Leibniz Online, Nr. 32 (2018)

Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e. V.

ISSN 1863-3285



Klaus Fuchs-Kittowski (MLS)

Zur Entstehung und Erhaltung von Information in lebendiger Organisation – Grundkategorien einer Theorie der Biologie und der Informatik

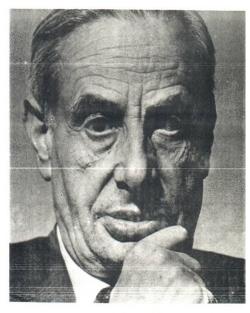
Vortrag auf dem Kolloquium "Emergente Systeme. Information und Gesellschaft" am 10.12.2015 Veröffentlicht: 16.03.2018

1. Theorie der Biologie – Informationsentstehung und Erhaltung

Information, Informationsentstehung und dynamische Erhaltung der Information über längere Zeit im Gedächtnis sind als Grundbegriffe einer Theorie der Biologie, der Informatik wie auch einer Theorie der sozialen Organisation zu verstehen. Ihre Klärung kann zu einer Vertiefung der Methodologie biologischer Forschung, der Methodologie der Informationssystemgestaltung in sozialer Organisation sowie und zu einem humanistischen Menschenbild beitragen.

Mit diesem Beitrag möchte ich Walter Maurice Elsasser gedenken. Er hat über die Kreativität der Natur nachgedacht und in seinem Buch "The Physical Foundation of Biology" (Elsasser 1958) zur Präzisierung den Begriff der Informationsentstehung eingeführt.

W. Elsasser wurde am 20. März 1904 in Mannheim geboren und musste aus rassischen Gründen 1928 Deutschland verlassen. Er starb am 14. Oktober 1991 in Baltimore, Maryland, USA. W. Elsasser studierte und promovierte bei Max Born (1927), mit einer Arbeit über die Elektronenstreuung an einem Wasserstoffatom. Er gilt als Vater der Theorie des Geodynamos (1939). Er postulierte, dass das Erdmagnetfeld durch Wirbelströme innerhalb des flüssigen Erdkerns aufrechterhalten wird. Elsasser arbeitete lange Zeit intensiv an der Entwicklung einer Theorie der Biologie. Mit seiner Theorie der Biologie förderte er das Verständnis für den Zusammenhang der Lebensprozesse mit den physikalisch-chemischen Prozessen.



The author, ca. 1974

Abbildung 1. Walter Elsasser ca. 1974

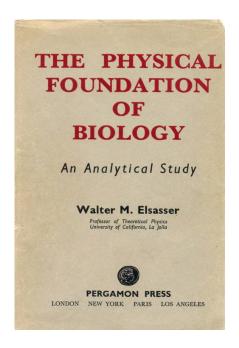


Abbildung 2. Buchumschlag

W. Elsassers Konzept für eine theoretische Biologie ist ein bemerkenswerter Versuch, die Grundstrukturen einer theoretisch autonomen Biologie von der puristisch-physikalischen Betrachtungsweise biologischer Phänomene abzuheben. Da Elsasser von Hause aus theoretischer Physiker ist, der seit Jahrzehnten mit der wissenschaftlichen Untersuchung biologischer Prozesse beschäftigt ist, besitzt er besonders gute Voraussetzungen, sehr tiefgründig über die Unterschiede von Physik und Biologie nachzudenken. Elsasser bezeichnet die phänomenologisch unleugbaren neuen Eigenschaften biologischer Systeme als holistisch, wobei Holismus für ihn keine mystische Wesenheit, sondern Ausdruck einer außerordentlich hohen physikalisch-chemisch nicht voll erfassbaren Komplexität der Bestandteile biologischer Organismen ist. Biologische Organismen, das sind für ihn eine Menge von Zentren, in denen sich die Koordination von Kausalketten nicht mehr verfolgen lässt, weil sich diese Ketten in der besonders hohen Komplexität verlieren. Aus diesen komplexen Wechselwirkungen entstehen die emergenten d. h. qualitativ neuen Eigenschaften des Lebendigen. Die Grundproblematik ist daher, wie es zu dieser mit dem rein physikalisch-chemischen Begriffssystem nicht voll erfassbaren hohen Komplexität kommt und wie man einen vollständig rationalen wissenschaftlichen Zugang zu ihr finden kann, der metaphysische Spekulationen ausschließt. Das ist die Aufgabe der Konzipierung einer biologischen Theorie. Ein Phänomen ist hierbei besonders wichtig: Die immer wieder beobachtbare Kreativität biologischer Prozesse.

Im Folgenden sollen Grundgedanken Elsassers zur Information, ihrer Entstehung und Erhaltung im Lebendigen, in ihrer Entwicklung von "The Physical Foundation" zu seinem letzten Werk: "Reflections on a Theory of Organisms" (Elsasser 1987 b), unter Einbeziehung von Diskussionen mit ihm, dargestellt werden.

1.1 Kreativität – Entstehung von Neuem in der Natur und im Denken als Grundkonzept

W. Elsasser formulierte den Gedanken, dass jeder Theorie ein Grundkonzept zugrunde liegen muss. So wie der Quantentheorie das Konzept der Quanten, sollte einer Theorie der Biologie das Konzept der Kreativität zugrunde gelegt werden. Er formulierte dies in seinem Beitrag: "Creativity as a Property of molekular Systems"(Elsasser 1987a), den er für unsere IFIP TC9/WG9 Conference an der Humboldt-Universität zu Berlin 1986 eingereicht, aber aus gesundheitlichen Gründen nicht selbst vorgetragen hat.

Kreativität – schöpferische Entwicklung, schöpferisches Verhalten, schöpferisches Denken – hat die Entstehung neuer Informationen und die Bildung von Werten zur Grundlage. Das ist charakteristisch für jede sich entwickelnde Organisation, für jedes sich selbst organisierende System. Nur so kann Entwicklung, als schöpferisches Werden, insbesondere als Höherentwicklung verstanden werden.

Im Verlaufe der Wissenschaftsgeschichte haben verschiedene Wissenschaftler, zur Erklärung des Phänomens der Kreativität, immer wieder Zuflucht bei der Metaphysik gesucht, sodass die Biologie außerhalb der naturwissenschaftlichen Erklärung zu stehen schien. Die kreative Entwicklung war der entscheidende Punkt, auf den der französische Philosoph Henri Bergson (1907) mit seinem "élan vital" (Bergson 1896, Driesch 1921) und der deutsche Biologe und Philosoph Hans Driesch u. a. Vertreter des Neo-Vitalismus mit dem Konzept der "Entelechie" hinzielten. Sie konnten das Phänomen der Kreativität nicht erklären, denn es stand in der Tat im Gegensatz zum mechanistischen Weltbild. Henri Bergson spricht von "élan vital" als einer im Lebendigen spezifisch wirkenden Kraft. Schöpferische Entwicklung wird zum Hauptbegriff der neuen Lebensphilosophie, die mit der Zugabe der Lebensangst zur Existenzphilosophie überleitet. Für Max Planck, Rudolf Carnap und Ludwig Wittgenstein ist ein solches Verständnis der Entwicklung ein Beispiel für die versuchte Lösung von "Scheinproblemen". W. Elsasser betont daher zu Recht, dass der Begriff der Kreativität in der Natur nichts erklärt, zu vage ist. Er kann jedoch durch den Begriff der Informationsentstehung entscheidend präzisiert werden.

Wir haben aber bisher im Wesentlichen nur eine Theorie der Informationsverarbeitung, noch nicht oder nur in Ansätzen eine Theorie der Informationsentstehung! (Vgl. Ebeling 1991, Fuchs-Kittowski 1998, Hofkirchner 2013).

1.2 Zum Verhältnis von Physik/Chemie und Biologie

Das berühmte kleine Buch von Erwin Schrödinger: "Was ist Leben?" wurde später "Onkel Toms Hütte der Molekularbiologen" genannt. Denn vielen der Physiker, die zuvor an der Atombombe gearbeitet hatten, wies diese Schrift den Weg in die Biologie. E. Schrödinger schrieb: "Die große, wichtige und heiß umstrittene Frage lautet: Wie lassen sich die Vorgänge in Raum und Zeit, welche innerhalb der räumlichen Begrenzung eines lebenden Organismus vor sich gehen, durch die Physik und die Chemie erklären? Die vorläufige Antwort, deren Erklärung und Begründung dieses kleine Buch versuchen wird." (Schrödinger 1951, S. 10)

Schrödinger kommt zu zentralen Aussagen, mit denen sich Elsasser in seinem Buch: "The Physical Foundation of Biology" (Elsasser 1958) auseinandersetzt. Es ist einmal der berühmt gewordene Satz von Schrödinger: Die lebende Materie entzieht sich dem Abfall in den Gleichgewichtszustand. "Das, wovon ein Organismus sich ernährt, ist negative Entropie." (Schrödinger 1951, S. 101) Ein weiterer, ebenfalls berühmt gewordener Gedanke ist, "den wichtigen Teil einer lebenden Zelle – die Kernschleife – … als aperiodischen Kristall" (Schrödinger 1951, S. 101) zu charakterisieren. Da die Erbinformation offensichtlich über viele Generationen weiter getragen wird, wäre ihre Stabilität durch die Stabilität dieses Kristalls gewährleistet, der sich dafür im Grunde am absoluten Nullpunkt befinden müsste. Was letztlich nur nach den "Leitprinzipien von Gottes Quantenmechanik vollendet wurde." (Schrödinger 1951, S. 121)

Die Auseinandersetzung mit diesen Aussagen von Schrödinger führte Elsasser zur Formulierung von Grundprinzipien zum Verständnis des Lebendigen, deren weitere Ausarbeitung er bis zu seiner letzten Arbeit: "Reflection on a Theory of Organism" (Elsasser 1987 b) verfolgte: Das Prinzip der Informationsentstehung und das Prinzip der nicht mechanischen Speicherung der Information im Lebenden.

Gegen Schrödinger wendet er ein, dass, wenn man unter "negativer Entropie", im Sinne von Shannon, Information versteht, angenommen wird, dass der lebende Organismus über die Nahrung Information aufnehmen würde. Wenn dies der Fall wäre, ist unverständlich, warum die Nährstoffe erst in ihre Bestanteile zerlegt und intern wieder neu synthetisiert werden. Während für die Automatisierungstechnik die Stabilität des Speichermaterials eine zentrale Frage bei der Erhaltung der Information für längere Zeit ist, ist dies für das Lebende nicht so, denn sonst wäre für die Schildkröte ihr Panzer dafür das ideale Material. Das Leben bevorzugt für das Gedächtnis jedoch vielmehr ein Organ mit höchster Dynamik, mit größter Intensität des Stoffwechsels, also Instabilität des Materials, Gewährleistung der Stabilität durch diese Dynamik. Mit dem Prinzip der nicht mechanischen Speicherung der Information und dem Prinzip der Informationsentstehung begründete Elsasser die Existenz spezifisch biologischer Prozesse.

Von verschiedenen führenden Kollegen, z. B. Francis Crick, wurde Elsasser dafür als "wissenschaftlicher Vitalist" bezeichnet. Eine, aus meiner Sicht, unberechtigte Charakterisierung, die wohl besagen soll, dass er kein klassischer Vitalist ist, der irgendeine zusätzliche Kraft, wie "Entelechie" oder den "Élan Vital" annimmt, aber, aus der Sicht des Reduktionisten bzw. Physikalisten, doch allein schon mit der Betonung der Spezifik des Lebendigen vitalistische Positionen vertrete.

Entsprechend dem Kanalmodell der Informationsübertragung bzw. dem klassischen bzw. reduktionistischen Ansatz der Molekularbiologie führt ein direkter Weg von der in der DNA-Sequenz gespeicherten Erbinformation zu den Bauplänen der verschiedenen Arten. Man geht also davon aus, dass künftig schon aus der Kenntnis der Gensequenz die Funktion eines Genprodukts abzuleiten ist und dass man dann, in Weiterführung dieses deterministischen Ansatzes, aus dem reinen Ablesen des Informationsspeichers (der DNA-Sequenz) über die verschiedenen Ebenen der zellulären Organisation, zu den Bauplänen und Funktionen der verschiedenen Lebewesen gelangt. W. Elsasser machte dagegen deutlich, dass diese Vorstellung vom reinen Ablesen der Information aus einem Speicher die alte Präformationstheorie in neuem Gewand ist. Der erwachsene Organismus hat einen deutlich höheren Informationsgehalt als die DNA. Es müsste also auch neue Information in der Ontogenese entstehen, will man die ontogenetische Entwicklung als Einheit von Präformation und Epigenese sehen. Berechtigte Kritik erfuhr Elsasser m. E. allerdings dafür, dass er bei seinen früheren Ausführungen zur

Informationsentstehung in der Ontogenese nicht deutlich zwischen genetischer Information und in der Ontogenese entstehender – nicht genetischer Information – unterschieden hatte. Da der genetische Determinismus weithin vorherrschend war, gratulierte mir Elsasser in einem Brief dazu, dass ich den Mut hätte, dass Prinzip der Informationsentstehung auch für die Ontogenese zu vertreten. Es wurde dabei aber deutlich herausgearbeitet, dass es sich bei der neu entstehenden Information in den Prozessen der Selbstorganisation der Ontogenese nicht um genetische Information handelt. Es gibt nicht nur die DNA als Informationsquelle, im Verlauf der Ontogenese kommen Quellen zellulärer Information hinzu. Wir betonen dabei, dass es eine Hierarchie gibt, und hier stehen die Gene (DNA) an der Spitze. Bei den Prozessen der Vererbung wird *nur die DNA* an die nächste Generation weitergegeben. Aber in der DNA steht nicht, wie die Form der Nase (etc.) auszusehen hat. Wir haben uns deutlich von einem genetischen Determinismus distanziert (Fuchs-Kittowski et al. 2003), der als einzige Quelle der Information und Steuerung sämtlicher Lebensprozesse die genetische Information bzw. die DNA oder die Gene sieht. Selbst ein versierter Molekularbiologe kann aus der DNA eines Huhns nicht seine endgültige Gestalt und das Funktionieren (die Physiologie) dieses Lebewesens erkennen (Rosenthal 2002).

Auch das Prinzip der nicht mechanischen Speicherung der Information wird von uns vorsichtiger formuliert. Wir sprechen von der nicht vollständigen syntaktischen Speicherung der Information. Wir folgen aber seinem Grundgedanken, dass sich in diesen beiden Phänomenen – der nicht vollständigen syntaktischen Speicherung und der Entstehung von Information in biologischer Organisation – die Spezifik des Lebenden gegenüber dem nicht Lebendigen zeigt, sie also Grundkategorien einer Theorie der Biologie repräsentieren.

Das Grundproblem einer Theorie der Biologie ist das Verhältnis von Physik, Chemie und Biologie. Sind die Phänomene des Lebens vollständig auf Physik und Chemie zu reduzieren oder gibt es spezifisch biologische Gesetze? Wenn ja, wie ist ihre Spezifik zu begründen, ohne dass, entsprechend der Annahmen des Vitalismus, eine Durchbrechung physikalischer Gesetze angenommen werden muss und ohne dass entsprechend dem Prinzip der verallgemeinerten Komplementarität von Nils Bohr oder dem an Niels Bohr von Walter Elsasser zunächst postulierten "Prinzip der endlichen Klassen" eine grundsätzliche Erkenntnisgrenze angenommen werden muss. Durch die dann doch letztlich wieder einem Dualismus Vorschub geleistet wird.

W. Elsasser übernahm zunächst das Prinzip der verallgemeinerten Komplementarität, erweitert durch das von ihm eingeführte "Prinzip der endlichen Klassen". "Es ist unmöglich, die Verteilung einer immensen Zahl von Verbindungen zu studieren, wenn man nur über eine große Zahl von Individuen verfügt." Er übertrug damit die (logisch-)positivistische Deutung der "Kopenhagener Interpretation der Quantenphysik" in die Theorie der Biologie. Er war lange Zeit der Auffassung, dass Informationstransformation, das Denkmodell des technischen Automaten in Anwendung auf die Lebensprozesse einerseits und die nur phänomenologisch zu erfassenden spezifischen Lebensprozesse, wie die nicht mechanische Speicherung der Information, die Prozesse ihrer Entstehung, im Bohrschen Sinne komplementäre Bilder vom Lebendigen sind, die aufgrund des "Prinzips der endlichen Klassen" logisch widerspruchsfrei miteinander in Einklang zu bringen sind (Abbildung 3).

Theorie der Automaten	Theorie des Organismus		
	entweder	oder	
Beschreibung mechani- schen Verhaltens	Beschreibung mechanischen Verhaltens durch Modelle	Beschreibung biotonischen Verhaltens	
Kausalität	Prinzip endlicher Klassen	phänomenologische Kausalität	

Abbildung 3: Die Erkenntnisgrenze durch das Prinzip der endlichen Klassen ermögliche eine widerspruchsfreie Beschreibung der Lebensprozesse, entweder mit anschaulichen Begriffe und Modell der Automatisierungstechnik oder im Begriffssystem rein biotonischen Verhaltens (Fuchs-Kittowski 1969/1976, S. 122)).

Es muss hier deutlich gemacht werden, dass W. Elsasser seine Konzeption nicht in einem solchen Schema dargestellt hat. Es ergibt sich aber aus der Übernahme des Komplementaritätsprinzips in die biologische Forschung. Dieses Schema wurde von mir entsprechend dem Schema der Komplementarität der Raum-Zeit-Beschreibung und der Kausalität von Werner Heisenberg (Heisenberg 1930, S. 40) aufgezeichnet.

Klassische Theorie	Quantentheorie		
	entweder	oder	
Raum-Zeit-	Raum-Zeit-	mathematisches Schema	
Beschreibung,	Beschreibung,	nicht in Raum und Zeit,	
Kausalität	Unbestimmtheitsrelation	Kausalität	

Abbildung 4: Komplementarität der Raum-Zeit-Beschreibung und der Kausalität

In der klassischen Theorie der Physik ist, wie im Schema dargestellt, eine Beschreibung in Raum und Zeit und Kausalität, als ein notwendiger Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung, möglich. In der Quantentheorie haben wir dagegen ein Entweder/Oder. Eine Beschreibung in Raum und Zeit, aber aufgrund der Unbestimmtheitsrelation keine klassische Kausalität. Oder, Kausalität als eine notwendige Beziehung zwischen Ursache und Wirkung, aber dafür nur ein mathematisches Schema, nicht in Raum und Zeit. Entsprechend gibt es dann für W. Elsasser, im Rahmen der Theorie der Automaten, die Möglichkeit einer Beschreibung mechanischen Verhaltens und Kausalität im Sinne der klassischen Mechanik, als eine notwendige Beziehung zwischen Ursache und Wirkung. In der Theorie des Organismus gibt es demnach ebenfalls ein Entweder/Oder. Entweder eine Beschreibung mechanischen Verhaltens, aber auf Grund des "Prinzips der endlichen Klassen" keine Kausalität. Oder Kausalität im klassischen Sinne, aber dafür nur eine phänomenologische Beschreibung biotonischen Verhaltens des Organismus. Entscheidend ist, dass in beiden Fällen, einmal durch die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation und zum anderen durch das Prinzip der endlichen Klassen, mit dem W. Elsasser das "Prinzip der verallgemeinerten Komplementarität" von Niels Bohr für die biologische Forschung präzisieren will, eine Erkenntnisgrenze gesetzt wird. Die Erkenntnisgrenze gibt die Möglichkeit, die sich widersprechenden Beschreibungen widerspruchsfrei zusammenzuführen.

Der Vorwurf, der dagegen von verschiedenen Seiten erhoben wird, ist, dass somit ein agnostizistisches Prinzip eingeführt wird. Die Quantenphysik kann somit kein objektives Bild von der Welt zeichnen, eine so verstandene Theorie des Organismus öffnet dem Irrationalismus die Tür. Es gilt also eine solche subjektivistische oder auch positivistische Auslegung der Kopenhagener Interpretation der Quantenphysik zu überwinden. Entsprechend der positivistischen Auffassung beschreibt die Theorie unsere Kenntnis der Prozesse, und in dem Augenblick, in dem eine Mehrdeutigkeit vorhanden ist, wo verschiedene Möglichkeiten zugelassen werden, ist das eine Beschreibung unserer Unkenntnis.

Wie W.A. Fock (Fock 1962) berichtet, war schon Nils Bohr bereit, zwischen dem allgemeinen Kausalprinzip, nach dem jede Wirkung eine Ursache hat, und dem Determinismus Laplaceschen Typs, nach dem jede Ursache mit Notwendigkeit eine bestimmte Wirkung hervorbringt, zu unterscheiden. Eine Ursache kann verschiedene mögliche Wirkungen haben. Von denen eine zufällig realisiert wird. In der Tat ist der Messeingriff in der Quantenphysik, wie auch beim hochkomplexen Lebenden System, mit einer Störung der Prozesse verbunden. Geht man jedoch davon aus, dass die menschliche Tätigkeit, damit auch das Experiment, Grundlage unserer Erkenntnis ist, dann kann ein solcher Eingriff nicht als Erkenntnisgrenze verstanden werden, sondern gerade als Voraussetzung dessen, was von uns erkannt werden kann. Die uns aus der Anschauung gegebenen klassischen Begriffe: Welle und Korpuskel, sind Abstraktionen aus dem allgemeinen Zusammenhang. Diese Abstraktionen müssen modifiziert werden, sobald sie wieder in den allgemeinen Kontext, in die Totalität der Wirklich-

keit, integriert werden. Im allgemeinen Zusammenhang sind die Elementarteilchen <u>weder</u> Welle <u>noch</u> Korpuskel, sondern etwas Drittes.

Eine Differenzierung innerhalb der Wahrscheinlichkeitsgesetze – d.h. zwischen Statistik und Probabilistik – ist erforderlich. Es sind die verschiedenen Möglichkeiten anzuerkennen. Die objektive Möglichkeit als Einheit von Notwendigkeit und Zufall. Eine Determinismuskonzeption, die nicht allein die Kategorie der Notwendigkeit kennt, sondern mit der Kategorie der Möglichkeit den Zufall in den Gesetzeszusammenhang einbezieht (probabilistische Gesetze anerkennt), kann überhaupt erst die Entstehung von wirklich Neuem in der Entwicklung berücksichtigen. Eine solche Konzeption war die entscheidende Voraussetzung für die Beachtung von Prozessen der Informationsentstehung in den Lebensprozessen. Wenn alles im klassischen Sinne prädeterminiert ist, kann nicht wirklich Neues entstehen.

Erst mit der Einbeziehung des Zufalls in die Gesetzeskategorie, kann man auch verdeutlichen, dass ein Verständnis des Zufalls im Sinne der Stochastik z.B. als Störung bei der Signalübertragung, im Lebendigen nicht ausreicht, dass gerade hier der Zufall auch als aufbauendes Moment gesehen werden muss, will man überhaupt den Zusammenhang von Mutation und Evolution, von Konstanz und Variabilität in der Entwicklung des Lebenden verstehen. So wie der Quantenphysiker lernen musste, dass sich die Bilder Welle und Korpuskel wechselseitig modifizieren, musste der Biologe lernen, dass sich der Organismus nicht einfach wie eine Maschine in seine Teile zerlegen und dann wieder zusammensetzen lässt.

Es ist zu beachten, dass, wenn wir vom Ganzen ausgehend zur Analyse der Teile vordringen, etwas verloren geht, das nicht einfach durch die Zusammensetzung der Teile wieder gewonnen werden kann. Das Ganze, die Organisation des Lebendigen, modifiziert die Teile und umgekehrt, die dem Ganzen zugrunde liegenden Elementarprozesse, die Träger der Organisation, die Bestanteile des Ganzen. Wenn wir die Lebensprozesse untersuchen, haben wir es also nicht entweder mit einem rein physikalisch-chemischen Prozess <u>oder</u> mit einem dann hinzutretenden, irgendwie gearteten rein biologischen Prozess, zu tun. Leben ist also <u>weder</u> eine rein physikalische Maschine <u>noch</u> ein rein biologisches, von Physik und Chemie losgelöstes Geschehen, sondern ein Drittes. Wir haben es von vornherein mit spezifisch biologischen Prozessen zu tun. Auch dem Lebenden treten wir mit anschaulichen Modellen der Automatisierungstechnik, z.B. mit künstlichen neuronalen Netzen, gegenüber. Wir müssen uns aber dessen bewusst sein, dass diese Modellvorstellungen erweitert bzw. modifiziert werden müssen, wenn wir die neuen Entwicklungsmöglichkeiten der Materie, die sich durch die Einschränkung der durch die physikalisch-chemischen Gesetze gegebenen Möglichkeiten durch das organismische Ganze ergeben, wirklich erfassen wollen.

1.3 Anerkennung der spezifischen Qualität des Lebendigen – Weder Physikalismus noch Vitalismus

Von Philosophen und Einzelwissenschaftlern wurde öfters die Forderung formuliert, dass die Einzelwissenschaften zu einem System vereinigt werden müssten. Dem steht jedoch die Tatsache entgegen, dass sich die verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen auf qualitativ unterschiedliche Gegenstände – Bewegungsformen der Materie – beziehen. Wenn man also diese qualitativen Unterschiede nicht leugnen will, müssen sich die Wissenschaften mit ihren Erkenntnisquellen und ihren wissenschaftlichen Methoden unterscheiden.

Es gibt aber auch theoretische und praktische Gründe dafür, eine Vereinheitlichung der wissenschaftlichen Erkenntnis zu fordern, denn es ist oftmals erforderlich, Methoden aus anderen Wissenschaftsgebieten zu nutzen, um mit der Erforschung des eigenen Erkenntnisgegenstandes voranzukommen d. h. interdisziplinär zu forschen. Die Revolution in der Biologie hat ihre Grundlage in der Zurückführung der komplexen biologischen Strukturen und Prozesse auf die ihnen zugrundeliegenden elementaren Strukturen und Prozesse – wie die Eiweiß-Nukleinsäure-Wechselwirkungen. Sie beruht auf der konsequenten Anwendung physikalischer, chemischer, mathematischer und kybernetischer Methoden bei der Erforschung der komplexen Lebensprozesse. Diese Tatsache wurde von Philosophen sowie Einzelwissenschaftlern als Sieg des Reduktionismus und damit des Physikalismus,

im Sinne des modernen Empirismus von Rudolf Carnap und des Wiener Kreises um Neurath, gefeiert. Speziell vom Wiener Kreis war eine Einheitswissenschaft besonders nachdrücklich gefordert worden. Neurath und Carnap vertraten zunächst den Standpunkt, dass alleine die Rückführung auf Physik dem gerecht werden kann. Hierin hat der Begriff "Physikalismus" seinen Ursprung. Carnap erweiterte die Sicht insofern, als das Ziel des Physikalismus auch erreicht ist, wenn die Sprache der Physik, ein exaktes Begriffssystem, (metrische Begriffe) verwendet wird. Carnap hatte gezeigt, dass die physikalische Sprache eine rein quantitative Sprache ist, sodass in dieser Sprache für alle Aussagen nur metrische Begriffe (Messwerte – Daten) verwendet werden.

Hier treffen sich unsere Überlegungen zur Formalisierung der Information. Wir machten deutlich, dass die Formalisierung der Information, als Voraussetzung für ihre maschinelle Verarbeitung, in der Zurückführung der Semantik der Information auf entsprechende Syntaxbereiche besteht (Fuchs-Kittowski et al 1976, S. 142-148). Dabei ist bereits die Syntax Teil der symbolischen Information. Denn die Syntax ist von der physikalischen Natur des Zeichens, des Datenträgers, unabhängig und ist Teil der Konvention zur Zeichenbedeutung zwischen Sender und Empfänger (Ebeling und Feistel 2014). Der Grundgedanke der nicht-mechanischen Speicherung der Information konnte insofern präzisiert werden, indem wir deutlich machten, dass die reduzierte Abbildung der Information auf syntaktische Strukturen eine Existenz im Raum hat und somit gespeichert werden kann, dass aber die Bedeutungen – die Semantik der Information –, nicht in Raum und Zeit, sondern "in der Gleichzeitigkeit" existieren und somit nicht räumlich gespeichert und auch nicht technisch übertragen werden kann, sie in der Tat in einem dynamischen Gedächtnis für längere Zeit erhalten bleiben kann.

Die Differenzierung der Information nach ihrem Formalisierungsgrad (Fuchs-Kittowski 2017) zeigte die Verwandtschaft dieser Überlegungen mit der von Rudolf Carnap vorgenommenen Unterscheidung zwischen klassifikatorischen, kombinatorischen und metrischen Begriffen (Carnap 1982, S. 591).



Abbildung 5: Ebenen der Wissenschaftssprachen – Verwendung von klassifikatorischen, komperativen und metrischen Begriffen auf verschiedenen Ebenen ihrer Präzisierung (Fuchs-Kittowski et al. 1978)

Wenn Elsasser sich mit seiner Theorie der Biologie gegen den Physikalismus wendet, ist damit also nicht nur die Reduktion der Lebensprozesse auf Physik und Chemie gemeint, sondern zugleich auch die Reduktion auf den Computer. Dies nicht nur als rein physikalisches System, sondern insbesondere auch als eine nur Struktur, Daten (Syntax), verarbeitende Maschine.

Die drei Begriffsformen, die für unsere Differenzierung der Information hinsichtlich ihres Formalisierungsgrades wichtig wurden, spielen insbesondere in der Theorie der Induktion von R. Carnap eine wichtige Rolle. Erkenntnis der Wirklichkeit bedeutet für R. Carnap: Reduktion und Analyse. Die Wirklichkeit auf das Gegebene zurückführen, aus dem Gegebenen die Gegenstände zu konstruieren. Das Gegebene ist für ihn das unmittelbar Gegenwärtige, die einfache Erlebniswahrheit, über die keine Erkenntnis hinausführt. Hier wird die Begrenztheit dieses Versuchs, die Welt zu konstruieren sichtbar. Denn damit werden die letzten Fragen menschlichen Denkens und Handelns als "Scheinprobleme" abgetan. Alles was übrig bleibt, ist die neue "Einheitswissenschaft, eine auf Sinnesdaten aufbauende, mathematisch-formale Methode, die sich über alle Disziplinen erstreckt" (Stegmüller 1976, S. 351 ff.). Genau gegen diesen allgemeineren Physikalismus bzw. Reduktionismus, nicht nur gegen die Reduktion der Wissenschaft im Sinne einer Einheitswissenschaft auf die Gesetze der Physik und Chemie, sondern auch gegen die Reduktion der semantischen, geistigen Prozesse des Menschen auf rein syntaktische Informationsverarbeitungsprozesse, auf formale Operationen, ist die Theorie der Biologie von Elsasser gerichtet.

Die Annahme eines strengen Determinismus (Determinismus im Sinne der klassischen Mechanik) für Lebewesen wurde trotz der Erkenntnisse der Quantenphysik für lebende Systeme lange noch nicht in Frage gestellt. Die Entstehung von Neuem in der Natur, so auch die Entstehung neuer Information hat aber die Objektivität des Zufalls, die Durchbrechung des Prädeterminismus zur Voraussetzung.

Die Aussage, es liegt eine vollständige (syntaktische) Informationsspeicherung bzw. Kontinuität der Informationstransformation vor, d. h. es besteht ein Isomorphismus zwischen den physikalischen Größen, welche die Zustände des Systems zu verschiedenen Zeitpunkten beschreiben, kann als äquivalent der Aussage angesehen werden, es liegt ein strenger Determinismus vor.

Die Aussage, dass keine vollständige (syntaktische) Abbildung der Information (Informationsspeicherung) und keine vollständige (syntaktische) Informationstransformation stattfindet, sondern Prozesse mit endogener Informationsentstehung vorliegen, ist dann äquivalent der Aussage, dass kein strenger Determinismus vorliegt und dass die anschaulichen Begriffe und Modelle der Automatisierungstechnik, wie das technische Modell des Übertragungskanals der technischen Informatik, allein nicht ausreichend sind, den Lebensprozess, vor allem aber auch menschliches Denken und auch soziale Organisation vollständig zu erklären.

Der Gedanke an komplementäre Sichtweisen war sicher hilfreich in der Erkenntnis der Begrenzungen jeder Sicht für sich alleine. Aber, da es bei der Gegenüberstellung der unterschiedenen Positionen bleibt und ein agnostisches Moment eingeführt wird, genügt das Komplementaritätsprinzip u. E. nicht, eine wirklich weder reduktionistische noch dualistische Theorie der Biologie, eine weder dualistische noch reduktionistische Lösung des Geist-Gehirn-Problems zu begründen.

Auf der Grundlage der Überlegungen der Quantenphysiker W. A. Fock (1962) und Klaus Fuchs (1972) zur Interpretation der Quantenphysik ließ sich verdeutlichen, dass es nicht um eine trennende Erkenntnisgrenze gehen kann. Man lernte in der Quantenphysik, wie die Begriffe Welle und Korpuskel modifiziert werden müssen und Ort und Impuls sich gegenseitig modifizieren, wenn sie wieder in den allgemeinen Zusammenhang gestellt werden. In methodologischer Analogie zur erkenntnistheoretischen Situation in der Quantenphysik führte dies uns zu dem Schluss:

Gesetzmäßigkeiten des Lebenden sind ebenfalls weiter und tiefer und damit zugleich konkreter als die Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien der Automatisierungstechnik (der Struktur und Funktion von Hard- und Software) in Anwendung auf das Lebende, Geistige und Soziale. Wir müssen uns also bewusst sein, dass wir dem Lebenden, dem Geistigen und Sozialen, mit Begriffen entgegentreten, die der anschaulichen Welt der Automatisierungstechnik entnommen sind, eine Abstraktion der Informatik aus dem allgemeinen Zusammenhang darstellt. Die daher modifi-

ziert werden, sobald sie wieder in den allgemeinen Kontext der komplexen Lebensprozesse eingefügt werden.

Wir gehen entsprechend davon aus, dass die Gesetze der Physik und Chemie im Lebenden nicht durchbrochen werden, dass sie jedoch durch begrenzende Bedingungen, wie: a) spezifische Struktur, b) informationelle Koppelungen und c) Teil-Ganzes-Beziehungen modifiziert werden.

Das bedeutet, dass wir von vornherein davon ausgehen müssen, dass es im Lebenden keinen "reinen physikalisch-chemischen Prozess" wie in der nicht lebenden Natur gibt, da durch die einschränkenden Bedingungen eine Modifikation der physikalisch-chemischen Prozesse erfolgt (Fuchs-Kittowski 1969/1976 und Ebeling 2016).

Die Einschränkungen auf der niederen Ebene der Bewegungsform der Materie eröffnen neue Entwicklungsmöglichkeiten, die neue Qualität der biologischen Bewegungsform der Materie. Die Materie tritt damit in ein neues Entwicklungsstadium ein. In das Stadium der biologischen Evolution. Es zeigt sich die Kreativität des Lebendigen, die Entstehung neuer Information, die nicht mechanisch gespeichert, sondern im dynamischen Gedächtnis auf lange Zeit erhalten bleibt.

2. Zur Theorie der Biologie von W. Elsasser in seinem Werk "Reflections on a Theory of Organisms"

2.1 Spezifische Prinzipien für das Verständnis des Wesens des Lebendigen

In seinem letzten Werk "Reflections on a Theory of Organisms", welches 1987 vom Präsidenten der USA mit dem höchsten Forschungspreis, der "National Medal of Science", ausgezeichnet wurde, hat W. Elsasser vier für das Lebendige charakteristische Prinzipien formuliert, die eine weder mechanistische bzw. physikalistische, noch vitalistische Theorie der Biologie begründen sollen (Elsasser 1987 b).

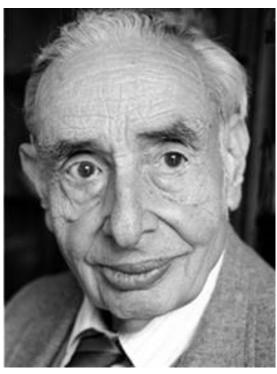


Abbildung 6: W. Elsasser um 1987

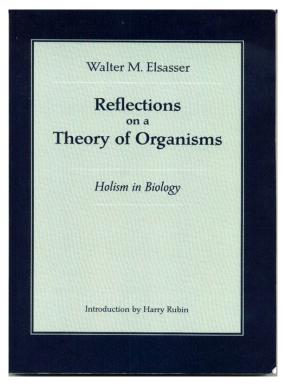


Abbildung 7: Buchumschlag

Die Beachtung bzw. genauere Untersuchung dieser vier Prinzipien sind entscheidend, um das Verhältnis von Physik, Chemie und Biologie sowie das Verhältnis von Automat und Leben und damit Grundfragen der Modellierung biologischer Systeme zu klären. Es sind:

- 1. Das Prinzip der geordneten Heterogenität (The principle of ordered heterogenity)
- 2. Das Prinzip der kreativen Selektion (The principle of creative selection)
- 3. Das Prinzip des holistischen Gedächtnisses (The principle of holistic memory)
- 4. Das Prinzip des operativen Symbolismus (The principle of operative symbolism)

Zu 1. Das Prinzip der geordneten Heterogenität

Physikalisch-chemische Modelle beschreiben stets homogene Strukturen. Die Bestandteile biologischer Strukturen sind zwar relativ beschränkt und überschaubar, jedoch führt die Kombinatorik sehr schnell zu immensen Zahlen möglicher Strukturen. Ein biologischer Organismus ist nach Elsasser nicht schlechthin eine dieser kombinatorisch möglichen Strukturen, sondern zeichnet sich durch eine bemerkenswerte Regularität aus, die eine Ordnung für die außerordentlich große Heterogenität in jedem Teilbereich des Systems gewährleistet. Es handelt sich um eine Ordnung, die über der Heterogenität der Einzelteile des Organismus liegt. Dieser Typ von Ordnung ist in der Physik unbekannt. Sie stellt, nach Elsasser, eine echte Erweiterung der logisch-theoretischen Grundvoraussetzungen einer theoretischen Beschreibung dar.

Zu 2. Das Prinzip der kreativen Selektion

Auf der Grundlage der Gesetze der Quantenmechanik gibt es mehr physikalisch-chemisch mögliche Zellmuster als im Universum überhaupt Platz finden können, wenn wir für eine Zelle etwa 10¹² Atome annehmen und die Gesetze der organischen Chemie für ihre Kombinierbarkeit berücksichtigen. Dieser Sachverhalt zeigt, dass der biologische Organismus eine Selektion vornehmen muss. Elsasser hält diese Selektion für ein unersetzbares Kriterium für eine holistisch orientierte, nicht-mechanistische Biologie. Dieses Kriterium der Kreativität besagt, dass solche Selektionsprozesse nicht auf quantenmechanische Kausalität reduzierbar sind. Das, was durch die kreative Selektion hervorgebracht wird, resultiert aus einer Selektion einer immensen Zahl von möglichen Mustern nach dem Vorbild vorausgegangener Selektion desselben Organismus oder seiner Vorfahren.

Zu 3. Das Prinzip des holistischen Gedächtnisses

Dieses Prinzip des holistischen Gedächtnisses schafft einen Zusammenhang zwischen den Selektionen und der prinzipiellen Selektionsfähigkeit biologischer Organismen. Der Hauptpunkt in der Interpretation von Elsasser ist der Gedanke, dass kein Mechanismus für die Erhaltung von Informationen über längere Zeit existiert, was Computerspezialisten einen Speicherungsmechanismus nennen. Das ist eine der bedeutsamsten Konsequenzen dieser theoretischen Konzeption. Elsasser hält diese Idee für genauso fundamental wie Raum-, Zeit und Kausalität in der anorganischen Natur. Obwohl Elsasser an keiner Stelle seiner Arbeit die Information explizit definiert, liegt hier doch der entscheidende Quellpunkt für ein neues Informationsverständnis. Gedächtnis für Bedeutung ist ein Verhältnis zwischen Informationen, nicht aber eine physische Struktur. Es gibt keinen Speichermechanismus für die Semantik der Information. Diese Unterscheidung zwischen Speicher und Gedächtnis ist ebenfalls für eine Theorie der Informatik grundlegend (Fuchs-Kittowski und Wetzlaff 1987, F. Fuchs-Kittowski 2007, S. 86 ff.).

Es gibt keinen Geist, der nicht an Materie gebunden ist, wie es auch keine Information gibt, die nicht an einen materiellen Träger gebunden ist. Wer jedoch meint, Gedächtnis durch Speicher ersetzen zu können, identifiziert die "feuchte Hardware" mit dem Geist. Information ist, wie schon Norbert Wiener feststellt, "neither matter nor energy." (Wiener 1961) Information ist weder Materie noch Geist allein, sondern die Vermittlung zwischen ihnen (Fuchs-Kittowski 1997). Sie ist als Codierung materiell und als Bedeutung ideell. Sie existiert somit einmal in der raumzeitlichen materiellen Welt als sinnliche Struktur und Syntax, und sie existiert im invarianten und abstrakten Allgemeinen, welches raumzeitlich nicht lokalisierbar ist, nicht in der physikalischen Raumzeit existent ist. Es gibt ein Zusammenwirken zwischen Speicher und Gedächtnis, wie dies W. Elsasser mit seinem Prinzip des operativen Symbolismus verdeutlichen will.

Zu 4. Das Prinzip des operativen Symbolismus

W. Elsasser formuliert ein weiteres Prinzip, das er das Prinzip des operativen Symbolismus nennt. In unserer Interpretation drückt es die Notwendigkeit der Unterscheidung und des Zusammenwirkens zwischen Speicher der Syntax und dem Gedächtnis der Semantik der Information zutreffend aus. Das Gedächtnis der Bedeutung ist ein Verhältnis zwischen Informationen, nicht aber eine physische Struktur. Die Symbole, die Kodierungen, der kausal wirkenden Informationen müssen konstant gehalten werden. Das ist eine notwendige, aber noch keineswegs eine hinreichende Bedingung für die konkrete Erzeugung und Nutzung von Informationen. Der operative Sinn, die Bedeutung der Symbole, ergibt sich erst im dynamischen Prozess. Daher können Symbole ohne jede Zwei- oder Mehrdeutigkeit ganze Hierarchien von Bedeutungen tragen. Das ist insbesondere für das Verständnis der Reproduktion wesentlich.

Es geht um ein Zusammenwirken von Speicher und Gedächtnis.

Wir wissen, dass es z. B. bei der Vererbung tatsächlich einen Speicher, die DNA, als syntaktischen Träger der Erbinformation, dem genetische Kode gibt. Es ergibt sich damit die Frage, wie diese Tatsache mit der These der nicht-mechanischen Speicherung von Elsasser zusammenpasst. Nach seiner Meinung gibt es zwei verschiedene Arten von Informationsprozessen. Einen auf der Grundlage der Speicherungsmechanismen und einen anderen auf der Grundlage des holistischen Gedächtnisses, einen Prozess fortwährender aktiver Selektion nach Ähnlichkeitsgesichtspunkten vorausgegangener Selektionen. Beide ergänzen sich.

Die einen bewirken und erklären Replikationsprozesse, die anderen dagegen die biologisch wesentlichen Reproduktionsprozesse. Gedächtnis und Speicher sind folglich für Elsasser nicht identisch. Speicher meint eine materielle Struktur, während holistisches Gedächtnis ein dynamischer Prozess ist.

Was ist Information aus der Sicht dieser Konzeption?

Information erweist sich mehr und mehr als eine fundamentale Kategorie, d. h. dass sie im Sinne einer Definition nicht auf elementarere oder anders geartete Prozesse reduzierbar ist. Man kann sich daher nur bemühen, diese Kategorie mit anderen in ein Verhältnis zu setzen, die Begriffe gewissermaßen aneinander zu bestimmen. In diesem Sinne ist die Information die Invariantsetzung eines selektierten Zustandes einer heterogenen Klasse.

Hierbei erfolgt die Selektion aber so, dass die Potenzmenge, aus der selektiert wird, Kontingent gehalten wird, d. h. immer wieder als Möglichkeitsfeld für neue Selektionen fungieren kann. R. E. Zimmermann geht daher davon aus, dass Information eine fundamentale Konstante des Universums, wie Materie und Energie ist (Zimmermann 2017), da die Information stets mit dieser Selektionspotenz des Universums in einem direkten Zusammenhang steht. Sie ist aber ein Ausdruck sowohl der Selektionsfähigkeit als auch der Realisierung dieser oder jener speziellen Selektion. Information stellt daher eine Beziehung zwischen Selektionen her und damit wiederum eine Beziehung zwischen individualisierten Zuständen oder Mustern heterogener Klassen. Damit ist Information eine Beziehung zwischen Individuen im Kontext der sie konstituierenden heterogenen Klasse. Information erfordert und ermöglicht den Aufbau und die Nutzung von Kontingenzstrukturen.

Eine wichtige Konsequenz dieser Fassung des Wesens der Information besteht darin, dass isoliertem Für-sich-Sein der Information jede Existenzberechtigung abgesprochen wird. Information ist keine "Substanz" oder Eigenschaft einer vorher gegebenen materiellen Struktur, Information ist vielmehr eine Ordnungsinvariante über der komplexen Heterogenität.

Hier ist nur eine sehr gedrängte Darstellung der von W. Elsasser in seiner letzten Arbeit herausgearbeiteten Prinzipien für das Verständnis des Lebendigen möglich. Es soll insbesondere noch auf das Verständnis der Information, auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede, wie auch auf bestehende Missverständnisse hingewiesen werden.

2.2 Reflektionen zu einer Theorie of Organismus und Bedeutung der Information für das Lebendige

2.2.1 Diskussionen zur Konzeption der Theorie der Biologie

W. Elsasser hat mich, durch Briefwechsel und Diskussionen bei meinen Aufenthalten an der Johns Hopkins University, stark am Entstehen seines letzten Werkes teilnehmen lassen. Er hatte seine Arbeiten immer wieder überarbeitet und mehrfach im Eigenverlag (Elsasser 1082 und 1986) herausgegeben. Er hat mir mehrfach angeboten, dieses Buch zuerst in der DDR zu publizieren. Dies gelang allerdings nicht, da doch eine zu scharfe Trennung zwischen nicht lebenden und lebenden Systemen gesehen wurde.

In der Diskussion wurde wiederholt geltend gemacht, dass sich überall auch Übergänge und Gemeinsamkeiten aufweisen ließen, so dass sich die aufgezeigten biologischen Prozesse durch die Grundprinzipien nicht so scharf von der Physik und Chemie abgrenzen ließen. Deutlich zeigt sich dies beim Verständnis der Prozesse der Entstehung, Verarbeitung und Nutzung der Informationsentstehung durch Selbstorganisation ist nicht von den zugrundeliegenden physikalischen Prozessen zu trennen. Mensch und Automat, menschliche (semantische) und maschinelle (syntaktische) Informationsverarbeitung bilden eine Einheit von Gemeinsamkeit und Unterschied.

W. Elsasser kritisierte mich, m. E. unberechtigt, dass ich für die Informationsentstehung eine Einschränkung der Gesetze der Thermodynamik annehmen würde. Statt von einer Einschränkung Shannons Gesetz zu sprechen (Elsasser 1987b, S. 92). Es sei daher hier betont, dass wir immer davon ausgegangen sind, dass Information an einen materiellen Träger gebunden ist. Jeder Träger der Information ist physikalischer Natur und unterliegt physikalischen Gesetzen, insbesondere auch dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.

W. Elsasser war bereit, den Begriff Holismus zu vermeiden und nur von einer Theorie der Biologie zu sprechen. Auch hatte er der These zugestimmt, dass es nicht um Komplementarität im Sinne einer zu scharfen Trennung zwischen Physik, Chemie und Biologie gehen kann, sondern um eine Modifikation der physikalisch-chemischen Prozesse durch die physikalisch-chemischen Prozesse einschränkende Bedingungen, wie spezifische Struktur, informationelle Koppelung und Ganzes-Teil-Beziehungen. Wie dies in unserer Formulierung zum Ausdruck gebracht wird: "Alles was biologisch möglich ist, muss auch physikalisch möglich sein, aber das Umgekehrte gilt nicht. Nicht alles, was physikalisch möglich ist, ist auch biologisch möglich, z. B. ein faules Ei. Hinzu kommen die Möglichkeiten der physikalisch-chemische Gesetze einschränkenden Bedingungen, durch die die spezifischen Lebensprozesse ermöglicht werden.

Der endgültigen Veröffentlichung der letzten Arbeit von W.. Elsasser ist von dem Herausgeber Harry Rubin extra der Untertitel "Holism in Biology" wieder hinzugefügt worden. In seiner Einführung und im Klappentext negiert er auch den Gedanken der Modifikation der physikalisch-chemischen Prozesse. Er kennt unsere letzten gemeinsamen Diskussionen nicht. Dies führt im Vorwort, wie insbesondere auf dem Klappentext, dann zu einer Einschätzung der letzten Arbeit von W. Elsasser, die die Entwicklung seiner Theorie der Biologie nicht genügend wiedergibt. Es heißt dort: "...Elsasser leads the reader through a step-by-step process that ultimately arrives at the conclusion that living and not living matter are separated by 'a no-mans land of irrationality'." (Elsasser 1987b, Klappentext) Wenn die letzte Arbeit weiterhin als zum Mystizismus führend aufgefasst werden kann, bestünde meine Kritik an den früheren Arbeiten von Elsasser weiterhin zu Recht. Diese gilt aber m. E. so nicht mehr.

Der Herausgeber Harry Rubin, der, wie er mir mitteilte, aufgrund seiner experimentellen Ergebnisse zum Unterstützer und Verteidiger der Theorie der Biologie von W. Elsasser wurde, missversteht uns in zwei entscheidenden Punkten. 1. ist die These von der Modifikation der rein physikalischen Prozesse durch einschränkende Bedingung kein Vitalismus, sondern ein entscheidender Gesichtspunkt zur wirklichen Überwindung des Mechanismus-Vitalismus-Streites. Der Vitalismus verlangt eine Durchbrechung physikalisch-chemischer Prozesse. 2. ist die These, dass man mit Hilfe mechanischer Modelle zu keiner vollständigen Erklärung des Lebendigen gelangt, völlig richtig und eröffnet

eben kein Tor zum Irrationalismus, sondern fordert dazu auf, diese mechanistischen, anschaulichen Modellvorstellungen zu erweitern, wenn ihre Grenzen offensichtlich werden.

W. Elsasser spricht von Holismus – von einer holistischen Theorie der Biologie. Hier ist das holistische biologische System jedoch nicht etwas Mystisches, sondern Ausdruck einer außerordentlich hohen, physikalisch-chemischen, mit anschaulichen Modellen nicht vollständig erfassbaren, besonders hohen Komplexität lebender Organismen. Durch das Wachstum an Komplexität entstehen qualitativ neue Eigenschaften, dabei ist Wachstum der Komplexität nicht nur quantitativ zu sehen. Es geht um die Organisation des Lebenden oder auch der sozialen Organisation als Ganzem. In der Tat kann man m. E. dabei nicht alle Kausalketten zurückverfolgen. Diese Feststellung führt nicht zur Irrationalität. Denn es kann der Wissenschaft nicht um Verfolgung aller Kausalketten gehen, sondern um die Erfassung der wesentlichen Zusammenhänge.

2.2.2 Charakterisierung der Information und zum evolutionären Stufenkonzept der Information

Im "Wiener Kreis der Informatiker", an der Fakultät für Informatik an der Technischen Universität Wien, wurde und wird sehr intensiv über eine allgemeine Theorie der Information nachgedacht. Es wird versucht, die gemeinsamen Gesetzmäßigkeiten aller Informationen verarbeitender Systeme herauszuarbeiten, um so zur Grundlegung der Informatik als Wissenschaft beizutragen (Fenzl et al. 1998, Fuchs-Kittowski und Rosenthal 1998, Hofkirchner 1997).

Wesentliche Punkte meines hier diskutierten Verständnisses der Information sind in Stichworten:

- Information ist: eine Trias von: Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik).
- 2. Information ist: ein Signal + Bedeutung (Semantik).
- 3. Information ist: eine spezifische, organisierende Wirkung.
- 4. Information ist: ein Verhältnis zwischen Sender und Empfänger.
- 5. Information, ihre Bedeutung lässt sich nicht auf ihre Syntaxstruktur reduzieren.
- 6. Information besitzt einen Doppelcharakter.
- 7. Information, ihre Bedeutung wird intern erzeugt.

Ausgehend von Verständnis der Information als *Trias von Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik)* wurde von uns ein evolutionäres Stufenkonzept der Information entwickelt. Es werden auf fünf verschiedenen Ebenen der Organisation der Materie unterschiedliche Qualitätsstufen der Ausprägung dieses allgemeinen Zusammenhangs dargestellt. Die Ebene 1. der Makromoleküle, 2. der Nervennetze, 3. des Außenweltbewusstseins, 4. des gesellschaftlichen Bewusstseins, 5. des Selbstbewusstseins bzw. Bewusstseins der Werte. Bei der Behandlung des Schemas wurde auf den Inhalt der verschiedenen Qualitätsstufen der Entstehung, Verarbeitung und Nutzung der Information eingegangen (Fuchs-Kittowski 1992), so insbesondere auf den Inhalt der Stufe Makromoleküle (Fuchs-Kittowski 1998) und der Stufe Selbstbewusstsein (Fuchs-Kittowski 2016).

Prozessstufen der Entstehung, Erhaltung und Nutzung der Information

Information als Tr	ias von: FORM	INHALT	WIRKUNG	
Charakteristika Linguistik (Syntax) der Information Prozess- stufen Existenz- formen der Existenz- der Existenz		(Semantik) Interpretation Bedeutung zeitliche Form der Existenz	(Pragmatik) Bewertung Verhalten räumliche u. zeitliche Form der Existenz	
Ebenen der Orgai	nisation	(Gleichzeitigkeit/Ganzheit)		
MAKRO- MOLEKÜLE	Anordnung von Molekülen (z.B. DNA)	Interaktion in einem Molekularen Interpreta- tionssystem, als unmit- telbare Qualität der Wechselwirkungen	Funktionalisierung der Moleküle mit Selektion und Überleben des Angepassten	
NERVEN- SYSTEM	Anordnung von Nervenzellen und Impulsmustern im Gehirn	Mentale Strukturen und Gefühlsstrukturen als unteilbare Qualität – fixierte und flexible Programme	Funktionalisierung der phylogenetisch festgelegten Schlüsselreize zur Verhaltenskontrolle	
AUSSENWELT - BEWUSSTSEIN	Anordnung von Objekten in der Umwelt. Ordnung v. Erkennt- nisgegenständen (z.B. durch Empfindungen)	Wahrnehmung von Objekten als unteilbare Qualitäten, aus der Ganzheit sinnlich konkreter Dinge und Erscheinungen	Funktionalisierung der Umwelt, durch die identisch gesetzte Ursachen Ursachen von Empfindungen mit Erregungsmustern im Gehirn	
GESELLSCHAFT LICHES BEWUSSTSEIN	- Anordnung von Zeichen und Sym- bolen u. der Sprache auch digital gespeichert	Interpretation von Lautsignalen und ausgewählten Sprachsymbolen (soziale Inhalte der Sprache)	Funktionalisierung der Individuen mit ihrer ihrer Kommunikation zum Träger einer gesellschaftlichen Entwicklung.	
SELBST- BEWUSSTSEIN	Anordnung von mentalen Zeichen und Symbolen in Metastrukturen, Vergegenständli- chung in gesell- schaftlichen turen, Werkzeuge, Software	Interpretation der mentalen Zeichen und Symbole mittels Autokommunikation, als unmittelbare Qualität der Ganzheit subjektiver qualitativer Bestimmung mensch- licher Wesenskräfte	Funktionalisierung der Kommunikation zum Träger individuelle individueller Bedürfnisse, Erfahrungen, zur Bestimmung des eigenen Verhaltens und Bildung von Werte	

Abbildung: Evolutionäres Stufenkonzept der Information Die Prozesse der Ritualisierung und Funktionalisierung als Grundlage der Entstehung, Erhaltung und Nutzung der Information

Abbildung 8: Evolutionäres Stufenkonzept der Information (Fuchs-Kittowski, Rosenthal 1998)

Auf der Grundlage der hier diskutierten Theorie der Biologie und der Information können auch die theoretischen Grundlagen des evolutionären Stufenkonzepts der Information erläutert werden. Auf jeder Ebene wird, entsprechend der Bestimmung der Information als Trias von Form, Inhalt und Wirkung, mit der Charakterisierung der für diese Ebene spezifischen Syntaxstruktur begonnen, die Semantik dieser Ebene charakterisiert und dann ihre Wirkung als Funktionalisierung dargestellt. Dieser Prozess der Funktionalisierung soll als Teil des von Werner Ebeling und Rainer Feistel (2014) neu eingeführten Begriffs der Ritualisierung als Prozess der Entstehung, Erhaltung und Nutzung der Information gesehen werden.

Einen solchen Prozess zur Herausbildung einer syntaktischen Struktur, die zum Träger von Information werden kann, von Zeichenketten und deren Interpretationsmöglichkeit, bezeichnen W. Ebeling und R. Feistel als Ritualisierung. Damit wird ein von Huxley geprägter, von Lorenz u. a. Verhaltensforschern vertiefter Begriff verallgemeinert verwendet. Wie sich zeigen lässt, vollzieht sich auf jeder Ebene des evolutionären Stufenkonzepts der Information ein solcher Prozess der Ritualisierung, der die hier besonders herausgearbeitete Funktionalisierung mit einschließt.

Informationsentstehung ist nicht, wie dies oft vorschnell geschieht, schon mit der im Prozess der Selbstorganisation sich vollziehenden Bildung von Ordnung zu identifizieren. Diese Ordnung kann als "strukturelle Information" (bzw. auch potentielle Information) bezeichnet werden, die z. B. durch die Erniedrigung der Entropie gegenüber der des Gleichgewichts gemessen wird. Dies ist eine Art, sich dem Verständnis der Information zu nähern. Wie Horst Völz aufgezeigt hat, lassen sich fünf Varianten von Information unterscheiden. Er gewinnt damit eine klare Ordnung, die mit inhaltlichen Beispielen und technischen Anwendungen belegt wird (Völz 2014, 2017).

Wenn hier von Information gesprochen wird, hat dies die Herausbildung von Zeichenketten (wie z.B. beim DNA-Code) zur Voraussetzung. Dies kann als "symbolische Information" bezeichnet werden, die auf Zeichen beruht, deren Bedeutung im Verhältnis zwischen Sender und Empfänger existiert. Es ist ein wesentlich komplexeres Geschehen, als nur die Erhöhung des Ordnungsgrades. Für die Herausbildung des universellen Codes der Lebewesen war eine immens große Anzahl von Nukleinsäure- und Nukleinsäure-Eiweißwechselwirkungen erforderlich (Fuchs-Kittowski und Rosenthal 1972).

Aus einer physischen Wirkung ein Signal zu machen, ist der grundlegende Prozess für die Informationsentstehung. Die Extraktion symbolischer Information aus struktureller Information erfolgt auf der Ebene der Entstehung genetischer Information durch Mutation und Selektion. Auf der sozialen Ebene z.B. durch die Gewinnung von Messwerten (Zahlen) aus Messungen oder der Formulierung physikalischer Gesetze aus den Ergebnissen von Experimenten.

Mit Ritualisation (oder auch Symbolisierung) wird ein Prozess bezeichnet, bei dem Zeichen zusammen mit dem Apparat zur Deutung dieser Zeichen entstehen. Im Prozess der Ritualisation trennt sich die strukturelle Information der Zeichen (als physikalische Objekte) von ihrer Bedeutung, von ihrer symbolischen Information. Wie sich zeigen lässt, vollzieht sich auf jeder Ebene des von uns konzipierten evolutionären Stufenkonzepts der Information ein solcher Prozess der Ritualisierung, mit der damit verbundenen Funktionalisierung. Wie in Abbildung 9 verdeutlicht, erfolgt die Funktionalisierung indem: 1. Signale biochemische Reaktionen steuern 2. Nervale Erregungsmuster Verhaltensweisen höherer Organismen bestimmen, 3. Sprachelemente komplexerer Umweltanpassungen realisieren 4. Sprachelemente und Umweltstrukturen sich an der Umwelt bestimmendes Verhalten realisieren 5. Die gesellschaftliche Sprache gesellschaftlich geprägtes Verhalten ermöglicht und 6. Mit der Subjektivierung der Kommunikation, die Stufen des Selbstbewusstseins, der individuellen Selbstverwirklichung erreicht wird.

Jede der fünf Entwicklungsstufen ist durch spezifische Struktur-Funktions-Wechselwirkungen charakterisiert und es liegen spezifische Potentiale zur Selbstorganisation vor. Dabei ist wichtig, dass die Ebenen als 'Enkapsis' verstanden werden. Jede höhere Ebene wird von den tieferen eingeschlossen, deren Grundgesetze im neuen Rahmen weiter wirksam sind. Die höchste Entwicklungsstufe repräsentiert die Geschichte des Menschen, die gesellschaftliche Selbstorganisation. Mit dieser Darstellung wird zugleich verdeutlicht, dass wir die "typische Ausprägung des 'Selbstbewusstseins' ab der soziokulturellen Ebene antreffen." (Tembrock 1993)

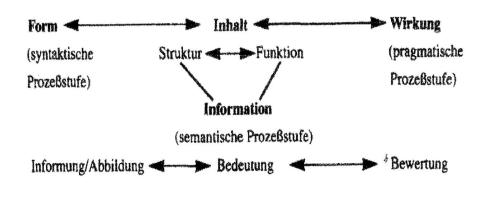


Abbildung 9: Ritualisierung und Funktionalisierung — Struktur-Funktionszusammenhang — vermittelt über Bedeutungen, die erst in der Wechselwirkung im Prozess von Informung (Abbildung), Bedeutung und Bewertung entstehen — Verallgemeinerung des Hyperkreis.

Information ermöglicht erst organisierte Strukturen, die komplizierte Funktionen realisieren können. Wobei die Information erst durch die Funktion, über die damit erfolgende Bewertung ihre Bedeutung erhält und damit entsteht. Es ist also ein in sich widersprüchlicher Kreisprozess und wechselseitiger

Bedingungsprozess: von Abbildung (Struktur), Interpretation (Bedeutung) und Bewertung (Funktion, Verhalten), der zur Entstehung von Information führt.

Unsere Beschreibung (Modell) des Prozesses der Informationsentstehung macht deutlich, dass mit der Ritualisierung, der Herausbildung der syntaktischen Struktur der Information und mit der Symbolbildung verbundenen Freisetzung der gebundenen Information in funktionale Information, jetzt auch noch die Nutzung der funktionalen Information berücksichtigt werden muss, denn erst mit der Realisierung der Funktion – mit der Funktionalisierung – erfolgt ihre Bewertung. Es wird die am besten realisierte Funktion selektiert und damit die Bedeutung der Information erst endgültig bestimmt. Diesen Prozess haben wir als Funktionalisierung bezeichnet. Funktionalisierung bedeutet also zunächst die Übersetzung symbolischer Information in Funktion. Dies wird jedoch erst mit dem Prozess der Selektion zwischen alternativen Funktionen, also der Wertbildung, abgeschlossen. Denn durch eine Struktur können verschiedene Funktionen oder eine Funktion in verschiedener Qualität realisiert werden. Funktionalisierung bedeutet demnach die Realisierung einer Funktion aus einem gegebenen Bauplan, oder aufgrund neu entstandener Informationen, neu geschaffene Funktion, verbunden mit der Bewertung ihres Erfolges, der Güte der Zweckerfüllung.

Die Wirkung der Information (ihre Pragmatik), die damit verbundene Bewertung der Funktion, besteht auf jeder Ebene der Organisation lebender Systeme in der Funktionalisierung, in Teilwirkungen und Wirkungen des Ganzen der Struktur, die funktioniert. Daraus ziehen wir mit W. Ebeling und R. Feistel den entscheidenden Schluss, dass, da der Begriff der "Pragmatik", der Begriff "Zweck" nur im Bereich des Lebendigen einen Sinn hat, nur symbolische Information in ihrer Verwandlung in Struktur und Funktion einen Sinn besitzt, ist die symbolische Information auf den Bereich der lebenden Welt beschränkt und existiert nicht außerhalb von ihm. W. Ebeling schreibt: "Wir kennen keine Informationsverarbeitenden Systeme, die außerhalb und unabhängig vom Lebenden entstanden sind. So wird auch das Problem, wo im Prozess der Evolution der Biomoleküle der Anfang des Belebten liegt, heute mit der Information und Kommunikation in Verbindung gebracht. Die Eigenschaft Informationen zu gewinnen, zu speichern und zu verarbeiten, ist offensichtlich eine wesentliche Eigenschaft lebender Systeme". (Ebeling 2016)

Die Unterscheidung zwischen mechanischer Stabilität des Speichermaterials (Prinzip der korpuskularen Geringstveränderlichkeit) und der dynamischen Stabilität, einer Höchstveränderlichkeit, die in sich stabil ist, im Lebenden, führte uns zu folgender These: "Die aus der Zelle isolierte DNS bleibt stabil nach dem mechanischen Prinzip der korpuskularen Geringstveränderlichkeit, die DNS in der lebenden Zelle jedoch nicht nur nach diesem Prinzip, sondern in der Hauptsache auf Grund der Regulation der Autoreduplikation, des Stückaustausches und der Reparaturen schadhafter Stellen. Dies geschieht jeweils mittels bestimmter Enzyme, die ihrerseits (in einem Regulationskreis) von der DNS codiert werden. Es ist also eine dynamische Stabilität auf der Basis einer doppelt gesicherten stereochemischen Reaktion. Es handelt sich demnach um eine Höchstveränderlichkeit, die in sich stabil ist." (Fuchs-Kittowski 1976, S. 53 f.)



Abbildung 10: Für die Enträtselung der DNA Reparaturmechanismen erhalten drei Forscher den Chemie-Nobelpreis

Es klingt heute selbstverständlich. Die Reparaturmechanismen waren damals aber gerade erst entdeckt worden. Im vergangenen Jahr erhielten drei Biochemiker, Tomas Lindahl, Azlz Sancar und Paul Modrich, den Chemie-Nobelpreis für die Entdeckung der Reparaturmechanismen. In ihren verschiedenen Interviews sprechen die Nobelpreisträger davon, dass ihre Forschungsarbeiten zunächst wenig Unterstützung fanden, da man allgemein von der stofflichen Stabilität der DNA ausging. Es ist also durchaus möglich, dass eine Theorie der Biologie, die dies von vornherein in Frage stellte, die dynamische Stabilität betont, diese experimentelle Forschung hätte befördern können.

3. Unterscheidung zwischen Speicher und Gedächtnis in der Informatik und in den Kognitionswissenschaften

Auf die Bedeutung der Unterscheidung zwischen Speicher und Gedächtnis zur Bewältigung theoretischer und praktischer Probleme der Informatik wurde von uns schon relativ früh in ihrer Entwicklung hingewiesen (Fuchs-Kittowski, Wenzlaff 1987). Wenn wir unter Information die Trias von: Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik) verstehen, dann wird zugleich auch der Doppelcharakter der Information deutlich: Information ist als Codierung (Syntax) materiell und als Inhalt (Semantik) ideell. Dies macht eine Unterscheidung zwischen Speicher für die Syntax und Gedächtnis für die Semantik und die Beachtung deren ständigem Zusammenspiel, wie dies von W. Elsasser mit seinem Prinzip des holistischen Gedächtnisses und dem Prinzip des operativen Symbolismus zum Ausdruck gebracht wird, erforderlich. Es wird deutlich, dass die Mensch-Computer-Kommunikation eine Kopplung von maschineller (syntaktischer) und menschlicher (semantischer) Informationsverarbeitung darstellt (Fuchs-Kittowski, Lemgo, Schuster, Wenzlaff 1975), (Fuchs-Kittowski, Kaiser, Tschirschwitz, Wenzlaff 1976).

Bei der syntaktischen Informationsverarbeitung ist die Semantik der Information auf ihre syntaktische Struktur reduziert, es gibt keine oder sehr reduzierte Intensionalität (extensionale Semantik). Um von einer Semantik zu einer anderen Semantik zu gelangen, bedarf es der entsprechenden Syntaxtransformationen. Erst auf den höheren Stufen der organistischen Informationsverarbeitung erlangen Semantikbeziehungen eine konstituierende Funktion, indem sie Syntaxtransformationen

steuern. Dann haben wir es mit "intensionaler Semantik" zu tun. Intensional heißt hier, dass die Semantik direkt – nicht nur vermittelt über Syntaxtransformationen – auf Semantik wirkt.

An dieser Stelle sollten wir uns fragen, was W. Elsasser bewog, so frühzeitig das Verhältnis von Computer und Leben zu diskutieren. Einen wichtigen Anstoß dazu erhielt er sicher dadurch, dass John von Neumann ihm einen seiner ersten Automaten schenkte. In der Lebensbeschreibung von W. Elsasser heißt es: "Early in 1951, a huge wooden crate labeled 'computing machine' arrived in Salt Lake City." (Elsasser 1978, S. 247). Viele Arbeiten von John von Neumann trugen unmittelbar zur Entwicklung der theoretischen Informatik, der künstlichen Intelligenz und der Kybernetik bei. Der Beitrag J. von Neumanns zur Diskussion über das Verhältnis von Computer und Gehirn, speziell in seinem unvollendet gebliebenen Buch: "The Computer and the Brain" (von Neumann 1958), war hierzu besonders wichtig. Dieses Buch sollte insbesondere unter dem Aspekt gelesen werden, dass John von Neumann, selbst Mitglied des Arbeitskreises um Norbert Wiener, hier schon versucht, unrealistische Erwartungen der Kybernetik zu überwinden und auf die realen Probleme verweist, die von computer science and brain research zu bewältigen sind.

Heute können wir sagen, dass die von John von Neumann gegebenen Antworten auf die von ihm kritisch aufgeworfenen Fragen sehr ähnlich den Feststellungen sind, die von Rodney Brooks und von Rolf Pfeifer sowie anderen Repräsentanten der neusten Entwicklung auf dem Gebiet der Robotik, der sogenannten "embodied artificial intelligence" getroffen werden. Wie noch zu zeigen ist, steht diese Position in scharfen Gegensatz zu der traditionellen Künstlichen-Intelligenz-Forschung, die davon ausging, dass Geist und Materie von einander zu trennen seien.

Von Neumann beschreibt deutlich vier Unterschiede zwischen Gehirn und Computer. Darauf kann hier nicht weiter eingegangen werden. Es wird jedoch deutlich, dass die Beschäftigung von W. Elsasser mit dem Verhältnis von Computer und Leben von J. von Neumann nicht nur durch den von ihm geschenkten Computer, sondern bei den häufigen Treffen der beiden auch sicher stark inhaltlich stimuliert wurde.

Im Rahmen der Informatik, speziell in der Bio-Informatik, in der neuen KI-Forschung, aber auch in der Wirtschaftsinformatik wird man sich der Bedeutung der Unterscheidung zwischen Speicher und Gedächtnis immer stärker bewusst.

In seinem Buch zu "Integrierte IT-Unterstützung der Wissensarbeit" (Fuchs-Kittowski 2006, S. 154) machte Frank Fuchs-Kittowski darauf aufmerksam, dass es gilt, zwei verschiedenen Herangehensweisen des Wissensmanagements: Informationsorientiert und Kommunikationsorientiert sowie vier verschiedene miteinander verbundene Strategien des durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) unterstützten Wissensmanagements zu unterscheiden: Formalisierung, Kodifizierung, Personifizierung und Sozialisierung. Insbesondere für die zuletzt genannten Strategien, für die kooperative Wissenserzeugung, stehen erst mit dem Web 2.0, der sog. Social Software, entsprechende Methoden für eine IKT- Unterstützung zur Verfügung (Stary 2012). Mit der Personifizierungs- und noch mehr mit der Sozialisierungsstrategie wird man sich bewusst, dass Wissen ein soziales Produkt ist, dass es als ein soziales Produkt in der sozialen Organisation erzeugt wird und in den Köpfen der Menschen existiert (Fuchs-Kittowski, Fuchs-Kittowski 2007). Betrachtet man diesen Prozess der kooperativen Wissenserzeugung (siehe Abbildung) und seine Unterstützung durch IKT-Technologien genauer, so wird deutlich, dass hier eine Kombination von maschineller (syntaktischer) und menschlicher (semantischer) Informationsverarbeitung vorliegt, dass es gilt, die maschinellen Leistungen der syntaktischen Informationsverarbeitung sinnvoll mit den zur Fähigkeiten des Menschen zur Erzeugung neuer Information und neuem Wissen zu verbinden (Fuchs-Kittowski 2014) . Dies verlangt, wie in der Abbildung dargestellt, die Unterscheidung zwischen Speicher und Gedächtnis (Fuchs-Kittowski 2006, S. 88).

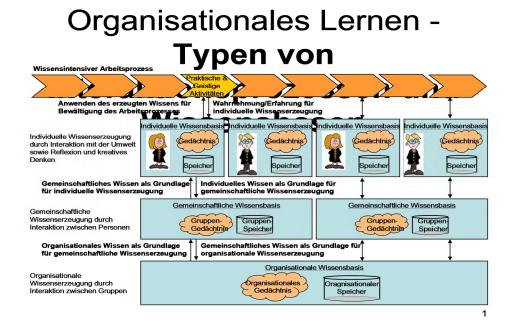


Abbildung 11: Unterscheidung von Speicher und Gedächtnis beim IT-Unterstützten Wissensmanagement (Fuchs-Kittowski 2006, S. 88)

Dabei soll unter Speicherung die Erhaltung und das mögliche Wiederauffinden (Recherche) der Information auf der Grundlage eines materiellen, stabilen Speicherplatzes und unter Gedächtnis eine Erhaltung der Semantik der Information über längere Zeit, durch ein In-Beziehungsetzen von wiederholt reproduzierten Informationen, verstanden werden. Wie schon bei der Erbinformation, wird die Erhaltung des Wissens im Gehirn des Menschen durch eine hohe Dynamik, die in sich stabil ist, gewährleistet. Das hochkomplexe Gehirn des Menschen unterliegt einer besonders hohen Dynamik des Stoffwechsels.

In der KI-Forschung fanden, auf der Grundlage neuer technisch-technologischer Möglichkeiten und der KI-Kritik sowie philosophisch-erkenntnistheoretischer Diskussionen zum Verhältnis von Mensch und Automat, mehrere Paradigmenwechsel statt:

- von der klassischen, kybernetisch orientierten KI- Forschung
- zu der kognitivistischen/funktionalistischen KI-Forschung
- zur emergent/konnektionistischen KI-Forschung und zu einer
- handlungsgebundenen/ auf Wechselwirkung orientierten oder auch "Neuen" KI-Forschung.

Methodisch vollzieht sich eine Neuorientierung der Forschung zur Künstlichen Intelligenz: von der Kognition zur Tätigkeit – vom Denken im Kopf des Menschen zur Tätigkeit in der realen Welt. Hier gewinnt die Tätigkeitstheorie besondere Bedeutung. Wie die von dem KI-Forscher Philip E. Agre besonders herausgearbeitet wurde (Agre, 1986).

Im Zentrum der "Neuen KI" steht heute der autonome Roboter, der in der Lage ist, sich selbständig mit seiner Umwelt auseinanderzusetzen, sich an Veränderungen in seiner Umwelt anzupassen und dazu auch in sie verändernd einzugreifen.

In seiner Kritik an der kognitivistischen sogenannten harten KI-Forschung hat John Searle festgestellt und mit seinem berühmt gewordenen "Chinesischen Zimmer" veranschaulicht, dass man allein durch die Kombination von Syntax keine Semantik gewinnen kann. Im Rahmen der Neuen KI, der Robotik, konnte jedoch gezeigt werden, wie durch Interaktion mit der Umwelt zuvor keine Semantik tragende Strukturen semantisiert werden können. So zeigten Peter Fleissner und Gregor Fleissner mit ihrem Gedankenmodell "Der Blinde Springer" (Fleissner, Fleissner 1998) das Zusammenspiel von

Vorgängen zwischen physischer und symbolischer Welt (Pragmatik) sowie die Entstehung von Bedeutungen durch diese Interaktion.

Christian Stary und Markus Peschl konnten anhand des Verständnisses der Information als Trias von Form(Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik) die Möglichkeit aufzeigen, wie der kognitivistische Ansatz mit dem konnektivistischen Ansatz der KI-Forschung zu verbinden ist, so dass KI-Systeme entstehen können, welche die Vorteile beider Ansätze verbinden, speziell die Möglichkeit der Gewinnung von Bedeutungen durch aktives Verhalten in der Umwelt zu nutzen ist (Stary, Peschl 2006. S. 183 – 214).

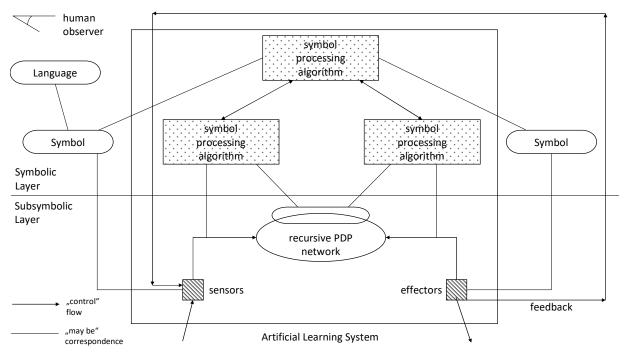


Abbildung 12: Verbindung des kognitivistischen mit dem konnektivistischen Ansatz (Stary, Peschl 1995, S. 201) Die Vor- und Nachteile beider Konzepte sollen genutzt werden. Die symbolische, algorithmische Informationsverarbeitung ermöglich höhere Geschwindigkeit, aber es kan kene neue Sematik dazukommen. Die Lernprozesse auf der Grundlage der subsymbolischen Informationsverarbeitung dauern länger. In Interaktion mit der Umwelt kann jedoch neue Semantik gewonnen werden.

Im Rahmen der konnektionistischen KI-Forschung wurde deutlich, dass die Bedeutung der Information nicht in bestimmten Symbolen lokalisiert sein muss, sondern sich auch aus der Funktion des Gesamtzustandes des Systems bzw. aus dem Funktionieren des Gesamtsystems ergeben kann. Die Bedeutung befindet sich auch nicht in einzelnen Bestandteilen, sondern ergibt sich aus der Interaktion der Bestandteile.

Ausgehend vom Verständnis der Information als Trias von Form, Inhalt und Wirkung, konnte mit dem evolutionären Stufenkonzept der Information gezeigt werden, dass es hier nicht nur um Dimensionen der Information sondern um Prozessstufen der Entstehung, Erhaltung und Nutzung der Information geht. Auch hierzu leisten die Vertreter Neuen KI, gestützt auf neuere Erkenntnisse der Neurowissen schafften einen weiterführenden Beitrag. Neurowissenschaftler konnten nachweisen, dass das, was W. Elsasser für die Ontogenese postuliert hatte, dass Information nicht oder nur zu einem geringen Teil aus der Außenwelt aufgenommen wird, sondern, wie wir zeigen konnten, auf der Grundlage von Prozessen der Selbstorganisation intern erzeugt wird (Fuchs-Kittowski 1976, S. 61), auch für die Sehwahrnehmung gilt. Entgegen der wohl landläufigen Auffassung, dass beim Sehen die Information von Außen aufgenommen wird, kann nachgewiesen werden, dass der größere Anteil von

dem "was irgend eine Zellen des lateralen Kniehöckers an Informationen empfängt, nicht von der Retina kommt, sondern aus dem dichten neuronalen anderer Bereiche des Gehirns." (Varela 1990)

Dies führt Francisco J. Varela zu einem, wie er sagt, neuen Verständnis der Information. Er schreibt in seinem Buch: "Kognitionswissenschaft und Kognitionstechnik" (wie auch im Umschlagtext): "Es kam mir in dieser Arbeit besonders darauf an zu zeigen, dass dann, wenn der Kern aller Kognition in ihrer Fähigkeit besteht, Bedeutungen und Sinn zu erzeugen, Information nicht als irgendeine vorgegebenen Ordnung aufgefasst werden kann, sondern den Regularitäten entspricht, die sich aus den kognitiven Aktivitäten selbst ergeben." Er fährt dann fort: "Diese meine neue Konzeption hat vielfältige wissenschaftliche, technische, philosophische und ethische Konsequenzen." (Varela 1990) Dieses Informationsverständnis entspricht den Überlegungen von W. Elsasser, vertieft durch die Erkenntnis, dass neue Information im Prozess der Selbstorganisation entsteht. Wie dies auch hier vertreten wird (Fuchs-Kittowski 1998).

Damit dringen die Kognitionswissenschaften als Gesamtheit naturwissenschaftlicher Analyse von Erkennen und Wissen vor, bis zur Erkenntnis der Spezifik der Lebensprozesse, den Prozessen der Informationserzeugung in der Selbstorganisation des lebenden, im Unterschied zu den Prozessen der Informationsverarbeitung des technischen Automaten. Wie dies auch nochmals von Walter E. Elsasser in seinem mit dem höchsten Forschungspreis der USA ausgezeichneten Werk zur "Theorie des Organismus" (Elsasser 1987) unter anderem mit dem Prinzip der kreativen Selektion (*The principle of creative selection*) herausgearbeitet wurde.

Die entscheidende Grundlage der neuen KI-Forschung ist das Embodiment-Konzept. Es wird erkannt (entsprechend der frühen Kritik von Hubert L. Dreyfus und Stuart E. Dreyfus (Dreyfus, Dreyfus 1986), dass die klassische KI den Körper nicht berücksichtigt, man sich jedoch mit den künstlichen neuronalen Netzen der Gehirnstruktur annähert), dass Bewusstsein einen Körper braucht und damit eine physikalische Interaktion voraussetzt. Dieser neue Ansatz in der KI-Forschung ist dem klassischen Verständnis des Bewusstseins, speziell im Sinne des Kognitivismus und computationaler Theorien, entgegengesetzt. Der Begründer des Embodiments, der Direktor des Artificial Intelligence Lab im Massachusetts Institute of Technology (MIT), Rodney Brooks, hat diesen Paradigmenwechsel in der KI-Forschung und in den Kognitionswissenschaften mit der Entwicklung sehr leistungsfähiger Roboter vorangetrieben (Brooks 2007).

Im Rahmen des neuen Paradigmas der körperbasierten künstlichen Intelligenz, auf dessen Grundlage man Roboter schaffen will, die in der Lage sind, sich selbständig mit ihrer Umwelt auseinanderzusetzen, muss man sich der Frage stellen, wie emergente Eigenschaften entstehen [Emergent Al] und vor allem auch, ob und wie Semantik entstehen kann.

Ein früher Vertreter des Embodiments, des Paradigmas, d.h. der Einsicht, dass die Entwicklung eines künstlich intelligenten Systems eine Verkörperung verlangt, war auch der Direktor des Schweizer Roboter-Labors, Rolf Pfeifer (Pfeifer, Bongard 2006). Besonders charakteristische für die Neue Künstliche Intelligenz ist das Neuronale Netz- Modell zur Steuerung der sechs Beine eines laufenden Roboters des Biologen Holk Cruse (Cruse, Dean, Ritter 1998), (Cruse 2004, S. 191 – 209). Es geht um die Aufklärung der neuronalen Grundlagen der ebenfalls sechsbeinigen Stabheuschrecke (carausius morosus), also um empirische neurobiologische Forschung.

Die Konstruktion von Robotern erweist sich hier als günstiger als die Simulation im Computer. Die tatsächlichen physiologischen Gegebenheiten sind offensichtlich viel zu kompliziert, um sie adäquat mit einer Computersimulation zu erfassen. Immer mehr Forscher nutzen daher die Möglichkeit, funktionale Teilaspekte von Tieren in Form von Robotern nachzubilden. Die Bewegungskoordination bei der Stabheuschrecke ist dafür ein Vorbild. Denn die klassische Lösung des Problems hätte ein symbolisches Modell vorausgesetzt, durch das die Beinbewegungen repräsentiert werden. Die jetzt eingebauten sensorischen Rückmeldungen über den Zustand der Umwelt und des eigenen Körpers ersparen viel Aufwand für die modellhafte Repräsentation (Pfeifer 1997, S. 161 – 186), (Moller, Lambrinos, Pfeifer, Wehner 1998) Das Embodiment-Konzept der "Neue KI" führt mit der Erkenntnis, dass ein intelligentes System ein physisches System mit Sensorik und Aktorik sein muss, auch zu einer tieferen Erforschung der biologischen Grundlagen intelligenten Verhaltens von Tieren und Menschen. Bei der

Erforschung der biologischen Grundlagen intelligenten Verhaltens von Tieren und Menschen, verbunden mit dem Versuch intelligente Computer zu bauen, geht es über die Analyse der Körperbewegungen (z.B. kleiner Lebewesen, wie der Ameisen (Holk, Dean, Ritter 2001)) hinaus, um die Erkenntnis, dass der Körper an allen psychischen und geistigen Prozessen, an Gefühlen, Erinnerungen, Gedanken, kausal beteiligt ist. Das Embodiment-Konzept beeinflusst die Diskussion des Körper-Geist-Problems und führt hier zu der die Spezifik der Lebensprozesse reflektierenden Erkenntnis, dass klar, entsprechend dem von W. Elsasser formulierten Prinzips des holistischen Gedächtnisses (The principle of holistic memory, Elsasser 1987) zwischen Speicher und Gedächtnis, zwischen Speicherung von Information im Computer und Erhaltung der Information über längere Zeit im Gedächtnis des Menschen zu unterscheiden ist. Dies wird von Rolf Pfeifer unter anderem in einer grundlegenden Arbeit zum Embodiment als einem innovativen Konzept in der Grundlagenforschung als auch in verschiedenen Anwendungsfeldern herausgearbeitet (Leuzinger-Bohleber, Pfeifer 2013, S. 50).

Die von Walter Elsasser formulierten Prinzipien zeigen die Spezifik der Lebensprozesse auf. Wie wir wiederholt betont haben, trennen sie in W. Elsassers Begründung jedoch zu scharf zwischen Physik, Chemie und Biologie. Es gilt stärker die Übergänge zu beachten. Auch dies wird durch die vom Embodiment-Konzept inspirierten Kognitionswissenschaften deutlich.

Da die Herausgeber der letzten Arbeit von W. Elsasser, diese scharfe Grenzziehung wiederum in den Vordergrund stellen und die von uns gemeinsam, zustimmend diskutierte Konzeption der Modifikation der rein physikalisch-chemischen Prozesse, durch begrenzenden Bedingungen, nicht akzeptieren, ist daher unsere Position zum Verhältnis von Physik, Chemie und Biologie, die keine scharfe Trennung postuliert, hier nochmals deutlich zu formulieren:

Was biologisch möglich ist, muss auch physikalisch-chemisch möglich sein. Aber das Umgekehrte gilt nicht! Nicht alles was physikalisch möglich ist, z.B. ein faules Hühnerei (Fuchs 1972), ist biologisch möglich!

Die durch physikalisch-chemischen Gesetze gegebenen Entwicklungsmöglichkeiten werden durch die spezifische Struktur, informationelle Koppelungen und die Wirkung des Ganzen auf die Entwicklung der Teile eingeschränkt und damit auf der höheren Ebene der Organisation der Materie, neue Entwicklungsmöglichkeiten eröffnet (Fuchs-Kittowski 1976, S. 69-70).

Lebensprozesse zeichnen sich durch eine höhere innere Determination aus. Hinzu kommen, zumindest die von uns genannten, das Feld der Möglichkeiten der physikalisch-chemischen Prozesse einschränkenden und sie damit modifizierenden Bedingungen. Bei einer Reduktion der hohen Komplexität und Dynamik der Lebensprozesse ist es aber möglich, Modelle ihrer Struktur und Funktion, ihres Verhaltens zu schaffen. Die Modellierung der Lebensprozesse kann ein außerordentlich fruchtbarer Weg ihrer wissenschaftlichen Erkenntnis sein. Das Lebendige wird jedoch durch physikalische Gesetze allein nicht vollständig erklärt, der Mensch durch den auf Grundlage rein physikalischer Gesetze funktionierender Computer nicht vollständig ersetzt. Die autonomen Systeme, wie Industrieroboter, die in der Lage sind, sich selbständig mit ihrer Umwelt auseinanderzusetzen, erreichen die Autonomie eines Menschen nicht, der mit hoher innerer Determination, durch seinen festen Willen, sich, auch unter widrigsten Bedingungen eines Konzentrationslagers, sein Menschsein nicht brechen lässt.

4. Schlussfolgerung – Kreativität – Informationsentstehung als Leitprinzip

Für die Modell- und Theorienbildung in Grenzbereichen zwischen Physik, Chemie und Biologie war, wie M. Eigen mit seiner darwinistischen Theorie der Entstehung des Lebens zeigen konnte (Eigen 1972), das Prinzip der Entstehung der Information essentiell. Das gilt insbesondere auch für die Modell-Theorienbildung im Spannungsfeld zwischen Computer und menschlichem Gehirn sowie automatisierter Informationssysteme und sozialer Organisation im Ganzen (Fuchs-Kittowski 2016).

Es ist eine unserer Grundthesen zum Informationsverständnis, dass auf keiner Ebene der biologischen oder der sozialen Organisation die Information auf ihre syntaktische Struktur zu reduzieren ist, die Erbinformation nicht auf die DNS-Struktur, die geistigen Prozesse nicht auf die neuronalen Netze und auch nicht die sozialen Informationen auf ihre Darstellungsform, die Daten.

Damit tritt das Konzept der Kreativität – der Informationsentstehung – immer deutlicher als ein allgemeiner methodologischer Leitgedanke hervor. Die wissenschaftstheoretischen und methodologischen Implikationen des Konzepts der Kreativität – der Informationsentstehung – hat für fast alle Bereiche wissenschaftlichen Interesses besondere Bedeutung.

Insbesondere gibt es methodologische Hinweise zur sichereren Navigation zwischen der Scylla eines groben Reduktionismus (inspiriert durch die Physik des 19. Jahrhunderts) und im 20. Jahrhundert durch die "Geist-Gehirn-Identität" (Neurophilosophy) mancher Vertreter der konnektionistischen KI-Forschung und der Charybdis des Dualismus (inspiriert durch den Vitalismus der Romantik des 19. Jahrhunderts und im 20. Jahrhundert durch die funktionalistische Körper-Geist/Hardware-Software-Dualität der kognitivistischen KI-Forschung).

Annotation: Ich danke Werner Ebeling und Rainer Feistel für intensive Diskussionen zum Verständnis der Ritualisierung

Literatur

Philip, E. Agre: Computation and Human Experience, Cambridge, 1997

Henri Bergson : Matière et mémoire. Essai sur la relation du corps à l'esprit. Alcan, Paris, 1896

Henri Bergson: L'Evolution créatrice. Alcan, Paris, 1907

Rodney Brooks: Menschmaschinen – Wie uns die Zukunftstechnologien neu schaffen, Frankfurt, New York, 2002

Rudolf Carnap: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften. Nymphenburger Verlagsbuchhandlung, 1982

Holk Cruse, Jefrey Dean, Helge Ritter: Die Erfindung der Intelligenz oder können Ameisen denken? München: C. H. Beck 1998

Holk Cruse: Objective facts, subjective experiences, and neuronal constructs. – In: Knowledge and the world: challenges beyond the science war. Ed. by M. Carrier, J. Roggenhofer, G. Küppers and Ph. Blanchard. Berlin: Springer 2004

Hubert L. Dreyfus, Stuart E. Dreyfus: Mind over Machine, The Power of Intuition and Expertise in the Era of the Computer, New York, 1986

Hubert L. Dreyfus, Stuart E. Dreyfus: Künstliche Intelligenz – Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition, Hamburg, 1988

Hans Driesch: Philosophie des organischen, Wilhelm Engelmann, 1921

Werner Ebeling: Chaos, Ordnung und Information, Verlag Harri Deutsch Thun , Frankfurt a.M., 2. Auflage, 1991

Werner Ebeling: Physik, Biologie, Technik und Selbstorganisation der Information. In: Frank Fuchs-Kittowski, Werner Kriesel (Hrsg.): Informatik und Gesellschaft – Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, Peter Lang Internationaler Verlag der Wissenschaften, Frankfurt a. M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien:, 2016, S. 63-74

Werner Ebeling and Rainer Feistel: Selforganisation of Symbols and Information, in: G. Nicolis, V. Basios, Chaos, Information Processing and Paradoxial Games: To the memory of John S. Nicolis World Scientific, 2014, S.141-184

Manfred Eigen: Molekulare Selbstorganisation und Evolution, in: Joachim-Hermann Scharf (Hrsg): Informatik, Nova Acta Leopoldine, Johann Ambrosius Barth; Leipzig 1972, S. 171-223

Walter M. Elsasser: The Physical Foundation of Biology – An Analytical Study, Pergamon Press, 1958

Walter M. Elsasser: Memories of a Physicist in the Atomic Age, New York, Bristol, 1978

- Walter M. Elsasser: Biological Theory on a Holistic Basis (Second Version). Privately printed. Dept. Of Earth and Planetary Sciences, Johns Hopkins University, Baltimore U.S.A., 1982
- Walter M. Elsasser: The Natural Philosophy of Holism, Privately printed. Dept. Of Earth and Planetary Sciences, Johns Hopkins University, Baltimore U.S.A., 1986
- Walter M. Elsasser: Creativity as a Property of Molekular Systems. In: Klaus Fuchs-Kittowski, Dietrich Gertenbach: System Design for Human Development and Productivity: Participation and beyond. In: Proceedings of the IFIP TC9/WG9. 1. Konferenz, 12.-15. Mai 1986, Berlin: Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentrum für gesellschaftswissenschaftliche Information 1987 a
- Walter M. Elsasser: Reflections on a Theory of Organisms Holism in Biology, The Johns Hopkins University Baltimore and London, 1987 b
- Norbert Fenzl, Wolfgang Hofkirchner, Gottfried Stockinger: Information und Selbstorganisation Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information, Studien Verleg, Innsbruck/Wien, 1098
- Peter Fleissner, Gregor Fleissner: Jenseits des chinesischen Zimmers: Der blinde Springer Selbstorganisierte Semantik und Pragmatik am Computer. In: Information und Selbstorganisation- Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information. Hrsg. v. N. Fenzel, Wolfgang Hofkirchner u. G. Stockinger. Wien: Studien Verlag 1998. S. 325 338.
- W. A. Fock: Über die Interpretation der Quantenphysik, in: Philosophische Probleme der modernen Naturwissenschaften. Berlin 1962
- Klaus Fuchs: Über die Kategorie der Möglichkeit und die Entwicklungsstufen der Materie, in Deutsche Zeitschrift für Philosophier, Heft 4, 1972
- Frank Fuchs-Kittowski: Integrierte IT-Unterstützung der Wissensarbeit eine tätigkeits- und kooperationsorientierte Perspektive, Eul Verlag, Lomar, 2006
- Frank Fuchs-Kittowski, Klaus Fuchs-Kittowski, Knowledge Management Between Provision And Generation of Knowledge. In: Christian Stary, Franz Barachini, Suliman Hawamdeh (Editors): Knowledge Management, Innovation, Technology and Cultures, London, Singapore World Scientific 2007
- Frank Fuchs-Kittowski, Klaus Fuchs-Kittowski, Web 2.0 zur Unterstützung der Wissensarbeit im
- Innovationsprozess Soziale Kognition im Prozess der Kooperation zur Erhöhung der Chancen für Innovation. In: Wissenschaft Innovation Technik. Hrsg. v. Gerhard Banse. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2014.
- Klaus Fuchs-Kittowski: Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie Tatsachen und Hypothesen über das Verhältnis des technischen Automaten zum lebenden Organismus, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1969, zweite erw. Auflage 1976, http://www.maxstirner-archiv-leipzig.de/dokumente/Fuchs-Kittowski-Determinismus.pdf
- Klaus Fuchs-Kittowski: Reflections on the essence of information. In: Software Development and Reality Construction. Hrsg. v. Christiane Floyd, Heinz Züllighoven, Reinhard Budde und Reinhard Keil-Slawik. Berlin-New York: Springer Verlag, 1992
- Klaus Fuchs-Kittowski: Information Neither Matter nor Mind on the Essence and on the Evolutionary Conception of Information. In: World Future (Amsterdam) 50 (1997), S. 55-570
- Klaus Fuchs-Kittowski: Information und Biologie: Informationsentstehung eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie. In: Biochemie ein Katalysator der Biowissenschaften. Kolloquium der Leibniz-Sozietät am 20. November 1997 anlässlich des 85. Geburtstages von Samuel Mitja Rapoport. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät. Bd. 22, Jg. 1998, H. 2, S. 5-17
- Klaus Fuchs-Kittowski: Zu Grundgedanken von Gottfried Wilhelm Leibniz aus der Sicht der Informationsverarbeitung und Informationsentstehung. In: Li Wenchao u.a. (Hg.): "Für unser Glück oder

- das Glück der anderen", Vorträge des X. Internationalen Leibniz-Kongresses, Band V, Olms, 2016, S. 217-234
- Klaus Fuchs-Kittowski, Horst Kaiser, Reiner Tschirschwitz, Bodo Wenzlaff: Informatik und Automatisieren-Theorie und Praxis der Struktur und Organisation der Informationsverarbeitung. Akademie-Verlag, Berlin 1976; https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/14301
- Klaus Fuchs-Kittowski, Klaus Lemgo, Ursula Schuster, Bodo Wenzlaff: Man/Computer Communication: A Problem of Linking Semantic and Syntactic Information Processing. In: Workshop on Data Communications, International Institute for Applied Systems Analysis, September 15-19, 1975 CP-76-9, 2361, Laxenburg, Austria. 1975. S. 169 188
- Klaus Fuchs-Kittowski, Hans A. Rosenthal: Selbstorganisation und Evolution, in: Wissenschaft und Fortschritt, Akademie-Verlag, Berlin, Jg. 22, Heft 7, 1972, S. 308-313
- Klaus Fuchs-Kittowski, Klaus Lemgo, Ernst Mühlenberg: Zur Unterscheidung von wissenschaftlichen Begriffen und zur Differenzierung der Information als eine theoretischen Grundlage für den Einsatz der automatischen Informationsverarbeitung im Forschungsprozess, in: Heinrich Parthey (Hrsg.): Problem und Methode in der Forschung, Akademie Verlag, Berlin, 1978, S. 128-167
- Klaus Fuchs-Kittowski, Hans A. Rosenthal: Selbstorganisation, Information und Evolution Zur Kreativität der belebten Natur. In: Information und Selbstorganisation: Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information. Hrsg. v. Norbert Frenzel, Wolfgang Hofkirchner und Gottfried Stockinger. Innsbruck-Wien: Studien Verlag 1998. S. 149-160
- Klaus Fuchs-Kittowski, Hans A. Rosenthal, André Rosenthal: Die Entschlüsselung des Humangenoms ambivalente Auswirkungen auf Gesellschaft und Wissenschaft. In: Erwägen, Wissen, Ethik Streitforum für Erwägungskultur. (2003). Hauptartikel, S. 149-162; Replik Geistes- und Naturwissenschaften im Dialog, S. 219-234
- Klaus Fuchs-Kittowski, Bodo Wenzlaff: Probleme der theoretischen und praktischen Beherrschung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie (Berlin). 35(1987)6, S. 502-511; https://www.degruyter.com/view/j/dzph.1987.35.issue-6/dzph.1987.35.6.502/dzph.1987.35.6.502
- Klaus Fuchs-Kittowski: Stellung und Verantwortung des Menschen in komplexen Informationstechnologischen Systemen in Organisationen, Wirtschaftsinformatik & Management (Hauptartikel) 2/2016
- Klaus Fuchs-Kittowski: Problem und Methode als Gegenstand der Wissenschaftsforschung Mit Blick auf die Theorie und Praxis der Informatik, in: Vivien Petras, Walther Umstätter, Karl-Friedrich Wessel (Hrsg.): Theorie und Konzepte des wissenschaftlichen Erkennens: Festschrift zum 80. Geburtstag von Heinrich Parthey. Wissenschaftlicher Verlag, Berlin 2016, S. 29 72
- Wolfgang Hofkirchner (Editor): The Quest for a Unified Theory of Information, Proceedings of the Secon International Conference on the Foundations of Information Science, Gordon and Breach Publishers, Australia, Canada, China, World Future, Vol. 50, 1997
- Wolfgang Hofkirchner: Emergent Information An Outline Unified Theory of Information Framework. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 2013
- Marianne Leuzinger-Bohleber, Rolf Pfeifer: Psychoanalyse und Embdied Cognitive Science in Zeiten revolutionären Umdenkens In: Marianne Leuziger- Bohleber, Robert N. Emde, Rolf Pfeifer (Hrsg.): Embodiment in innovatives Konzept für Entwicklungsforschung und Psychoanalyse, Göttingen, 2013
- Rolf Pfeifer: Teaching Powerful Ideas with Autonomous Mobile Robots. In: Journal of Computer Sciences Education. 7 (1997) 2

- Ralf Moller, Dimitrios Lambrinos, Rolf Pfeifer, Rüdiger Wehner: Insect Strategies of Visual Homing In: Proc. Computer Vision and Mobile Robotics Workshop, CVMR`98, 37-45FORTH, Heraklion, Greece, 1998
- Rolf Pfeifer, Josh Bongard: How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence, 2006
- Hans A. Rosenthal: Zu einigen Aspekten der genetischen Information: Geist und Materie in der frühen biologischen Evolution. In: Christiane Floyd, Christian Fuchs, Wolfgang Hofkirchner (Hrsg.): Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, Peter Lang Verlag, Wien, 2002
- Erwin Schrödinger: Was ist Leben Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet, Leo Lehnen Verlag, München, 2. Auflage 1951
- Christian Stary, Monika Maroscher, Edith Stary: Wissensmanagement in der Praxis, Methoden, Werkzeuge, Beispiele, Hanser Verlag, 2012
- Christian Stary, Markus Peschl: Towards Constructivist Unification of Conventional Machine Learning and Parallel Distributed Processing. In: Android Epistemology. Ed. by K. Ford, C. Glymour and P. Hayes. MIT-Press, 1995, p.p. 183 214
- Wolfgang Stegmüller: Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie, Band 1, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 1976
- Günter Tembrock: Geschichte September 1992.der Lebewesen: eine Evolution des Bewusstseins?, Berlin 1993, Vortrag anlässlich der Verleihung der Urania-Medaille, 28.
- Francisco J. Varela: Kognitionswissenschaft Kognitionstechnik Eine Skizze aktueller Perspektiven, Frankfurt a.M. 1990
- Horst Völz: Grundlagen und Inhalte der vier Varianten von Information Wie Information entstand und welche Arten es gibt, Springer Vieweg, 2014
- Host Völz: Das ist Information, Shaker Verlag, Aachen, 2017
- John von Neumann, The Computer and the Brain, Yale, 1958
- Norbert Wiener: Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine, 1965
- Rainer E. Zimmermann: Materie and Information as attributes of substance, in: The European Physical Journal, Special Topics, 226, 2017, S. 177-180

Adresse des Verfassers: fuchs-kittowski@t-online.de