kausalen Zusammenhang zwischen der physikalischen Umwelt des Menschen und den Signalen, die von den Sinnesorganen weitergeleitet werden. Dies geschieht zunächst völlig undifferenziert: Sehen, Hören und Schmecken werden in derselben Sprache (der Folge elektrischer Impulse) codiert. Erst im Gehirn werden die Signale zu den unterschiedlichen Sinnesempfindungen. Diese Einsichten haben extreme Auswirkungen auf jede Erkenntnis- und Wahrnehumungstheorie:

> Wahrnehmung kann [...] nicht als adäquate Widerspiegelung der äußeren Welt verstanden werden, vielmehr meint Wahrnehmung die systeminterne Konstruktion einer systemexternen Welt.
> *Kneer und Nahessi: Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme*

Das Nervensystem ist nicht autopoietsch.

Nervensysteme stellen ihre Elemente nicht selbst her

An dieser Stelle sei bemerkt, dass das menschliche Nervensystem für Maturana und Varela kein autopoietisches System darstellt. Es arbeitet zwar selbstreferentiell, stellt aber nicht seine eigenen Komponenten her - weder Nervenzellen noch elektrische Impulse gehen auf Nervenzellen oder elektrische Impulse zurück. Die beiden Forscher haben sich sogar explizit dagegen ausgesprochen, die Autopoiese auf soziale Zusammenhänge anzuwenden, die aus Menschen bestehen. Soziale Systeme bestehen für sie zwar aus autopoietischen Systemen, den Menschen, sie selbst sind aber nicht autopoietisch. Autopoiese bleibt für sie ein Begriff, der nur auf lebende Systeme im klassischen Sinne zutrifft.

Kapitel 6

Theorie sozialer Systeme (Luhmann)

Biographische Notiz:
Niklas Luhmann, geboren 1927 in Lüneburg, studiert ab 1946 Rechtswissenschaften. Nach dem abgeschlossen Studium arbeitet er zunächst als Verwaltungsbeamter am Oberverwaltungsgericht in Lüneburg und wechselt 1955 als Landtagsreferent ins niedersächsische Kultusministerium. 1960/61 ist Luhmann in Harvard, wo er sich mit der Systemtheorie Talcott Parsons auseinandersetzt. 1964 erscheint sein erstes Buch *Funktionen und Folgen formaler Organisation*. 1966 promoviert und habilitiert Luhmann an der Universität Münster. Bekannt wurde Luhmann in den späten 1960er und frühen 1970er Jahren durch eine öffentlich ausgetragene Kontroverse mit dem Frankfurter Sozialphilosophen Jürgen Habermas. 1984 erscheint Luhmanns Hauptwerk *Soziale Systeme*, in dem er den Paradigmawechsel zur Theorie autopoietischer sozialer Systeme begründet. Danach wendet er die Theorie auf Subsysteme der Gesellschaft an, darunter: Recht, Religion, Politik, Wirtschaft, Wissenschaft usw. 1993 wird er eremetiert. Luhmann stirbt am 6. November 1998.

6.1 Luhmanns Werk.

Theorie mit fachuniversaler Tragweite

Luhmann war einer der produktivsten, aber auch umstrittensten Theoretiker der deutschen und internationalen Sozialwissenschaft. Er suchte nach einer Theorie von fachuniversaler Tragweite. Luhmann hatte den Anspruch, den gesamten Gegenstandsbereich der Soziologie mit Hilfe der Begriffe seiner Theorie sozialer Systeme beschreibbar zu machen. Und dieser Gegenstandsbereich ist groß. In ihrer Weite sieht Luhmann selbst den Grund, sich für Soziologie zu entscheiden. Als er 1968 an die neu gegründete Universität von Bielefeld berufen wird, war zunächst noch offen, welcher Disziplin sich Luhmann zuordnet.

> An einem Lehrstuhl für Soziologie war ich deshalb besonders interessiert, weil man als Soziologe alles machen kann, ohne auf einen bestimmten Themenbereich festgelegt zu sein.
> *Luhmann: Archimedes und wir, Seite 141*

> Von der Soziologie aus konnte man sich ja mit allen möglichen sozialen Themen beschäftigen, wenn man immer nur sagte, Soziologie des Rechts, Soziologie, der Organisation, Soziologie des Wissens, Soziologie der Religion usw.
> *Luhmann: Universität als Mileu, Seite 101*

Luhmann ist schwer verständlich

Luhmanns Schreibstil ist gewiss nicht einfach. Manchne mögen ihn als inakzeptabel bezeichnen. Seine Texte sind weit von der Alltagssprache entfernt. Erschwerend kommt hinzu, dass er immer wieder Definitionen von Begriffen der Alltagssprache einführt, die der intuitiven Bedeutung oft zuwiderlaufen. Die Fachwelt schwankt zwischen unverhohlener Bewunderung und starker Skepsis für den vollkommen andersartigen Zugang zu sozialen Phänomenen.

Luhmanns Verhältnis zu seiner Disziplin

Luhmann kritisiert soziologische Empirie und Theorie

Ganz so wie in der Physik ist auch die Soziologie in die beiden Bereiche *Empirie* und *Theorie* unterteilt. Doch die sozialwissenschaftliche Theorie kam die empirischen Forschungsarbeiten nicht hinterher. Im länger werdende Datenkolonnen wurden produziert - so der Einwand Luhmanns -, ohne dass man sich darum gekümmert hat, diese Daten in einen theoretischen Rahmen einzuordnen. Luhmann kritisiert, dass sich die empirische Sozialwissenschaft viel zu sehr um Methode und zu wenig um Theorie kümmert. Aber auch mit der eigenen theoretischen Kaste geht er hart zu Gericht:

> Die Aufgabe ist dann schon vorhandene Texte zu sezieren, zu exegieren, zu rekombinieren. Was man sich selbst zu schaffen nicht zutraut, wird als schon vorhanden vorausgesetzt.
> *Luhmann: Soziale Systeme, Seite 8*

6.2

Phase I - Komplexitätsreduktion

Talcott Parsons strukturell-funktionale Systemtheorie

Es gab auch schon vor Luhmann Versuche, soziale Zusammenhänge mit Hilfe der Allgemeinen Systemtheorie zu beschreiben. Besonders erwähnenswert ist hier die Arbeit des Soziologen Talcott Parson, Luhmanns Lehrer an der Harvard University. Auf dessen strukturell-funktionale Systemtheorie baute Luhmann in den sechziger Jahren seine ersten Ideen auf - wenn er auch nicht bereit war, alle Annahmen und Konzepte von Parson zu übernehmen.

Luhmanns funktional-strukturelle Systemtheorie

In seiner funktional-strukturellen (!) Systemtheorie versteht Luhmann unter einem sozialen System den Zusammenhang von aufeinander verweisenden Handlungen. Während sich bei Person sozial handelnde Personen freiwillig zu sozialen Systemen zusammenfinden, welche in ihrer Struktur durch Norm- und Wertmuster ausgezeichnet sind, geht es Luhmann um die Reduktion von Komplexität.

Soziale Systeme haben die Funktion, Komplexität zu reduzieren

Luhmann versteht unter der Komplexität die Gesamtheit der möglichen Ereignisse. Wir Menschen sind nicht in der Lage, die gesamte Komplexität der Welt zu begreifen. Für Luhmann in seiner ersten Phase ist es gerade die zentrale Funktion von sozialen Systemen, die Komplexität der Welt zu reduzieren und dadurch zwischen der Welt und den Menschen zu vermitteln. Dies geschieht, indem Möglichkeiten ausgeschlossen werden. Nur sehr wenig von dem, was in der Welt möglich ist, wird in einem sozialen System auch zugelassen, das meiste bleibt ausgeschlossen. In sozialen Systemen herrschen Regeln vor, nach denen sich beteiligte Personen richten. Im Bus wird kein Lagerfeuer gemacht. In der Zahnarztpraxis nicht gekocht. Wenn man auf eine Amtsstube geht, kann man ausschließen, dass einem die Reifen gewechselt werden. Luhmann fasst dies in Soziologische Aufklärung (Band 1, Seite 116) wie folgt: Systeme bilden "Inseln geringerer Komplexität. Die Umwelt ist stets komplexer als das System.

Nur komplexe Systeme können Komplexität reduzieren

Um die Komplexität der Welt zu reduzieren, müssen soziale Systeme Eigenkomplexität ausbilden. Denn das System muss in der Lage sein, auf geänderte

Umweltbedingungen zu reagieren. Je komplexer es ist, umso mehr Möglichkeit stehen ihm zur Verfügung, auf wechselnde Umweltanforderungen angemessen zu reagieren. Auch kann es einen umso größeren Teil der Weltkomplexität erfassen, je mehr interne Zustände ihm zur Verfügung stehen, das heißt, je komplexer es ist.

Drei Typen von Systemen

Interaktionssysteme

1. Interaktionssysteme kommen dadurch zustande, dass Anwesende handeln. Ein solches Interaktionssystem ist ein Seminar, in dem ein Vortrag stattfindet. Der Redner interagiert mit den Zuhörer. Diese wechselwirken auch untereinander. Nach dem Vortrag löst sich das System wieder auf.

Organisationssystem

2. Den zweiten Typ von Handlungssystem bilden Organisationssysteme - bei ihnen ist die Mitgliedschaft an bestimmte Bedingungen geknüpft. Die Universität ist ein solches Organisationssystem. Professoren, Studenten, wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Mitarbeiter bilden die einzelnen Mitgliedschaftsgruppen. Die Universität legt nun spezielle Handlungsabläufe fest, so dass das soziale Handlungen für die Personen in und außerhalb des System durchschaubarer/berechenbarer werden.

Gesellschaftssystemen

3. Unter Gesellschaftssystemen versteht Luhmann die Gesamtheit aller Interaktions- und Organisationssystemen. Die Gesellschaft ist aber kein Interaktionssystem, da sie in disjunkte Unter-Interaktionssysteme zerfällt. Es handelt sich aber auch um kein Organisationssystem, weil man in die Gesellschaft nicht ein- oder aus ihr austreten kann. Damit bildet die Gesellschaft einen eigenen Typ.

Diese Systemtheorie erklärt soziale Systeme mit Hilfe von Komplexitätsreduktion, indem sie selbst Komplexität reduziert. Ein selbstbezüglicher Prozess, der für eine Theorie mit fachuniversalem Anspruch Voraussetzung ist. Denn die Theorie muss sich dann auch selbst erklären.

6.3 Phase II - die Autopoiese

Luhmann erweitert den Begriff der Autopoiese

Mit Luhmanns Hauptwerk *Soziale Systeme* beginnt 1984 die zweite Phase seiner Theoriebildung. Darin greift er das Konzept der Autopoiese auf:

> Der Begriff der Autopoiesis ist zur Definition des Begriffs des Lebens eingeführt worden und wird weithin auch in dieser Beschränkung benutzt. Es wird jedoch zweckmäßig sein, den Begriff weiter zu abstrahieren.
>
> *Luhmann: Die Autopoiesis des Bewusstseins, in: Soziale Welt 36, 1985*

biologische, neuronale, psychische und soziale Systeme

Nach Luhmanns Generalisierung des Autopoiese-Begriffs sind biologische, neuronale, psychische und soziale Systeme autopoietisch organisiert. Dabei sieht Luhmann in der Gesellschaft jedoch keinen biologischen Riesen, sondern hebt hervor, dass Organismen, Bewusstseinssysteme und soziale Systeme

> ihre je eigene Weise der Autopoiesis auf verschiede Weise zustande bringen *Luhmann: Die Autopoiese des Bewusstseins, S. 403*

Auch bei Luhmann wird operationale Geschlossenheit nicht als Gegensatz, sondern als Bedingungen für thermodynamische Offenheit verstanden.

Beispiel 1: Autopoiese in psychischen Systemen.

Die Elemente in psychischen Systemen sind Gedanken bzw. Vorstellungen. Gedanken sind von sehr kurzer Existenz. Sie zerfallen sofort, wenn sie erst einmal entstanden sind. Das Bewusstsein hat also ständig mit dem Zerfall seiner Elemente zu kämpfen. Dennoch gehen aus Gedanken andere Gedanken hervor. Für Luhmann handelt es sich hier um Autopoiese. Ganz wie im Falle der Zelle entsteht hier jedoch nichts aus dem Nichts. Jedes Bewusstseinssystem ist auf Umweltbeiträge angewiesen. Das System muss offen sein, kann diese Offenheit jedoch steuern.

Gedanken erzeugen Gedanken

Für Luhmann erwächst das Bewusstseinsystem aus dem neuronalen System Gehirn als emergente Ordnungsebene. Die beiden Systeme überschneiden sich nicht, sind aber *strukturell gekoppelt*. Sie sind aufeinander angewiesen, bleiben jedoch füreinander Umwelt: Das Gehirn ist Umwelt des Bewusstseins und umgekehrt. Aus der Gehirnaktivität kann man nicht auf die Gedanken schließen und eine Vorstellung verrät nicht die an ihrer Entstehung beteiligten Neuronen.

Neuronales und psychisches System sind strukturell gekoppelt

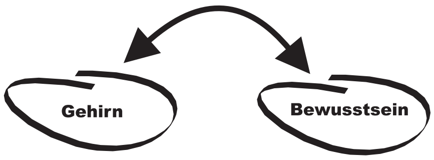

Abbildung 6.1:
Gehirn und Bewusstsein sind als Systeme strukturell gekoppelt. Jedes existiert in der Umwelt des anderen. Dennoch bedingen sie sich.

Beispiel 2: Autopoiese in sozialen Systemen.

In sozialen Systemen sieht Luhmann in der zweiten Phase seiner Theorienbildung die Kommunikation als das grundlegende Element. Hier bricht er nicht nur mit der intuitiven Auffassung, sondern auch mit der gesamten philosophischen und soziologischen Tradition. Denn normalerweise geht man davon aus, dass des kleinste Element eines sozialen Systems der Mensch ist. Das heißt nicht, dass Luhmann hier eine Soziologie schafft , die ohne den Menschen auskommt. Der Mensch befindet sich in der Umwelt der sozialen Systeme und spielt dort ein wesentliche Rolle. Dennoch sieht Luhmann in nicht als Urheber von Kommunikation:

Soziale Systeme bestehen aus Kommunikation

> Der Mensch kann nicht kommunizieren. Nur Kommunikation kann kommunizieren. *Luhmann: Die Wissenschaft der Gesellschaft, Seite 31*

Für Luhmann sind Menschen noch nicht einmal Systeme. Für uns ist ein Mensch einen Zusammenstellung aus einer Vielzahl von Systeme: zum Beispiel organischer, neuronaler und psychischer Art. Diese einzelnen (autopoietischen) Systeme sind jedoch operational geschlossen. Bewusstsein und Gehirn sind zwar strukturell gekoppelt, als Systeme jedoch überschneidungsfrei. Im Menschen fließen unterschiedliche Wesenheiten zusammen, die es vereiteln, ihn als autopoietische Einheit zu definieren.

Der Mensch ist keine autopoietische Einheit?

Doch warum kann ein Mensch nicht kommunizieren? Dies liegt an der Tatsache, dass die Bewusstseinsysteme zweier Menschen operational geschlossen sind und aus diesem Grund nicht in Kontakt miteinander treten können. Wir können nicht wissen, was der andere denkt, wir können es lediglich konstruieren, dem

Gedanken können nicht das psychische System verlassen anderen unterstellen, dass er einen bestimmten Gedanken hat. Kommunikation geschieht also in keinem der Systeme, die den Menschen ausmachen. Psychische Systeme sind an Kommunikation beteiligt, sie bringen sie aber nicht ursächliche hervor. Kommunikation ist ein emergenter Prozess, der entsteht, wenn sich soziale Systeme bilden. Für Luhmann ist dieser Prozess autopoietisch. Denn Kommunikation knüpft an Kommunikation an. Soziale und psychische Systeme sind strukturell gekoppelt, so wie das psychische und neuronale System (Gehirn) eines Menschen gekoppelt sind. Damit schließen sich soziale und psychische Systeme jedoch auch aus.

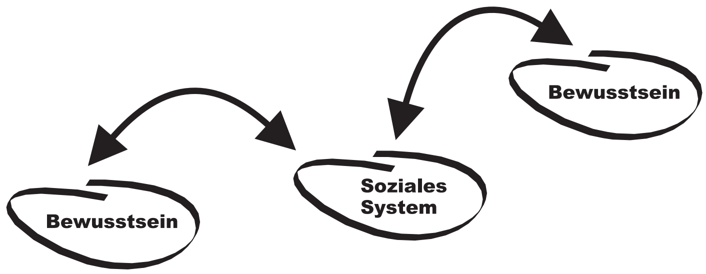

Abbildung 6.2:
Bewusstseinssysteme und ein soziales System, zu dessen direkter Umwelt sie gehören, sind strukturell gekoppelt.

Soziale Systeme kommunizieren, psychische denken

Ein soziales System kann nicht denken, es kann nur kommunizieren. Ein psychisches System kann nur denken und nicht kommunizieren. Dennoch bedingen sich die beiden Systeme durch ihre Kopplung: Keine Kommunikation ohne Bewußtsein und umgekehrt.

Luhmanns Kommunikationsverständnis

Luhmann versteht unter Kommunikation keinen Übertragungsprozess von Botschaft zwischen einem Sender und einem Empfänger. Psychische Systeme sind zwar die einzigen, die Kommunikation reizen können. Sie geht jedoch nicht von ihnen aus. Luhmann sieht in der Kommunikation einen dreiteiligen Selektionsprozess:

1. Information ist die Auswahl aus mehreren Möglichkeiten - ganz im Sinne der syntaktischen Informationstheorie.

2. Mitteilung wählt aus unterschiedlichen Kommunikationsformen aus (Flüstern, Schreien, Sprechen, Schreiben, Körpersprache).

3. Verstehen wählt eine Interpretation aus einer Vielzahl von möglichen aus.

Mindestens zwei psychische Systeme sind an Kommunikation beteiligt

Nur wenn alle diese drei Punkte erfüllt sind, nennt Luhmann den resultierenden Prozess Kommunikation. Dies bedeutet jedoch, dass zwei psychische Systeme an Kommunikation beteiligt sind. Dass sich Gedanken und Kommunikationen unterscheiden, ist Alltagserfahrung. Menschen sagen, was sie nicht denken. Und denken an andere Dinge, als von denen sie gerade sprechen.

Soziale Systeme reduzieren sich auf Handlungssysteme, um Autopoiese zu erleichtern

Kommunikation kann psychische oder biologische Systeme thematisieren. Es handelt sich dabei oft um Identifikationspunkte. Kommunikation nutzt diese dann, um die Erzeugung nachfolgender Kommunikation zu erleichtern. Dies führt oft dazu, dass sich Kommunikationssysteme selbst als mitteilende Handlungssysteme verstehen. Durch die Konstruktion von Personen, über die kommuniziert wird, entsteht der Eindruck, dass diese Personen kommunizieren (Beispiel: “Mir geht es heute ganz ausgezeichnet.”). Diese Reduktion erlaubt, das soziale Geschehen personenorientiert und nicht kommunikationsorientiert aufzufassen.

> Soziale Systeme reduzieren Kommunikation auf Mitteilung und rechnen diese dann als Handlung einzelnen Personen zu; auf diese Weise sichern sich soziale Systeme Identifikationspunkte, auf die sie sich im fortlaufenden Kommunikationsprozess beziehen können.
> *Kneer/Nassehi: Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme, Seite 89*

6.4

Sinn in der Luhmannschen Theorie

Wir haben bisher vier autopoietische Systemtypen kennengelernt. Da sind zu einen alle biologischen Systemen, an denen Maturana und Varela den Autopoiese-Begriff eingeführt haben. Darauf aufbauend erweiterte Luhmann den Begriff der Selbsterhaltung derart, dass er auch auf neuronale, psychische und soziale Systeme Anwendung findet.

Sinn bestimmt die Dynamik in sozialen Systemen

Im Alltag meint Sinn Zweck oder Bedeutung. Für Luhmann ist Sinn die ständige Neuarrangierung von Aktualität und Möglichkeit. In der Physik würde man es stochastische Dynamik nennen. Der aktuelle Zustand eines Systems wird mit der Zeit instabil und zerfällt. Ständig muss unter den Anschlussmöglichkeiten eine Neuauswahl getroffen werden, die im nächsten Schritt aktuell wird.

> Und Sinn haben heißt eben: dass eine der anschließbaren Möglichkeiten als Nachfolgeaktualität gewählt werden kann und gewählt werden muss, sobald das jeweilige Aktuelle verblasst, ausdünnt, seine Aktualität aus eigener Instabilität selbst aufgibt.
> *Luhmann in: Soziale Systeme, Seite 100*

Durch Sinn folgen bestimmte Gedanken wahrscheinlicher auf andere

Der Sinn bringt damit Sinn in die autopoietische Anreihung von Gedanken beziehungsweise Kommunikationen. Bestimmte Gedanken folgen mit größerer Wahrscheinlichkeit auf andere Gedanken. Diese liegt daran, dass Gedanken beispielsweise eine Intention besitzen. Wenn ich denke, dass ich unbedingt noch Brot kaufen muss, liegt der Gedanke nahe, ob ich es noch vor Ladenschluss schaffen werden usw. Ähnliche Beispiele gibt es auch im Falle der Kommunikation. Der Sinn übernimmt damit die Rolle der Komplexitätsreduktion in sozialen Systemen.

6.5

Differenzierung

Luhmann unterscheidet drei primäre Differenzierungsmuster:

segmentäre Differenzierung

1. Die *segmentäre Differenzierung* gliedert die Gesellschaft aufgrund gleicher Kristallisationspunkte der Systembildung wie Verwandtschaft und/oder räumliches Zusammenleben.

stratifikatorische Differenzierung

2. Die *stratifikatorische Differenzierung* gliedert die Gesellschaft in unterschiedliche Schichten - zumeist aufgrund von Landbesitz oder Priestertum.

funktionale Differenzierung

3. Schließlich zeichnet sich *funktionale Differenzierung* dadurch aus, dass sich die Gesellschaft in ungleiche Subsysteme aufspaltet, die sich jeweils über eine bestimmte Funktion definieren.

Luhmann sieht diese drei primären Muster auch in der historischen Entwicklung von archaischen (segmentären) über hochkulturelle (stratifikatorischen) bis hin zu den modernen (funktionalen) Gesellschaften im 18. Jahrhundert. Für Luhmann ist uns Gesellschaft funktional differenziert.

> wenn sie ihre wichtigsten Teilsysteme im Hinbick auf spezifische Probleme bildet, die dann in dem jeweils zuständigen Funktionensystem gelöst werden müssen.
> *Luhmann: Die Differenzierung von Politik und Wirtschaft und ihre gesellschaftliche Grundlagen, Soziologische Aufklärung 4, Opladen, S. 35.*

Ausdifferenzierung reduziert gesellschaftliche Komplexität

Ein soziales Untersystem ist damit über seine Funktion bestimmt, die nur von ihm und von keinem anderen Untersystem erfüllt wird. Zu den wichtigsten Subsystem der Gesellschaft gehören: Politik, Wirtschaft, Recht, Wissenschaft und die Publizistik. Die operationale Geschlossenheit, die funktionale Exklusion, wird von Parsons durch den Begriff der Inklusion ergänzt: Durch die hochgradige Spezialisierung benötigen die Subsysteme ein hohes Maß an Anregung von außen in Form von Energie und Information. Der Systemtheorie geht es um Komplexitätsreduktion, indem sie durch die Ausdifferenzierung gesellschaftlicher Subsysteme gesellschaftliche Komplexität reduziert.

Kapitel 7

Theorie der Selbstorganisation - Synergetik

Hermann Haken gründete 1969 während einer Vorlesungsreihe an der Universität Stuttgart die Synergetik, die Lehre vom Zusammenwirken, als neue Wissenschaft mit eigenem Paradigma.

Synergetik = Lehre vom Zusammenwirken

> Die Synergetik nimmt Strukturen nicht als gegeben hin, sondern möchte sie aus ihrem Entstehen verstehen.
> *Hermann Haken, Erfolgsgeheimnisse der Natur*

Die wissenschaftliche Frage, die dahintersteckt: Ist es trotz der Unzahl unterschiedlicher Strukturen möglich, einheitliche Grundgesetze aufzustellen, die das Entstehen von Strukturen erklären? Auch wenn dies bisweilen heißt, Atome mit Menschen zu vergleichen, Haken fand mit seinem Versklavungsprinzip einen Mechanismus, der in zahlreichen Systemen vorliegt und eine quantitative Beschreibung erlaubt.

Die drei Hauptbegriffe der Synergetik sind Selbstorganisation, Ordnungsparameter und Versklavung. Wir werden sie im Folgenden kurz umreißen:

- *Selbstorganisation*
  bewirkt, dass sich in Systemen Strukturen von alleine bilden, ohne dass von außen gestalterische Einwirkungen erfolgen. Wenn ein Lehrer in einer Schulklasse eine Selbstverwaltung in Form von Klassenkasse und Klassensprecher einführt, so geschieht dies von außen, also fremdorganisiert. Denn der Lehrer zählt zur Umwelt des Systems Klasse. Die ersten Monarchien und Demokratien entstanden jedoch von alleine, sie sind selbstorganisiert. Ein Schnellkristall ist selbstorganisiert, eine Marmorskulptur nicht.

  Selbstorganisation = Strukturen bilden sich von alleine

  Anmerkung: Unter Struktur verstehen Synergetiker hier nicht ausschließlich statische Gebilde. Auch dynamische Prozesse - wie zum Beispiel Bewegungsabläufe bei biologischen Lebewesen - können selbstorganisert sein.

- *Ordnungsparameter*
  sind Größen in einem System, welche dessen Ordnung beschreiben. Ein solcher Ordnungsparameter ist beispielsweise die öffentliche Meinung in einem System aus sozialen Individuen. Nicht jeder Mensch denkt, wie er will. Vielmehr wird seine Meinung von der Öffentlichkeit beeinflusst.

  Orfnungsparameter bestimmen die Ordnung in einem System

  Hier zeigt sich eine zyklisch anmutende Kausalität: Denn ein Ordnungs-

  zyklische Kausalität

paramter reguliert zum einen ein System, er wird aber andererseits von den Teilsystemen erst geschaffen. So rekrutiert die öffentliche Meinung aus den einzelnen Meinungen, die sich wierderum an der öffentlichen Meinung orietieren.

Symmetriebruch lässt Ordnungsparameter entstehen

Da liegt die Frage nach der Henne und dem Ei auf der Hand. Sie wird dadurch beantwortet, dass sich die Ordnungsparamter aus Symmetriebrechnungen in einem ursprünglichen Zustand der Unordnung herausbilden und sich selbst verstärken. Aus einem Wust an unterschiedlicher Meinung kristallisiert sich an einem Punkt eine besondere Meinung heraus, die mehr als eine Person hat. Grund dafür sind zufällige, lokale Fluktuationen. Diese Meinung kann sich dann durch das ganze System ausbreiten. Es kann jedoch auch zu Wettbewerbs- und Auslesesituationen kommen, wenn sich unterschiedliche Meinungen bilden Oft hängt es dann vom Sieger ab, wie wir ein System wahrnehmen, zum Beispiel als ein System, indem die Todesstrafe gesellschaftsfähig ist oder nicht. Auch beim Laser ereignet sich eine solche Auslese unter kohärenten Wellen (den Ordnungsparametern), welche die Resonanzbedingung des Lasers erfüllen.

Ordnungsparameter versklaven Individuen

- *Das Versklavungsprinzip*
  erklärt, wie es zur Bildung von Ordnungsparametern kommen kann. Die Synergetik geht hier davon aus, dass rasch abklingende Größen der Bewegung langsam veränderlicher Größen folgen: Die Meinung eines einzelnen Menschen ändert sich eher, als die der ganzen Gesellschaft. Dieses Prinzip birgt einen gewaltigen Vorteil. Denn mit seiner Hilfe kann die Zahl der Freiheitsgrade in einem System drastisch reduziert werden. Da die langsam veränderlichen Ordnungparameter das Wesen des gesamten Systems bestimmen, muss man sich nur noch auf diese konzentrieren.

  Dabei betrachtet die Synergetik jedoch nur die Umgebung kritischer Gebiete, in der Systeme ihr Wesen ändern. Manchmal führt dieser Weg sogar zu Gleichungen, die analytisch gelöst werden können.

Die Synergetik ist als Wissenschaft betrachtet eine geordnete Struktur. Sie produziert eine Art wissenschaftliche Kohärenz, indem sie Korrelationen zwischen ganz verschiedenen Wissensgebieten aufzeigt. Dieser Prozess entspricht einer Selbstorganisation. Die Synergetik ist also auf sich selbst anwendbar ist und damit ihre eigene Metatheorie.

Thermodynamik und Synergetik

Gesetz der großen Zahl nicht unwendbar

Ein wesentliches Element der Thermodynamik ist das Gesetz der großen Zahl. Es kommit immer dann zum Tragen, wenn es eine große Menge (Gesamtheit) von unkorrelierten Elemente gibt - wie zum Beispiel in einem thermodynamischen System. Unkorreliert bedeutet, dass sich die Verhalten der einzelnen Bestandteile nur unwesentlich bedingen: So stehen zwei Moleküle in entgegengesetzten Ecken eines Gasbehälters nicht in Wechselwirkung. Das Gesetz der großen Zahl stammt nun aus der Statistik und sagt aus, dass die relative Abweichung einer Stichprobe von der theoretischen Verteilung mit wachsender Größer eben dieser Stichprobe immer kleiner wird.
Anders sieht es bei synergetischen Systemen aus. Zwar handelt es sich hier meist auch um Vielteilchensysteme. Diese sind aber nicht mehr unkorreliert, sonden die Teilchen folgen gewissermaßen Absprachen, die über die Ordnungsparameter getroffen werden. Die Synergetik verallgemeinert somit Bernoullis

Gesetz der großen Zahl. Die Abgrenzung von der Thermodynmaik ist hier nur von gradueller Natur. Denn natürlich könnte man auch die Temperatur eines thermodynamischen Systems als Ordnungsparameter auffasen. Und in der Tat, die durchschnittliche Geschwindigkeit der einzelnen Moleküle orientiert sich an dieser Größe. Aber eben nur im Durchschnitt.

Verallgemeinerung der Thermodynamik

Eng verknüpft mit dem Gesetz der großen Zahl ist der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Er sagt aus, dass die Unordnung in geschlossenen Systemen mit der Zeit anwächst. , der aussagt, dass eine Größe namens Entropie, welche die Unordnung in einem System beschreibt, mit der Zeit und in geschlossenen Systemen nur zunehmen kann. Entropiezunahme zerstört Struktur.
Die Gleichsgewichts-Thermodynamik ist nicht in der Lage, selbstorganisierende Prozesse zu verstehen. Um sich aus diesem Dilmemma zu befreien vertrat Erwin Schrödinger vertrat noch die Auffassung, dass Pflanzen und Tiere mit der Nahrung so genannte Negentropie aufnehmen, welche die Entropie in diesen Wesen verringert. Das scheitern der Thermodynamik liegt daran, dass sie in der klassischen Auffassung keine irreversiblen Prozesse fern von thermodynamischen Gleichgewicht untersucht. Diese liegen aber meist vor, wenn es um Selbstorganisation geht. Einen Ausweg sieht Haken in seiner Synergetik, die er auch als Verallgemeinerung der Thermodynamik versteht.

Auch die Nichtgleichgewichts-Thermodynamik ist nicht auf Laser anwendbar

Nun gibt es mit irreversiblen Thermodynamik den Versuch, auch Nichtgleichgewichtszustände und räumlich inhomogene Prozesse beschreiben zu wollen. Gant fundamental für dieses Vorhaben ist die Hypothese von der Existenz eines lokalen thermischen Gleichgewichts. Systeme werden dann mit Hilfe von Temperatur- und Entropiedichtefeldern beschrieben. Der Laser ist jedoch ein Beispiel für ein System, dass sich nicht im lokalen Gleichgewicht befindet.

Kybernetik und Synergetik

Information oder nicht

Der Laser ist das Paradebeispiel der Synergetik. Im nächsten Abschnitt wird beschrieben, wie sich in ihm ein geordneter Zustand von selbst einstellt. Doch wie würde die Kybernetik kohärentes Licht erzeugen? Hier spielt die explizite Informationsübertragung und -verarbeitung eine entscheidenen Rolle. Um die Unterschiede zwischen der Kybernetik und Synergetik aufzuzeichnen, wollen wir nun ein - leicht überspitztes - Beispiel betrachten:

Ein kybernetischer Laser

In einem kybernetischen Laser wäre jedes Atom mit einem Messfühler verbunden, welches die Phase der elektromagnetischen Welle am gegebenen Ort misst. Wir bräuchten nun eine Steuerung, die ein angeregtes Atom gerade dann veranlasst, Licht auszusenden, so dass dadurch kohärentes Licht entsteht. Ein unmögliches Unterfangen, weil sich in Gaslasern 10^{18} und in Festkörperlasern sogar um die 10^{23} Atome befinden.
Im Gegensatz zur Kybernetik geht es der Synergetik nicht darum, einem System einen Regelmechanismus vorzusetzen. Synergetiker verstehen einen Laser als ein System, welches bei einer bestimmten Pumpstärke von sich aus einen Phasenübergang vollzieht und sich amit selbstorganisiert.

7.1 Beispiele für synergetische Strukturen

Der Laser

> Der Laser erweist sich so als eine Brücke zwischen der unbelebten und belebten Natur.

Haken, Erfolgsgeheimnisse der Natur, Seite 69

Der Laser als Photonenkopierer

Einen Laser verwendet man, um Photonen mit identischen Phaseneigenschaften zu erzeugen. Dabei leitet ein existierendes Photon angeregte Atome durch eine so genannte induzierte Emission zur Aussendung eines Photons mit der gleichen Phaselage an. Mit Hilfe dieses Prinzips werden die Eigenschaften des ursprünglichen Photons kopiert.

Aufbau eines Lasers

Der Laser als Resonanzkörper

Ein Laser besteht in der Regel aus einem Gefäß mit Atomen (fest oder gasförmig), das an seinen Enden von zwei Spiegeln umschlossen ist. Photonen, die entlang der Längsachse ausgesandt werden, bleiben so im Laser gefangen. Ferner machen die Spiegel den Laser zu einem Resonator für bestimmte Wellenlängen: Denn an den metallischen Spiegeloberflächen muss das transversale elektrische Feld verschwinden. Für die elektrische Feldstärke ergibt sich damit

$$E(x,t) = E_0(t) \sin(\omega t + \phi) \sin\left(\pi n \frac{x}{L}\right).$$

Wenn das Vielfache der Wellenlänge genau der Länge des Lasers entspricht, bildet sich eine stehende Welle aus.

Das Pumpen

Inversion der Population

Vor und während des Laserbetriebs wird durch Anregung der Atome die Population invertiert: Es befinden sich dann mehr Atome in einem angeregten als im Grundzustand. Dazu ist Energiezufuhr wie zum Beispiel durch eine Blitzlampe erforderlich. Man spricht von einem Pumpen des Lasers. Das invertierte System kann dann mit Hilfe einer negativen Temperatur beschrieben werden und befindet sich weit vom thermodynamischen Gleichgewicht. Das System nimmt Energie auf und ist insofern offen.

Ein Phasenübergang

Phasenübergang Lampe-Laser

Angeregte Atome werden spontan in den Grundzustand fallen und dabei Photonen aussenden. Solange nicht eine bestimmte Pumpleistung erreicht ist, arbeitet der Laser als ganz gewöhnliche Lampe: Die Atome senden vollkommen unkorrelierte Photonen in alle Richtungen aus. Erhöht man jedoch die Pumpleistung so kann sich die Linienbreite des Lasers plötzlich - selbstorganisiert - auf 1 Hertz reduzieren. Auf makroskopischer Ebene nimmt der Laser einen hochgeordneten Zustand an. Der Übergang Lampe-Laser zeigt die Eigenschaften eines Phasenübergangs zweiter Ordnung[1]

Eine Erklärung

Kettenreaktion durch induzierte Emission

Spontan emitierten Photonen können eine Art Kettenreaktion initiieren. Wenn ein Photon auf ein angeregtes Atom stößt und die Photonenenergie mit der Anregungsenergie ungefähr übereinstimmen, so besteht eine große Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon mit derselben Phasenlage und Energie emittiert wird. Dieser Prozess heißt induzierte Emission. Dieser selbstverstärkende Prozess führt zum kohärentem Laserlicht, wenn die Welle den Resonanzbedingungen

[1] Nach Ehrenfest versteht man darunter einen Phasenübergang, bei dem die Enthalpie und ihre erste Ableitung stetig sind. Ihre zweite Ableitung weist hingegen Sprünge auf.

des Laser genügt. Dann wird sie versuchen, sich als Ordnungsparameter durchzusetzen.

Kohärente Welle versklavt Atome

Die angeregten Atome bringen also diesen Ordnungsparameter hervor, müssen sich diesem dann aber auch beugen. Sie werden versklavt. Dabei ist keine höhere Macht vonnöten, um diese zyklische Kette zu initiieren. Zu Beginn erprobten Schankungen das System. Viele Photonen wurden spontan emittiert und versklavten dabei das ein oder andere Atom. Aber nur eine Welle ist aus dem nachfolgenden Konkurrenzkampf als Sieger hervorgegangen.

Quantitative Überlegungen

Welche Form kann die Amplitude $E_0(t)$ in obiger Gleichung annehmen? Wir wollen uns hier nur mit einem ganz einfachen Modell eines Zweistufen-Lasers befassen: N_1 gebe dann die Anzahl der Atome an, die sich im Grundzustand befinden. N_2 steht entsprechend für die Anzahl der angeregten Atome.
Wir betrachten nun die Lichtfeldamplitude A. Eine Vierzahl von Prozessen trägt zu ihrer zeitlichen Veränderung bei:

- *Verlust an den Spiegeln*
  Einer der beiden Spiegel muss teildurchlässig sein, damit das Laserlicht auf einer Seite den Laser verlassen kann. Aufgrund dieses Effektes würde die Amplitude exponentiell mit der Zeit abnehmen.

- *Absorption*
  Teilchen im Grundzustand können vom Lichtfeld auf ein höheres Energieniveau angehoben werden. Dieser Vorgang wird über die Absorptionskonstante α quantifiziert.

- *induzierte Enmission*
  Berechnungen Einsteins zeigten, dass α auch die so genannte induzierte Emission beherrscht. Wird ein angeregtes Atom von einem Photon getroffen, so kann das Elektron auf ein niedrigeres Energieniveau fallen. Es sendet dabei mit einer größeren Wahrscheinlichkeit ein Photon aus, dass in Energie, Phase und Richtung dem ursprünglichen Photon entspricht. Aus einem Photon werden dann zwei.

- *spontane Emission*
  Ein angeregtes Atom kann sich spontan in einen Zustand niedriger Energie begeben und dabei ein Photon abgeben. Die Rate der sponaten Emission ist unabhängig von der Lichtfeldstärke. Die dadurch entstehenden Photonen stehen in keiner Phasenbeziehung zueinander. Aus diesen Gründen vernachlässigen wir Effekte der spontanen Emission.

Verlust am Spiegel, sowie Absorption und induzierte Emission lassen uns nun folgende Differentialgleichung aufstellen:

$$\begin{aligned}\frac{dA(t)}{dt} &= \alpha N_2(t)A(t) - \alpha N_1(t)A(t) - \kappa A(t) \\ &= G(t)A(t)\end{aligned}$$

Im letzten Schritt haben wir die Gewinnkonstante G eingeührt. Die Lösung der obigen Gleichung lautet

$$A = ae^{G(t)t}.$$

Ein Verstärkungseffekt tritt nun bei positivem G ein.

Inversionsabnahme durch spontane und induzierte Emission

Diese Lösung ist nicht korrekt, weil es schnell zu einem Sättigungsprozess kommen wird. Die Lichtfeldamplitude wird nicht unbegrenzt und exponentiell anwachsen. Dies liegt daran, dass die Inversion $D(t) = N_2 - N_1$ zeitabhängig ist. Sie nimmt ab durch induzierte und spontane Emission.
Wir nennen die Inversion, die sich ohne Lasertätigkeit einstellt, $D_0 = N_{2,0} - N_{1,0}$. Wir stellen nun folgende Energiebetrachtung an. Durch das Pumpen ist anfänglich Energie in den invertierten Atomen gespeichert. Wenn der Energiebeitrag eines einzelnen Photonen ΔW ist, so ist die Gesamtenergie $\Delta W D_0$. Dies ist die Energie, die wir in das System hineingesteckt haben. Sie muss gleich der Energie der Laserphotonen und der verblieben angeregten Atome sein. Die Energie des Photonenfeldes ist proportional zum Quadrat der Feldamplitude. Die verbleibende Energie der Laseratome ist proportional zu aktuellen Inversion D. Wir erhalten:

$$\Delta W D = \Delta W D_0 - bA^2.$$

Setzen wir diesen Ansatz in die obige Differentialgleichung ein, so erhalten wir

$$\dot{A} = (\alpha D_0 - \kappa)A - \frac{b}{\Delta W}A^3.$$

Berücksichtigen wir also die Abnahme der Populationsinversion, wenn das System lasert, so erhalten wir eine nichtlineare Differentialgleichung. Solche Nichtlinearitäten spielen in der Synergetik die entscheidene Rolle. Suchen wir nach stationären Lösungen so erhalten wir

$$A^2 = \frac{\Delta W}{\alpha b}(\alpha D_0 - \kappa).$$

Dies ist nur dann reel lösbar, wenn die folgende Laserbedingung erfüllt ist

$$(N_{2,0} - N_{1,0}) > \frac{\kappa}{\alpha}.$$

Aber wenn die Laserbedingugn erfüllt ist, ist A nur bis auf ein Vorzeichen bestimmt. Es liegt dann an zufälligen Fluktuationen, welche der beiden Möglichkeiten eingenommen wird - die Symmetrie wird gebrochen.

7.2

Weitere Beispiele

Der Bénard-Effekt

Rollenbildung bei heißen Flüssigkeiten

Wird eine Flüssigkeit in einem Gefaß am Boden erhitzt, so werden die erwärmten unteren Bereiche versuchen, nach oben zu gelangen, während die kühlen und schweren Massen nach unten streben. Wie auf einer Treppe am S-Bahnhof herrscht größtes Durcheinander. Erst wenn die Masse der bewegten Flüssigkeit eine gewisse kritische Grenze überstiegen hat, bilden sich regelmäßige Konvektionsrollen. Erst wenn die Masse der ankommenden und abfahrwilligen Fahrgäste eine gewisse kritische Masse erreicht hat, bildet sich eine Struktur, etwa derart, dass man sich auf der rechten Seite der Treppe aufhält.

Politische Revolutionen

politische Revolutionen als Phasenübergänge

Hermann Haken hat seine Methode auch phänomenologisch auf soziales Geschehen angewandt. Das Beispiel der öffentlichen Meinung haben wir in der

Einleitung betrachtet. Haken sieht symmetriebrechende Instabilitäten oft als Ursache für politische Revolutionen. Dabei handelt es sich um gesellschaftliche Phasenübergänge. Beispiele: französische Revolution (Monarchie → Demokratie), Hitlers Machtübernahme (Demokratie → Diktatur).

Der Übergang von einer Diktatur in eine andere (Zarendiktatur zur Diktatur Stalins) ist möglich. Diktaturen sind meist stabil, weil gleichzeitig alle oder zumindest ein sehr großer Teil der Bürger aus dem Ordnungszustand der Diktatur ausbrechen müsste, um diese zu beenden. Einzelne Ausbruchversuche sind zum Scheitern verurteilt. Vorbedingungen für einen Umsturz, eine Revolution, sind nach Haken die Lockerung der Regierungsmaßnahmen, die Meinungsaustausch erleichtern oder aber der Aufbau eines Untergrundnetzes.

Diktaturen sind sehr stabil

Der Übergang von einer Demokratie zu einer anderen ist systemimmanent, d.h. Regierungswechsel sind in der Demokratie vorgesehen und führen selten zu einem Umbruch (Es handelt sich hier eher um "kleine" Phasenübergänge, wie er bei unterschiedlichen Kristallformation vorliegt. Ob man die Regierungsübernahme von Gerhard Schröder 1998 als Revolution betrachten möchte, liegt wohl im Auge des Betrachters.)

Demokratische Übergänge sind systemimmanent

7.3

Die synergetische Methode

Wir wollen hier ein allgemeines synergetisches Vorgehen beschreiben. Besonders wird das Versklavungsprinzip auf eine mathematische Grundlage gestellt.

Der Ausgangspunkt

Allen Bemühungen voraus geht in der Synergetik eine Analyse des Systems. Diese führt zur mikroskopischen Evolutionsgleichung der Art:

mikroskopische Evolutionsgleichung

$$\dot{\mathbf{U}} = \mathbf{N}\left(\mathbf{U}, \nabla\mathbf{U}, \sigma\right) + \mathbf{F}$$

Dabei sind

$\mathbf{U}$	ist der Systemvektor, der alle Freiheitsgrade des Systems beschreibt. Er ist hochdimensional. Er besteht also aus sehr, sehr vielen Elementen in der Größenordnung von 10^{23}.
$\mathbf{N}$	ist in der Regel eine nichtlineare Funktion.
$\mathbf{F}$	bezeichnet eine kleine, fluktuierende Kraft.
σ	ist ein Vektor für äußere Kontrollparameter.

Zuständig für das Aufstellen der Evolutionsgleichung ist nicht die Synergetik, sondern sind die Einzelwissenschaften.

Problem

In der Regel ist $\mathbf{U}$ viel zu hochdimensional und $\mathbf{N}$ viel zu nichtlinear, als dass man die gesamte Trajektorie im Phasenraum angeben könnte.

Lösung

Wir betrachten den Phasenraum nur in der Nähe von Attraktoren. Dabei vernachlässigen wir die äußere Kraft, setzen also $\mathbf{F} = \mathbf{0}$.

Bestimmung der Moden des Systems

Wir entwickeln die Evolutionsgleichung um einen stationären Zustand $\mathbf{U}_0$, für den gilt

$$\dot{\mathbf{U}}|_{\mathbf{U}_0} = \mathbf{0}.$$

Wir setzen also $\mathbf{U} = \mathbf{U}_0 + \mathbf{q}$, wobei $\mathbf{q}$ klein ist:

$$\begin{aligned} \frac{d(\mathbf{U}_0 + \mathbf{q})}{dt} &= \mathbf{N}(\mathbf{U}_0 + \mathbf{q}, \nabla(\mathbf{U}_0 + \mathbf{q}), \sigma) \\ \dot{\mathbf{q}} &\approx \nabla\mathbf{N}(\mathbf{U}_0, \nabla, \sigma)\mathbf{q} \end{aligned}$$

Wir müssen nun die Lösungen zu einer homogenen, linearen Differentialgleichung finden. Dies kann über ihre Eigenvektoren geschehen. Diese seien $\mathbf{Q_i}$. Es gilt

$$\forall i = 1 \ldots d : \dot{\mathbf{Q}}_i = \lambda(\sigma)\mathbf{Q}_i,$$

stabile und instabile Moden

dabei sind die λ_i die Eigenwerte, die von den äußeren Kontrollparametern abhängen. Je nach Vorzeichen der Eigenwerte λ_i gibt es demnach stabile Moden ($\lambda_i < 0$) und instabile Moden ($\lambda > 0$).

In kritischen Gebieten herrschen Zeitskalenhierachien

kritischer Punkt

Ein kritisches Gebiet ist durch einen Vorzeichenwechsel bestimmter Eigenwerte gegeben, deren zugehörige Mode dort instabil werden. Im allgemeinen Fall zeichnet sich ein kritischer Puntk durch die Gleichung

$$\lambda_i(\sigma) = \mathbf{0}$$

aus. Ein kritisches Gebiet muss nicht nur aus einem Punkt bestehen, sondern kann auch eine Linie, Fläche usw. sein. Nahe eines kritischen Gebietes werden die Moden aufteilbar in solche, die stabil bleiben und andere, die instabil werden. Wir wollen die Moden entsprechend sortieren und umbenennen

$$(Q_1, \ldots, Q_d) \rightarrow (u_1, \ldots, u_n, s_{n+1}, \ldots, s_d)$$

Die kritischen Moden besitzen im kritischen Übergangsgebiet nahezu verschwindene Eigenwerte, weil sie dort ihr Vorzeichen wechseln. Dies ist insofern von Bedeutung, als sich daraus eine Zeitskala definiert. Denn die exponentielle Lösung der Eigenwertgleichung

$$\mathbf{Q_i} = \mathbf{A_i}e^{-\lambda t} = \mathbf{A_i}e^{-t/\tau_i}$$

führt die Zeitskala

$$\tau_i = \frac{1}{|\lambda_i|}$$

ein. Die kritischen Moden ändern sich also viel langsamer als die stabilen Moden.

$$\tau_u > \tau_s.$$

Diese Hierachie führt zum Versklavungsprinzip. Zunächst werden wir jedoch noch die exakte Diffenrentialgleichung betrachten.

Das Versklavungsprinzip

Kehren wir nun zu den exakten Differentialgleichungen zurück, indem wir auch die nichtlinearen Terme berücksichtigen. Es ergibt sich:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{u}}_i &= \lambda_i \mathbf{u}_i + N_{NL,i}(\mathbf{u}_i, \mathbf{s}_i) \\ \dot{\mathbf{s}}_i &= \lambda_i \mathbf{s}_i + N_{NL,i}(\mathbf{u}_i, \mathbf{s}_i) \end{aligned}$$

Die Nichtlinearität zerstören die Möglichkeit zu Entkopplung der Differentialgleichungen.
Aber da die stabilen Moden sehr schnell abklingen, folgt aus der exakten Differentialgleichung für die stabilen Moden sofort mit Hilfer einer so genannten adiabatischen Näherung: Versklavungsprinzip

$$\mathbf{s}_i = \mathbf{s}_i(\mathbf{u}).$$

Die stabilen (und schnellen) Moden werden also von den instabilen (und langsamen) versklavt.
Die konkrete Angabe der Versklavungsgleichung ist oft knifflig, wenn sie auch von Haken unter sehr allgemeinen Bedingungen gelöst werden konnte. Setzen wir die Lösung in die Differentialgleichung für die instabilen Moden ein, so erhalten wir die Ordnungsparametergleichung: Ordnungsparametergleichung

$$\dot{\mathbf{u}}_i = \lambda_i \mathbf{u}_i + N_{NL,i}(\mathbf{u}_i, \mathbf{s}_i(\mathbf{u}).$$

Da es in der Regel nur sehr wenige kritische Moden gibt, konnte die Komplexität erheblich reduziert werden. Die Lösung der Ordnungsparametergleichung ermöglicht dennoch die Vorhersage von Strukturen, die durch Selbstorganisation entstehen.

Kapitel 8

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

[1:As68] *Einführung in die Kybernetik*
W. Ross Ashby; suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1974
Der Name ist Programm

[1:Be68] *General Systems Theory*
Ludwig von Bertalanffy; George Braziller New York 1968;
Die Einführung vom Erfinder der Allgemeinen Systemtheorie

[1:Ei95] *Wie Neues entsteht - Die Wissenschaft des Komplexen und Fraktalen*
Peter Eisenhardt, Dan Kurth, Horst Stiehl; Rowohlt Taschenbuch Verlag 1995;

[1:Ge95] *The Quark and the Jaguar - Adventures in the Simple and the Complex*
Murray Gell-Mann; Abacus 1996;
populärwissenschaftliche Einführung in die Komplexitätstheorie

[1:gl95] *Das Verständnis der Natur I. Die Geschichte des wissenschaftlichen Denkens*
Karen Gloy; C.H. Beck München 1995

[1:Kn95] *Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme*
Georg Kneer, Armin Nassehi; 3. Auflage; Wilhelm Fink Verlag München 1997;
sehr empfehlenswerte Einführung

[1:Kr92] *Emergenz: die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung*
Wolfgang Krohn und Günther Küppers (Hrsg.); Suhrkamp 1992

[1:Ma95] *Theorie des Lebendigen*
Gerhard Mack; 1990;

[1:Ma95] *Der Baum der Erkenntnis - Die biolgischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*
Humbberto Maturana und Francisco Varela; Goldmann 1990;
Über Autopoiese und Kognition

[1:Ha83] *Synergetik. Eine Einführung*
Hermann Haken; 2. Auflage; Springer 1983;
Anspruchsvolle Behandlung der Synergetik

[1:Ha84] *Erfolgsgeheimnisse der Natur*
Hermann Haken; Ullstein 1984;
populärwissenschaftliche Einführung in die Synergetik

[1:Ha91] *Die Selbststrukturierung der Materie*
Hermann Haken, Arne Wunderlin; Friedrich Vieweg & Sohn Braunschweig 1991;
Angenehme Einführung in die Synergetik, die auch nicht scheut, Formeln zu verwenden

[1:Ha90] *Über das Verhältnis der Synergetik zur Thermodynamik, Kybernetik und Informationstheorie*
Hermann Haken in: Selbstorganisation, Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Band 1, Uwe Niedersen (Hrsg.), Duncker & Humblot 1990

[1:Kr83] *Einführung in die allgemeine Systemtheorie*
David J. Krieger; 2. Auflage; Wilhelm Fink Verlag München 1996;
...

[1:Se86] *Das 18. Kamel oder Die Welt als Erfindung*
Lynn Segal; Piper München 1988
Einführung in die konstruktivistische Gedankenwerk der Kybernetikers Heinz von Foerster

[1:Wa91] *Das Auge des Betrachters*
Paul Watzlawick, Peter Krieg (Hrsg.); Piper München 1991;
Sammlung konstruktivistischer Texte als Festschrift für Heinz von Foerster. zum Gedenken an Angeheme Einführung in die Synergetik, die auch nicht scheut, Formeln zu verwenden

[1:Wi48] *Kybernetik: Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*
Norbert Wiener; Econ VCerlag 1992;
Nicht immer leicht verständlich, aber dennoch Standardwerk

8.1

Kategorien

[2:BW90] *Category Theory for Computing Science*
Michael Barr und Charles Welles; 1990; 1. Auflage; Pretice Hall International

[2:MacL71] *Categories for the working mathematician*
Saunders Mac Lane; 1971; 1. Auflage; Springer-Verlag

[2:EM] *A Taste of Categorical Petri Nets*
Claudia Ermel und Alfio Martini; paper

8.2

Theorie der Berechenbarkeit und λ-Kalkül

[3:Bar84] *λ-Calculus: its Syntax and Semantics*
Barendregt; 1984; 2. Auflage; North Holland

[3:Han94] *λ-Calculi - a guide for computer scientists*
Chris Hankin; 1994; Clarendon Press, Oxford

[3:Hin86] *Introduction to Combinators and λ-Calculus*
J. Roger Hindley, Jonathon P. Seldin; 1986; Cambrdige University Press Cambride

[3:Poh93] *Mathematische Grundlagen der Informatik*
Wolfram Pohlers; 1993; Oldenbourg Verlag, München

[3:San92] *Automaten, Sprachen, Berechenbarkeit*
Peter Sander, Wollfried Stucky, Rudolf Herschel; 1992; Teubner, Stuttgart

[3:Sch93] *Theoretische Informatik - kurzgefasst*
Uwe Schöning; 1997; 2. Auflage; Spektrum, Akademischer Verlag

[3:sciam1177] *Mathematical Games*
Scientific American, November 1977

8.3

Lineare Logik

[4:Sch93] *Proofs and Types*

[4:Sch93] *Computational Interpretation of Linear Logic*

[4:Sch93] *Computation as Logic*