

## Fremd- oder Selbstorganisation? Die Grundfrage der Wissenschaft

### Historizismus versus Reduktionismus

„Fremd- oder Selbstorganisation?“ ist eine Frage, die die Wissenschaft und Philosophie seit ihren Anfängen polarisiert hat. Etwas weiter ausgeführt, läuft diese Frage nämlich darauf hinaus, ob die Organisation der belebten und unbelebten Natur durch eine transzendente Intelligenz erschaffen und gesteuert wird oder ob sie durch die Wechselwirkung aller Teile untereinander sich selbst, also ohne äußeres Zutun, zu dem entwickelt hat, was sie ist.

In dem Ausspruch des *Aristoteles* (384-322 v. Chr.): „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Einzelteile!“ findet dieser Zwiespalt seinen adäquaten Ausdruck.

Dabei geht der *Historizismus* davon aus, dass es Gesetze auf höherer Ebene gibt, die sich nicht auf Naturgesetze reduzieren lassen. Dessen Anhänger postulieren Vitalkräfte oder spirituelle Agenzien, die die physikalischen Gesetze außer Kraft setzen können. Anders wären so genannte Wunder nicht zu erklären. <sup>[6]</sup>

Der *Reduktionismus* hält entgegen: Jedes Phänomen lässt sich auf Naturgesetze reduzieren. Auch so genannte Wunder sind früher oder später erklärbar; es fehlen uns derzeit nur die nötigen Messdaten und Zusammenhänge. Unter dem Begriff „Laplace-scher Dämon“ geistert diese Auffassung seit fast 200 Jahren durch die Wissenschaftsgeschichte.

Bekannt geworden ist die Episode, nach der

*Laplace* dem französischen Kaiser *Napoleon* die Entwicklung des Sonnensystems erklären soll. Als *Napoleon* den Gelehrten schließlich fragte: "Aber wo ist Gott in Ihrem System?", soll *Laplace* geantwortet haben: "Sir, diese Hypothese habe ich nicht nötig!".

*Laplace* begriff die Welt, wie der wissenschaftliche „Mainstream“ seit *Newton* (1642-1727) überhaupt, als ein mechanisches Uhrwerk, in dem jede Wirkung **linear abhängig** ist von Größe seiner Ursache ist. Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen! Große Ursache – starke Wirkung; kleine Ursache - schwache Wirkung! „Viel macht viel!“

### Chaos – Komplexität - Emergenz

Den ersten empfindlichen Schlag erhielt diese deterministische Weltauffassung durch die *Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation* und die daraus hervorgegangene Quantenphysik, die nur noch Wahrscheinlichkeitsaussagen hinsichtlich des „Ursache-Wirkungs-Mechanismus“ zulässt. Aber mit dem Aufkommen der Chaostheorie und deren Erweiterung- der Komplexitätstheorie- fiel diese deterministische Weltauffassung vollends in sich zusammen. Tatsächlich bilden lineare Ursache-Wirkungs-Mechanismen die Ausnahme, denn die meisten Phänomene lassen sich nur durch **nichtlineare Zusammenhänge** beschreiben: Kleinste Abweichungen in den Ausgangsbedingungen, die just unmessbar sein können, führen zu ko-

**Laplacescher Dämon:** Die von *Pierre Simon de Laplace* (1749-1827) entwickelte Vorstellung einer übermenschlichen Intelligenz, die im Sinne der mechanistischen Vorstellung eines geschlossenen Weltsystems in der Lage sein müsste, das gesamte Weltgeschehen (in Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) genau zu berechnen, wenn ihr für einen bestimmten Augenblick die Lagen sämtlicher Partikel im Universum und deren Geschwindigkeiten bekannt wären. Dieses Konzept ist mit den Erkenntnissen der Quantenmechanik nicht vereinbar. [Brockhaus]

lossal unterschiedlichen, i. d. R. nicht voraussehbaren Prozessverläufen („Schmetterlings-effekt“). Zurück bleibt ein „Zufallsuniversum“, das sich, wenn überhaupt, nur noch mathematisch beschreiben lässt und erst jetzt im Zuge der Erweiterung der Chaos-Theorie durch die Komplexitätstheorie veri- bzw. falsifizierbar wird, wenn auch in bescheidenem Maße. In jedem Fall gründen in diesem Zusammenhang die Hoffnungen der Wissenschaftler und Mathematiker auf den Fortschritten in der Rechentechnik.

Da ist er wieder, der Zwiespalt zwischen der Hilflosigkeit gegenüber einem kontingenten, weil hyperkomplexen Universum einerseits und der Hoffnung auf das Potenzial von Mensch und Technik, die mit „vereinten Kräften“ den Zufall aus der Welt schaffen werden. Einstweilen behilft man sich mit Begriffen wie Synergetik, Autopoiese, Selbstorganisation, dissipative Strukturen und Emergenz.

Insbesondere der Begriff Emergenz ist dabei zu neuen Ehren gekommen: Mit **Emergenz** ist das Auftauchen von Systemmerkmalen auf höheren Organisationsebenen gemeint, die nicht aus den Merkmalen der Komponenten der niedrigeren Ebene vorhergesagt werden können; sie entstehen eben erst durch das Zusammenwirken der Einzelteile.

Allein die Kategorien Raum und Zeit existieren beispielsweise auf der Quantenebene nicht, jedenfalls nicht in ihrer

Verschränkung. Wie also sollen Raum- und Zeitphänomene, mit denen nahezu alle Wissenschaften, die auf der manifesten Ebene operieren, aus ihren Ursachen erklärt werden?

Oder betrachten wir das Phänomen Wasser: Allein durch das Wissen um Wasserstoff- und Sauerstoffatome ist die flüssige Struktur von Wasser nicht erklärbar. Erst durch das Zusammenwirken der beiden Komponenten und ihre Dipolanordnung kommt man der Sache näher. Aber selbst bei der Betrachtung eines einzelnen Dipol-Moleküls ist Wasser wohl als Dampf, aber noch nicht als Flüssigkeit emergiert. Dahin führt erst der Weg über die Wechselwirkung der einzelnen Dipole untereinander, nämlich mit Hilfe des Vermögens von Wasserstoff, Brücken auszubilden und die Dipole zu Clustern zu vernetzen. Wieder andere Eigenschaften emergieren, wenn Wasser unterhalb des Temperaturnullpunktes abgekühlt wird. Plötzlich bilden sich hexagonale Kristallstrukturen (z.B. Schneeflocken).

Hätten *James Watt* und die Thermodynamiker der ersten Stunde warten sollen, bis diese Prozesse bis ins Letzte aufgeklärt sind, bevor sie den Bau von Wärmekraftmaschinen in Angriff nahmen? Sollen sich Evolutionsbiologen mit ihren Theorien zurückhalten, bis sie alle *Missing Links* gefunden haben? Nichtwissen schützt das Wissen nicht vor dessen Publikation und praktischer Anwendung! Auch dies ist möglicherweise ein Merkmal von Selbstorganisation,

**Synergetik:** Lehre vom Zusammenwirken von Elementen, die innerhalb eines komplexen dynamischen Systems miteinander in Wechselwirkung treten. Die Synergetik ist in den 1970er Jahren aus der statistischen Physik der Nichtgleichgewichtssysteme hervorgegangen (*Hermann Haken*) und behandelte demgemäß zunächst rein physikalische Systeme, deren bekanntestes der Laser ist. An diesem paradigmatischen System der Selbstorganisation fern vom thermodynamischen Gleichgewicht konnten die wesentlichen Prinzipien, wie das Ordnungsparameter-Konzept, Versklavungsprinzip, Phasenübergänge u. a. entwickelt werden.

**Autopoiese:** Prozess der Selbsterschaffung und -erhaltung eines Systems. Autopoiesis ist das charakteristische Organisationsmerkmal von Lebewesen bzw. lebenden Systemen. Der Begriff wurde von dem chilenischen Neurobiologen *Humberto Maturana* geprägt. Autopoietische Systeme (beispielsweise Menschen und andere Säugetiere) sind rekursiv organisiert, d.h. das Produkt des funktionalen Zusammenwirkens ihrer Bestandteile ist genau jene Organisation, die die Bestandteile produziert. Durch diese besondere Form der Organisation lassen sich lebende von nicht-lebenden Systemen unterscheiden: nämlich dadurch, "dass das Produkt ihrer Organisation sie selbst sind, das heißt, es gibt keine Trennung zwischen Erzeuger und Erzeugnis. Das Sein und das Tun einer autopoietischen Einheit sind untrennbar, und dies bildet ihre spezifische Art von Organisation.

denn nur Publikation und Anwendung führen zu Rückkopplungen und diese sind eben gerade das treibende Moment selbstorganisierter Systeme. Dieses Problem der theoretischen Unzulänglichkeiten betrifft im Übrigen nicht nur die empirischen Wissenschaften, sondern auch Theorien innerhalb der Physik, wie die *String- und Superstring-Theorien* oder die *Loop-Quantengravitation*. Allein weil sie sich nicht mit Hilfe von Experimenten beweisen lassen und reproduzierbar sind, haben sie einen schweren Stand; denn seit dem 17. Jahrhundert gilt als eine Grundannahme der Naturwissenschaft, dass Erklärungen sich nur auf das Verhalten materieller Substanzen beziehen können.

## Übergreifende Emergenz

Die Einbeziehung von Emergenz macht eine Ebenen übergreifende Wissenschaft erst möglich; sie fungiert sozusagen als Behelfsbrücke von den niedersten bis in die höchsten Organisationsebenen und ersetzt den verborgenen „roten Faden“, der alles miteinander verbindet.

Nichtsdestotrotz bleiben die führenden Komplexitätstheoretiker stur: Die Abgrenzung vom *Historizismus*, dem *Holismus*, dem *Vitalismus* und sowieso dem *Spiritualismus* ist scharf und vehement, wie das folgende Statement von *Sandra Mitchell* erkennen lässt:

„Metaphysische Emergenzdoktrinen, die eine ganz andere, einzigartige Substanz oberhalb und jenseits des Materiellen postulieren, stehen in krassem Gegensatz zum Materialismus, der sämtlichen Naturwissenschaften zugrunde liegt.“<sup>[3]</sup>

*Mitchells* Ansage ist unmissverständlich! Aber die Versuchung ist groß: Denn Emergenz ist ein sehr gute Möglichkeit, um das Auftauchen der materiellen Ebenen aus immateriellen und schließlich transzendenten Ebenen zu erklären.

Um die Abgrenzung von der materialistischen Definition nach *Mitchell* deutlich zu machen, möchte ich von **übergreifender Emergenz** sprechen. Der „1. Übergriff“ von der materiellen Ebene in die immaterielle wird bereits durch die so genannten Vakuumfluktuationen offenbar. Notabene ist das immerhin noch etablierte Physik! Aus dem raumzeitlosen Vakuum emergieren beständig Quanten, die in der Raumzeit als Materie erscheinen und dabei die Hauptsätze der Thermodynamik kurzzeitig verletzen. Längerfristig betrachtet gleicht es sich zwar wieder aus, allein weil etwa ebensoviel Materie beständig ins Vakuum abtaucht. Letztendlich wird jedoch dieses Fließgleichgewicht zwischen immateriellem Vakuum und materieller Raumzeit als aussichtsreichste Erklärung für die Entstehung und Existenz von Materie überhaupt angesehen.

Der gravierende Unterschied zwischen Raumzeit und Vakuum besteht darin, dass in der Raumzeit Kräfte wirken, d.h. es gibt Energiepotenziale ( $\Delta E \gg 0$ ) und Informationen, während das Vakuum den energetischen Grundzustand bezeichnet; und das bedeutet wiederum: Keine Kräfte, keine Energien ( $\Delta E \sim 0$ ), aber weiterhin Informationen. Was liegt demnach näher, als die Emergenz von Materie aus der Wechselwirkung von Informationen zu erklären?

Nichtsdestoweniger ist die Bedingung für jede Information der Unterschied. Die kleinste Informationseinheit ist 1 bit, was nichts anderes bezeichnet als den Unterschied zwischen **kein** Signal und **ein** Signal (0/1, L/0, +/- etc.). Während das Vakuum also immer noch eine duale Organisationsebene, nämlich die der Informationen oder im einfachsten platonischen Sinne die der Formen darstellt, verlangt die Logik eine weitere untergeordnete Ebene.

Vor diesem „2. Übergriff“ scheut sich in der Regel die Naturwissenschaft. Allein die Philosophie, die Religionen und freilich alle Spielarten des Spiritualismus streben geradezu dieser un-

teren Organisationsebene zielstrebig entgegen. Es ist die Ebene, wo jede Polarität und Dualität aufgehoben ist, wo keine Unterschiede mehr existieren: Sie stellt somit zugleich das ALLES **und** das NICHTS dar. Es ist die Ebene der Uniformität, der Einheit.

*Carl Friedrich von Weizsäcker*, Philosoph **und Physiker** (wohlgemerkt!), schreibt in seinem Werk „Die Einheit der Natur“: „Das Eine ist der Begriff der klassischen Philosophie für GOTT. Die Einheit in der Natur ist für diese Philosophie die Weise, wie die Natur GOTT sehen lässt.“ [7]

obere Ebene	Raum-Zeit Materie	Masse/Energie, Informationen	Polarität Kraftwirkungen Naturgesetze Vektoren
<b>2. übergreifende Emergenz ↑</b>	<b>Quantensprünge</b>	<b>Quantenfluktuationen</b>	<b>Informationsverknüpfung</b>
mittlere Ebene	Vakuum Immaterie	Informationen, Formen (keine Masse/Energie)	Dualität Informationen/Signale Skalare
<b>1. übergreifende Emergenz ↑</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Formfluktuationen</b>	<b>Polarisierung der Uniformität</b>
untere Ebene	Gott Brahman Tao Gi Transzendenz Absolutes	Alles und Nichts Einheit absolutes Bewusstsein (Veden) (keine Masse/Energie, keine Informationen)	Uniformität Wirken eines allumfassenden Bewusstseins ? (Veden)

Selbstverständlich wissen wir nicht, was der **1. übergreifenden Emergenz** vorangegangen ist, noch was sich hinter der Bezeichnung GOTT verbirgt. An dieser Stelle endet alle Ontologie. Wir reden über Transzendenz, über etwas also, das sich unserem Wahrnehmungsvermögen (zumindest unter „normalen Umständen“) entzieht.

Was wir jedoch wissen, ist, dass der **2. übergreifenden Emergenz** eine ganze Reihe von Emergenzen in höhere Organisationsebenen folgen, obschon bei den folgenden nicht mehr von „übergreifenden Emergenzen“ gesprochen werden kann. Es handelt sich um Emergenzen innerhalb der materiellen Ebene: Quanten verknüpfen sich zu Elementarteilchen, Elementarteilchen zu Atomen, Atome zu Molekülen, Moleküle zu Clustern; schließlich entstehen daraus Zellen, und Zellen bilden die Grundlage des Lebens; Lebewesen emergieren zu Gesellschaftssystemen und Systeme wiederum zu System-Clustern...

Der Unterschied ist: **Übergreifende Emergenzen haben revolutionären Charakter; Emergenzen innerhalb der Ebenen tragen evolutionären Charakter.**

Gleichmaßen ist davon auszugehen, dass nicht nur in der oberen materiellen Ebene die Evolution durch Emergenz vorangetrieben wird, sondern dass auch Formen bzw. Informationen im Vakuum eine Evolution durchlaufen, ehe sie reif für den Quantensprung in die materielle Ebene sind.

Wo diese Stufenleiter nach oben endet..., auch in dieser Richtung ist unser Wahrnehmungsvermögen begrenzt. Die spirituelle Auffassung postuliert, dass die höchste Organisationsebene mit der niedrigsten identisch ist; ...dass sich im Chaos die Ordnung verbirgt; dass sich alle Gegensätze im Ewigen und Unendlichen (quasi in Gott) vereinigen. Eine äußerst erfolgreiche These! Aber Wissenschaftler à la *Laplace*, benötigen die „These GOTT“ nicht. Auch die moderne Chaos- und Komplexitätsforschung bemüht sich, aus ihren Erklärungsmodellen Gott herauszuhalten. Der These „Fremdorganisation durch ein kreatives steuerndes Hintergrundfeld“ setzt sie die These der „Selbstorganisation der Materie“ entgegen.

## Selbstorganisation und dissipative Strukturen

Unter **Selbstorganisation** wird das spontane Auftreten neuer stabiler Strukturen und (Verhaltens-)Muster in offenen Systemen fernab des thermodynamischen Gleichgewicht verstanden.

*Ilya Prigogine* prägte dafür den Begriff **dissipative Strukturen**.

Wichtig erscheint, dass die in solchen Systemen interagierenden Teilnehmer nicht nach komplizierten Vorschriften und Programmen, sondern nach einfachsten Regeln handeln, ohne eine konkrete Vorstellung von dem Weg und dem Ziel zu haben. Dennoch gelingt es, aus Chaos Ordnung zu schaffen, indem beständig Entropie in Form von geringwertiger Energie aus dem System exportiert und hochwertige Energie importiert wird.

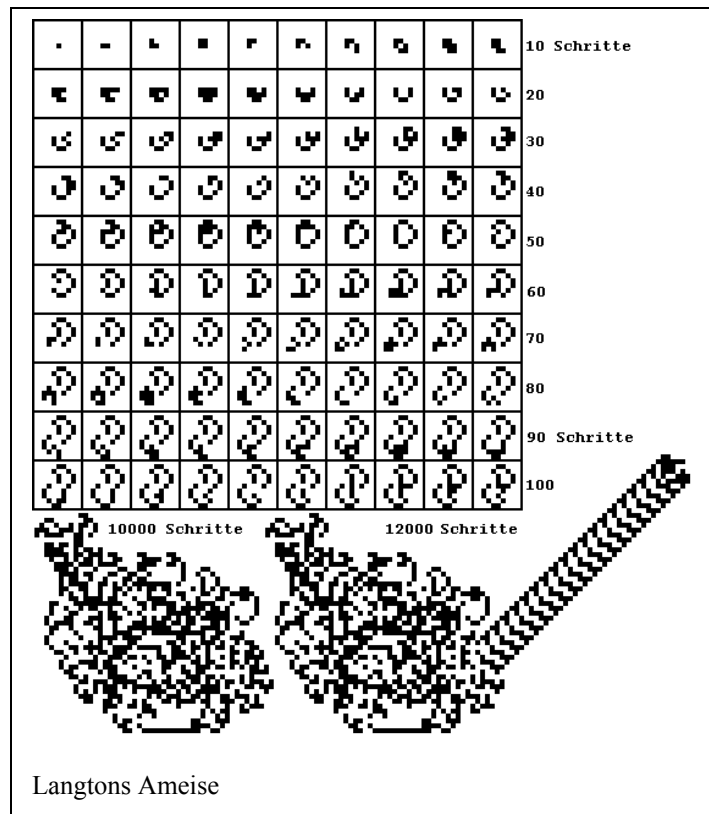
Bei lebenden Systemen - und **alle lebenden Systeme sind nichtlineare Systeme fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht** - mag man sich die Selbstorganisation durch intrinsisches, instinktives und intuitives Reagieren nach dem **Prinzip von Regelkreisen** erklären. Beständige **positive und negative Rückkopplungen der System-Agenten** untereinander führen letztendlich aus dem Chaos zur Ordnung und stabilisieren diese. Tatsächlich können solche spontanen Symmetriebrüche in linearen Systemen nicht nur in lebenden, sondern auch in nicht-lebenden Systemen beobachtet werden. Beispiele dafür sind die oszillierende chemische Reaktion nach *Belousov* und *Zhabotinsky*, die Entstehung von geordneten Wirbeln aus Turbulenzen in Wasser und Luft, das geometrisch geordnetes Kristallwachstum (Schneeflocken, Eisblumen), die Entstehung von Konvektionszellen (*Bénard-Zellen*) beim Erhitzen von Silikonölen oder auch nur die Muster von Sanddünen (Croissant-Formen)... Doch Vorsicht vor der Umkehrung dieser Aussage! Entgegen der weit verbreiteten Fehlinterpretation vieler Wasserforscher müssen nicht notwendig erzwungene Wirbel und Kristallisationen zu höherer Ordnung führen!

## Turing-Maschinen und zelluläre Automaten

Damit stellt sich die Frage: Wie ist es möglich, dass selbst so genannte „tote Teilchen“ so effektiv miteinander wechselwirken können, dass sie aus Chaos Ordnung entstehen lassen?

Damit nicht genug: Es ist sogar gelungen, intelligente Maschinen zu bauen, so genannte Turing-Maschinen, von – Neumann - Maschinen oder zelluläre Automaten, die mit einfachsten Rechenregeln aus einem zufallsgesteuerten System sowohl komplex-chaotische, als auch komplex-geordnete Strukturen aufbauen können. Die beiden berühmtesten sind unter dem Namen „Langtons Ameise“ und *Conways* „Spiel des Lebens“ bekannt geworden.

Zweifellos bilden zelluläre Automaten Grundprinzipien der Evolution ab, und ein entscheidender Anteil an



Selbstorganisation durch Rückkopplungen wird dabei offenbar. Dennoch bleibt bestehen, dass den Automaten Programme, d.h. Anfangsbedingungen und Rechenregeln, wenn auch einfachster Art, zugrunde gelegt werden.

Dessen ungeachtet bilden nicht-lebende Systeme fernab des thermodynamischen Gleichgewichts eher die Ausnahme in der Natur. Tatsächlich werden diese Systeme i. d. R. durch eine sehr präzise Steuerung von außen auf die kritischen Punkte zu bewegt, damit sich Phasenwechsel und also komplexes Verhalten einstellen kann. Auch hier lösen also präzise gesteuerte Informations- und Energiezuflüsse von außen, die Selbstorganisation des Systems aus und machen diese erst möglich. Grundsätzlich gilt: Damit ein System sich entwickeln kann, darf es nicht im Gleichgewicht sein. Aus diesem Grunde sollen in der Folge, die wenigen Ausnahmefälle, wo sich oszillierende Phasenübergänge in Gleichgewichtssystemen zeigen, im Zusammenhang mit dem Phänomen Selbstorganisation nicht weiter betrachtet werden.

## Selbstorganisation lebender Systeme

Wie erklärt sich die Selbstorganisation in lebenden Systemen? Um der Antwort auf diese Frage näher zu kommen, empfiehlt es sich zunächst, einige Merkmale von selbstorganisierten Systemen zu betrachten:

Ein Merkmal wurde schon mehrfach erwähnt: Selbstorganisation ist nur in Systemen möglich, die sich **im Ungleichgewicht** befinden, d.h. es müssen Potenzialunterschiede vorhanden sein. Ein System, in dem alles ausgeglichen ist, in dem gibt es keinen Informations- und Energieaustausch. Ein solches System ist erstarrt und bewegungslos, wie eine Kugel, die sich in einer Mulde befindet. Andererseits müssen die Agenten des Systems gleichartig genug sein, damit sie miteinander wechselwirken können. **Differenzierung und Kooperation müssen im rechten Maß vorhanden sein!**

Ein zweites Merkmal, auch bereits erwähnt, ist die **Nichtlinearität**. Die Stärke einer Störung von außen setzt sich im System nichtlinear fort, häufig exponential. Dadurch können kleine Ursachen große Wirkungen haben und das System entweder ins Chaos reißen bzw. in dessen Folge wider Erwarten Ordnung entstehen zu lassen.

Um diesen vermeintlichen Widerspruch zu verstehen, muss man sich verinnerlichen: **Ordnung und also selbstorganisierte Systemen entstehen vornehmlich am Rande des Chaos.** *Kappelhoff*<sup>[2]</sup> spricht in diesem Zusammenhang von so genannten NK-Fitnesslandschaften. N bezeichnet dabei die Anzahl der Agenten eines Systems und K die Anzahl der Wechselwirkungen (Interpendenzen). Sind N und/oder K zu klein, erstarrt das System; es kann nicht schnell und flexibel genug auf Störungen reagieren. Sind N und/oder K zu groß, überreagiert das System und wird chaotisch. Auch hierbei gilt: **Das rechte Maß finden zwischen Anzahl der System-Agenten und der Art und Menge an Informationen und Energien, die untereinander ausgetauscht werden**

Ein drittes Merkmal bezeichnet man als **selbstorganisierte Kritikalität**. Gemeint ist damit, dass Systeme im Ungleichgewicht dazu neigen, kritischen Punkten zuzustreben. **An einem kritischen Punkt tritt unweigerlich die Systemkatastrophe ein**, d.h. das System bricht in Chaos aus und teilt sich in mehrere Subsysteme (Bifurkationen). Dadurch wird Entropie abgebaut. **Aus einem System hoher Entropie entstehen mehrere Subsysteme mit niedrigerer Entropie.**

Man kann sich leicht vorstellen, dass es einfacher ist, in zwei Schulklassen mit je zwanzig Kindern Ordnung und Disziplin durchzusetzen, als in einer Klasse mit vierzig Kindern. Was sich zunächst banal anhört, kann in gesellschaftlichen Dimensionen katastrophale Folgen

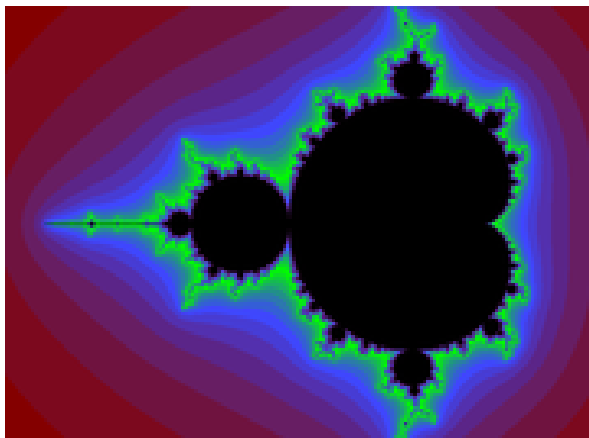
haben. Bekannt ist beispielsweise von den *Yanomami* (Urwald-Indiander in Südamerika), dass sich der Stamm trennt, meist kriegerisch, wenn er über eine bestimmte Mitgliederzahl hinaus gewachsen ist, und sich in zwei Stämmen neu organisiert. Auch *Platon* propagierte die demokratisch-autonome Polis, mit einer streng begrenzten Mitgliederzahl, um die Ordnung im Staate aufrecht zu erhalten. Wie es scheint, hatten die *Yanomami* die Komplexitätstheorie besser verstanden als heutige Politiker, die die Globalisierung propagieren.

*P. Bak*, einer der Entwickler des Konzeptes der selbstorganisierten Kritikalität, spekuliert: „... dass der selbstorganisierte kritische Zustand zwar nicht der optimale, aber dennoch der beste sei, den ein System dynamisch erreichen kann.“<sup>[4]</sup>

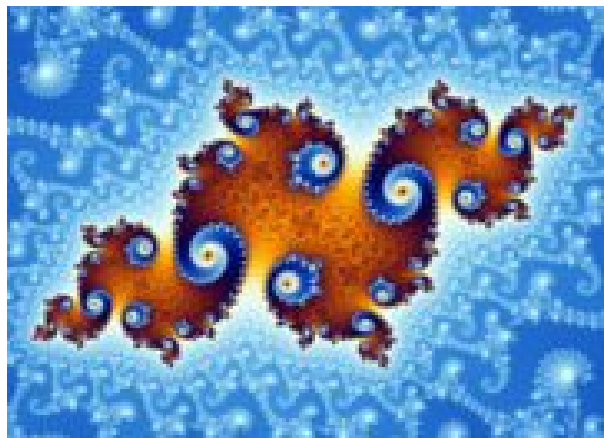
Fazit: Ordnungen bewegen sich durch Anwachsen der Mitgliederzahl und Wechselwirkungen unweigerlich auf kritische Situationen zu; aber das dabei ausbrechende Chaos ist zumeist der Nährboden für neue Ordnungen. **Der Weg zur Ordnung führt über das Chaos.**

Ein viertes Merkmal, und dadurch geben sich sehr oft selbstorganisierte Systeme zu erkennen, ist die **Selbstähnlichkeit, Fraktalität und Skaleninvarianz**. Das wohl berühmteste Fraktal ist die Mandelbrot-Menge, bekannt geworden auch unter dem Namen „Apfelmännchen“.

Zunächst sind Fraktale rein mathematisch am Rechner erzeugte Gebilde, nämlich grafische Darstellungen der Lösungen eines iterativen Gleichungssystems. Im Falle der Mandelbrot-Menge handelt es sich um die Gleichung:  $z_{n+1} = rz_n(1-z_n)$ , wobei  $z$  eine komplexe Zahl ist:  $z = x + iy$ . Das Ergebnis  $z_n$  wird immer wieder in die nächste Rechnung eingesetzt, und so entstehen immer die gleichen Muster.<sup>[5]</sup>



Mandelbrot-Menge („Apfelmännchen“)



Kleiner Ausschnitt am Rand der Mandelbrot-Menge

Die Parallele dieses rein mathematischen Modells wird offenbar, wenn wir den Vergleich zur Zellregeneration von Lebewesen ziehen: In wenigen Monaten sind die Zellen eines Menschen komplett erneuert. Dennoch erkennen wir uns wieder; das Muster ist geblieben. Aber gerade weil Lebewesen komplexe Systeme sind, kann die kleinste Abweichung eines Parameters das Zellregenerationsprogramm entarten lassen: Eine mögliche Ursache von Krebs.

Dass die Natur „rechnen“ kann, zeigt sich auch an Beispielen wie Farnen und Gemüsearten wie Blumenkohl und Romanesco. Hier treten Selbstähnlichkeiten zu Tage, die den mathematischen Fraktalen sehr nahe kommen.



Blumenkohl



Romanesco

Die Selbstähnlichkeit muss sich aber nicht allein auf die Form-in-Form-Muster beschränken, sondern kann auch die Eigenschaften gänzlich verschiedener Objekte und Phänomene betreffen, wenn sie nämlich auf verschiedenen Zeit- und Längenskalen ähnliche Muster bilden. Der wissenschaftliche Begriff für diese vielfältigen Phänomene ist **Skaleninvarianz**.

Beispiele dafür sind die Ähnlichkeit der Wellenmuster bei der erwähnten Belousov-Zhabotinsky-Reaktion mit den Kalzium-Wellen in Zellen im Zusammenhang mit Kammerflimmern und Herz-Rhythmus-Störungen.

Oder: Die Gleichartigkeit des Gutenberg-Richter-Gesetzes (Zusammenhang zwischen Häufigkeit- und Stärke von Erdbeben) mit dem Lawinen-Potenzgesetz (Lawinen-Häufigkeit).

Eben auf der Inbezugsetzung einer Vielzahl solcher skaleninvarianter Phänomene gründet die **Global-Scaling-Theorie**.

Als ein fünftes Merkmal sei noch auf die **Redundanz und Autonomie** von selbstorganisierten Systemen hingewiesen.

**Selbstorganisierte Systeme sind nicht hierarchisch, sondern dezentral und heterarchisch organisiert.** Es gibt keine Trennung zwischen organisierenden, gestaltenden oder lenkenden Agenden. **Alle System-Agenden sind Gestalter.** Die Autonomie bezieht sich darauf, dass die **Muster vom System selbst erzeugt** werden; nichtsdestoweniger gibt es einen Informations- und Energieaustausch mit der Umgebung.

### **Selbstorganisierender Pragmatismus**

Diese fünf wichtigsten Merkmale liefern uns wertvolle Hinweise, woran wir erkennen, wenn wir es mit selbstorganisierten Systemen zu tun haben. Sie können als Zeichen und Wegweiser dienen in einer Welt, die so komplex und unvorhersehbar ist, wie die unsere. Tatsächlich ist unsere Orientierung im System „Welt“ vergleichbar mit der Orientierung in einer weitestgehend fremden und unüberschaubaren Landschaft. Es ist eher selten, dass wir Wege beschreiten, die wir kennen und von denen wir wissen, wohin sie führen. Diese wenigen Wege verlaufen i. d. R. linear; wir können ihre Ursache-Wirkungs-Mechanismen abschätzen und nennen sie dann Naturgesetze. Erschwerend hinzu kommt: Die Wege und also die Naturgesetze verändern sich!



In der Mehrzahl bewegen wir uns auf unbekanntem verschlungenen, eben nichtlinearen Pfaden, von denen wir nicht wissen, wohin sie uns führen und welche Gefahren sie bergen. Aber wir lieben das Abenteuer und kommen wider Erwarten erstaunlich gut zurecht! Wie ist das möglich?

Ein gutes Gleichnis dafür ist das Autofahren: Das Autofahren im dichten Stadtverkehr ist eine äußerst komplexe Aufgabe. Theoretisch und praktisch ist es dem Autofahrer unmöglich, alle auf ihn einströmenden Informationen bewusst und präzise zu verarbeiten. Er löst dieses Problem wahrscheinlich so, dass er sich wie durch eine einigermaßen vertraute Landschaft bewegt und sich hauptsächlich auf Auffälligkeiten und Besonderheiten konzentriert: Einen Raser beispielsweise oder spielende Kinder am Straßenrand. Das heißt: Wir setzen skaleninvariante Erfahrungen in Bezug. Und tatsächlich scheint dies die effektivste Art und Weise zu sein, fernab von Gleichgewicht am Leben zu bleiben. Die Überlebenschancen wachsen mit den Erfahrungen und der Fähigkeit, die Skaleninvarianz herzustellen.

Gleichermaßen sollten wir „hellhörig“ werden, wenn wir aus dem „weißen Rauschen“ das uns permanent umgibt, Muster erkennen. Das so genannte „Rosa Rauschen“ oder „1/f-Rauschen“ ist dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudenverteilung umgekehrt proportional ist zur Frequenz ( $E \sim 1/f$ ), das bedeutet: Treten Ereignisse mit doppelter Häufigkeit ein, treten sie nur halb so intensiv auf. Gleichsam umgekehrt: Ereignisse, die seltener eintreten, sind i. d. R. entsprechend intensiver. Dies kann sich beispielsweise dadurch äußern, dass während der Annäherung an kritische Zustände Ereignisse zunehmend häufiger, aber weniger intensiv auftreten. Wohingegen die Näherung an den Rand des Chaos (zunehmende Ordnung) durch eine geringere Häufigkeit von Ereignissen mit wachsender Intensität gekennzeichnet ist.

Auch hierbei spricht man vom Erkennen einer „Gebirgslandschaft in der Zeit“. Die Methoden zur Erkennung dieser Zeitmuster sind zunächst physikalisch-technischer Natur: Ein 1/f-Rauschen kann beispielsweise, durch die gleichgewichtete Überlagerung von periodischen Signalen aller Frequenzen erzeugt werden. Auch einige Radionik-Geräte arbeiten mit Rauschdiode.

Aber die Methoden, um aus dem weißen und rosa Rauschen Muster zu erkennen sind viel älter, vielfältiger und oft spiritueller Art: Meditation, Rituale, halluzinogene Drogen... Die Mustererkennung kann also durchaus auch im wörtlichen Sinne als ein „In-sich-hinein-hören“ verstanden werden!

Skepsis ist immer dann geboten, wenn Systeme hierarchisch und heteronom organisiert sind; wenn zwischen Führern und Geführten, zwischen Gestaltern und Gestalten unterschieden wird. Ist dies der Fall, kann man sich sicher sein, dass es sich nicht um selbstorganisierte Systeme handelt, sondern i. d. R. um unflexible erstarrte Ordnungen, die den Keim des Verfalls und Todes bereits in sich tragen

Nichtsdestoweniger müssen wir uns darüber bewusst sein, dass selbstorganisierte Systeme kritische Zustände anstreben und dass man nichts dagegen tun kann, der Katastrophe zu entgehen. Gut zu wissen, dass diese selbstorganisierte Kritikalität nicht zu Verfall und Tod, sondern häufig zur Organisation kleinerer Subsysteme höherer Ordnung führt.

## **Die Grundfrage...**

Nachdem die wichtigsten Merkmale selbstorganisierter Systeme zusammengetragen und (mit einem Augenzwinkern!) einige pragmatische Hinweise für die Orientierung in einer weitestgehend chaotischen und komplexen Welt gegeben worden sind, ist die Antwort auf die eingangs gestellte Frage noch immer offen: Hat sich die Natur, so atemberaubend genial, wie

sich uns darstellt, von selbst durch die Wechselwirkungen plan- und zielloser Teile entwickelt oder unterliegt dem Ganzen doch ein Programm, eine Blaupause, ein kreatives Prinzip?

Allein die *Gödelsche Logik* würde es verbieten, diese Frage als *Entweder/Oder-Frage* zu stellen: **Man kann ein axiomatisches System nicht aus den Axiomen des Systems selbst ableiten.** Das Axiom „Selbstorganisation“ ist daher für den Historizisten ebenso unakzeptabel wie das Axiom „Gott“ für den Reduktionisten. Der kurze Ausflug in die Komplexitätstheorie sollte verdeutlichen, dass bereits einfachste Hintergrundprogramme eine erfolgreiche Selbstorganisation in Gang setzen können. Gleichmaßen sollte zum Ausdruck kommen, dass eben ein Minimum an Hintergrundsteuerung in den meisten Fällen nicht ohne Weiteres wegdiskutiert werden kann. Die Antwort auf die Frage kann nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft nicht zwischen „Fremd- **oder** Selbstorganisation“ entscheiden werden; ich persönlich würde ein *sowohl als auch* befürworten: Fremd- **und** Selbstorganisation!

Das Axiom „übergreifende Emergenz“ soll hier als Vorschlag verstanden werden, eine Brücke zwischen dem „Hintergrund“ und dem „Vordergrund“, ebenso wie zwischen den beiden Lagern *Historizismus* und *Reduktionismus* zu bauen (wohl wissend, dass es weder **den** Historizisten noch **den** Reduktionisten gibt!).

Aber im Grunde existiert wahrscheinlich diese Brücke a priori: Die Zuversicht „des Reduktionisten“, dass sich der Mensch im Zuge der Evolution stetig weiterentwickelt, sodass er früher oder später auch die letzten Geheimnisse der Welt entschlüsseln wird, würde ihn, den Menschen selbst, zum *Laplaceschen Dämon* machen. Was aber würde ihn dann noch von GOTT unterscheiden? Und wodurch unterscheidet sich dieses Szenario von dem eines Historizisten wie *Teilhard de Chardin*, der die geistige Evolution des Menschen in einer Noosphäre proklamierte, bis er, der Mensch, schließlich am *Omega-Punkt* Gottgleichheit erreicht hat. Notabene ist des Einen Zuversicht des Anderen Glaube. Die Parallelen *Reduktionismus* und *Historizismus*, die sich im Hier und Jetzt nicht annähern können, begegnen sich im Unendlichen ohnehin.

## Verwendete Literatur

- [1] Cohen, J.; Stewart, I.: Chaos und Anti-Chaos  
Deutscher Taschenbuchverlag München 1994
- [2] Kappelhoff, P.: Management komplexer Systeme.  
Theorien - Strategien - Fallstudien  
[www.techniksoziologie-dortmund.de/Sektion/Makos-2007/Abstract-Kappelhoff.htm](http://www.techniksoziologie-dortmund.de/Sektion/Makos-2007/Abstract-Kappelhoff.htm)
- [3] Mitchell, S.: Komplexitäten. Warum wir erst anfangen, die Welt zu verstehen  
Suhrkamp Verlag edition unseld Frankfurt am Main 2008
- [4] Richter, K.; Rost, J.- M.: Komplexe Systeme  
Fischer Taschenbuchverlag Frankfurt am Main 2002
- [5] Schlemm, A.: Annettes Philosophenstübchen  
Texte zu Selbstorganisation  
[www.thur.de/philo/as16.htm](http://www.thur.de/philo/as16.htm)
- [6] Stein, S.: Emergenz in der Software-Entwicklung. Bereits verwirklicht oder Chance?  
Diplom-Arbeit  
[emergenz@htfsc.de](mailto:emergenz@htfsc.de)
- [7] von Weizsäcker, C.- F.: Die Einheit der Natur  
Deutscher Taschenbuchverlag München 1974