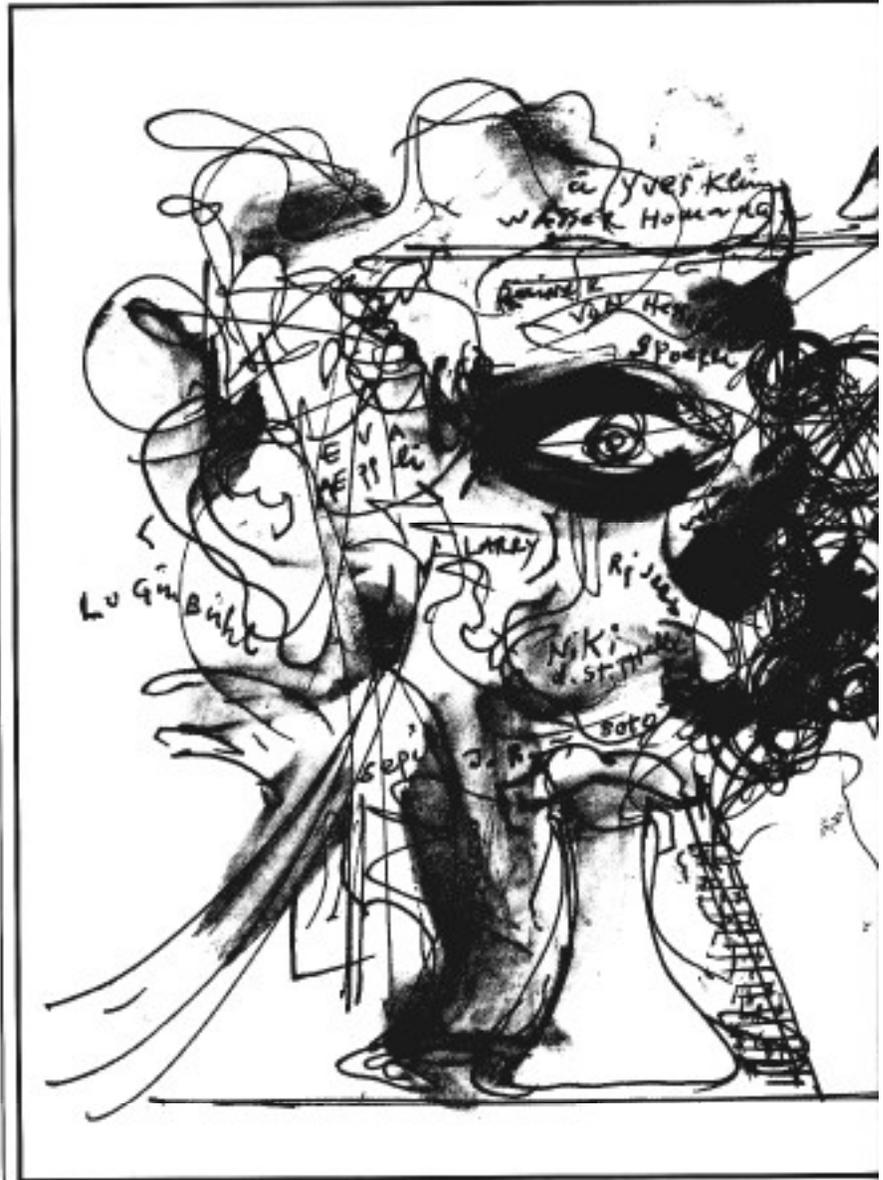


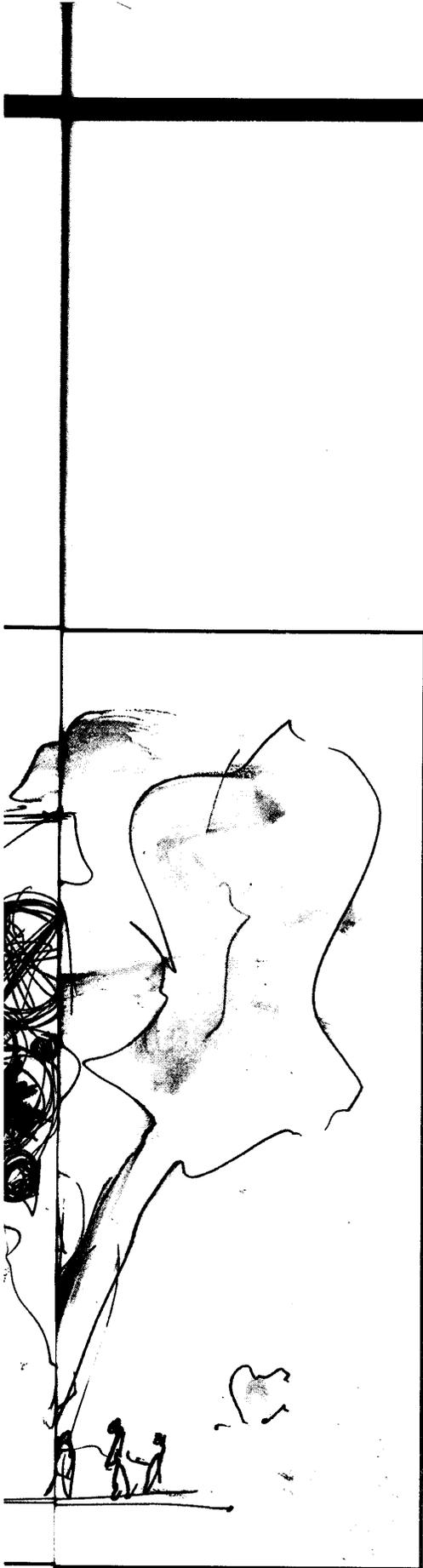
Ein Wissenschaftsbild, das sich am Leben orientiert

Selbstorganisation – Paradigma des nächsten Jahrhunderts?

Wir haben uns daran gewöhnt, zu trennen, was an sich zusammengehört. Wir denken wissenschaftlich und «rational», wenn wir Gegenstände und Prozesse in Elemente zerlegen und die Gesetze formulieren, wie sie kombiniert zusammenwirken. Doch die Lücke des «Unerklärbaren» wird damit immer größer. Vor lauter Rationalismus haben wir verlernt, die reale Welt als einheitliches Gebilde zu verstehen, unser Denken und Handeln daran auszurichten. In der modernen Physik und Molekularbiologie verfolgt man längst neue Ideen, die radikal mit der Tradition des Determinismus brechen. Wird ein neues Paradigma, die «Selbstorganisation», uns helfen, die wachsende Komplexität, die uns umgibt, zu meistern?

Zum Gedenken an Jean Tinguely





ALS GALILEI das Gesetz des freien Falls, KEPLER die Gesetze der Planetenbewegung und NEWTON das Gravitationsgesetz entdeckten, schien die Welt auf einmal beschreibbar und damit der Gang der Dinge vorhersehbar und manipulierbar zu werden. Die moderne Wissenschaft kam in Gang und in ihrem Gefolge, als praktische Anwendung, die Technik. Das ideologische Fundament für die neue Art des Umgangs mit der Wirklichkeit lieferte RENÉ DESCARTES. Er proklamierte die rationale, deduktive, analytische Methode als Mittel, die Zusammenhänge in der Natur aufzuklären und damit den Weg zur Wahrheit freizumachen, die für ihn unzweifelhaft absolut war. Für DESCARTES stand fest, daß sich alle Naturvorgänge auf einfache Grundgesetze reduzieren ließen und daß diese Gesetze allgemeingültig waren. War die Beschreibung der Natur erst einmal abgeschlossen, so stand der Erhebung des Menschen zu ihrem Herrn («maitre et possesseur de la nature») nichts mehr im Weg. Zum neuen Weltbild gehörte Kausalität, das heißt das Prinzip von Ursache und Wirkung. «Nichts ist ohne Grund», sagte LEIBNIZ, also hatte alles einen Grund, und es galt nur, ihn richtig zu bestimmen. Jeder Vorgang mußte sich als Funktion seiner Ursachen eindeutig darstellen lassen. LAPLACE war überzeugt, daß es möglich sei, die Bewegung aller Teilchen im Universum zu berechnen – zumindest theoretisch. Der Naturforscher sah sich als *außenstehender Beobachter*, der die Naturvorgänge etwas von ihm Getrenntes experimentell oder mathematisch behandelte.

Triumph der rationalen Gewißheit

DESCARTES Methode fand in NEWTONS Bewegungsgesetzen ihre ideale Verkörperung. Die Vorstellungen von absolutem Raum und absoluter, reversibler Zeit wurden zum Vorbild wissenschaftlicher Erklärungen. Wissenschaft war zunächst gleichbedeutend mit Mechanik. In der Architektur, beim Festungsbau, im Schiffbau, bei der Herstellung von Uhren und bei der Mechanisierung der Handarbeit (Bau von Mühlen, Hammerwerken usw.) bewährte sich die NEWTONSche Mechanik in der Praxis. Riemenantrieb, Zahnradübertragung und Kurbelwelle leisteten die Dienste, die man von ihnen erwartete. Als im Laufe der Zeit Erscheinungen der Elektrizität, der Thermodynamik und des Lichtes hinzukamen, versuchte man sie immer irgendwie mechanistisch zu erklären. Selbst die Medizin sah den lebenden Organismus als Maschine an.

DESCARTES wurde zum Begründer dessen, was wir heute *Determinismus oder Rationalismus* nennen. Zu einer Zeit, da Europa von Pestepidemien und vom Dreißigjährigen Krieg in größte Hoffnungslosigkeit gestürzt wurde, mußten die neuen Möglichkeiten, die DESCARTES Ideen aufleuchten ließen, wie eine Erlösung wirken. Die *Natur* wurde als *Sündenbock* für die elenden Zustände angesehen, und es mußte durchaus als legal erscheinen, ihre Beherrschung zum Ziel zu machen, wenn die Möglichkeit dazu plötzlich geboten wurde. Es war daher naheliegend, daß die neue Sehensweise nicht nur auf die Wissenschaft beschränkt blieb. Die Aufklärung forderte, das rationale Denken auf alle Bereiche des Lebens auszudehnen. Der Determinismus wurde zum *allgemeinen Paradigma* für Handeln und Denken. Die Verflechtung von wissenschaftlicher Methodik und gesellschaftlichem Handlungsprinzip wurde Tatsache. Dem aufstrebenden Bürgertum diente die neue Lehre als ideologischer Unterbau bei seiner Emanzipation von Feudalherrschaft und Theokratie. Der Determinismus wurde zur Ideologie für Industrialisierung und Kommerzialisierung, ja man kann sagen, der gelebte Determinismus wurde zur Grunderfahrung der Industriegesellschaft in den vergangenen 300 Jahren.

Erste Risse im mechanistischen Weltbild

Zunächst bestand kein Anlaß, den Determinismus in Frage zu stellen. Die ersten Probleme mit ihm traten erst im 19. Jahrhundert auf, und zwar gleichzeitig auf Wissenschafts- und auf Gesellschaftsebene. Auf naturwissenschaftlicher Ebene verlagerte sich das Interesse von der Mechanik auf die Thermodynamik, die Elektrizität und die Chemie. Darunter waren viele Erscheinungen, die sich mit den NEWTONSchen Vorstellungen nicht mehr in Einklang bringen ließen.

CLAUSIUS formulierte 1990 den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und stellte fest: Bei allen mit endlicher Geschwindigkeit in einem abgeschlossenen System ablaufenden Vorgängen nimmt die *Entropie* zu, das heißt, das System verliert nutzbare Energie. Dieser Energieverlust ist *irreversibel*. Als BOLTZMANN mit Hilfe der kinetischen Gastheorie die Verbindung zwischen den makroskopischen Größen Druck, Temperatur und Energie auf der einen und den mikroskopischen Teilchenbewegungen auf der andern Seite herstellte, benützte er zur Beschreibung der Teilchenbewegung die NEWTONSchen Gleichungen.

chungen. Dabei gelang es ihm jedoch nicht, den Konflikt zwischen irreversibler Entropie und reversibler Bewegung einwandfrei zu lösen. Die BOLTZMANNsche statistische Mechanik bleibt letztlich dem Idealfall der reversiblen Thermodynamik verhaftet. Ein anderes Beispiel ist die Äthertheorie von LORENZ. Der Äther sollte das Universum ausfüllen und das feste Bezugssystem darstellen, dessen Existenz NEWTON, nebenbei gesagt, vergeblich nachzuweisen versuchte. MICHELSONS berühmtes Experiment sollte die Bewegung der Erde relativ zum Äther beweisen – mit negativem Ergebnis, wie wir wissen.

Diese und andere Ereignisse führten dazu, daß man die Beschreibung von Naturvorgängen von der Ideologie «Determinismus» abzukoppeln begann. Man nahm die MAXWELLSchen Gleichungen für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und dergleichen für Beschreibungen von *Sachverhalten* und erwartete von ihnen nicht mehr philosophische Wahrheit.

Darwin bleibt aktuell

Viel folgenreicher waren die negativen Auswirkungen des Determinismus auf sozialer Ebene. Die Verelendung der Arbeiterschaft zu Beginn der Industrialisierung und die Ausbreitung der Kolonialherrschaft brachten den Fortschrittsglauben erstmals ins Wanken. Die Nachfahren DARWINS umschifften die Klippe jedoch elegant: Um die rücksichtslose Ausbeutung, die der Manchester-Liberalismus praktizierte, zu rechtfertigen, übertrugen sie das Selektionsprinzip *kritiklos* auf das Zusammenleben der Menschen. Als typisch deterministisches Produkt diente der berühmte *Sozialdarwinismus* («Survival of the Fittest») zur Rechtfertigung der Privilegien der Unternehmer und Kolonialherrscher. In den Rassenverfolgungen des Dritten Reichs erlebte er seinen Höhepunkt. Reste davon überleben bis heute im Elitebegriff mancher Managementschulen und bestimmen leider noch allzuoft die Realität in unseren Unternehmen. In seinem Namen wird weiterhin Macht ausgeübt, aber auch anerkannt.

Einfache Wahrheiten und kein Ende

Korrigiert wurden also nur gewisse Positionen des mechanistischen Weltbilds, etwa durch EINSTEINS Relativitätstheorie und durch die Quantenmechanik, der Determinismus als Denkhaltung jedoch überlebte. An Widerstand gegen den Determinismus hat es von Anfang

an nicht gefehlt. Unzählige Philosophen, Schriftsteller und sogar Wissenschaftler selbst haben sich dagegen aufgelehnt. Vor allem zwei Eigenschaften des Determinismus wurden kritisiert: Unser Denken kann die Wirklichkeit nur behandeln, indem es daraus ein Stück ausschneidet. Anstatt gegen diese naturgegebene Beschränkung unseres Denkvermögens anzugehen, hat der Determinismus sie fortwährend geleugnet. *Der Sinn für Ganzheitlichkeit ist so geopfert worden.* Ein weiterer Vorwurf betrifft die *Trennung von Subjekt und Objekt*. Sie ist aus dem Irrtum DESCARTES' entstanden, der rationale Verstand könne die Wirklichkeit zur betrachtenden Untersuchung vor sich hinstellen. Heute umgeben uns im täglichen Leben zuhauf Beispiele von Objekten, die sich von ihren ursprünglichen Subjekten verselbständigt haben und, zum Selbstzweck geworden, sich der Kontrolle des Menschen entziehen. Trotz dieser Einwände und negativen Erfahrungen hat sich an der dominierenden Position des Determinismus bis heute jedoch nichts geändert.

Unsere Schulsysteme erziehen nach wie vor zum deterministischen Denken. In Mathematik- und Physikunterricht wird die heile Welt des Begründbaren, von Falsch und Richtig, von Wahr und Unwahr gepredigt. Unter Berufung auf rationale Richtigkeit werden Meinungs-

verschiedenheiten ausgefochten, sitzen Menschen über ihre Mitmenschen zu Gericht, werden im Unternehmen und im Staat Entscheidungen gefällt und für jedermann für verbindlich erklärt. Die Herrschaft des Determinismus steht in ihrer vollen Blüte. Wie ist es zu erklären, daß ein so fragwürdiges Paradigma weiterhin so unvermindertes Vertrauen genießt? Sind die Probleme, die es schafft, noch zuwenig konkret sichtbar oder spürbar? Oder liegen die Gründe dafür tiefer? Spricht der Determinismus etwa das Bedürfnis der Menschen nach Gerechtigkeit und Sicherheit besonders an, erscheint er als Garant für Ordnung? Ist die Existenzangst des Menschen sein stiller Verbündeter? Oder verzögert das Fehlen einer überzeugenden Alternative seine Ablösung? Wenn ja, welches Paradigma könnte diese Alternative sein?

Ansätze zu einem neuen Paradigma

Die Zeitumkehrbarkeit in der NEWTONschen Mechanik ist eine Folge der Tatsache, daß die Gravitationskraft die Eigenschaft eines Potentials hat. Auch die Gleichgewichtsthermodynamik der geschlossenen Systeme beruht auf Potentialgrößen wie Entropie und freier Energie. Die Potentialeigenschaft ist der Grund dafür, daß in diesen Systemen stabile Zustände auftreten können, daß die Planetenbahnen stabil sind und daß chemische Prozesse oder Kernkraftwerke regeltechnisch gesteuert werden können. Damit lebt die Technik seit 200 Jahren, jedoch wohl wissend, daß es *Erscheinungen gibt, die sich nicht in dieses Schema zwängen lassen*, die inhärent instabil und irreversibel sind. Es ist interessant zu verfolgen, wie die Entwicklung, ausgehend von der reversiblen Thermodynamik CLAUSIUS und BOLTZMANNNS, in zwei Richtungen fortgeschritten ist: zur irreversiblen, nichtlinearen Nichtgleichgewichtsthermodynamik und zum modernen Begriff der Information.

«Ordnung durch Fluktuation»

Den entscheidenden Schritt zur Beschreibung der Irreversibilität taten ILYA PRIGOGINE und seine Brüsseler Mitarbeiter etwa zwischen 1960 und 1980. Sie ließen die Beschränkung auf Linearität fallen und drangen in den eigentlichen irreversiblen Bereich vor. Da sie den sicheren Hafen der Potentiale damit verließen, sahen sie sich vor die Frage gestellt, *ob es jenseits dieser Grenze stabile Zustände gibt* und wie sie allenfalls zu beschreiben wären. Am Beispiel eines katalytischen Kreisprozesses, der später zu Ehren seiner Ent-

Selbstorganisation Voraussetzungen und Kennzeichen

Thermodynamisches Nichtgleichgewicht
Entropieabnahme
Energie- und/oder Materiezufuhr
offenes System
nichtlineare Prozesse
Instabilität und Verzweigung

Selbsterzeugung
Informationserzeugung
Kreisläufe – Reproduktion
Struktur aus Unordnung
Strukturierung von innen heraus
Selbstbezug

Komplexität
hoher Vernetzungsgrad
Relation Ursache–Wirkung nicht herstellbar
Ursache und Wirkung nicht unterscheidbar
Ganzheitlichkeit

Zusammenwirken der Gegensätze
Kooperation – Konkurrenz
Vielfalt (Mutation) – Auswahl (Selektion)
offenes System – geschlossenes System
individuell – gemeinschaftlich
Stabilität – Instabilität

ag

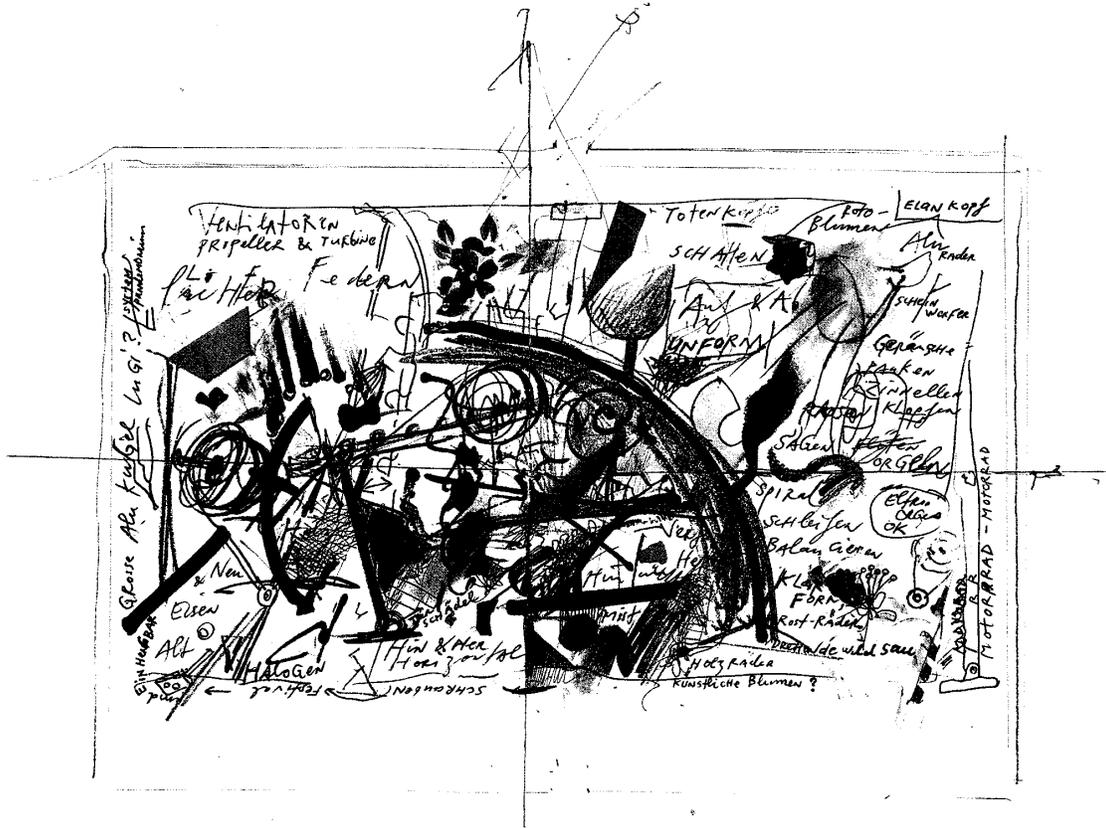
zen zu ind für Die in lä-ma ren es bar ide nus ach ers rd-ender en-nn Al-

ON- at- Ei- die ge- en- sier- der nen laß laß aft- len 200 Er- zes in- ter- ck- len .TZ- rit- ren ind on.

Be- ten eler und auf i ei- Da iale die eser : sie Am pro- Ent-

IN FERNO "ein kleiner Anfang"

1983



decker «Brüsselator» getauft wurde, begannen sie das Verhalten von nichtlinearen chemischen Reaktionen fern vom Gleichgewicht zu untersuchen (siehe Kasten «Brüsselator»). Sie konnten zeigen, daß oberhalb des kritischen Werts eines Nichtgleichgewichtsparameters solche Systeme nicht mehr zum ursprünglichen Gleichgewichtszustand zurückkehren, sondern einem neuen stabilen Zustand zustreben, in dem sie bleiben, solange die Nichtgleichgewichtsbedingung anhält (Zufuhr von Energie und von Reaktionsprodukten). Die Arbeiten PRIGOGINES hatten entscheidende Auswirkungen auf die Biochemie und die Mathematik der nichtlinearen Prozesse (Chaostheorie, nichtlineare Dynamik). PRIGOGINE kommt ferner das Verdienst zu, erstmals eine mathematische Beschreibung von Selbstorganisationsprozessen geliefert zu haben. Was seinen Arbeiten noch fehlte, war der Begriff der Information.

Information als Anordnung von Zeichen
 Als BOLTZMANN makroskopische Größen wie Temperatur und Druck auf die Bewegung einzelner Gasmoleküle zurückführte, fand er für die Entropie die Beziehung $S = k \ln N$. Je mehr Teilchen im betrachteten Volumen vorhanden sind, desto genauer geben sie zwar die makroskopischen Größen wieder, aber um so weniger weiß man über die Bewegung eines einzelnen Teilchens. Diese Ungewißheit ist die Entropie. Würden sich alle Teilchen «wie ein Block» bewegen, so wären $N = 1$ und die Entropie gleich Null. Dies ist der Grenzfall der reibungslosen NEWTONschen Bewegung. Die Entropie ist also eine Art Informationsmangel, der dadurch entsteht, daß die einzelnen Teilchen eine Geschwindigkeitsverteilung haben und nicht alle die exakt gleiche Geschwindigkeit, die den in dem Volumen herrschenden Werten des Drucks, der Temperatur usw. entspricht.

Diese Verwandtschaft der Entropie mit dem Begriff «Information» machte sich CLAUDE SHANNON zunutze, als er die Übertragung von Information über eine durch Rauschen beeinträchtigte Leitung theoretisch behandelte. Das Rauschen kann als zusätzliche Information angesehen werden, die als toter Ballast mitgeführt wird. Sie ist die Entropie des Übertragungsprozesses. Eine Signalübertragung, die nur signifikante Information überträgt, verfügt jedoch über keinerlei Sicherheitsreserven: Ein einziges fehlerhaftes Bit, und die Information ist nicht mehr entzifferbar. Jede digitale Informationsübertragung arbeitet daher mit Fehlerkorrektur, mit irgendwelchen Checksummen, die als Zusatzinformation mitgesendet werden und aus denen bei Auftreten eines Bitfehlers die richtige Information rekonstruiert werden kann. Der Preis für diese Redundanz des Signals ist ein Verlust an Übertragungskapazität.

Wie aus Unordnung Information wird

HEINZ VON FOERSTER kehrte diese Überlegungen SHANNONS um: Die Informationserzeugung mußte mit einer Entropieabnahme verbunden sein. Dem System muß also Energie zugeführt werden, und zwar in irreversibler Weise, denn das System soll ja in dem neuerworbenen Zustand höheren Informationsgehalts verharren. Dies ist nur möglich, wenn das System offen ist. Unter diesen Bedingungen – und wenn in dem System strukturierende Kräfte vorhanden sind – kann aus Unordnung Ordnung, sprich Information, entstehen. Diesen Vorgang illustrierte VON FOERSTER an zwei einfachen Experimenten: Man nehme einen ungeordneten Haufen von magnetisierten Würfeln. Im einen Fall sei nur eine Magnetisierung

senkrecht zu einem Flächenpaar vorhanden. Im andern Fall gebe es drei Magnetisierungsvektoren senkrecht zu allen drei Flächenpaaren. Man schüttele den Haufen. Im ersten Fall werden sich Würfel paarweise aneinanderlegen. Im zweiten Fall werden bizarre Gebilde von aneinandergereihten Würfeln entstehen. Unter der Zufuhr von Energie (Schütteln) und aufgrund einer strukturierenden Kraft (Magnetisierung) ist aus dem ungeordneten Haufen ein geordnetes Gebilde entstanden. Dieses Phänomen nannte VON FOERSTER das «Order-from-Noise»-Prinzip.

Information ist, was Vielfältigkeit erzeugt

H. ATLAN kritisierte heftig die Folgerung, die VON FOERSTER aus seinem

Experiment zog. Nach ihm wird nur im ersten Fall Ordnung (Redundanz) erzeugt, insofern die Paarbildung bei jeder Wiederholung des Experiments eintritt. Im zweiten Experiment sind die erzeugten Strukturen bei jeder Wiederholung verschieden. Was in diesem Fall erzeugt wird, ist nicht Ordnung, sondern eine Vielfalt von Formen, also Komplexität (Information). Er unterstreicht diesen wichtigen Unterschied seinerseits durch ein Gedankenexperiment. Man denke sich den SHANNON-schen Übertragungskanal in ein abgeschlossenes System verlegt. Die Information werde einmal mit vollständiger Redundanz von A nach B übertragen, B sei also eine exakte Kopie von A. Im andern Fall, sei die Redundanz gleich Null: In B entsteht eine von der in A völlig verschiedene Information. Im ersten Fall hat sich zwar die Redundanz der Information verdoppelt, der Informationsgehalt des Systems ist insgesamt jedoch gleichgeblieben. Im zweiten Fall ist es umgekehrt: Verdopplung der Information, Redundanz jedoch Null. Informationsbildung und Informationssicherung laufen also konträr. Für ATLAN ist nicht entscheidend, daß Ordnung produziert wird, sondern daß diese Ordnung ihren Reichtum an Vielfältigkeit erhöht. Er setzt VON FOERSTER daher den Begriff «Complexity from Noise» entgegen.

«Der Brüsselator – Beispiel eines Nichtgleichgewichtsprozesses»

Bild 1a zeigt das Reaktionsschema einer trimolekularen autokatalytischen Reaktion. Die Ausgangsprodukte A und B werden dem System zugeführt, die Endprodukte D und E werden abgeführt. Die Reaktionsgleichungen dieses Systems enthalten kubische Terme, sind also stark nichtlinear. Das Diagramm in Bild 1b zeigt die Abhängigkeit der Größen X und Y (Menge der Substanzen) voneinander. Der Kurvenparameter ist B, der hier die Rolle des Nichtgleichgewichtsparameters spielt. Unterhalb eines kritischen Werts $B = B_c$ bleibt das Reaktionssystem im stationären Zustand S. Für $B > B_c$ wird das System instabil. Kleine Fluktuationen schaukeln sich auf. Es kommt zu einer chemischen Schwingung. Ganz gleich, von welchen Randbedingungen ausgegangen wird, das System schwenkt stets auf den Grenzyklus (Randkurve des schraffierten Bereichs) ein. Solche Zustände, denen Vorgänge asymptotisch zustreben, nennt man Attraktoren. Der Punkt S, oberhalb dem die Instabilität

einsetzt, heißt Verzweigungspunkt. Komplexere Systeme können durch einen Baum von Verzweigungen gekennzeichnet sein. Bild 1c zeigt ein etwas komplizierteres Verzweigungssystem. Die Kurve a stellt den Zustand thermischen Gleichgewichts dar. Bei $B = B_1$ verzweigt sich das System in einen stabilen Zweig b und einen instabilen Zweig b' von neuen Lösungen. Für $B > B_2$ wird b' stabil, a hingegen instabil. Auf welchen Zweig das System gelangt, hängt von dessen geschichtlicher Entwicklung ab. Da sich dem Endzustand nicht mehr ansehen läßt, woher das System gekommen ist, kann es nicht mehr als deterministisch bezeichnet werden.

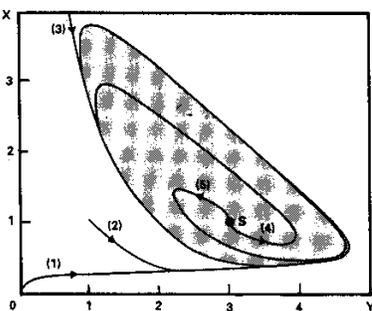


Bild 1a.

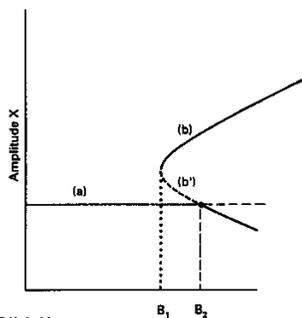


Bild 1b.

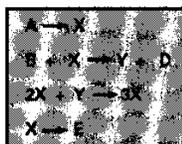


Bild 1c.

Systeme, die sich selbst erschaffen

Nachdem eigentlich feststand, daß selbstorganisierte Systeme offen sein müssen, überraschten die chilenischen Biologen HUBERTO MATURANA und FRANCISCO VARELA mit der Forderung, lebende Organismen bezüglich Funktionalität als abgeschlossene Systeme, als autonom zu betrachten. Diese Systeme nannten sie «autopoietisch». Maschinen werden gebaut, um einen bestimmten Ausstoß zu produzieren, eine Zelle produziert sich vor allem selbst. Autopoiese» erfaßt die Eigenschaft lebender Systeme, sich ständig selbst zu erneuern und diesen Prozeß so zu regeln, daß die innere Struktur gewahrt bleibt.

MATURANA und VARELA stellten nicht in Frage, daß selbstorganisierte Systeme auf Energie- und Massenaustausch mit der Umgebung angewiesen sind. Ihr Blick konzentriert sich jedoch mehr auf den Informationsverarbeitungs-Aspekt. Unter diesem Gesichtspunkt sind die Einwirkungen von außen lediglich Störungen, die zwar im Innern des Systems irgend etwas auslösen – aber was, das hängt von der zufälligen Konstellation des Systems zum Zeitpunkt der Störung

... "Hölle" hieß
 ... "Inferno, ein kleiner Anfang" wurde. Chaos
 ... im Titel, sondern Chaos auch als Kompositionsprinzip, für
 mich ganz offensichtlich eben im "Inferno" vorhanden. Stimmt das, setzen
 Sie Chaos jetzt bewußt als künstlerisches Mittel ein?

Ja

DAS CHAOTISCHE ist in dieser HÖLLE SEHR GEORDNET. ES IST
 EINE "OBJEKT & MASCHINEN BALLET MIT, VON MIR AUS, PRÄZISE
 AUF EINANDER ABGESTIMMTEN RYTHMEN & TÖNEN, PLUS
 FREIHEIT & ZUFALL

→ ALSO DER "INFERNO" GENANNT
 LINDISCHE RECHTE
 FLÜGEL

Ihre "Hölle" ist chaotisch. Ist das Chaos auch höllisch?

Nein "CHAOS" ist
 überall & funktioniert.
 zukünftigen
 Hölle

ab, von seinem sogenannten «Eigenbe-
 havior». Beispiele solcher Systeme sind
 das Nervensystem, das Immunsystem,
 Ökosysteme aller Art, aber auch Vor-
 gänge wie das Sehen und das Hören,
 ein Gespräch oder komplette soziale
 Systeme. Auf den ersten Blick mag es
 befremden, daß Vorgängen wie dem
 Erkennen einer Person oder einem Ge-
 spräch der deterministische Charakter
 abgesprochen wird, aber beim genaue-
 ren Überlegen sieht die Sache schon an-
 ders aus. Haben wir nicht Schwierigkei-
 ten, etwa eine Person zu erkennen, die
 wir an diesem Ort und zu dieser Zeit
 dort nicht vermutet haben? Oder: Wie
 schwer ist es manchmal, jemanden
 selbst mit erdrückenden logischen Ar-
 gumenten zu überzeugen? Es erstaunt
 nicht, daß die Theorie der beiden Chile-
 nen heftige Kontroversen ausgelöst hat,
 die immer noch anhalten.

Offenheit braucht Hierarchien

Der Gegensatz zwischen Offenheit ei-
 nerseits und Geschlossenheit andererseits
 weist auf ein weiteres Merkmal selbstor-
 ganisierter Systeme hin. Selbstorganisa-
 tion ist auf die Behandlung von kom-

plexen Systemen zugeschnitten. Würde
 die Selbstorganisation an einem solchen
 System nur global wirken, so käme des-
 sen Evolution nur langsam und schwer-
 fällig voran. Komplexe Systeme müssen
 daher hierarchisch gegliedert sein. Auf
 jeder Ebene der Hierarchie gibt es Ele-
 mente, die im Sinne von Maturana
 und Varela autonom sind, die jedoch
 hinreichend kommunizieren, so daß sie
 auf nächsthöherer Ebene als Ensemble
 wieder eine autonome Einheit bilden
 und so fort. Der Aspekt «Hierarchie» ist
 ein Teilproblem der Selbstorganisation,
 dem bisher noch wenig Beachtung ge-
 schenkt wurde. Die Gewichtsverteilung
 zwischen Öffnung und Abgrenzung, um
 die es dabei geht, wird noch viel Denk-
 arbeit erfordern. Sicher ist unter Hierar-
 chie jedoch nicht ein «Von oben nach
 unten» in unserer deterministisch ver-
 formten Sichtweise zu verstehen, also
 kein Machtgefüge, ist doch die Frage,
 welche Zellen in unserem Körper die
 Macht besitzen, bei einem gesunden Or-
 ganismus ziemlich sinnlos. Wenn es
 dennoch soweit kommt, dann muß es
 sich schon um Metastasen handeln, die
 bekanntlich zur Zerstörung des Orga-
 nismus führen.

Denken heißt an Grenzen stoßen

Die wesentlichen Voraussetzungen und
 Eigenschaften selbstorganisatorischer
 Systeme wären damit genannt (siehe
 Kasten «Selbstorganisation»). Selbstor-
 ganisation bietet sich als Konzept zur
 Behandlung von Komplexität an. Va-
 rela hat jedoch darauf hingewiesen,
 daß es falsch wäre, ab jetzt jeden Sach-
 verhalt nur noch durch die Brille der
 Selbstorganisation zu betrachten. Ei-
 ne deterministische Betrachtungsweise
 kann in vielen Fällen angemessener
 sein, oder beide Sichtweisen können
 sich ergänzen. Jedenfalls muß man sich
 darüber im klaren sein, daß die Selbst-
 organisation mit dem Determinismus
 eines gemeinsam hat: die Grenzen des
 menschlichen Denkvermögens. Es kann
 nur einen Ausschnitt der Wirklichkeit
 erfassen, bleibt also stets irgendwie de-
 terministisch begrenzt. Die Ganzheit,
 die wir erfassen können, wird immer
 eine begrenzte Ganzheit sein, die unse-
 rer jeweiligen selbstorganisierten Vor-
 stellungswelt entspricht. Wer hier den-
 noch weiter vordringen will, findet sich
 unversehens im Bereich fernöstlicher
 Religions- und Heilslehren wieder.

Ein Kraftakt In der Molekularbiologie

Als CLAUSIUS den zweiten Hauptsatz proklamierte, stand er offensichtlich im Widerspruch zu den Tatsachen, denn wenn die Entropie bei jedem thermischen Prozeß zunimmt, dürfte es nie Leben gegeben haben. Ähnliches gilt für DARWINS Selektionsprinzip: Wäre es allein ausschlaggebend, so dürfte es seit langem nur eine einzige Spezies auf der Erde geben. Es ist das Werk MANFRED EIGENS, diese Widersprüche aufgeklärt zu haben.

Wie das Leben entstand

Schon zu Beginn des Jahrtausends stand mit ziemlicher Gewißheit fest, daß die Chromosome die Träger der Aufbauinformation der Lebewesen sind, aber erst 1953 entdeckten CRICKS und WATSON die Struktur der DNA-Doppelhelix und öffneten damit die Tür zur Entschlüsselung des Gencodes. Die Übersetzung dieses Codes in Sequenzen von Aminosäuren in Proteinen wurde Anfang der sechziger Jahre aufgedeckt. Offen blieb die Frage, wie ein so kompliziertes System hatte entstehen können. Noch 1971 vertrat JACQUES MONOD in seinem Buch «Zufall und Notwendigkeit» die Ansicht, die Evolution müsse mit einem *Zufallsereignis* begonnen haben. Nur ein Jahr später rückte dann MANFRED EIGEN in einer monumentalen Veröffentlichung die Vorstellungen betreffend den Übergang von der unbelebten zur belebten Materie, die Entstehung des Lebens also, in ein völlig neues Licht.

Mit einer interdisziplinären Methodik, die ihresgleichen sucht, erbrachte EIGEN den Nachweis, daß das Leben auf erklärbarer Weise durch Selbstorganisation entstanden ist und daß es sich dabei nicht um ein Zufallsereignis, sondern um eine unausweichliche Entwicklung handelte. EIGENS Arbeit stellt die erste konsequente Anwendung des Prinzips der Selbstorganisation zur Behandlung eines konkreten wissenschaftlichen Problems dar. Indem EIGEN die *irreversible Thermodynamik* PRIGOGINES mit dem Begriff der *biologischen Information* verband, führte er quasi die beiden Äste, entlang denen sich der Begriff der Selbstorganisation bislang entwickelt hatte, zusammen. Deshalb nimmt die Arbeit EIGENS eine Schlüsselposition in der Entwicklung des Begriffs der Selbstorganisation ein. Im vorliegenden Zusammenhang kann allerdings nicht auf die molekularbiologischen Aspekte von EIGENS Artikel eingegangen werden, sondern nur auf dessen Beitrag zum Thema Selbstorganisation.

Leben: ein informationsgesteuerter Prozeß

Zunächst weist EIGEN durch eine einfache Wahrscheinlichkeitsrechnung nach, daß die *zufällige Bildung* der Makromoleküle, die Bausteine der DNA oder der Proteine bilden, *praktisch ausgeschlossen* ist, und widerlegt damit die Ansicht MONODS. Der Aufbau dieser Moleküle muß *informationsgesteuert* erfolgt sein. Anders als ein Computer kann die Natur jedoch nicht auf vorhandene Information zugreifen, nämlich die vom Menschen eingegebene, sondern sie muß diese Information selbst schaffen (Selbstinstruktion). Eine Kette von Bits ist ja noch keine Information, sondern sie wird erst dazu, wenn gewissen Bitfolgen eine Bedeutung zuerteilt wird. Selbstinstruktion ist die Selbstorganisation von Information oder, anders ausgedrückt, von Bedeutung.

EIGEN erkannte, daß diese Selbstinstruktion auf dem Wechselspiel von Mutation und Selektion beruht. Indem er dem DARWINSchen Selektionsprinzip eine strenge mathematische Fassung gab, schuf er das notwendige Werkzeug, mittels dessen die Bedingungen und Voraussetzungen dieses Selbstinstruktionsprozesses abgeleitet werden konnten: Das informationsbildende System muß man sich als offenes System vorstellen, in das energiereiche informationslose Materie hineinströmt und aus dem energiearme Abfallprodukte herausströmen. Das System ist also ein Nichtgleichgewichtssystem. Der Informationsträger muß die Befähigung zur Reproduktion haben, denn pro Selektionsschritt darf nur ein kleiner Teil der Gesamtinformation verändert werden, sonst nimmt der Prozeß einen instabilen Verlauf. Reproduktion erfordert nichtlineare Prozesse, in der Sprache der Chemie als autokatalytische Prozesse. Bei EIGEN finden wir demnach das Szenario von PRIGOGINES irreversibler Thermodynamik wieder. Ein Element mußte jedoch noch hinzukommen: Bei der Biosynthese sind Informationsträger (DNA) und «Produkt» (Proteine) voneinander getrennt. Ein Lernprozeß aber beruht auf einer Rückkopplung vom Ergebnis auf das Programm. EIGEN entdeckte, daß diese Funktion von einer in sich geschlossenen Kette von autokatalytischen Enzymreaktionen übernommen werden kann, dem sogenannten *Hyperzyklus*. Dieser Reaktionskreis besorgt in einer Richtung den codierten Zusammenbau der Aminosäuren, in der andern Richtung die Selbsterzeugung des Informationsträgers und dessen eventuelle Korrektur durch die Selektion.

Werturteile erkennen

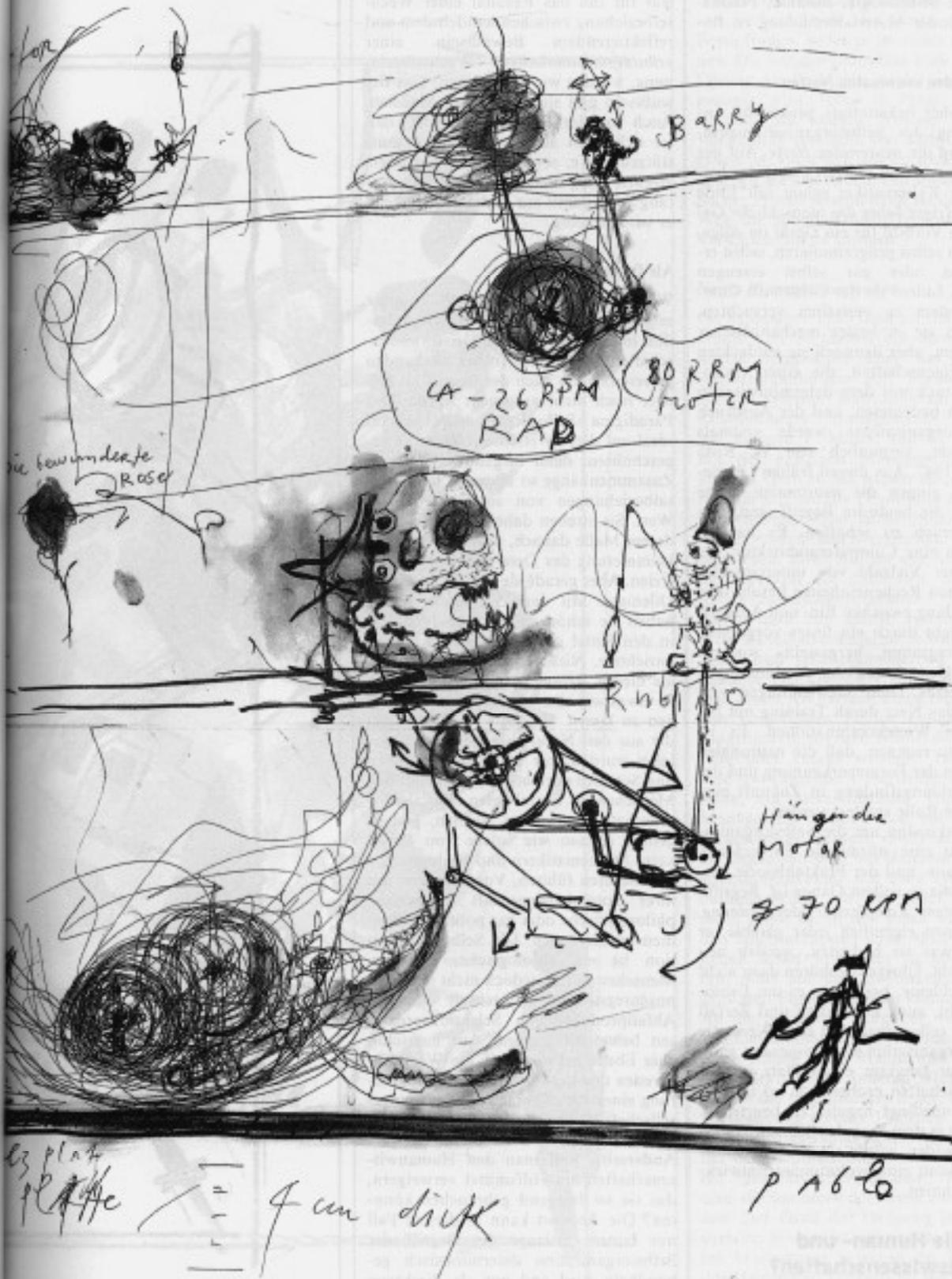
In einem wichtigen Punkt hat EIGEN DARWIN korrigiert: Die Selektion ist nicht ein «*survival of the fittest*», sondern ein «*survival of the survivor*». «Fit-test» ist ein menschliches Werturteil, das die Natur nicht kennt. Selektion ist ein Mechanismus, der überhaupt Evolution ermöglicht. Ob aber diese Evolution optimal ist und was optimal heißt, steht in den Sternen geschrieben. Sogar der Begriff «Evolution» selbst wird damit zum anthropomorphen Werturteil. An EIGENS Arbeit ist übrigens auch neu, daß sie sich der vollen Komplexität eines Vorgangs wie der Biosynthese stellt. Gewiß kommt auch EIGEN nicht darum herum, mit vereinfachenden Modellen zu arbeiten, aber an der Gesamtheit des komplexen Vorgangs wird nichts beschönigt. Die Darstellung bleibt in Richtung auf ihre weitere Verfeinerung offen. Sie stellt damit eine deutliche Abkehr vom üblichen deterministischen Gehabe der Wissenschaft dar.

Keine steile Karriere

Die Selbstorganisation blieb lange Zeit ein Thema für ein kleines Häuflein von Idealisten. In den USA und in Frankreich wurde in kleinem Kreis schon in den siebziger Jahren über Selbstorganisation diskutiert. Der Soziologe EDGAR MORIN arbeitete Ende jenes Jahrzehnts das bis dahin aufgehäufte Material in einem Monumentalwerk auf. Im deutschen Sprachraum ist man trotz MANFRED EIGEN erst in den letzten Jahren auf das neue Paradigma aufmerksam geworden. Der «biologische» Begriff hatte es offenbar schwer, sich gegen die «physikalische» Zwitterrationalität der Leitfiguren HEISENBERG und VON WEIZSÄCKER durchzusetzen. Zudem wollte man sich verständlicherweise nicht erneut mit einer Ideologie kompromittieren. Was die Schweiz anbetrifft, so ist der Begriff Selbstorganisation durch H. ULRICH, G. PROBST und F. MALIK an der Hochschule von St. Gallen erstmals in die Management-Theorie eingeführt worden (siehe unten).

Vom Laser . . .

Nachdem es also lange gedauert hat, bis sich die Selbstorganisation Beachtung verschaffen konnte, taucht sie heute in allen Bereichen der Forschung auf. Selbstorganisatorische Phänomene gibt es keineswegs nur in der belebten Welt. Laser, Kristallwachstum oder der Umschlag einer laminaren in eine turbulente Strömung sind prominente Beispiele von Selbstorganisation. Das Wort ist regelmäßig in den Titeln von Fachar-



tikeln aus so unterschiedlichen Gebieten wie Seismologie, Botanik, Plasma-physik oder Materialermüdung zu finden.

... zu den neuronalen Netzen

Die bisher bekannteste praktische Anwendung des Selbstorganisationsprinzips sind die *neuronalen Netze*. Auf der Suche nach dem idealen Computer hatten die Kybernetiker schon seit Ende der fünfziger Jahre das menschliche Gehirn als Vorbild für ein Gerät im Auge, das sich selbst programmieren, selbst reparieren oder gar selbst erzeugen konnte. Indem sie das Gehirn als Computersystem zu verstehen versuchten, agierten sie in bester mechanistischer Tradition, aber dennoch sie entdeckten viele Eigenschaften, die einen deutlichen Bruch mit dem deterministischen Denken bedeuteten, und der Ausdruck «Selbstorganisation» wurde erstmals gebraucht, vermutlich von W. Ross ASHBY 1947. Aus diesen frühen Überlegungen gingen die neuronalen Netze hervor, die heute im Begriff sind, den Durchbruch zu schaffen. Es handelt sich um eine Computerarchitektur, die auf einer Vielzahl von untereinander vernetzten Recheneinheiten beruht. Die Verbindung zwischen Ein- und Ausgabe wird nicht durch ein festes vorgegebenes Programm hergestellt, sondern durch Gewichtung der Verbindungen des Netzes. Diese Gewichtungen «erlernt» das Netz durch Training mit bekannten Wertekombinationen. Es ist damit zu rechnen, daß die neuronalen Netze in der Formerkennung und der Entscheidungsfindung in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden.

Die Diskussion um die Selbstorganisation hat eine stürmische Entwicklung der Chaos- und der Fraktaltheorie ausgelöst, die in vollem Gange ist. Begriffe wie *System*, *Komplexität* oder *Ordnung*, von denen eigentlich jeder glaubte, er wisse, was sie bedeuten, werden neu überdacht. Übrigens gehören dazu nicht nur Probleme, bei denen es um Evolution geht, auch Zerstörung und Zerfall können selbstorganisiert sein. Wenn die Selbstorganisation sich, insgesamt gesehen, nur langsam einen Platz in den Wissenschaften erobert hat, so ist dies nicht unbedingt negativ zu beurteilen. Es wäre ja dem Sinn der Selbstorganisation zuwider, würde sie eine revolutionäre anstatt eine evolutionäre Entwicklung nehmen.

Und die Human- und Geisteswissenschaften?

HEGEL bezeichnet die Reflexion am Anderssein in sich selbst als die Bewegung

des Sichselbstsetzens. Selbstbewußtsein war für ihn das Resultat einer Wechselbeziehung zwischen handelndem und reflektierendem Bewußtsein, einer *selbstorganisatorischen* Wechselbeziehung, würden wir heute sagen: Das Bewußtsein gibt sich selbst den Maßstab. Auch von der *Logik* sagte HEGEL, daß sie sich nicht auf vorhandene Axiome stützen dürfe, sondern diese *aus ihrem eigenen Gang* erzeugen müsse. Der Anfang wird damit zur Nebensache, denn er wird beliebig.

Als Dogma ungeeignet

Wie dieses Beispiel aus der Philosophie zeigt, ist der Begriff der Selbstorganisation in den Human- und Geisteswissenschaften schon viel früher vorhanden gewesen, wenn auch der Begriff als solcher noch nicht gebraucht wurde. Das Paradigma «Selbstorganisation» scheint ideal auf diese Wissenschaftszweige zugeschnitten, denn nirgendwo sind die Zusammenhänge so komplex und Kausalbeziehungen von so zweifelhaftem Wert. Sie streben daher in ganz besonderem Maße danach, sich von der Umklammerung des Determinismus zu befreien. Aber gerade sie stehen vor einem Dilemma. Mit dem *Sozialdarwinismus* haben sie schon einmal eine Ideologie in den Sattel gehoben, die viel Unheil anrichtete. Nichts wäre katastrophaler, als diesen Irrtum zu wiederholen, also so etwas wie einen *Sozialeigenismus* folgen zu lassen. Beispiele von Theorien, die aus den Naturwissenschaften abgeleitet wurden, zur Ideologie entarteten und Schaden anrichteten, als sie auf den Menschen als Einzelwesen oder als Gesellschaft angewendet wurden, gibt es genug, ebenso wie solche von Physikern, Mathematikern und Biologen, die sich berufen fühlten, Vorstellungen aus ihrer Spezialwissenschaft in soziale, philosophische oder gar politische Dogmen umzumünzen. Die Selbstorganisation ist ein «biologisches» Prinzip. Menschen dürfen jedoch nicht mit Aminosäuregruppen verwechselt oder als Abfallprodukte von Selektionsprozessen behandelt werden. Auf menschlicher Ebene hat die Ethik ein Wort mitzureden und der erneuten Verbiologisierung eines Paradigmas zur allgemeingesellschaftlichen Ideologie den Riegel vorzuschieben.

Andererseits: Soll man den Humanwissenschaften ein Hilfsmittel verweigern, das sie so dringend gebrauchen könnten? Die Antwort kann in diesem Fall nur lauten: Solange der Begriff der Selbstorganisation deterministisch gehandhabt wird und nur als Werkzeug gesehen wird, anstatt als Selbstinstruktionsprozeß, in dem Fachwissenschaft



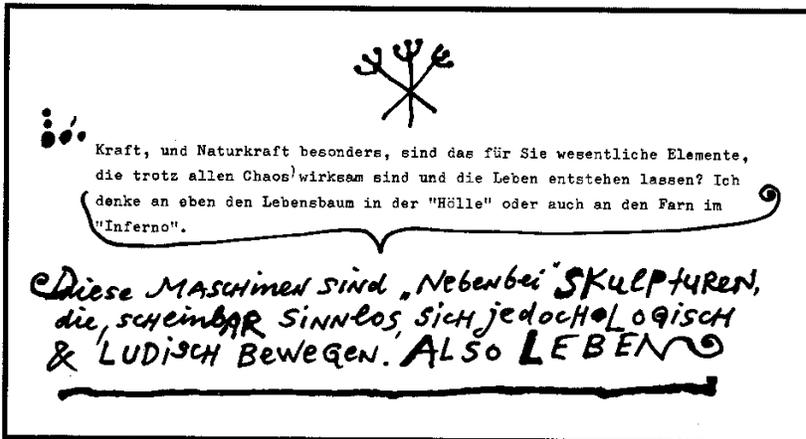


und Selbstorganisation in einem Kreislauf zusammengeschlossen sind, in dessen Verlauf beide die ihnen gemäße Form finden, so lange ist nichts gewonnen. Die Selbstorganisation muß bei der Lösung des Problems, zu der sie herangezogen wird, selbst in Frage gestellt werden. Mit andern Worten: Unsere Vorstellung von dem, was Selbstorganisation ist, kann sich nur entwickeln, indem wir sie anwenden. Ein solcher zyklischer Prozeß scheint auch als der beste Weg, die Subjekt-Objekt-Trennung zum Verschwinden zu bringen.

Neues Managementdenken

Im September 1983 fand an der Hochschule von St. Gallen ein bemerkenswertes Symposium über das Thema «Selbstorganisation und Management sozialer Systeme» statt. In ihrem Beitrag «Evolutionary Management» gingen die Autoren F. MALIK und G. PROBST mit der gängigen Managementpraxis hart ins Gericht. Sie wiesen auf die Absurdität hin, soziale Organisationen wie Unternehmen oder Staatsgemeinschaften als «zweck- und zielgerichtete Gebilde anzusehen, deren Aufbau und Steuerung ausschließlich auf rationalen, zielorientierten Handlungen beruhen». Sie forderten dazu auf, solche Systeme vielmehr als selbstverändernd, selbstentwickelnd und selbstorganisierend zu behandeln. Der Gang der Dinge in Systemen dieser Art verläuft meist nicht nach den vorgefaßten Plänen einiger Führungsfiguren, sondern erfährt durch Zufälle oder zutage tretende Tatsachen eine fortwährende Umorientierung. Systeme mit hierarchischem Top-down-Management können sich auf Unvorhergesehenes weniger leicht einstellen als Organisationen mit *dezentraler* Entscheidungsstruktur wie etwa eine Fußballmannschaft, in der jeder Spieler darin geübt ist, in den rasch wechselnden Spielsituationen seine Aktionen mit denen seiner Mitspieler zu koordinieren, ohne auf die Anweisungen einer zentralen Figur zählen zu können.

An die Stelle von Vorgaben von oben wie Umsatzzahlen und Wachstumsprozente sollten nach MALIK und PROBST die Stärkung des inneren «Immunsystems» der Organisation treten, also die Verbesserung solcher Faktoren wie der Entscheidungsfähigkeit der Mitarbeiter, der Kommunikation, der Innovation, der Qualitätssicherung usw., *Faktoren also, die von innen oder «von unten» wirken*. Der Grad der Ordnung in einem sozialen System ist nicht an der vertikalen Abschottung zwischen den Zweigen der Hierarchie, sondern an der Anzahl der *kommunikativen Querverbindungen* in allen Richtungen zwischen seinen



Mitgliedern ablesbar. Die beiden Autoren schließen mit dem Aufruf: «Manager sollten sich nicht als Macher und Befehlerteiler sehen, sondern als Katalysatoren und Koordinatoren in einem selbstorganisierten System, das sich in einem evolutiven Umfeld befindet.» An derselben Stelle fügte dem HEINZ VON FOERSTER seinen ethischen Imperativ hinzu: «Handle stets so, daß du die Zahl der Wahlmöglichkeiten erhöhst.»

Als Scheinherrschaft entlarvt

Auch andere Human- und Geisteswissenschaften sind im Begriff, ihre Grundlagen auf der Basis der Selbstorganisation zu überprüfen. Dies geschieht in der Psychologie und der Psychotherapie, in der Linguistik, aber auch in den Rechtswissenschaften. In der Medizin hat es ja schon von HIPPOKRATES und PARACELUS bis hin zur alternativen Medizin unserer Tage eine ganzheitliche Vorstellung von Heilung gegeben, die sich teilweise auf selbstorganisatorische Mechanismen beruft und die heute in krasser Opposition zur vorherrschenden deterministischen Pharmamedizin steht. Während im Bereich der klassischen Naturwissenschaften die Selbstorganisation eher als Erweiterung und logische Fortentwicklung auftritt, könnte sie im Bereich der Human- und Geisteswissenschaften zu einer fundamentalen Umwälzung führen. Übrigens sind wir im Begriff zu entdecken, daß die Herrschaft des Determinismus sowieso stets nur eine *Scheinherrschaft* war. Bei jedem deterministischen «Betriebsunfall» wird sichtbar, daß im Hintergrund in Wirklichkeit unbemerkt eine selbstorganisatorische Entwicklung in Gang war. Viele Gesellschaftsmodelle wie das mittelalterliche Rittertum, der Kommunismus oder der Kapitalismus, die deterministische Absolutgültigkeit erheben, beziehen ihre Wirklichkeiten nur aus ihrer selbstorganisatori-

schen Entstehung. Wie plötzlich sie verschwinden können, wenn sie an einem Verzweigungspunkt angelangt sind, zeigen beispielsweise die derzeitigen Umwälzungen in den Ländern Osteuropas. Die Geschichte des Determinismus selbst ist ein Musterbeispiel von Selbstorganisation.

Selbstorganisation für Jedermann?

Wer sich einmal mit dem Begriff der Selbstorganisation intensiver auseinandergesetzt hat, wird spontan versucht sein, sein eigenes Leben, seine menschlichen Beziehungen in Familie und Betrieb, Krankheiten, geschichtliche Abläufe, politische Konstellationen, Kultur, die Industriegesellschaft und vieles mehr durch die Brille der Selbstorganisation neu zu betrachten. Es ist schlecht vorstellbar, daß Selbstorganisation das Geschehen in der Wissenschaft und in andern gesellschaftlichen Institutionen bestimmen soll, ohne nicht ebenso für das tagtägliche Handeln des Einzelmenschen maßgebend zu werden. Die Selbstorganisation wird sich entweder allgemein durchsetzen, oder sie wird als Modeerscheinung rasch wieder verschwinden.

Wir hatten gesehen, daß der Anfang beliebig sein kann. Jeder kann also den Anfang machen. Eine selbstorganisatorische Verhaltensweise könnte etwa folgende Elemente umfassen:

- Anstatt sich durch vorgegebene Ziele unter Druck zu setzen danach trachten, die eigenen Möglichkeiten zu verbessern.
- Aus dem, was sich so ergibt, auswählen.
- Versuchen Sachverhalte vernetzt, ganzheitlich oder als Kreisläufe zu betrachten.
- Sich selbst und die andern als Produkt eines selbstorganisatorischen

Prozesses sehen, das heißt so akzeptieren, wie man ist und wie sie sind.

- Mit seinen Widersachern zugleich konkurrieren und kooperieren, das heißt, sich in ihnen kritisch sehen und von ihnen lernen. Die Konfrontation mit dem andern bringt mehr als Selbstbestätigung durch Gleichgesinnten.
- Das eigene Handeln mit dem der andern koordinieren, eventuell über ausgiebige Kommunikation.
- Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen eigener Individualität und sozialer Bezogenheit herstellen.

Der Determinismus ist ein «Prinzip der positiven Entropie». Er bietet den Weg des geringsten Widerstands an, baut Komplexität ab, vereinfacht. Kein Wunder also, daß er zum individualistisch-egoistischen Gesellschaftsbild unserer Zeit paßt. Die Selbstorganisation verbraucht Energie. Sie baut Komplexität auf und fordert Verantwortung. Sie befindet sich also auf direktem Kollisionskurs mit den Idealen unserer Zeit. Es wird vermutlich eines tiefgreifenden Schocks bedürfen, damit eine Paradigmenwechsel stattfindet, ähnlich wie der Dreißigjährige Krieg als Verzweigungspunkt beim Übergang zum Determinismus wirkte. Bis es soweit kommt, wird sich ein Anhänger der Selbstorganisation damit abfinden müssen, in stetem Konflikt mit seiner Umgebung zu leben.

[24] [27] [28]

Literatur

- [1] L. Prigogine, I. Stengers, Dialog mit der Natur, München, 1980.
- [2] C. E. Shannon, W. Weaver, The Mathematical Theory of Communication, Urbana University Press, 1949.
- [3] H. v. Foerster, On Self-Organizing Systems and Their Environments, in: Self-Organizing Systems, M. Yovits & S. Cameron eds., Pergamon, 1960.
- [4] H. Atlan, Entre le cristal et la fumée, Editions du Seuil, 1979.
- [5] F. Varela, Principles of Biological Autonomy, North Holland Publ., 1978.
- [6] M. Eigen, Self-Organization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules, Die Naturwissenschaften 5/8 (1971) 465.
- [7] E. Morin, La Méthode, Bd. 1: La Nature de la Nature (1977), Bd. 2: La Vie de la Vie (1980), Editions du Seuil.
- [8] Grundprinzipien der Selbstorganisation, K. W. Kratky, F. Wallner (Hrsg.), Wissensch. Buchges., Darmstadt, 1990. Selbstorganisation - Aspekte einer wissenschaftlichen Revolution, W. Krohn, G. Küppers (Hrsg.), Vieweg, 1990.
- [9] Self-Organization and Management of Social Systems, H. Ulrich, G. Probst eds., Springer-Verlag, 1984.

Quelle Bilder: Ausstellung Jean Tinguely, Nachtschattengewächse, veranstaltet vom KunstHaus Wien. Copyright KunstHaus Wien und Hirmer Verlag, München. Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Dr. Kornfeld, Galerie Kornfeld & Cie, Bern.