

# **SELBSTORGANISATION**

**Jahrbuch für Komplexität  
in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften**

Herausgegeben von Uwe Niedersen (geschäftsführend)

Wissenschaftlicher Beirat

Hans-Georg Bartel, Werner Ebeling, Rainer Feistel, Hermann Haken,  
Rainer-M. E. Jacobi, Wolfgang Krohn, Hans-Jürgen Krug, Hans-Peter Krüger,  
Lothar Kuhnert, Bernd-Olaf Küppers, Günter Küppers, Niklas Luhmann,  
Reinhard Mocek, Uwe Niedersen, Ilya Prigogine, Peter Schuster, Frank Schweitzer

**Band 1 1990**

**Selbstorganisation und Determination**

Herausgegeben von

Uwe Niedersen und Ludwig Pohlmann



**Duncker & Humblot · Berlin**

# SELBSTORGANISATION

Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften

Herausgegeben von Dr. sc. phil. Uwe Niedersen (geschäftsführend); Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftstheorie und -geschichte, Gimritzer Damm, PF 8 D-O 4010 Halle (Saale)

*Wissenschaftlicher Beirat:* Doz. Dr. Hans-Georg Bartel, Berlin / Prof. Dr. Werner Ebeling, Berlin / Doz. Dr. Rainer Feistel, Rostock / Prof. Dr. Hermann Haken, Stuttgart / Rainer M.-E. Jacobi, Halle und Berlin / Dr. Wolfgang Krohn, Bielefeld / Prof. Dr. Hans-Peter Krüger, Berlin / Dr. Bernd-Olaf Küppers, Göttingen / Dr. Günter Küppers, Bielefeld / Dr. Hans-Jürgen Krug, Berlin / Dr. Lothar Kuhnert, Berlin / Prof. Dr. Niklas Luhmann, Bielefeld / Prof. Dr. Reinhard Mocek, Halle / Doz. Dr. Uwe Niedersen, Halle / Prof. Dr. Ilya Prigogine, Brüssel / Prof. Dr. Peter Schuster, Wien / Dr. Dr. Frank Schweitzer, Berlin und Rostock.

Das Jahrbuch und alle in ihm enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, welcher Art auch immer, außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der Zustimmung des Verlages. Dies gilt auch für Übertragungen in eine von Maschinen insbes. Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Sprache.

Eine Haftung für unverlangt eingereichte Manuskripte wird nicht übernommen. Eine Rückgabe erfolgt nur, wenn Rückporto beigelegt ist. Die Einreichung des Manuskripts stellt ein Angebot an Verlag und Redaktion zur Übertragung des ausschließlichen Verlagsrechts für die Zeit bis zum Ablauf des Urheberrechts dar. Die Annahmeerklärung kann förmlich erfolgen, sie kann aber auch implizit durch Abdruck des Manuskripts ausgesprochen werden. Das übertragene Verlagsrecht schließt auch die Befugnisse zur Einspeicherung in eine Datenbank sowie zu weiteren Vervielfältigungen zu gewerblichen Zwecken in jedem möglichen Verfahren ein. Dem Autor verbleibt die Befugnis, nach Ablauf eines Jahres anderen Verlagen eine einfache Abdruckgenehmigung zu erteilen. Ein eventuelles Honorar hieraus steht dem Autor zu.

Bestellungen können an jede Buchhandlung oder direkt an den Verlag gerichtet werden.

Verlag Duncker & Humblot GmbH, Dietrich-Schäfer-Weg 9, 1000 Berlin 41  
Ruf: 0 30 / 79 00 06 - 0, Telefax: 0 30 / 79 00 06 31

Druck: Druckerei Gerike GmbH, Berlin 36

ISSN 0939-0952

ISBN 3-428-07084-4

## Zum Geleit

„Selbstorganisation“ bezeichnet ein neues Paradigma in den Wissenschaften. Es umfaßt unterschiedliche Konzeptionen wie die Synergetik und die Autopoiese. Sie haben als gemeinsamen Bezugspunkt die Entstehung und Dynamik von Komplexität. Natur, Mensch und Gesellschaft können mithin als offene, innovative Wirklichkeitsbereiche verstanden werden.

Mit dem Paradigma „Selbstorganisation“ wird eine grundsätzliche Kritik am mechanistischen Weltverständnis und seinem natur-, sozial- und geisteswissenschaftlichen Reduktionismus vollzogen.

Insofern die Geschichtlichkeit von Denkformen, so auch der kulturprägende Prozeß des neuen Paradigmas selbst zum Thema wird, kommt diesem Modell eine über den wissenschaftlichen Rahmen weit hinausreichende Bedeutung zu.

Die Vielfalt und Ambivalenz natürlichen und menschlichen Seins und Werdens im Lichte der „Selbstorganisation“ darzustellen und zu hinterfragen, hierbei dieses Paradigma auch selbst zum Thema kritischer Betrachtungen zu machen, soll Aufgabe und Anspruch des Jahrbuchs sein. Es versteht sich als ein offenes Podium zur Beförderung des interdisziplinären und interkulturellen Dialogs. Dieser thematischen Breite sollen auch die Formen der Darstellung entsprechen: sie reichen vom wissenschaftlichen Aufsatz über den Bericht, die Rezension und die Edition bis hin zum philosophischen Traktat, dem polemischen Dialog sowie gelegentlich dem eher künstlerischen Essay.

Halle u. a. im September 1990

Herausgeber und Beirat



## Inhaltsverzeichnis

### Aufsätze

|   |     |
|---|-----|
| <i>Ilya Prigogine und Isabelle Stengers, Entwicklung und Irreversibilität</i> .....   | 3   |
| <i>Hermann Haken, Über das Verhältnis der Synergetik zur Thermodynamik, Kybernetik und Informationstheorie</i> .....                                  | 19  |
| <i>Uwe Niedersen und Ludwig Pohlmann, Komplexität, Singularität und Determination. Die Koordination der Heterogenität</i> .....                       | 25  |
| <i>Werner Ebeling, Instabilität, Mutation, Innovation, Erneuerung aus evolutionstheoretischer Sicht</i> .....   | 55  |
| <i>Ludwig Pohlmann und Uwe Niedersen, Dynamisches Verzweigungsverhalten bei Wachstums- und Evolutionsprozessen</i> .....                              | 63  |
| <i>Rainer Feistel, Ritualisation und die Selbstorganisation der Information</i> .....   | 83  |
| <i>Hans-Georg Bartel, Über Verwendungsmöglichkeiten der Theorie der Begriffsverbände zur Beschreibung von Aspekten der Evolution</i> .....            | 99  |
| <i>Wolfgang Krohn und Günter Küppers, Selbstreferenz und Planung</i> .....  | 109 |
| <i>Hans-Peter Krüger, Luhmanns autopoietische Wende. Eine kommunikationsorientierte Grenzbestimmung</i> .....   | 129 |
| <i>Christian Dahme, Selbstorganisation und Tätigkeitstheorie</i> .....  | 149 |
| <i>Reinhard Mocek, Einsicht statt Voraussicht — Aspekte einer Ethik der Selbstorganisation</i> .....  | 163 |
| <i>Rainer-M. E. Jacobi, Die Einheit von Leben und Tod — Überlegungen im Vorfeld eines neuen Zugangs zur Struktur des Denkens in der Medizin</i> ..... | 179 |
| <i>Hans-Georg Bartel und Jochen Hallof, Der Aspekt der Selbstorganisation in altägyptischen Kosmogonien</i> .....                                     | 195 |

**Editionen**

|   |     |
|---|-----|
| Aus der Lebenschronik von Alwin Mittasch ( <i>Uwe Niedersen</i> ) ..... | 219 |
|---|-----|

**Buchbesprechungen**

|  |     |
|--|-----|
| Cramer, Friedrich, Chaos und Ordnung. Die komplexe Struktur des Lebendigen<br>( <i>Uwe Niedersen</i> ) .....   | 229 |
| Nicolis, Gregoire und Prigogine, Ilya, Die Erforschung des Komplexen. Auf dem<br>Wege zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften ( <i>Frank Schweitzer</i> ) | 230 |
| Mocek, Reinhard, Neugier und Nutzen. Blicke in die Wissenschaftsgeschichte<br>( <i>Wolf Kummer</i> ) .....   | 232 |
| Laszlo, Ervin, Evolution — die neue Synthese. Wege in die Zukunft ( <i>Gerd<br/>Gebhardt</i> ) .....   | 232 |
| Riedl, Rupert, Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen<br>der Vernunft ( <i>Michael Köhler</i> ) .....  | 234 |
| <b>Autorenverzeichnis</b> .....  | 235 |
| <b>Vorschau</b> .....  | 236 |

# Entwicklung und Irreversibilität

Von *Ilya Prigogine* und *Isabelle Stengers*, Brüssel\*

## 1. Von einer geschlossenen Welt zum offenen Universum

Alexandre Koyré<sup>1</sup> hat die intellektuelle und kulturelle Revolution, die die Geburt der modernen Physik begleitete, als die Zerstörung der Vorstellung (die wir den Griechen verdanken) einer geschlossenen, hierarchischen Welt, die um die Menschen zentriert war, beschrieben. An ihre Stelle trat die Vorstellung eines unendlichen Universums, in dem die Erde keine privilegierte Stellung mehr hat und in welcher die Wertvorstellungen der Menschen und ihrer Gesellschaften keine Rechtfertigungen mehr vorfinden. Zerstörung und Aufbau sind, wie Koyré mit großer Gründlichkeit zeigte, gerade den Prinzipien der neugeborenen Physik inhärent, allen voran dem Trägheitsprinzip. Denn ein Raum, in dem die gleichförmige Bewegung mit der gleichen Berechtigung wie die Ruhe als ein *Zustand* definiert werden kann, ist ebenfalls ein „stummer“ Raum, in dem sich der Mensch als freies und bewußtes Individuum isoliert vorfindet, da er seinen Hoffnungen und Entscheidungen keinerlei Sinn gibt. Aber die Beschreibung Koyrés läßt die eigentlichen Grenzen im Dunkeln, die die Entwicklung der Konzeption der Physik durch den Begriff des unendlichen Universums hervorgebracht hat. Das Universum als Gegenstand der Wissenschaft, die die aristotelische Kosmologie ablöste, ist unendlich in seinen Dimensionen, aber es enthüllt sich gleichfalls als eine geschlossene Welt im Sinne der Abwesenheit von Entwicklung und Neubildung. Es ist eine Welt, deren stabile und periodische Planetenbahnen um die Sonne ihre adäquate Darstellung sind. Aus dieser Perspektive ist die von Koyré beschriebene Revolution nur ein Vorspiel der Entdeckung des offenen Universums gewesen, in dem eine Entwicklung möglich ist, die sich nicht auf die Wiederholung des Gleichen reduzieren läßt.

Der Übergang von einer „geschlossenen“ Welt zu einem „unendlichen“ Universum hat Begeisterung und Verwirrung aufleben lassen. Dagegen wurde der aus

---

\* Mit freundlicher Zustimmung des Autors erscheint dieser Text als ein redigierter Nachdruck aus: Uwe Niedersen (Hrsg.), *Komplexität — Zeit — Methode* (II), Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1988/4 (A 102), Halle (Saale) 1988, S. 143 - 166. Hierbei handelt es sich um eine Übersetzung des französischen Textes „*Devenir et Irreversibilité*“ durch die Herren *Jörg Enderlein* und *Hartmut Linde*.

<sup>1</sup> A. Koyré, *Édudes galiléennes*, Paris 1966. A. Koyré, *Du monde clos à l'univers infini*, Paris 1973.

dieser Revolution hervorgehende radikale Charakter einer Negierung aller Entwicklung erst beim weiteren Ausbau der Theorie verstanden. Erst Ende des 19. Jahrhunderts setzte sich der Gedanke durch, daß eine Bewegung nach den Gesetzen der Dynamik eine Symmetrie zwischen „Vorher“ und „Nachher“ (Vergangenheit und Zukunft) fordert und somit die Natur keine Unterscheidung zwischen einer Entwicklung und der umgekehrten, die ein System auf seinen Ausgangszustand wieder zurückführen würden, erlaubt. Das war auch der Zeitpunkt, in dem sich die Frage nach einer dynamischen Interpretation der *irreversiblen* Entwicklung, die der zweite Hauptsatz der Thermodynamik vorschrieb, stellte. Bis dahin existierte nämlich der explizite Begriff einer reversiblen Zeit noch nicht. Man unterscheidet gewöhnlich zwischen den Kulturen, in denen sich das „Werden“ als zyklisch darstellt, und denjenigen, wie z. B. der jüdisch-christlichen Kultur, die von einer linearen Zeit ausgehen, die die Zeit des Heils oder des Fortschritts ist.

Aber ein zyklischer Charakter der Entwicklung impliziert die Wiederholung und nicht die Symmetrie zwischen dem Vorher und dem Nachher. Der einzelne Zyklus wird sinnvoll durch Geburt, Wachstum und Tod. Was die Reversibilität der Zeit selbst betrifft, so schließt sie mit Recht die Möglichkeit einer für uns unbegreifbaren Welt ein, in welcher der Lauf der Dinge sich umkehren könnte, in der die Lebewesen sich fortlaufend verjüngen würden und sich selbst der Begriff eines Prozeßablaufs als illusionär erweist. In der beobachtbaren Welt liefern uns allein die periodischen Planetenbahnen oder das ideale Pendel ein Evolutionsmodell, welches nicht nur die ewige Wiederholung des gleichen darstellt, sondern auch die Symmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft. In diesem Sinne ist die Beziehung zwischen Irreversibilität und Entwicklung das eigentliche Problem der modernen Physik. Selbst das Wort „Irreversibilität“ spiegelt als eine Negation diese Besonderheit wider: Indem es durch die Verneinung einer Eigenschaft gekennzeichnet ist, zeigt es nur die Voraussetzungen des *gesamten* Konzepts der Entwicklung (sei sie nun linear oder zyklisch) sowie der vollständigen Definition des Augenblicks. Man kann sagen, daß die Entdeckung der Einschränkungen, welche die Gleichungen der Dynamik dem Evolutionsbegriff auferlegen, eine ebenso fundamentale Revolution der Zeitkonzeption darstellte, wie es einige Jahre später durch die Relativitätstheorie Einsteins passierte. Es stellt sich die Frage, wie die moderne Physik über mehr als zwei Jahrhunderte lang diese Beschränkungen durch die (reservible) Dynamik ertragen konnte, ohne dabei in ihrem Fortschreiten gehemmt zu werden.

Zurückblickend ist es leicht, die Methode der Konzeptionalisierung aufzuzeigen, die den „Pfeil der Zeit“ zunichte macht. Sie trägt einen Namen, den ihr Leibniz<sup>2</sup> verliehen hat: das Prinzip der Kausalität oder des hinreichenden Grundes. Das bedeutet die Äquivalenz zwischen vollständiger Ursache und ganzer Wirkung. Dieses Prinzip sagt nichts weiter aus, als daß sich jede Sache erklären läßt

<sup>2</sup> G. F. Leibniz, *Essais de Théodicée*, Paris 1969.

und sich nichts ohne Ursache vollzieht. Im Fall einer irreversiblen Evolution, die gemäß des Fourierschen Gesetzes zum Gleichgewicht führt, entspricht dies dem Gesetz der Verursachung. Eine solche Evolution hat eine Temperaturdifferenz zur Ursache, die sich dann bis auf Null abbaut. Das Prinzip des hinreichenden Grundes postuliert nicht nur die Existenz der Ursache, sondern die *Äquivalenz* von Ursache und Wirkung. Leibniz war es, der in der Bewegungslehre, die er „Dynamik“ taufte, die Reichhaltigkeit dieses Prinzips aufdeckte, und tatsächlich bekam im Werk von Galilei und Huyghens *nicht die Idee von einer Verkettung, sondern von einer Gleichheit* von Ursache und Wirkung ihren Sinn. Ein beweglicher Körper bekommt auf einer geneigten Ebene eine solche Geschwindigkeit (im Idealfall), die ausreicht, um seine ursprüngliche Höhe wieder zu erreichen. Das, was der Fall „verbraucht“ hat, ist gleich dem, was er „erzeugt“ hat. Diese Gleichheit bestätigt sich durch die Möglichkeit, den Prozeßablauf umkehren zu können, denn indem der bewegte Körper die erzeugte Geschwindigkeit „verbraucht“, kann er das wiederfinden, was er verloren hat, nämlich seine Anfangshöhe. Diese Überlegung, die eine Konzeption zur Folge hat, die wir heute mit dem Begriff der (kinetischen und potentiellen) Energie verbinden, erlaubt es, das Gleichheitszeichen zwischen zwei Größen zu setzen: zwischen  $mgh$ , der „verlorenen“ Quantität durch den Fall von  $h$  auf Null und  $m \cdot v^2/2$ , der gewonnenen Quantität durch einen Fall, der einem Körper die Geschwindigkeit  $v$  verliehen hat.

Von Galilei bis Lagrange und besonders Hamilton bekam der zureichende Grund tatsächlich den Status eines Prinzips der Begreifbarkeit, den Leibniz ihm zuerkannte, denn er erlaubte diese Gleichstellung und damit auch die reine kanonische Darstellung der gesamten Dynamik. Selbst in der Sprache der Dynamik fand er sich auf der syntaktischen Ebene wieder. Und damit verbunden, verallgemeinerte diese Sprache alles, was (im Sprachgebrauch von Galilei) den bewegten Körper seine Anfangshöhe wiedergewinnen ließ. Die Sprache der Dynamik bestimmte die Operation der gleichzeitigen Umkehrung der Geschwindigkeitsrichtungen aller Teile eines dynamischen Systems als äquivalent zur Umkehrung des Zeitpfeils.

Während zu Beginn des 18. Jahrhunderts diese Konsequenz einer derartigen Konzeptionalisierung der Dynamik nicht zur Kenntnis genommen wurde, waren der Determinismus und das Ideal der Allwissenheit, die ebenfalls daraus abgeleitet wurden, Gegenstand der Debatte. Gerade die Begriffe der *vollständigen* Ursache und der *ganzen* Wirkung drücken das Ideal der Allwissenheit aus. Am Beispiel des Buridanschen Esels, der zwischen zwei ganz gleichen Anziehungen schwankte, präziserte Leibniz, daß in diesem Falle die Definition der vollständigen Ursache und der ganzen Wirkung auf denjenigen verweist, der in der Lage wäre, im Geiste des Esels die immense Menge von kleinen Eindrücken zu erkennen, die seine Einbezogenheit in das vollständige Universum ausdrücken. Jedoch einzig „Augen so durchdringend wie die Gottes“ wären in der Lage, die Gegenwart wie die gesamte Zukunft und Vergangenheit zu entschlüsseln und vorauszu-