

## **Vom 'Teufel der Unordnung' zum Engel des Rauschens. Kontroll- und Rationalitätsformen in Mensch-Maschine-Systemen**

*Erscheint in: Blätter für Technikgeschichte, Wien 2005*

"... a kind of simultaneous safety with risk, a transcendence over the 'world' in question at the same time that one is somehow inscribed within it, engaged with an autonomous and therefore not fully predictable other. This produces a simultaneous sense of control over the virtual from 'outside' while being 'inside,' controlled by larger and more powerful forces. The result is a controlled simulation of the experience of not being in control; hence, the best of both worlds." Lucy Suchman

### Einleitung

In meinem Beitrag möchte ich dem Anspruch der Kybernetik und neueren Robotik nachgehen, eine neue technowissenschaftliche Rationalität jenseits der alten analytischen, mechanizistischen Logik zu entwickeln. Als Wissenschaftsphilosophin und -forscherin geht es mir dabei darum, neue Entwicklungen, erkenntnisleitende Fragen und produktionsleitende technische Ziele in der aktuellen Forschung herauszuarbeiten. Dabei unterliegt meiner Untersuchung gleichzeitig ein böswilliger Verdacht. Ich frage mich, ob sich in dieser neuesten Variante der Übersetzungen zwischen Mensch und Maschine in der verhaltensbasierten Robotik, mit ihrer Begeisterung für die Biologie, für das Lebendige und die Emergenz sich nicht altbekannte Strategien der Problemlösung abzeichnen. Dieser Verdacht motiviert meinen Blick zurück auf die Kybernetik. Maria Osietzki hat darauf aufmerksam gemacht, dass das starke Interesse am Lebendigen sowie die Kontroverse um Reduktionismus versus Holismus, um Vitalismus versus Mechanizismus zwischen den Naturwissenschaften und einer kulturkritischen Lebensphilosophie, aber auch innerhalb der Biologie um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert letztlich in einem Innovationsschub der Naturwissenschaften endete<sup>1</sup>. Kybernetik und Systemtheorie lösten partiell die alte Kontroverse zwischen Vitalismus und Mechanizismus auf in eine Wissenschaft vom Kommando und der Kontrolle, die Menschen und Maschinen miteinander kompatibler machte und als "Faktoren einer übergeordneten Organisation" (Osietzki 2003,147) verstand.

Die Frage ist, inwieweit das neue - von der Biowissenschaften beeinflusste Denken - in der aktuellen Robotik und Künstlichen Intelligenz-Forschung nicht auch Transformationen anzeigt, welche in einer veränderten technowissenschaftlichen Rationalität münden - eine Rationalität, die nicht zuletzt dadurch möglich wurde, dass sie gewissermaßen 'außerdisziplinäre' Konzepte und Ideen - etwa aus der Biologie oder der Philosophie 'verdaut'<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Zur Bedeutung des Vitalismus-Mechanizismus-Streites für die Weiterentwicklung dieser Disziplin vgl. Penzlin 2000, 436

<sup>2</sup> Allerdings motiviert sich meiner Meinung nach das aktuelle Interesse der Robotik an der Biologie und dem Lebendigen vermutlich weniger aus kritischen Debatten als aus dem durchschlagenden Erfolg der Biowissenschaften, welche sich schon

Erkenntnisleitende Fragen sind hierbei: Welche Prämissen ermöglichen die enge Mensch-Maschine- bzw. System-Umwelt-Kopplung? Wie verschieben sich die ontologischen und epistemologischen Grundannahmen zwischen Kybernetik, traditioneller Künstlicher Intelligenz-Forschung und neuerer Robotik? Welche Fragestellungen werden obsolet? Und welche Rolle spielt in dieser Entwicklung der Traum von einer neuen, interdisziplinären (Meta-)Wissenschaft, die sich vom mechanizistischen und analytischen Denken traditioneller Wissenschaft verabschieden möchte?

### **Der Traum von der interdisziplinären Systemwissenschaft**

Alt ist der Traum von einer neuen Wissenschaft, die universal bzw. interdisziplinär wäre. Trotz oder gerade wegen der zunehmenden Ausdifferenzierung und Spezialisierung der Wissenschaften finden sich im 20. Jahrhundert zahlreiche Visionen einer neuen, inter- oder gar transdisziplinären Wissenschaft, die die Defizite des mechanizistischen, analytischen Denkens der traditionellen Wissenschaften überschreitet und neue Formen des Wissens, der Wissensproduktion und der Herstellung von Artefakten ermöglicht. Systemtheorie, Kybernetik, die Theorie dynamischer Systeme (Chaostheorie), die Artificial Life-Forschung, die Kognitions- und Neurowissenschaften sowie die Robotik sind - mehr oder weniger ausgeprägt - Hoffnungsträgerinnen und Anwärtterinnen für eine solche neue Wissenschaft (gewesen), denen zugesprochen wurde bzw. wird, dass sie den Ausdifferenzierungstendenzen der Moderne trotzen und eine übergreifende(re) Sprache entwickeln, die den Graben zwischen den sogenannten 'zwei Kulturen' von Natur- und Geisteswissenschaften<sup>3</sup> überschreitet.

Die oben genannten Technowissenschaften<sup>4</sup> haben auf jeden Fall eines gemein: Sie entwickel(te)n eine breitgefächerte und umfassende Wirkung in den unterschiedlichsten Wissensfeldern und Kontexten - und zwar in den Natur- bzw. Technowissenschaften wie den Humanwissenschaften (Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften). Entweder haben sie sich unter ihrem eigenen 'Label' in den unterschiedlichsten Disziplinen eingenistet (Systemtheorie), sich als neue, mehr oder weniger eigenständige und zugleich interdisziplinäre Forschungsgebiete etabliert (Kognitionswissenschaft, Neurowissenschaft, Robotik) oder aber die Ansätze sind in andere Bereiche eingewandert, wo sie sich sehr gut integrierten, wobei es zu umfassenden Transformationen des Wissens dieser Disziplinen gekommen ist, aber auch zu ihrer Umschreibung. So hatten Kybernetik, Chaostheorie oder die Artificial Life-Forschung in diesem Prozeß gewissermassen ihre eigene 'Identität' aufgegeben und werden aktuell kaum noch als eigenständige Wissensbereiche wahrgenommen. In den Sechziger Jahren hatte die Kybernetik in so unterschiedlichen Bereiche Einzug gehalten wie Medizin, Pädagogik, (Molekular)Biologie, Politikwissenschaft, Soziologie, Philosophie, Verkehrsplanung, Künstliche Intelligenz und anderes mehr. Heute sind nur noch einige

---

längst nicht mehr gegen einen Vitalismusverdacht wehren müssen, sondern heute eher - zumindest in Gestalt der Molekularbiologie - sich zunehmend dem Vorwurf des Reduktionismus (Keller 2001) ausgesetzt sehen.

<sup>3</sup> Zur Theorie der zwei Kulturen vgl. Snow 1959; kritisch hierzu u.a. Becker/Wehling, Weber 2003b

<sup>4</sup> zum Begriff der Technowissenschaft vgl. Weber 2003, Nordmann 2004

Institute für Biokybernetik oder medizinische Kybernetik die sichtbaren Überbleibsel des kybernetischen Booms der Fünfziger und Sechziger Jahre. In den 80er Jahren ist sie dann verschwunden: "Heute ist die Kybernetik vergessen. Und ihre Produkte werden verwirklicht. ... Offenbar macht sich das kybernetische Paradigma mit seinem Weltverhältnis, seinen Wertsetzungen und Utopien wahr, obgleich es fast vollständig verschwunden ist. Von dem, was in den fünfziger Jahren noch ein mächtiger kaltglitzender Eisblock war, ragt nur noch in Neonschrift geformt >Information< aus dem Wasser." (Grassmuck 1988: 51f.) In den 80er Jahren werden die Konzepte vom Cyborg oder auch vom Cyberspace zentral - aber die Kybernetik selbst wird anathema<sup>5</sup>.

### **System, Black Box, Information & Code: Übersetzungsprozesse und neue Ontologien**

Der Traum von der Universalwissenschaft bzw. Systemwissenschaft, wie ihn die Kybernetik geträumt hat, war nicht zuletzt von der Hoffnung motiviert, dass sich in und mit diesen Wissenschaften ein Denk-, Ordnungs- und Arbeitsinstrumentarium findet bzw. sich entwickelt läßt, welches es ermöglicht, komplexe Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichsten Bereichen herzustellen, zu bearbeiten und vor allem disziplinenübergreifende Fragestellungen zu lösen, wie sie sich angesichts der intensivierten Verschränkung von Wissenschaft, Technik, Industrie und Politik, der beschleunigten Produktion von soziotechnischen Systemen, von hybriden Wissensobjekten und Artefakten und der umfassenden Verflechtung verschiedenster ontischer Bereiche abzeichnen<sup>6</sup>. Vielleicht war gerade die universelle und interdisziplinäre Ausrichtung der Kybernetik mit ihren vielfachen Anwendungsfelder und der damit einhergehenden Uneinheitlichkeit nicht zuletzt auch ein Grund für ihren Untergang als (geschlossenes) Wissensfeld<sup>7</sup>.

Trotz oder gerade wegen des Problems der Ausdifferenzierung der modernen Wissenschaften ist die Fähigkeit zum interdisziplinären Wissenstransfer, zur geschickten und umfassenden Analogiebildung sowie der Verbindung von zuvor als getrennt gedachten ontischen Bereichen ein wesentliches Mittel, um Anwärtlerin für eine Meta- oder Universalwissenschaft werden zu können. So liegt z.B. die durchschlagende Wirkung der Kybernetik nicht zuletzt in ihrer theoretischen Parallelführung von Organismen und Maschinen, von biologischen und artifiziellen Systemen, die eine weitaus engere Mensch-Maschine-Kopplung möglich machte als zuvor. Durch das universale Vokabular der Systemtheorie, das die Dynamik und Prinzipien von offenen Systemen zu beschreiben suchte, mit dem Begriff der Information und

<sup>5</sup> Heute erlebt die Kybernetik interessanterweise ein Revival - vor allem in der Robotik, aber interessanterweise auch in der Medienwissenschaft, der Philosophie sowie der Wissenschaftsforschung und Wissenschaftsgeschichte. Den Gründen für die erneute Faszination für die Kybernetik nachzugehen, wäre sicherlich eine Untersuchung wert.

<sup>6</sup> "The needs and the complexity of modern life make greater demands on this process of information than ever before, and our press, our museums, our scientific laboratories, our universities, our libraries and textbooks, have been developed to meet the needs for this process. To live effectively is to live with adequate information." (Wiener 1950, 124)

<sup>7</sup> "In spite of its important historical role, cybernetics has not really become established as an autonomous discipline. Its practitioners are relatively few, and not very well organized. There are few research departments devoted to the domain, and even fewer academic programs. There are many reasons for this, including the [...] difficulty of maintaining the coherence of a broad, interdisciplinary field in the wake of the rapid growth of its more specialized and application oriented 'spin-off' disciplines, such as computer science, artificial intelligence, neural networks, and control engineering, which tends to sap away enthusiasm, funding and practitioners from the more theoretical mother field." Heylighen / Joslyn 2001, 4

Kommunikation sowie generell mit einer neuen Epistemologie und Ontologie der Kybernetik wurde eine umfassende (universale?) Theorie der Organisations- und Kommunikationsbeziehungen in zielorientierten, funktionalen Systemen möglich, die sowohl für Organismen wie Maschinen galt<sup>8</sup>. Die Literaturwissenschaftlerin, Chemikerin und Wissenschaftsforscherin Katherine Hayles beschreibt dabei treffend die zentrale Funktion der Analogiebildung: Diese bildet - unter anderem in der Kybernetik - ein "powerful conceptual mode that constitutes meaning through relation" (Hayles 1999, 91).

Auf der Grundlage von Analogiebildung und den veränderten epistemologischen und ontologischen Grundlagen der Kybernetik ist es möglich geworden, auf eine ganz neue und radikale Weise, die Grenzen zwischen Mensch, Tier und Maschine in Frage zu stellen. Es ist kein Zufall, dass Norbert Wiener, einer der Protagonisten der Kybernetik, sein Buch *Cybernetics, or the control in the animal and the machine* titulierte. Es gilt bis heute als Meilenstein der Kybernetik.

Die Ontologie der Kybernetik verzichtet darauf, nach den intrinsischen Eigenschaften von Organismen und Systemen zu fragen und konzentriert sich auf das *Verhalten* von biologischen wie artifiziellen Systemen und auf die System-Umwelt-Kopplung. Damit ist nicht nur die Maschine eine black box, sondern auch Mensch und Tier. Es vollzieht sich eine De-Essentialisierung und Denaturalisierung der Organismen, deren Grundlagen und Konsequenzen die Wissenschaftsforscherin Donna Haraway in ihrem *Manifesto for Cyborgs* (1995/1985) folgendermaßen skizziert: "Jedes beliebige Objekt und jede Person kann auf angemessene Weise unter der Perspektive von Zerlegung und Rekombination betrachtet werden, keine >natürlichen< Architekturen beschränken die mögliche Gestaltung des Systems. [...] Wie jede andere Komponente und jedes andere Subsystem auch müssen menschliche Lebewesen in einer Systemarchitektur verortet werden, deren grundlegende Operationsweisen probabilistisch und statistisch sind. [...] Jede beliebige Komponente kann mit jeder anderen verschaltet werden, wenn eine passende Norm oder ein passender Kode konstruiert werden kann, um Signale in einer gemeinsamen Sprache auszutauschen." (Haraway 1995/1985, 50)

Die Analogie des Systems und damit verbunden das Konzept der black box, deren intrinsische Eigenschaften nicht interessieren, intensiviert vehement die Möglichkeiten zur Parallelisierung von Mensch/Organismus und Maschine. Vorbereitet wurde diese Entwicklung durch die beiden Hauptsätze der Thermodynamik. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass Energie bzw. Materie immer nur umgewandelt, aber niemals zerstört werden kann. Damit wird implizit eine universale Kompatibilität und ähnliche Beschaffenheit alles Ontischen miteinander suggeriert, das nun als zusammengesetzt aus ähnlichen Komponenten gedacht wird. Diese Komponenten können sich verändern und immer wieder neue - organische wie nicht-organische - Formen annehmen, insofern die Energie auf jeden Fall erhalten bleibt: Der zweite Hauptsatz geht von der Entropie in allen

---

<sup>8</sup> Vgl. Haraway 1985/1995; Keller 1995

geschlossenen Systemen aus und relativiert damit die Differenz zwischen Organischem und Nicht-Organischem, Totem und Lebendigem<sup>9</sup>. Doch während die Thermodynamik noch auf Energie bzw. Materie fokussierte, löst der Informationsbegriff der Kybernetik den der Energie bzw. der Materie ab.

Gleichzeitig konzipierte Bertalanffy in seiner allgemeinen Systemlehre lebendige Organismen als Systeme, die auf Fließgleichgewicht basierten und ihre Struktur und Funktion in der Auseinandersetzung mit der Umwelt aufrechterhalten, sich regenerieren und reproduzieren<sup>10</sup>. Diese Beschreibung galt ganz nicht nur für einzelne Organismen, sondern ganz generell für Systeme - etwa auch für komplette ökologische Systeme, aber auch die menschliche Ökonomie<sup>11</sup>. Dies ist ein weiterer Schritt zu einem system- und kommunikationstheoretischen Verständnis der Übersetzbarkeit von organischen wie anorganischen, materiellen wie immateriellen Prozessen.

Zu Beginn der 50er Jahre spitzt sich diese Entwicklung in der Kybernetik, die nun zunehmend auch Theorien und Konzepte aus der Molekularbiologie aufnimmt (und vice versa), zu. So vertritt unter anderem Norbert Wiener die These, dass die physische Identität von Organismen nicht ihre Materialität ausmache, sondern dass die biologische Identität des Organismus eher in seiner Form bzw. Organisation liegt, die ihm die Kontinuität in seinem permanenten Umwandlungsprozesses verleiht. Damit werden Kommunikationsprozesse zwischen Organischen und Nicht-Organischen unproblematisch: Im Prinzip gibt es dann keinen Unterschied mehr zwischen dem Transport von Materie oder von Botschaften: Deshalb hält Wiener es auch (theoretisch) durchaus für möglich, einen Menschen durch eine Telegraphenleitung zu schicken, auch wenn es an der praktischen Umsetzung vorerst noch hapert: "To recapitulate: the individuality of the body is that of a flame rather than that of a stone, is that of a form rather than that of a bit of substance. This form can be transmitted or be modified and duplicated, although at present we only know how to duplicate it over a short distance. When one cell divides into two, or when one of the genes which carries our corporeal and mental birthright is split in order to make ready for a reduction division of a germ cell, we have a separation in matter which is conditioned by the power of a pattern of living tissue to duplicate itself. Since this is so, there is no fundamental absolute line between the types of transmission which we can use for sending a telegram from country to country and the types of transmission which at least are theoretically possible for a living organism such as a human being." (Wiener 1950, 109) Organismen sind nun primär durch Informationsverarbeitung bzw. -weiterleitung und (Selbst-)Organisation gekennzeichnet. Die Interpretation des Organismus als biotische Komponente in einem (kybernetisch modellierten) Netzwerk setzt sich gerade auch mit dem Aufstieg der Molekularbiologie<sup>12</sup> in den sogenannten

---

<sup>9</sup> Weber 2003a, 43ff

<sup>10</sup> Gloy 1995, 244

<sup>11</sup> Leps 2000, 614

<sup>12</sup>In den 90er Jahren verwenden schon über 60 Prozent aller biologischen und biomedizinischen Untersuchungen molekularbiologische oder genetische Verfahren; vgl. Haraway 1997, 57; zu den Mechanismen der Vereinheitlichung, Verallgemeinerung und Minimalisierung in der Molekularbiologie vgl. Kay 1994 und 1996; Keller 1995 und 1996.

Life Sciences durch. Die Grenzen zwischen Physischem und Nicht-Physischem werden damit immer durchlässiger und der Organismus wird mehr und mehr zum Kommunikationssystem - gesteuert durch den (genetischen) Code. Dies ist die Grundlage für eine intime Mensch-Maschine-Kopplung und geschieht in einer Phase des "Übergang(s) von einer organischen Industriegesellschaft in ein polymorphes Informationssystem" (Haraway 1985/1995, 48), das bevölkert ist mit neuen hybriden, technowissenschaftlichen Wissensobjekten<sup>13</sup>.

"Der Mensch braucht nicht mehr in die Maschine, wenn die Maschine bereits im Menschen ist." Volker Grassmuck

### **Synthetische Ansätze, Analogiebildung und Transdisziplinarität**

Der Versuch eine neue Epistemologie zu entwickeln ist ein weiteres, entscheidendes Merkmal der neuen Ansätze im Bereich der Mensch-Maschine-Kopplung neben den neuen ontologischen Setzungen, der einheitlichen Systemlogik und der Ablösung des Energie- durch den Informationsbegriff. Die interdisziplinären Ansätze der Kybernetik, die sich exemplarisch an den Macy-Konferenzen studieren lassen, können als Teil der Suche nach nicht-reduktionistischen, synthetischen Herangehensweisen an die komplexen Fragestellungen interpretiert werden. Man will die Defizite des alten analytischen, mechanistischen Denkens der traditionellen Wissenschaften überschreiten. Der Wissenschaftsforscher Andrew Pickering formuliert den neuen epistemologischen Ansatz der Kybernetik folgendermaßen: "... there is something philosophically or theoretically pregnant about cybernetics. There is a kind of seductive mystery or glamour that attaches to it. And the origin of this, I think, is that cybernetics is an instantiation of a different paradigm from the one in which most of us grew up - the reductive, linear, Newtonian, paradigm that still characterizes most academic work in the natural and social sciences (and engineering and humanities, too) - 'the classical sciences' as Ilya Prigogine and Isabelle Stengers (1984) call them." (Pickering 2002, 413f). Die entscheidende Differenz im Denkstil der Kybernetik (und auch der verhaltensbasierten Robotik) zur modernen Naturwissenschaft sieht Pickering darin, dass sie sich für die Dinge selbst, für Handlung, Performativität und Emergenz interessieren, sich gewissermaßen in die Welt einmischen, anstatt sie von einem distanzierten Standpunkt aus abzubilden: "cybernetics [...] is all about this shift from epistemology to ontology, from representation to *performativity, agency and emergence*, ..." (Pickering 2002, 414; meine Hervorhebung; JW) Für ihn ist die Kybernetik und neuere Robotik, anders als die klassischen Wissenschaften an der Lebendigkeit der Welt, ihrer potentiellen Offenheit und Unbestimmtheit interessiert. Aber woran macht sich dieses Interesse für die Lebendigkeit der Welt fest? Die Kontrastierung von Repräsentation und Performativität verweist auf einen zentralen Unterschied der Kybernetik etwa zur klassischen Künstlichen Intelligenz-Forschung: Die

---

<sup>13</sup> vgl. hierzu auch Latour 1995/1991

Kybernetik setzt auf eine enge Kopplung von System und Umwelt und eine gewisse 'Autonomie' - vielleicht sollte man besser sagen: auf ein gewisses Eigenleben ihrer Artefakte. Heylighen und Joslyn beschreiben diese Tendenz als die Annahme eines quasi freien Willens der involvierten Akteure, die zwischen Absicht und Anpassung an die Umwelt pendeln: "Perhaps the most fundamental contribution of cybernetics is its explanation of purposiveness, or goal-directed behavior, an essential characteristic of mind and life, in terms of control and information. Negative feedback control loops which try to achieve and maintain goal states were seen as basic models for the autonomy characteristic of organisms: their behavior, while purposeful, is not strictly determined by either environmental influences or internal dynamical processes. They are in some sense 'independent actors' with a 'free will'." (Heylighen / Joslyn 2001, 3)

Während in der zeitgenössischen Biologie Begriffe wie 'Absicht', 'Verhalten', und Teleologie aufgrund des Vitalismusverdachtes verpönt waren, werden sie in der Kybernetik zu zentralen Bestimmungsmerkmalen einer neuen Wissenschaft der Kontrolle und Steuerung in Mensch und Maschine. Man denke unter anderem an den einschlägigen Aufsatz 'Behavior, Purpose, and Teleology' von Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow, der 1943 in der Zeitschrift 'Philosophy of Science' erschien und oft als Geburtsurkunde der Kybernetik interpretiert wurde<sup>14</sup>. Die Idee (menschliches) Verhalten über die Rückmeldung von Fehlern in einer (negativen) Feedbackschleife, über Verfahren von trial and error und einer engen System-Umwelt-Kopplung zu kontrollieren, erscheint als eine neuartige und ‚ganzheitlichere‘ Herangehensweise, die sich - wie schon erwähnt - nicht mehr mit an der Bestimmung von intrinsischen Eigenschaften orientiert, sondern am Verhältnis von System und Umwelt, von Input und Output. Während die Eigenschaften von Organismen ausgeblendet werden, geht es nun primär um das teleologische bzw. nicht-teleologische (also zufällige) Verhalten von Entitäten - und die Möglichkeiten, dieses vorherzubestimmen. Offensichtlich wird hier der Versuch unternommen, *einen theoretischen Ansatz zu entwickeln, der vor allem Dynamik und Komplexität thematisiert und auf je spezifische Weise fungibel macht. Der Preis für die Theoretisierung von Dynamik und Komplexität des Verhaltens und der Verbindung zuvor getrennter ontischer Bereiche ist der Verzicht auf die Analyse der immanenten Eigenschaften der einzelnen Systeme, die Schließung der Organismen, Dinge und Entitäten zur black box.* Und auch wenn es einen mehr oder weniger grossen Raum gibt für unvorhersehbares Verhalten und eine gewisse Eigendynamik der Artefakte, ist das entscheidende Moment der Kybernetik das Klassifizieren und Funktionalisieren des Verhaltens von Organismen bzw. generell von Systemen. Das Interesse für die Lebendigkeit der Welt, ihre Dynamik und Komplexität ist motiviert vom Wunsch, genau dieses dynamische, schwer oder gar nicht vorhersehbare Verhalten (von Organismen, Waffensystemen, etc.) unter Kontrolle zu bekommen. Die Einsicht der Kybernetik ist es, dass diese Kontrolle weder statisch noch (zu) zentralisiert sein darf, wenn sie mit unerwarteten, dynamischen Entwicklungen umgehen will.

---

<sup>14</sup> Stewart 1959/2000, Hayles 1999

Vor diesem Hintergrund wird dann auch die Wahrscheinlichkeits- und Spieltheorie zentral. Es geht nicht um die exakte Berechnung von Verhalten, sondern um seine probabilistische Einschätzung - zumindest in der von Norbert Wiener propagierten Variante der Kybernetik, wie sie sich auch primär in andere Disziplinen (Pädagogik, Regeltechnik, Politik) Mitte des 20. Jahrhunderts übersetzt hat, in der die Suche nach einer universalen Theorie des Wissens dominiert, die weiterhin an Ordnung und Berechenbarkeit interessiert ist. Wiener gilt Rauschen, die Störung der Kommunikation, als verbunden mit Entropie, Verfall und Tod. Zu unberechenbar soll die Welt dann doch (noch?) nicht sein. Hierauf komme ich später noch zurück.

### **Kybernetik, Philosophie und die verhaltensbasierte Robotik**

In den Siebziger und Achtziger Jahren verschwindet die Kybernetik als mehr oder weniger geschlossenes Forschungsgebiet. Im Bereich der Künstlichen Intelligenz verliert sie schon früher an Boden. Sie konnte sich in diesem Feld schon seit den Sechziger Jahren nicht mehr wirklich durchsetzen. In der traditionellen Künstlichen Intelligenz-Forschung – der GOFAI = Good Old-Fashioned Artificial Intelligence wie sie heute spöttisch von den neuen Robotikerinnen<sup>15</sup> und den Artificial Life-Forschern genannt wird - dominieren Ansätze aus der klassischen Mathematik und der formalen Logik. Das biologische Erbe der Kybernetik findet vorerst kaum Eingang in die KI-Forschung. Sie wird vom Paradigma der Informationsverarbeitung beherrscht, in dem Intelligenz, Gehirn und Rechnen mehr oder weniger gleichgesetzt wird. Mentale Prozesse, die mit Kognition identifiziert werden, werden als das Prozessieren von Berechnungen interpretiert. Insofern kann auch Intelligenz allein auf der Ebene der Algorithmen, der Rechenprozesse untersucht werden. Gemäß der Hypothese vom ‘physical-symbol-system’ laut Alan Newell and Herbert Simon (1976) ist das Prozessieren von Symbolen ausreichend für die Modellierung und Produktion von Intelligenz, wenn die Regeln des Prozessierens sowie die der zugrundeliegenden Maschine (des Computers) mächtig genug sind – wovon ausgegangen wird. Vor diesem Hintergrund erklärt sich die dominante Stellung der Repräsentation von Wissens im Sinne einer adäquaten Modellierung von Welt primär über Symbole und logische Verfahren. Dieses Verfahren abstrahiert also von der zugrundeliegenden physischen Ebene. Es herrscht die Annahme vor, dass mentale Prozesse im Prinzip auf beliebig unterschiedlichen physikalischen Systemen emergieren können. So wie differente Programme auf verschiedenen Computern laufen können, können dieser Logik zufolge mentale Prozesse auf der Grundlage unterschiedlicher physischer Mechanismen gleich ablaufen. Verkörperung spielt in diesem Paradigma keine Rolle. Die interne symbolische Verarbeitung bzw. Wissensrepräsentation gilt als die entscheidende Eigenschaft von Intelligenz. Vor diesem Hintergrund werden dann Roboter mehr oder weniger als mobile Computer verstanden, die man mit ein paar Sensoren und

---

<sup>15</sup> In loser Folge wird im Text sowohl das generalisierte Maskulinum wie Femininum gebraucht, um die nicht immer zufrieden stellende Lösung des großen ‚I’s zu vermeiden. D.h., dass mit Robotikerinnen durchaus auch Robotiker gemeint sind, sowie mit Artificial Life-Forschern durchaus auch AL-Foscherinnen.



Aktuatoren ausrüstet, damit sie ihre plan-basierten Handlungen, die sie mit Hilfe eines zuvor mehr oder weniger einprogrammierten Wissens ausrechneten, auch in der Welt ausführen können.

Doch Mitte der Achtziger Jahre, in der sich zunehmend die Probleme, um nicht zu sagen eine fundamentale Krise der symbol-orientierten KI abzeichnen, wird das biokybernetische Denken wieder erfunden bzw. teilweise auch gefunden. Denn nach vielen Jahren und Jahrzehnten der Forschung hatte die KI-Forschung - gerade auch im Bereich der Expertensysteme oder der Robotik - kaum Fortschritte vorzuzeigen. Viele ihrer begonnenen Projekte erwiesen sich als absolut undurchführbar. Die kühnen Visionen der KI aus den Anfangsjahren erschienen nun mehr als voreilig. Der heutige Leiter des Artificial Intelligence Laboratory an der Universität Zürich Rolf Pfeifer und sein Kollege Christian Scheier skizzieren die Situation in ihrem Buch 'Understanding Intelligence' (1999) im Rückblick folgendermaßen: "... we began to run into fundamental problems with artificial intelligence. In the mid-1980s we had already been working with expert systems for a number of years. Over time we realized, as did many others, that the technology did not fulfil its promises. Accomplishing what we proposed turned out to be much harder than expected: Only a very few of the projects we undertook ended up with systems that could be used in everyday routine practice. The problems were not simply of practical nature, they were somehow insurmountable." (Pfeifer / Scheier 1999, xviii)

Mit Hilfe von Expertensysteme sollte das Wissen und die Entscheidungsfindung von Experten formalisiert werden, in der Hoffnung kognitive Prozesse mechanisieren zu können. In den 70er und 80er Jahren war man davon ausgegangen, dass Entscheidungsfindungen in präzisen Regeln gefaßt werden können, doch nach einigen Jahren der Forschung wurde immer deutlicher, dass die Handlungsmuster von Menschen bei weitem komplexer und dynamischer verlaufen. Entscheidungswissen - so wurde deutlich - ist an Erfahrungswissen geknüpft, dass oftmals ein 'tacit knowledge' ist, dass nicht unbedingt regelbasiert ist und sich auf jeden Fall nicht (ohne weiteres) extrahieren und dekontextualisieren läßt.

Stagnation und ungelöste Probleme häuften sich aber nicht nur im Bereich der Expertensysteme, sondern auch in der Robotik. Ihre künstliche Systeme waren zwar gut im Bereich der Symbolverarbeitung (Schachcomputer, stationäre Industrieroboter), aber alle Aufgaben, die mit (nicht-planbasiertem) Verhalten, Spontaneität und d.h. konkret Bewegung, Raumorientierung oder Navigation verknüpft war, steckten noch nach Jahrzehnten von Forschung in den Kinderschuhen. Angesichts der Beschränkungen der älteren Künstlichen Intelligenz-Forschung, die sich primär auf Kognition im Sinne mentaler Prozesse und auf Symbolverarbeitung kapriziert hatte, forderte eine neue Richtung, die sich auch stark an der gerade entstehenden Artificial Life-Forschung orientierte, den Abschied von der primären Fokussierung auf Informationsverarbeitung, auf Logik und Mathematik und näherte sich zunehmend der Biologie, der Genetik und der neueren Kognitionswissenschaft an. Es wird

nun versucht biologische Konzepte wie Emergenz<sup>16</sup> oder Leben in die eigene Forschung einzubeziehen und alte, gut etablierte Konzepte der Disziplin wie z.B. Repräsentation oder (quantitativ definierte) Information werden kritisch hinterfragt.

Eine gute, anekdotisch zusammenfassende Geschichte des Paradigmenwechsels von der alten, symbolorientierten zur verhaltensbasierten Robotik erzählt Katherine Hayles in ihrem Aufsatz 'Computing the Human' (2003): "[...] researchers assumed that artificial intelligence should be modelled on conscious human thought. A robot moving across a room, for example, should have available a representation of the room and the means to calculate each move so as to map it onto the representation. [Today's director of the MIT AI Lab, Rodney; JW] Brooks believed this top-down approach was much too limiting. He saw the approach in action with a room-crossing robot designed by his friend [...] Hans Moravec. The robot required heavy computational power and a strategy that took hours to implement, for each time it made a move, it would stop, figure out where it was, and then calculate the next move. Meanwhile, if anyone entered the room it was in the process of navigating, it would be hopelessly thrown off and forced to begin again. Brooks figured that a cockroach could not possibly have as much computational power on board as the robot, yet it could accomplish the same task in a fraction of the time. The problem, as Brooks saw it, was the assumption that a robot had to operate from a representation of the world." (Hayles 2003, 101)

Glaubt man der Geschichte, die Brooks in seinem Buch 'Menschmaschinen' (2002) erzählt, ließ er sich von dem Kybernetiker, Gehirnforscher und Robotiker William Grey Walter inspirieren, der in den 40er Jahren kleine, tierähnliche Roboter gebaut hatte, die sogenannten 'Schildkröten', die auf der System-Umwelt-Kopplung basierten und die robust den Raum erkundeten, Lichtquellen suchen und ihre Batterien selbst aufladen konnten. Wesentliche Prinzipien der elektro-mechanischen Schildkröten Autonomie, Selbstregulierung (Feedback) und Spontaneität. Diese Roboter funktionierten ohne zentrale Repräsentation. Konsequenterweise ging dann Rodney Brooks vierzig Jahre später auch davon aus, dass zentrale Repräsentation der falsche Weg und die (reale) Welt selbst ihr bestes Modell sei<sup>17</sup>.

Doch die neueren Ansätze in der Robotik entdecken nicht nur wieder Prinzipien und Theoreme der Kybernetik oder beziehen sich sogar explizit auf diese, sondern sie argumentieren auch mit Bezug auf die philosophische Technikkritik: Diese hatte, wie z.B. die Philosophinnen Hubert Dreyfus, Lucy Suchman oder Barbara Becker<sup>18</sup>, immer wieder das funktionalistische Intelligenzkonzept der traditionellen KI kritisiert sowie die Ausblendung von Verkörperung, Materialität, Situiertheit und Kontextualität. Der US-amerikanische Phänomenologe Hubert Dreyfus hatte schon in den 70er Jahren in seinem berühmten Buch 'What Computers Can't do' den Reduktionismus der traditionellen KI und die Cartesianische Trennung von Körper und Geist in Frage gestellt. Für ihn läßt sich zudem Kognition nicht als

---

<sup>16</sup> Der Begriff der Emergenz ist trotz seiner zentralen Funktion innerhalb der KI, Artificial Life-Forschung und neuerer Robotik äußerst umstritten; vgl. Langton 1996/ 1989, Emmeche 1994, Cordis 2000, Christaller et al. 2001

<sup>17</sup> Brooks 2002, 25ff.

<sup>18</sup> Dreyfus 1976, Suchman 1987, Becker 2001

simple und d.h. passive Informationsaufnahme begreifen. Anstatt also den Körper als Hindernis, wäre er als konstitutives Moment zu begreifen<sup>19</sup>. Interaktion mit der Umwelt und die sinnliche, körperliche Erfahrung – in der Sprache der Robotik: verkörperte, sensorische Informationsaufnahme – seien wesentlich für Kognition.

In Abgrenzung zum alten Paradigma der Künstlichen Intelligenz-Forschung fordert nun auch die neuere Robotik eine emphatische Verkörperung, ohne diese intelligente Systeme nicht möglich seien. So verweist Rodney Brooks 1986 in einem Arbeitspapier auf die oben formulierte Kritik von Dreyfus und fordert im Anschluß daran eine Robotik der Verkörperung und strukturellen System-Umwelt-Kopplung, die sich von reiner Simulation und der Beschränkung auf Spielzeugwelten, d.h. künstlich verarmter Umwelten, verabschiedet. Intelligente Systeme müssen verkörpert sein und zudem - im Anschluß an biologische Prinzipien - sollen sie der neuen Schule zufolge nicht klassisch analytisch - sprich top-down - modelliert und (re)konstruiert werden. Nur verkörperte, mobile Agenten, die sich anpassen, mit der Umwelt interagieren können so 'einfache' Aufgaben wie Gehen, Raumorientierung oder Objekterkennung meistern<sup>20</sup> und im emphatischen Sinne autonom und intelligent werden.

### **Eine neue Technorationalität?**

Die 'bottom-up'-Modellierung - die in Brooks 'subsumption architecture' eine grosse Rolle spielt und von der noch die Rede sein wird, ist Ausdruck dieser Suche nach neuen Methoden und Zugängen. Im neu entstandenen Feld der verhaltensbasierten (!) Robotik formulieren viele Technowissenschaftler die Unzufriedenheit mit den Ansätzen traditioneller Wissenschaft. Diese Forscherinnen, die transdisziplinär zwischen der Informatik bzw. Künstlichen Intelligenz-Forschung, Kognitionswissenschaften und den Life Sciences arbeiten, gehen davon aus, dass reduktionistische Konzepte und hierarchische Strategien der klassischen modernen Naturwissenschaften, die sich primär mit toten Gegenständen auseinandersetzen, nicht (mehr) adäquat für die Erfassung ihrer Problemstellungen sind. Es bedürfe eines neuen, flexiblen Denken jenseits alter Polarisierungen, gerade auch um Lebendiges, Unvorhersehbares, etc. fassen zu können. Diese Einschätzung einer Notwendigkeit neuer methodischer Vorgehensweisen beschrieb mir ein Robotiker in einem Interview<sup>21</sup> folgendermassen "... Ich glaube, was man überhaupt in diesen biologischen Kontexten, also dass die Leute ungeheuer darauf, auf dieses physikalische Weltbild fixiert sind, wie das aus der mechanistischen Zeit sozusagen rübergekommen ist, was Exaktheit und so anbelangt [...], eine klare Gliederung oder kausale Folgen, monokausale Folgen. Ich denke

---

<sup>19</sup> "Wenn man lernen will, wie sich Seide anfühlt, muss man lernen oder bereit sein, seine Hand auf eine bestimmte Weise zu bewegen und gewisse Erwartungen zu haben..." (1985, 197f).

<sup>20</sup> vgl. auch Christaller 1998, 106

<sup>21</sup> Die Interviews wurden im Rahmen des Forschungsprojekts 'Mathematik des Lebens - Konstitution und Geschlechtscodierung eines neuen Lebensbegriffs durch die Artificial Life-Forschung' an der TU Braunschweig, Historisches Seminar, Wissenschafts- und Technikgeschichte, gefördert vom Niedersächsischen Forschungsverbund für Frauen- und Geschlechterforschung in Naturwissenschaften, Technik und Medizin, durchgeführt und sozialwissenschaftlichen Standards entsprechend anonymisiert.

mir, dass das in diesem Bereich gar nicht angemessen ist und auch - [das] kann man auch auf anderen Ebenen sehen -, auch im ökologischen Bereich oder im Bereich der Biosphäre. Dass es vielmehr darum geht, Randbedingungen zu verstehen, unter denen eine ganze Reihe von Prozessen möglich sind, und diese Prozesse selbst [zu] verstehen - weiß ich nicht, auf welcher Ebene das überhaupt möglich sein wird. Ich weiß auch nicht, ob das im Detail überhaupt notwendig sein wird, aber man müsste verstehen, unter welchen Randbedingungen was möglich ist. Ich glaube, viel weiter wird man da nicht kommen, wenn man mit lebenden Systemen zu tun hat oder jedenfalls wäre das für mich schon ein ziemlich, ein ziemlich anspruchsvolles Ziel, so was hinzukriegen. [...] [D]iese klassische physikalische Sehweise der Welt ist viel zu eng, wenn man diese Lebensphänomene wirklich verstehen will. Und diese Ebene, auf der man sie verstehen kann, ist auch sicher eine andere, also nicht diese monokausale, zerlegbare, reduktionistische Sehweise, aber auch nicht im Gegensatz der Holismus sozusagen, sondern *irgend etwas wird sich da entwickeln, was beide Anteile hat.*"

Ein neues - und zugleich altes - Anzeichen für einen differenten Zugang zur Welt ist aktuell aber auch die Infragestellung des Körper-Geist-Dualismus. So räumen einige Vertreterinnen des neuen Ansatzes - wie z.B. Kerstin Dautenhahn und Thomas Christaller (1997) - ein, dass es sich beim Verhältnis von Physis und Kognition um enge Rückkopplungsschleifen<sup>22</sup> handelt. In der Hirnforschung, auf die sie sich beziehen, läßt sich ein ganz ähnlicher Trend bzgl. der Kritik des Cartesianischen Dualismus beobachten. Man denke an den bekannten Neurologen Antonio Damasio, der in seinem Buch 'Descartes' Irrtum' schon in den 90er Jahren - mit Verweis auf seine Studien an Gehirnverletzten - die These von der zentralen Bedeutung der Verkörperung für die Intelligenz vertritt: "(1) The human brain and the rest of the body constitute an indissociable organism, integrated by means of mutually interactive biochemical and neural regulatory circuits ... (2) The organism interacts with the environment as an ensemble: the interaction is neither of the body alone nor of the brain alone; (3) The physiological operations that we call mind are derived from the structural and functional ensemble rather than from the brain alone ..." (Damasio 2000, xvif) Deutlich wird hier, dass zwar weiterhin eine hierarchische Ordnung zwischen Intelligenz und Körper, zwischen dem Gehirn und 'dem Rest' beibehalten wird, nichtsdestotrotz wird eine enge Verwobenheit der beiden angenommen.

Aber die Infragestellung klassischer Normen und Wertvorstellungen moderner Wissenschaften geht noch weiter: Vermutlich als Konsequenz der Offenheit für Verkörperung, Situiertheit und Kontextualität verzichten viele Robotiker im neuen Paradigma darauf in ihren technowissenschaftlichen Theorien und Praktiken "die Welt objektiv, vollständig und widerspruchsfrei zu modellieren." (Christaller et al. 2001, 72)

Damit scheint die moderne Naturwissenschaften radikal in Frage gestellt. Diese Haltung steht im diametralen Widerspruch zur klassischen formalen Logik, wie sie lange die traditionelle Mathematik, die Kognitionswissenschaften oder auch die Philosophie dominierten. Die

---

<sup>22</sup> vgl. Christaller et al. 2001, 84

Mathematik, die nun gefragt ist, knüpft an eine noch recht neue Schule an: die Theorie der dynamischen Systeme.

"the real thing is: how do we get spontaneous creation of surprising things" (aus einem Interview mit einem Robotiker)

### **Biologische Maschinen:**

#### **Selbststeuerung, Adaption und die Segnungen des Trial & Error**

Die neue, von Kybernetik und der Artificial Life-Forschung stark beeinflusste Robotik zielt darauf ab, künstliche intelligente Systeme hervorzubringen, die sich autonom in komplexen Umwelten verhalten können<sup>23</sup>. Biologische Prozesse werden als entscheidende Grundlage für intelligentes Verhalten betrachtet und nicht mehr die präzise Rechenleistung und umfassende Wissensrepräsentation. Verkörperung, Situiertheit sowie die Fähigkeit der Adaptation, der Selbststeuerung (Autonomie), Umweltreaktion, der Lernfähigkeit und Selbstreproduktion<sup>24</sup> werden als zentral für Intelligenz betrachtet. Dies zeichnet sich auch in der Benennung neuer Schulen der Robotik ab: Es finden sich Ansätze wie z.B. "verhaltensbasierte Robotik"<sup>25</sup>, "evolutionäre"<sup>26</sup> oder situierte Robotik<sup>27</sup>, "Embodied Artificial Intelligence"<sup>28</sup> oder autonome intelligente Systeme<sup>29</sup>.

Von der Annäherung an die Biologie versprechen sich die ForscherInnen ein besseres Verständnis lebendiger Systeme, die Entwicklung neuer, erfolgversprechender Ideen für die Konstruktion künstlicher Systeme - sowohl bzgl. der Hardware wie der Software. Ein Robotiker und Artificial Lifer skizziert die Entwicklung folgendermassen: "a direction we are trying to go is to get closer and closer to biology. In the sense that we are abandoning a lot of conventional electronics or conventional circuits because we think that it is already too much constrained. It doesn't have space for reactive autocatalytic properties where you get new matters coming out. So, it is maybe to go back to the biological basis of real life and try to put it under different conditions, try to expose it to different types of experiences or try to direct evolution in different ways. And try to see what are the possible alternative mechanism that you get out of it."

Anders als in der alten KI ist die intrinsische Eigenschaft des Materials, aus dem das verkörperte intelligente System gebaut ist, von größtem Interesse. Das Einbeziehen von neuen Materialien soll gewissermaßen zu emergenten Effekten führen. Gleichzeitig wird die Entwicklung neuer Materialien anvisiert bzw. die Kombination von organischem Gewebe und

---

<sup>23</sup> vgl. Becker 2000

<sup>24</sup> Boden 1996, Christaller 1998, 2001, Pfeifer 2001, Brooks 2002

<sup>25</sup> Brooks 1986; Christaller et al. 2001

<sup>26</sup> Husbands / Meyer 1998; Nolfi / Floreano 2000

<sup>27</sup> Steels / Brooks 1993

<sup>28</sup> Pfeifer / Scheier 1999; Brooks 1999; Pfeifer 2001

<sup>29</sup> So heißt etwa die Abteilung für verhaltensbasierte Robotik am Fraunhofer-Institut St. Augustin (ehemals 'Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung', GMD)

künstlichem Material (Computerchips, etc.), um neue, flexiblere und intelligentere Formen der Wissens- und Artefaktproduktion hervorzubringen. Die richtige materiale Grundlage gilt bei vielen Robotikern unterdessen als entscheidend für die Energie-Effizienz und die Vereinfachung der Kontrollmechanismen eines künstlichen Systems<sup>30</sup>.

Zentral ist der Gedanke, dass aus der forcierten, vielfältigen Kombination einzelner Module emergente Effekte entstehen, aus dem Zusammenwirken von einzelnen Teilen oder Programmen, das in toto mehr ergeben soll als die Summe seiner Teile. Das meint das Zauberwort 'bottom-up'. Grundlage hierfür ist die Überzeugung, dass Intelligenz ein emergentes Produkt der System-Umwelt-Kopplung ist und dass Organismen generell auf der Basis einer großen Zahl von nur lose verbundenen parallelen Prozessen funktionieren. Dieser Überzeugung entsprechend wird in neuerer Robotik das Verhalten des Systems in einzelne kleiner Module, in sogenannte Reflexe bzw. sensumotorische Rückkopplungskreise (wie z.B. die Vermeidung von Hindernissen, die Suche nach Nahrung/Energie, etc.) zerlegt. Rodney Brooks hat mit seiner 'subsumption architecture' eine Architektur für autonome Roboter entwickelt, in der diese Module partiell unabhängig voneinander implementiert werden können, so dass sie miteinander interagieren. Um die reine Symbolverarbeitung auf ein Minimum zu reduzieren, werden Sensor- und Motorsignale direkt miteinander verknüpft, was wiederum die enge System-Umwelt-Kopplung garantiert und emergentes Verhalten unterstützen soll. So soll unerwartetes, nicht konkret vorprogrammiertes Verhalten entstehen, das für viele Robotiker als wesentliches Merkmal der Intelligenz gilt. Die Fähigkeit zur permanenten Wandlung, zur Neugestaltung und Spontaneität der Systeme wird ein Leitmotiv dieser neuen Technorationalität. Die daran gekoppelte Vision ist die Entwicklung von sich anpassenden, evolvierenden, lebendigen Maschinen, die über ihre Programmierung hinauswachsen und eigene Kategorien, eine eigene Sprache etc. entwickeln - es geht um autonome Systeme im emphatischen Sinne.

---

<sup>30</sup> Pfeifer 2001

"Entgegen der Vorstellung, daß es sich bei der Ein/Aus-Stellung eines Schalters um eine handfeste, stabile Erscheinungsform der Information handelt, ist sie ein äußerst empfindliches Gebilde. Ständig droht sie unwiederbringlich vom Rauschen des Kanals verschlungen zu werden. Dieser Feind der Information, >das wilde Tier<, liegt ständig auf der Lauer, um Signale zu stören." Volker Grassmuck

### **Vom Teufel der Unordnung und dem Engel des Rauschens**

Mit ihrem an der Biologie orientierten Programm schließt die neuere Robotik an der Kybernetik an<sup>31</sup>: "My suggestion is that cybernetics grabs onto the world differently from the classical sciences. While the latter seek to pin the world down in timeless representations, *cybernetics directly thematises the unpredictable liveliness of the world and processes of open-ended becoming*. [...] [I]t is as if the cyberneticians have lived in a different world from the classical scientists." (Pickering 2002,10; Hervorhebung JW) Die verhaltensbasierte, autonome Robotik beschreibt Pickering ganz ähnlich: "Hard-line autonomous robotics is deeply antirepresentational. It wants to build robots that are always in the thick of things - essentially embodied, operating on inputs from the world, transforming them into outputs, monitoring what comes back, adjusting outputs again, and so on - *and all of this without the existence of any abstract, formal, detached representation of the world* in which the robot lives. *An exemplification of the dance of agency itself*." (Pickering 2002, 10f; Hervorhebung JW)

Diese euphorische Charakterisierung der Kybernetik aber auch der neueren Robotik durch Pickering verdanken diese neben ihrem Interesse an dem Überschuß des Lebendigen auch an jenem für den Zufall, an Trial und Error und dem Tinkering. Das Tinkering, eine quasi systematisierte Form des Herumbastelns und Kombinierens von Modulen bzw. kleinen Entitäten nach dem Bottom-Up-Prinzip, das angeblich der Natur abgeschaut wurde<sup>32</sup>, soll - wie schon erwähnt - das Evozieren von emergenten Prozessen ermöglichen. Meiner Meinung nach schreibt allerdings Pickering das uneingeschränkte Interesse für das Unvorhersehbare, den Zufall und das systematische Arbeiten mit Trial und Error etwas vorschnell der Kybernetik zu. Die Gratwanderung zwischen Ordnung und Chaos, die Idee der systematischen Produktion des Unerwarteten scheint mir eher ein Kind der Theorie dynamischer Systeme, der Chaostheorie und jener Variante von Selbstorganisationstheorie, die - mit Blick auf Phänomene der Emergenz - Selbstorganisation nicht nur als (Re-) bzw. Produktion von interner Organisation und Ordnung verstand<sup>33</sup>, sondern als dynamisch, als "springboard to emergence" (Hayles 1999, 11). In seiner Auseinandersetzung mit Norbert Wiener setzt sich dann Pickering<sup>34</sup> auch mit der negativen Haltung Wieners zu Überraschung, Zufall und Rauschen auseinander: Norbert Wieners entwickelte in den 40er Jahren einen >Antiaircraft (AA) predictor<, ein geplantes Luftabwehrsystem, das den unregelmäßigen Flug

<sup>31</sup> vgl. Pickering 2002, Di Paolo 2003

<sup>32</sup> vgl. Jacob 1977

<sup>33</sup> wie es etwa die Autopoiesistheorie tat; vgl. Hayles 1999, Weber 2003a

<sup>34</sup> in einem Vortrag am Dibner Institut am MIT im Dezember 1998

eines feindlichen Flugzeuges bzw. seine zukünftige Position vorausberechnen sollte, um dann mit Hilfe einer Luftabwehrrakete dieses Flugzeug abzuschiessen. In diesem Projekt, das ja gerade die Berechenbarkeit eines dynamischen Mensch-Maschine-Systems zum Ziel hatte, wird die Überraschung, das Rauschen und der Zufall zum Feind: "It [the anti-aircraft predictor; JW] lived in real time, but always looking backwards to extract a trend that it could project in the future, and, in extracting that trend, chance (chaos, noise, fluctuation) was the enemy, a confusing disturbance that one had to struggle to counteract, mathematically and technologically." (Pickering 1998,5)

Pickering zufolge fürchtet Norbert Wiener den Zufall und das Rauschen als Quelle von Unordnung und Unberechenbarkeit<sup>35</sup>. Auch Peter Galison verweist darauf, dass für Wiener der Erzfeind die Desorganisation sei: Er schreibt: "Die Kybernetik, diese Wissenschaft als Steuermann, schuf den Engel der Kontrolle und den Teufel der Unordnung." (Galison 2001, 477) Und er fährt fort: "Vielleicht sind aber Durcheinander, Rauschen und Unkontrollierbarkeit nicht die größten Katastrophen, die uns ereilen. Vielleicht stammen unsere Katastrophen zum großen Teil aus unserem Bemühen um Superorganisation, Stille und Kontrolle." (ebd.)

Doch für die verhaltensbasierte Robotik ist nicht die Unkontrollierbarkeit, aber doch das Unvorhersehbare gewissermaßen der Engel. Für diese neue Kontrollwissenschaft entsteht Ordnung, wenn nicht aus dem Chaos, so doch womöglich aus dem Zufall, der Unberechenbarkeit, der multiplen Kombination simpler Prozesse, aus Strategien von Trial und Error, die etwas Neues und Produktives ergeben sollen. Deshalb wird nicht der Anspruch auf Instrumentalisierung und Naturbeherrschung aufgegeben. Im Gegenteil: Es handelt sich hier eher darum, dynamische, komplexe Prozesse technisch nutzbar zu machen. Spontaneität und der sogenannte Überschuss des Lebendigen, das lange als Unverfügbares galten, werden in eine Kontrolltechnik des bottom-up integriert. Nochmals ein Robotiker zu diesem Verfahren: "wenn man nicht-lineare Systeme miteinander wechselwirken läßt, dann gibt es eigentlich keine Theorie, die voraussagen kann, was das Ergebnis einer solchen Wechselwirkung ist. Also ich setze vollständig darauf, dass mit Hilfe dieser Evolution so etwas wie kognitive Prozesse, was immer das ist, als emergenter Prozeß auftritt. ... [aber] unter welchen Bedingungen kann so etwas wie Emergenz überhaupt auftreten? Wie müssen die Randbedingungen dafür aussehen? Sie können sich nicht einfach irgend etwas selbst organisieren und dann gibt es emergente Prozesse. So wird das ja immer dargestellt. Es gibt sicherlich Randbedingungen, unter denen Emergenz nicht auftreten kann und Randbedingungen, die es ermöglichen. Ob es dann auftritt, ist noch einmal eine andere Frage." (Interview)

---

<sup>35</sup> Pickering zufolge waren es die frühen britischen Kybernetiker wie Ashby, Beer, Pask und Walter, die sich für das Unerwartete, die Überraschung und das Unvorhersehbare interessierten, während Wiener eher umfassende Visionen der absoluten Kontrolle und Steuerung entwickelte. Ich konzentriere mich in meinem Beitrag auf Wiener, insofern er mir prägend für die Kybernetik in der Mitte des 20. Jahrhunderts zu sein scheint - nicht zuletzt auch im Hinblick auf ihre Übersetzungsbewegungen hinein in andere Disziplinen.



Es geht nicht mehr um intrinsische Eigenschaften von Organismen oder Maschinen, um eine objektive Beschreibung universaler Gesetze, sondern um die Bestimmung von Randbedingungen. Über Evolution in Form von Tinkering, über Verfahren von Trial und Error soll die Konstruktion komplexer dynamischer - sprich intelligenter Systeme möglich werden, die sich der Analyse und Beherrschbarkeit im traditionellen Sinne entziehen. Die Biologie und die Theorie dynamischer Systeme dient bei diesen Verfahren als Inspirationsquelle. Der Bezug auf die Biologie wird übrigens - ganz ähnlich wie vierzig Jahre zuvor in der Kybernetik - einerseits mit genuinen Erkenntnissen in der Biologie selbst gerechtfertigt, andererseits wird sie als Test-Feld für die Ingenieurwissenschaften und die Robotik genutzt. Ein Artificial Life-Forscher beschreibt die doppelte Aufgabe: "So, if you're expecting biology to provide this template for engineering, it just isn't going to, but it can provide a challenge [...], for engineering technology that is very analogous and potentially powerful. So [...], I'm not doing it because I expect to learn specific things that I can carry out in engineering, I'm doing it [...] primarily to help the biologists and primarily trying to build tools that will help biology and medicine. Secondly I'm trying to create a test bed for a general set of tools for studying complex networks that will be critical in our engineering infrastructure. So that's a secondary issue and very, very casually is any hope that specific principles will come out of biology that will be relevant, that'll be nice but I think betting on that would be a mistake".

So will man lernen unter welchen Rahmenbedingungen Probleme auftreten, wo Fehlerquellen liegen. Man geht davon aus, dass zumindest zentrale Organisationsprinzipien für alle komplexe dynamischen Systeme gelten, sei es auf organischer Grundlage oder in silicio. Während das analytische Verfahren zuerst das jeweilige Objekt in einzelne Teile zerlegt, um es analysieren zu können, bringen neuere Technowissenschaften verschiedenste Teile zusammen, in der Hoffnung, dass so - ausgehend von einfachen Regeln der Selbstorganisation und ähnlichen Mechanismen emergenter Prozesse - der komplexen Gegenstand hervorgebracht wird<sup>36</sup>. Dies ist schlicht eine Invertierung des analytischen und reduktionistischen Ansatzes. Doch richtet sich nun gewissermaßen der Blick nach vorn und nicht zurück wie noch bei Wieners Prädiktor. Die Entstehung von Neuem, von Kreativität, Spontaneität und die technische Nutzung von Evolution bzw. von emergierenden Prozessen sind zentrale Momente dieser Forschungslogik geworden. Interessanterweise sind dies zum Großteil Eigenschaften, die lange als das Spezifikum, wenn nicht des Menschen, dann doch des Organischen galten. Davon ging u.a. Ludwig Bertalanffy in seinem Spätwerk aus, dass sich kritisch gegen die fortschreitende Annäherung von Mensch und Maschine im kybernetischen Zeitalter richtet<sup>37</sup>.

Und auch das Rauschen, das Durcheinander und die Unkontrollierbarkeit, der augustinische Teufel des Zufalls, den Norbert Wiener bekämpfte, all diese Momente, die Peter Galison als Potentiale gegen den Kontrollwahn der Kybernetik ins Feld führt, sind offensichtlich zu

---

<sup>36</sup> Vgl. Hayles 1999, Weber 2003a

produktiven Momenten der Technowissenschaften geworden, die nicht weniger als die Kybernetik auf Naturbeherrschung und die Konstruktion effizienter technischer Artefakte auf der Grundlage einer umfassenden - nun biokybernetischen - Systemrationalität zielen. Der Engel des Rauschens steht Pate für eine neue Kontrollwissenschaft.

## Literatur

- Becker, Barbara (1992): *Künstliche Intelligenz: Konzepte, Systeme, Verheißungen*. Frankfurt a.M. / New York
- Becker, Barbara (2000): *Cyborgs, Robots und Transhumanisten. Anmerkungen über die Widerständigkeit eigener und fremder Materialität*. In: dies. (Hg.): *was vom Körper übrig bleibt*. Frankfurt a.M. / New York: Campus
- Becker, Egon and Wehling, Thomas (1993) *Wissenschaft und Modernisierung*, in Becker, Egon and Wehling, Thomas, *Risiko Wissenschaft. Ökologische Perspektiven in Wissenschaft und Hochschule*. Frankfurt a.M. / New York: Campus, pp. 35-59
- Bertalanffy, Ludwig von: ... aber vom Menschen wissen wir nichts. Düsseldorf u.a. : Econ-Verlag, 1970
- Brooks, Rodney (1986): *Achieving Intelligence Through Building Robots*. A.I. Memo 899. In: <http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/AIM-899.pdf> (last access: 2/2003)
- Brooks, Rodney (2002): *Menschmaschinen. Wie uns die Zukunftstechnologien erschaffen*. Frankfurt a.M. / New York: Campus
- Christaller, Thomas (1998): *Mit dem Roboter der Natur auf der Spur*. In: *Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Roboter erobern den Alltag*, 104-108
- Christaller, Thomas / Decker, Michael / Gilsbach, Joachim-Michael / Hirzinger, Gerd / Lauterbach, Karl / Schweighofer, Erich / Schweitzer, Gerhard / Sturma, Dieter (2001): *Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft*. Berlin et al.: Springer
- Cordis (Community Research & Development Information Service) (2001): *Information Society Technologies. Future & Emerging Technologies - Proactive Initiative 2000: Neuroinformatics for "living" artefacts (NI)*. Strategic Planning Workshop. Future Research Domains at the Frontiers of Science and Technology. Brussels, 26./27. April 2001. Report on Discussions held in Panel 1: Physical Sciences. <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/fet6fp-13.pdf> (last access: 6/03)
- Di Paolo, Ezequiel (2003): *Adaptive Systems. Lecture 2: Cybernetic roots of AI*. In: <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ezequiel/AS2002/lectures/AdaptiveSystems2.ppt> (last access 1/2003)
- Dautenhahn, Kerstin / Christaller, Thomas (1997): *Remembering, rehearsal and empathy - towards a social and embodied cognitive psychology for artifacts*. In: <ftp://ftp.gmd.de/GMD/ai-research/Publications/1996/Dautenhahn.96.RRE.pdf> (last access 10/2000; auch erschienen in: *Two Sciences of Mind. Readings in Cognitive Science and consciousness*. John Benjamins, 257-282)
- Dreyfus, Herbert (1985): *Die Grenzen künstlicher Intelligenz - Was Computer nicht können*. Königstein/Ts.
- Emmeche, Claus (1994): *Das lebende Spiel. Wie die Natur Formen erzeugt*. Reinbek
- Galison, Peter: *Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik*. In: Michael Hagner (Hg.): *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*. Frankfurt a.M. 2001, 433-488
- Gloy, Karen (1995): *Das Verständnis der Natur. Band 1: Die Geschichte des wissenschaftlichen Denkens*. München
- Haraway, Donna (1995): *Ein Manifest für Cyborgs. Feminismus im Streit mit den Technowissenschaften*. In: dies.: *Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen*. Hg. von Carmen Hammer und Immanuel Stieß. Frankfurt a.M. / New York, 33-72 (im Orig.: Haraway, Donna, *Manifesto for Cyborgs: Science, Technology, and Socialist Feminism in the 1980s*, *Socialist Review* 80, 1985, p. 65-108)
- Haraway, Donna J. (1997): *Modest\_Witness@Second\_Millennium. FemaleMan<sup>e</sup>\_Meets\_OncoMouse<sup>TM</sup>*. *Feminism and Technoscience*. New York / London: Routledge
- Hayles, N. Katherine (1999): *How We Became Posthuman : Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*: University of Chicago Press
- Hayles, N. Katherine (2003): *Computing the Human*. In: Jutta Weber / Corinna Bath (Hg.): *Turbulente Körper, soziale Maschinen. Feministische Studien zur Wissenschaftskultur*. Opladen: Leske & Budrich
- Heylighen, Francis / Joslyn, Cliff (2001): *Cybernetics and Second-Order Cybernetics*. <http://pespmc1.vub.ac.be/Papers/Cybernetics-EPST.pdf> (auch erschienen in: Robert A. Meyers (ed.): *Encyclopedia of Physical Science & Technology* (3rd ed.), New York: Academic Press)
- Husbands, Phil / Meyer, Jean-Arcady (eds.) (1998): *Evolutionary Robotics. First European Workshop, EvoRobot98, Paris, France, April 16-17, 1998, Proceedings*, Berlin et. al.: Springer 1998, 1-21
- Jacob, François (1977): *Evolution and Tinkering*. In: *Science*, 10.June, Vol. 196, Nr. 4295, p. 1161-1166
- Kay, Lily E. (1994): *Wer schrieb das Buch des Lebens?* In: Rheinberger, Hans-Jörg / Bettina Wahrig-Schmidt / Michael Hagner (Hg.): *Objekte, Differenzen und Konjunkturen. Experimentalsysteme im historischen Kontext*. Berlin, 151-179
- Kay, Lily E. (1996): *Life as Technology: Representing, Intervening, and Molecularizing*. In: Sahotra Sarkar (ed.): *The Philosophy and History of Molecular Biology: New Perspectives*. Dordrecht / Boston / London, 87-100
- Keller, Evelyn Fox (1995): *Refiguring Life. Metaphors of Twentieth-Century Biology*. New York / Chichester
- Keller, Evelyn Fox (1996): *Der Organismus: Verschwinden, Wiederentdeckung und Transformation einer biologischen Kategorie*. In: Scheich, Elvira (Hg.): *Vermittelte Weiblichkeit: feministische Wissenschafts- und Gesellschaftstheorie*. Hamburg, 313-334
- Keller, Evelyn Fox (2001): *Das Jahrhundert des Gens*. Frankfurt a.M. / New York

<sup>37</sup> vgl. Bertalanffy 1970, Osietzki 2003

- Langton, Christopher G. (1996): Artificial Life. In: Margaret Boden (ed.): The Philosophy of Artificial Life. Oxford, 39-94
- Latour, Bruno (1995a): Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie. Berlin (im Orig. 1991)
- Leps, Günther (2000<sup>3</sup>): Ökologie und Ökosystemforschung. In: Jahn, Ilse / Löther, Rolf / Senglaub, Konrad (Hg.): Geschichte der Biologie: Theorien, Methoden, Institutionen, Kurzbiographien. Heidelberg, Berlin: Spektrum, 601-619
- Newell, Allen / Simon, Herbert (1976): Computer Science As Empirical Inquiry: Symbols and Search. Communications of the ACM 19:113-126
- Nolfi, Stefano / Floreano, Dario (2000): Evolutionary Robotics. The Biology, Intelligence, and Technology of Self-Organizing Machines. Intelligent Robots and Autonomous Agents. Cambridge / MA
- Nordmann, Alfred (2004): Was ist TechnoWissenschaft - Zum Wandel der Wissenschaftskultur am Beispiel von Nanoforschung und Bionik', in: Torsten Rossmann & Cameron Tropea (eds.), Bionik - Neue Forschungsergebnisse aus Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften, Berlin: Springer
- Osietzki, Maria (2003): Das "Unbestimmte" des Lebendigen als Ressource wissenschaftlich-technischer Innovationen. Menschen und Maschinen in den epistemologischen Debatten der Jahrhundertwende. In: Jutta Weber / Corinna Bath Bath (Hg.): Turbulente Körper, soziale Maschinen. Feministische Studien zur Wissenschaftskultur. Opladen: Leske & Budrich, 137-150
- Penzlin, Heinz: Die theoretische und institutionelle Situation in der Biologie an der Wende vom 19. zum 20.Jh. In: Jahn, Ilse / Löther, Rolf / Senglaub, Konrad (Hg.): Geschichte der Biologie: Theorien, Methoden, Institutionen, Kurzbiographien. Heidelberg, Berlin: Spektrum, 431-440
- Pfeifer, Rolf / Scheier, Christian (1999): Understanding Intelligence. Cambridge, MA
- Pfeifer, Rolf (2001): Embodied Artificial Intelligence. 10 Years Back, 10 Years Forward. In: Reinhard Wilhelm (Ed.): Informatics. 10 Years Back. 10 Years Ahead, Lecture Notes in Computer Science, Berlin / Heidelberg: Springer, 294-310)
- Pickering, Andrew (1998): a gallery of monsters: cybernetics and self-organisation, 1940-1970. Paper given at the weekly seminar of the Dibner Institute for the History of Science and Technology, MIT; Dec. 1998. In: <http://dibinst.mit.edu/DIBNER/Fellows/Misc/Pickering.htm> (last access 6/03)
- Pickering, Andrew (2001): In the Thick of Things. Keynote address at the conference 'Nature Seriously, Univ. of Oregon, Eugene 25-27-Febr. 2001. In: <http://www.soc.uiuc.edu/faculty/pickering/itt.pdf> (last access 2/2003)
- Pickering, Andrew (2002): Cybernetics and the Mangle: Ashby, Beer and Pask. In: Social Studies of Science 32/2, June, 413-437
- Prigogine, Ilya / Stengers, Isabelle (1984): Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature. New York: Bantam Books
- Schrödinger, Erwin (1999): Was ist Leben? München / Zürich (im Orig. 1944)
- Snow, Charles Percy (1959) The Two Cultures and the Scientific Revolution. Cambridge: Cambridge University Press, 1959
- Steels, Luc / Brooks, Rodney (eds.) (1993): The Artificial Life Route to Artificial Intelligence. Building Situated Embodied Agents. New Haven
- Stewart, David J. (2000/1959): About Cybernetics. In: <http://www.hfr.org.uk/cybernetics-pages/origins.htm>
- Suchman, Lucy (1987): Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication. Cambridge University Press
- Wahrig, Bettina (2002): Zeichen - Materialität - Technofetisch: Einige Thesen zu Embodiment / Verkörperung in Beziehung auf Technofakte. In: Unveröffentlichtes Positionspapier der Tagung *Embodied Agents of Life- and Cyberscience* der Wissenschafts- und Technikgeschichte, TU Braunschweig und der Informatik der Uni Bremen in Bredbeck 2002, Tagungsreader, 55-57
- Weber, Jutta (2003a): Umkämpfte Bedeutungen: Naturkonzepte im Zeitalter der Technoscience. Frankfurt a.M. / New York
- Weber, Jutta (2003b): Hybride Technologien: Technowissenschaftsforschung als transdisziplinäre Erkenntnispolitik. In: Gudrun-Axeli Knapp / Angelika Wetterer: Achsen der Differenz. Gesellschaftstheorie & feministische Kritik II. Münster: Westfälisches Dampfboot, 198-226
- Wiener, Norbert (1948): Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine. New York: Wiley (dt.: Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschinen, Reinbek 1968)
- Wiener, Norbert (1950): The Human Use of Human Beings. Cybernetics & Society. Boston: The Riverside Press
- Wiener, Norbert (1964): God, Golem, Inc. Cambridge, MA