

Werner Ebeling

## **Ist Evolution vom Einfachen zum Komplexen gerichtet?**

Über Werte und Emergenz

### **1. Einleitung**

Für den Gründungsvater unserer Sozietät Leibniz war eine der zentralen Ideen die Theodizee. Leibniz verstand darunter die Idee einer besten aller möglicher Welten. Die wirkliche Welt ist die beste u.a. in dem Sinne, dass das Gute in ihr auch von Gott nicht mit einem geringeren Maß an Übel verwirklicht werden kann. Außerdem ist die „*beste aller möglichen Welten*“ dynamisch gedacht: Nicht der derzeitige Zustand der Welt ist der bestmögliche, sondern die Welt mit ihrem Entwicklungspotential ist die beste aller möglichen Welten. Einem der ersten Präsidenten der Akademie, Maupertuis (Präsidentschaft 1746–53), verdanken wir die Aufstellung eines physikalisch begründeten Wirkprinzips und Leonhard Euler (1741–66 Leiter der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie) die mathematisch korrekte Begründung dieses Prinzips (März 2011) sowie Lagrange eine mehr oder weniger endgültige Fassung. Max Planck hat in seinen Reden die Formulierung der Naturgesetze als Variationsprinzipien als Ziel der Wissenschaft bezeichnet, das „dem idealen Endziel der theoretischen Forschung am nächsten kommt“ (Planck 1948). Planck schreibt die eigentliche Urhebererschaft des Wirkprinzips Leibniz zu, und folgt damit Helmholtz und Planck, die sich auf die von dem Akademiemitglied König aufgefundene Abschrift eines Briefes von Leibniz an einen unbekanntem Empfänger berufen (Akademieansprache, 1932). Bis zur vollen Aufklärung dieses Sachverhaltes zum Leibniz-Brief muss man unseres Erachtens, zumindest nach heutiger Auffassung von Urheberrecht, Maupertuis als ersten nachweisbaren Urheber eines Wirkprinzips bezeichnen und die Urhebererschaft von Leibniz solange als offen betrachten, wie der Brief von 1707 und sein Adressat nicht zweifelsfrei festgestellt werden.

Es gibt auch Aussagen von Leibniz direkt zu unserem Thema „Einfachheit – Komplexität“. In Sektion VI der „Discours“ stellt er ein einfaches Ge-

dankenexperiment an und präsentiert seine Ideen zur Theoriebildung. Er betrachtet eine Menge von unregelmäßig verteilten Punkten auf einer Ebene, man denke an Tintenspritzer, und fragt, was es bedeutet, dazu eine Theorie zu machen. Leibniz sagt, das kann nicht heißen, eine Gleichung und entsprechende Kurve zu finden, die alle Punkte verbindet, denn eine solche mathematische Beschreibung gibt es immer. Nach Leibniz' Vorschlag kann man die mathematische Beschreibung nur dann als gesetzmäßig bezeichnen, wenn sie einfach ist, eine komplizierte Beschreibung, die gleichwohl alle Punkte erfasst, kommt dafür nicht in Frage. In dieser Feststellung von Leibniz sehen wir das Kernstück seiner Auffassung von Einfachheit – Komplexität, die wir ausdrücklich teilen. Es sei am Rande angemerkt, dass wir hier nicht zwischen Komplexität und Kompliziertheit unterscheiden, um die Übersetzbarkeit in die zwei Hauptsprachen der Komplexitätsforschung Englisch und Russisch nicht einzuschränken.

In den bisherigen Diskussionen und Beiträgen sind schon viele Facetten unseres Themas behandelt worden (Sommerfeld et al. 2010). Hier soll das Thema aus der Sicht der Physik, aber auch aus informationstheoretischer und evolutionstheoretischer Sicht behandelt werden. Wir stellen uns dabei u.a. das Ziel, die früheren Beiträge der Mitglieder der Leibniz-Sozietät und der Vorgängerakademie aus neuerer Zeit wie die von Kolmogorov, Thiele, Klix, Eigen, Haken, u.a. zu diesem Thema besonders herauszuarbeiten und neuere Entwicklungen darzustellen. Dabei kann nicht vermieden werden, vieles zu wiederholen, was in den bisherigen Beiträgen im Arbeitskreis schon dargelegt wurde (siehe Sommerfeld et al. 2010; März 2011; Moritz 2011).

## 2. Über formale Komplexitätsmaße

In der Mathematik, Informatik, Psychologie, und in den Naturwissenschaften wurde insbesondere seit 1960 viel über formale Komplexitätsmaße gearbeitet. Dieses Thema ist sehr umfangreich. Wir lassen hier erst mal die Physik beiseite und diskutieren die Komplexitätsmaße der Mathematik und Informatik (Shannon, Solomonoff, Kolmogorov und Chaitin) bis hin zu den Komplexitätsmaßen in der angewandten Psychologie (Klix, Thiele, Scheidereiter). Den Anstoß gaben die wichtigen Arbeiten von Solomonoff, Kolmogorov und Chaitin in den 1960er Jahren (Lebensdaten siehe Wikipedia), wobei der letztgenannte direkt an die Idee von Leibniz zur Theorienbildung anknüpft. Ray Solomonoff, der aus einer russischen Einwandererfamilie stammte, und als Informatiker arbeitete, stellte als einer der ersten das Ziel der Formalisierung von Theorien (Solomonoff 1964). Andrey Kolmogorov

(AW der AdW der DDR seit 1977) publizierte 1965 eine fundamentale Arbeit, welche die Grundlage der modernen algorithmischen Informationstheorie und Wahrscheinlichkeitstheorie formulierte. Gregory Chaitin präsentierte 1968 einen unabhängigen Ansatz und die Kolmogorov-Schüler Zvonkin und Levin publizierten 1970 eine umfassende Übersicht der bis dahin vorliegenden Theoreme und Beweise (Zvonkin/Levin 1970). Helmut Thiele (OM der AdW der DDR seit 1978) befasste sich seit 1970 mit einer axiomatischen Fassung der Kolmogorov-Theorie und machte Vorschläge zur Realisierung, wie z.B. die Teilwortkomplexität und die grammatische Komplexität (siehe Thiele in Klix 1974).

Die neuen algorithmischen Komplexitätsmaße wurden von verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen mit großem Interesse aufgenommen. In der Physik haben Komplexitätsmaße insbesondere im Kontext der Chaosforschung eine große Rolle gespielt, sodass man mitunter sogar von einer Komplexitätsphysik spricht (Schapiro 1994; Wackerbauer et al. 1994; Günther et al. 1994; Ebeling et al. 1998). Man kann sicher über den Erkenntnisgewinn durch diese neuen Konzepte noch streiten, aber die moderne Forschung zu Chaos und Vorhersagbarkeit ist ohne Begriffe wie die Kolmogorov-Entropie nicht mehr denkbar.

Betrachten wir nun Anwendungen in Psychologie und Biowissenschaften. Unser leider viel zu früh verstorbenes Mitglied Friedhart Klix erkannte seit den 1970er Jahren die Fruchtbarkeit der Komplexitätsforschung für Probleme der experimentellen Psychologie, wie Wahrnehmungs- und Erkennungsleistung, und baute eine umfangreiche interdisziplinäre Forschung auf (Klix 1974). Viele Ergebnisse der Klix-Schule spiegeln sich in dem Band *Organismische Informationsverarbeitung* (Klix 1974) wider. Beeinflusst und ermutigt durch Friedhart Klix haben sich auch die vom Verfasser geleiteten Forschungsgruppen in Rostock und Berlin mit der Anwendung von Komplexitätsmaßen auf Biosequenzen und andere Informationssequenzen befasst (Ebeling/Feistel 1982, 1986; Ebeling, et al. 1998). Im einfachsten Fall beschränkt man sich auf die Betrachtung von Sequenzen, d.h. auf lineare Strukturen über einem Alphabet, wie Texte, Zahlenfolgen, Nachrichten, Biosequenzen. Ist eine Sequenz auf einem Alphabet von  $\lambda$  verschiedenen Buchstaben aufgebaut, so gibt es ( $W = \lambda^N$ ) verschiedene Möglichkeiten. Das ist eine gigantische Zahl. Nach Eigen ist die biologische Evolution eine Art von Spiel mit diesen Sequenzen gewesen und das Problem war, eine Auswahl zu treffen (vgl. dazu Moritz 2011). Folgen wir Eigen (1971), so kommt es bei der frühen Evolution von Biosequenzen nicht auf formale Eigenschaften der Sequenzen, sondern auf den Wert der Infor-

mation im Kontext der Zelle an. Damit kommt der Begriff des Wertes als emergente Eigenschaft von Sequenz und zellulärer Umgebung ins Spiel. Wir sehen allerdings den Ursprung der Diskussion um den Wertbegriff in den Naturwissenschaften schon in den fundamentalen Werken von Clausius und Darwin in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Für die Physik war von besonderer Bedeutung, die von Clausius gefundene Rolle des Wertes von Energie in Relation zum Entropiebegriff (Ebeling/Feistel 1982, 1992; Feistel/Ebeling 2011). Auch in den Lebenswissenschaften gehören Werte zu den zentralen Konzepten, insbesondere in der Darwinschen Theorie der Evolution, in der „Fitness“ und Selektionswerte die zentrale Rolle spielen wie auch in der Eigenschen Theorie der Evolution von Biomolekülen (Eigen 1971; Ebeling/Feistel 1982, 1986, 1994; Feistel 1990; Feistel/Ebeling 1990, 2011).

### **3. Evolution komplexer Systeme aus der Sicht der Physik und Emergenz**

Im Kontext der Physik betrachten wir nun die von Maupertuis, Euler, Planck und vielen anderen aufgeworfenen Fragen der Wirkprinzipien. Offenbar spielen in der Natur Wirkprinzipien und Evolutionsprinzipien eine bedeutende Rolle, wobei wir Wirkprinzipien im Planckschen Sinne verstehen und Evolutionsprinzipien als Aussagen über die Optimierung einer Größe oder Eigenschaft in der Zeit. Beispiele sind die Prinzipien von Maupertuis, Lagrange und Hamilton über die Optimierung einer Wirkung und der Clausius-Planck'sche zweite Hauptsatz über die Evolution der Entropie in der Zeit. Ein komplexeres Beispiel ist die beobachtete Entwicklung der genetischen und neuronalen Informationskapazitäten im Zuge der biologischen Information (Ebeling/Feistel 1982, 1986, 1994). Offensichtlich gibt es eine Richtung der Entwicklung, aber die Dinge sind doch komplizierter als von Leibniz vorgedacht:

1. Offenbar gibt es kein globales Optimierungskriterium, aber es gibt viele lokale Wirkungs- und Evolutionsprinzipien. Auf allen Ebenen der Naturentwicklung wird verglichen und irgendetwas optimiert, Optimierung ist aber meist multikriteriell und damit auch widersprüchlich.
2. Lokale Evolutionskriterien sind in der Regel stochastischer Art, d.h. es werden nur Tendenzen (Mittelwerte) vorgeschrieben, die mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit eintreten können, aber nicht müssen.

Um diese Sicht der Dinge von der Physik her zu untersetzen, müssen wir etwas ausholen. Die Physiker unterscheiden grundsätzlich zwischen rever-

siblen und irreversiblen Prozessen. Aus dieser Sicht ist Evolution ein irreversibler d.h. nichtumkehrbarer Prozess. Das schließt nicht aus, dass sich einzelne Spezies oder Gesellschaften „rückentwickeln“. Im Ganzen ist die Evolution aber irreversibel und wer das leugnet, hat Probleme mit den Naturwissenschaften. Offensichtlich ist das Problem der Evolution komplexer Systeme aber nicht auf reine Physik reduzierbar und in diesem Kontext kommt das Problem der Emergenz auf.

Die Naturwissenschaftler hatten lange Zeit Probleme mit emergenten Begriffen, und besonders mit dem Wertbegriff. Heute stellen sie die Existenz emergenter Eigenschaften nicht mehr grundsätzlich in Frage (Ebeling/Feistel 1982, 1986, 1994; Feistel/Ebeling 1989, 2011; Ebeling 2006). Hier nur einige Bemerkungen zu dem Problemkreis: elementar, komplex und Emergenz: Das Weltbild der Physik bezieht sich auf die Gesetzmäßigkeiten, welche die Physiker „fundamental“ nennen. Der Begriff „fundamental“ steht hier dafür, dass es keine tieferliegenden Gesetzesmäßigkeiten gibt, auf die wir jene zurückführen könnten. Es sind die Gesetze, welche die Eigenschaften und die Dynamik der elementaren Teilchen und Felder regeln. Weiterhin gehören dazu die Gesetze, welche die generellen Verbote für Prozessmöglichkeiten formulieren, wie die Hauptsätze der Physik. Die fundamentalen Gesetze der Physik sind von der Art, dass sie Möglichkeiten für die zeitliche Entwicklung von Systemen offerieren, die je nach Anfangs- und Randbedingungen realisiert werden können, oder aber auch nicht. Die Gesetze der Mechanik schließen keineswegs aus, dass etwa die Erde sich anders herum um ihre Achse bewegt oder ihren Rotationssinn um die Sonne umkehrt.

Dieses und viele andere Beispiele führen zu der wichtigen These:

Die Kenntnis der fundamentalen Gesetze der Physik reicht nicht aus, um unsere Welt zu verstehen und in ihr zu bestehen. Die Welt, die uns umgibt, ist von großer Komplexität und rein physikalisches Herangehen reicht für ein Verständnis komplexer Phänomene nicht aus.

Zwar bestehen die Dinge, mit denen wir zu tun haben, letztlich nur aus elementaren Teilchen und Feldern, aber dieser Aspekt ist häufig ohne Relevanz für uns. Wir betrachten unser Auto oder unseren Kühlschrank nicht als System von elementaren Teilchen und Feldern, sondern als Entität, als Gebrauchsgegenstand, der für unser Leben einen bestimmten Gebrauchswert hat. Wenn diese Gebrauchsgegenstände einmal ausfallen, wenden wir uns nicht an einen Elementarteilchen-Physiker, sondern rufen einen Mechaniker oder Elektriker, der die erforderlichen technischen Kenntnisse hat. Da wir

unsere Welt als eine Einheit begreifen möchten, entsteht nun natürlich die grundlegende Frage: In welcher Beziehung stehen die Gesetze für das Elementare und für das Komplexe?. Auf diese Frage gibt es mehrere mögliche Antworten. Unsere Auffassung beruht auf folgenden Grundannahmen (Ebeling/Feistel 1994):

1. Die fundamentalen Gesetze der Physik können niemals verletzt werden, sie sind auch für komplexe Systeme uneingeschränkt gültig.
2. Komplexe Systeme haben emergente Eigenschaften, das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.
3. Die Gesetze der Dynamik komplexer Systeme bilden einen Kegel von Einschränkungen, den „Gesetzeskegel“. Mit steigender Komplexität wächst die Menge der gesetzmäßigen Einschränkungen.
4. Komplexe Systeme und die Gesetzmäßigkeiten, denen sie unterliegen, sind im Evolutionsprozess entstanden, ihre Historizität ist ihr zentrales Merkmal.

Mit dieser Auffassung haben wir den historischen Gesichtspunkt in den Mittelpunkt gestellt. Die Welt, in der wir leben, ist vor mehr als zehn Milliarden Jahren aus einer sehr heißen, dichten, und völlig unstrukturierten Urmaterie entstanden. Diese Urmaterie war in einem Zustande, der dem absoluten *Chaos* der alten Griechen oder dem *Tohuwabuhu* der alten Juden sehr nahe kam. Die Dynamik der Evolution wurde im Frühstadium ausschließlich durch fundamentale Gesetze bestimmt, denn es gab ja noch keine komplexen Systeme. Aber unsere Welt war von Anfang an „ *kreativ* “, sie war auf der Basis der vorliegenden Anfangs- und Randbedingungen und der gültigen fundamentalen Gesetzmäßigkeiten in der Lage, Komplexität zu erschaffen. Sie besaß die Fähigkeit zur *Selbststrukturierung* und *Selbstorganisation*. In diesem Prozess entstehen Werte als emergente Ordnungsparameter einer neuen Qualität (Feistel 1990, 1991; Ebeling 2006; Feistel/Ebeling 2011). Selektionsprozesse spielen dabei eine wichtige Rolle (Eigen 1971; Haken 1983). Das betrifft besonders die Evolution des Lebens und die damit verbundenen komplexen Systeme auf unserem Planeten. Selektion in Evolutionssystemen ist immer mit Bewertung und Konkurrenz verbunden. Selektion ist die Auslese positiv bewerteter Spezies im Prozess der Konkurrenz zwischen verschiedenen Spezies. Wir definieren Konkurrenz ganz allgemein als einen in dynamischen Systemen mit mehreren Spezies ablaufenden kollektiven Prozeß (Ebeling/Feistel 1982, 1986). Wenn diese Spezies (Subsysteme) alle unter den gegebenen Bedingungen prinzipiell existenzfähig sind und ein gemeinsames Ziel verfolgen, das nicht durch alle

in gleicher Weise erreichbar ist, so liegt eine Konkurrenzsituation vor. Ein kohärenter Prozess führt unter solchen Bedingungen zum Verschwinden einer oder mehrerer Spezies (Subsysteme) aus dem Gesamtsystem. Auch in der Physik kennt man Konkurrenz, wenn z.B. Lasermoden oder hydrodynamische Strömungsmoden im Wettbewerb um vorhandene energetische Ressourcen stehen (Haken 1983). In der Ökologie spricht man von Konkurrenz, wenn ein für das Überleben der Spezies notwendiger, beschränkt gegebener Faktor durch zwei oder mehrere Spezies genutzt wird. Konkurrenz führt zur Selektion, aber erst nach einem Prozess der Bewertung. Nach Charles Darwin überlebt im Konkurrenzkampf die am besten angepasste Spezies. Hierfür wurde der Ausdruck „survival of the fittest“ geprägt. Diese treffende Formulierung soll übrigens nicht von Darwin selbst, sondern aus der Feder von Spencer stammen. Es hat einen langen Streit darüber gegeben, ob „survival of the fittest“ nicht eine tautologische Aussage darstellt. Wir geben hier der Überzeugung Ausdruck, dass dem nicht so ist und dass die Existenz einer „Synergetik der Evolution“ wesentlich daran geknüpft ist, dass Darwins Aussage keine Tautologie, sondern ein Grundgesetz der Evolution ausdrückt. Im Zusammenhang damit steht die Auffassung, dass die „Fitness“ eine objektivierbare Bewertung im Evolutionsprozess darstellt. Das wichtigste neue Konzept in der Theorie von Wettbewerb und Selektion ist somit offenbar der Überlebens-Wert bzw. die Fitness im Sinne von Darwin. Eine zentrale Rolle spielt in der Biologie auch die Morphogenese. Ein wichtiger Aspekt der Morphogenese ist, dass jede Zelle nur nach eigenen Regeln arbeitet, und trotzdem entsteht ein großer Organismus, dessen Gesamtplan nirgends geschrieben steht.

#### **4. Über Werte**

Die Grundthese einer synergetischen Auffassung von Werten lautet: Werte bezeichnen emergente Eigenschaften komplexer Systeme. Früher haben wir vom Wertbegriff hauptsächlich im Kontext der Malthus'schen, Darwin'schen und Marx'schen Systeme aus dem 19ten Jahrhundert kennen gelernt. Heute spielt der Wertbegriff auch in vielen Naturwissenschaften eine immer wichtigere Rolle. Allerdings liegt seine Herkunft wohl eher in der Philosophie, der Ethik und in der Nationalökonomie. Bei Immanuel Kant ist bereits die Rede vom absoluten Wert des guten Willens. Die Wertlehre, d.h. eine allgemeine philosophische Lehre von den Werten (im Englischen „Value“) ist im 18./19. Jahrhundert entstanden (Schroeder). Ihre Vertreter wie Immanuel Kant und Oskar Kraus, berufen sich auf die Ethik der griechischen

Philosophen. Karl Marx beruft sich auf die Ökonomen Adam Smith und David Ricardo. Als weitere Begründer einer Wertphilosophie gelten Hermann Lotze, Friedrich Nietzsche, Max Scheler und Eduard von Hartmann..

Eine zentrale Rolle spielte der Wertbegriff schon immer in der Ökonomie. Er wurde hier zuerst im 18. Jahrhundert von Adam Smith eingeführt und von David Ricardo als zentrales Konzept der ökonomischen Theorie diskutiert. Das Wertkonzept mit verschiedenen Formen wie Tauschwert und Mehrwert ist bekanntlich auch ein zentraler Bestandteil der marxistischen Theorie (Koshimura 1956, 1975, 1978). Die fundamentalen Ideen von Adam Smith, Ricardo und Marx wurden auch von Schumpeter (1912), weitergeführt. Zur mathematischen Modellierung des Marxschen Wertgesetzes haben eine Reihe von Autoren beigetragen u.a. Koshimura (1956, 1975, 1978), Morishima und Catephores (1982). Besonders relevant in unserem Kontext sind auch die Beiträge von Feistel (1990, 1991) und die Arbeiten aus dem Umkreis der evolutionären Ökonomie (Dosi et al. 1988). In einem anderen Kontext wurde die Idee einer Bewertung auch schon durch Malthus benutzt. Wie bereits ausgeführt wurde, ist das Wertkonzept parallel zu den Entwicklungen in den sozio-ökonomischen Wissenschaften bzw. mit einiger Verzögerung seit der Mitte des 19. Jahrhunderts durch Darwin, Wallace, Haeckel, Spencer u.a. in die biologischen Wissenschaften eingeführt worden. In unserem Kontext sind Werte als emergente Eigenschaften komplexer Systeme zu verstehen. Wahrscheinlich funktioniert die soziale Evolution nach ähnlichen Prinzipien (synergetische Prinzipien) wie die Morphogenese. Niemand hat die Schaffung unserer Gesellschaft in dieser Form geplant oder auch nur vorhergesehen. Es reichte vielmehr, dass durch die Jahrtausende, genau wie heute, jeder Einzelne egoistischen Interessen folgt, die durch andere gesellschaftliche Interessen eingeschränkt werden. So entstand ohne die Existenz eines Generalplans ein imposantes komplexes Gebilde, das zumindest im Großen und Ganzen sinnvoll und zweckmäßig ist. Wir erinnern in diesem Zusammenhang auch an das Konzept der „unsichtbaren Hand“ von Adam Smith und die von Marx formulierten Gesetze.

Der Biomathematiker Sewall Wright entwickelte in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts die fruchtbare Idee der Wertlandschaft, „fitness landscape“, die später durch viele andere Autoren wie Fisher (1930), Conrad (1983) weiterentwickelt wurde. Die Wertlandschaft ist eine Art Gebirge, das durch skalare Werte über dem Raum der Phänotypen gebildet wird. Unter dem Phänotypraum versteht man einen Vektorraum, dessen Achsen einzelne phänotypische Eigenschaften bezeichnen. Als Beispiele für solche quantifizierbare Eigenschaften kann man das Gewicht, die Größe, die Höhe,

die maximale Geschwindigkeit usw. betrachten, aber es gibt auch Anwendungen auf das Kompetenzproblem (Erpenbeck 2006). Die Abstraktheit dieser Konzepte führte naturgemäß zu größeren Schwierigkeiten bei ihrer mathematischen Modellierung (Feistel/Ebeling 1989, 2011; Ebeling et al. 1999; Erpenbeck 2006).

*Unser Standpunkt ist, dass Werte abstrakte nichtphysikalische Eigenschaften von Spezies (Subsystemen) in einem dynamischen Kontext sind. Werte drücken das Wesen von biologischen, ökologischen, ökonomischen oder sozialen Wechselwirkungen und Relationen in Bezug auf die Dynamik des Gesamtsystems aus.*

Die Prozesse der Bewertung und Optimierung waren für die Entstehung des Lebens und der damit verbundenen Informationsverarbeitung von zentraler Bedeutung. Dafür gibt es eine Reihe von Modellbetrachtungen, unter denen die Untersuchung der Schule von Manfred Eigen eine zentrale Rolle spielt (Eigen 1971). Die Eigenschen Untersuchungen und ihre Weiterentwicklung durch eine ganze Reihe von Forschern haben uns – ungeachtet der unzähligen offenen Probleme – auf jeden Fall zu einem neuen Ansatz zum Verständnis der Komplexität unserer Welt geführt. Gegründet auf naturwissenschaftliche Untersuchungen ist damit auch klar geworden, dass Selbstorganisation zu Bewertung, Optimierung und Komplexität führen kann. Solche Prozesse erfordern selbstverständlich auch eine gewisse Steuerung. Gestaltung einer lebenswerten Zukunft heißt eingeschränkte Selbstorganisation und kontrollierte Instabilität, das heißt Diversität der Arten und Bewegungsformen, Denk- und Lebensweisen auf dem Hintergrund einer Selbstbeschränkung der thermodynamischen Kosten und der Belastung der natürlichen Umwelt, heißt Kreativität und Toleranz, heißt Einhaltung neuer moralischer Gebote und staatlicher bzw. globaler Gesetze (Ebeling/Feistel 1994). Zu den zentralen Ordnungsparametern an denen Steuermechanismen angreifen können, gehören nach wie vor die Werte. Auch wenn positive Werte im modernen finanzkapitalistisch determiniertem System weitgehend verloren gegangen sind, so gehören sie doch nach wie vor zu den entscheidenden Orientierungsgrößen einer lebenswerten zukünftigen gesellschaftlichen Entwicklung.

## **5. Zusammenfassung**

Das Prinzip „Einfachheit“ betrachten wir als das Kernstück der Theorienbildung und folgen damit Leibniz. Die Methode der Formulierung von Naturgesetzen als Wirkprinzipien ist in entscheidender Weise diesem Prinzip

„Einfachheit“ verpflichtet, womit wir den Ideen von Planck folgen. Was die Formulierung von Evolutionsprinzipien für den zeitlichen Ablauf von Naturprozessen betrifft, so haben wir im Vortrag die Auffassung entwickelt, dass es neben dem zweiten Hauptsatz mehrere Prinzipien gibt, die offenbar aber alle speziellen Charakter tragen, d.h. für eine eingegrenzte Menge von Naturprozessen gelten. Die Suche nach globalen Evolutionsprinzipien, wie sie noch unser Mitglied Prigogine verfolgt hat, brachte bisher nur Teilerfolge. Erfolgreich war besonders die Suche nach Evolutionskriterien z.B. für Markovprozesse. Nach einer verbreiteten Auffassung, der wir uns anschließen, ist die Suche nach weiteren globalen Evolutionskriterien nicht erfolgversprechend. Wie Beispiele zeigen, ist auch „maximale Komplexität“ mit Sicherheit kein Evolutionsziel. Komplexe Systeme verfolgen zwar auch Evolutionskriterien, aber diese sind nicht einfach mathematisch oder physikalisch quantifizierbare Ziele, sondern betreffen emergente Eigenschaften komplexer Systeme wie Fitness, Nutzen und Werte, Größen, die sich einer physikalischen Erfassung entziehen. Was die Physik zu ihrem Verständnis beitragen kann, ist die Untersuchung der Selbstorganisation komplexer Systeme, wie etwa die Studien von Manfred Eigen zur Evolution von Biomolekülen in der Ursuppe und besonders die Evolution der Informationsverarbeitung. Abschließend muss die Frage im Titel des Vortrages mit nein beantwortet werden. Evolution ist weder auf Maximierung von Einfachheit oder Komplexität im Sinne algorithmischer und struktureller Definitionen, sondern vielmehr auf emergente Eigenschaften, auf Werte gerichtet. Wie emergente Eigenschaften aus elementaren entstehen, ist Gegenstand der aktuellen Forschung und nur für einfache Systeme in Ansätzen verstanden.

## Literatur

- G. J. Chaitin, On the length of programs for computing finite binary sequences, *Statistical considerations*, *Journal of ACM* 16, 145–159 (1969)
- G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete, *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publ., London, 1988.
- W. Ebeling, Values in physics and self-organization, *Nature, Society and Thought* 19, 133–143 (2006)
- W. Ebeling and R. Feistel, *Physik der Selbstorganisation und Evolution*, Akademie-Verlag, Berlin, 1982, 1986.
- W. Ebeling and R. Feistel, *Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution*. Spektrum-Verlag, Heidelberg, Berlin, 1994.

- W. Ebeling, J. Freund, F. Schweitzer, Komplexe Strukturen: Entropie und Information, Teubner-Verlag, Stuttgart, Leipzig, 1996.
- W. Ebeling, A. Scharnhorst, M. A. Jimenez-Montano, Karmeshu, Evolution and innovation dynamics as search processes in complex adaptive landscapes. In K. Mainzer (Hg.) Komplexe Prozesse in Natur und Gesellschaft, Springer, Berlin, 1999.
- M. Eigen, The selforganization of matter and the evolution of biological macromolecules, *Naturwissenschaften* 58, 465 – 533 (1971)
- J. Erpenbeck, Metakompetenz und Kompetenzentwicklung, QUEM-Report, Berlin, 2006.
- M. Faber, H. Niemes and G. Stephan, Entropy, Environment and Ressources: An Essay on Physico-Economics, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- R. Feistel, Ritualisation und die Selbstorganisation der Information, In: Selbstorganisation und Determination, *Jahrbuch für Komplexität*, 1, 83–93. (1990), Duncker & Humblot Berlin
- R. Feistel, On the Value Concept in Economy, in W. Ebeling, M. Peschel, W. Weidlich (eds.) *Proc. Conf. Selforganization in Complex systems (MOSES)*, Akademie-Verlag, Berlin, 1991.
- R. Feistel and W. Ebeling, *Evolution of Complex Systems, Selforganization, Entropy and Development*, Verlag d. Wiss. Berlin & Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1989.
- R. Feistel and W. Ebeling, *Physics of Self-Organization and Evolution*, Wiley-VCH, Verlag Weinheim 2011.
- R. A. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection*, Clarendon Press, Oxford, 1930.
- R. Günther, B. Schapiro, P. Wagner, Complex systems, complexity measures, grammars and model-infering, *Chaos, Solitons & Fractals* 4 (1994) 635–651.
- H. Haken, *Advanced Synergetics*, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
- M. Hutter, *Universal artificial intelligence: Sequential decisions based on algorithmic probability*, Springer Berlin 2005; *Algorithmic information theory*, *Scholarpedia* 2(3): 2519 (2007)
- F. Klix (Hg.), *Organismische Informationsverarbeitung*, Akademie-Verlag, Berlin 1974.
- S. Koshimura, *Theory of capital reproduction and accumulation*. in *Japanisch Yokohama 1956*, in Engl. 1975, in Russ. Progress, Moskau 1978.
- A.N. Kolmogorov, Three approaches to the quantitative definition of information, *Problems of information and transmission*, 1, 1–7 (1965).
- R. März, *Schöne Einfachheit als (Ver)führung in der Mathematik*, Beitrag im Arbeitskreis Prinzip Einfachheit 24.03.2011, *Leibniz Online* 09 (2011)
- M. Morishima and G. Catephores, *Value, Exploitation and Growth*, Mc Graw Hill, New York, 1978.
- H. Moritz, Über G. Chaitin – von Metamathematik zur Metabiologie, Vortrag 13.11.2011, *Leibniz-Sozietät*
- M. Planck, *Akademieansprachen*, Akademie-Verlag Berlin 1948
- B. Schapiro, An approach to the physics of complexity, *Chaos, Solitons & Fractals* 4 (1994) 115–123
- M. Schroeder: Value Theory. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

- J. A. Schumpeter, *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, Duncker & Humblot, Berlin, 1912.
- R. J. Solomonoff, A formal theory of inductive inference, *Information and Control* 7, 1–22, 224–254 (1964)
- E. Sommerfeld, H. Hörz, W. Krause (Hg.), *Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis und Gestaltungsprinzip*, *Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät* Bd. 108 (2010).
- R. Wackerbauer, A. Witt, H. Atmanspacher, J. Kurths, H. Scheingraber, Quantification of structural and dynamical complexity, *Chaos, Solitons & Fractals* 4 (1994) 133
- A. K. Zvonkin, L. A. Levin, The complexity of finite objects and the development of the concepts of information and randomness by means of the theory of algorithms (in Russ.), *Usp. Math. Nauk* 25, 83–124 (1970)