

GANZHEIT, OFFENHEIT, DETERMINISTISCHES CHAOS UND
PAUL FEYERABENDS DADAISTISCHE ERKENNTNISTHEORIE

Das heute noch vorherrschende mechanizistisch-thermodynamische Weltbild der Physik, welches auch durch Quantenmechanik und Relativitätstheorie nicht wesentlich erschüttert wurde, läßt sich folgendermaßen charakterisieren:

1. Alle Systeme gehorchen Gesetzen, die sich auf mechanische zurückführen lassen und sind im wesentlichen linear: Kleine Ursachen können nur kleine Wirkungen hervorrufen und komplizierte Systeme lassen sich erschöpfend als Summe einfacher, unabhängiger Teilsysteme darstellen. Das Superpositionsprinzip schließt das "Ganzheitsprinzip" aus.

2. Alle realen Systeme lassen sich als geschlossene Systeme adäquat beschreiben. Strukturen, mit Ausnahme statischer Strukturen (Kristalle), können nur durch Fremdorganisation von außen gebildet werden. Sich selbst überlassen,

zerfallen sie wieder im Laufe der Zeit. Die unbestreitbare Offenheit realer Systeme ist nur eine unwesentliche Störung, die den Zerfall der Strukturen nur beschleunigen kann.

3. Alle Systeme gehorchen einer starren Determination. Diese kann entweder punktmechanisch für Ereignisse erfolgen, oder sich auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Ereignissen beziehen.

Im Punkt 2. kommt der II. Hauptsatz der Thermodynamik zum Ausdruck, wonach die Entropie (als Maß der Unstrukturiertheit) eines Systems in einem geschlossenen System niemals von selbst abnehmen kann /2, 3/:

$$dS > 0 .$$

Das gerade dargestellte Weltbild, eben in dieser stark vereinfachten Form, übt auch heute noch eine ungeheure Wirkung auf das geistige Leben aus. Wir finden es wieder in der Unbekümmertheit, mit der wir täglich lineare Prognosen stellen, in unserem naiven Glauben an die Planbarkeit einer komplexen

Wirklichkeit, in der herrschenden Schulmedizin, wonach es isolierte Krankheiten gibt, die isoliert geheilt werden können (und nicht der ganze Mensch ist krank und muß geheilt werden), bis hin zu unserem Kommunikationsverhalten, dessen bewußte Komponente in der Regel voraussetzt, ein Verhalten unseres Gegenüber habe immer genau eine Ursache (und ist nicht das Resultat einer Interferenz vieler Ursachen, die noch untereinander rückgekoppelt sein können). Die Stabilität dieses Weltbildes über mehr als ein Jahrhundert hinweg ist ein offensichtlicher Widerspruch zum Popperschen Falsifikationalismus. Denn das falsifizierende Gegenbeispiel existierte von Anfang an: die belebte Welt, die Evolution, Entwicklung und Komplexität der Lebewesen, also die ständige Entstehung und Erhaltung kompliziertester lebender Strukturen und das damit verbundene spontane Anwachsen der Entropie. Dieses Gegenbeispiel führte aber nicht zur Ablösung des Mechanizismus, sondern zu ad-hoc-Hypothesen zur Rettung des lieb gewonnenen Weltbildes (z.B. der Vitalismus). Die historischen Abläufe dagegen entsprechen viel besser der Theorie der wissenschaftlichen Revolutionen von Th. Kuhn. Danach wird das alte Paradigma (der Mechanizismus) nicht durch Gegenbeispiele, sondern nur durch ein neues Paradigma im Zuge einer wissenschaftlichen Revolution abgelöst.

So begann die Durchsetzung des neuen Paradigmas von der Selbstorganisation erst ab Ilya Prigogines genialer wie einfacher Idee, wonach der Schlüssel des obigen Paradoxons in der wesentlichen Offenheit der betrachteten Systeme liegt: im beträchtlichen Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung. Dann läßt sich die Änderung der Entropie als Summe von Entropieerzeugung diS im Innern des Systems und Entropieexport deS aus dem System heraus beschreiben /2, 3/:

$$dS = diS + deS .$$

Wenn nun durch die Energie- und Stoffströme mehr Entropie in die Umgebung exportiert wird, als gleichzeitig im Innern Entropie erzeugt werden kann ($-deS > diS$), so sinkt die Gesamtentropie des Systems, d.h. es entsteht spontan Ordnung, es werden spontan neue Strukturen generiert. Diese Strukturen können sich stabilisieren, wenn nach ihrer Entstehung die Entropieerzeugung genau durch den Entropieexport kompensiert wird ($-deS = diS$). Dabei gilt der II. Hauptsatz nach wie vor, da die innere Entropieerzeugung immer positiv ist ($diS > 0$). Das Neue aber ist die Erkenntnis, daß sich der II.

Hauptsatz als völlig irrelevant für offene Systeme erweist. Das ist ein Beispiel dafür, wie an sich richtige, aber auf die Problemstellung nicht zutreffende Sätze ein veraltetes Paradigma zementieren helfen.

Die Prigoginesche Feststellung trifft nun besonders für Lebewesen zu: Sie nehmen hochgeordnete Energie in Form von Nahrung auf, und geben diese dann hauptsächlich in Form von Wärme, von maximal ungeordneter Energie also, wieder an die Umgebung ab. Sie exportieren also, bei etwa gleichbleibender innerer Energie (das trifft nicht für die Wachstumsphase zu), ständig Unordnung, also Entropie, in die Umgebung. Dadurch nur können sie ihre komplizierten Strukturen aufrechterhalten.

Das Entropieexportgesetz liefert aber nur die notwendigen Bedingungen für die Möglichkeit von spontanen Strukturbildungen und von deren Aufrechterhaltung, es sagt nichts über die Art und Weise, wie dies geschehen kann. Das wird von anderen grundlegenden theoretischen Entwicklungen erfaßt, die hier durch ihre zentralen Begriffe Bifurkation (Poincare) und kooperatives (kollektives) Verhalten (Haken) repräsentiert sein sollen:

Mathematische Evolutionsgleichungen, die wesentlich nichtlinear sind, haben die Eigenschaft, bei der stetigen, langsamen Änderung von Kontrollparametern (z.B. von Parametern des inneren und äußeren Milieus bei Lebewesen) an bestimmten Punkten ihr Verhalten qualitativ, sprunghaft zu ändern. Da sich dabei meist eine bisher eindeutige Lösung der Gleichung in mehrere neue aufspaltet, nannte Poincare diesen Vorgang Bifurkation. Diese Bifurkationen gelten heute als adäquates mathematisches Bild der Emergenz des Neuen (neuer biologischer Arten beispielsweise). Bemerkenswerterweise wurde die Bifurkationstheorie schon ca. 1900 von Poincare begründet, blieb aber nur in Mathematikerkreisen bekannt und wurde in ihrer ganzen Tragweite erst nach Prigogines Entdeckung erkannt. Auch das spricht gegen den Falsifikationismus.

Beispiele für solche Prozesse, die durch Bifurkationen beschrieben werden, gibt es aber nicht nur in der belebten Natur, sondern auch in der unbelebten (die man deshalb schon gar nicht mehr als "tot" bezeichnen will): Eines der ältesten Beispiele sind die Benard-Zellen: Ein fluides Medium, welches sich unter dem Einfluß der Gravitation befindet und welches von "unten" her geheizt wird (z.B. \l in einer gleichmäßig von unten erhitzten Pfanne), ist erst ruhig und gleicht die Wärmedifferenz durch Wärmeleitung aus. Aber bei weiterer Temperaturerhöhung wird bald ein kritischer Punkt erreicht, in dem plötzlich das gesamte Medium in Bewegung gerät und sich dabei spontan in Form sechseckiger Zellen, in denen das Fluid kreisförmig strömt, organisiert. Diese Erscheinung ist aber nicht nur ein

interessantes Experiment, sondern auch die Grundlage vieler Naturerscheinungen: z.B. Wolkenstrukturen, Granulation der Sonnenoberfläche, Magmakonvektion (die wieder die Kontinentaldrift und den Erdmagnetismus zur Folge hat). An diesem Beispiel erkennt man auch gleich eine andere wesentliche Eigenschaft, die immer mit spontanen Strukturbildungen verbunden ist: Immer kommt es zu einem kooperativen Verhalten von unzähligen Einzelementen, zu langreichweitigen Korrelationen zwischen den Teilchenbewegungen. Diese Erscheinung wird besonders von der von H. Haken begründeten Synergetik, der "Lehre vom Zusammenwirken", erforscht /1/. Haken konnte zudem noch zeigen, daß diese Selbstorganisationsprozesse formal analog den Gleichgewichtsphasenübergängen in der klassischen Thermodynamik sind. So wie beim Schmelzen eines festen Stoffes sich die flüssige Phase, beginnend erst in wenigen Keimen, über das ganze Medium ausbreitet, kann man auch das Entstehen und die Ausbreitung einer biologischen Art als einen Phaseübergang betrachten.

Das oben vorgestellte Beispiel läßt aber noch weitere Schlüsse zu: Wenn man, nach der Ausbildung der Wabenstruktur, die Flüssigkeitsschicht noch stärker erhitzt, so beginnen die Zellen erst regelmäßig zu oszillieren, und bei weiterer Temperaturerhöhung geht die Flüssigkeitsbewegung schließlich in Turbulenz über. Diese Turbulenz darf aber nicht mit dem molekularen Chaos verwechselt werden. Es ist nach wie vor eine makroskopische, also in einem gewissen Sinne geordnete, Bewegung, nur ist die Ordnung so komplex, so vielschichtig geworden, daß sie uns als "Chaos" erscheint. Aus demselben Grunde wird auch das mathematische Bild der hydrodynamischen Turbulenz als "deterministisches Chaos" bezeichnet: Die o.g. nichtlinearen Evolutionsgleichungen können unter bestimmten Umständen eine ganze Reihe von Bifurkationen durchlaufen und in ihrem Resultat zu einer Bewegungsform kommen, die einerseits deterministisch und begrenzt ist, andererseits aber keinerlei Periodizität oder Quasiperiodizität aufweisen kann. Die Bewegung erscheint "chaotisch". Dieses "Chaos" hat aber eine Reihe neuer und bedeutsamer Eigenschaften /1, 5, 12 /:

1. Hypersensitivität: Chaotische Bewegungen kommen immer wieder, in unregelmäßig langen Abständen, an Punkte, wo der weitere Verlauf der Bewegung von allerkleinsten Störungen beeinflusst werden kann. Mathematisch bedeutet dies, daß zwei Trajektorien, die erst infinitesimal nahe benachbart sind, sich dann mit exponentieller Geschwindigkeit voneinander entfernen. Eine Folge der Hypersensitivität ist die prinzipiell begrenzte Vorhersagbarkeit künftiger Zustände bei chaotischen Bewegungen /11/, was sich auch in Form einer makroskopischen Unbestimmtheitsrelation formulieren läßt /6/.

2. Chaotische Bewegungen haben eine sehr komplizierte Feinstruktur, sie sind selbstähnlich und haben eine fraktale Dimension. Selbstähnlichkeit bedeutet, daß strukturelle Gegebenheiten der Bewegung sich

selbst ähnlich bleiben, auch wenn man immer kleinere Ausschnitte der Bewegung unter immer größerer Vergrößerung betrachtet. Die fraktale Struktur des Chaos aber bedeutet, anschaulich ausgedrückt, daß die Geometrie der Gesamtheit aller Bewegungen so unendlich stark zerklüftet ist, daß hier eine gerade, eine "glatte" Dimension nicht mehr zutreffend ist. Eine Linie ist dann beispielsweise so stark zerklüftet, daß sie schon fast eine Fläche ist.

Das deterministische Chaos hat noch andere interessante Eigenschaften. Wichtig war mir hier nur zu zeigen, daß dieses "Chaos" eine sehr hohe, komplexe Struktur besitzt und das es Determination und Zufall in nichttrivialer Art miteinander vereint. Es ist sogar denkbar, daß sich das deterministische Chaos als adäquates mathematisches Bild für alle Prozesse herausstellt, wo Komplexität, hierarchische Ordnung, Verzweigungskaskaden, Individualität und Schöpfertum eine Rolle spielen /6/. Denn die immerwiederkehrenden Punkte der Hypersensitivität haben, informationstheoretisch gesehen, zwei Aspekte: Einerseits geht an jedem dieser Punkte Information (über den Ausgangszustand) verloren, daraus resultiert die prinzipielle Unbestimmtheit, andererseits sind dies Punkte der Freiheit und des Schöpferischen, denn hier können einzelne Elemente den Verlauf des Geschehens wesentlich beeinflussen, wodurch Information auf der Makroebene generiert wird.

Ich bin nun der Meinung, daß das Chaos-Konzept, welches als erklärendes, heuristisches und methodologisches Prinzip (im Rahmen der Lehre von der Selbstorganisation) eine immer größere Rolle im Verständnis unserer Welt (belebte und unbelebte Natur, Psyche, Gesellschaft) spielt und spielen wird, auch Auswirkungen auf die Wissenschaftstheorie haben muß. Kuhn durchbrach die viel zu "ordentliche" Theorie von Popper, indem er zeigte, daß sich neue Paradigmata nicht zwangsläufig durchsetzen, wenn die alten falsifiziert sind, sondern nur durch spontan ablaufende Selbstorganisationsprozesse, die er wissenschaftliche Revolutionen nannte. Aber auch diese Theorie ist noch nicht "chaotisch" genug, was im o.g. Kontext nur sagen will, daß selbst sie nicht komplex genug ist, um die Entstehung und Ablösung wissenschaftlicher Komplexität (in Form von Theorien, Hypothesen, Interpretationen) adäquat erklären zu können. Sie sagt z.B. fast nichts darüber, wie sich die neuen Paradigmata durchsetzen.

Hier ist vor allem Paul Feyerabend zu nennen, der einen wesentlichen Schritt in diese Richtung mit seiner "anarchistischen" Erkenntnistheorie getan hat. Dabei versteht er Anarchismus aber eher im Sinne von Dadaismus: Er ist wohl der konsequenteste Vertreter von Methodenpluralität und methodischer Inkonsequenz in der wissenschaftlichen Forschung. Dies begründet er am Beispiel Galileis, der nur dank

ad-hoc-Hypothesen, methodischer Beweglichkeit und gar polemischer Tricks das neue Paradigma durchsetzen helfen konnte /9 S.33,34/. "(a) Regeln und Maßstäbe werden oft de facto verletzt, und (b) man muß sie verletzen, um in den Wissenschaften vorankommen zu können." /10 S.14/. Eine große Bedeutung erkennt Feysabend auch der Methode der Kontrainduktion zu: der Entwicklung von Theorien, Hypothesen, die anerkannten Beobachtungen, Tatsachen und experimentellen Ergebnissen widersprechen /9 S.50/. Denn alle Tatsachenaussagen enthalten natürliche Interpretationen (Vorurteile), die nur durch den Kontrast aufgedeckt werden können. Außerdem gibt es keine anerkannte Theorie, die mit allen Tatsachen übereinstimmt.

Ohne damals den Begriff des deterministischen Chaos zu kennen, sagt Feysabend sogar an einer Stelle, daß sich die wirkliche Wissenschaft chaotisch entwickelt. Allerdings kannte er schon die Lehre von der Selbstorganisation und bewertete sie als eine neue fundamentale Lehre, die im Rahmen der Wissenschaft selbst entsteht und dazu angetan ist, die Einseitigkeiten und die Dogmatik der bisherigen überspezialisierten Wissenschaft zu überwinden /9 S.25/.

"Rationalisten wollen, daß man immer rational handle, das heißt, man soll Entschlüsse nach Regeln und Maßstäben fällen, die sie und ihre Freunde für wichtig und grundlegend halten. Das Beispiel der Naturwissenschaften zeigt, daß solches Handeln zu nichts führt: die physikalische Welt ist zu komplex, als daß sie mit Hilfe "rationaler" Methoden beherrscht und verstanden werden könnte." /10 S.22/.

Referenzen und einführende Literatur

1. H. Haken: Erfolgsgeheimnisse der Natur, Stuttgart 1981
2. I. Prigogine: Vom Sein zum Werden, München 1979
3. I. Prigogine, I. Stengers: Dialog mit der Natur, München/ Zürich 1981
4. M.-L. Heuser-Keßler: Die Produktivität der Natur, Berlin(W.) 1986
5. U. Niedersen, L. Pohlmann: Singuläre Determiniertheit, Teil I und II, Wiss. Z. MLU Halle/Wittenberg, Math.-nat. Reihe 36 (1987), H.3, S. 102-112 und 37 (1988) H.1, S.139-149
6. U. Niedersen, L. Pohlmann: Singuläre Determiniertheit, Teil III, erscheint in Wiss. Z. MLU 1989

7. L. Kuhnert, U. Niedersen: Zur Geschichte der Selbstorganisation chemischer Strukturen, in: Selbstorganisation chemischer Strukturen, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 272, Leipzig 1987, S.10-47
8. H.-J. Krug: Dissipative Strukturen und Synergetik - zwei integrierende Konzepte zur Beschreibung der Strukturbildung in offenen Systemen, Arbeitsblätter zur Wissenschaftsgeschichte, MLU Halle/Wittenberg, Heft 16, 1986, S.31-52
9. P. Feyerabend: Wider den Methodenzwang, Frankfurt a.M. 1976
10. P. Feyerabend: Erkenntnis für freie Menschen, Frankfurt a.M. 1979
11. U. Niedersen, G.Frenzel und L.Pohlmann: Komplexität, Selbstorganisation, Determiniertheit. Ergebnisse neuerer Determinismusforschungen, Wiss.Z.Univ. Halle (im Druck).
12. Protokollbände: Komplexität, Zeit, Methode I und II (Hrsg. U. Niedersen). Kongress- und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1986/69 (A90), 1986 und 1988