
Klaus Fuchs-Kittowski

Information und Biologie: Informationsentstehung – eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie

Das vorstehende Thema verbindet mich mit dem Jubilar, seitdem ich unter seiner Anleitung meine Dissertation zur Problematik „Technische Regelung und Regulationsgeschehen im lebenden Organismus“ schrieb. Als ich meinen Rohentwurf abgegeben hatte und dann wieder zurückbekam, erhielt ich die Auflage, noch einen weiteren Abschnitt über den bis dahin nur erwähnten Begriff der „Informationsentstehung“ zu schreiben. Ich wagte noch zu sagen, daß ich nicht mehr darüber wüßte, als ich schon geschrieben hätte. Der Jubilar blieb unerbittlich. In der Tat entsprach aber mein Zögern dem damaligen Verständnis der Information, denn die Regelungstechnik, die damalige Kybernetik, setzte Information immer schon voraus. Auch die sich später entwickelnde Informatik kennt nur den Begriff der Informationsverarbeitung, nicht den der Informationsentstehung.

1. Kybernetik 1. Ordnung setzt die Information immer schon voraus

Aus dem Vergleich von technischer Regelung mit den Regulationsprozessen des Zellstoffwechsels ergibt sich der Vergleich zwischen technischem Automaten und lebendigem Organismus, mit der zentralen *Schlußfolgerung*: daß es die Prozesse der Entstehung von Information sind, durch die sich das Lebendige grundsätzlich von dem technischen Automaten unterscheidet. Es lag also in der Tat auf der Hand, sich um ein tieferes Verständnis der Information zu bemühen. Die Fragen nach den charakteristischen Merkmalen der Information, der Art ihrer Erhaltung über längere Zeit, die Frage, ob sie als eine vorgegebene Ordnung zu verstehen ist oder im Prozeß der Entwicklung und der Kognition entsteht, ist heute in der Molekularbiologie, in den Neurowissenschaften, in den Sprachwissen-

schaften, im Paradigmenstreit der Kognitionswissenschaft und KI-Forschung, ja in der modernen Theorie der Unternehmensorganisation von besonderer Aktualität.

2. Entstehung von Information in der Ontogenese

Auf das Problem der Informationsentstehung war ich durch eine rein logische Überlegung gestoßen. Für das Verständnis der Entwicklung des Lebendigen war von folgenden Grundannahmen auszugehen:

These 1: Die Erkenntnisse der Molekularbiologie, wie sie in ihrem Zentraldogma zusammengefaßt werden, sind im Rahmen der heutigen Naturerkenntnis als richtig anzuerkennen, d.h. es gibt keine instruktive Wechselwirkung mit der Umwelt, der Proteine mit der DNA.

These 2: Präformistische oder teleologische Entwicklungskonzeptionen sind auf Grund der Kreativität der Natur, der Existenz echten Zufalls nicht vertretbar.

Synthese: Wenn beide Thesen richtig sind, dann bedeutet dies, daß in den Entwicklungsprozessen des Lebendigen Information entsteht, die intern erzeugt wird.

Information ist dann nicht als eine vorgegebene Struktur zu verstehen, die nur intern abgelesen und transformiert oder von außen einfach aufgenommen wird, sondern Information wird auf der Grundlage von Zufallsprozessen und damit verbundenen Selektionsprozessen, durch unterschiedliche Interpretation der syntaktischen Strukturen und Selektion der verschiedenen Wirkungen intern erzeugt. Es geht um die Frage:

Ist die lebende Zelle als ein kybernetisches Regelsystem, als Informationsverarbeitungssystem im Sinne der Turingmaschine anzusehen? Oder kann man davon ausgehen, daß in einem hochkomplexen Organismus in dessen Ontogenese außer der irgendwie geregelten schrittweisen Ablesung vorliegender Genstrukturen auch Prozesse einer Vermehrung von Information stattfinden? Sowohl in dieser Frage als auch in Hinsicht auf die Mechanismen der Phylogenese, auf die Frage wie denn diese Information in der Evolution entstanden ist – *Grundprobleme einer Theorie der Biologie* – werden heute sehr unterschiedliche Antworten gegeben.

S. M. Rapoport (1) hatte mich wiederholt auf die Probleme der Antikörperbildung hingewiesen. Es gibt keinen Beweis für die Umkehrung des ribosomalen Proteinsynthesemechanismus, d. h. einer spezifischen Programmierung der DNA durch eine Proteinmatrix. Die Annahme eines rein informativen Molekularprozesses durch das Eintreten des Substrats oder z. B. eines Antigens ist also nicht möglich. Andererseits ist es ebenfalls unwahrscheinlich, daß im Verlaufe der Evolution für die immense Vielfalt von Antigenen, ja Kunstprodukten, das Syntheseprogramm aller möglichen Antikörper vollständig vorcodiert bzw. präformiert ist. Es ist verständlich, daß in einer solchen schwierigen erkenntnistheoretischen Situation nach neuen Denkmodellen gesucht wurde und wird.

Gegen die modernisierte präformistische Vorstellung vom reinen Ablesen aus dem Informationsspeicher DNA stand W. Elsassers These von der nichtmechanischen Speicherung der Information (2), dann kam später J. Monods absoluter „Zufallsansatz“, die Hypothese des Rouletts (3), und fast zur gleichen Zeit der molekular-darwinistische Ansatz eines Lernens durch Selektion von M. Eigen (4, 5).

Beide gewohnte Alternativen – Präformation oder Instruktion – sind unwahrscheinlich, ja unmöglich. Es ist dagegen wahrscheinlich und es wurden entsprechende Hypothesen formuliert, daß es zu einer Zusammenlagerung verschiedener vorcodierter Teilprogramme kommt. Das bedeutet, daß das molekulare Lernen z. B. bei Immunisierungsvorgängen in Selektionsprozessen besteht. Entscheidend ist, daß die verschiedenen spezifitätsbestimmenden Strukturen durch einen Wahrscheinlichkeitsprozeß zustande kommen, einmal wie er in der Evolution gegeben ist, und zum anderen bei der Kopplung der Teilprogramme. Selektion und nicht Instruktion ist die Grundlage für diesen Prozeß. Kann man hieraus etwas für die Ontogenese generell lernen? Ja.

3. Die nicht vollständige syntaktische Speicherung der Information

Eine tiefere Analyse des Wesens der Information zeigt, daß es einen gravierenden Unterschied zwischen Lebewesen und Automaten gibt. In der Biosphäre wird die Information nicht vollständig syntaktisch gespeichert,

da ein ganz wesentlicher Teil der Information erst durch Interpretation (Semantik) und Bewertung (Pragmatik) zustande kommt.

W. Elsasser hat als einer der ersten den Gedanken geäußert, daß ein Lebewesen Information nicht stabil speichert, sondern durch ständiges Inbeziehungsetzen für längere Zeit erhalten kann. Es war dieser Gedanke, der uns veranlaßte, über ein solches Phänomen nachzudenken. Wir kamen zu dem präziseren Schluß, daß eine „nicht vollständige syntaktische Speicherung“ vorliege und die Formulierung Elsassers einer Nichtspeicherung zu vage ist (6).

Besonders in seiner letzten Arbeit stellt W. Elsasser ¹ (7) das Prinzip der „Nichtspeicherung der Information“ als Kern einer biologischen Theorie heraus. Wir halten die Frage nach dem Verhältnis von syntaktischem Speicher und semantischem Gedächtnis, die Frage also, wie Information in ihren unterschiedlichen Existenzweisen, bei nicht vollständiger syntaktischer Speicherung, wie wir sagen, für längere Zeit erhalten werden kann, in der Tat für eine grundlegende Frage einer Theorie der Biologie. –

Beispiel: Nehmen wir an, man habe einem Fachmann die komplette DNA eines bestimmten Lebewesen vorgelegt, von dem er nicht weiß, um welches Lebewesen es sich handelt.

Die Frage lautet: kann er aus der Kenntnis der Funktion aller Proteine und der Regulation des An- und Abschaltens der Gene bei der Transkription und Translation und anderer in der DNA-Sequenz niedergelegten Regulationen auf die äußere und innere Gestalt des Lebewesens und alle seine Funktionen schließen?

Die Antwort lautet u. E.: er kann es nicht. Er kann bestenfalls sämtliche einzelnen katalytischen biochemischen Schritte erfassen, aus ihnen jedoch die Komplexität des Ineinandergreifens der Reaktionen und das „Ergebnis“, das sowohl ein funktionelles als auch ein strukturelles ist, nicht ablesen.

Dieser Informationsgehalt ist explizit auch nirgendwo niedergelegt, er ist nur auf die vielen separaten Einzelschritte verteilt und ergibt sich daher nicht direkt aus der DNA-Struktur.

Unsere These ist: auch die Zygote dieses Lebewesen „weiß“ nichts über ihren ontogenetischen Endzustand, der sich nur Schritt für Schritt heraus-

¹ Für seine Arbeit zur Theorie der Biologie wurde er mit dem höchsten Forschungspreis der USA geehrt.

schält – und insofern findet eine Informationsvermehrung (durch Entstehen immer neuer Bedeutungen) statt, obwohl die ursprüngliche syntaktische Informationsstruktur sich qualitativ nicht verändert. Die syntaktische Struktur der Erbinformation, die DNA, wird multipliziert und auf neuen Stufen abgelesen. Die Struktur wird also in neuen Zusammenhängen interpretiert, so daß neue Bedeutungen entstehen bzw. dadurch gesetzt werden, daß das Ergebnis in immer wieder neuem Kontext bewertet wird und damit neue Informationen entstehen.

Information entsteht mit ihrer Nutzung, weil Funktion nur mit der durch die Information organisierten Struktur möglich ist, die Information aber erst über die realisierte Funktion ihre Bedeutung erhält.

4. Wie ist diese Information in der Evolution entstanden?

Für eine Theorie der Biologie ist dann die Frage, wie diese Information in der Evolution entstanden ist, grundlegend, denn es geht im Falle der Evolution um die erstmalige Erzeugung von Information, nicht wie im Falle der Ontogenese um die Modifikation oder Ergänzung von Information, um eine unterschiedliche Interpretation der syntaktischen Struktur der DNA. Zu diesem Grundproblem einer Theorie der Biologie werden heute sehr unterschiedliche Antworten gegeben. Wir haben hier u.a. zwischen 1. dem Zufallsansatz von Jaques Monod (3), dem teleologischen Ansatz von Teilhard De Chardin (8), dem holistischen Ansatz von Walter Elsasser (4) und dem molekulardarwinistischen Ansatz von Manfred Eigen (5) zu unterscheiden.

Wir haben uns weitgehend an der von M. Eigen entwickelten molekulardarwinistischen Theorie der Biologie orientiert, uns gleichzeitig mit dem Zufallsansatz von J. Monod auseinandergesetzt, aber zugleich auch wichtige Prinzipien zum Verständnis der Information von Walter Elsasser modifiziert übernommen. So wurde das Prinzip der nicht vollständigen syntaktischen Speicherung der Information entwickelt. Im Zusammenhang mit der Globalisierung der Informations- und Kommunikationsnetze gewinnt in jüngster Zeit aber auch das in Auseinandersetzung mit Faschismus und Stalinismus entwickelte humanistische Anliegen von Teilhard De Chardin – die Entwicklung der Noosphäre – neue Aktualität (8, 9).

Um eine fruchtbare Theorie der Biologie zu entwickeln, galt es, insbesondere *zwei Voraussetzungen* zu schaffen, die zunächst nicht allein aus der bisherigen Biologie zu gewinnen waren: 1. die Überwindung einer mechanistischen Determinismuskonzeption wie es durch Quantenphysik geschehen war und 2. ein Verständnis der Information, welches ihre drei Dimensionen Syntax, Semantik und Pragmatik berücksichtigt, wie es von der Linguistik immer schon gefordert wurde – jetzt als sich wechselseitig bedingende Prozeßstufen erfaßt.

Der molekulardarwinistische Ansatz von M. Eigen bietet insofern eine Lösung, als er das Zusammenwirken von Notwendigkeit und Zufall im Sinne probabilistischer Gesetzmäßigkeiten sieht und somit eine Zwischenstellung zwischen der Zufallshypothese von Monod, dem teleologischen Ansatz von T. De Chardin und dem holistischen Ansatz von M. Elsasser einnimmt. Information entsteht aus einem Wechselspiel zwischen Zufallsprozessen (Mutationen) und gesetzmäßigem Materieverhalten (natürliche Selektion). Es wird heute auch das Moment der Notwendigkeit im Mutationsprozeß und der Zufälligkeit im Selektionsprozeß gesehen (worauf H. A. Rosenthal wiederholt hinwies, siehe 10, vergl. auch 11).

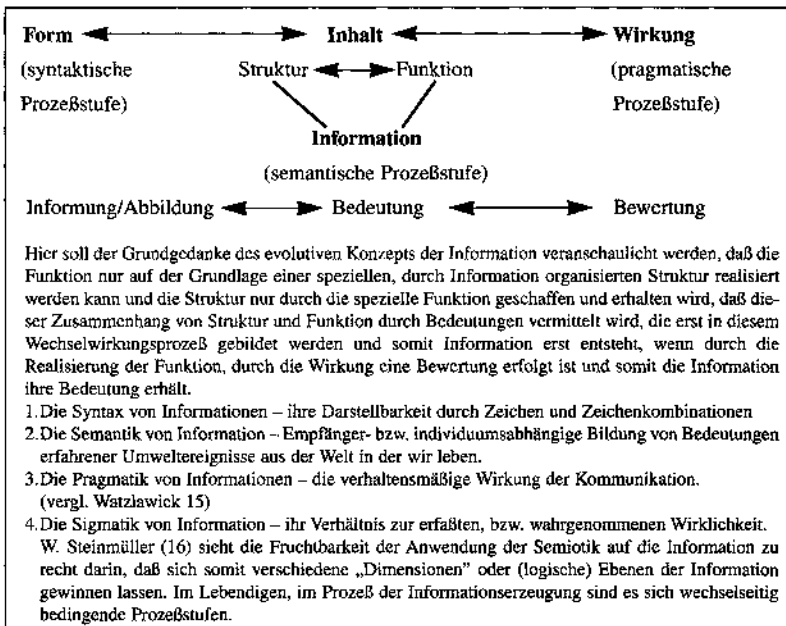
Für das Verständnis des Lebenden und der Entstehung biologischer Information ist es eine wichtige Erkenntnis, daß in jedem auch noch so einfachen lebenden System die (Nucleinsäure-) Struktur und die (Eiweiß-) Funktion durch vielfältige Rückkopplungen miteinander verknüpft sind. Schon in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung lebender Systeme muß diese Verknüpfung aufgetreten sein.

Diese Erkenntnis steht gegen ein Grundpostulat Monods, wonach jedes philosophische Betrachten der Evolution unvermeidlich eine Annahme darüber voraussetze, welcher der beiden für die Lebewesen charakteristischen Eigenschaften (Invarianz und Teleonomie) die „ursächliche und zeitliche Priorität“ zukommt. (3, S. 35). Ob Nucleinsäure oder Eiweiß zuerst vorhanden waren, ist die alte undialektische Frage nach dem Primat von Huhn oder Ei, in einem neuen Gewand. Das Miteinander In-Beziehung-Treten von Proteinen und Nucleinsäuren bedeutete den Ursprung des Lebens, wozu beide vorhanden gewesen sein müssen, so daß die Frage, was zuerst da war, relativ bedeutungslos, ja sogar sinnlos ist. Bei der Betrachtung der Zelle hebt sich diese Frage auf, *weil Funktion nur auf Grundlage der durch die Information organisierten Struktur möglich ist,*

Information aber erst über die realisierte Funktion ihre Bedeutung erhält. Auch in dieser Komplexität bedingen Struktur und Funktion einander. Dieses evolutionäre Verständnis der Information, der Bildung ihrer Semantik (des *Inhaltes*), in der Wechselbeziehung von Struktur (*Form*) und Funktion (*Wirkung*) ist zu verallgemeinern. Dieser Trias von Form, Inhalt und Wirkung begegnet man auch auf anderen Ebenen der Organisation lebender und sozialer Systeme. (12, 13)

5. Zur Verallgemeinerung des evolutionären Konzepts der Information

Das gewonnene Verständnis der Information, läßt sich zu einem *evolutionären Konzept der Information* verallgemeinern. Ein solches Konzept kann auch für die Modell- und Theorienbildung bei analogen erkenntnis-



(Weitere Arbeiten zum evolutionären Konzept der Information 6, 12, 13)

theoretisch-methodologischen Fragestellungen auf anderen Wissenschaftsgebieten fruchtbar werden. Gerade letzteres beweist, daß heute die Biologie zur Leitwissenschaft für andere Wissenschaftsdisziplinen geworden ist (14).

Informationserzeugung, -erhaltung und -nutzung erfolgt in qualitativ verschiedenen und einander wechselseitig bedingenden Prozeßstufen: Formung/ Abbildung, Bedeutung und Bewertung. Wobei die Information über die Bewertung, durch realisierte Funktion ihre Bedeutung erhält.

Prozeßstufen zur Erzeugung, Nutzung und Erhaltung der Information			
Charakteristika der Information	FORM (Syntax)	INHALT (Semantik)	WIRKUNG (Pragmatik)
	<i>Abbildung</i> Struktur räumliche Form der Existenz	<i>Interpretation</i> Bedeutung zeitliche Form der Existenz (Gleichzeitigkeit/Ganzheit)	<i>Bewertung</i> Verhalten räumliche u. zeitl. Existenz
Ebenen der Organisation			
MAKRO-MOLEKÜLE	Anordnung von Molekülen (z.B. DNA)	Interaktion in einem molekularen Interpretationssystem	Funktionalisierung der Moleküle mit Selektion und Überleben des Angepaßten
NERVENSYSTEM	Anordnung von Nervenzellen u. Impulsmustern im Gehirn	mentale u. Gefühlsstrukturen als unteilbare Qualität – fixierte Programme	Kontrolle des Verhaltens
AUSSENWELTBEWUSSTSEIN	Anordnung von Objekten in d. Umwelt	Wahrnehmung von Objekten als unteilbare Qualitäten	Deutung der Umwelt
GESELLSCHAFTLICHES BEWUSSTSEIN	Anordnung von Zeichen u. Symbolen d. Sprache, auch digital gespeichert	Interpretation von Lautsignalen u. ausgewählten Sprachsymbolen (soziale Inhalte d. Sprache)	Wissen (Bildung), soziale Strategie u. Verhalten, auch Mensch-Computer Interaktion
SELBSTBEWUSSTSEIN	Anordnung v. mentalen Zeichen u. Symbolen in Metastrukturen Vergegenständlichung in gesell. Strukturen Werkzeugen, Software	Interpretation der mentalen Zeichen u. Symbole mittels Autokommunikation	Bestimmung des eigenen Verhaltens und Bildung von Werten

Information erweist sich auf den verschiedenen Ebenen der Organisation lebender Systeme als Resultat des Bedingungs-zusammenhangs von *Form, Inhalt und Wirkung*.

Es lassen sich verschiedene Qualitätsstufen organismischer menschlicher Information und Kommunikation differenzieren: Die Ebene 1. der Makromoleküle, 2. der Nerven-netze, 3. des Außenweltbewußtseins, 4. des gesellschaftlichen Bewußtseins und 5. des Selbstbewußtseins bzw. Bewußtseins der Werte.

Es konnte herausgearbeitet werden, daß für alle diese Ebenen der Organisation lebender und sozialer Systeme u.a. folgende Prinzipien für ein tieferes, ja neues Verständnis des Wesen der Information grundsätzliche Bedeutung haben:

1. Nichtreduzierbarkeit der Information allein auf ihre syntaktische Struktur
2. Information ist keine Substanz, sondern ein Verhältnis, eine Trias von Form, Inhalt und Wirkung
3. Höhere Lebewesen nehmen keine externen biologischen Informationen auf
4. Information entsteht intern in Einheit von Abbildung, Bedeutung und Bewertung
5. Die Semantik der Information wird syntaktisch nicht vollständig gespeichert
6. Form, Inhalt und Wirkung der Information bilden einen universellen Zusammenhang
7. Information ist weder Materie noch Geist allein, sondern die Verbindung zwischen Materiellem und Ideellem
8. Information als Codierung existiert in Raum und Zeit, die Semantik, das Ideelle in der Gleichzeitigkeit

Solche allgemeinen Prinzipien können Grundlage bzw. Bausteine einer allgemeinen Theorie der Information sein, die dann im Besonderen jeweils konkret zu untersuchen sind. (vergl. Fuchs-Kittowski 13)

Es sei hier nur darauf hingewiesen, das Maturana und Varela in ihren Arbeiten heute ganz eindeutig warnen vor dem *Trugschluß einer instruktiven Interaktion* (17).

Hiermit wird deutlich gesagt, das man auch auf der Ebene der geistigen Prozesse nicht einfach von einer Informationsaufnahme aus der Außen-

welt ausgehen sollte. Dies hat Konsequenzen für die Erkenntnistheorie. Es wendet sich offensichtlich gegen einen naiven Realismus, ohne daß man deshalb einem solipsistischen Konstruktivismus folgen müßte – ein konstruktiver Realismus sollte dem gerecht werden können.

6. Information weder Materie noch Geist allein

Für die Entstehung des Lebens und die weitere Entwicklung hat Information eine unabdingbare Rolle gespielt. Damit sagen wir zugleich, daß in der Evolution des Lebendigen *Ideelles von Beginn an mitgewirkt* hat. Allerdings ist das von uns hier postulierte Geistige (das Ideelle der Information) nicht vom Materiellen (dem Träger der Information) unabhängig, sondern existiert nur in der Einheit von Materie und Geist bzw. von Materiellem und Ideellem. Die Grundthese (vergl. Fuchs-Kittowski/Rosenthal 6) die wir hier vertreten wollen, lautet daher: als Codierung ist Information materiell, als Bedeutung (Idee) ist sie ideell. Wir glauben nicht, daß weitere Forschung den semantischen Teil der Information als materiell wird „entlarven“ können. Insofern existieren bereits in sehr einfachen und sehr frühen Formen des Lebens Materie und Geist nebeneinander, allerdings nicht unabhängig voneinander, und „Geist“ ist hier nicht identisch mit menschlichem oder sonst zentralnervösem Geist, allenfalls eine sehr primitive Vorstufe. Information ist daher weder allein Materie, noch allein Geist, sondern nur die Kombination von beiden macht Information aus.

Die Idee, das geistige Prinzip, existiert nicht für sich allein, ist nicht lokalisierbar oder isolierbar, existiert also nicht im Raum, sondern, wie Hegel schon wußte, in der Zeit, genauer in der Gleichzeitigkeit, und bringt nur durch die Materie etwas zuwege.

7. Die Qualität Leben und die Wiedergewinnung des Gedankens der Evolution

Es wird deutlich, daß die von Decartes vollzogene Spaltung der Welt in eine „res cogitans“ und eine „res extensa“, einen denkenden Geist und eine tote Materie, nicht richtig sein kann. Es wird erforderlich sein, die aus

der rationalistischen Tradition übernommenen Begriffe durch Vergleich mit den Erfahrungsstatsachen der modernen Biologie, insbesondere mit dem heutigen Verständnis des Wesens der Information, zu überprüfen. Information ist eine Qualität, die über die Prinzipien der uns aus dem Umgang mit der unbelebten Natur bekannten Physik und Chemie hinausgeht. Information ist eine Qualität, die für die Biologie typisch ist. Der materielle Träger – das DNA-Molekül – hat nur eine begrenzte Lebensdauer. Nur die immaterielle Qualität Information hat überlebt. Der materielle Träger der Erbinformation, das DNA-Molekül, ist wie jede chemische Substanz letztlich instabil, unterliegt den ständigen Ab- und Aufbauprozessen des enzymatisch gesteuert und regulierten Zellstoffwechsels. Die durch seine syntaktische Struktur vom Nucleinsäuremolekül getragene genetische Information bleibt dagegen stabil. Sie ist auf der Grundlage der Selbstreproduktion unsterblich geworden. Grundlage für die neue Qualität Information bildet die chemische Komplementarität der Nucleinsäurebausteine. Sie macht verständlich, wie über die materielle Lebensdauer hinweg die syntaktisch gespeicherte Information bewahrt werden kann. Die chemische Qualität der Komplementarität sagt jedoch noch nichts über die immaterielle Qualität der Information aus, wie auch – so M. Eigen (18) – „die in Druckerschwärze festgehaltenen Noten eine Mozartsymphonie etwas mit der Qualität Musik an sich zu tun haben“.

Die entscheidende Schlußfolgerung für das Verständnis des Wesens des Lebens daraus ist: *Die Qualität Leben* liegt in der spezifischen Ordnung des physikalisch-chemischen Geschehens durch Steuerung (DNA-RNA-Protein) und enzymatische Regulation des Stoff- und Energiewechsels, in der Verbundenheit von Steuerung und Regulation mit der molekularen Struktur der Zelle und der Erhaltung der Struktur durch Steuerung und Regulation, in der durch diese besondere Verbindung von Struktur und Funktion gegebenen Möglichkeit für Prozesse der Entstehung von Information, der Selbstorganisation in Phylo- und Ontogenese. (Vergl. Fuchs-Kittowski 19)

Spätestens seit der Entwicklung der Relativitäts- und Quantentheorie zu Beginn unseres Jahrhunderts war es die moderne Naturphilosophie, die eine teleologische oder prädestinistische Entwicklungskonzeption in Frage stellte. Selbst für Hegel, den großen Denker der Entwicklung, gab es letztlich nur einen notwendigen Prozeß zur „absoluten Idee“, also

eigentlich keine echte Entwicklung. Die entscheidende weltanschauliche Konsequenz der Verbindung von *Informationsentstehung, Selbstorganisation und Evolution*¹ ist (Wieder-) Gewinnung eines echten Entwicklungsgedankens.

Nach diesen Einsichten ist zu formulieren: Die Evolution als Prozeß ist *zwangsläufig, also Gesetz*, die *Realisierung der individuellen Form* jedoch *zufällig und damit einmalig*. Die Theorie der Lebensentstehung kann nur die Frage nach der Entstehung des Lebens überhaupt klären, nicht jedoch die Frage, wie es gerade zu den Lebensformen auf unserer Erde gekommen ist. Es gibt also keine sinngebende Naturkraft, die dann auch noch den Gang der Geschichte bestimmt.

Literatur:

1. S. M. Rapoport: Zur enzymatischen Regulation des Zellstoffwechsels. Forsch. und Wirken. Festschr. zur 150. Jahrfeier der Humboldt-Univ. zu Berlin 1960
2. Walter M. Elsasser: *The Physical Foundation of Biology – An Analytical Study*, Pergamon Press, London, New York, Paris, Los Angeles, 1958
3. Jacques Monod: *Zufall und Notwendigkeit – Philosophische Fragen der modernen Biologie*, R. Piper & Co. Verlag, München, 1971
4. Manfred Eigen: *Molekulare Selbstorganisation und Evolution*, in: Informatik, Nova acta Leopoldina, Band 37/1 Nummer 206, Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1972
5. Manfred Eigen: *Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules*, Naturwissenschaften. Heft 10/1971
6. K. Fuchs-Kittowski, H.A. Rosenthal: *Selbstorganisation, Information und Evolution – zur Kreativität der belebten Natur, in Vorbereitung: Genese von Informationsstrukturen*, Studien Verlag, Innsbruck, 1998
7. Walter M. Elsasser: *Biological Theory on a Holistic Basis*, Baltimore, 1982

¹ Die Kategorie der Selbstorganisation sollte nur verwendet werden, wenn gleichzeitig auch tatsächlich Information entsteht und wirkt. Diese Feststellung ist Ergebnis mehrerer persönlicher Gespräche zwischen Heinz von Förster und mir (K. F.-K.) zu dieser Problematik. Einmal auf der Konferenz Softwareentwicklung und Reality Construction (12), zum anderen an der Universität Hamburg 1995 und an der Humboldt-Universität sowie an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften 1997. Da er den Begriff der Selbstorganisation in die Kybernetik mit eingeführt hat (20), ist seine heutige Haltung zum Verständnis selbstorganisierender Systeme besonders wichtig. Der Begriff der Selbststrukturierung (vergl. W. Ebeling et al 21) ist ansonsten anzuwenden, der auch für konservative Systeme Gültigkeit hat.

8. *Piere Teilhard De Chardin*, *Der Mensch im Kosmos*, C.H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung, München 1959
9. *K. Fuchs-Kittowski und P. Krüger*: The Noosphere Vision of Pierre Teilhard de Chardin and Vladimir I. Vernadsky in the Perspective of Information and of World-Wide Communication, in: *World Future*, 1997, Vol. 50, pp.757-784
10. *W. Presber, D.H. Krüger, C. Schröder, H.A. Rosenthal*: Einschränkung des Zufalls bei der Entstehung von Mutationen im Verlaufe der Evolution, in: IV, Kühlungsborner Kolloquium, Philosophische und ethische Probleme der Biowissenschaften, Berlin 1976
11. *Manfred Eigen*: *Bild der Wissenschaft* 7/88
12. *Klaus Fuchs-Kittowski*: Reflection on the Essence of Information, in: C. Floyd, H. Züllighofen, R. Budde, R. Keil-Slawik (editors), *Software Development and Reality Construction*, Springer-Verlag, Berlin, New York, 1992
13. *Klaus Fuchs-Kittowski*: Information – neither Matter nor Mind – On the Essence and on the Evolutionary Stages Conception of Information, in: *World Future*, 1997, Vol. 49, pp. 551–570
14. *K. Fuchs-Kittowski, L.J. Heinrich, A. Rolf*: Information entsteht in Organisationen – in kreativen Unternehmen – wissenschaftstheoretische und methodologische Konsequenzen für die Wirtschaftsinformatik, in: *Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie*, Gabler Verlag, 1998
15. *P. Watzlawick, J.H. Beavin, D.D. Jackson*: *Menschliche Kommunikation*, Bern, Huber, 1971
16. *Wilhelm Steinmüller*: *Informations-Technologie und Gesellschaft – Einführung in die Angewandte Informatik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1993
17. *Francisco J. Varela*: *Kognitionswissenschaft und Kognitionstechnik – Eine Skizze aktueller Perspektiven*, surkamp taschenbuch wissenschaft, Frankfurt a/M, 1990
18. *M. Eigen*, *Biologische Selbstorganisation – Eine Abfolge von Phasensprüngen*, in: (Hierholzer, Wittmann) *Phasensprünge und Stetigkeit in der natürlichen und kulturellen Welt*, Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1988
19. *Klaus Fuchs-Kittowski*: *Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie* (zweite Auflage), VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1976
20. *Heinz von Foerster, Georg W. Zopf, Jr. (editors)*: *Principles of Self-Organization*, International Tracts in Computer Science and Technology and Their Application, Volume 9, Pergamon Press, Oxford, London, New York, 1962
21. *Werner Ebeling, Jan Freund, Frank Schweizer*: *Entropie, Information, Komplexität, Konzepte* SFB 230 Heft