

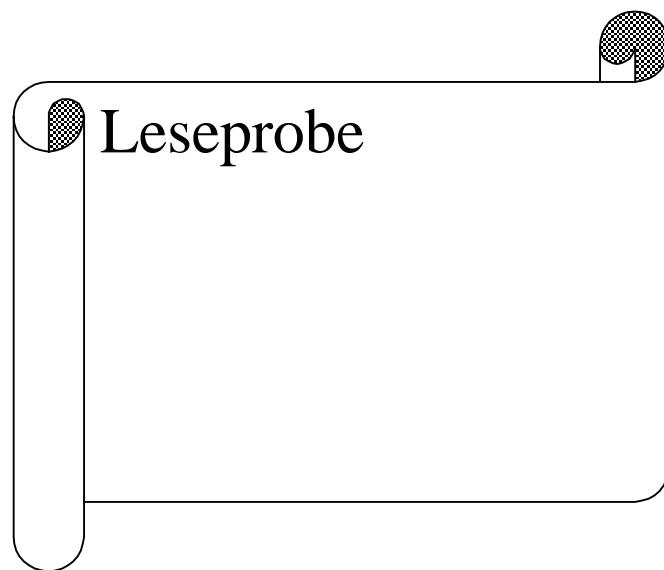
---

## Inhalt

<b>I Einleitung</b>	1
1 Selbstorganisation als wissenschaftliche Revolution	1
2 Frühe Konzepte der Selbstorganisation	4
3 Moderne Konzepte der Selbstorganisation	7
4 Danksagung	13
<b>II Frühe Konzepte der Selbstorganisation</b>	14
1 Philosophiegeschichtlicher Vorlauf	14
1.1 Antike Selbstordnungskonzepte	15
1.2 Neuzeitliche Selbstordnungskonzepte	18
2 Naturwissenschaftlicher Vorlauf	25
2.1 Die Vorherrschaft des mechanistischen Denkens	25
2.2 Theologisches Zwischenspiel	28
2.3 Irreversibilität und Unvorhersagbarkeit	31
2.4 Die Idee der Rekursion	42
2.5 Konvektion, Musterbildung und Oszillation	47
2.6 Ganzheitlichkeit in biologischen Systemen	52
2.7 Psychophysik, Gestaltpsychologie und Kognitionswissenschaft	61
2.8 Kybernetik, Informationsbegriff und Systemtheorie	72
3 Sozialwissenschaftlicher Vorlauf	79
4 Schlußfolgerungen	85
<b>III Moderne Konzepte der Selbstorganisation</b>	91
1 Vorbemerkung	91
2 Die Entstehung der neuen Konzepte	91
2.1 Die Theorie dissipativer Strukturen	91
2.2 Synergetik	100
2.3 Die Theorie autokatalytischer Hyperzyklen	109
2.4 Chaostheorien	116
2.5 Systemtheoretisch-kybernetische Ansätze	133
2.6 Autopoiese und Selbstreferentialität	151
2.7 »Elastische« Ökosysteme	165
3 Zur »Epistemologie« der Selbstorganisation	173

---

<b>Literatur</b>	185
<b>Personenregister</b>	196
<b>Sachregister</b>	200



---

## **I Einleitung**

### **1 Selbstorganisation als wissenschaftliche Revolution**

Seit Beginn der 1960er Jahre bahnt sich eine wissenschaftliche Revolution an, die inzwischen unter dem Sammelbegriff »Selbstorganisation« zu einem großangelegten, nahezu alle Wissenschaftsdisziplinen umfassenden Forschungsprogramm ausgereift ist. Im Mittelpunkt dieses neuen Konzepts steht die Untersuchung der spontanen Entstehung, Höherentwicklung und Ausdifferenzierung von Ordnung in dynamischen Systemen fern ab vom Gleichgewicht. Den Ausgangspunkt bildeten konkrete Forschungsprobleme: Wie entsteht Laserlicht? Wie organisiert sich lebende Materie? Wie entwickelt sich das Wetter? Wie »ko-evolvieren« verschiedene Lebensformen eines Biotops? Die Antworten, die auf diese und ähnliche Fragen gefunden wurden, gingen freilich über das spezielle Frageinteresse hinaus und begründeten eine völlig neue Sicht der Natur. Aus solchen zunächst unscheinbaren Anfängen innerhalb der Naturwissenschaften heraus ist es erstaunlich rasch zu einem »Paradigmawechsel« gekommen, der möglicherweise eine neue »kopernikanische Wende« für die Wissenschaft insgesamt einleitet, was unser Verständnis dynamischer Prozesse in komplexen Systemen anbetrifft.

Nach Forschern wie I. Prigogine und H. Haken, die maßgeblich an der Begründung der modernen Selbstorganisationsforschung beteiligt waren, gehen wir einer neuen Synthese, einer neuen Naturauffassung entgegen, in deren Zentrum die Vorstellung einer spontan sich selbst organisierenden Welt steht: die klassische Wissenschaft, die den Gegensatz zwischen Mensch und Natur betont habe, verwandele sich dadurch in eine neue »Wissenschaft vom Komplexen«, die den Menschen zu einem »Dialog mit der Natur« (I. Prigogine) befähige; Kommunikation trete an die Stelle von objektivierender Naturbeherrschung. Jenseits der traditionellen Alternative von physikalistischem Reduktionismus und biologistischem Holismus scheint damit die wissenschaftliche Utopie einer mit der Gesellschaft »versöhnten Natur« auf, die zu ihrer Realisierung gleichwohl nicht auf das Experiment und die quantitative Analyse zu verzichten braucht. Die Wissenschaft erneuert dadurch ihren Anspruch auf legitime Definitionsmacht gegenüber der Grundstruktur der Welt im ganzen, der ihr im Zuge einer nur zu berechtigten Kritik der ökologischen und sozialen Negativfolgen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts vielerseits bestritten worden ist, indem sie sich paradigmatisch neu orientiert und Züge einer »alternativen Wissenschaft« annimmt.

Eine Wissenschaft, die sich um die Aufklärung der Mechanismen der Selbstorganisation bemüht, bleibt zwar durchaus »harte« Wissenschaft, doch sie wird selbstreflexiv und dadurch auf ein neues Niveau ihrer Entwicklung getrieben. Indem sie die Komplexität natürlicher (und sozialer) Systeme in nicht-reduktionistischer Weise ernstnimmt, holt sie die alte Idee der Naturgeschichte in die moderne Naturforschung zurück. Indem sie die »Autonomie« systemischer Prozesse - ihre »Eigengesetzlichkeit« und »Eigenzeitlichkeit«, ihre »operationale Geschlossenheit«, »fraktale« Unregelmäßigkeit und prinzipielle Unvorhersagbarkeit - anerkennt, tritt das Besondere, das Historische und Einzigartige der »Randbedingungen«,

---

denen sich solche selbstorganisativen Prozesse wesentlich verdanken, in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses, während die Suche nach universellen Gesetzmäßigkeiten, die traditionell die Forschung dominierte, zweitrangig wird.

Formulierungen wie diese werden nicht nur dem wissenschaftlichen Laien, sondern auch manchem Wissenschaftler, der sich bereits einschlägig mit Konzepten und Ergebnissen der Selbstorganisationsforschung vertraut gemacht hat, einigermaßen pathetisch oder mysteriös anmuten. In der Tat sind die Erwartungen vieler Selbstorganisationsforscher recht hochgespannt, während es gleichzeitig noch zahlreiche skeptische Stimmen aus den betroffenen Disziplinen gibt. Aber mögen sich derartige Hoffnungen auf einen umfassenden Umbruch der Wissenschaft via Selbstorganisation auch letzten Endes als übertrieben herausstellen, so wird man schon jetzt der Theorie der Selbstorganisation (bzw. ihren verschiedenen Varianten) zugestehen müssen, eines der großen Rätsel der Wissenschaft - die spontane Genese und Evolution komplexer Strukturen - ein bedeutendes Stück näher an seine rationale Aufklärung gebracht zu haben. Das, was der Wissenschaft stets und überall um ein Verständnis von Ordnung bzw. des Verhältnisses von Ordnung und Unordnung geht, rührt es zweifellos an den Grundfesten etablierter Wissenschaftsüberzeugungen, wenn - wie im Falle der Theorie der Selbstorganisation - ein neuer Weg zur Lösung eben dieses Problems gewiesen und mit bereits zahlreichen Entdeckungen und Erklärungsleistungen zu speziellen Fragestellungen als gangbar ausgewiesen wird. Deshalb ist es vielleicht doch nicht verfehlt oder zumindest verständlich, wenn das Konzept der Selbstorganisation von seinen Verfechtern zur Grundlage eines wissenschaftlichen Weltbildwandels erklärt wird.

Was die Situation so unklar macht - »wissenschaftliche Revolution« ja oder nein -, ist paradoxerweise gerade die ungemeine Attraktivität des Selbstorganisationskonzepts, insofern sie Skepsis gegenüber seiner Seriosität weckt: gerade seine rasche Diffusion in zahlreiche neue Wissenschaftsdisziplinen, seine populärwissenschaftliche Aufbereitung in den Massenmedien, sein »Anschluß« an alternativkulturelle Weltbildentwürfe sowie seine »Anwendung« auf gesellschaftspolitische, ökonomische und zahlreiche andere Praxisfelder erscheint vielen Beobachtern verdächtig. So wird das neue »Weltbild der Selbstorganisation« mittlerweile in so verschiedenen Bereichen diskutiert wie der Managementlehre, der Literaturtheorie, der ganzheitlichen Medizin, der Verwaltungswissenschaft, der Verkehrsforschung, der Planungstheorie, der Pädagogik, der postmodernen Ästhetik, der Organisationssoziologie oder der Familientherapie. Damit nicht genug, berufen sich heute auch Protagonisten der »Neuen sozialen Bewegungen« und des »New Age« (Capra, Ferguson) für ihre Visionen von einer partizipatorischen Gesellschaft im Einklang mit der Natur auf die Erkenntnisse der Selbstorganisationsforschung. Daß es sich hierbei in der Tat nicht immer um seriöse »Übertragungen« und an der Spezifik des jeweiligen Gegenstandsbereiches abgearbeitete »Anwendungen« handelt, sondern oftmals nur um metaphorische Analogiebildungen oder gar um Etikettenschwindel, versteht sich. Dies aber versorgt die Kritiker des revolutionären Anspruchs des Selbstorganisationskonzepts mit Argumentationshilfen.

Dennoch ist weder die Güte der von der Selbstorganisationsforschung erbrachten Resultate noch die Tatsache, daß eine die Grenzen der Disziplinen überschreitende Vernetzung verschiedener Selbstorganisationsansätze zu einem oder mehreren

---

Forschungsprogrammen erfolgreich vollzogen wurde, in Zweifel zu ziehen; ebensowenig wie die wissenschafts*externe* Bedeutung von Selbstorganisationstheorien in bestimmten gesellschaftlichen Praxisfeldern: beispielsweise für den Bereich der ökonomischen und ökologischen Planung, wo die Analyse chaotischer Systeme erstmals eine rationale Erklärung für die offensichtliche Unplanbarkeit komplexer Prozesse liefert und dadurch die Suche nach neuen Planungsinstrumenten inspiriert.<sup>1</sup>

\*

In der vorliegenden Arbeit sollen aber gerade *nicht* die allmähliche Vernetzung der diversen »Urkonzepte« der modernen Selbstorganisationsforschung zu einem transdisziplinären Forschungsunternehmen und dessen vielfältige »Außenbezüge« zu Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur dargestellt werden; vielmehr soll ausschließlich die *Ursprungsgeschichte* dieser Forschung rekonstruiert werden. Diese läßt sich analytisch in zwei - ungleich lange - Phasen einteilen:

(1.) in die Phase der ideellen »Vor-« oder »Urgeschichte« der modernen Selbstorganisationstheorie, die weniger deren eigentliche Entstehung (Formierung) als vielmehr die ideengeschichtlichen *Voraussetzungen* dieser Entstehung betrifft (hier geht es also - angefangen bei einigen Vorsokratikern - um die frühen Vorläuferkonzepte in Philosophie und Wissenschaft, um spekulative Vorentwürfe, wichtige wissenschaftliche Entdeckungen, Theoriefortschritte und Methodenentwicklungen, die *in der Rückschau* als Wegbereiter erscheinen);

(2.) in die Phase der »Genesis« oder der eigentlichen Entstehungsgeschichte der *modernen* »Ur-« oder »Gründerkonzepte«, die Phase ihrer Formulierung bei Forschern wie I. Prigogine, H. Haken, M. Eigen, H. Maturana usw.; dieser Zeitabschnitt beginnt Ende der 1950er/Anfang der 1960er Jahre - eine klare zeitliche Zäsur ist nicht in jedem Falle auszumachen: hier bilden sich jene Konzepte heraus, die Anfang/Mitte der 1970er Jahre allgemein in der »scientific community« als die »Wurzeln« der modernen Selbstorganisationsforschung anerkannt und in den Rang »paradigmatischer Theorien« erhoben werden.

Aus dieser groben Phaseneinteilung leitet sich die Grundgliederung des vorliegenden Buches in zwei Großkapitel her.

## **2 Frühe Konzepte der Selbstorganisation**

---

<sup>1</sup> Ein knapper ideengeschichtlicher Abriss und eine umfangreiche Übersicht über die bis heute zur Selbstorganisationsforschung erschienene Literatur - chronologisch, thematisch und nach Autoren geordnet - findet sich in: R. Paslack und P. Knost, *Zur Geschichte der Selbstorganisationsforschung - Ideengeschichtliche Einführung und Bibliographie (1940-1990)*, erschienen in der Reihe *Report Wissenschaftsforschung*, hg. vom »Universitätsschwerpunkt Wissenschaftsforschung« der Universität Bielefeld, Bd. 37, Bielefeld 1990.

---

Die erste Frage, die wir - in *Kapitel II* - zu klären haben, ist: Warum haben sich die »Urkonzepte« der Selbstorganisation allesamt in den 1960er Jahren unseres Jahrhunderts ausgebildet? Warum nicht bereits früher? Wird doch von etlichen Selbstorganisationsforschern selbst auf - z. T. sogar recht frühe - historische Vorläufer hingewiesen.<sup>2</sup> Warum haben sich diese Vorgänger dann nicht zu ihrer Zeit in der Wissenschaft durchsetzen können? Wenn dies seinen Grund nicht in zufälligen Randbedingungen früherer Forschungssituationen hat, wie hier angenommen wird, dann haben wir nach den spezifischen Bedingungen zu fragen, unter denen die Idee der Selbstorganisation gerade während der 1960er Jahre unseres Jahrhunderts in mehreren wissenschaftlichen Disziplinen hat erfolgreich Fuß fassen und anschließend zu einem durchsetzungsstarken Programm ausreifen können. Wir wollen in Vorbereitung einer Antwort auf diese Frage indes den umgekehrten Weg beschreiten und zunächst einmal zeigen, warum Selbstorganisationsansätze in früheren Entwicklungsphasen der Wissenschaft keine oder wenig Aussicht auf Erfolg, d. h. auf Akzeptanz und Ausarbeitung in ihren jeweiligen Disziplinen hatten. In *Kapitel II* wird es daher um die Darstellung und Bewertung des ideengeschichtlichen Vorlaufs der Selbstorganisationsforschung in den Geistes-, Natur- und Sozialwissenschaften gehen.

Wir werden aber nicht nur danach fragen, welche Umstände einen früheren Durchbruch zum Selbstorganisationsdenken verhindert haben, sondern auch nach den positiven Resultaten des wissenschaftlichen Vorlaufs, die die Entstehung der modernen Selbstorganisationsforschung gleichsam vorbereitet haben. Die relative Ausführlichkeit der folgenden wissenschaftshistorischen Darstellung bezieht ihre Rechtfertigung aus dem Bemühen, die Voraussetzungshaftigkeit der neuen wissenschaftlichen Denkweise in möglichst vielen Aspekten aufzuzeigen, ohne dadurch jedoch deren »revolutionären« Charakter leugnen oder die Begründungsleistung schmälern zu wollen: es geht nicht um den Nachweis der »Ableitbarkeit« moderner Selbstorganisationskonzepte aus älteren wissenschaftlichen Traditionen, sondern um den Aufweis zahlreicher experimenteller, wissensmäßiger und theoretischer Vorbedingungen, die das wissenschaftliche Denken sozusagen an jene »kritische Schwelle« getrieben haben<sup>3</sup>, jenseits der der »qualitative Sprung« hin zu einem »Weltbild der

---

<sup>2</sup> So bemerken etwa I. Prigogine und I. Stengers in ihrem Buch *Dialog mit der Natur* (München 1981, S.44): »Worauf es uns ankommt, ist, daß die Vorsokratiker innerhalb weniger Generationen die grundlegenden Begriffe zusammentrugen, erklärten und kritisierten, die von unserer Wissenschaft wiederentdeckt wurden und die wir noch immer zusammenzufügen versuchen, um ... das Entstehen von Ordnung aus einem undifferenzierten Milieu zu verstehen.«

<sup>3</sup> Was nicht unbedingt auch ein »krisenhaftes Bewußtsein« impliziert, das Th. S. Kuhn als ein essentielles Merkmal wissenschaftlicher Revolutionen beschrieben hat; siehe seine mittlerweile klassische Arbeit *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, Frankfurt a. M. 1973 (im amerik. Original bereits 1962 erschienen). Wie gerade der Fall der Selbstorganisationsforschung zeigt, wurde ein gewisser Zusammenhang zur angeblichen »Wissenschaftskrise« bzw. zur »Wissenschaftskritik« erst hergestellt, nachdem das Forschungsprogramm der Selbstorganisation sich etabliert hatte und nicht schon während

---

Selbstorganisation« *möglich* wurde. Wir versuchen dadurch dem bemerkenswerten Umstand Rechnung zu tragen, daß der Beginn der modernen Selbstorganisationsforschung in den 1960er Jahren unseres Jahrhunderts zwar eine wissenschaftshistorische Diskontinuität, womöglich ersten Ranges, markiert, *zunächst* aber gar nicht als eine solche wahrgenommen wurde (auch von ihren Begründern nicht), sondern aus der Arbeit innerhalb traditioneller Problemkontexte herauswuchs. Dies entspricht der Auffassung des Autors, daß sich auch im Falle wissenschaftlicher Revolutionen diskontinuierliche und kontinuierliche Prozesse stets überlagern, daß mithin wissenschaftliche Umbrüche Momente des Anschließens an bestehende Kontexte bzw. der Wiederaufnahme älterer (eventuell »verdrängter«) Forschungslinien beinhalten.

Der Bogen der historischen Erörterung wird sich von eher spekulativen Selbstorganisationsideen in der Philosophie (Aristoteles, Lukrez, Leibniz, Kant, Schelling usw.) über frühe naturwissenschaftliche Ansätze bis hin zur Entwicklung der Kybernetik und der System- und Informationstheorie spannen. Breiten Raum wird die Diskussion des mechanistischen Weltbilds, seiner langen Vorherrschaft und der Schritte zu seiner allmählichen Destruierung einnehmen: die Einführung der Irreversibilität dynamischer Prozesse durch die klassische Thermodynamik, die Wahrnehmung von Komplexitätssteigerung und Emergenz im Bereich evolutionärer Prozesse als offenbar irreduzible Phänomene (Darwinismus, Evolutionismus), die Relativierung des »starken« Kausalitätsprinzips durch Maxwell und Poincaré (die Bedeutung von Nicht-Linearität und Rekursivität), die Untersuchung ganzheitlich-systemischer Zusammenhänge in der Biologie und Psychologie (Holismus, Gestaltwahrnehmung), die theoretische Behandlung offensichtlich ungleichgewichtiger und dennoch persistenter Strukturen (Organismen, Ökosysteme, soziale Gruppen) u. v. m.

Deutlich werden sollen zum einen die zahlreichen Widerstände, denen die frühen Selbstorganisationsideen und -konzepte ausgesetzt, bzw. die wesentlichen Mängel, mit denen sie behaftet waren, zum andern die ideengeschichtlichen Vorleistungen, denen die moderne Selbstorganisationsforschung ein Gutteil ihrer Existenz verdankt. Dabei soll, um dies nochmals zu betonen, die Bedeutung des »paradigmatic shift« während der 1960er Jahre keineswegs bestritten werden, zumal der Verfasser sich bewußt ist, daß die Rekonstruktion einer Vorlaufgeschichte eben auch ein *konstruktiver* Akt ist in dem Sinne, daß erst rückblickend - aus der Perspektive einer fortgeschrittenen Entwicklung - bestimmte historische Errungenschaften als mehr oder minder konsequente Schritte auf dem Wege dorthin *erscheinen*. So gibt es nirgendwo einen gleitenden Übergang, sondern stattdessen eine voraussetzungsreiche Vorgeschichte, deren »archäologische« Aufarbeitung (i. S. einer »Archäologie des Wissens«) ein allemal lohnendes Unterfangen ist.

---

der »Gründungsphase«; erst als die »Ur-Theorien« der modernen Selbstorganisationsforschung bereits konzipiert und die Analogien zwischen ihnen wahrgenommen worden waren, wurden sie als mögliche Kandidaten eines wissenschaftlichen Umdenkens und mithin als Auswege aus bestimmten Problemlagen der Forschungstradition proklamiert.



---

### 3 Moderne Konzepte der Selbstorganisation

Entscheidend für die Entstehung der modernen Selbstorganisationsforschung war, wie gesagt, die Erkenntnis, daß Strukturbildung als Entstehung von Ordnung nur weit weg vom thermodynamischen Gleichgewicht möglich ist. Dies verlangt die Offenheit der Systeme für Materie- und Energiefluß. Wird ein gleichgewichtsfernes System instabil, so geht es im allgemeinen von einem Ordnungszustand in einen anderen über. Instabilitäten bilden demnach den Ursprung der Systementwicklung.

In *Kapitel III* werden wir die unabhängige Entstehung von insgesamt sieben Konzepten der Selbstorganisation aus dem Zeitraum 1960 bis 1974 behandeln. Im Folgenden wollen wir diese Ansätze kurz skizzieren, damit dem weniger informierten Leser die in Kapitel II hergestellten Bezüge zwischen den frühen und modernen Selbstorganisationskonzepten einsichtiger werden.<sup>4</sup>

(1) Die Theorie *dissipativer Strukturen*: Ihr Schöpfer ist der Chemiker und Thermodynamiker Ilya Prigogine, der sich in den 1960er Jahren dem Problem der Ordnungsentstehung in dissipativen (energiestreuenden) Systemen zuwandte; zu seiner Lösung gelangte er, indem er den Formalismus der irreversiblen Thermodynamik auf Nichtgleichgewichtsprozesse ausdehnte. Damit wurde erstmals beschrieben und erklärt, wie »Ordnung aus Fluktuation« entstehen kann: Im Falle nicht-linearer Ungleichgewichte können (mikroskopisch) kleine energetische Fluktuationen - seien dies Störungen aus der Umwelt oder systemische Eigenfluktuationen - das System in einen ganz neuen (makroskopischen) Zustand treiben und dadurch zum Motor der Systementwicklung werden. Diese ist abhängig von den Anfangsbedingungen der Systemdynamik, d. h. von der bisherigen »Geschichte« des Systems. Obgleich ein solches System kausal determiniert ist, kann der künftige Entwicklungspfad von einem Beobachter nicht vorausgesagt werden.

(2) Die Theorie der *Synergetik*: ihr Begründer, der Physiker Hermann Haken, demonstrierte in den 1960er Jahre am Beispiel des Lasers, wie aus einem zunächst völlig ungeordneten (chaotischen) »Gemisch« von Lichtwellen unterschiedlichster Frequenz und Phase (normales Licht) ein einziger monochromatischer Wellenzug von hoher Kohärenz (eben Laserlicht) hervorgehen kann, indem die Emissionen der Lasertome spontan koordiniert werden. Entscheidend dabei ist, daß diese Koordination vom Laserlicht selbst geleistet wird: durch die besondere Konstruktion der Laserapparatur erhält ein bestimmter Wellenzug einen minimalen Vorteil gegenüber allen anderen, sich zu verstärken, so daß er schlagartig alle anderen Laserelektronen dazu zwingt, ihre Photonenwellen in gleicher Phase mit ihm zu emittieren (dies nennt Haken »Versklavung«). Unter den kritischen Moden findet eine Selektion statt dergestalt, daß die »siegreiche« Welle zum »Ordner« wird, wie Haken sagt, d. h. das Leuchtverhalten der Elektronen bestimmt. Umgekehrt bringen aber die Elektronen durch ihr gleichmäßiges Schwingen den Ordner erst hervor. Das Auftreten des Ordners und

---

<sup>4</sup> Vgl. auch die Kurzcharakteristik der Ansätze in: G. Küppers und R. Paslack, »Die Entdeckung des Komplexen - Zur Entstehung und Entwicklung der Theorie der Selbstorganisation«, in: F. Schafstedde (Hg.), *Der ganze Mensch und die Medizin*, Hamburg 1989, S. 71 ff.

---

das kohärente Verhalten der Elektronen bedingen sich daher wechselseitig: beides »synergisiert«. - In der Folge entwickelte Haken eine globale Theorie der »Synergetik« (»Lehre vom Zusammenwirken«), die eine große Klasse verschiedenartigster (natürlicher, sozialer und kultureller) Phänomene der Entstehung von Ordnung aus Unordnung durch selektive Selbstkoordination der dynamischen Systemkomponenten nach dem Vorbild des Lasers umfaßt: das Spektrum der Anwendungen reicht von der Populationsdynamik bis hin zur Mustererkennung in »synergetischen Computern«.

(3) Die Theorie *autokatalytischer Hyperzyklen*: Sie ging aus den Arbeiten des Biochemikers Manfred Eigen zur molekularen Selbstorganisation in den 1960er Jahren hervor. Indem Eigen zeigte, daß die Entstehung von Leben das Resultat von molekularen Ausleseprozessen ist, gelang ihm eine Erweiterung der darwinistischen Selektionstheorie auf den präbiotischen Bereich. Autokatalytische Prozesse von Polynukleotiden verketteten sich zu einem »Hyperzyklus«, der in hohem Maße zur Korrektur von Replikationsfehlern und damit zur Erhaltung und Weitergabe komplexer Information befähigt ist. Verschiedene Hyperzyklen konkurrieren als »Quasispezies« miteinander um die knappen Aminosäuren zur Produktion von Proteinen und stimulieren so wechselseitig ihre Evolution; dieser Vorgang läßt sich in Form von Optimierungsmodellen mathematisch darstellen.

Entscheidend für das weitere Evolutionsgeschehen ist, daß die als »Eigenwert« eines komplexen Selektionsprozesses entstandene organische Struktur (DNA) zur maßgeblichen Randbedingung der biologischen Evolution wird. Bei Organismen, vom Prokaryonten an aufwärts, zeigt sich die »operationale Geschlossenheit« ihrer Prozeßorganisation also daran, daß sie über ihren genetischen Code die inneren Randbedingungen selbst festlegen. Auf dieser Stufe kommt damit ein neuer Schub in die Entwicklung: Organismen testen nicht nur wie präbiotische Systeme ihre Angepaßtheit an die Umwelt, sondern *organisieren* ihre Anpassung eigendynamisch.

(4) *Chaostheorien*: hier werden wir zwei Konzepte näher behandeln: zum einen die Arbeiten des Mathematikers und Meteorologen Edward N. Lorenz, der 1960 mit dem Computer ein globales Wettermodell entwickelt und dabei festgestellt hatte, daß seine Simulationen zwar gewisse Grundmuster produzierten, niemals aber exakte Wiederholungen zeigten. Es herrschte eine Art von »geordneter Unordnung« - Chaos und Stabilität in einem. Zwei Simulationen (zwei Wetterkurven), die von nahezu demselben Punkt (Rundungsfehler bei der Eingabe erlauben keine exakte Wiederholung) ausgingen, divergierten in der Folge immer weiter voneinander. Das Wettersystem war offenbar ein System, das keine Periodizität aufwies, mithin auch keine längerfristigen Vorhersagen erlaubte. Geringe Inputabweichungen können zu drastischen Outputdifferenzen führen. Das bedeutet, daß das Wettersystem offensichtlich von den Anfangsbedingungen »sensitiv abhängig« ist (»Schmetterlingseffekt«). Lorenz wandte sich daraufhin der Untersuchung anderer nicht-linearer Systeme, speziell konvektiver Strömungen, zu, deren Verhalten ebenfalls von sich selbstverstärkenden positiven Rückkoppelungen bestimmt wird. Er erkannte, daß bereits einfache deterministische Systeme (wie etwa Wasserräder oder Pendel) in Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen aperiodisches, chaotisches Verhalten zeigen können (Wechsel des Rotationssinns, Umpolungen usw.).

Zum andern werden wir auf die Begründung der »fraktalen Geometrie« durch den Mathematiker Benoit Mandelbrot eingehen: Mandelbrot erkannte Ende der 1960er/Anfang

---

der 1970er Jahre, daß sich die unregelmäßigen Raum-/Zeit-Strukturen etwa von Küstenverläufen, Bergketten oder Störungen im Telegrafennetz in jedem Maßstab der Analyse wiederholen: auch beim Wechsel auf eine geringere Skalierungsstufe werden diese Strukturen nicht einfacher oder regelmäßiger, sie behalten vielmehr ihre komplexe Ordnung bis hinab zu atomaren Maßstäben bei; sie sind offenbar in maßstabsunabhängiger Weise »selbstähnlich«. Derartig »selbstähnliche« Strukturen lassen sich mit Hilfe der euklidischen Geometrie nun nicht mehr adäquat beschreiben, insbesondere deshalb nicht, weil z. B. eine in jeder Skalierung bizarre Zickzacklinie keineswegs zwei-, sondern »gebrochen«-dimensional ist. Mandelbrot schlug daher eine »fraktale Geometrie« vor, die mit unganzzahligen Dimensionen Objekte beschreibt, wobei ein und demselben Objekt je nach verwendetem Maßstab eine andere Dimension zukommen kann. - Dieses fraktale Beschreibungsmodell wiederum bahnte Physikern den Weg zu einem neuen Verständnis der komplexen Strukturen dynamischer Systeme, wie z. B. der turbulenten Strömungen in Flüssigkeiten.

(5) Systemtheoretische kybernetische Ansätze: Im Mittelpunkt werden hier die Arbeiten des Physikers und Kybernetikers Heinz von Foersters stehen. 1960 war von Foerster mit Hilfe des Redundanzbegriffes von Shannon eine phänomenologische Beschreibung der Ordnungsentstehung und -zunahme gelungen. Die Ordnung eines Systems kann nicht allein durch den Import von Ordnung aus der Umwelt, sondern auch - selbstorganisiert - durch die »Verwendung« energiereicher Störungen wachsen (Prinzip des »order from noise«). »Ordnung durch Störung« bedeutet, daß die Prozeßdynamik gerade die Störungen (energetischen Impulse) aus der Umwelt auswählt und einbaut, die zu einem Zuwachs an innerer Ordnung führen. Was in das System Einlaß findet, ist lediglich strukturiertes »Baumaterial«, das einer bereits existierenden inneren Ordnung des Systems eingepaßt bzw. zu deren Organisation oder Reorganisation nach systemeigenen Regeln benutzt wird. Die »eigengesetzliche« (autonome) Verwandlung von Energie (aus Störungen) in Struktur ist somit die wesentliche Leistung selbstorganisierender Systeme. Dabei spielen rekursive (rückkoppelnde) Prozesse eine herausragende Rolle.

Wie sich positive Rückkopplungsprozesse der »Abweichungsverstärkung« als Mechanismen der Erzeugung und Differenzierung von Ordnung charakterisieren lassen, werden wir anschließend bei Magoroh Maruyama kennenlernen.

(6) Autopoiese und Selbstreferentialität: Auf der Suche nach den Organisationsprinzipien des Lebens (und des Nervensystems) kamen die Neurobiologen Humberto Maturana und Francisco Varela zu Beginn der 1970er Jahre zu einer verblüffenden Antwort: Lebewesen seien »autopoietische Systeme«, d. h. Systeme, die ihre Komponenten durch das Netzwerk der Operationen herstellen, das durch diese Komponenten definiert wird. Die »kreis-produktionale« Geschlossenheit definiert die autopoietische *Organisation* von Lebewesen überhaupt, während ihre je verschiedenen artspezifischen *Strukturen* (Anatomie, Physiologie usw.) diese Organisation nur jeweils spezifizieren. Solche Systeme sind also *operational geschlossen*, da sie zyklisch die Elemente, aus denen sie bestehen, aus eben diesen Elementen selbst erzeugen (vgl. Eigens »Hyperzyklus«). Dies können »allopoietische« Systeme, wie etwa Maschinen, die zu einem bestimmten technischen Zweck *konstruiert wurden*, nicht. - Wiederum sind es kritische Fluktuationen, die ein autopoietisches System instabilisieren und seine Struktur in ein neues Regime evolvieren lassen können. Die gleichen Bedingungen, die einem System seine

---

Autopoiese ermöglichen, nämlich Offenheit, Ungleichgewicht und spezifische Autokatalyse, ermöglichen ihm auch - über eine interne Selbstverstärkung von Fluktuationen - den evolutionären Durchlauf durch eine unbestimmte Sequenz von Ordnungsregimes.

Was die Theorie der Autopoiese als eine Theorie der selbstreferentiellen Geschlossenheit von dynamischen Systemen zudem epistemologisch (kognitionsbiologisch) interessant macht, ist die Konsequenz, daß autopoietische Systeme auch *informationally geschlossen* sind: die Wirklichkeit ist für solche Systeme kognitiv nur insofern vorhanden und so strukturiert, als sie und wie sie im Netzwerk ihrer Komponenten definiert wird. Umwelt und Selbst werden nicht unabhängig von der Organisation des Systems als ganzem wahrgenommen und verstanden; dies gilt für biologische Systeme mit und ohne Gehirn (der Lebensprozeß selbst ist bereits Erkenntnisprozeß, dessen Differenziertheit freilich durch die Tätigkeit eines speziellen Nervenapparates gesteigert werden kann). Die These, daß die vermeintliche »Repräsentation« der Außenwelt immer nur eine besondere Form der Selbstrepräsentation eines bestimmten kognitiven Systems (Lebewesens) ist, sollte zum epistemologischen Fundament des sogenannten »Radikalen Konstruktivismus« werden.<sup>5</sup>

(7) Die Theorie des »elastischen« Ökosystems: Mitte der 1960er Jahre kommt es im Bereich der Ökologie (Ökosystemforschung) durch das Konzept der »Koevolution« (P. Ehrlich, J. Lovelock, L. Margulis) und Untersuchungen zur Stabilität von Ökosystemen jenseits des Gleichgewichts zu neuen Modellvorstellungen. Besonders die Forschungen von C. S. Holling zur Anwendbarkeit der Systemtheorie auf ökologische Fragestellungen verdienen hier Aufmerksamkeit. 1973 führte Holling die Unterscheidung zwischen »stability« und »resilience« ein, um zu einem besseren Verständnis dynamischer Prozesse in Ökosystemen zu gelangen. Er ging von der Beobachtung aus, daß bei kritischen Störungen die Stabilität eines Ökosystems nicht mehr gewährleistet ist. Bedeutet »stability« - ganz i. S. der Tradition -, daß ein Ökosystem in der Lage ist, sein Gleichgewicht oder eine bestimmte Dynamik aufrechtzuerhalten, so bezieht sich »resilience« auf die Fähigkeit eines Systems, angesichts starker Umweltturbulenzen mit internen Strukturänderungen antworten bzw. in einen anderen Gleichgewichtszustand überwechseln zu können. »Elastizität« ermöglicht dem Ökosystem also diskontinuierliche Übergänge (»jumps«) in neue Ordnungsregimes. Von seinem inneren Reichtum (an Arten und anderen Komponenten) hängt der Grad seiner Elastizität - seiner Wandelbarkeit und mithin seiner Überlebensfähigkeit - entscheidend ab.

In einer solchen ökosystemischen Sicht ist Evolution stets »Ko-evolution«: alle ein Ökosystem konstituierenden Komponenten entwickeln sich in mehr oder minder enger Koppelung. Dadurch befindet sich das Ökosystem in ständiger evolutionärer Unruhe. Das Ungleichgewichtsprinzip erscheint auf der ökologischen Ebene als Inter-Systembedingung für Symbiose und Koevolution. In diesen Rahmen fügt sich die 1974 von J. Lovelock und L. Margulis entwickelte »Gaia«-Hypothese, derzufolge die gesamte Biosphäre der Erde als ein - gleichsam autopoietisches - System koevolvierender Komponenten erscheint.

---

<sup>5</sup> Siehe dazu einschlägig: S. J. Schmidt (Hg.), *Der Diskurs der Radikalen Konstruktivismus*, Frankfurt a. M. 1987.

---

Betrachtet man die Ausbildung dieser sieben Urkonzepte der modernen Selbstorganisationsforschung in historischer Perspektive, d. h. im Blick auf die spezifischen Voraussetzungen, die ihre Formulierung ermöglicht und ihren späteren Erfolg befördert haben, so sollte man insbesondere zwei Momente schon jetzt im Auge behalten (ihrer genaueren Erörterung und Plausibilisierung dient das Kapitel II):

(1.) Die ersten Selbstorganisationskonzepte werden entwickelt für die Lösung von Problemen, die sich aus der traditionellen Forschung ergeben haben; sie versuchen daher zunächst - ganz »unrevolutionär« - an *konventionelle* (»*normalwissenschaftliche*«) *Forschungskontexte* anzuschließen; recht bald wird jedoch deutlich, daß dieser Anschluß nicht bruchlos gelingen kann, daß strukturell abweichende Problemwahrnehmungen und Problembearbeitungsweisen die neuen Konzepte charakterisieren und daß ihnen eine über den speziellen Problembereich hinausreichende Bedeutung zukommt, die zum einen neue Forschungsperspektiven eröffnet und zum andern herkömmliche Beschreibungs- und Erklärungsmuster radikal infrage stellt.

(2.) Partiiell - so vor allem im Falle der Untersuchung chaotischen Systemverhaltens - knüpfen einige der neuen Selbstorganisationskonzepte mit großem Erfolg an die *Entwicklung leistungsfähiger Digitalrechner* an, deren hohe Rechenkapazitäten und Grafikfähigkeiten bestimmte Entdeckungen von Selbstorganisationsphänomenen und ihre Aufklärung erst möglich machen (so verdankt Mandelbrots »experimentelle Geometrie« dem Computer sowohl seinen wissenschaftlichen Durchbruch als auch seine allgemeine Popularität). Möglicherweise markieren diese beiden Momente - die erfolgreiche Bearbeitung und unvermutete Bedeutungsaufwertung traditioneller »Forschungsrätsel« einerseits und die Steigerung experimenteller und/oder mathematischer Analysemethoden durch eine technische Innovation andererseits - zwei Erfolgsbedingungen wissenschaftlicher Revolutionen überhaupt.