

Begetting Machinery I - Von Darwin zur Kybernetik

Andie Rothenhäusler

Institut für Geschichte, Universität Karlsruhe (TH), E-Mail: andreas.rothenhaeusler@stud.uni-karlsruhe.de

Abstract

In the aftermath of „The Origin of Species“, several other authors of the 19th and 20th century recommended the application of new-born darwinism on the field of technology. This would happen in a metaphorical way, with the keyword „evolution“ used synonymously for technological development as well as in a more ambitious try to reconcile engineering with natural sciences. At the beginning of the 21st century, the preoccupation with a possible evolution of technology is more topical than ever.

Keywords: Technological evolution, cybernetics, history of technology, darwinism, evolutionary algorithm

Manuscript received 10 June 2009, revised 16 June 2009, accepted 26 June 2009.

Copyright note: This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original work is properly cited.

Begetting Machinery I

Es scheint heute keine zwei so schwer miteinander zu vereinenden Begriffe zu geben wie „Technik“ und „Natur“ und im allgemeinen Sprachgebrauch klingt bei ihrer Gegenüberstellung oft das Beispiel der Motorsäge mit, die im brasilianischen Regenwald Bäume abholzt. Dementsprechend ist auch das Bild von Technik häufig von der Einstellung geprägt, dass sich die schwerfällige Natur von den voranpreschenden Technologien in ihrer rasanten Entwicklung in einer Art *natural lag*¹ an die Ränder der Welt zurückdrängen lassen muss (diese Sichtweise ist übrigens kein Phänomen des 20. Jahrhunderts; ihre technikkritischen Advokaten hatte „die Natur“ schon seit Jahrhunderten gefunden²). Auch nach Deutung vieler Biologen ist Technik ein Alleinstellungsmerkmal des Menschen, das seiner „natürlichen“ Rolle im Tierreich in gewisser Weise widerspricht: So erklärte der Verhaltensforscher Konrad

Lorenz in seiner Schrift „Das sogenannte Böse“ das unverhältnismäßig große Zerstörungspotential des Menschen mit dem ihm eigentümlichen Mangel an natürlichen Waffen; wie andere „wehrlose“ Spezies (wie die Ringeltaube) habe er daher eine besonders große Aggression entwickelt, der steuernde Mechanismen fehlen würden, wie sie zum Beispiel bei „wehrhafteren“ Arten wie Wölfen durchaus vorhanden seien³. Lorenz verglich dabei den Menschen und seine Technik (vom Faustkeil bis zur Atombombe) mit einer Ringeltaube, die durch eine Laune der Natur mit einem scharfen Rabenschnabel ausgestattet worden wäre⁴, dessen Anwendung durch keinerlei Hemmschwellen reglementiert würde. Der Biologe Ernst Mayr veröffentlichte über neunzigjährig sein Spätwerk, eine Zusammenfassung der Evolutionstheorie, in der er das Mensch-Umwelt-Verhältnis folgendermaßen beschreibt:

„Unser überragendes Gehirn hat uns in die Lage versetzt, eine Erfindung nach der anderen zu ma-

¹ Analog zu William Ogburns These vom „cultural lag“, nach der Gesellschaften sich mit deutlicher Verzögerung dem technischen Fortschritt anpassen. Nina Degele, Einführung in die Techniksoziologie, München 2002.

² Vgl. Rolf Peter Sieferle, Fortschrittsfeinde? Opposition gegen Technik und Industrie von der Romantik bis zur Gegenwart, München 1984.

³ So zeigt laut Lorenz der unterlegene Wolf bei einem Kampf in der Rudelhierarchie dem Sieger seinen Nacken; dies löst bei diesem einen Schlüsselreiz aus, nach dem das überlegene Männchen gar nicht mehr den tödlichen Biss anbringen kann.

⁴ Konrad Lorenz, Das sogenannte Böse, Wien 1963, 321.

chen und so zunehmend unabhängig von der Natur zu werden... Kein anderes Tier hat jemals die gleiche, relativ große Vorherrschaft über die Natur erlangt. In den letzten 50 Jahren ist jedoch immer deutlicher geworden, dass wir nach wie vor völlig auf die Natur angewiesen sind und dass unsere Bemühungen, sie zu beherrschen, einen hohen Preis haben... [wie] die übermäßige Ausbeutung nicht erneuerbarer Energiequellen und die fortwährende Zerstörung der Quellen erneuerbarer Ressourcen... Luft- und Wasserverschmutzung, die beschleunigte Zerstörung natürlicher Lebensräume und der Früchte der Evolution – der Vielfalt des Pflanzen- und Tierlebens –, aber auch die Entstehung schrecklicher gesellschaftlicher Phänomene wie Slums, Armut und Elendsviertel.“⁵

Technik an sich scheint also ein gefährlicher und vor allem unnatürlicher Faktor menschlichen (Zusammen-)Lebens zu sein.

Ein Warner vor den negativen Folgen der in seiner Epoche zunehmend spürbaren Technisierung war auch der britische Autor, Cambridge-Absolvent und Schafzüchter Samuel Butler, der 1863 in einem Leserbrief an die neuseeländische Zeitung „The Press“ unter dem Titel „Darwin Among The Machines“⁶ die Machtübernahme der Maschinen prophezeite, die sich nach den jüngst von Darwin aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten immer weiterentwickeln und die Menschen versklaven würden⁷. Interessanterweise prangerte Butler nicht die Unnatürlichkeit einer zunehmenden Maschinisierung an; er begründete den „war to the death“⁸, der unverzüglich gegen die Maschinen zu erklären sei, mit emanzipatorischen Argumenten, sah aber ihre möglicherweise schon stattfindende Evolution als etwas Normales und fast Selbstverständliches an; analog zur gerade von Dar-

win veröffentlichten Evolutionstheorie entwickelte sich auch die Technik evolutionär und angesichts ihrer enormen Geschwindigkeit dabei⁹ würden sich eines Tages Menschen in einer biologischen Hierarchie zu ihr verhalten, wie sich momentan die Tierwelt zur Menschenwelt verhalte¹⁰.

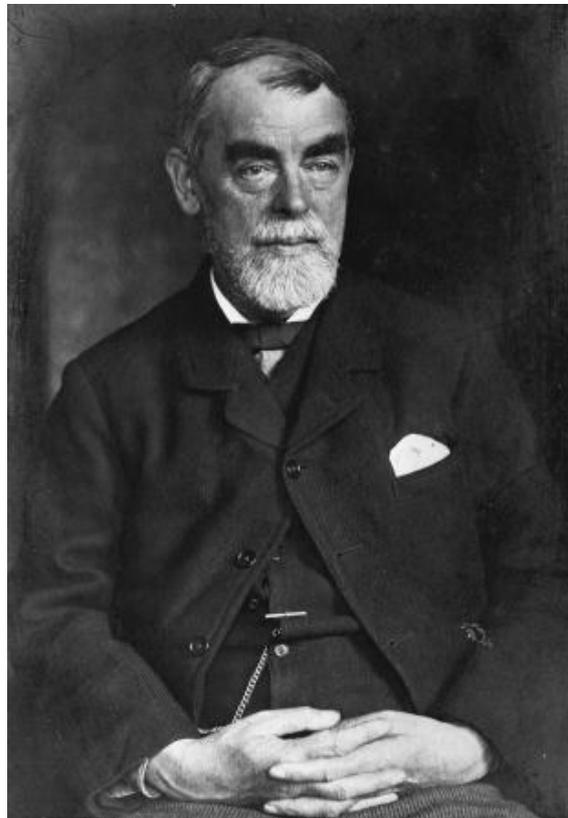


Figure 1. Samuel Butler (1835- 1902)

Butler selbst war eher Romanautor als Gelehrter, der zudem in dem Ruf stand, seine Bücher selbst verlegen zu müssen, nichtsdestotrotz verstrickte sich der Pfarrerssohn aus Nottinghamshire in eine lebenslange und durchaus ernstgemeinte Auseinandersetzung mit Charles Darwin, in der der „Satiriker von Beruf“¹¹ auch die Folgen zu spüren bekam, eine Autorität seiner Zeit herauszufordern. Er war allerdings

⁵ Ernst Mayr, Das ist Evolution, München 2005, 318.

⁶ Samuel Butler, Darwin Among the Machines, in: ders., A First Year in Canterbury Settlement and Other Early Essays, New York 1968, 208-213.

⁷ „Day by day, however, the machines are gaining ground upon us; day by day we are becoming more subservient to them; more men are daily bound down as slaves to tend them, more men are daily devoting the energies of their whole lives to the development of mechanical life. The upshot is simply a question of time, but that the time will come when the machines will hold the real supremacy over the world and its inhabitants is what no person of a truly philosophic mind can for a moment question.“ Butler, Darwin Among the Machines (wie Anm. 6), 212.

⁸ Butler, Darwin Among the Machines (wie Anm. 6), 213.

⁹ „...if we then examine the machinery of the Great Eastern, we find ourselves almost awestruck at the vast development of the mechanical world, at the gigantic strides with which it has advanced in comparison with the slow progress of the animal and vegetable kingdom...“ Butler, Darwin Among the Machines (wie Anm. 6), 208.

¹⁰ „...when the state of things shall have arrived which we have been above attempting to describe, man will have become to the machine what the horse and the dog are to man.“ Butler, Darwin Among the Machines (wie Anm. 6), 212.

¹¹ George B. Dyson, Darwin im Reich der Maschinen, Wien 2001, 39.

nicht der einzige, der schon in den ersten Jahren nach Darwins Veröffentlichung die Evolutionstheorie auf die Entwicklung der Technik übertrug: Auch Henry Lane-Fox Pitt-Rivers, ein britischer Kolonialoffizier und Sammler ethnologischer Artefakte, bezog sich in einer Abhandlung über die Klassifizierung von Fundstücken auf Darwins Theorie¹². Allgemein luden Darwins Ausführungen zu einer Anwendung evolutionärer Gedanken außerhalb der Biologie ein, was auch die Popularität des „Darwinismus“ mitzubegründen half. Allerdings übernahmen viele der von Darwin Inspirierten nur die Teile der ursprünglichen Theorie, die sich für sie als brauchbar erwiesen – gerade die von Darwin postulierte Zufälligkeit der Evolution stand im Gegensatz zu einem teleologischen Zeitgeist, der den Menschen „an der Spitze der Entwicklung“¹³ sehen wollte. Passend zu dieser Sichtweise formulierte der Technikphilosoph Ernst Kapp in den 1870er Jahren die Organprojektionsthese, nach der die technischen Errungenschaften des Menschen Abbilder seiner Organe seien: So stelle der Hammer eine Projektion der Faust dar, die Säge sei den Zähnen nachempfunden¹⁴; auch komplexere menschliche Produkte wie das Straßensystem oder der Staat fänden ihre Gegenbilder im Blutkreislauf bzw. im Menschen als Ganzes. Der Mensch erzeuge sich insofern selbst und sei Basis aller Technologie; in der bewussten und selbstbewussten Herstellung von technischen Artefakten wäre das Endziel, dass sich der Mensch „selbst begegne und erkenne“¹⁵. Einen anderen, darwinlastigeren Ansatz verfolgte der österreichische Technikhistoriker Hugo Theodor Horwitz (1882-1941), der sich bemühte, Kapps Theorie zuerst behutsam, später direkter zu widerlegen. Horwitz, 1882 als Sohn eines vermögenden jüdischen Kaufmanns in Wien geboren, schlug zuerst (wie viele der technikhistorischen Pioniere) eine Ingenieurslaufbahn ein, bevor er die Profession wechselte und 1911 bei Conrad Matschoss promovierte. Er war in der Lage, die noch junge Disziplin der Technikgeschichte um

neue Ansätze aus der Ethnologie zu bereichern¹⁶, wobei er beispielsweise bei einer Arbeit über die Entwicklung der Armbrust¹⁷ (erschieden in der Zeitschrift für historische Waffen- und Kostümkunde) sowohl auf die Übersetzung der Urquellen durch Chinesen als auch auf die Zusammenarbeit mit Sinologen zurückgriff¹⁸. Zur Entstehungsgeschichte und Verbreitung der Armbrust legte Horwitz später einen ausführlichen Artikel in derselben Zeitschrift nach¹⁹, in dem er sich von Beginn an auf die Biologie als geeignetem Vorbild für die Entwicklungsgeschichte berief²⁰ und im Sinne einer „genetischen Methode“ versuchte, für die Armbrust anhand von schriftlichen Quellen, Artefakten und Darstellungen einen Stammbaum zu erstellen²¹. Wie schon zuvor erwähnt, war Horwitz ein Gegner der Organprojektionsthese, die er empirisch mit Gegenbeispielen widerlegte (Thomas Brandstetter führt Horwitz' Argument an, dass niemand je „die Zähne eines Kiefers als Säge benutzt“ habe²²), und dabei auch betonte, dass das Werkzeug nicht allein, sondern nur in seiner Anwendung, also als „dynamische Zweifelhändig (in Verbindung mit dem Arm) – Werkzeug in den Kreis seiner Betrachtung gezogen“²³ werden

¹² Thomas Brandstetter, Elemente einer Philosophie nach Horwitz, in: Thomas Brandstetter/Ulrich Troitzsch (Hg.), Hugo Theodor Horwitz: Das Relais-Prinzip, Wien 2008, 57.

¹³ Manuela Lenzen, Evolutionstheorien in den Natur- und Sozialwissenschaften, Frankfurt am Main 2003, 54.

¹⁴ Brandstetter, Elemente einer Philosophie nach Horwitz (wie Anm. 12), 62.

¹⁵ Brandstetter, Elemente einer Philosophie nach Horwitz (wie Anm. 12), 63.

¹⁶ Ulrich Troitzsch, Zum Lebensweg des jüdischen Technik- und Kulturhistorikers Hugo Theodor Horwitz (1882-1941), in: Thomas Brandstetter/Ulrich Troitzsch (Hg.), Hugo Theodor Horwitz: Das Relais-Prinzip, Wien 2008, 23.

¹⁷ Hugo Theodor Horwitz, Die Armbrust in Ostasien, in: Zeitschrift für historische Waffen- und Kostümkunde 7. 1915-1917, 155-183, zitiert nach Thomas Brandstetter/Ulrich Troitzsch (Hg.), Hugo Theodor Horwitz: Das Relais-Prinzip, Wien 2008, 46.

¹⁸ Hugo Theodor Horwitz, Die Armbrust in Ostasien (wie Anm. 17).

¹⁹ Hugo Theodor Horwitz, Zur Entwicklungsgeschichte der Armbrust, in: Zeitschrift für historische Waffenkunde 8. 1918-20, 311-317, zitiert nach Thomas Brandstetter/Ulrich Troitzsch (Hg.), Hugo Theodor Horwitz: Das Relais-Prinzip, Wien 2008, 147-163.

²⁰ „In solch einem Falle [in dem nur wenige Quellen und Überlieferungen vorhanden sind, Anm. d. A.] dürfte es angemessen erscheinen, einmal ein anderes Verfahren zu versuchen und statt der den historischen Wissenschaften entnommenen Methode die der Naturwissenschaften anzuwenden. Unter diesen ist es vor allem die Biologie, die sich hauptsächlich mit der Entwicklungsgeschichte beschäftigt.“ Horwitz, Zur Entwicklungsgeschichte der Armbrust (wie Anm. 19), 147.

²¹ Hugo Theodor Horwitz, Zur Entwicklungsgeschichte der Armbrust, 151.

²² Brandstetter, Elemente einer Philosophie nach Horwitz (wie Anm. 12), 63.

²³ Hugo Theodor Horwitz, Organprojektion, in: Thomas Brandstetter/Ulrich Troitzsch (Hg.), Hugo Theodor Horwitz: Das Relais-Prinzip, Wien 2008, 196 f.

könne. Der letzte Gedanke der Untrennbarkeit von Mensch und Werkzeug zieht sich wie ein roter Faden durch Horwitz' Gesamtwerk und ist, wie Brandstetter schreibt, als „Ansatz... erst nach dem Zweiten Weltkrieg von Autoren wie Georges Canguilhem und Gilbert Simondon (wieder-)entdeckt worden, um 1985 in Donna Haraways *Manifesto for Cyborgs* seine wohl bekannteste Artikulation zu finden.“²⁴ Die wohl stärkste Rezeption erfährt Darwins Evolutionstheorie bei Horwitz in seinem Habilitationsversuch „Über das Gesetz vom Gebrauchswechsel und die Entwicklungsprinzipien bei einfachen technischen Gebilden“, den er 1931 in den „Beiträgen zur Geschichte der Technik und Industrie“ veröffentlichte. Schon zu Beginn der Arbeit weist Horwitz auf die Ähnlichkeiten historischer und biologischer Gesetze in ihrer fehlenden Exaktheit hin²⁵ (ein Ansatz, den der Evolutionsbiologe und Umwelthistoriker Jared Diamond sieben Jahrzehnte später in seinem Aufsatz „Die Zukunft der Geschichtswissenschaften als Naturwissenschaft“ vertiefte²⁶), was seiner Meinung einer von vielen Punkten ist, in denen das Gesetz vom Gebrauchswechsel (ursprünglich von Hartig formuliert) mit Darwins Theorie vergleichbar ist²⁷.

In Bezug auf spätere Überlegungen wollen wir im Kopf behalten, dass Horwitz von Darwin einen Entwicklungsgedanken übernahm, der nicht zielgerichtet ist und prozesshaften Charakter besitzt. Vom „evolutionären Algorithmus“²⁸ aus Variation, Replikation und Selektion, also von dem, was in der Modernen Evolutionären Synthese die eigentliche

Grundlage der Evolution ausmacht²⁹, ist bei Horwitz wenig bis nichts zu entdecken; dies passt allerdings zur „Zerfaserung des evolutionären Denkens“³⁰, die nach Darwins Tod einsetzte und bis in die 1930er Jahre andauern sollte³¹. Horwitz, der zusammen mit seiner Ehefrau Marianne 1941 nach Minsk deportiert worden war, sollte den Holocaust nicht überleben. Mit ihm verlor nicht nur ein brillanter Technikhistoriker und unkonventioneller Querdenker sein Leben, auch die darwinistische Evolutionstheorie und ihre kulturellen Deutungen sollten, durch die Missdeutungen des Nationalsozialismus befleckt, für mehrere Jahrzehnte aus dem Fokus der Öffentlichkeit verschwinden. Doch obwohl Horwitz' Forschung erst ab den 1980er Jahren langsam wiederentdeckt werden sollte, fanden die Themen, mit denen er sich auseinandersetzte, schon während und kurz nach dem Weltkrieg in einer anderen wissenschaftlichen Disziplin Beachtung, nämlich bei den Kybernetikern.

So beschäftigte sich der Philosoph Max Bense in seinem Aufsatz „Kybernetik oder Die Metatechnik einer Maschine“³² 1951 unter anderem auch mit der Rolle des Relais als künstlichem Gedächtnis bzw. elementarster Grundlage einer kybernetischen Intelligenz³³ - einer Intelligenz, die in vielen Hinsichten den Leistungen des Menschen überlegene Resultate zeigen könnte, allerdings trotz ihrer vermeintlichen Perfektion und in ihrem mangelnden Bewusstsein dem Menschen insgesamt unterlegen bleibt³⁴. Trotz-

²⁴ Brandstetter, Elemente einer Philosophie nach Horwitz (wie Anm. 12), 53.

²⁵ Hugo Theodor Horwitz, Über das Gesetz vom Gebrauchswechsel und die Entwicklungsprinzipien bei einfachen technischen Gebilden, in: Thomas Brandstetter/Ulrich Troitzsch (Hg.), Hugo Theodor Horwitz: Das Relais-Prinzip, Wien 2008, 164-193.

²⁶ Jared Diamond, Arm und reich. Die Schicksale menschlicher Gesellschaften, Frankfurt am Main 2007, 505-515.

²⁷ „Wenn Darwins Lehre hier als Beispiel zur Kennzeichnung des Genauigkeitsgrades eines naturgeschichtlichen Gesetzes herangezogen wird, so geschieht dies auch deswegen, weil, wie später gezeigt werden soll, das Gesetz vom Gebrauchswechsel in enge Beziehung zu dieser Theorie und zu der durch sie in Fluß gebrachten Entwicklungslehre gesetzt werden kann.“ Horwitz, Über das Gesetz vom Gebrauchswechsel und die Entwicklungsprinzipien bei einfachen technischen Gebilden (wie Anm. 25), 166.

²⁸ Wie Susan Blackmore ihn in Anlehnung an den amerikanischen Philosophen Daniel Dennett bezeichnete: Susan Blackmore, Die Macht der Meme oder Die Evolution von Kultur und Geist, München 2005, 38.

²⁹ Manuela Lenzen, Evolutionstheorien (wie Anm. 13), 63.

³⁰ Manuela Lenzen, Evolutionstheorien (wie Anm. 13), 56.

³¹ Manuela Lenzen, Evolutionstheorien (wie Anm. 13), 56.

³² Max Bense, Kybernetik oder Die Metatechnik einer Maschine, in: Claus Pias u.a. (Hg.), Kursbuch Medienkultur. Die maßgeblichen Theorien von Brecht bis Baudrillard, Stuttgart 1999, 472.

³³ „Wie die Mathematik, so verwirklicht auch die Logik gewisse Vorgänge, die ohne weiteres technisch reproduziert werden können. Rechenmaschinen und Hollerithmaschinen beweisen es. Was aber den Prozess des Zählens anbetrifft, so ist es nicht nötig, die Zahlen mit Hilfe eines Zehnersystems zu zählen. Man kann die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3... auch mit Hilfe zweier Zeichen, also zweier Zahlen, in einem dyadischen System ausdrücken. Und die beiden Zeichen? - Sie sind mit Hilfe des Relais zu verwirklichen. Das geschlossene Relais entspricht der einen, das geöffnete, ausgeschaltene Relais der anderen Zahl. Durch Folgen des offenen oder geschlossenen Kontaktes demonstriert das gesteuerte Relais die Zahlenreihe: ein Kontakt kann also zählen.“ Max Bense, Kybernetik (wie Anm. 32), 475.

³⁴ „Die Maschine vermag den detaillierten Umfang faktischen, menschlichen Wissens zu übertreffen, aber sie weiß dennoch nur das, was wir wissen können, ohne zu wissen, dass wir es wissen.“ Max Bense, Kybernetik (wie Anm. 32), 482.

dem weist Bense der sich entwickelnden (vermeintlichen) Intelligenz der Maschinen eine wichtige Rolle für die menschliche Entwicklung zu: Im „Missverhältnis zwischen Natur und Mensch“ und einem fortschreitenden Bedeutungsgewinn der Technik könnte man letztere „als eine mögliche Lösung jenes anthropologisch fixierbaren Missverhältnisses“ auffassen³⁵: Seiner Rolle als „geistiges Wesen“ könnte der Mensch dann in der selbstgeschaffenen technischen Umwelt gerecht werden.³⁶ Die Kybernetiker griffen evolutionäre Prinzipien zum Teil auf, wobei ihr Ausgangspunkt die Untrennbarkeit vom Mensch und seiner Technik war. Der oben beschriebene Antagonismus Mensch/Technik – Natur bestand für sie nicht bzw. war höchstens ein noch zu überwindendes Konzept.



Figure 2. Maelzels Schachspieler, eine aus der Sicht ihrer Epoche nach „intelligente“ Maschine. Kupferstich, 1789

Eines fällt bei der heutigen Betrachtung der Theorien Max Benses, Hugo Theodor Horwitz' und auch Samuel Butlers ins Auge, nämlich dass sich das Verständnis von Intelligenz im Laufe der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts grundsätzlich gewandelt hat: Sieht Bense noch die Hollerithmaschine als Symbol einer maschinellen Logik und ihre Prozesse analog zu einem geistigen Vorgang³⁷ und kommt Butlers Vision einer kommenden Versklavung der Menschheit durch die Maschinen noch vollkommen ohne eine technische Eigendynamik oder Ambition letzte-

rer aus³⁸, so scheint zur Jahrtausendwende mit künstlicher Intelligenz weitaus mehr verbunden zu sein: Emotionen, Empathie, Dialogfähigkeit, sowie ein Bewusstsein, das sich selbst in Frage stellen kann. Der Hollywoodfilm „I, Robot“³⁹ von 2004 liefert mit einem emotionalen Roboter als Hauptcharakter dafür ein anschauliches Beispiel – in Asimovs gleichnamiger Romanvorlage von 1951⁴⁰ stellten die Maschinen immer noch reine Produkte ihrer Programmierung dar. Auch fiktive Mensch-Maschinen-Hybriden haben sich in einem halben Jahrhundert in Motivation und Vorgehen verändert: So sind beispielsweise die *Cybermen*, kybernetische Antagonisten in der BBC-Science-Fiction-Serie *Doctor Who* in den 1960er Jahren⁴¹, als emotionslose und rein logisch dirigierte Gegner für ihr Jahrzehnt glaubwürdig genug; die Königin der kybernetischen *Borg-Schwarmintelligenz* aus dem achten Star Trek-Film „*First Contact*“ von 1996⁴² wird hingegen zwar als rein logische Gegenspielerin eingeführt, entpuppt sich aber im Laufe der Handlung als individuelle Einheit und fast genauso emotional gesteuert wie die humanen Protagonisten. Insofern beinhalten die kulturellen Ansprüche an eine künstliche Intelligenz nun einen komplexeren Kanon an „menschlichen“ Attributen als ein paar Jahrzehnte zuvor noch; der Mensch hat seine Vorstellungen einer utopischen Technologie seinem Ebenbild angepasst.

³⁸ „No evil passions, no jealousy, no avarice, no impure desires will disturb the serene might of those glorious creatures. Sin, shame, and sorrow will have no place among them. Their minds will be in a state of perpetual calm, the contentment of a spirit that knows no wants, is disturbed by no regrets. Ambition will never torture them. Ingratitude will never cause them the uneasiness of a moment. The guilty conscience, the hope deferred, the pains of exile, the insolence of office, and the spurns that patient merit of the unworthy takes —these will be entirely unknown to them.“
Butler, Darwin Among the Machines (wie Anm. 6), 209.

³⁹ <http://www.imdb.com/title/tt0343818/>.

⁴⁰ Isaac Asimov, *Meine Freunde, die Roboter*, München 2002.

⁴¹ <http://www.bbc.co.uk/doctorwho/classic/episodeguide/tenthplanet/>.

⁴² <http://www.imdb.com/title/tt0117731/>.

³⁵ Max Bense, *Kybernetik* (wie Anm. 32), 483.

³⁶ Max Bense, *Kybernetik* (wie Anm. 32), 483.

³⁷ Max Bense, *Kybernetik* (wie Anm. 32), 474.