

Berechenbare Organismen, wildgewordene Maschinen: Heilversionen und Apocalyptica der Life Science

Weber, Jutta

2002

<https://doi.org/10.25595/4471>

Veröffentlichungsversion / published version
Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Weber, Jutta: *Berechenbare Organismen, wildgewordene Maschinen: Heilversionen und Apocalyptica der Life Science*, in: Bulletin Texte / Zentrum für Transdisziplinäre Geschlechterstudien / Humboldt-Universität zu Berlin (2002) Nr: 24, 73-86. DOI: <https://doi.org/10.25595/4471>.

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY 4.0 Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu dieser Lizenz finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY 4.0 License (Attribution). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>

Jutta Weber

Berechenbare Organismen, wildgewordene Maschinen: Heilvisionen und Apocalyptica der Life Science¹

„Der Mensch zeugt den Menschen nach seinem Ebenbilde. Dies scheint das Echo oder der Prototyp des Schöpfungsakts zu sein, in dem vermutlich Gott den Menschen nach seinem Ebenbilde geschaffen hat. Kann etwas Ähnliches vorkommen in dem weniger komplizierten ... Fall nicht lebender Systeme, die wir Maschinen nennen?“ (N. Wiener)

Life Science als Wissenschaft vom (künstlichen) Leben

Während traditionell die ‚Life Sciences‘ im angloamerikanischen Sprachgebrauch die Biowissenschaften bzw. Bio- und Gentechnologien bezeichnen, ist seit den 90er Jahren verstärkt von der ‚Life Science‘ (im Singular!) die Rede. Die Begriffsverschiebung von den ‚Life Sciences‘ hin zum Begriff *der* ‚Life Science‘, die heute als *die* Wissenschaft vom Leben gilt, reflektiert die Wende von den Natur- zu den Technowissenschaften². Letztere haben sich zunehmend auf eine lebendige Natur fokussiert, die in informationstheoretischen Begriffen konzeptualisiert und operationalisiert wird. Sie wird als sich selbst optimierendes Programm interpretiert, das sich *als Programm* verbessern lässt. Dieses neue Verständnis von Natur bzw. vor allem des Lebendigen als (genetischem) Programm, als immaterielle Information, die es zu entziffern und umzuschreiben gilt, erlaubt es, den Bereich des Lebendigen, der sich dem mechanistischen Paradigma neuzeitlicher Naturwissenschaft noch weitgehend entzog, nun in ähnlicher Weise mathematisch bzw. informationstheoretisch zu fassen wie den Bereich des Toten.

Die ‚Life Science‘ ist also ein Hybrid diverser Technowissenschaften, Produkt einer Fusion von Gentechnologie, Biowissenschaften und Informationswissenschaften. Sie gilt zunehmend als „*die* Schlüsseltechnologie der Zukunft“ (Becker 2000, 41; Hervorhebung im Original). Gegenstand ihrer Untersuchungen ist „[d]as Leben selbst, insbesondere seine organischen Grundlagen“ (ebd.). Dabei ließe sich spekulieren, ob sich nicht im Singulär-Werden des Begriffs der Life Science die Reduktion dieser Wissenschaften auf universale und allgemeine Prinzipien spiegelt, die vor allem durch die Mathematisierung und Informatisierung des Lebendigen möglich wird: Die Suche nach den organischen Grundlagen bzw. den „Algorithmen der lebenden Welt“ (Jacob 1972, 319) in logisch-mathematischen und informationstheoretischen Begrifflichkeiten teilen die Bio- und Informationswissenschaften.

Im Folgenden werde ich mich auf die Life Science namens ‚Artificial Life‘ konzentrieren, welche ein Konglomerat von Bio- und Informationswissenschaften ist und auf die

¹ Dieser Beitrag beruht auf einem Vortrag im wissenschaftlichen Kolloquium des Zentrums für interdisziplinäre Frauenforschung (ZIF) in Berlin am 15. Juni 2001.

² vgl. ausführlicher hierzu Weber 2002

Konstruktion des Lebendigen zielt – in der Wetware genauso wie in der Soft- und Hardware.³ Diese enger gefasste Artificial Life-Forschung und die mit ihren Ansätzen arbeitende Robotik ist darauf gerichtet, „Lebendiges jenseits des organischen Substrats zu konstruieren“ (Becker 2000, 41) und auf mechanische Systeme, z.B. auf Siliziumbasis, zu übertragen. Während Gentechnologie und Biowissenschaften eher daran interessiert sind, neues Leben in Form von kohlenstoffbasierten Organismen und organischen Substanzen jenseits der ‚natürlichen‘ Evolution zu produzieren, gehen die Forschungsbereiche Robotik, Künstliche Intelligenz (KI) und Artificial Life (kurz Alife oder AL) den umgekehrten Weg: Hier geht es um „[d]ie Konstruktion von intelligenten Artefakten ... durch Simulation lebendiger Prozesse auf der Basis *nicht-organischer* Substrate. Dabei stehen vor allem Versuche im Vordergrund, entsprechende Systeme zu autonomem Verhalten in komplexen Umwelten zu befähigen.“ (Becker 2000, 44; Hervorhebung von mir) Leben soll in der Hardware (Roboter) und Software (Computerprogramme) erweckt werden.

Artificial Life

Allgemeines Ziel der Artificial Life-Forschung ist die Erkundung der „essential properties of life – properties that must be shared by any living system *in principle*“ (Langton 1996, 39). Die Idee, allgemeine Prinzipien zu destillieren und in künstliche Medien zu implantieren, erscheint weniger wunderbar, wird man gewahr, dass heute Leben sowohl in der Cyberscience als auch in den neueren Biowissenschaften häufig als ein allgemeines Prinzip verstanden wird, welches sich primär in Selbstorganisation und genetischem Programm manifestiert und in seiner Logik weitgehend unabhängig von der Materie ist⁴. Auf dieser Grundlage hält es die AL-Forschung für möglich, nicht nur maschinelle Intelligenz, sondern auch Leben in silicio zu schaffen oder wenigstens zu simulieren. Der bekannte Robotikforscher und Unternehmer Rodney Brooks am Massachusetts Institute of Technology in Boston drückt das folgendermaßen aus: „Mein Wunsch ist es, vollkommen autonome bewegliche Agenten herzustellen, die mit den Menschen in der Welt koexistieren und die von diesen Menschen als gleichberechtigte, intelligente Wesen angesehen werden. Ich würde solche Agenten *Kreaturen* nennen.“ (Brooks nach Levy 1996, 335; Hervorhebung von mir)

Der transdisziplinäre Forschungsbereich ‚Artificial Life‘, in dem ForscherInnen aus der Mathematik, der Physik, der Informatik, der Kognitionspsychologie, der Neurophysiologie und der Biologie arbeiten, will das klassische mechanistische Paradigma, die alte „Logik des Technos“ (Kelly 1993, 106) überschreiten, das primär auf den Bereich der toten Materie gerichtet war. Und verschieden vom Bereich der Künstlichen Intelligenz, der – wie der Name schon sagt – auf die Nachschöpfung menschlicher Intelligenz zielt, will Artificial Life die basaleren Prozesse auf der Ebene des Lebens nachschöpfen, die nun als Voraussetzung für die Ausbildung von Intelligenz gelten. Die „Algorithmen der lebenden Welt“

³ vgl. Hayles 1999, 225

⁴ vgl. Kay 1996; Keller 1995, 2002

(Ich danke Evelyn Fox Keller für die Überlassung ihres noch unveröffentl. Kapitels zu Artificial Life Forschung in ihrem neuen Buch.)

(Jacob 1972, 319) sollen extrahiert und in künstlichen Medien simuliert bzw. produziert werden.

Dabei scheidet sich die AL-Forschung in zwei Strömungen: Die starke Variante der AL-Forschung zielt direkt auf die Nachschöpfung des Biologischen und gibt sich nicht – wie der schwache Ansatz der AL-Forschung – mit einer Simulation bzw. Analyse der ‚Lebensprinzipien‘ zufrieden, sondern er motiviert sich gerade aus der Schöpfung von *neuem, postbiologischem Leben*. Der ‚Vater‘ der AL-Forschung, Christopher G. Langton spricht dies selbst klar und deutlich aus: „Note that we expect the synthetic approach to lead us not only to, but quite often *beyond*, known biological phenomena: beyond *life-as-we-know-it* into the realm of *life-as-it-could-be*.“ (Langton 1996, 40)

Die entscheidenden Kriterien für Leben ist der AL-Forschung zufolge Information sowie Emergenz. Nach Christopher Langton, einem der bekanntesten AL-Forscher, manifestiert sich Leben primär in der *(In)Formierung* von Materie, in ihrer Selbstorganisation und deren emergenten Effekten: „Life is a property of form, not of matter, a result of the organization of matter rather than something that inheres in the matter itself. Neither nucleotides nor amino acids nor any other carbon-chain molecule is alive – yet put them together in the right way, and the dynamic behaviour that emerges out of their interactions is what we call life“ (Langton 1996, 53). Innerhalb dieser Logik ist die Überführung von Organismen bzw. lebenden Systemen in Maschinen (und vice versa) sowie die technische Nachkonstruktion von Leben reibungslos möglich. Die Produktion von neuen Organismen scheint nur noch eine Frage der Umwandlung der (richtigen) Information durch kompetente Wissenschaftler zu sein.

Um aber die universale Anwendbarkeit der Muster der Selbstorganisation auf die ganze lebendige Natur garantieren zu können, muss die materiale Verfasstheit der jeweiligen Organismen und Entitäten von marginaler Bedeutung sein. Die Muster der Selbstorganisation, die – in unterschiedlich komplexer Form – die komplette Natur durchziehen, sind das bestimmende Element. Diese informationstheoretisch formulierten Muster liefern die Gesetze, mit deren Hilfe man die lebendige wie tote Natur in ihrer Logik begreifen, mathematisch-physikalisch und biochemisch rekonstruieren, produzieren, weiterentwickeln und zu autoevolutionären Sprüngen veranlassen kann. Dabei wird nicht bestritten, dass diese Operationalisierung einer materialen Grundlage bedarf, aber es wird davon ausgegangen, dass die jeweilige Beschaffenheit dieser materialen Grundlage für die Prozesse der Selbstorganisation, der Emergenz etc. irrelevant sind: „Die mathematischen Symmetrien von Elementarteilchen oder Molekülen sind zwar unabhängig vom jeweiligen stofflichen Träger definiert. Um aber physikalisch oder chemisch wirksam werden zu können, bedarf es eines jeweiligen materiellen Trägers. Die mathematische Struktur einer Information oder eines Computerprogramms ist zwar unabhängig von einem stofflichen Träger definiert. Um aber als Information oder Programm wirken zu können, bedarf es einen materiellen Trägers – sei es in den Genen einer Zelle, auf biochemischer Grundlage von Gehirnen oder mit den elektronischen Materialien herkömmlicher Computer.“ (Mainzer 1996, 87) Nur vage deutet der Wissenschaftsphilosoph Klaus Mainzer im Anschluss an, dass sich – wie Aristoteles schon wusste – „begriffliche Unterscheidungen wie ‚Stoff‘ und ‚Form‘ auf verschiedene Funktionen und Prinzipien der Natur [beziehen; J.W.], die aber voneinander abhängen

und keine separierte Existenz besitzen.“ (Mainzer 1996, 87) Nichtsdestotrotz wird von der Materie nur als Träger gesprochen.

Diese Trennung von Stoff und Form, von Materie und Information reproduziert eine uralte Polarisierung und Hierarchisierung innerhalb westlichen Denkens. Ihr zufolge ist Stoff nichts als Material, das passiv ist und dem eine Form aufgeprägt wird. Die Form ist das Kreative, das entscheidende und aktive Moment. Zumeist war und ist dann ersteres als ‚weiblich‘ und letzteres als ‚männlich‘ gekennzeichnet. Diese Argumentation findet sich von Aristoteles' Zeugungstheorie bis zur Entwicklungsbiologie und setzt sich auch in vielen kosmologischen Schöpfungs- und Weltordnungsvorstellungen innerhalb der Philosophie bis zum heutigen Tag fort⁵.

Grundlage der Schöpferpotenz maskulinistischer Wissenschaft ist also nach altvertrautem Muster die Überlegenheit des Geistigen über das Körperliche, der Information über die Materie⁶ – wobei häufig zweiteres dem sogenannten Weiblichen zugeordnet wird⁷. Diese setzt sich also auch in der neuesten Hightech-Forschung fort. Auch sie ist – zumindest partiell – eine Wissenschaft, die sich als allmächtig imaginiert und voller Schöpfungs- und Omnipotenzphantasien steckt. Donna Haraway beschreibt diese Haltung mit Blick auf die Molekularbiologie und Genetik sehr treffend: „Nature is the program; we replicated it, we own it; we are it. Nature and culture implode into each other and disappear into the resulting black hole, Man™ makes himself in a cosmic act of onanism. The nineteenth-century transfer of God's creative role to natural processes, within a multiply stratified, ... industrial culture committed to rentless constructivism and productionism, bears fruit in a comprehensive biotechnological harvest in which control of the genome is control of the game of life itself – legally, mythically, and technically.“ (Haraway 1997, 149f)

Diese Perpetuierung der alten maskulinistischen Forschungsprogramme und die Dualisierung von Geist und Materie, Geist und Körper, von Software und Hardware lässt sich sehr schön auch an den Apocalyptica und Heilsvisionen der AL-ForscherInnen studieren. Die Hoffnungen, die mit diversen Schöpfungsphantasien verbunden werden, sind außerordentlich: Von der glücklichen Übertragung der Lebensprinzipien auf Maschinen und der Erzeugung künstlicher Wesen verspricht sich der starke Ansatz der AL-Forschung noch viel. Schon 1989 prophezeiten die AL-Forscher Doyne Farmer und seine Assistentin Aletta Belin⁸: „Innerhalb von fünfzig bis einhundert Jahren wird voraussichtlich eine neue Klasse von Organismen entstehen. Diese Lebewesen werden in dem Sinne künstlich sein, als sie von Menschen gestaltet wurden. Dennoch werden sie sich fortpflanzen und in Formen umwandeln, die anders als ihr Ursprung sind. Sie werden ‚leben‘ in des Wortes eigentlicher Bedeutung ... Der Beginn einer Ära des Künstlichen Lebens wird das wichtigste historische Ereignis seit der Entstehung des Menschen sein...“ (J. Doyne Farmer / A. d. A. Belin nach Levy 1996, 11)

⁵ vgl. u.a. Klinger 1995, 43ff.

⁶ vgl. Hayles 1999, 19

⁷ vgl. u.a. Keller 1992, Saupe 2002

⁸ Um Missverständnissen vorzubeugen: ein maskulinistisches Wissenschaftsverständnis findet sich nicht nur bei als männlich geltenden Menschen.

Heilsvisionen

Diese und andere Träume, Prophezeiungen und Visionen spinnen AL-ForscherInnen bis heute. Grundlage dieser Beherrschungsphantasie ist es, eine Natur, die als mathematisch bzw. logisch verfasst unterstellt wird, vollständig zu erkennen. So bekennt der Biologe und AL-Forscher Stuart Kauffman: „Ich habe mir immer gewünscht, daß die Ordnung, die man in der Welt findet, nicht außergewöhnlich, seltsam, sonderbar oder gestellt ist – sondern daß sie im mathematischen Sinn logisch ist. Typisch. Natürlich. Grundsätzlich. Zwangsläufig. Gottähnlich. Ja, das ist es. Es ist das Herz Gottes, das ich in gewisser Weise immer gesucht habe, nicht seine lenkenden Hände.“ (Kauffman nach Levy 1996, 159) Auch der frühe AL-Forscher Stephen Wolfram glaubte: „daß er auf dem Weg sei, die verborgenen Gesetze, die das Universum regieren, letztlich zu entschlüsseln und eine ‚allgemeine mathematische Theorie, die die Natur und die Erzeugung von Komplexität beschreiben könnte‘, zu entwickeln ...“ (Levy 1996, 106). Ernsthaft scheinen einige dieser AL-ForscherInnen zu glauben, dass sie es sein werden, die die „gut gehüteten Geheimnisse der Natur entschlüsseln werden, die letztlich auch das Verhalten lebender Systeme diktieren.“ (ebd.)

Für manche der AL- und RobotikforscherInnen ist der Traum von autonomen Kreaturen in fast greifbare Nähe gerückt. Hans Moravec – Leiter des Roboter-Laboratoriums in Carnegie Mellon, Massachusetts – geht davon aus, dass es im Jahre 2030 einen Roboter mit menschenähnlichen Fähigkeiten geben wird. Doch seine Visionen und Zukunftsszenarien sind noch weitreichender: Er hofft auf den baldigen Download des menschlichen Bewusstseins auf Festplatte. Fortgeschrittene neurologische Elektronik soll allmählich die Materie der grauen Zellen ersetzen⁹, das biologische Gehirn obsolet machen und: „unsere Persönlichkeit und unsere Gedanken werden klarer als jemals zuvor erscheinen, ...“ (Moravec 1998, 330)

Vermeintlich losgelöst von der lästigen Materie dreht sich alles um unsere kognitiven Prozesse, die reiner, klarer, eben ‚optimierter‘ werden sollen. Allerdings bleibt unklar, inwieweit es überhaupt Information jenseits materialer Grundlagen geben kann. Zudem könnte man zynisch fragen, wieviel uns dieses angeblich klarere Denken hilft, folgt man den Visionen Moravecs und anderer AL-ForscherInnen weiter. Anvisiert wird u.a. die Erzeugung von *sich selbst reproduzierenden* (!) und entwickelnden Super-Robotern, die zunehmend ihre Schöpfer überholen. Die Konsequenzen dieser projizierten Entwicklung bringt Moravec unverblümt auf den Punkt: „Wenn intelligente Roboter ihre eigenen Nachfolgegenerationen entwerfen, wird sich die technische Entwicklung überschlagen. Den Menschen bleibt die Wahl, sich entweder die faszinierenden Mechanismen der Roboter anzueignen und auf diese Weise selbst zum Roboter zu werden oder in die Bedeutungslosigkeit zu versinken.“ (Moravec 1998, 322) Dem belgischen Robotikforscher Luc Steels zufolge wird der Mensch zum ‚homo cyber-sapiens‘ mit seinem Gefährten, dem ‚Robo hominidus intelligens‘ (Steels 1996). Nun ließe sich spekulieren, ob der Traum von der reproduktiven Maschine und der Koevolution des Menschen mit ihr nicht von einer ähnlichen Vision gespeist wird wie die aktuelle Entwicklung im Bereich der Reproduktionstechnologie. Während in letzterer die Reproduktion zunehmend aus den Menschen bzw. vor allem Frauen ‚ausgelagert‘ werden soll und ihre Kontrolle in

⁹ vgl. Moravec 1998, 330

vitro angestrebt wird, soll auf der anderen Seite die Reproduktion und Evolution des Menschen gezielt durch Software und Roboter gesteuert werden.

Gleichzeitig erscheint der ‚natürliche‘ Organismus, die wetware, zunehmend als ein fragiles und instabiles Konstrukt. Denn wenn auch die Artificial Life-Forschung einen ‚kybernetischen Platonismus‘ (Hayles 1999) verfolgt, indem sie auf einer rigiden Trennung von Materie und Information aufbaut, so basiert sie doch zugleich auch auf einer radikalen Rekonfiguration des Lebenskonzepts. Selbst AL-ForscherInnen gehen davon aus, dass Leben mehr sein muss als die Speicherung und Übertragung von Daten – ansonsten ließen sich Phänomene wie Evolution und Veränderung nicht erklären. Um dies zu können, benutzten sie ein sehr dynamisches Modell des Körpers als offenes System: Mit Bezug auf die Theorie nichtlinearer Systeme beschreiben AL-ForscherInnen ein lebendiges System als eines, das sich auf einer Gratwanderung zwischen Ordnung und Chaos befindet, welches sich durch emergentes Verhalten permanent wandelt. Dieser theoretische Rahmen soll auch die Konstruktion von komplexen und flexiblen künstlichen Systemen ermöglichen, die die Fähigkeit besitzen zu wachsen und sich in neue Richtungen zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund vollzieht sich die Rekonfiguration des Körpers als posthuman und *turbulent*.¹⁰ Dieser Körper ist mit fließenden Grenzen ausgestattet, ein offenes und flexibles System, das verteilt und parallel organisiert ist, das auf der Produktion von Differenzen beruht und sich permanent neu erfindet. Der Körper aktueller technowissenschaftlicher Diskurse und Praktiken ist einer, dessen Grenzen ununterbrochen konstruiert und rekonstruiert werden: „[C]omplex feedback loops are the means through which deviations are generated, therefore putting in motions the turbulent machine of life ... Life does not tend towards entropy but towards deviation, mutation and variation leading to increased levels of complexity.“ (Parisi / Terranova 2000, 9) Dieses dynamische und turbulente Körpersystem, wie es von der Life Science entworfen wird, erscheint flexibel, aber vor allem auch kontingent und verletzlich. Es lässt sich spekulieren, ob und inwieweit der instabil gewordene Körper nicht als weiblich imaginiert wird und ob dieser nicht als Legitimationsgrundlage für die Entwicklung von Artefakten „beyond the made and the born“ (Cordis 2000, 1) dient. Der neue turbulente Körper mit seiner Fähigkeit der Emergenz und der Verschiebung scheint ein produktives Modell für die Entwicklung von flexiblen, multifunktionalen Maschinen zu sein bzw. auch für die Fusion von Körpern und Maschinen. Doch diese zunehmende Flexibilisierung des Körpers, seine Loslösung aus alten, statischen und naturalistischen Konzepten scheint nicht gerade zu einer postessentialischen Körperpolitik zu führen – jenseits der Kategorien von Geschlecht, Rasse, Alter etc., sondern scheint eher dazu, dieses offene, dynamische Netzwerksystem namens Körper als verletzlich, anfällig und gefährdet wahrzunehmen. Der kohlenstoffbasierte Körper wird als Herd der Bedrohung und Anfälligkeit interpretiert und diese Bedrohung wird primär in der materialen Basis festgemacht. Während die Prozesse der Verschiebung, Mutation und Abweichung in siliziumbasierten Systemen als vielversprechend für die Entwicklung neuer, intelligenter Software und Roboter interpretiert werden, erscheint die menschliche, turbulente ‚wetware‘ als unzureichend, welche unbedingt mit technischen Hilfsmitteln bzw. künstlichen Systemen stabilisiert, unterstützt und geschützt werden muss. Letztere erscheinen erstaunlicherweise in dieser Logik als robuster, wobei doch

¹⁰ vgl. Parisi / Terranova 2000

die tägliche und häufig frustrierende Erfahrung mit Computern eigentlich eine andere Einschätzung vermuten ließe.

Doch eine der am häufigsten zu findenden Visionen im AL-Diskurs ist die von neuen Weisen der Autoevolution, die am besten in Koevolution von Maschinen und Menschen erfolgen sollte¹¹, deren Endpunkt meist der Transfer des menschlichen Bewusstseins (in Form von Informationsstrukturen) in die Maschine ist. Die anscheinend entscheidende Qualität des Menschlichen wird in angeblich belastbarere, stabilere und endlos erneuerbare ‚hardware‘ verlagert. Heutzutage gilt der kohlenstoffbasierte Körper als „window of vulnerability“ (Haraway 1991, 224). Während die feministische Theoretikerin Donna Haraway davon träumt, dieses Fenster offen zu halten und die neuen Möglichkeiten des turbulenten Körpers auszuprobieren, sieht sie doch sehr deutlich, dass im dominanten Diskurs der Technoscience eher die Phantasie der „perfection of the fully defended, ‚victorious‘ self“ (ebd.) zu herrschen scheint.

Apocalyptica bzw. Schauergeschichten

Doch diese Zukunftsszenarien der AL-Forschung haben noch eine andere, dunkle Seite. Die als omnipotent und lebendig imaginierten Maschinen – die lernen, sich weiterentwickeln und selbst reproduzieren sollen – erwecken gleichzeitig die Befürchtung, dass sie irgendwann den Menschen überflügeln und selbst das Ruder in die Hand nehmen werden. So breitet sich in diesem Forschungszweig, der auf die Lernfähigkeit und Autonomie seiner Artefakte zielt, auch der *zunehmende Zweifel an der Möglichkeit der Analyse und Beherrschbarkeit der eigenen Arbeit*, der Forschungsprojekte und -objekte aus. Einige AL-ForscherInnen gehen davon aus, dass zukünftig entwickelte ‚Robotergehirne‘ derart komplex konstruiert und groß sein werden, dass sie sich einer klassischen Analyse entziehen. Rodney Brooks benennt schon heute die zentralen Eigenschaften seiner Roboter als ‚fast, cheap‘ – und vor allem: ‚out of control‘ (Brooks / Flynn 1989). Gleichzeitig werden von den unterschiedlichsten AL-ForscherInnen Überlegungen zu den Folgen einer derartigen Roboter-Technologie angestellt: „Wenn unser Ziel die Entwicklung autonomer Roboter-Subjekte – nicht *Maschinen* – ist, dann müssen sie mit dem gleichen Selbsterhaltungstrieb [wie lebende Systeme; J.W.] ausgestattet werden“ (Steels 1996, 339). Und schon stellt sich die Frage, ob man solche Roboter noch ausschalten kann bzw. in welcher Form sie sich selbständig verhalten könnten. Allerdings ließe sich hier erst mal ganz prosaisch festhalten, dass schon ‚ganz normale‘ Computer nicht immer nur tun, wozu sie programmiert wurden – bzw. dass diese Programmierung auch zu Optionen führen kann, die zuvor nicht bedacht wurden und dann als Abweichung erscheinen.

Generell ist allerdings zu sagen, dass das Problem der Kontrollierbarkeit der eigenen technischen Artefakte nicht erst mit der AL-Forschung in die Welt gekommen ist. Risiken von Technologien werden seit der synthetischen Chemie, der Atomphysik und der Reproduktions- und Gentechnologie breit diskutiert, aber auch die Erfindung der Dampfmaschine, des Autos oder des Films löste heftige Diskussionen über die unkontrollierbaren Folgen der neuen Artefakte bzw. von Technik generell aus. Gleichzeitig ist

¹¹ vgl. u.a. Moravec 1998; Steels 1996

der Topos von der Unkontrollierbarkeit ein beliebter Einstieg, um die Geschichte vom Zauberlehrling aufs Neue zu erzählen und apokalyptische Szenarien zu entwerfen. Einer der ‚Väter‘ der KI und AL-Forschung, Norbert Wiener, sinnierte schon in den fünfziger Jahren über die Gefahren von autonomen künstlichen Systemen¹². Das Thema des absoluten Kontrollverlusts über selbstgeschaffene künstliche Lebensformen scheint seinen eigenen ambivalenten Reiz zu haben. Eine wohlige Gänsehaut breitet sich aus, wenn Mary Shelley von Frankenssteins wildgewordenem Monster erzählt, wenn der Großrechner HAL 9.000 in Stanley Kubricks ‚Odyssee 2001 im Weltraum‘ langsam aber sicher das Kommando im Raumschiff übernimmt und versucht, jegliche menschlichen Subjekte zu eliminieren, oder wenn im Cyberpunk-Thriller ‚Matrix‘ schon längst intelligente Maschinen die Macht übernommen haben, welche Menschen nur noch als Stromerzeuger benutzen. Doch diese schaurig-genüssliche Überwältigungsphantasie wird nicht nur in medialen Repräsentationen von Wissenschaft, sondern auch in dieser selbst gepflegt. Das schürt den Verdacht, dass diese apokalyptischen Szenarien generell die Funktion haben, Reklame für die Segnungen und Potentiale der neuen technowissenschaftlichen Artefakte zu machen.

Die Geschichten von der Potenz, den Möglichkeiten und Gefahren der neuen Wissenschaft Artificial Life – wie sie von Hans Moravec und anderen inszeniert werden – sind ein wichtiger Teil des ‚science business‘. Sie erwecken Lust auf diese unglaublichen, verheißungsvollen und völlig neuen Erfahrungen in einer entzauberten Welt. Gleichzeitig bedienen sie sehr geschickt aktuelle Ängste und Problemlagen: Die Flucht in die Weiten des Cyberspace und Weltraums und zu postbiologischen Lebensformen hat nicht zuletzt dann Konjunktur, wenn die Probleme auf diesem Planeten hoffnungslos unübersichtlich, überkomplex oder gar unlösbar erscheinen. Angesichts der zunehmend als problematisch eingeschätzten politischen, ökologischen und ökonomischen Situation auf der Erde kommen Visionen vom Überleben via Roboter, in Computerprogrammen und virtual reality, von der Überwindung körperlicher Existenz, wie gerufen. Einmal mehr sind es dann technische Lösungen für gesellschaftliche Probleme. Gleichzeitig wird diese technologisch veränderte Zukunft um so verlockender und verheißungsvoller, je bizarrer und ungewöhnlicher sie bebildert wird. Die Verlockung wächst je weiter die Imaginationen vom grauen Alltag mit seinen Problemen entfernt sind.

Die Unkontrollierbarkeit bzw. das ‚Wild-Werden‘ der Maschine¹³ ist natürlich auch eine wunderbare Entschuldigung für die Schöpfer dieser Artefakte, die im Zeitalter von Ethikkommissionen und verschärfter Technikkritik doch zunehmend unter Legitimationsdruck geraten: Denn wenn die Entwicklung komplexer künstlicher Systeme a priori nicht determinierbar ist, dann, so scheint es, kann man ihren Schöpfern auch keinen Vorwurf machen. Es liege ja nicht an den TechnowissenschaftlerInnen, sondern an der Unberechenbarkeit und Wildheit des Lebendigen selbst, seinen emergenten Effekten, welche die Artefakte unkontrollierbar macht, denen man ja nur ‚biologische Lebensprinzipien‘ implantiert hat.

¹² vgl. Wiener 1968, 249f.

¹³ Inwieweit diese Maschinen wiederum als ‚weiblich‘ imaginiert wären, wäre ein interessante Frage, die ich aus Platzgründen hier nicht weiter verfolgen kann.

Der Mensch wird in dieser naturalistischen Logik freundlicherweise von seiner Verantwortung entlastet. Wieder einmal ist es die Natur (und womöglich wird diese hier wieder als weiblich imaginiert), die letztendlich die Verantwortung zu tragen hat. Insofern erscheinen ihre Erfinder allerhöchstens als tragische Gestalten, die aufgrund der Eigendynamik des Artefakts in unvorhersehbare Entwicklungen verwickelt werden, die sie nicht antizipieren konnten. Man denke nur an Frankenstein. Die englische Wissenschaftsforscherin Sarah Kember skizziert diese fatale Entlastungslogik sehr treffend: „In an apocalyptic scenario, technology has run out of control and there seems to be little ‘we’ can do about it. For anarchists this is a cause of celebration, but for those with an investment in maintaining the status quo it is at once a means of abdicating responsibility for the future and legitimizing a reactionary politics otherwise known as conservatism. This kind of politics ... circles most frantically around computer technology and the simulative potential of what is loosely termed virtual reality.“ (Kember 1996, 257)

Die apokalyptischen Visionen neuer technowissenschaftlicher Entwicklungen, so unseriös sie oft auch in wissenschaftlichen Kontexten wirken mögen, helfen gleichzeitig die Wirkmächtigkeit, Dignität und Effektivität dieser Wissenschaften zu suggerieren bzw. den Glauben daran zu bekräftigen: Denn derart radikale Umwälzungen sind nur von einer erfolgreichen und potenten Wissenschaft zu erwarten.

Donna Haraway hat darauf hingewiesen, dass diese zwischen Heilsvision und Apokalypse inszenierten narrativen Selbstdarstellungen im Rahmen eines ‚christlichen Realismus‘ wesentlich zu den Legitimationsverfahren der Natur- und Technowissenschaften (nicht nur in den USA) gehören: „Man kann mit Recht behaupten, daß das Versprechen der Technoscience ihre hauptsächliche soziale Bedeutung ausmacht. In der Kultur der Nicht-Kultur waren schwindelerregende Versprechungen immer die Kehrseite der trügerisch nüchternen Pose von wissenschaftlicher Rationalität und modernem Fortschritt. Ob unbegrenzte, saubere Energie durch das friedliche Atom, künstliche, die bloß menschliche übertreffende Intelligenz, ein undurchdringlicher Schutzschild gegen Feinde drinnen und draußen oder die Überwindung des Alterungsprozesses jemals verwirklicht werden, ist weit weniger wichtig, als daß diese Ideen in der Zeitzone der unglaublichen Versprechungen stets lebendig bleiben. In bezug auf solche Träume ist die Unmöglichkeit ihrer materiellen Umsetzung auf dem üblichen Weg für die Wirksamkeit des Versprechens wesentlich.“ (Haraway 1996, 366)

Vergleicht man die Versprechungen mancher AL-ForscherInnen mit den bisher erreichten Produkten und Artefakten, wird deutlich, was Donna Haraway damit meint, dass „diese Ideen in der Zeitzone der unglaublichen Versprechungen“ (Haraway 1996, 366) verbleiben. Denn die technischen Möglichkeiten heutiger Robotik und Computerprogrammierung sind Lichtjahre von diesen Verheißungen entfernt. Der Robotikforscher Rodney Brooks schätzte Mitte der 90er Jahre das intellektuelle Niveau seiner Maschinen knapp unter dem Niveau eines Insekts ein¹⁴ und Moravec räumte kürzlich auf einer Konferenz ein, „dass die Jahre lange Roboterforschung bisher nicht einmal Wesen hervorgebracht hat, die mit dem Denkvermögen eines ‚kleinen Fisches‘ ausgestattet

¹⁴ vgl. Levy 1996, 371

sind“ (Krempf 2000, 219). Selbst der mit Blick auf den technischen ‚Fortschritt‘ eher optimistisch gestimmte AL-Forscher Ray Kurzweil weist neben anderen ForscherInnen darauf hin, dass eine noch so potente Hardware ohne intelligente Software nutzlos ist.¹⁵ Ray Kurzweil träumt deshalb davon, dass spätestens im Jahre 2029 Nanobots ihre Reise durch das menschliche Gehirn antreten, um dieses gezielt manipulieren zu können und ihm seine Geheimnisse abzulauschen. Dieses ‚Gehirn-Hacken‘ soll es dann endlich ermöglichen, die komplexen Informationsprozesse im Gehirn zu verstehen und in „Algorithmen [zu; J.W.] emulieren“ (Ray nach Krempf 2000, 219). Andere RobotikforscherInnen sind angesichts dieser Prognose skeptisch. Luc Steels hält das Entschlüsseln der Gehirnvorgänge durch Nanobots nicht für möglich, da er die Probleme der Robotikforschung weder in der unzureichenden Hardware und Software allein lokalisiert, sondern vor allem im „Fehlen einer Intelligenztheorie, insbesondere einer Theorie, die erklärt, wie eine in einer realen Umwelt verwurzelte Intelligenz entstehen könnte“ (Steels 1996, 336).

Doch die wildwuchernden Phantasien über die Zeugung intelligenter Roboter, künstlicher Gehirne oder gar der Konstruktion mit Chips und Software aus- und aufgerüsteter Menschen, die mit den Robotern konkurrieren, nehmen kein Ende – genauso wenig wie die Phantasien über den Kontrollverlust über diese potenten, lebendigen und eigenwilligen Maschinen, die es erst noch zu erfinden gilt. Das Schwärmen von posthumanistischen Zeiten im buchstäblichen Sinne greift um sich – eben nicht nur in Cyberpunk und Cyberculture, sondern auch als langfristige Perspektive seriöser, teilweise staatlich finanzierter Forschungsprojekte.

Visionen, Forschungsstand und Technoimaginäres

Angesichts der realen Möglichkeiten heutiger Computerprogrammierung und Robotikforschung ist es verwunderlich, wie gut die Heils- und Untergangsgeschichten der Technowissenschaft Artificial Life – auch im Zeitalter zunehmender Legitimationsprobleme der Natur- und Technowissenschaften – funktionieren. Sicherlich zeichnen sich heute schon gewisse Erfolge bei der Computerprogrammierung und Roboterkonstruktion durch den differenten Ansatz der AL-Forschung ab. Mit Hilfe der situierten¹⁶ Robotik, die wesentliche Elemente von AL aufnimmt, werden heute sich selbst kontrollierende Roboter gebaut, die bei weitem autonom agieren und auf Umweltsanforderungen adäquater reagieren als ihre Vorgänger (Boden 1996, 4), die im militärischen und extraterrestrischen Bereich schon mit Erfolg eingesetzt werden.¹⁷ Noch enger mit den Konzepten der AL ist die sogenannte evolutionäre Robotik verbunden, die versucht, das ‚Gehirn‘ und die ‚Sensomotorik‘ der Roboter ‚evolutionär‘ aus den Umweltsanforderungen entstehen zu lassen (Boden 1996, 5). Die US-amerikanische Regierung engagiert

¹⁵ vgl. Krempf 2000

¹⁶ vgl. zur situierten Robotik Boden 1996

Was bedeutet wohl diese Ironie der Geschichte, dass die Technowissenschaften Situietheit zu dem Zeitpunkt für sich entdecken, indem kritische Ansätze diese als wesentliches Moment post-essentialistischer Theorie betonen? Natürlich wäre genauer zu prüfen, wieviel ‚situated knowledges‘ (Haraway 1991) und situierte Robotik miteinander gemein haben.

¹⁷ vgl. Bachmann 1998; Randow 2000

sich angeblich schon seit 1990 in der Entwicklung militärisch nutzbarer Viren, die ja auch auf AL-Software basieren. Das Spektrum der bereits realisierten Anwendungen ist breit und geht von Computeranimation, -graphik und -spielen zu situierten Robotern, die in so unterschiedlichen Bereichen wie Kunst, Pharmazie- und Weltraumforschung, Architekturdesign, Militär, Wirtschafts- und Politikwissenschaften¹⁸ eingesetzt werden. Nichtsdestotrotz: Sieht man sich die eigentlichen Fähigkeiten dieser Artefakte genauer an, fragt man sich trotz aller Fortschritte, was diese Artefakte mit den von Moravec imaginierten Super-Robotern gemein haben oder wie manche AL-ForscherInnen ernsthaft zu der Meinung kommen können, dass Insektenroboter in absehbarer Zeit die Weltherrschaft übernehmen und Computercodes zu Leben erwachen: „How is it possible in the late twentieth century to believe, or at least claim to believe, that computer codes are alive – and not only alive but natural?“ (Hayles 1999, 224)

Einen Grund für diese völlig überzogenen Hoffnungen, Visionen und Apocalyptica sehe ich in der heutigen enormen Definitionsmacht der Technoscience, in der die Diskurse und Praktiken der Technowissenschaften eine mythische Aura gewinnen, die von den TechnowissenschaftlerInnen nicht zuletzt über apokalyptische und visionäre Geschichten mit in Szene gesetzt wird. Unterstützung erhalten diese schillernden Visionen durch die Unübersichtlichkeit des technowissenschaftlichen Entwicklungsprozesses, durch die sich auch die Grenze zwischen *science* und *fiction* auflöst. Was gestern noch als eine spannende, aber futuristische Idee im Science Fiction erschien, entpuppt sich am nächsten Tag als Realität – oder zumindest als Objekt oder Projekt realweltlicher technowissenschaftlicher Forschungsarbeit. Wer hätte es zum Beispiel vor 20 Jahren für möglich gehalten, dass die EU ein großes Förderprogramm startet zur Entwicklung von sich selbst reproduzierenden „artefacts that live and grow“; i.e. artefacts that self-adapt and evolve beyond pure programming“ (Cordis 2000, 1)?

Auf der anderen Seite ist die technische Nachkonstruktion einfachster Fertigkeiten von kohlenstoffbasierten Organismen bei Artefakten häufig ein kaum zu lösendes Problem der Forschung – wie z.B. in der Robotik das Aufstehen eines umgekippten vierbeinigen Roboters, das Treppensteigen für humanoide Roboter oder das Erkennen von Gegenständen.¹⁹ Angesichts dieser verwirrenden vielseitigen Möglichkeiten und Potenziale auf der einen Seite und der großen Leerstellen und voreiligen Versprechungen technowissenschaftlicher Forschung auf der anderen schwimmt die Grenze zwischen Science und Fiction. Realistische Einschätzungen des Stands der Forschung, aber auch der zukünftigen Entwicklungen, Möglichkeiten und Gefahren werden schwierig – eine wunderbare Voraussetzung, um die wildesten Imaginationen zu beflügeln. Sowohl die apokalyptisch wie die heilsgeschichtlich gefärbten (Selbst-) Inszenierungen der Technoscience²⁰, die eine Aura unheimlicher und omnipotenter Verfügungsgewalt hervorbringt, aber auch die Unberechenbarkeit und Unübersichtlichkeit der soziotechnischen Prozesse verleiht dem Technoimaginären seine Macht und verführt zu unglaublichen Ängsten und Hoffnungen, in dem auch Superroboter, Gehirn-Hacken und Bewusstseinstransplantationen ihren Ort haben.

¹⁸ vgl. u.a. Boden 1996; Levy 1996

¹⁹ vgl. Blakemore 1996, 121; Boden 1996

²⁰ vgl. Haraway 1996, 368

Gleichzeitig bleiben diese hochfliegenden Erwartungen, Visionen und Projekte doch sehr banalen Stereotypen – wie etwa denen des Geschlechts – verhaftet. So werden viele neue, sog. androide – also ‚menschenähnliche‘ – Roboter, sofern sie nicht als Maschine pur²¹ oder aber in die Form eines Astronauten²² verpackt werden, oft als ‚weiblich‘ inszeniert. Auf der amerikanischen Homepage des ‚Androidworld-President‘ Chris Willis findet man diese ‚female androids‘ am leichtesten in dem man den Button ‚domestics‘ – also alles was das häusliche Leben betrifft! – anklickt²³. Voller Stolz wird dort der Beginn des kommerziellen Robotik-Projekts ‚Valerie, a domestic Android‘ angekündigt: Das Bild einer großen, schlanken, dunkelhaarigen Schönen (?) mit grau-grünen Augen und tiefrotem Dress baut sich auf dem Bildschirm auf. Und warum nun dieses Outfit? Man muss über die Intentionen der Konstrukteure bei der Ausstaffierung des Roboters mit diesen ‚weiblichen‘ Insignien gar nicht lange mutmaßen – das Argument wird gleich mitgeliefert: „We are pleased to announce the commencement of our own domestic android project. This android will look like a woman. Why? Because a woman is less threatening than a full-sized adult male.“

(<http://www.androidworld.com/prod19.htm>, 1; last access 25.2.2002)

Allerdings erinnerte mich diese Figur eher an die verführerischen, aber doch durchaus auch ambivalenten Schönen in Kriminalfilmen und Science Fiction. Vermutlich dürfen diese weiblichen Roboter auch nicht zu niedlich sein, damit sie noch eine gewisse Kompetenz suggerieren und vor allem Begehren erwecken. Wenn man es nur niedlich und friedlich haben will, kann man sich ja an einen der vielen Spielzeug-Roboter in Tierform halten... Auf jeden Fall scheint es wichtig zu sein, gewisse Stereotypen und vertraute Muster in diese Szenarien der Heilsversprechungen und Apokalypsen zu integrieren.

Diese Heilsvisionen und apokalyptischen Szenarien, die sich in den Köpfen so vieler Wissenschaftler mit Begeisterung verselbständigen, reproduzieren und mutieren, haben Hochkonjunktur. Neben dem unterschwelligen Weitertransport altvertrauter Stereotypen, die die Identifizierung mit diesen Visionen erleichtern, liegt dies sicherlich auch an dem ethischen bzw. normativen Vakuum, in dem sich diese Strategien wissenschaftlicher Selbstinszenierung so gut ausbreiten können. Denn trotz der Legitimitätskrise²⁴ der Wissenschaften, werden diese weiterhin als ‚Wahrheitsdiskurs‘ in Anspruch genommen. Vermutlich ist es in einer Welt ohne verbindliche Wissensgrundlagen, Sinnssysteme und Utopien einfach zu verlockend, das alte Hilfsmittel der Moderne beizubehalten und die Natur- bzw. Technowissenschaften im herrschenden ethischen Vakuum zum Schiedsrichter über genau jene Fragen zu bestellen, die die Wissenschaften nicht

²¹ vgl. etwa den Roboter P1 der in diesem Feld führenden Firma Honda Motor Co. <http://www.honda.co.jp/robot/>

²² hierfür siehe die ‚humanoiden‘ Roboter siehe die Roboter ‚Asimo‘, P2, P3 von Honda Motor Co., vgl. <http://www.honda.co.jp/robot/>; last access 25.2.2002 sowie den Sony Roboter SDR-3X vgl. <http://www.sony.co.jp/en/SonyInfo/News/Press/200011/00-057E2/>; last access 25.2.2002

²³ Schließlich denkt man ja im Deutschen bei dem Stichwort ‚Domestics‘ von ungefähr nicht nur an ‚häuslich‘ oder an WC-Reiniger-Reklamen, sondern auch an ‚domestiziert‘ ...

²⁴ vgl. schon Lyotard 1986

lösen können: politische, soziale und normative Fragen.²⁵ Ein Blick zurück auf die Entwicklung der Technowissenschaften bzw. generell fortgeschrittener Industriegesellschaften sollte dafür eigentlich genügen. Aber die Hoffnung, *technische* Lösungen für die komplexen und weitreichenden gesellschaftlichen Probleme der Gegenwart zu finden, hat immerhin den ‚Vorteil‘, dass der Status Quo mehr oder weniger verlängert und auf radikale Veränderungen verzichtet werden kann. Dieser Gedanke ist um so verlockender in einer Zeit, in der niemand mehr ernsthaft an Revolutionen glaubt.

Auch wenn die Maschinen nicht ganz so potent (oder erotisch?) sind, wie ihre Erzeuger sie darstellen, so spiegelt doch die Behauptung ihrer Lebendigkeit – welch schöner Baustein des Technoimaginären – doch sehr gut die reale Bedeutungsmächtigkeit dieses neuen Forschungsfeldes und seiner Artefakte wieder. Ihre Wirkungsmächtigkeit und gesellschaftliche Dimension sollte in Gegenwart und Zukunft nicht unterschätzt werden – trotz oder auch gerade wegen all der Wucherungen des Technoimaginären. Und auch die Perpetuierung altvertrauter maskulinistischer Forschungsrhetorik sollte nicht über die gesellschaftliche Relevanz dieser Projekte hinwegtäuschen. Diese liegt meiner Meinung nach nicht in der Übertragung biologischer Prinzipien auf Maschinen in einem naiv realistischen Sinne, sondern ist eher dem produktiven Arbeiten an der Schnittstelle der heute wichtigsten Technowissenschaften, der Cyberscience und den neueren Biowissenschaften geschuldet sowie dem erfolgreichen Transfer verschiedener Konzepte, Metaphern und Ideen zwischen ihnen.

Zu hoffen wäre, dass dieses Forschungsfeld mehr als bisher ins öffentliche Bewusstsein rückt und umfassendere Diskussionen über Nutzen und Nachteil dieser Technologie eröffnet werden²⁶ – und zwar nicht erst dann, wenn wir, wie so häufig bei der Entwicklung der Life Science/s in den letzten Jahrzehnten, vor vollendeten Tatsachen stehen.

Literatur:

- Bachmann, Klaus (1998): Künstliches ‚Leben‘. Die Wesen aus dem Morgen-Land. In: Geo, Heft 3, 94-112
- Becker, Barbara (2000): Cyborgs, Robots und Transhumanisten. Anmerkungen über die Widerständigkeit eigener und fremder Materialität. In: dies. / Schneider, Irmela (Hg.): Was vom Körper übrig bleibt. Körperlichkeit – Identität – Medien. Frankfurt a.M. / New York, 41-70
- Blakemore, Colin (1996): Hirnforscher auf der Suche nach den richtigen Fragen. In: Christa Maar et al. (Hg.): Die Technik auf dem Weg zur Seele. Forschungen an der Schnittstelle Gehirn / Computer. Reinbek bei Hamburg, 120-138
- Boden, Margaret (1996): Introduction. In: dies. (ed.): The Philosophy of Artificial Life. Oxford Univ. Press, 1-35
- Brooks, Rodney A. and A. M. Flynn (1989): Fast, Cheap and Out of Control: A Robot Invasion of the Solar System. In: Journal of the British Interplanetary Society, October 1989, 478-485
- Cordis (2000): Information Society Technologies: Fet – Proactive Initiative 2000. Neuroinformatics for living artefacts. In: www.cordis.lu/ist/fetni-4.htm, 1 (last access: 29.11.2000)
- Haraway, Donna (1991): Simians, Cyborgs, and Women: the Reinvention of Nature. London

²⁵ vgl. ausführlicher hierzu Weber 2002, Kap. 1

²⁶ die sich nicht auf das Feuilleton einiger weniger Zeitungen wie die FAZ oder DIE ZEIT beschränkt

- Haraway, Donna (1996): Anspruchsloser Zeuge @ Zweites Jahrtausend. FrauMann[®] trifft Onco-Mouse[™]. Leviathan und die vier Jots: Die Tatsachen verdrehen. In: Elvira Scheich (Hg.): Vermittelte Weiblichkeit. Feministische Wissenschafts- und Gesellschaftstheorie. Hamburg, 347-389
- Haraway, Donna J. (1997): Modest_Witness@Second_Millennium. FemaleMan[®]_Meets_OncoMouse[™]. Feminism and Technoscience. New York / London
- Hayles, N. Katherine (1999): How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics. University of Chicago Press
- Jacob, Francois (1972): Die Logik des Lebens. Von der Urzeugung zum genetischen Code. Frankfurt a.M.
- Kay, Lily E. (1996): Life as Technology: Representing, Intervening, and Molecularizing. In: Sahotra Sarkar (ed.): The Philosophy and History of Molecular Biology. Dordrecht et al., 87-100
- Keller, Evelyn Fox (1995): Refiguring Life. Metaphors of Twentieth-Century Biology. New York / Chichester, West Sussex: Columbia University Press
- Keller, Evelyn Fox (2002): Synthetic Biology Redux: Computer Simulation and Artificial Life. (noch unveröffentl. Manuskript)
- Kelly, Kevin (1993): Die bionische Konvergenz. In: Karl Gerbel / Peter Weibel (Hg.): Genetische Kunst – Künstliches Leben. Ars Electronica. Wien, 106-108
- Kember, Sarah (1996): Feminist figuration and the question of origin. In: George Robertson et al. (eds.): FutureNatural. Nature / Science / Culture. London / New York, 256-269
- Klinger, Cornelia (1995): Beredtes Schweigen und verschwiegenes Sprechen: Genus im Diskurs der Philosophie. In: Hadumod Bußmann / Renate Hof (ed.): Genus. Zur Geschlechterdifferenz in den Kulturwissenschaften. Stuttgart, 409-445
- Krempl, Stefan (2000): Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen. Das Verhältnis von Homo Sapiens und Computer am Wendepunkt. In: c't. Magazin für Computertechnik, Heft 9, 218-223
- Langton, Christopher G. (1996): Artificial Life. In: Boden 39-94
- Levy, Steven (1996): Künstliches Leben aus dem Computer. München
- Lyotard, Jean-François (1986): Das postmoderne Wissen. Ein Bericht. Graz / Wien
- Maar, Christa (Hg.) (1996): Die Technik auf dem Weg zur Seele. forschungen an der Schnittstelle Gehirn/Computer. Reinbek bei Hamburg
- Mainzer, Klaus (1996): Materie: von der Urmaterie zum Leben. München
- Moravec, Hans (1998): Die Sinne haben keine Zukunft. In: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland GmbH (Hg.): Der Sinn der Sinne. Göttingen, 319-334
- Parisi, Luciana / Terranova, Tiziana: Heat-Death. Emergence and Control in Genetic Engineering and Artificial Life. In: <http://www.ctheory.com/article/a84.htm> (last access 1.6.2000)
- Randow, Gero von (2000): Stählerne Mörderbienen. Kriigsroboter werden autonomer und gefährlicher. In: DIE ZEIT, Nr. 8, 17. Februar
- Saupe, Angelika (2002): Verlebendigung der Technik. Perspektiven im feministischen Technikdiskurs. Bielefeld
- Steels, Luc (1996): Homo cyber-sapiens oder Robo hominidus intelligens: Maschinen erwachen zu künstlichem Leben. In: Maar 326-344
- Weber, Jutta (2002): Umkämpfte Bedeutungen: Natur im Zeitalter der Technoscience. In: http://elib.suub.uni-bremen.de/publications/dissertations/E-Diss228_webersec.pdf (erscheint im Herbst 2002 bei Campus)
- Wiener, Norbert (1968): Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschinen. Reinbek bei Hamburg