

Jutta Weber

**Turbulente Körper und emergente Maschinen.
Über Körperkonzepte in neuerer Robotik und Technik-
kritik^{1, 2}**

„Sogar Engel könnten Turing-Maschinen sein.“
(Thomas Metzinger)

“Intelligence must have a body.”
(Rodney Brooks)

Der Körper sei – anders als jede Maschine – mehr als die Summe seiner Teile. Diese These lässt sich unschwer als zentraler Topos von Technikkritik in der Moderne ausmachen. Die mangelnde Berücksichtigung eines Überschusses oder Irregulären³ des Lebendigen und die mechanizistische Modellierung von natürlichen Systemen – sei es nach dem Vorbild der Uhr, der Dampfmaschine oder des Computers – gilt vielen TheoretikerInnen als eine wesentliche Ursache für die Entzauberung der Welt und die Verdinglichung, Entkörperung und Entfremdung des modernen Menschen durch Natur- und Technikwissenschaften.

Von der Romantik über die Lebensphilosophie, der Kritischen Theorie bis zum Poststrukturalismus wird aber nicht nur die reduktionistische Beschreibung des Körpers kritisiert, sondern auch die damit zusammenhängende berühmt-berühmte Cartesianische Trennung von Körper und Geist. Die Ausblendung des Anderen des rationalen, autonomen bürgerlichen Subjekts gilt als Grundlage für die Panzerung des bürgerlichen Ichs, seine ‚Entkörperung‘ und für die Mechanisierung der Alltagswelt in einer technisierten Kultur. Das Eingedenken des Leiblichen, das nichtidentische Moment in der Körper-Geist- bzw. Natur-Kultur-Vermittlung wird von Nietzsche über Adorno bis hin zu Irigaray oder Zizek immer wieder eingefordert – als Medizin gegen die zunehmende ‚Weltlosigkeit‘ (Arendt 1992/1958), den ‚Verlust des Realen‘ (Baudrillard 1978:41) und die Tendenzen der ‚fortschreiten-

1 Für kritische Kommentare zum Text danke ich vor allem Bettina Wahrig und Corinna Bath sowie den TeilnehmerInnen des Symposiums ‘Turbulente Körper’ an der TU Braunschweig im März 2003.

2 Erstabdruck des Aufsatzes in: Jutta Weber, Corinna Bath (Hg.): Turbulente Körper und soziale Maschinen. Feministische Studien zur Technowissenschaftskultur. Opladen: Leske & Budrich, 2003, S. 119-136.

3 Zu Frage und Funktion dieses Überschusses bzw. Unbestimmten des Lebendigen am Beginn des 20. Jahrhunderts vgl. Osietzki in diesem Band.

den Kolonisierung der Organe und Eingeweide des menschlichen Körpers' (Virilio 1994:108).⁴ Auch wenn dieser entfremdungstheoretische Ansatz von vielen TechnikkritikerInnen nicht geteilt wird, so durchzieht doch auch viele ‚neuropäische‘ Ansätze die Frage nach (den Möglichkeiten) einer alternativen Körperpolitik – einer Körperpolitik, die nicht mehr auf dem hierarchisch organisierten und zentral gesteuerten organisierten Organismus der Moderne basiert. Man erinnere sich z.B. an die Hoffnungen, die Bruno Latour in die amodernen Hybriden oder Donna Haraway schon 1985 in die Cyborgs, postmoderne Mischwesen aus Mensch und Maschine steckte:

„Nichts verbindet sie mehr mit Bisexualität, präödipler Symbiose, nichtentfremdeter Arbeit oder anderen Versuchungen, organische Ganzheit durch die endgültige Unterwerfung der Macht aller Teile unter ein höheres Ganzes zu erreichen. In diesem Sinne besitzt die Cyborg keine Ursprungsgeschichte im westlichen Verständnis“ (Haraway 1995a:35).

Man könnte meinen, neuere Ansätze der Robotik wie z.B. ‚Verhaltensbasierte Robotik‘ (Brooks 1986; Christaller 2001), ‚Evolutionäre Robotik‘ (Husbands, Meyer 1998; Nolfi, Floreano 2000) oder ‚Embodied Artificial Intelligence‘ (Pfeifer, Scheier 1999; Pfeifer 2001) haben sich die humanistische Kritik als auch die postmodernen Hoffnungen zu Herzen genommen.

In Abgrenzung zum alten kognitivistischen – und das heißt hier Cartesianischen – Paradigma der Künstlichen Intelligenz-Forschung gehen diese Ansätze davon aus, dass Geist bzw. Intelligenz weder adäquat jenseits des Körpers noch klassisch analytisch, sprich top-down modelliert und (re)konstruiert werden können. Mit Bezug auf die einschlägige Kritik des Philosophen Hubert Dreyfus fordert etwa der Robotiker Rodney Brooks schon 1986 eine verhaltensbasierte Robotik, die nicht primär auf Simulation, auf dem Agieren in ‚Spielzeug-Welten‘, sondern auf Verkörperung und struktureller System-Umwelt-Koppelung basiert. Nur mit verkörperten, mobilen Agenten, deren sensomotorische Rückkoppelungsschleifen eine Interaktion mit der Umwelt ermöglichen, könne man künstliche intelligente Systeme erfolgversprechend konstruieren, die nicht an einfachsten Aufgaben wie Gehen, Objekterkennung oder Navigation scheitern.

Heute reicht die Absage an das klassische Credo der Natur- und Technikwissenschaften bei manchen VertreterInnen des neuen Ansatzes – wie Thomas Christaller oder Kerstin Dautenhahn – sogar noch weiter. Es wird erwogen, ob nicht Intelligenz und Kognition im Sinne neuronaler Informationsverarbeitung auf das engste mit ihren ‚physikalisch-chemischen Basismechanismen‘ verbunden sind und ob es sich

4 'Im wesentlichen sind es zwei systematische Funktionen, die dem Leib als Ort des Vor-Diskursiven zugetraut resp. zugemutet werden, nämlich zum einen eine Fundierung diskursiven Sinns und zum anderen die Funktion eines kritischen Maßstabes gegen eine Reduktion unserer Praktiken auf einen instrumentellen Umgang mit dem Körper' (Schürmann 2003: 53).

beim Verhältnis von Physis und Kognition, von Körper und Geist nicht auch um engste, interdependente Rückkopplungsschleifen handelt (vgl. Christaller 2001:84). Hat die Technikkritik nach so langer Zeit doch noch Gehör gefunden?

Der traditionelle Ansatz der Künstlichen Intelligenz-Forschung

„Du bist doch kein Geist in der Flasche.“ (Rio Reiser)

Um aber die radikale Verschiebung im Forschungsparadigma verstehen zu können, möchte ich etwas ausführlicher auf die Annahmen der traditionellen KI-Forschung eingehen.

Das alte kognitivistische Paradigma der Künstlichen Intelligenz-Forschung verstand Kognition – identifiziert meist mit primär mentalen Prozessen – als Durchführung von Berechnungen. Intelligenz könne demzufolge auf der Ebene der Algorithmen, als Rechenprozesse untersucht werden, ohne die Notwendigkeit, sich mit der darunter liegenden Struktur, d. h. der materialen Grundlage, zu beschäftigen. Matt Ginsburg hat dieses Konzept der KI folgendermaßen formuliert: “AI is the enterprise of constructing a physical-symbol system that can reliably pass the Turing test” (Ginsburg 1993:3). Der Begriff des ‚Physical-Symbol-System‘ geht zurück auf Alan Newell und Herbert Simon (vgl. Newell, Simon 1976). Diese stellten die These auf, dass „die Verarbeitung von Symbolen, die selbst in einem physikalischen System gegründet sein müssen, zur Modellierung und Hervorbringung von Intelligenz ausreichend ist, wenn die Regeln zur Symbolverarbeitung und die für die physikalische Maschine genügend mächtig sind. Sie argumentierten auch, dass die Regeln der physikalischen Maschine ‚Computer‘ diese Mächtigkeit haben. Diese Vorstellungen erklären, warum in diesem Forschungsparadigma die Wissensrepräsentation, d.h. die adäquate Modellierung der Welt durch Symbole, und logisches Schließen, [...], eine so prominente Rolle spielten und spielen“ (Christaller et al. 2001: 66; H.v.m.).

Bei dieser Modellierung von Intelligenz wird ganz bewusst von der physischen Ebene abstrahiert (vgl. Pfeifer 2001:43; Ziemke 2002). Es wird davon ausgegangen, dass mentale Zustände auf der Basis einer prinzipiell unendlichen Vielzahl von physikalischen Strukturen hervorgebracht werden können: „Zwei funktional äquivalente Zustände können in zwei verschiedenen Systemen durch ganz unterschiedliche konkrete Mechanismen implementiert werden, ähnlich wie ein und dasselbe Programm auf ganz verschiedenen Rechnern laufen kann“ (Metzinger 1999:38).

In der traditionellen Robotik wurde die entscheidende Eigenschaft von Intelligenz also in der internen symbolischen Verarbeitung bzw. Wissensrepräsentation gesehen. Roboter wurden mehr oder weniger als klassische Computer gedacht

und gebaut, die nur zusätzlich mit ein paar Sensoren und Kameras ausgestattet wurden, um mit der Welt interagieren zu können, deren Hauptaufgabe aber in internen Rechenprozessen – nicht aber in der Interaktion mit der Welt – gesehen wurde. Dieses Paradigma wurde – wie schon erwähnt – in der zweiten Hälfte der Achtziger Jahre zunehmend in Frage gestellt.

‘What Computers Can ´t Do’

Das alte kognitivistische Paradigma der KI war auch von TechnikkritikerInnen wie Joseph Weizenbaum, Hubert Dreyfus, Lucy Suchman oder Barbara Becker⁵ wegen der Fragwürdigkeit eines derart funktionalistischen Intelligenzbegriffs und der Ausblendung von Materialität bzw. Körperlichkeit kritisiert worden. In seinem weithin bekannt gewordenen Buch ‚What Computers Can ´t do‘ hatte z.B. der Philosoph Hubert Dreyfus schon in den Siebziger Jahren mit Bezug auf die Phänomenologie Merleau-Pontys das Cartesianische Modell der KI in Frage gestellt. Kognition ließe sich nicht allein als passive Informationsaufnahme verstehen, bei der der Körper allerhöchstens hinderlich sei. Intelligenz würde u.a. auf der Interaktion mit der Umwelt und einer sensorischen Informationsaufnahme beruhen und dabei sei der Körper integraler Bestandteil: „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...“ (Dreyfus 1985:197f). Intelligenz bedürfe eines Hintergrundes einer Vielzahl von Praktiken, die gerade die menschliche Daseinsweise ausmachen würde.

In Bezug auf Dreyfus (und in gleichzeitiger Abgrenzung) schreibt Rodney Brooks in seinem Arbeitspapier von 1986, in dem er erste Skizzen eines alternativen KI-Ansatzes entwickelt: „In this note we use a technical rather than a philosophical argument that machines must indeed have a rich background of experience of being if they are to achieve human level intelligence“ (Brooks 1986:1). Intelligenz müsse unter Einbezug der körperlichen Bedingtheit von Erfahrung - und das heißt hier unter Einbezug der Spezifika der Sensor- und Aktuatorausstattung⁶ -, in Auseinandersetzung mit der realen Umwelt der künstlichen Systeme und bottom-up konstruiert werden.

5 Weizenbaum 1994/1974, Dreyfus 1976, Suchman 1987, Becker 2001.

6 Ein Aktuator bzw. auch Aktor ist ‘als Stellglied definiert, das meist elektrisch angesteuert wird und dessen Ausgangsgröße eine Energie oder Leistung ist. In den meisten Fällen führt er eine mechanische Bewegung aus. Klassifiziert werden derartige Aktoren nach der jeweiligen Hilfsenergie, die zugeführt wird.’ (Hiltl 2003:1). Dabei ‘unterscheidet man unter anderem elektromagnetische, chemische, thermodynamische, fluidische oder piezoelektrische’ (ebd.) Aktoren. Aktoren sollen es einem System ermöglichen, sich zu bewegen sowie Kräfte aufzubringen und auszuüben.

Verhaltensbasierte KI: ‘The Artificial Life Route to Artificial Intelligence’ (Steels, Brooks 1993)

Anerkannte Robotiker wie Rodney Brooks, Rolf Pfeifer und Luc Steels wenden sich Mitte der Achtziger Jahre vom symbolorientierten Ansatz ab hin zu einem eher verhaltensorientierten Ansatz. Einfaches Verhalten sollen nun ‚bottom-up‘ modelliert werden. Dabei wird Verhalten in einfache ‚behaviors‘ zerlegt, in möglichst einfache Reiz-Reaktions-Reflexe (wie z.B. die Suche einer Lichtquelle oder die Ver-

meidung von Hindernissen), die in der von Brooks entwickelten ‚Subsumptionarchitektur‘ des Roboters möglichst unabhängig voneinander implementiert werden sollen. Aus dem Zusammenwirken der einfachen Reflexe soll dann wiederum ‚emergentes Verhalten‘ entstehen:

„Behaviors sind in ihrer einfachsten Form kybernetische Regelkreise oder sensomotorische Rückkopplungskreise, die ohne mathematisch-logische oder linguistische Repräsentationen im oben beschriebenen Sinne [des Physical-Symbol-Systems; JW] auskommen“ (Christaller et al. 2001:70).

So ergibt sich etwa aus dem Zusammenspiel einfacher ‚behaviors‘ wie etwa Hindernisvermeidung und Hindernissuche beim Roboter u. U. ein ‚Wandverfolgungsverhalten‘.⁷ Das Entstehen von Handlungsmöglichkeiten, die über das (konkret) einprogrammierte Verhalten hinausgehen, werden häufig als emergentes Verhalten interpretiert, das für viele RobotikerInnen als Schlüssel zur Intelligenz gilt. Allerdings sind der Begriff der Emergenz und seine Tragfähigkeit für die Erklärung intelligenten Verhaltens in der Robotik-Community heftig umstritten. Gleichzeitig ist und bleibt er ein zentrales Erklärungsmoment dieses Ansatzes.⁸

Wurzeln hat der verhaltensbasierte Ansatz neben dem Behaviorismus vor allem auch in der Kybernetik. Man denke an Grey Walters ‚Schildkröten‘ oder das ‚Growing Ear‘ von Gordon Pask (vgl. Pickering 2002; di Paolo 2003; Hayles 2003 in diesem Band; Christaller et al. 2001). Diese Verbindung ist u.a. auch interessant hinsichtlich der Frage eines möglichen differenten Weltzugangs der neuen KI. Der Wissenschaftsforscher Andrew Pickering attestiert schon der Kybernetik einen Weltzugang, der sich radikal von denen der klassischen Natur- und Technikwissenschaften unterscheidet:

„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. While classical science has thus been an epistemological project aimed explicitly at knowledge production, cybernetics is an ontological project, aimed variously at displaying, grasping, controlling, exploiting and exploring the liveliness of the world. [...] [I]t is as if the cyberneticians have lived in a different world from the classical scientists“ (Pickering 2002:10; H.v.m.).

Und er weitet diesen Schluss konsequenterweise auch auf die verhaltensbasierte Robotik bzw. auf den Ansatz der autonomen intelligenten Systeme – wie er auch genannt wird – aus (vgl. Pickering 2001:10f).⁹

In der verhaltensorientierten Robotik verbinden sich alte Ansätze der Kybernetik und auch des Behaviourismus mit

7 Dieses Verhalten entsteht wenn das Verhaltensrepertoire des Roboters sowohl Hindernisvermeidung wie Hindernissuche umfasst und wenn diese beiden Verhalten gut aufeinander abgestimmt sind. Wenn keines das andere dominiert, wird der Roboter wechselweise von der Wand abgestossen und angezogen. Dadurch ‚emergiert‘ ein Wandverfolgungsverhalten.

8 Zur Diskussion um den Begriff der Emergenz vgl. Langton (1996/1989), Emmeche (1994), Cordis (2000), Christaller et al. (2001).

9 Zum Verständnis von Epistemologie und Ontologie bei Pickering siehe unten.

neuen Entwicklungen im Kontext der Artificial Life-Forschung: Wie in der AL-Forschung ist auch in der neueren Robotik Emergenz ein wichtiges – wenn auch meist vage verbleibendes – Konzept. Damit zusammenhängend gibt es eine große Aufmerksamkeit für biologische Prozesse, welche nun als Grundlage intelligenten Verhaltens betrachtet werden (vgl. Pfeifer 2001:294f). Von der Annäherung an die Biologie versprechen sich die ForscherInnen ein besseres Verständnis lebendiger Systeme und die Entwicklung neuer, erfolgversprechender Ideen für die Konstruktion künstlicher Systeme. Mit der Artificial Life-Forschung teilt zudem die neuere Robotik auch den Bezug auf eine differente mathematische Tradition für die Modellierung von Welt – die Theorie der dynamischen Systeme.

Turbulente Körper

“One is not born an organism.” (Donna Haraway)

Der Stellenwert des Emergenzbegriffs verweist auch auf die differente Organismuskonzeption in der Artificial Life-Forschung und Robotik. Der Organismus wird zunehmend als flexibel, dynamisch und in permanenter Veränderung begriffen. Das Moment des Neuen, der Spontanität und das emergente Verhalten stehen im Mittelpunkt: “The body is not a fixed and pregiven ‘actuator device’, but it is a dynamic and ontogenetically evolving entity” (Dautenhahn/Christaller 1997:3). Der Körper ist eben nun kein hierarchisch organisiertes, fest vorgegebenes Gerüst aus Organen, Sensoren, Muskeln¹⁰ mehr, sondern wird als dynamisches System mit der Fähigkeit zur Produktion von Neuem, mit evolvierenden Eigenschaften und Möglichkeiten interpretiert. Es ist ein System, das ‘emergente Funktionalität’ (Steels 1991) besitzt, und das heißt: “... that a function is not achieved directly by a component or a hierarchical system of components, but indirectly by the interaction of more primitive components among themselves and with the world” (Steels 1991). Über komplexe Feedbackschleifen werden dann auch neue Kombinationen und Abweichungen evoziert in der Hoffnung, dadurch neue Lösungen auf komplexeren Ebenen zu ‘finden’ (vgl. Parisi, Terranova 2000, 9; Hayles 1999:158). Die Kreativität der emergenten Prozesse aber auch die Reservoirs kreativer Entwicklung, die sich historisch in der Natur sedimentiert haben, sollen ‘abgeschöpft’ und für technowissenschaftliche Verfahren nutzbar gemacht werden. Auf dieser Grundlage soll die Entwicklung komplexer Systeme mit der Fähigkeit zur permanenten Erneuerung, Neugestaltung und Spontaneität möglichen werden. Es sollen ‘living machines’ konstruiert werden, “hardware/software ‘artefacts that live and grow’, i.e. artefacts that self-adapt and evolve beyond pure programming” (Cordis 2000:1).

Die Produktion des Unerwarteten wird als wesentliche Voraussetzung verstanden, um neue, vielfältige Artefakte ent-

¹⁰ Aktoren werden oft als ‘künstliche Muskeln’ bezeichnet; vgl. Fußnote 5.

wickeln zu können, die komplexe Aufgaben übernehmen und mit und an ihnen wachsen. Offensichtlich beruht hier der Körper und sein Verhalten auf mehr als der Summe seiner Teile, wenn auch gleichzeitig versucht wird, die Spontaneität und den Überschuss zu formalisieren und zu instrumentalisieren. In diesen Vorstellungen wird der Körper nicht mehr im emphatischen Sinne als natürlich und gegeben verstanden. Wenn auch die Fähigkeit der Mutation, Variation und Veränderung wiederum als eine natürliche interpretiert wird, so wird der Körper dennoch in dem Sinne denaturalisiert, dass er nicht mehr als unveränderbar, teleologisch und von harmonischen Prinzipien durchwirkt, sondern eher als Baukasten verstanden wird:

„Anders als die Körper der Romantik bilden sie [die Körper im späten 20. Jahrhundert; JW] sich nicht aus internen Harmonieprinzipien und werden auch nicht wie im Realismus oder Modernismus entdeckt. [...] Das politisch-epistemologische Terrain der Postmoderne war nötig, um auf einem zu Beauvoir analogen Text bestehen zu können: Man wird nicht als Organismus geboren, Organismen werden gemacht.“ (Haraway 1995a:170; H.v.m.)

Im Zeitalter der Technoscience geht es zwar um die Modellierung von Körpern und Maschinen, die mehr sind als die Summe ihrer Teile – aber nicht im Sinne einer höheren, harmonischen Ordnung, sondern in Form einer Denaturalisierung, die eine Dynamisierung von Körpern möglich macht.

Eine neue Körperpolitik?

Was bedeutet aber der neue Ansatz dieser jungen Technowissenschaft nun hinsichtlich der Debatten um Entkörperung und um eine mögliche alternative Körperpolitik?

Auf der einen Seite findet eine Verschiebung in der Vorstellung des Überschusses des Lebendigen statt, von der Idee natürlicher, harmonischer Prinzipien hin zur Dynamisierung und damit zur Denaturalisierung. Und die Frage wäre, inwieweit diese Verschiebung, diese Dynamisierung auch Möglichkeiten bietet für eine nicht-reduktionistische Politik, die Reifizierungen vermeidet.

Auf der anderen Seite wird im Rahmen neuer Körperkonzepte zwar der Überschuss des Lebendigen zum Thema, aber damit auch zum Gegenstand technowissenschaftlicher Objektivation: Der Überschuss des Lebendigen, von offenen, dynamischen Systemen soll mit technowissenschaftlichen Methoden, Konzepten und Prinzipien eingefangen werden – u.a. durch das Tinkering, das Herumbasteln und Kombinieren unterschiedlicher Teile nach dem Bottom-up-Prinzip, durch das Evozieren von ‚emergenten‘ Prozessen.

Wenn man nun nicht a priori die Objektivierung des Lebendigen kritisieren möchte, bleibt die zentrale Frage, wie jene von den Technowissenschaften Kybernetik, Artificial Life

und verhaltensbasierte Robotik bewerkstelligt wird. Erst einmal ist festzuhalten, dass sie – anders als die alte KI – ‚the unpredictable liveliness of the world and processes of open-ended becoming‘ (Pickering) thematisieren und nicht ausblenden. Material bzw. die materiale Beschaffenheit des Systems wird nun in vielen neuen Ansätzen als ein relevanter und wichtiger Faktor anerkannt¹¹. Die Bedeutung der ‚Eigenlogik‘ natürlicher wie künstlicher Systeme wird ernst genommen und die Körper erhalten über diese Aufmerksamkeit zunächst eine andere Dignität. Das erscheint ein großer Schritt in Richtung auf die Überwindung des Dualismus von Materie und Form, Körper und Geist, wie er sich in der frühen Software-zentrierten Artificial Life-Forschung und der traditionellen KI-Forschung¹² findet.

Um diese Verschiebungen besser einschätzen zu können, möchte ich sie mit dem Verständnis von Verkörperung bei der Wissenschaftsphilosophin Donna Haraway vergleichen.

Embodiment: ‚Knotenpunkte in Feldern, Wendepunkte von Ausrichtungen‘

Haraway formuliert ihr Verständnis von Embodiment folgendermassen:

„Feministische Verkörperung handelt also nicht von einer fixierten Lokalisierung in einem verdinglichten Körper, ob dieser nun weiblich oder etwas anderes ist, sondern von Knotenpunkten in Feldern, Wendepunkten von Ausrichtungen, und der Verantwortlichkeit für Differenz in materiell-semiotischen Bedeutungsfeldern“ (Haraway 1995a:88f).

Und weiter schreibt sie, dass es um „die Sicht von einem Körper aus [geht; JW], der immer ein komplexer, widersprüchlicher, strukturierender und strukturierter Körper ist, ... Nur der göttliche Trick ist verboten“ (Haraway 1995a:89) – also der unverwundbare, distanzierte Blick von Nirgendwo.

Haraway versteht demzufolge Verkörperung als einen dynamischen Prozess der permanenten Veränderung, der Unsicherheit und Verschiebung. Das scheint vertraut, denkt man an die Vorstellung dynamischer und emergenter Prozesse in offenen Systemen wie sie die Artificial Life- und neuere Robotikforschung formuliert. Aber unterscheidet sich diese Politik der Offenheit, der permanenten Veränderung und Verweigerung fixierter Identität von den derzeit aktuellen Praktiken des Shapeshifting, der Produktion von Differenzen durch Abweichung, Mutation und Verschiebung?

Haraway selbst sieht die Differenz ihres Konzepts zu den üblichen Praktiken der Technowissenschaften allerdings darin, dass man Verwundbarkeit zulässt im Widerstand gegen eine „Politik der Abgeschlossenheit, der Endgültigkeit oder ... der ‚Vereinfachung in letzter Instanz‘“ (Haraway 1995a:90).

Parallelen zwischen Haraways Konzept des Embodiment und

11 Es setzt sich zunehmend auch die Erkenntnis durch, dass die intrinsischen Eigenschaften des Materials nicht nur hinsichtlich natürlicher Eigenschaften ausgenutzt werden können, sondern vor allem auch bezüglich jener der Energie-Effizienz, der Vereinfachung von Kontrollmechanismen, etc. Rolf Pfeifer, der Leiter des AI Labors in Zürich argumentiert genauso wie Christaller et al. (2001) ganz offensiv mit den intrinsischen Kontrolleigenschaften des Materials (vgl. Pfeifer 2001:302).

12 In den älteren Ansätzen der Artificial Life-Forschung als auch in der KI sind Hardware allein relevant bzgl. ihrer Schnelligkeit und Speicherkapazität. Die materiale Beschaffenheit gerade auch hinsichtlich der Verbindung von Körper und Geist wird dort nicht diskutiert.

dem der neueren Robotik findet man auch nicht nur hinsichtlich des dynamisierten Körperverständnisses, sondern auch bezüglich der Vision von der Auflösung des klassischen distanzierten und hierarchischen Subjekt-Objekt-Verhältnis sowie in der Idee von Wissensobjekten als eigenständige, aktive Entitäten.

Was anderes wäre die Idee, autonome und selbständige Agenten zu entwickeln, die evolvieren, wachsen und lernen? In gewisser Weise hat diese Forschungsrichtung die Forderung Haraways beim Wort genommen, Wissensobjekte als Agenten und Akteure zu denken – und nicht als Leinwand oder Ressource (vgl. Haraway 1995a:93). Und hierbei geht es nicht darum, inwieweit die neuere Robotik de facto in der Lage sein wird, dieses Ziel umzusetzen.

Und untergräbt nicht die Idee von emergenten Maschinen, von Robotern ‚out of control‘ (Brooks), die konstruiert sind, aber zugleich sich selbst konstruieren und weiterentwickeln sollen, wiederum die Idee der Autonomie des vormals selbstherrlichen Forschers? Löst sich damit nicht irgendwann die Opposition von der Wissenden und dem Gewussten auf?

Interessanterweise wird gerade die Anthropomorphisierung des Erkenntnisapparates des Roboters in der Robotik selbst zunehmend problematisiert, da diese dazu führe, „dass vom Roboter nur vorgegebene Kategorien durch Lernvorgänge mit Inhalten gefüllt werden können [...] Die Sensormuster des Roboters und die Kategorien des Menschen passen nicht notwendigerweise zusammen: nur ‚vorgedachte‘ Ereignisse/Situationen werden erkannt und können behandelt werden. [...] Will man diese Beschränkung überwinden, stellt sich die Frage nach dem nötigen technischen Rahmenwerk, das es dem Roboter erlaubt, nicht nur eigene Kategorien zu bilden, sondern sie auch nach eigenen Regeln zu füllen. Damit verbunden sind die noch offenen Fragen nach der Steuerung des Erkenntnisapparates und seiner eigenständigen Weiterentwicklung; nach dem Einfluss, den die eigene Körperlichkeit (Morphologie) des Roboters auf die Entwicklung dieses Apparats hat“ (Christaller 2001:78).

Dieses Interesse der neueren Robotik an der Eigenständigkeit, an der Handlungs- und Erkenntnisfähigkeit der Artefakte erinnert an Haraways Appell, ‚nicht-menschliche‘ Akteure seien ‚andere Welten‘ (vgl. Noske 1989, zit. nach Haraway 1995b:104ff), deren Eigenwilligkeit und Eigenlogik man ernst nehmen solle (vgl. Haraway 1995b) – auch wenn sie dabei eher die nicht-technischen der nicht-menschlichen Akteure im Blick hatte und traditionelle Wissenschaftsforschung dafür kritisierte, nur Maschinen dabei im Blick zu haben. Gleichzeitig verlieren vor diesem Hintergrund auch technikkritische Argumentationen der Phänomenologie bzgl. der Widerständigkeit der ‚eigenen und fremden Materialität‘ (Becker 2001) manches ihres kritischen Potentials. Glaubt

man den emphatischen Ansprüchen und Absichtserklärungen der neueren Robotik, würden diese Artefakte in gewisser Weise genauso ‚die Andersartigkeit und Unverfügbarkeit des Anderen, des jeweiligen Gegenüber‘ (Becker 2000:64) aufweisen. Damit würde nicht mehr ‚die konkrete Materialität eines jeweiligen Gegenübers ... in seiner Andersartigkeit‘ (ebd.) eliminiert. Nimmt man die Idee der Produktion des Unerwarteten und das Interesse an der Emergenz in der neueren Robotik beim Wort, ginge es gerade nicht mehr darum, dass der oder das Andere ‚integrierbar werden [muss; JW] in das eigene Weltmodell‘ (ebd.).

Renaturalisierungen

„... glaube ich, dass ich und meine Kinder bloße Automaten im Universum sind, ebenso wie jeder andere Mensch, den ich kennen gelernt habe – große Hautsäcke voller Biomoleküle, die nach beschreibbaren und erkennbaren Regeln interagieren.“ Rodney Brooks

Im Vorangegangenen habe ich vor allem die neuen Entwicklungen und Tendenzen in den Technowissenschaften Robotik und Artificial Life stark gemacht, die den Anspruch, vielleicht auch das Potential haben, Limitierungen und Engführungen der alten Technowissenschaften – wie z.B. der traditionellen KI – zu überschreiten. Darunter fiel u.a. die neue Aufmerksamkeit für Materialität, der Versuch, rigide Trennungen von Körper und Geist, Hardware und Software aufzulösen, aber auch das Interesse für Spontaneität, das Unvorhersehbare, die Eigenlogik des Artefakts – auch wenn es letztendlich natürlich darum geht, genau dieses Unvorhersehbare und die Spontaneität a posteriori instrumentalisierbar und nutzbar zu machen.

Doch auch wenn sich hier interessante Ansätze finden, lässt sich die Fortsetzung alter hierarchischer Muster sowie die Perpetuierung alter Reduktionismen feststellen. So liegt in der von der Biologie inspirierten Artificial Life-Forschung und Robotik primär der Verdacht auf (Re-)Naturalisierungen nahe. Schon Francois Jacob, der meines Wissens nach als erster in Anlehnung an Levi-Strauss den Begriff des Tinkering in den Technowissenschaften eingeführt hat, betrachtet Organismen als „historical structures: literally creations of history. They present not a perfect product of engineering, but a patchwork of odd sets pieced together when and where opportunities arose. For the opportunism of natural selection is not simply a matter of indifference to the structure and operation of its products. It reflects the very nature of a historical process full of contingency“ (Jacob 1977: 1166).

Francois Jacob gibt sich also alle Mühe, das Tinkering-Verfahren und die dynamischen Körper zu naturalisieren: Es ist doch ‚Mutter‘ Natur, die mit ihrem Prinzip der natürlichen

Selektion die Organismen zu Patchwork-Geschöpfen macht – und nicht etwa eine Paradigmenwende in den Technowissenschaften selbst, die zum Verständnis des turbulenten Körper führt. Sie werden nicht als Modelle verstanden, deren Konzeptionierung als dynamische offene Systeme es ermöglichen sollen, Neues greifbar zu machen – wie etwa die Überschreitung des klassischen Mechanizismus´ mit der harmonisch-hierarchischen Konzeptionierung von Organismen –, sondern sie werden wiederum als dynamische, emergierende etc. reifiziert. Erstaunlich ist dies, da es in gewisser Weise auch im Widerspruch steht zu dem im höchsten Maße konstruktivistischen Herangehen der TechnowissenschaftlerInnen – die sich gerade in der frühen Phase der Forschung dessen ganz besonders bewusst zu sein scheinen, wie etwa Brooks in seiner Auseinandersetzung mit Dreyfus. Im Widerspruch steht es auch zur Denaturalisierung der Körper, ihrer Neudefinition als dynamische und veränderbare, von der man meinen sollte, dass sie Naturalisierungen vorbeugte. Nichtsdestotrotz werden auch diese denaturalisierten Körper ‚natürlich‘ und die Natur wird zur Gentech-Ingenieurin (vgl. Haraway 1997; Penny 1996; Weber 2003) und bastelnden Technowissenschaftlerin, die sich schon immer der Tinkering-Methode bediente. Es sind nicht die Technowissenschaften, die konstruierend auswählen bei ihrer Modellierung von Organismen, Körpern, von Intelligenz etc., sondern die TechnowissenschaftlerInnen lesen wieder einmal im Buch der Natur, setzen ihre Botschaften um und machen sich die nun dynamischen – aber im Sinne von übergreifenden Strukturen stabilen – Gesetze der Natur zu Nutze.

Donna Haraway, Alison Adam und andere haben darauf aufmerksam gemacht, dass mit der Konvergenz von Cyber-science und Biologie häufig naturalistische Theorien nicht nur über Organismen, sondern auch über Artefakte und Technologien wie etwa das Internet oder die Künstliche Intelligenz einhergehen (vgl. Haraway 1997; Adam 1998; Kember 2000; Braidotti 2002). Selbst der Technik-Euphoriker Kevin Kelly ist erstaunt, dass “there was probably a wider agreement that evolution was a way to do things than I thought” (Kelly, zit. nach Kember 2000, 5).

Gerade in der Artificial Life-Forschung gestützten neueren Robotik und KI werden häufig altbekannte, aus der sogenannten Evolutionspsychologie – die früher Soziobiologie hieß – bekannte Geschichten weitertransportiert samt ihres sozialdarwinistischen Gepäcks (vgl. Penny 1996; Weber 2003). Ein schönes Beispiel für diese Renaturalisierungen ist das Intelligenzverständnis in der neueren Robotik. Dort ist der Ansatz vorherrschend, dass Intelligenz primär entwickelt wurde, „um die Überlebensfähigkeit zu maximieren. Danach müsste man annehmen, dass gerade die so genannten einfachen Lebewesen die intelligentesten sind“ (Christaller et

al. 2001, 74). Und dementsprechend werden dann auch gerne Anleihen bei der Modellierung von Verhalten bei besonders robusten Organismen wie Insekten gemacht, um sie dann auf künstliche Systeme und später wieder zurück auf Menschen zu übertragen.

Mit am bekanntesten von den frühen Erfolgen der verhaltensbasierten KI wurden nicht von ungefähr die Robot-Insekten Genghis und Attila von Rodney Brooks (vgl. Brooks 2002)¹³. Brooks vertritt ganz passend zu dieser Orientierung wiederum die These, dass Bewusstsein ein Epiphänomen von Leben sei. Bewusstsein mache einen winzigen – und durchaus vernachlässigbaren – Bestandteil menschlicher Intelligenz aus. Sie sei ja auch eine ganz späte Entwicklung der Evolutionsgeschichte und nicht unbedingt Voraussetzung für Leben.

Interessanterweise dreht sich nun die Geschichte der KI-Forschung um 180 Grad: Während in der klassischen KI die Fähigkeiten der Symbolverarbeitung, der Wissensrepräsentation und des Rechnens im Mittelpunkt standen, sind es nun die effektive Interaktionen mit der Welt inklusive einer guten Sensor- und Aktuatorausstattung. Katherine Hayles hat wiederum auf die Problematik dieser Annahmen aufmerksam gemacht¹⁴.

Die völlige Ausblendung von Bewusstsein findet sich nicht durchgängig in allen Ansätzen der neueren Robotik. Andere messen Intelligenz an der Fähigkeit der sozialen Interaktion, der Entwicklung von Sprachvermögen:

„Danach wäre Intelligenz insbesondere die Fähigkeit, die möglichen Handlungen von Artgenossen in der jeweiligen sozialen Gruppe möglichst gut einzuschätzen und vorherzusagen und die eigenen Handlungsmöglichkeiten dabei mit zu berücksichtigen“ (Christaller et al. 2001:75).

Die darwinistische Logik ist damit natürlich noch nicht überschritten, da es auch hier um den ‚survival of the fittest‘ nach recht eindeutigen Regeln geht, wenn auch mit anderen Mitteln und Methoden.

Hier findet sich also wieder eine ‚Politik der Abgeschlossenheit, der Endgültigkeit, ... der ‚Vereinfachung in letzter Instanz‘ statt, vor der Haraway und andere gewarnt haben. Die Dynamisierung, Offenheit und der – zumindest teilweise – nicht-klassische Weltzugang der Kybernetik, Robotik etc. scheint jedenfalls nicht per se vor reduktionistischen Tendenzen zu bewahren. Und dies scheint nicht nur an den Naturalisierungen innerhalb der darwinistischen Logik zu liegen.

‚Dances of Agency‘ und situiertes Wissen

Eingedenk der erneuten Renaturalisierungen in der Robotik kann man sich über die Euphorie Andrew Pickerings für die ‚ontologischen Projekte‘ Kybernetik und neueren Robotik nur wundern. Diese zielen angeblich darauf, die Lebendigkeit

13 Im übrigen verfolgt hier Brooks eine sehr klassische Erzählstrategie in der Techno-science, indem er seine kleinen neuen Roboter mit Namen signifiziert, die sie als potent, kriegerisch und erfolgreich ausweisen sollen.

14 Vgl. Hayles in diesem Band

der Welt zu erforschen und so setzt er begeistert auf die Möglichkeit einer Neukonzeption und Neugestaltung des Verhältnisses des Menschlichen und Nichtmenschlichen, in einem neuen Zeitalter des Werdens und Experimentierens, in der sich die WissenschaftlerInnen ‚In the Thick of Things‘ (Pickering 2001) vorwagen.

Pickering ist überzeugt, dass sich auf jeden Fall ein neuer Anfang, ja sogar eine neue Lebensform abzeichnet:

“As we arrive at a decentred vision of the zone of intersection of the human and the nonhuman, therefore, we at the same time find ourselves invited to join a new form of life – in which guided missiles (the original referent of cybernetics), cellular automata and New Age spirituality somehow resonate with and inform one another. An interesting place to be – exciting, scary, beautiful and distasteful, in turn or all at the same time – but at least radically different. One can get bored” (Pickering 2001:13).

Manch ein saturierter, gelangweilter Moderner – geplagt von seiner Weltlosigkeit – entdeckt die Herausforderungen eines neuen ‚way of life‘ bei der Suche nach dem Nichtmenschlichen. Offensichtlich entdecken nicht nur Robotiker, die mit ihrer traditionellen Herangehensweise ans Ende ihrer Weisheit gekommen sind, neue Möglichkeiten der Welterkundung und Entwicklung. Die Hoffnung von postmodernen Wissenschaftsforschern und Hobby-Lebensphilosophen wie Pickering scheint nun, dass sich jene neuen Wissenschaften und Künste, die angeblich die Suche nach den ewigen Wahrheiten aufgegeben haben, sich der Logik des Trial and Errors, des Ausprobierens und der Produktion des Unerwarteten verschreiben, um uns aus der modernen Logik des Immergleichen, des Geplanten und Vorhersehbaren zu befreien. Und so werden wir Helden¹⁵, die mutig in neue Räume schreiten, ungekannte Räume des Begehrens erschliessen und uns dem Strom des Werdens in einer neuen Kommunion mit dem Nichtmenschlichen überlassen:

“If we resist the modernist move to go behind the sciences in search of timeless truths, then there can be no substantive politics of becoming, which leaves us with the conclusion that the politics of becoming has to be a politics of experiment. Just like cybernetic controllers and autonomous robots, the political imperative has to be one of open-ended searches, trial and error, exploring spaces of human and nonhuman possibilities, including spaces of desire. In the end we can only make trips into the flow of becoming and genuinely find out whether the outcome is congenial or not” (Pickering 2001:17).

Ist man nur ein wenig mit gegenmodernen Phänomenen vertraut, stellt sich spätestens hier ein déjà vu ein. Wieder einmal wird in naiver – weil unpolitischer – Weise der Umgang mit Natur sowie die Interaktion von Mensch und Nichtmensch-

15 ‘We are heroes - just for one day’, singt dagegen David Bowie 1977, dessen Gefühl für Ironie angesichts maskulinistischen Überwindungserzählungen eher aktiviert als ad acta gelegt zu werden scheint; zur Kritik ähnlicher Heroengeschichten in aktueller Philosophie (vgl. Weber 2003:105ff).

lichem als Spielwiese inszeniert, auf der man eine neue Weise des Experimentierens gefunden hat, von der man (wer?) sich eine neue Nähe zu den Dingen (welchen?) erhofft. Von Verantwortung für diesen Umgang ist auch hier nicht die Rede.

Mag auch an dieser verallgemeinerten Logik des Trial and Errors erfreulich sein, dass es nicht mehr um die Überwindung von ‚präödpaler Symbiose, nichtentfremdeter Arbeit oder anderen Versuchungen, organische Ganzheit durch die endgültige Unterwerfung der Macht aller Teile unter ein höheres Ganzes zu erreichen‘ (Haraway) geht. Aber womöglich geht es um einen anderen, alten romantischen Traum – der von der Reziprozität von Subjekt und Objekt, Mensch und Maschine, der in diesem Falle als einer jenseits von Macht- und Herrschaftsstrukturen imaginiert wird.

So schwingt nicht nur in der alten humanistischen Technikforschung und -kritik die Sehnsucht nach der Milderung oder Aufhebung des Bruchs zwischen Subjekt und Objekt mit, sondern auch in neueren Ansätzen – genauso wie in den neuen Technowissenschaften selbst. Bettina Wahrig hat darauf verwiesen, dass Träume der Artificial Life-Forschung „zumindest teilweise auf der Sehnsucht nach Reziprozität in den menschlichen Verhältnissen [beruhen; JW]. Sie erzählen das Verhältnis von Mensch und Technik, als handle es sich hierbei um den verpassten ‚Augenaufschlag der Natur‘“ (Wahrig 2002:57).

Problematisch seien diese Sehnsüchte nach Versöhnung mit der Natur. Sie erzeugten „die Illusion, als seien die Utopie einer ‚Nachbarschaft zu den nächsten Dingen‘ (Nietzsche) und die Aufrechterhaltung eines Herrschaftsanspruchs gegenüber Mensch und Natur miteinander kompatibel“ (ebd.).

Vor diesem Hintergrund ist womöglich eine kritische Option politischen Handelns wie sie sich bei Haraway, Braidotti und anderen findet, überzeugender – eine Option, die nicht wie Pickering oder die neuere Robotik auf die Wunder der Emergenz hofft, auch wenn Offenheit für das Unerwartete, Ambivalenz und Kontingenz wesentliche Anteile bei der Auseinandersetzung mit und Konstruktion von Welt sind. Nichtsdestotrotz gilt es, sich für ‚lebbare Welten‘ (Haraway 1995b: 137) einzusetzen und Renaturalisierungen zu vermeiden:

„Was wäre, wenn Untersuchung und Herstellung von Fiktion und Fakten offen vonstatten gingen, ...? Erhielten dann die Anspruchslosen Zeugen ... ein schärferes Gespür dafür, worin eine Praxis situierten Wissens ... bestünde, in der die Geschichten, die gleichermaßen Möglichkeiten wie Gefahren eröffnen, auch in der alltäglichen Baukastenwelt der techno-wissenschaftlichen Praxis nicht einem liebevollen Be-greifen entgleiten“ (Haraway 1996:380)?

Dann wären Parteilichkeit und Verantwortlichkeit gefragt sowie die konsequente Verbindung von Politik und Techno-

science. Dann würde es auch möglich, nicht nur Offenheit, Nicht-Linearität, Partialität und Widersprüchlichkeit Priorität zu gewähren, sondern nach Ein- und Ausschlüssen zu fragen: Wer sind „the dispossessed, the abused, the excluded, the ‚other‘ of the high-tech clean and efficient bodies that contemporary culture sponsors“ (Braidotti 2002:139).

Dieser Ansatz vermag sicherlich nicht, die Widersprüchlichkeiten in unserem Verhältnis zum Nichtmenschlichen aufzuheben. Nichtsdestotrotz scheinen mir kritische Optionen politischen Handelns, wie sie sich bei Haraway und partiell auch Braidotti finden, vielversprechender zu sein als eine raunende Lebensphilosophie vom Neuanfang, vom Werden und der Hingabe an Trial und Error – eine Logik, die so wunderbar passt in unsere Zeit der Flexibilisierung und Deregulierung.

Literatur

- Adam, Alison (1998) Embodiment and Situatedness. The artificial life alternative. In: dies.: Artificial Knowing. Gender and the Thinking Machine. London / New York, 129-201
- Arendt, Hannah (1992 / 1958): Vita Activa oder Vom tätigen Leben. München (im Orig. 1958)
- Baudrillard, Jean (1978): Agonie des Realen. Berlin
- 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
- Bowie, David (1977): Heroes. RCA Records
- Braidotti, Rosi (2002): Metamorphoses. Towards a Materialist Theory of Becoming. Cambridge / Oxford
- 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): Flesh and Machines. New York
- 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.
- Cordis (Community Research & Development Information Service). Information Society Technologies. Future & Emerging Technologies - Proactive Initiative 2000: Neuroinformatics for 'living' artefacts (NI). Position Paper. In: www.cordis.lu/ist/fetni-4.htm, 1 (last access: 11/2000)
- 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>) (auch erschienen in: Seán Ó Nualláin / Paul Mc Kevitt / Eoghan Mac Aogháin (Hg.) (1997), Two Sciences of Mind, Readings in Cognitive Science and Consciousness, Advances in Consciousness Research, AiCR, Vol. 9. Amsterdam, The Netherlands/Philadelphia
- 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)
- 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
- Ginsberg, Matt (1993): Essentials on Artificial Intelligence. San Mateo
- Haraway, Donna (1995a): Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen. Frankfurt a.M. / New York
- Haraway, Donna (1995b): Monströse Versprechen. Coyote-Geschichten zu Feminismus und Technowissenschaft. Hamburg

Haraway, Donna (1996): *Anspruchsloser Zeuge @ Zweites Jahrtausend. FrauMann® trifft OncoMouse™. 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. FemaleManc_Meets_OncoMouse™.* *Feminism and Technology.* New York / London

Hayles, N. Katherine (1999): *How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics.* Chicago / London

Hayles, N. Katherine (2003): *Computing the Human.* In: Jutta Weber / Corinna Bath (Hg.): *Turbulente Körper, soziale Maschinen. Feministische Studien zur Technowissenschaftskultur.* Opladen

Hiltl, Marion (2003): *Kleine Helfer mit großem Potenzial. Mikrosystemtechnik als eine der Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts.* In: http://idw-online.de/public/zeige_pm.html?pmid=50966; last access 17.4.03

Husbands, Phil / Meyer, Jean-Arcady (Hg.) (1998): *Evolutionary Robotics. First European Workshop, EvoRobot98, Paris, France, April 16-17, 1998, Proceedings, Berlin et. al., 1-21*

Jacob, François (1977): *Evolution and Tinkering.* In: *Science*, 10.June, Vol. 196, Nr. 4295, p. 1161-1166

Kember, Sarah (2001): *Resisting the New Evolutionism.* In: *Women: a cultural review*, Vol.12, No. 1, 1-8

Langton, Christopher G. (1996): *Artificial Life.* In: Margaret Boden (ed.): *The Philosophy of Artificial Life.* Oxford, 39-94

Luhmann, Niklas (1990): *Die Wissenschaft der Gesellschaft.* Frankfurt a.M.

Metzinger, Thomas (1999): *Kognitive Robotik: Ein neues Anwendungsgebiet für die philosophische Ethik?* In: Michael Decker (Hg.): *Robotik. Einführung in eine interdisziplinäre Diskussion.* Graue Reihe Nr. 16 der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen. Bad Neuenahr-Ahrweiler, 32-46

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

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 Technowissenschaftskultur.* Opladen

Parisi, Luciana / Terranova, Tiziana (2002): *Heat-Death. Emergence and Control in Genetic Engineering and Artificial Life.* In: <http://www.ctheory.com/article/a84.htm> (last access 1/2002)

- Penny, Simon (1996): The Darwin Machine. In: <http://www.heise.de/tp/english/special/vag/6049/1.html> (last access: 2/2003)
- Pfeifer, Rolf / Scheier, Christian (1999): Understanding Intelligence. Cambridge, MA
- Pfeifer, Rolf (2001): Embodied Artificial Intelligence. 10 Years Back, 10 Years Forward. In: R. Wilhelm (Hg.): Informatics. 10 Years Back. 10 Years Ahead, Lecture Notes in Computer Science, Berlin / Heidelberg, 294-310
- 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: <http://www.soc.uiuc.edu/faculty/pickering/cybernetics.pdf> (last access: 11/2002)
- Reiser, Rio (1987): Wann? In: Ders.: Blinder Passagier. George Glück / CBS
- Schürmann, Volker (2003): Die Bedeutung der Körper. Literatur zur Körper-Debatte – eine Auswahl in systematischer Absicht. In: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie 28.1. (2003), 51-69
- Steels, Luc (1991): Towards a theory of emergent functionality. In: J.A. Meyer and S.W.Wilson (eds.): From animals to animats. Proceedings of the First International Conference on simulation of adaptive behavior, p.451-461
- Steels, Luc / Brooks, Rodney (eds.) (1993): The Artificial Life Route to Artificial Intelligence. Building Situated Embodied Agents. New Haven
- Suchman, Lucy (1987): Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication. Cambridge University Press
- Virilio, Paul (1994): Die Eroberung des Körpers. Vom Übermensch zum überreizten Menschen. München / Wien
- Wahrig, Bettina (2002): Zeichen – Materialität – Technofetisch: Einige Thesen zu Embodiment / Verkörperung in Beziehung auf Technofakte. In: Positionspapier der Tagung Embodied Agents of Life- and Cyberscience. Bredbeck, Tagungsreader, 55-57
- Weber, Jutta (2003): Umkämpfte Bedeutungen: Naturkonzepte im Zeitalter der Technoscience. Frankfurt a.M. / New York
- Weizenbaum, Joseph (1994/1974): Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt a.M. 1994 (orig. 1974)
- Ziemke, Tom (2002): Disentangling Notions of Embodiment. <http://www.cogsci.ed.ac.uk/~deco/invited/ziemke.pdf> (last access: 5/2002)
- Zima, Peter (1997): Moderne / Postmoderne. Tübingen / Basel