

SCIENCE & FICTION

**Eine wissenschaftliche Betrachtung klassischer
technischer Science Fiction Ansätze zu Beginn des
21. Jahrhunderts**

Diplomarbeit

im Studiengang Informationswirtschaft der
Fachhochschule Stuttgart – Hochschule der Medien

Vorgelegt von **Lars Wittmaak**

Erstprüfer: Prof. Dr. Rafael Capurro
Zweitprüferin: Prof. Margarete Payer

Bearbeitungszeitraum: 23.08.2004 bis 23.12.2004

Stuttgart, Dezember 2004

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit klassischen technischen Science Fiction Ansätzen und spezialisiert sich hierbei vor allem auf den Bereich der Robotik. Es werden sowohl Roboter aus bekannten Science Fiction Filmen und Büchern als auch Roboter aus der Wissenschaft und Wirtschaft vorgestellt. Besonders eingegangen wird auf die Nanotechnologie als Technologie der Zukunft und auf den Bereich der Künstlichen Intelligenz als Schlüssel zu intelligenten Maschinen. Die Frage, ob die Menschheit sich vor den von ihnen geschaffenen Maschinen fürchten muss wird erörtert und in diesem Zusammenhang werden ethische Gesichtspunkte aufgezeigt.

Schlagwörter: Science Fiction, Künstliche Intelligenz, Nanotechnologie, Robotik, Roboter, Leib-Seele-Problem

Abstract

This document describes classical technical science fiction ideas. In this context it concentrates very strongly on robotics. Well known science fiction robots are described as well as real robots developed by science and enterprises. Also presented are nanotechnology as the technology of the future and artificial intelligence as a key to intelligent machines. Also the question is discussed if mankind needs to be afraid of the machines developed by itself. Finally ethical aspects of future technology are shown.

Keywords: science fiction, artificial intelligence, nanotechnology, robotics, robots, body soul problem

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Vorwort	7
1 Einleitung.....	9
1.1 Hinführung zum Thema und Definitionen	9
1.2 Zielsetzung der Arbeit	11
1.3 Aufbau der Arbeit	12
2 Stand der Technik zu Beginn des 21. Jahrhunderts	14
2.1 Hardware & Software als Basis technischer Neuentwicklungen.....	14
2.1.1 Entwicklung der Rechenleistung & das Mooresche Gesetz	16
2.1.2 Grundlagen & Definition der Nanotechnologie.....	20
2.1.3 Möglichkeiten der Nanotechnologie	24
2.1.1 Smarte Materialien.....	26
2.2 Künstliche Intelligenz als Schlüssel zu eigenständigen Maschinen.....	27
2.2.1 Definition Künstliche Intelligenz	28
2.2.2 Die Geschichte der Künstlichen Intelligenz.....	30
2.2.3 Produkte der KI	33
2.2.4 Aktuelle Probleme der KI-Forschung	35
2.2.5 Der Turing Test und seine Bedeutung für die KI Forschung.....	38
3 Intelligente Maschinen als nächste Stufe der Evolution.....	40
3.1 Das Leib-Seele-Problem.....	41
3.1.1 Neuronale Netze	42
3.1.2 Kritik am Modell neuronaler Netze	44
3.1.3 Das Leib-Seele-Problem und KI	44
3.2 Sind intelligente Maschinen die nächste Stufe der Evolution?	45
4 Roboter - Vision und Realität.....	48
4.1 Definition des Begriffs Roboter	49
4.2 Isaac Asimovs Robotervisionen.....	51
4.2.1 Die Asimovschen drei Gesetze der Robotik	52
4.3 Andere berühmte Robotervisionen	53
4.3.1 Fritz Langs Maschinenmensch	54

4.3.2	Die Roboter der StarWars Geschichte.....	55
4.3.3	Die „Robot Hall of Fame“	57
4.3.4	Robotervisionen in Menschengestalt	59
4.4	Asimo, Qrio & HRP2 - Vorstellung der realen, aktuellen Robotergeneration.....	61
4.4.1	Eigenschaften von Asimo	62
4.5	Aibo – der erste Roboter für den Endverbraucher	64
4.6	Die Robotik zu Beginn des 21. Jahrhunderts.....	65
4.6.1	Die technischen Probleme der Robotik.....	66
4.7	Autonomie als wichtiger Aspekt der Robotik.....	68
4.8	Ein besonderer Roboter: Kismet.....	69
5	Die Auswirkung klassischer Science-Fiction-Ideen auf die Wissenschaft.....	71
5.1	Die Auswirkungen von Asimov’s Roboter-Visionen.....	71
6	Ethische Ansätze in Bezug auf intelligente Maschinen	73
6.1	Die Gefährdung des menschlichen Lebens	73
6.2	Die Verantwortung für das Handeln von Maschinen.....	75
Fazit	77
Literaturverzeichnis	79
Erklärung	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Mensch und sein Elektrodenhelm	S. 7
Abbildung 2: 3 Bereiche klassischer technischer SF Ideen	S. 9
Abbildung 3: Hard- und Software als Grundlage für Zukunftstechnologien	S. 14
Abbildung 4: Gordon Moore	S. 15
Abbildung 5: Das Mooresche Gesetz	S. 16
Abbildung 6: Top 500 List	S. 18
Abbildung 7: Nanoröhren	S. 21
Abbildung 8: "The Blob", SF-Filmklassiker von 1958	S. 22
Abbildung 9: Bio Nanobot	S. 23
Abbildung 10: Kraken 2	S. 23
Abbildung 11: biologisches Empfinden bei einer Roboterhand	S. 26
Abbildung 12: Alan M. Turing	S. 30
Abbildung 13: Kunstwerk des kybernetischen Künstlers Aaron	S. 34
Abbildung 14: Schnitt durch Hirngewebe	S. 36
Abbildung 15: Der Turingtest	S. 39
Abbildung 16: Das neurokybernetische Grundmodell	S. 42
Abbildung 17: Asimovsche Robotervision	S. 51
Abbildung 18: Der Erfinder Rotwang	S. 54
Abbildung 19: der Maschinenmensch	S. 54
Abbildung 20: Die Verwandlung des Maschinenmenschen	S. 54
Abbildung 21: Die StarWars Roboter R2D2 und C3PO	S. 55
Abbildung 22: Matrix, Agent Smith	S. 60
Abbildung 23: HRP-2 der Firma Kawada	S. 61
Abbildung 24: Qrio der Firma Sony	S. 61
Abbildung 25: Asimo der Firma Honda	S. 61
Abbildung 26: Asimo in seiner möglichen Arbeitsumgebung	S. 62
Abbildung 27: Aibo - der erste käufliche Roboter	S. 63
Abbildung 28: verschiedene Gesichtsausdrücke bei Kismet	S. 69
Abbildung 29: Unimate, der erste Industrieroboter	S. 71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patentanmeldungen Nanotechnologie weltweit	S. 19
Tabelle 2: berühmte Mitglieder der "Robot Hall of Fame	S. 60

Abkürzungsverzeichnis

AAAI	American Association for Artificial Intelligence
bzw.	beziehungsweise
ca.	cirka
KI	Künstliche Intelligenz
LAN	Local Area Network
lt.	Laut
Jhd.	Jahrhundert
M.I.T.	Massachusetts Institute of Technology
PDA	Personal Digital Assistant
SF	Science Fiction
usw.	und so weiter
uva.	und viele andere
vgl.	Vergleiche
z.B.	zum Beispiel
zit. n.	zitiert nach

Vorwort

Ich möchte diese Arbeit mit einem Zitat beginnen, welches mir im Sommer 2004 begegnete und dessen Hintergrund mich während des Entstehungsprozesses dieser Arbeit stets begleitet hat.

„Es war unmöglich, langsamer zu fahren. Auf die Bremse zu treten, erwies sich als zwecklos, nichts hat funktioniert.“¹

Diese schockierende wie gleichwohl interessante Aussage entstammt nicht, wie man vielleicht meinen könnte einem Horror, Action- oder SF (Science Fiction) Film, sondern einem renommierten deutschen Nachrichtenmagazin, welches den dazugehörigen Artikel im September 2004 veröffentlichte. Hintergrund des Zitats war die Horrorfahrt eines Franzosen, der auf Grund eines Computerdefekts Opfer seines eigenen Autos wurde, welches er eine Stunde lang mit ca. 190 km/h auf einer Autobahn in Mittelfrankreich lenken musste. Das Auto habe selbständig beschleunigt und sei danach nicht mehr zu bremsen gewesen. Die Zündung auszuschalten sei unmöglich gewesen, da der Renault statt mit einem normalen Zündschlüssel mit einer personalisierten Chipkarte ausgestattet war, die sich während der Fahrt nicht entfernen ließ, so der Fahrer glücklich nach seiner Rettung durch die Polizei, die das Auto an einer Leitplanke „ausgebremst“ hatte. Ein Einzelfall, dem man keine Beachtung schenken sollte, oder ein Ereignis, welches die Menschheit auf dem Weg der völligen Technisierung innehalten lassen sollte um sich bewusst zu werden, welchen Gefahren sich eine technoide Gesellschaft unter Umständen aussetzt?

Wäre diese Arbeit in 50 Jahren entstanden, hätte ich unter Umständen nicht tausende Wörter von Hand in meinen klobigen Laptop gehackt, sondern meine Gedanken wären ohne große Anstrengung auf elegantem Wege von einem Mikro-Prozessor gesteuert, über eine Datenleitung in den Computer und von diesem direkt auf das Papier gebracht worden - vorausgesetzt in 50 Jahren werden wissenschaftliche Arbeiten noch immer in Papierform veröffentlicht, und es gibt viele Anhaltspunkte, die daran zweifeln lassen (Vgl. Abbildung 1). Aber auch so hat mir die Recherche klassischer technischer SF-Ansätze und das Aufspüren aktueller technischer Entwicklungen viel Spaß gemacht, welcher sich hoffentlich auf den Leser überträgt...

¹ Angst meines Lebens: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,321452,00.html> (05.10.2004)



Abbildung 1: Der Mensch und sein Elektrodenhelm²

Danken möchte ich Allen, die mir durch tiefgründige Gespräche gezeigt haben, dass kaum ein Mensch sich der Faszination der technischen Entwicklung entziehen kann, und die mich mit anderen Sichtweisen und neuen Denkanstößen dazu gebracht haben, mich noch intensiver in die Materie einzuarbeiten. Namentlich hervorheben möchte ich vor Allem Sandra Schneider, Florian Fieber und Daniel Sprafke, die in vielen Diskussionen mit Ihrem technischen Sachverstand und ihrer Kenntnis vieler SF Romane zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben. Auch bei meinen Eltern möchte ich mich bedanken, da sie als geduldige Gesprächspartner einer anderen Generation sehr wertvoll für mich waren. Und zu guter Letzt möchte ich natürlich den Professoren Prof. Dr. Rafael Capurro und Prof. Margarete Payer von der Hochschule der Medien in Stuttgart dafür danken, dass sie sich für das von mir gewählte Thema begeistern konnten und mir für die Ausarbeitung wertvolle Tipps gegeben haben.

² Der Mensch und sein Elektrodenhelm, Abbildung entnommen aus *Gentlemen's World*, September 2004, S. 70

1 Einleitung

1.1 Hinführung zum Thema und Definitionen

Diese Arbeit befasst sich mit der Darstellung klassischer technischer SF Ansätze und der Gegenüberstellung von wissenschaftlichen Entwicklungen zu Beginn des dritten Jahrtausend. Das Genre SF ist inzwischen aus der Literatur- und Filmgeschichte nicht mehr weg zu denken. Viele Millionen Fans weltweit verschlingen geradezu jede Neuerscheinung ihrer Lieblingsautoren und -filmemacher. Ganze Medienimperien haben sich konsequenterweise aus diesem Boom entwickelt, man denke nur an die Firma Lucasfilm, die vom Filmemacher George Lucas nach den Erfolgen der StarWars Filme aufgebaut wurde. SF bezeichnet im klassischen Sinne nicht reine Phantasiegeschichten ohne jeglichen realen Hintergrund, vielmehr handelt es sich nach einhelliger Meinung der Experten um das Aufzeigen eines realen Zukunftsszenarios. In der einschlägigen Fachliteratur existieren viele Definitionen des Begriffes, am Besten trifft es wohl die des Bestsellerautors Robert A. Heinlein - der sich unter anderem für den SF-Klassiker „Starship Troopers“ verantwortlich zeigt. Er definierte 1953 den Begriff und das Genre SF wie folgt:

„A realistic speculation about possible future events, based solidly on adequate knowledge of the real world, past and present, and on a thorough understanding of the nature and significance of the scientific method.“³

Eine weitere, in eine ähnliche Richtung weisende Definition stammt von David Kyle, dem Herausgeber des Magazins „Science Fiction“ und betont ebenfalls den wissenschaftlichen Hintergrund:

„Science Fiction [...] is not fantasy; it is legitimate – and often very tightly reasoned speculation about the possibilities of the real world.“⁴

Was zeichnet nun aber klassische technische Ansätze innerhalb von SF aus? Gemeint sind Denkansätze, die von Autoren und Konsumenten innerhalb der Geschichten als allgemeingültig und als selbstverständlich gelten, die also zu SF gehören wie die Verwendung von Feuerwaffen zu einem Western. Hierbei geht es vor allem um die innovativen Ideen innerhalb der Bereiche Robotik, Fortbewegung und Kommunikation, wobei diese Bereiche sich selbstverständlich in Zukunft noch stärker vermischen und gegenseitig beeinflussen werden (siehe Abbildung 2). Alle genannten Disziplinen werden dabei vom Begriff „Künstliche Intelligenz“ überlagert, diesem Begriff wird später noch ein eigenes Kapitel gewidmet.

³ Heinlein, 1953, S. 1188, zit. n. (zitiert nach) Suerbaum et al, 1981, S. 9

⁴ Kyle, 1976, S. 10, zit. nach Suerbaum et al. 1981, S. 9

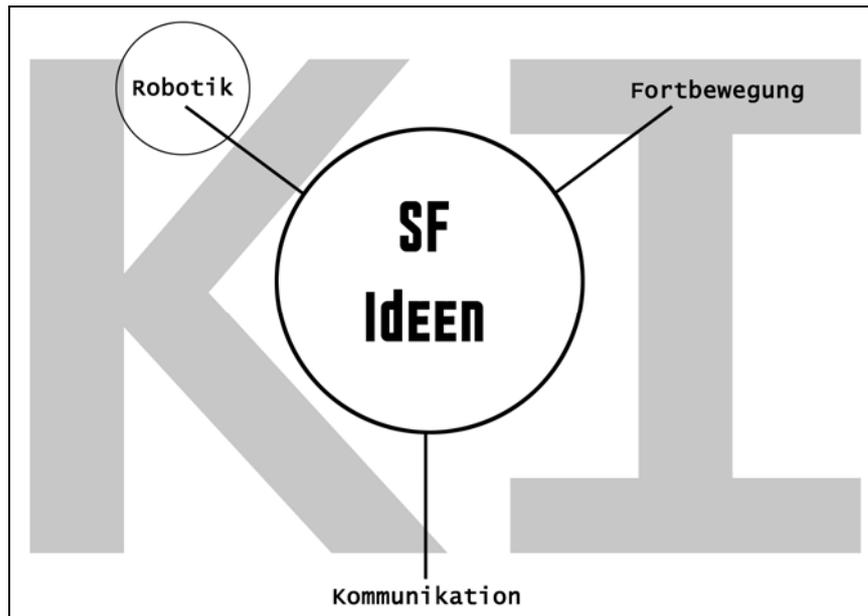


Abbildung 2: 3 Bereiche klassischer technischer SF Ideen

Da jedes der drei Fachgebiete alleine genügend Stoff für mehrere Abhandlungen bietet, soll sich diese Arbeit vor Allem auf den Bereich der Robotik konzentrieren, wobei hier wiederum vor Allem auf menschenähnliche Roboter, so genannte Humanoide und diverse Spielarten dieser „Spezies“ eingegangen werden soll. Zwischenformen aus Mensch und Maschine, so genannte Cyborgs sollen dabei außen vorgelassen werden.

Viele Produkte aus den drei genannten Bereichen sind inzwischen fest in unser Alltagsleben integriert. Immer öfter werden wir mit technischen Neuerungen und Situationen konfrontiert, die vielen von uns unreal und gespenstisch erscheinen mögen – die für die meisten aber nach einer kurzen Eingewöhnungsphase zu Selbstverständlichkeiten avancieren und deren Vorzüge sie dankend annehmen. Wollen und können sich viele von uns ein Leben ohne Minicomputer, drahtlose Datenübertragung und technische Hilfsmittel aller Art überhaupt noch vorstellen? Muss die heutige Gesellschaft nicht denjenigen, die im 20. Jhd. mit der Lektüre der ersten ernsthaften SF Romane aufgewachsen sind teilweise wie ein Abziehbild eben der in dieser Lektüre beschriebenen Welt vorkommen? Die Menschheit steht zweifelsohne vor dem nächsten Schritt der vollkommenen Technisierung. Rund 100 Jahre nach der Verbreitung der Elektrizität durch Thomas Edison und rund 60 Jahre nach der Erfindung des elektromechanischen Computers durch Konrad Zuse kommen Bewohner der westlichen Welt nicht mehr um die Benutzung von Geräten herum, die beide genannten Schlüsselerfindungen in sich vereinen. Ob Mikrowelle, Tankautomat, Telefon oder Kaffeeautomat – ein Großteil der uns alltäglich umgebenden Geräte ist mit Mikrochips, Displays und Festplatten ausgestattet. Diese Bauteile, die vor wenigen Jahrzehnten noch als hoch kompliziert herzustellen galten, sind heute Produkte, die für wenige Cent als Massenware produziert werden. Wird dies in naher Zukunft auch für komplexere technische Ideen wie Roboter gelten?

Müssen wir uns mit dem Gedanken anfreunden, in wenigen Jahrzehnten in einer Welt zu leben, die den heute bekannten SF Geschichten gar nicht so unähnlich ist?

„Der Gedanke enthält die Möglichkeit der Sachlage, die er denkt. Was denkbar ist, ist auch möglich.“⁵

Dieses Zitat des österreichisch-britischen Philosophen Ludwig Wittgenstein sollte uns die ganze Arbeit über im Hinterkopf bleiben um unseren Geist auf die vielleicht unendlichen Möglichkeiten unserer Zukunft vorzubereiten.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ausgehend von den in Kapitel 1.1 genannten Definitionen, die den wissenschaftlichen Charakter vieler SF Geschichten unterstreichen, sollen in dieser Arbeit klassische Roboterideen des Genres herausgearbeitet und auf ihre Realisierbarkeit bzw. ihr reales Existieren hin untersucht werden. Gibt es Visionen aus den letzten 200 Jahren, welche die Menschheit für so spannend und erstrebenswert hielt, dass sie sich an die Umsetzung dieser machte um ihr Leben zu verbessern? Besitzen wir überhaupt schon alle technischen Möglichkeiten hierzu, oder fehlen der Wissenschaft und Forschung noch die nötigen Ansätze, um die Zukunft gemäß den Ideen der klassischen SF Autoren zu gestalten? Diese Fragen sollen im Laufe der Arbeit geklärt werden.

Viele SF Erzählungen gehen von einem Zukunftsszenario aus, in dem Mensch und Maschine gleich stark sind, oder in dem die Roboter sogar die komplette Kontrolle über die menschlichen Spezies gewonnen haben. Dieser Aspekt scheint vielfach sogar die Faszination innerhalb der Geschichten auszumachen, da der Mensch als Erschaffer der Technik und der Maschinen gilt und nun gegen diese selbstständige Macht um sein Überleben kämpfen muss. Die Frage, ob wir wirklich Angst vor einer künstlichen Macht haben müssen, soll ebenfalls untersucht werden.

Da die genannten, böartigen und meist unverwundbaren Maschinen wie schon erwähnt oft im Mittelpunkt von SF Romane oder Filme stehen, soll diesen „intelligenten“ Maschinen eine besondere Bedeutung innerhalb der Arbeit zukommen. Gibt es intelligente Maschinen, wenn ja – was zeichnet sie aus und was macht sie so gefährlich? Ein Ziel dieser Arbeit soll es sein, diese Frage zu klären.

Einen weiteren Unterpunkt innerhalb der Arbeit stellt die Frage nach dem aktuellen Stand der ethischen Diskussionen zum Thema Zukunftstechnologien dar. Ist es im Interesse der Menschheit, Maschinen zu entwickeln, die sich selbst reparieren, fortbilden und sogar vermehren können und sind wir uns der Konsequenzen bewusst?

⁵ Wittgenstein; Tractatus logico-philosophicus,

<http://culturitalia.uibk.ac.at/hispanoteca/Lexikon%20der%20Linguistik/g/GEDANKE%20%20%20Pensamiento.htm>, (Stand 01.11.04)

Sollten wir die Entwicklung solcher Maschinen nicht stoppen, bevor es kein Zurück mehr gibt? Viele Wissenschaftler haben sich in den letzten Jahren diese Frage gestellt und ihre Meinung hierzu veröffentlicht. Die wichtigsten Ansichten sollen aufgezeigt werden, um den Leser für diese ethische Problematik der Zukunftstechnologie zu sensibilisieren.

1.3 Aufbau der Arbeit

Um einen Einblick in die Struktur der Arbeit zu erhalten, soll an dieser Stelle kurz auf den Aufbau eingegangen werden.

Als erstes soll der Stand der Technik zu Beginn des 21. Jahrhunderts aufgezeigt werden. Woran arbeiten Wissenschaft und Forschung zurzeit? Welche Entwicklungen sind besonders für die Realisierung von Zukunftstechnologien geeignet und welche Probleme ergeben sich? Hierbei soll vor Allem auf das Zusammenspiel von Hard- und Software und die Entwicklung der Rechengeschwindigkeit eingegangen werden.

Als nächster wichtiger Punkt der Arbeit soll die schon erwähnte künstliche Intelligenz untersucht werden. Wie hat sich die Forschung in den letzten Jahrzehnten entwickelt? Können wir bald mit den ersten wirklich intelligenten Maschinen rechnen oder gibt es immer noch unüberwindbare Probleme auf dem Weg zur Gleichberechtigung von Mensch und Maschine? Hierbei soll auch auf klassische, und immer noch gültige Theorien von Pionieren wie Alan Turing eingegangen werden.

Da Roboter aus vielen SF Erzählungen nicht wegzudenken sind, wird sich diese Arbeit auf sie besonders konzentrieren, weshalb ihnen ein eigenes Kapitel gewidmet ist. In ihm soll es um klassische Robotervisionen und um den aktuellen Stand der Robotik gehen. Warum sind wir im Alltag noch nicht von Robotern umgeben, die uns die Hausarbeit abnehmen, mit den wir uns unterhalten können und die uns pflegen wenn wir krank sind, wo Industrieroboter doch schon seit langer Zeit Seite an Seite mit Menschen eingesetzt werden? Wie heißen die berühmtesten Roboter und welche Besonderheiten zeichnen sie aus?

Nach den spannenden Betrachtungen von „Science“ und „Fiction“ soll gegen Ende der Arbeit noch ein kurzer Exkurs in Richtung „Ethische Bedenken in Bezug auf intelligente Maschinen“ folgen, welcher durch Expertenmeinungen von Bill Joy und Ray Kurzweil, zwei bekannten amerikanischen Computerwissenschaftlern abgerundet wird.

Schon während der einzelnen Kapitel soll teilweise kurz auf Parallelen zur SF-Welt hingewiesen werden, um den Bezug zum Thema der Arbeit nicht zu verlieren. Allerdings ist es nicht Ziel der Arbeit, unendlich viele Vergleiche zu ziehen, vielmehr soll auf eine ganzheitliche Betrachtung Wert gelegt werden.

Am Ende der Arbeit folgt noch ein Fazit des Autors, in dem die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst werden.

Bevor wir nun mit der Betrachtung des Standes der Technik zu Beginn des 21. Jahrhunderts beginnen, möchte ich die Einleitung mit einem Zitat von Ray Kurzweil abschließen, da er mich lange vor der Idee zu dieser Diplomarbeit mit seinen Ausführungen fasziniert hat:

„Das heißt, dass wir im 21. Jahrhundert den Fortschritt von 20 000 Jahren erleben werden. Die nächsten 100 Jahre werden Hunderte Mal mehr Fortschritt bringen als die letzten 100 Jahre. Und die waren schon ziemlich revolutionär.“⁶

⁶ Kurzweil, 2002, S. 20

2 Stand der Technik zu Beginn des 21. Jahrhunderts

Um die Möglichkeiten aktueller und zukünftiger Maschinen besser mit den Ideen von Drehbuch- und Romanautoren vergleichen zu können, soll zunächst in diesem Kapitel der Stand der Technik zu Beginn des dritten Jahrtausends geklärt werden. Hierbei wird vor Allem auf Trends und revolutionäre technische Neuerungen eingegangen, die Wissenschaftlern rund um den Globus völlig neue Möglichkeiten in Bezug auf futuristische Maschinen geben. Welche Technologien benötigt die Wissenschaft, um z. B. die Entwicklungen innerhalb der Robotik immer weiter voran zu treiben? Welche Gebiete innerhalb der Forschung und Entwicklung gelten als Knackpunkte um die nächste Stufe der Technisierung zu erreichen? Gibt es Technologien, die eine Art Licht am Ende des Tunnels darstellen, wenn es darum geht Jahrzehnte alte Probleme in den Bereichen der Robotik und des Erschaffens modernster Maschinen zu lösen?

2.1 Hardware & Software als Basis technischer Neuentwicklungen

Wichtig für das Verständnis der aktuellsten Entwicklungen ist eine globale und ganzheitliche Betrachtung der zur Weiterentwicklung nötigen Bereiche. Zunächst lässt sich feststellen, dass alle Zukunftstechnologien nur als gemeinsames Produkt von Hard- und Software entwickelt werden können. Keine noch so raffinierte mechanische Entwicklung kann die komplexen Anforderungen der Zukunft erfüllen, wenn sie nicht gleichzeitig von einer hoch entwickelten Software gesteuert wird, die auf alle Eventualitäten vorbereitet ist und die Mechanik schnell und zielgerichtet steuert. Hard- und Software können ihrerseits wiederum in mehrere Bereiche unterteilt werden (siehe Abbildung 3). Hierzu zählen auf Hardware-Seite der Maschinenbau, die Elektrotechnik, die Computertechnik, die Materialwissenschaften, die Nanotechnologie und einige andere Teilgebiete. Im Gebiet der Software sind die Disziplinen Künstliche Intelligenz, Steuerungssoftware, Backupsoftware, Lernsoftware und einige andere angesiedelt. Die erfolgreiche wissenschaftliche Arbeit innerhalb aller genannten Unterbereiche trägt maßgeblich zum Erfolg von zu entwickelnden Produkten bei und die Gesamtentwicklung gerät ins Stocken, sobald einer dieser Bereiche nicht mit den Anderen mithalten kann.

Als treibende Kraft bei der Entwicklung von zukunftsweisenden Produkten hat sich auf Hardware-Seite vor Allem die Computertechnik etabliert. Mit ihrer rasanten Entwicklung ging eine enorme Verkleinerung von Einzelteilen einher, was wiederum dem Gedanken von perfekt integrierter Technik vollkommen entspricht. Weitere Vorteile, die die Computertechnik bei der Entwicklung von modernen Errungenschaften mit sich brachte sind Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit, alles Eigenschaften ohne die es der Menschheit

wohl nie gelungen wäre die Massenproduktion von technischen Kleinstrgeräten wie Handys aufzunehmen.

Deshalb soll der Stand der Computertechnik an dieser Stelle explizit hervorgehoben und untersucht werden. Auf Seite der Software wird in einem gesonderten Kapitel explizit auf die Entwicklung der Software zur Schaffung von künstlicher Intelligenz eingegangen, da dieser Bereich einen entscheidenden Punkt darstellt, wenn es um die Entwicklung zukünftiger Maschinen geht.

Außerdem werden in weiteren Unterkapiteln noch Grundlagen und Möglichkeiten der Nanotechnologie erläutert, da diese Technologie laut einhelliger Expertenmeinung die Technologie der Zukunft darstellt. Auch auf weitere Stoffe der Zukunft, die revolutionäre Möglichkeiten versprechen, soll kurz eingegangen werden.

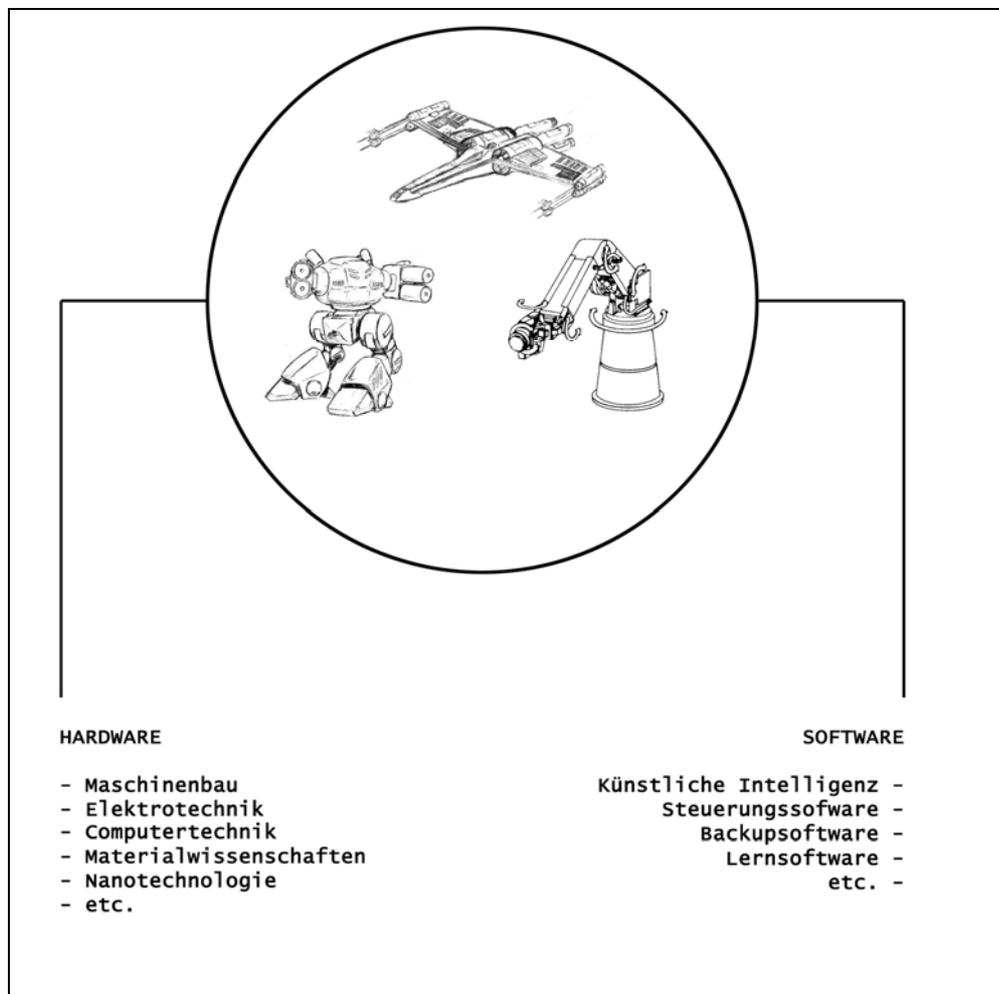


Abbildung 3: Hard- und Software als Grundlage für Zukunftstechnologien

2.1.1 Entwicklung der Rechenleistung & das Mooresche Gesetz

Als einer der wichtigsten Faktoren der Computertechnik muss die Entwicklung der Rechenleistung angesehen werden. Mit ihr fällt und steht die Entwicklung von Zukunftsprodukten, da für immer komplexere Funktionen auch komplexere Rechenleistungen innerhalb der Geräte nötig sind. Die Rechenleistung von Computern hat sich innerhalb der letzten Jahrzehnte rasant entwickelt, was vor Allem an einem harten Wettbewerb der Anbieter und einer lebhaften Nachfrage der Konsumenten liegt. Heute ist es für die Computernutzer fast normal, dass sich die Rechenleistung ihrer Personal Computer alle zwei Jahre verdoppelt.

Gordon Moore (siehe Abbildung 4) – seines Zeichens unter anderem Intel-Gründer manifestierte 1965 in seinem heute weltbekannten Mooreschen Gesetz die bemerkenswerte Entwicklung der Computertechnik. Dieses Gesetz konnte seine Gültigkeit auch für die Entwicklung der Rechengeschwindigkeit in den folgenden Jahrzehnten behalten (siehe Abbildung 5).

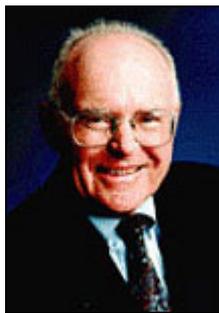


Abbildung 4: Gordon Moore⁷

Wie von Ray Kurzweil in seinem Buch „Homo S@piens“ beschrieben⁸, hatte Moore 1965 die Entdeckung gemacht, dass die Größe der Oberfläche von Transistoren, welche in integrierte Schaltkreise eingeätzt werden, sich mit jeder Chipgeneration und damit im Abstand von ca. 12 Monaten um etwa 50% verringert. Zwar wurde diese Zahl später von Moore selbst auf 24 Monate erhöht, dieser Zeitraum hat allerdings bis heute in etwa Bestand und wird laut Kurzweil auch noch für die nächsten 15 Jahre gelten. In diesen 15 Jahren wird es den Wissenschaftlern aus dem Bereich der Halbleiterherstellung weiterhin gelingen, die Größe der Transistoren und anderer wichtiger Bestandteile konstant weiter zu verkleinern, so dass die Entwicklung der Rechengeschwindigkeit im gleichen Maße wie genannt steigen wird.

⁷ Gordon Moore, <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>, Stand 28.10.04

⁸ Kurzweil, R., (2001), S.45 ff

Doch dann stößt die Wissenschaft aller Voraussicht nach an ihre Grenzen. Wenn die Dicke der Isolationsschichten der Transistoren nur noch wenige Atome misst, kann keine Verkleinerung auf klassischem Wege mehr stattfinden, und somit wird das Mooresche Gesetz für den Bereich der uns bekannten Halbleiterherstellung seine Gültigkeit verlieren. Bedenkt man, dass es bis dahin fast 60 Jahre überdauert haben wird, und das relativ unabhängig von technischen Neuerungen und Bedürfnissen der Konsumenten, muss das Mooresche Gesetz trotzdem als Geniestreich von Gordon Moore angesehen werden. Er unterstrich mit dessen Festsetzung sein ganzheitliches Verständnis für die Computerindustrie und deren Entwicklung.

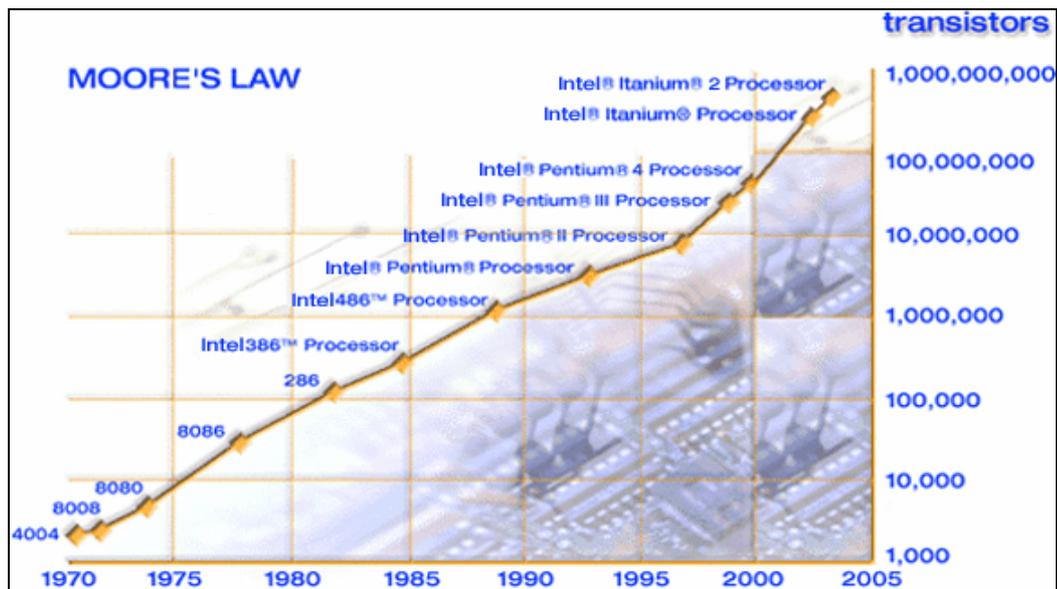


Abbildung 5: Das Mooresche Gesetz⁹

Was aber passiert mit der Rechenleistung, wenn die Grenzen der Halbleiterindustrie erreicht sind? Bleiben die Prozessorgeschwindigkeit und die mit ihr verbundene Rechenleistung in etwa 15 Jahre stehen? Würde dies nicht einer stagnierenden Entwicklung von Zukunftsprodukten und somit einem Abschied von einem Leben wie in SF Geschichten gleichkommen? Schenkt man Ray Kurzweil und seinen Ausführungen glauben, so wird dieser Fall nicht eintreten. Kurzweil beschreibt in „Homo S@piens“¹⁰ die Entwicklung der Rechenleistung von Maschinen der letzten 100 Jahre, und stellt dabei fest, dass das Potenzial der Maschinen sich nicht erst seit den Entdeckungen von Moore exponentiell erhöht hat, sondern dass diese Entwicklung schon seit dem Einsetzen der ersten Lochkartenmaschinen bei der 1890 in den USA durchgeführten Volkszählung Bestand hatte. Seiner Meinung nach handelt es sich bei der Entwicklung der Transistoren durch die Halbleiterindustrie bereits um die fünfte Entwicklungsstufe von Rechenmaschinen, nach der Lochkartentechnik, auf Relais beruhende Rechen-

⁹ Das Mooresche Gesetz: <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>, Stand 28.10.04

¹⁰ Kurzweil, 2001, S.50 ff

maschinen, den Elektronengehirnen mit Vakuumröhren aus den fünfziger Jahren und den Transistorenrechnern der sechziger Jahre. Die heute von uns verwendeten Rechenmaschinen sind laut Kurzweil ca. einhundert Millionen Mal leistungsfähiger als die Maschinen 50 Jahre zuvor. Diese Beobachtungen und der Glaube an die Forschung und Wissenschaft verleitet Kurzweil zu der Annahme, dass eine neue Technologie die Halbleiterproduktion ablösen wird. Auf Grund seiner Annahme, dass die Entwicklung der Technik durch die menschliche Intelligenz ein weiterer Schritt innerhalb der Evolution ist, kommt Kurzweil zu dem Schluss, dass sie unter Umständen sogar ab einem gewissen Zeitpunkt selbst für ihre Weiterentwicklung sorgen wird. Er beschreibt diese Möglichkeit wie folgt:

“Die Herausbildung von Technik stellte einen Meilenstein in der Entwicklung irdischer Intelligenz dar, stand der Evolution damit doch ein neues Mittel zur Aufzeichnung ihrer Entwürfe zur Verfügung. Als nächster Meilenstein wird eine Technologie entstehen, die ohne menschliche Eingriffe ihre eigene Folgegeneration erschafft. Daß zwischen diesen beiden Meilensteinen nur einige zehntausend Jahre liegen, ist ein weiteres Beispiel für das exponentiell wachsende Tempo der Evolution.”¹¹

Abgesehen von diesem Vertrauen in das Wesen der Evolution ist Kurzweil darüber hinaus der Meinung, dass auch die Menschheit selbst bereits die grundlegenden Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Computertechnik besitzt¹². Er nennt hierbei die Möglichkeit, von der Zweidimensionalität von Chips wegzugehen, um sie ähnlich dem menschlichen Gehirn dreidimensional aufzubauen. Die Umsetzung dieser Idee und die Verwendung von verbesserten Halbleitermaterialien, wie z.B. sich nicht erheizenden Schaltelementen würde eine erneute millionenfache Erhöhung der Rechenleistung zur Folge haben. Kurzweil nennt auch noch weitere Technologien, die die Halbleiterindustrie beerben könnten, um somit dem Mooreschen Gesetz weiterhin Geltung zu verschaffen:

„Und eine überreiche Auswahl von Technologien zur Erzeugung von Rechenleistung - optische, kristalline, auf Nanoröhren, DNS oder Quanten basierende Computer – stehen auf Abruf bereit, um dem Gesetz vom steigenden Ertragszuwachs noch für eine sehr lange Zeit Gültigkeit zu verschaffen.“¹³

In eine ähnliche Richtung tendiert auch Kurzweils Kollege, der Computerwissenschaftler Hans Moravec, der in seinem Buch „Computer übernehmen die Macht“ ebenfalls auf die Molekular- und Nanotechnologie und auf die Entwicklung von Quantencomputern setzt:

¹¹ Kurzweil, 2001, S.67

¹² Kurzweil, 2001, S.65

¹³ Kurzweil, 2001, S.68

„Über kurz oder lang werden Molekular- und Quantencomputer an Bedeutung gewinnen [...]“¹⁴

Betrachtet man die Aussagen der genannten Computerwissenschaftler, lässt sich als Fazit festhalten, dass kein Zweifel an der weiteren Entwicklung der Rechenleistung nach Moore bestehen kann. Somit wäre von computertechnischer Seite her der Weg für weitere spannende Erfindungen geebnet. Zwar können wir heute noch nicht alle Rechenleistungen, die für viele Herausforderungen der Zukunft benötigt werden, vollbringen, zumindest wissen wir aber, dass dies nur eine Frage der Geduld ist.

Da in beiden obigen Zitaten von der Nano- oder Molekulartechnologie als Zukunftstechnologie die Rede ist, wollen wir uns im nächsten Abschnitt mit dieser spannenden und revolutionären Technik befassen, um weitere Einblicke in die Wissenschaften zu bekommen, deren Kenntnis für die später zu untersuchenden technischen Ideen von Nöten sind.

Zum Abschluss des Kapitels über die Computerleistung sei noch kurz die so genannte „Top 500 List“ erwähnt.



Abbildung 6: Top 500 List¹⁵

In dieser Liste werden im Abstand von sechs Monaten von diversen Universitäten die 500 schnellsten Rechner der Welt vorgestellt. Im November 2004 führte der Rechner „BlueGene/L“ die Liste mit 70,72 Teraflops an. Dies entspricht 70,72 Billionen Gleitkommazahlen-Operationen wie Additionen oder Multiplikationen pro Sekunde. BlueGene/L arbeitet mit Hilfe von ca. 130.000 Prozessoren und benötigt pro Jahr Strom im Wert von ca. 1.000.000 \$.

¹⁴ Moravec, 1998, S. 101

¹⁵ Top 500 List; <http://www.top500.org/>; Stand 10.11.04

Die Maschine kostet ca. 100.000.000 \$ und steht derzeit in Minnesota um dem Energieministerium der USA Dienste zu leisten. Beobachtet man die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte, so kann davon ausgegangen werden, dass in 10 bis 15 Jahren normale Personal Computer mit einer ähnlichen Rechenleistung ausgestattet sein werden – dies zeigt die Erfahrung der Wirtschaft auf diesem Gebiet. Kaum vorstellbar, was damit jedem Besitzer eines Personal Computers in Zukunft möglich sein wird.

2.1.2 Grundlagen & Definition der Nanotechnologie

Die bereits erwähnte Nanotechnologie ist eine relativ junge Wissenschaft, die zum Bereich der Materialwissenschaften gezählt wird. Erstmals erwähnt wurde sie, wenn auch in sehr abstrakter Form, 1959 von Richard Feynman, einem Physiker am California Institute of Technologie. Eric Drexler aber war es, der mit seinem Buch „Engines of Creation“ die Öffentlichkeit zu Beginn der achtziger Jahre auf die Nanotechnologie aufmerksam machte. Er prägte den Begriff „Molecular Manufacturing“. Im Jahre 2003 wurden für die Nanotechnologie weltweit Forschungsgelder in Höhe von 2,15 Mrd. U.S. Dollar ausgegeben. Der Anteil der von der EU im Rahmen ihres Forschungsprogramms für die Nanotechnologie ausgegebenen Mittel betrug 7,4% des gesamten Forschungsetats – Tendenz stark steigend¹⁶. Die Zahl der weltweiten Anmeldung von Patenten, die direkt mit Nanotechnologie in Verbindung stehen, spricht eine deutliche Sprache (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Patentanmeldungen Nanotechnologie weltweit¹⁷

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
531	536	622	771	1.162	1.549	1.976

Von diesen Patentanmeldungen entfielen 2.716 auf amerikanische Anmelder, 2.213 auf Asiatische und 1.873 auf Europäische.

“If the Cognitive Scientists can think it the Nano people can build it the Bio people can implement it, and the IT people can monitor and control it.”¹⁸

¹⁶ Ilfrich, 2003, S. 13

¹⁷ Patentanmeldungen weltweit, Grafik nach Derwent Information/The Thomson Corporation; White Paper: „nanotechnology – size matters“, 2002, S. 16 abgebildet in Ilfrich, 2003, S. 126

¹⁸ Burnell, Merged science promises golden age,
<http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=08072002-070804-2331r>, Stand 01.09.04

Dieses Zitat, veröffentlicht auf den Internetseiten von „United Press International“ deutet auf den Bereich hin, in welchem die Nanotechnologie anzusiedeln ist. Es geht im Prinzip um Molekulartechnik und nach der Definition von Calvet¹⁹ - Zukunftsforscher & Wissenschaftler aus Spanien - um den Versuch des Menschen, die Moleküle der Natur nachzuahmen und sogar zu perfektionieren. Auf den Internetseiten von Wikipedia findet sich folgende Definition des Begriffs:

„Nanotechnologie (griech. nānos = Zwerg) ist ein Sammelbegriff für eine weite Palette von Technologien, die sich mit Strukturen und Prozessen im Größenbereich der Nanometerskala befassen. Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter (10⁻⁹ m) und bezeichnet einen Grenzbereich, in dem die Oberflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften der Materialien eine immer größere Rolle spielen und zunehmend quantenphysikalische Effekte berücksichtigt werden müssen. Es ist eine konsequente Fortsetzung und Erweiterung der Mikrotechnik mit meist völlig unkonventionellen neuen Ansätzen.“²⁰

Viele Experten und Zukunftsforscher haben sich in den letzten Jahren mit der Nanotechnologie befasst und sind sich über die Schlüsselrolle, die sie beim Entwurf der technischen Zukunft spielen wird, einig. Ziel der Technik ist es, Atom für Atom mikroskopisch kleine Maschinen zusammenzusetzen, die auf Grund ihrer besonderen Konstruktionstechnik und ihrer Möglichkeit sich zusammen zu schließen trotzdem weitaus leistungsfähiger und stabiler sind, als ihre großen Brüder der „normalen“ Mikrotechnik. Auch Kurzweil geht in „Homo S@piens“ in einem gesonderten Kapitel auf die Nanotechnologie ein und würdigt die Nanotechnologie als die Technik, mit der man im 21. Jhd. Körper bauen wird, und die die auf Aminosäuren basierende Technologie der Natur in ihrer Leistungsfähigkeit weit übertreffen wird²¹.

Beim Bau von Nanomaschinen wird auf Nanoröhren (siehe Abbildung 7) als zentrales Material zurückgegriffen. Diese Nanoröhren sind extrem stabil, hitzebeständig und zuverlässig, was einen weiteren wichtigen Vorteil bei der Konstruktion von Miniaturmaschinen darstellt. Außerdem bestehen sie aus Kohlenstoffatomen, die in der Natur im Überfluss vorhanden sind. Es kann daher also nicht zu Ressourcenknappheit kommen. Kurzweil vergleicht in seinem Buch ein fiktives Auto, das aus Nanoröhren zusammengebaut wurde mit einem normalen Auto und kommt zu dem Schluss, dass das Nanoauto deutlich stabiler wäre als das herkömmliche, und dies bei einem Gewicht von gerade mal 20 Kilogramm. Auch Calvet zieht ein Nanoauto als Beispiel für die Vorteile der Nanotechnologie heran und geht dabei sogar noch einen Schritt weiter als Kurzweil²².

¹⁹ Calvet, 2001, S. 29

²⁰ Definition Nanotechnologie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie>, Stand 01.11.04

²¹ Kurzweil, 2001, S. 219 ff

²² Calvet, 2001, S. 37

Laut seinen Ausführungen würde ein Nanoauto der Zukunft aus einem Stück gefertigt sein, ohne jede Verschraubung oder Verschweißung. Alle Bestandteile eines Autos würden zusammenhängen und die Oberfläche bzw. (beziehungsweise) der Lack würden auf Grund ihrer Nanobeschaffenheit absolut perfekt und ohne Makel erscheinen. Auch die später von uns genauer betrachteten Roboter könnten komplett aus Nanomaterialien konstruiert werden.

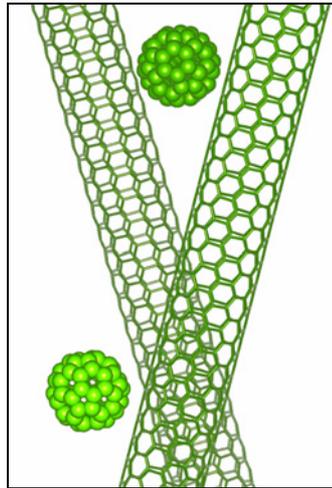


Abbildung 7: Nanoröhren²³

Abgesehen von den Größenvorteilen der Nanomaschinen existiert noch ein weiterer wichtiger Vorteil, der die Nanotechnologie für die Zukunftsforschung und die Wissenschaft allgemein so interessant macht. Es handelt sich um den Aspekt der Selbstreplikation, ähnlich der biologischen Selbstreplikation bei der DNS-Polymerase. Demnach könnten intelligente Nanomaschinen in der Lage sein, sich selbst nachzubauen und zu reparieren. Damit diese Selbstreplikation stattfinden kann müssen die kleinen Nanomaschinen nur mit Manipulatoren ähnlich den menschlichen Armen, Beinen und Händen ausgestattet sein, sie wären dann mit Mini-Robotern zu vergleichen. Gäbe man ihnen jetzt noch die Grundintelligenz, sich selbst Kohlenstoffatome zu suchen, so könnten sie gemäß ihnen vorliegenden Bauplänen viele weitere kleine Nanomaschinen erschaffen. Dies ist nach Ray Kurzweil aber nicht nur das größte Ziel, sondern auch die größte Gefahr der Nanotechnologie²⁴. Denn wenn die Menschheit die Kontrolle über diese kleinen, sich selbst replizierenden „Wesen“ verliert, oder die Technologie in die falschen Hände gerät, wäre eine Katastrophe vorprogrammiert. Ein Filmklassiker der fünfziger Jahre spielt genau mit diesem Gedanken, wenn der Autor damals auch sicherlich nicht an die Möglichkeit dachte, dass seine Phantasie eines Tages der Realität entsprechen könnte.

²³ Nanoröhren, http://www.phys.polymtl.ca/nanostructures/images_new/nano.gif,
Stand 01.11.04

²⁴ Kurzweil, 2001, S. 222

In „The Blob“, einem SF-Film mit Steve McQueen bedroht eine rote, sich ständig selbst vermehrende Masse aus dem Weltraum, die Menschheit. Sie „ernährt“ sich dabei von organischem Material, und ist, wie die beschriebenen Nanomaschinen, selbst-reparierend und selbst-replizierend (siehe Abbildung 8).

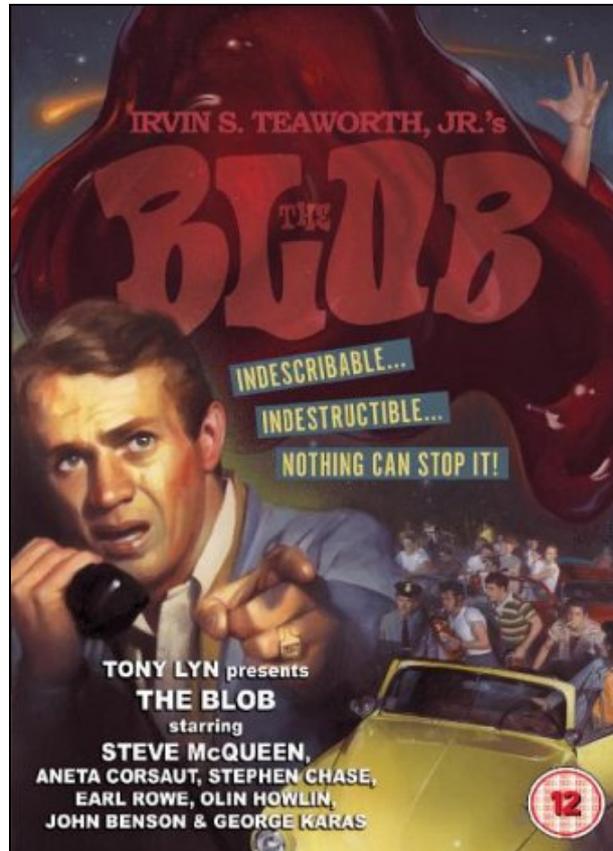


Abbildung 8: "The Blob", SF-Filmklassiker von 1958²⁵

Auch Bill Joy sieht in der Selbstreplikation ein gewisses Gefahrenpotenzial und beschreibt dieses mit folgenden Worten:

*"Specifically, robots, engineered organisms, and nanobots share a dangerous amplifying factor: They can self-replicate. A bomb is blown up only once - but one bot can become man and quickly get out of control!"*²⁶

Er spielt damit auf die Gefahr an, dass durch den Zusammenschluss vieler Nanobots jedes beliebige, selbst-replizierende Objekt geschaffen werden kann. Diese Möglichkeiten können durchaus beängstigend sein, bedenkt man welche Macht diese Technologie in den falschen Händen bedeuten könnte. Doch diese Phantasien stehen nicht

²⁵ "The Blob", SF-Filmklassiker von 1958,

<http://images-eu.amazon.com/images/P/B000260QB0.03.LZZZZZZZ.jpg>, Stand 02.11.04

²⁶ Joy, "Why the Future doesn't need us", 2000,

<http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>, Stand 02.09.04

unmittelbar vor der Tür sondern sind noch absolute Zukunftsmusik einiger Vordenker, deshalb soll sich der nächste Abschnitt mit etwas realeren Möglichkeiten der Nanotechnologie befassen.

2.1.3 Möglichkeiten der Nanotechnologie

Nachdem nun die Grundlagen der Nanotechnologie dargestellt wurden, soll in diesem Kapitel auf ihre Möglichkeiten und Grenzen eingegangen werden. Da die Entwicklung der Computertechnik wie in vorherigen Kapiteln schon festgestellt der entscheidende Schlüssel zu SF-adäquater Zukunftstechnologie sein dürfte, stellt sich natürlich die wichtige Frage, ob mit Hilfe der Nanotechnologie auch Nano-Computer hergestellt werden könnten. Könnte diese Frage mit „Ja“ beantwortet werden, so wie von Kurzweil und Moravec vermutet, wären die Folgen für die Menschheit wohl unabsehbar. Computer in einer unvorstellbar kleinen Dimension könnten gebaut werden, um Nanomaschinen und ganze Nano-Fabriken zu steuern, die in unseren Körper eindringen könnten um uns von Krankheiten zu befreien (vgl. Abbildung 9). War das vielleicht der Gedanke hinter Joe Dantes Filmklassiker „Die Reise ins Ich“, in dem ein auf Mikrobengröße geschrumpftes U-Boot namens Kraken 2 inklusive Pilot durch den Körper einer Testperson reist, um biologische Pionierarbeit zu leisten (siehe Abbildungen 10)?

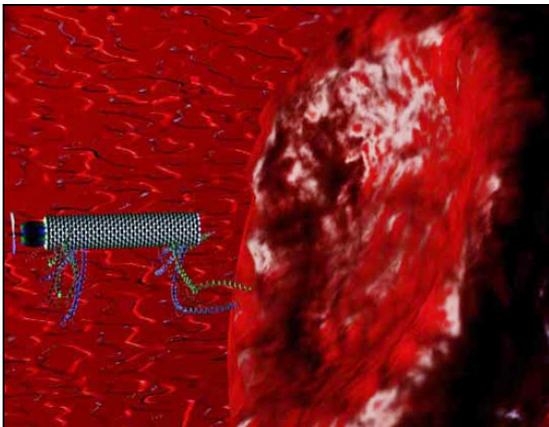


Abbildung 9: Bio Nanobot²⁷

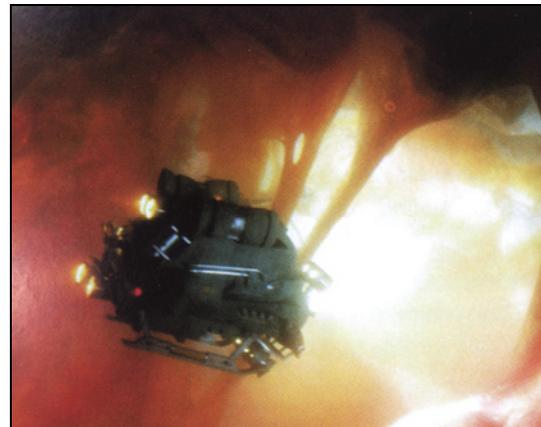


Abbildung 10: Kraken 2²⁸

Doch der Reihe nach. Calvet beschreibt in seinem Buch „Geheimtechnologien“ den möglichen Bau von Nano-Computern und gelangt zu dem Ergebnis, dass die Voraussetzungen hierzu gegeben sind und dass diese Miniaturcomputer absolut keine Hirngespinnste sind²⁹. Er beschreibt Nano-Computer als eine Art uns bekannter Mikrochips,

²⁷ Abbildung Bio Nanobot entnommen von <http://www.nanopicoftheday.org/2003Pics/Nanobot%20Blood.htm>, Stand 03.11.04

²⁸ Abbildung Kraken 2 entnommen von Iglhaut et al, 2003, S. 25

²⁹ Calvet, 2001, S. 31

nur eben auf molekularer Ebene. Diese Nanochips sind aber im Gegensatz zu den uns bekannten Chips dreidimensional, was eine wesentlich höhere Speicherkapazität garantiert. Calvet spricht von einer Größenrelation von 1 zu 100.000 zwischen Mikro- und Nanochips. Auch beschreibt er die völlig neuen Möglichkeiten, die sich bei der Programmierung dieser Nanochips ergeben würden. Durch ihre Dreidimensionalität und ihren atomaren Charakter würde sich für Programmierer die Möglichkeit ergeben, Atome zur Bildung verschiedener Informationsmuster zu nutzen – und das in Reihen und Spalten – also ebenfalls dreidimensional.

Als großen, aber nicht unüberwindbaren Nachteil der Nanotechnologie sieht Calvet die extreme Wärmebildung bei der schnellen Bewegung von Molekülen an. Angenommen, eine ganze Armee von Nanobots würde ihre Arbeit in einer konzentrierten Lösung verrichten, und dabei würden sich die Moleküle extrem schnell drehen, so könnte die Lösung unter Umständen anfangen zu kochen. Ein zentraler Punkt bei der Entwicklung von Nanomaschinen wird also die Möglichkeit der Kühlung sein, ähnlich wie auch heute schon in den uns bekannten Maschinen der Makrowelt. So hat auch die Natur für das Problem der Erhitzung von Körpern mit der Kühlung durch Wasser eine Lösung gefunden.

Zum Schluss dieses Kapitels erfolgt nochmals eine kurze, beispielhafte Auflistung von Produkten, die sich mit Hilfe der Nanotechnologie in ungleich effizienterer Weise herstellen lassen würden um der Menschheit ein noch angenehmeres Leben zu ermöglichen.

- **Neugestaltung von beschädigten Organen** > Diese und viele andere Möglichkeiten der Ergänzung und Verbesserung des menschlichen Körpers ergeben sich durch die Nanotechnologie. Zellen könnten neu konstruiert und dem Menschen implantiert werden. Hierbei würde selbstverständlich auf eine automatische Immunisierung der Zellen geachtet, so dass das klassische Immunsystem des Menschen überflüssig würde.
- **Nanobots als medizinische Helfer** > Kleine Nanomaschinen könnten wie schon erwähnt durch Ärzte in unseren Körper eingeschleust werden, um bei der Behandlung von Krankheiten wie Krebs zu helfen.
- **Erschaffung von Produkten/Gegenständen** > Alle Produkte dieser Welt könnten sich selbst innerhalb kürzester Zeit je nach Gusto des menschlichen Erschaffers selbst aus kleinen Nanomaschinen zusammenbauen. Egal ob Auto, Haus, Ring oder Pullover – der Phantasie sind hierbei keine Grenzen gesetzt.
- **Grenzenlose Qualität** > Da Nanomaschinen auf molekularer Ebene arbeiten, ist auch ihr Qualitätsanspruch molekular. Deshalb werden wir mit Hilfe der kleinen Helfern Produkte und Gegenstände in nie da gewesener Qualität herstellen können.

Nach all diesen Ausführungen über die phantastischen Möglichkeiten der Nanotechnologie stellt sich natürlich die Frage, wann die Menschheit mit den ersten marktreifen Entwicklungen aus diesem Bereich rechnen kann. Über diesen Punkt herrscht allerdings keine Einigkeit in der Wissenschaft. Klar zu sein scheint, dass es viele verschiedene Generationen von Nanomaschinen geben wird, und dass erst sehr fortgeschrittene Generationen das Ziel der Selbstreplikation erreichen werden können. Ray Kurzweil rechnet um 2019 mit dem Auftauchen erster kommerzieller Nanomaschinen in der Fertigungs- und Prozesstechnik, die natürlich noch weit von denen in diesem Kapitel erwähnten Möglichkeiten entfernt sind³⁰. Die ersten wirklich leistungsfähigen Nanobots setzt er für 2029 an, was jedoch auf Grund der noch zu leistenden Forschungsarbeit sehr optimistisch erscheint.

2.1.1 Smarte Materialien

Nachdem nun die Nanotechnologie als eine der wichtigsten Zukunftstechnologien erläutert wurde, soll in diesem Kapitel auf andere Materialien der Zukunft eingegangen werden, die auch in der Robotik der Zukunft eine wichtige Rolle spielen dürften. Jedem SF Kenner dürfte klar sein, dass sich mit den heute gängigen Materialien viele der technischen Phantasien nicht umsetzen lassen dürften. Zu starr, zu schwer, zu instabil und zu unflexibel sind die heute von der Industrie hergestellten Stoffe. Aber natürlich forschen viele Wissenschaftler weltweit an neuen Materialien, die die Anforderungen der Zukunft eventuell erfüllen könnten.

Calvet widmet in seinem Buch „Geheimtechnologien“ den smarten Materialien der Zukunft ein eigenes Kapitel, an welches die folgenden Ausführungen angelehnt sind³¹.

Bei smarten Materialien handelt es sich um komplexe Stoffe, die teilweise mit Sensoren, Fühlern, Transmittern etc. ausgestattet sind, und die teilweise natürliche Materialien, die von der Evolution entwickelt wurden imitieren. Durch diesen Versuch der Imitation der Natur ist auch die Herstellung von Stoffen denkbar, die Maschinen biologische Funktionen wie den Spürsinn des Menschen zur Verfügung stellen würden. Passend hierzu veröffentlichte das Audi Magazin einen Bericht über die Entwicklung einer elektronischen Haut durch japanische Forscher³². Die Wissenschaftler hatten als Grundlage für die Haut einen Kunststoff mit eingelagerten Graphitteilen erfunden. Die Graphitteile leiteten eine eventuelle Verformung der Haut an Transistoren weiter, welche die Verformung ihrerseits in elektronische Signale umwandelten. Im Gegensatz zu Standardtransistoren bestehen die in diesem Fall benutzten Transistoren aus einem biegsamen, flexiblen Stoff, der die elektrischen Signale mit Hilfe von hauchdünnen Goldelektroden leitet.

³⁰ Vgl. Kurzweil, 2001, S. 316

³¹ Vgl. Calvet, 2001, S. 54 ff

³² Vgl. Audi Magazin, Ausgabe 03/2004, S. 36

Das bedeutet, dass sich zum ersten Mal eine dem menschlichen Körper ähnliche Konsistenz aus Kunststoffen herstellen lässt, aus der darüber hinaus ein durch Technik gesteuerter Körper moduliert werden könnte. Eine Weiterentwicklung könnte es Wissenschaftlern endlich ermöglichen, Robotern ihr metallenes, schwerfälliges Image zu nehmen (vgl. Abbildung 11).

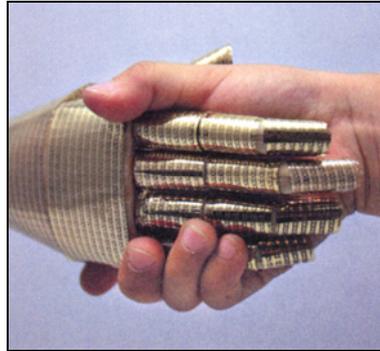


Abbildung 11: biologisches Empfinden bei einer Roboterhand³³

2.2 Künstliche Intelligenz als Schlüssel zu eigenständigen Maschinen

Nachdem die letzten Abschnitte sich mit der Hardware der Zukunft beschäftigt haben, soll es im nun folgenden Abschnitt um die Software der Zukunft gehen. Einer der klassischen Ansätze von SF stellt die körperliche und geistige Überlegenheit von Maschinen gegenüber dem Menschen dar – hierfür gibt es zahlreiche Beispiele. Die berühmtesten Filme aus diesem Bereich dürften „Matrix“, „StarWars“ und „StarTrek“ sein. Im Bereich der Bücher zählen mit Sicherheit Asimov’s „Robotergeschichten“, Heinlein’s „Starship Troopers“ oder auch Dick’s „Blade Runner“ zu den wichtigsten Beispielen. So unterschiedlich die einzelnen Handlungsstränge der genannten Geschichten auch sein mögen, so haben sie doch alle das gemeinsame Leben von Menschen und intelligenten Maschinen zum Mittelpunkt, in dem es nicht selten zu erbitterten Kämpfen zwischen beiden Parteien kommt. Was aber zeichnet intelligente Maschinen aus? Zur Klärung dieser Frage soll der Begriff zunächst definiert werden, danach wird die Geschichte der künstlichen Intelligenz kurz dargestellt. Außerdem wird der aktuelle Stand der Forschung erörtert und bereits etablierte Produkte aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz vorgestellt. Zum Schluss des Abschnitts zur künstlichen Intelligenz sollen die Aussichten für die nächsten Jahrzehnte betrachtet werden. Auch auf die Probleme der Entwicklung soll eingegangen werden.

³³ Abbildung Roboterhand entnommen aus Audi Magazin (Ausgabe 0304), S. 36

2.2.1 Definition Künstliche Intelligenz

Der Begriff Künstliche Intelligenz findet seinen Ursprung in der wörtlichen Übersetzung der englischen Bezeichnung „Artificial Intelligence“. Wörtlich wurde er zum ersten Mal 1955 von John McCarthy, einem exzellenten Computerwissenschaftler dieser Zeit, auf einer Konferenz am Dartmouth College verwendet. Ein Teil der Erklärung der AAAI (American Association for Artificial Intelligence) zeigt die Schwierigkeiten, die sich bei der Definition des Begriffes ergeben.

“Artificial intelligence (“AI”) can mean many things to many people. Much confusion arises because the word ‘intelligence’ is ill-defined. The phrase is so broad that people have found it useful to divide AI into two classes: strong AI and weak AI.”³⁴

Auf Grund der vielen möglichen Erläuterungen soll deshalb bei der Definition des Begriffes vor Allem auf die Erklärung der beiden Begriffe „künstlich“ und „Intelligenz“ eingegangen werden. Auch die zwei Richtungen „starke“ und „schwache“ KI, die von der AAAI erwähnt werden, sollen kurz erläutert werden.

Der Begriff „künstlich“ im klassischen Sinne wird von Capurro definiert, in dem er, sich auf die griechische Philosophie beziehend, Alles vom Menschen geschaffene als künstlich bezeichnet.³⁵ Alles von der Natur hervorgebrachte wird demnach als „natürlich“ bezeichnet. Negrotti’s Grundverständnis der Künstlichkeit entspricht im Wesentlichen der von Capurro, geht aber sogar noch einen Schritt weiter indem er alle Objekte, Prozesse und Maschinen, die etwas bereits Bestehendes reproduzieren, als künstlich bezeichnet.

„In our approach, artificial does not mean something purely man-made or, even less, something unnatural. In our use, the term artificial will refer to any object, process or machine which aims to reproduce some pre-existing natural object or process by means of different materials and procedures.”³⁶

Wir wollen von diesen Definitionen der Künstlichkeit ausgehen, da sie uns unserem Ziel, nämlich den Begriff KI zu definieren näher bringen. Später wird jedoch zu klären sein, ob Maschinen nicht auch ein Produkt der natürlichen Evolution sind, obwohl sie vom Menschen geschaffen wurden. Sollte diese Frage bejaht werden können, so gäbe es im eigentlichen Sinne keine Künstlichkeit auf der Welt, sondern alle technischen Geräte wären natürlichen Ursprungs.

³⁴ Definition Artificial Intelligence; <http://www.faqs.org/faqs/ai-faq/general/part1/section-3.html>; Stand 11.10..04

³⁵ Capurro, Definition künstlich; <http://www.capurro.de/kuenstlich.html>; Stand 12.11.04

³⁶ Negrotti, 1999, S. 1

Der zweite für unseren Zweck relevante Begriff, der nämlich der „Intelligenz“, wird von Ray Kurzweil definiert, in dem er ihn als Fähigkeit beschreibt, Ziele unter optimaler Nutzung begrenzter Ressourcen zu erreichen³⁷. Der lateinische Ursprung des Wortes „intelligentia“ bezieht sich auf Einsicht und Erkenntnisvermögen, was dem Verständnis von Kurzweil im weitesten Sinne entspricht.

Vereinigt man nun die beiden gesetzten Definitionen, so handelt es sich bei KI um die vom Menschen geschaffene Fähigkeit, Ziele unter optimaler Nutzung begrenzter Ressourcen zu lösen. Da der Mensch von Natur aus eine angeborene Intelligenz besitzt, muss er die von ihm geschaffene auf ein anderes Medium übertragen, um sie sich zu Nutzen machen zu können. Hierzu bieten sich natürlich die ebenfalls vom Menschen geschaffenen Maschinen an, da ihre Steuerung einzig und alleine dem Menschen selbst oder wiederum von ihm geschaffenen Steuerungsmaschinen unterliegt.

Der bereits erwähnte John McCarthy definiert KI wie folgt:

„Künstliche Intelligenz ist eine Fachdisziplin der Informatik mit interdisziplinärem Charakter. Ziel der KI ist es, Maschinen zu entwickeln, die sich verhalten, als verfügten sie über Intelligenz.“³⁸

Dieser Definition kann ein weiterer wichtiger Charakterzug der KI entnommen werden, die Interdisziplinarität. Viele wissenschaftliche Bereiche nehmen ihren Einfluss auf die KI-Forschung, so z.B. die Mathematik, die Physik, die Neurologie, die Philosophie, die Kommunikationswissenschaft oder auch die Psychologie.

Im Folgenden werden einige klassische Anwendungsgebiete von KI aufgezeigt. Hierbei handelt es sich traditionell um besonders komplexe Gebiete, deren Erschließung sich mit normaler Informatik als sehr schwierig darstellt³⁹.

- **Game Playing** > Brettspiele wie Dame stellen die erste Herausforderung an KI-Software dar.
- **Sprachverstehen** > Sprachverstehende Systeme werden bereits seit einiger Zeit kommerziell eingesetzt. Sie sollen helfen, die Kommunikation mit dem Computer zu verbessern.
- **Wahrnehmung** > Hierbei geht es darum, dem Computer menschliche Wahrnehmung wie Hören und Sehen zu vermitteln.
- **Theorembeweisen** > Dabei handelt es sich um die automatische Herleitung von mathematischen Formeln und Sätzen.

³⁷ Vgl. Kurzweil, 2001, S. 123

³⁸ Definition KI McCarthy; http://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz; Stand 12.11.04

³⁹ Vgl. Gerald Reif; Einführung in künstliche Intelligenz; <http://www.iicm.edu/greif/node5.html>; Stand 11.11.04

- **Robotik** > KI im Bereich der Robotik hängt eng mit der bereits erwähnten Wahrnehmung zusammen. Roboter sollen ihre Umgebung wahrnehmen und auf sie reagieren können. Dieser Bereich ist für die vorliegende Arbeit besonders interessant.
- **Expertensysteme** > Bei Expertensystemen handelt es sich um Systeme, die Spezialwissen zu einem bestimmten Gebiet enthalten und in komplexen Fällen zur Problemlösung beitragen können. Teilweise werden solche Systeme heute bereits in der Medizin eingesetzt.
- **Automatisches Programmieren** > Unter automatischem Programmieren versteht man die Fähigkeit von Software, auf Grund vorher festgelegter Spezifikationen Computerprogramme zu erstellen.
- **Maschinelles Lernen** > Das maschinelle Lernen befasst sich mit der Möglichkeit, das Wissen von Computern durch die Eingabe von Informationen zu verbessern und neues Wissen eigenständig aufzubauen. Auch diese Disziplin ist für die Robotik von großer Bedeutung.

Diese Anwendungsbeispiele für KI zeigen bereits das riesige Spektrum, welches von der KI-Forschung abgedeckt werden muss. Außerdem werden auch die großen kommerziellen Potenziale hinter KI deutlich, die Unternehmen und Staaten rund um den Globus immer stärker dazu animieren, Gelder für die Forschung zur Verfügung zu stellen.

Um die Definition von KI abzurunden, soll noch kurz auf die zwei bereits erwähnten Begriffe „weiche KI“ und „harte KI“ eingegangen werden. „Weich“ bezeichnet hierbei den Bereich der KI, in dem es um die Unterstützung des Menschen durch beschränkt intelligente Maschinen geht. Als „Harte KI“ hingegen wird jene Richtung bezeichnet, in der sich Wissenschaftler mit dem Ziel beschäftigen völlig eigenständige Maschinen zu entwerfen, deren Intelligenz der des Menschen in nichts nachsteht. Dies setzt eine völlige Unabhängigkeit von Intelligenz und ihrer Trägersubstanz voraus. Vertreter der harten KI sind z.B. der bereits zitierte Hans Moravec oder auch Marvin Minsky, ein weiterer KI-Pionier des Massachusetts Institute of Technology. Da in dieser Arbeit vor Allem eigenständige Roboter aus Literatur und Wissenschaft betrachtet werden sollen, ist für uns der Bereich der harten KI von großer Bedeutung.

2.2.2 Die Geschichte der Künstlichen Intelligenz

Bei der Recherche nach den Ursprüngen der KI fällt die einheitliche Meinung über die Pioniere auf⁴⁰. Einmütig wird Alan M. Turing als Begründer der heutigen KI angesehen, da er als erster Wissenschaftler auch die tatsächlichen technischen Mittel hatte, seine

⁴⁰ Vgl. Zimmerli et al, 1994, S. 8 ff

Ideen zumindest ansatzweise umzusetzen. Die gedanklichen Ursprünge von denkenden Maschinen reichen allerdings schon weiter zurück. Hier wären vor Allem Charles Babbage und Ada Lovelace zu nennen, die bereits Mitte des 19. Jahrhunderts gemeinsam davon träumten, eine programmierbare Rechenmaschine zu bauen und die ihre gesamte Energie in die Konstruktion dieser Maschine steckten. Leider konnten sie auf Grund diverser privater Rückschläge ihre Arbeit nicht zu Ende bringen, doch die Konstruktionspläne ihrer „Analytischen Maschine“ beeinflussten in starker Weise die Arbeit der Computerpioniere im 20. Jhd. Ada Lovelace wird des Weiteren als Erfinderin der so genannten Programmschleifen, deren Prinzip auch bei der heutigen Programmierung von Software eine wichtige Rolle spielt, angesehen. Aber auch vor dem 19. Jhd. gab es bereits Wissenschaftler und Philosophen, die sich mit Künstlicher Intelligenz - wenn auch auf rein theoretischer Basis - beschäftigten. Genannt seien an dieser Stelle Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) und René Descartes (1596 – 1650).

Zurück zu Alan M. Turin (siehe Abbildung), dem die heutige KI Forschung ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Popularität verdankt.



Abbildung 12: Alan M. Turing (1912 – 1954)⁴¹

Berühmt wurde Turing, wenn auch erst nach seinem Tod durch die Tatsache, dass er an der Entwicklung des ersten programmierbaren elektronischen Computers Colossus mitgeholfen hatte, der es den Briten im zweiten Weltkrieg ermöglichte, verschlüsselte Nachrichten der Nazis zu entschlüsseln. Im Bereich der Künstlichen Intelligenz machte sich Turing des Weiteren mit seinem Aufsatz „Computing machinery and intelligence“ von 1950 einen Namen. Auch eine weitere Veröffentlichung nach seinem Tod, nämlich die seines Werkes „Can a Machine think?“ von 1956 gilt bis heute als legendär. In beiden genannten Veröffentlichungen beschäftigt sich Turing intensiv mit der Frage, ob es intelligente Maschinen geben kann, und wenn ja auf welchem Wege deren Entwicklung verlaufen muss. Zur Feststellung maschineller oder auch künstlicher Intelligenz entwickelte er den Turing-Test, welcher in einem späteren Kapitel erläutert wird. Bereits 1952 schrieb Turing das erste Schachprogramm, ohne jedoch einen Rechner zu haben

⁴¹ Abbildung Alan Turing entnommen von http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Alan_Turing.jpg, Stand 11.11.04

der es ausführen konnte. Erst 45 Jahre später sollte der erste Computer den amtierenden Schachweltmeister, damals Garri Kasparow schlagen⁴². Dieser Umstand deutet schon auf die schwierigen Zeiten der KI Forschung in den 50er, 60er und 70er Jahren hin, die sich, bedingt durch viel zu hohe Anfangserwartungen der Wissenschaft nach anfänglichen Erfolgen sehr schnell einer lähmenden Stagnation gegenüber sah. Große KI-Projekte, wie die Entwicklung des Programms „Logic Theorist“ 1957 oder des „General Problem Solver“ von 1959 scheiterten und konnten die Erwartungen ihrer Entwickler nicht erfüllen. Die Annahme, dass sich das menschliche Denken auf Grund von Regeln, die zuvor aus empirischen Studien mit menschlichen Probanden gewonnen worden waren, nachvollziehen lassen würde, erwies sich als falsch. Demzufolge reichte es nicht aus, Computern die beobachteten Lösungswege zu implizieren und sie nach einer festen Struktur von Regeln Probleme lösen zu lassen. Diese einfache Reproduzierbarkeit von Regeln konnte sich nicht als KI-Ansatz behaupten.

In den 70er Jahren wurde verstärkt auf dem Gebiet der Wahrnehmung geforscht. Begünstigt durch die verbesserte Video- und Audiotechnik versuchten Wissenschaftler Robotern beizubringen, wie sie ihre Umgebung wahrnehmen und auf sie reagieren sollten. Hierbei ergaben sich auf Grund fehlender Rechenleistung und vor allem fehlender Problemlösungsansätze im Softwarebereich große Probleme, die erst jetzt, zu Beginn des 21. Jahrhunderts langsam gelöst zu werden scheinen.

Die 80er Jahre waren geprägt von einer Firmengründungswelle. Wieder lag, wie schon zu Beginn der KI-Forschung in den 50er Jahren Goldgräberstimmung in der Luft und wieder folgten herbe Enttäuschung und viele Firmenpleiten auf Grund fehlender Forschungsansätze. Die ersten kommerziellen KI-Programme kamen auf den Markt, vor allem im Sprach- und Schriftenerkennungsbereich. Auch im Bereich der Robotik wurde fleißig weitergearbeitet, jedoch wurde der Tüftlerstatus hier nicht überwunden – noch immer waren viele notwendige menschliche Denkprozesse nicht softwaretechnisch umgesetzt und auch die Rechenleistung reichte noch immer nicht aus.

Seit Mitte der 90er Jahre helfen KI-Programme, scharf umrissene Probleme zu lösen. So wird zum Beispiel ein Großteil der Devisengeschäfte weltweit von KI-Software abgewickelt und viele Bereiche des täglichen Lebens werden, manchmal fast unmerklich, von Produkten der KI-Branche durchzogen. Hier wären z.B. Programme zu nennen, die in Krankenhäusern eingesetzt werden, um Ärzten bei der Diagnose und Behandlung von Krankheiten helfen.

⁴² Deep Blue, <http://www-5.ibm.com/de/ibm/unternehmen/chronik/1990.html>, Stand 15.11.04

Und natürlich hat auch das Militär spätestens seit dem ersten Golfkrieg zu Beginn der 90er Jahre intelligente Software im Einsatz, welche z.B. Ziele an Hand vorher festgelegter Merkmale erkennt und daraufhin Waffen steuert um diese zu vernichten.

„Innerhalb einer Generation wird das Problem der Schöpfung einer ‘Künstlichen Intelligenz’ im wesentlichen gelöst sein.“⁴³

So die Aussage von Marvin Minsky, seines Zeichens Leiter des KI-Programms am Massachusetts Institute of Technology im Jahre 1967. Das die Ergebnisse auf dem Gebiet der KI weit hinter diesen Erwartungen zurück blieben, ist heute auch bei damaligen Enthusiasten unbestritten. Was aber macht den Menschen so einzigartig, dass sein Denken so schwierig zu imitieren ist? Diese Frage stellt die zentrale Frage der KI dar und sie ist wohl auch der Knackpunkt, wenn es darum geht intelligente Maschinen zu entwickeln.

2.2.3 Produkte der KI

Es ist bekannt, dass Software bereits in vielen Bereichen die Menschen unterstützt oder ihnen die Arbeit komplett abnimmt. Mit Hilfe von ausreichend schnellen Prozessoren und Algorithmen, die in der Lage sind menschliches Denken zu imitieren, übernehmen Maschinen bereits heute sehr viele Aufgaben, die sie gründlicher und schneller als Menschen ausführen. Das beginnt beim einfachen digitalen Taschenrechner und endet beim komplizierten Analysieren der internationalen Finanzmärkte oder den Internet-Suchmaschinen. Natürlich sind in diesen Fällen immer so genannte Expertensystem im Einsatz, die sich in ihrem Spezialgebiet etabliert haben, die jedoch in ihrer Leistungsfähigkeit noch weit davon entfernt sind, die Komplexität des menschlichen Gehirns simulieren zu können. In diesem Kapitel soll an Hand der Ausführungen von Ray Kurzweil KI-Software vorgestellt werden, die mit teilweise großem Erfolg versucht, kreative menschliche Leistungen zu produzieren, da diese Software einen neuen Bereich der KI-Forschung darstellt⁴⁴. So genannte kybernetische Künstler benötigen eine relativ umfangreiche Wissensbasis um ihre Werke in einem gewissen Kontext zu erschaffen. Als erstes Beispiel hierzu soll der von Harold Cohen entwickelte Roboter-maler „Aaron“ angeführt werden. Aaron wurde über 30 Jahre lang mit Informationen über das künstlerische Schaffen gefüttert. Hierzu zählen die Bereiche Komposition, Zeichnen, Perspektive und Farbe. Im Folgenden ist ein Werk Aarons abgebildet (siehe Abbildung 13).

⁴³ Minsky, 1967, S. 2 zit. n. Dreyfus, 1989, S. 9

⁴⁴ Vgl. Kurzweil, 2001, S. 251 ff



Abbildung 13: Kunstwerk des kybernetischen Künstlers Aaron⁴⁵

Natürlich gibt es auch kybernetische Künstler aus anderen Bereichen der Kunst. Zu nennen wären hier z.B. der „Kurzweil Cybernetic Poet“, der nach dem Bilden einer breiten Wissensbasis durch die „Lektüre“ vieler tausend Gedichte unter Anderem folgendes Gedicht eigenständig verfasste:

*„Der Dämmerung Strahlen auf dem Engel
Eine ruhige, stille See
Wir schreiben hundertmal,
in der Hoffnung, uns zu öffnen
ein steter Rhythmus auf seinem Gesicht
stilles Zimmer
verlassener Strand,
verstreute Reste meiner Liebe.“⁴⁶*

Die zwei gezeigten Beispiele sollen stellvertretend für viele andere kybernetische Kunstwerke zeigen, dass Computer sich nicht mehr nur auf das Berechnen endloser Zahlenkonstrukte beschränken lassen, sondern dass man ihnen durchaus auch ein Eindringen in so menschliche Bereiche wie die Kunst zutrauen kann. Die Qualität der erzeugten Kunstwerke beruht dabei auf der Größe der implementierten Wissensbasis und der Qualität der KI-Software, die diese Wissensbasis in neue Kunstwerke umwandeln muss. Natürlich existieren auch kybernetische Künstler im Bereich Musik. Hierbei kann es sogar zu so genannten Jamsessions mit dem Computer kommen, in denen dieser in Echtzeit-Geschwindigkeit auf den Verlauf eines Musikstückes eingeht und seine Stimme gleichzeitig schreibt und ausgibt.

⁴⁵ Abbildung entnommen von
http://www.kurzweilcyberart.com/aaron/img/aaron_static/aaron02.gif, Stand 02.09.04

⁴⁶ „Kurzweil Cybernetic Poet“ zit. n. Kurzweil, 2001, S. 260

Auch das Komponieren von Musikstücken stellt keine menschliche Domäne mehr dar. EMI, ein Computer, der auf das Komponieren klassischer Werke spezialisiert wurde erbringt beachtliche Leistungen, die in kurzen Passagen sogar an Bach erinnern.

2.2.4 Aktuelle Probleme der KI-Forschung

Trotz der beachtlichen Leistungen, welche Computer bis heute auf dem Gebiet der KI vollbracht haben – man denke nur an den schon erwähnten Sieg über den amtierenden menschlichen Schachweltmeister – sind solche intelligenten Maschinen immer noch mit dem Begriff „Fachidioten“ behangen. Kurzweil zitiert zu diesem Punkt Marvin Minsky, der folgende Äußerung zum Deep Blue Sieg machte:

„Deep Blue kann zwar ein Schachspiel gewinnen, aber er weiß nicht, dass er reingehen muss, wenn es regnet.“⁴⁷

Diese Tatsache begründet sich laut geoscience vor allem auf dem Umstand, dass Programme zwar in den Bereichen brillieren, in denen es auf die schnelle Verarbeitung riesiger Datenmengen ankommt, sich jedoch in den Punkten Lernfähigkeit, Flexibilität oder Interaktion mit ihrer Umwelt auf Grund fehlender Mustererkennung extrem schwer tun.⁴⁸ Und gerade diese Bereiche sind es, die einen Großteil der menschlichen Intelligenz ausmachen. Auf Grund dieser Tatsache haben sich in letzter Zeit laut geoscience zwei unterschiedliche Ansätze innerhalb der KI-Forschung heraus kristallisiert: der „Top-Down“ und der „Bottom-Up“ Ansatz.⁴⁹

Beim Top-Down Ansatz befassen sich die Forscher nicht mit Strukturen oder Mechanismen, mit denen ein menschliches Gehirn arbeitet, sondern nur mit dem Ergebnis des intelligenten Prozesses. Es geht also nicht um das Kopieren sondern um das Imitieren von natürlicher Intelligenz. Geoscience führt Bilderkennungssoftware, Suchmaschinen oder Expertensysteme als Beispiele bereits existierender KI-Software der Top-Down Forschung an. Die Problematik dieser Systeme liegt in der enormen Rechenleistung, die benötigt wird um Intelligenz zu imitieren. Im Bereich kleiner Spezialgebiete fällt dies noch nicht so sehr ins Gewicht, es lässt sich aber leicht nachvollziehen, dass bei ganzheitlich denkenden Maschinen der Rechenaufwand enorm hoch wäre.

Im Gegensatz zum Top-Down Ansatz arbeiten Vertreter des Bottom-Up Ansatzes an der Idee, die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns zu analysieren und mit Computern eins zu eins zu kopieren. Hierbei wird versucht, biologische Neuronencluster mit digital-analogen Schaltungen nach zu bauen. Ein großes Problem dieser relativ jungen Forschungsrichtung ist, dass alleine die Analyse der Gehirne von Tieren und Menschen enorm viel Zeit verschlingt und von den Wissenschaftlern noch lange nicht ab-

⁴⁷ Minsky zit. n. Kurzweil, 2001, S. 148

⁴⁸ Vgl. Geoscience, http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=42&rang=11; Stand 15.11.04

⁴⁹ Vgl. Geoscience, http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=42&rang=13; Stand 15.11.04

geschlossen ist. Zwar finden inzwischen immer genauere Hirnscans statt (siehe Abbildung 14), doch die Funktionsweise ist noch lange nicht ausreichend erforscht.

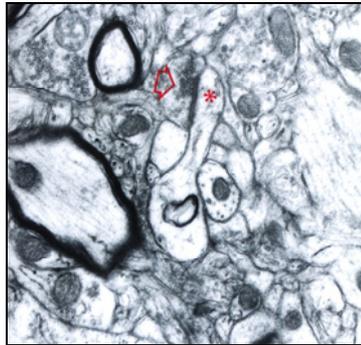


Abbildung 14: Schnitt durch Hirngewebe⁵⁰

Hubert L. Dreyfus, einer der berühmtesten Kritiker von KI und Autor des Buches „Was Computer nicht können“ kritisiert vor Allem den Ansatz der Forschung, die menschliche Intelligenz auf eine Symbolebene, ähnlich der von Computern zu reduzieren. Er schreibt hierzu:

„Es gibt keinen Grund für die Annahme, das menschliche Gehirn oder Denken folge auf irgendeiner Ebene abstrakten, formalen Regeln.“⁵¹

Er spielt hierbei auf den Ansatz vieler KI-Forscher an, dass das menschliche Gehirn Regeln und Schleifen gehorche, die bis ins Letzte analysierbar und kopierbar sein. Douglas R. Hofstadter, Autor des KI-Meilensteins „Gödel, Escher, Bach“ definiert diesen Ansatz wie folgt:

„Ohne Zweifel stehen seltsame Schleifen, die Regeln verlangen, die sich selbst direkt oder indirekt ändern, im Zentrum der Intelligenz.“⁵²

Allerdings gesteht auch Hofstadter wie von Dreyfus angeführt ein, dass bis heute keine Programme mit eingegebenem Alltagsverstand oder komplett selbständig lernende Programme entwickelt wurden, was sicherlich für die Entwicklung vollständig intelligenter Maschinen notwendig wären.⁵³ Und genau an diesem Punkt setzt die Hauptkritik von Dreyfus an. Die Darstellung menschlichen Alltagswissens stellt seiner Meinung nach das größte Problem der KI dar, welches auf dem von der Forschung eingeschlagenen Weg seiner Meinung nach nicht lösbar sein dürfte⁵⁴.

⁵⁰ Abbildung „Schnitt durch Hirngewebe“ entnommen aus Iglhaut et al, 2003, S. 71

⁵¹ Dreyfus, 1989, S. 12

⁵² Hofstadter, 1986, S. 30 zit. n. Dreyfus, 1989, S. 12

⁵³ Vgl. Dreyfus, 1989, S. 11

⁵⁴ Vgl. Dreyfus, 1989, S. 10

Ein damit zusammenhängendes Problem stellt laut Dreyfus auch die Erkennung der Bedeutung von Bildern und Urbildern dar. Nach seinen Ausführungen formt der Mensch Bilder und vergleicht diese mit Hilfe holistischer Verfahren. Diese holistischen Verfahren unterscheiden sich grundlegend von den logischen Operatoren, mit denen Computer arbeiten. Holistische Verfahren stehen für die ganzheitliche Betrachtung einer Wirkungsweise, hierbei kommt es nicht auf das Zerlegen in unendlich viele Einzelteile an. Der Holismus ist ein altbekannter philosophischer Ansatz, der auch schon von Aristoteles, Leibniz und Hegel diskutiert wurde.

Neben diesen beschriebenen, sehr realen Problemen von KI existiert natürlich auch heute noch das in den letzten Jahrzehnten von der Wissenschaft und der Philosophie ausführlich diskutierte „Leib-Seele Problem“, welches in Kapitel 3 noch ausführlicher erörtert wird, zunächst wollen wir jedoch noch auf die Aussichten der KI eingehen.

Das uns heute im Alltag immer wieder KI umgibt, dürfte auch von Kritikern wie Dreyfus nicht bestritten werden. Dass sie jedoch auf Grund der genannten Problematiken ganzheitlich gesehen nicht annähernd an die natürliche Intelligenz des Menschen heranreicht, haben auch Enthusiasten wie McCarthy oder Hofstadter inzwischen erkannt. Trotz Allem werden heute schon Milliarden mit KI Software umgesetzt, man denke nur an die intelligenten Verkaufsassistenten von Branchenriesen wie Amazon, oder die Business Intelligence Produkte von Oracle, SAP und Microsoft. Auch aus der Computerspiel-Industrie, im Facility Management, im Flugverkehr und natürlich in der Rüstungsindustrie sind KI Produkte nicht mehr wegzudenken. Computerwissenschaftler wie Kurzweil, Moravec und McCarthy haben keinerlei Bedenken, dass es dem Menschen oder der vom Menschen entwickelten Technik gelingen wird die Grundlagen der Intelligenz zu analysieren und softwaretechnisch zu imitieren. Wissenschaftler wie Dreyfus, die eher aus dem Bereich der Philosophie kommen, scheinen zu der Meinung zu tendieren, dass unbewusstes Handeln und ganzheitliches Denken ein der natürlichen Intelligenz vorbehaltenes Privileg darstellen, welches nicht ohne Weiteres mit Hilfe von Bits und Bytes kopiert werden kann. Welcher der beiden Standpunkte sich letztendlich als richtig erweisen wird, wird einzig und allein die Zukunft zeigen – sicher ist jedoch, dass sich die KI-Forschung noch lange nicht aufgegeben hat, und dass trotz aller Kritik viele Wissenschaftler rund um den Globus an der Weiterentwicklung der KI arbeiten. Und auch Dreyfus sieht die bisherigen Anstrengungen, Erfolge und Misserfolge der KI nicht als umsonst an, vielmehr betrachtet er sie als Bestätigung dafür, dass die Forschung in eine neue Richtung einschlagen muss. Er beendet sein Buch „Was Computer nicht können“ mit einem Zitat von C.E. Shannon, dem Erfinder der Informationstheorie, und gibt somit der KI durchaus Chancen, auch weiterhin als Schlüsseltechnologie angesehen zu werden:

„Effiziente Maschinen für Probleme wie Mustererkennung, Sprachübersetzung usw. erfordern wohl einen anderen Computertyp, als wir ihn heute haben. Ich bin überzeugt, dass dies ein Computer sein wird, dessen natürliche Arbeitsweise eher Muster, Begriffe und unbestimmte Ähnlichkeiten zum Gegenstand hat und nicht mehr aus einer schrittweisen Verarbeitung von Dezimalziffern besteht.“⁵⁵

Die genannten Probleme der KI dürfen durchaus als Hauptgründe dafür angesehen werden, dass unser Leben momentan noch nicht dem in vielen SF-Filmen oder SF-Büchern beschriebenen ähnelt. Sollten sie gelöst werden, kommen wir jedoch den Visionen vieler Autoren mit großen Schritten näher.

2.2.5 Der Turing Test und seine Bedeutung für die KI Forschung

Nach den Ausführungen über die Künstliche Intelligenz stellt sich nun noch die Frage, ab welchem Stadium man überhaupt von Intelligenz sprechen kann. Sieht man einen Kaffeeautomaten, der einem das passende Kleingeld auswirft als intelligent an, oder definiert man diese Handlung als rein mathematischen, und vorher vom Menschen als Regel implizierten Vorgang? Bereits in den 50er Jahren, also sehr früh nach dem Aufkommen von KI, machten sich Wissenschaftler Gedanken zu dieser Fragestellung. Und es war wiederum Alan M. Turing, der mit seinem Turing Test (siehe Abbildung 15) ein bis heute gültiges Paradigma zur Feststellung künstlicher Intelligenz festlegte.



Abbildung 15: Der Turingtest⁵⁶

Der Turing Test zur Messung künstlicher Intelligenz wurde von Turing zu Beginn der 50er Jahre vorgestellt - bis heute hat ihn kein Computer bestanden. Turing selbst war der Meinung, dass um das Jahr 2000 die ersten Maschinen entwickelt sein würden, die

⁵⁵ Shannon, S. 309 f. zit n. Dreyfus, 1989, S. 258

⁵⁶ Abbildung „Der Turing Test“ entnommen von:
<http://monet.physik.unibas.ch/~dewarrat/FDphysicAI.html>; (Stand 16.11.04)

seinen Test bestehen könnten. Er machte das Bestehen damals noch sehr von der benötigten Rechenleistung abhängig, die zu dieser Zeit noch in weiter Ferne war und weniger von der Möglichkeit menschliche Intelligenz mit Hilfe von Software nachzubilden. Da das Bestehen des Turing Tests für die KI Forschung eine große Herausforderung darstellt, und dieses Bestehen den nächsten Meilenstein auf dem Weg zu intelligenten Maschinen darstellen dürfte, soll der Test hier kurz erklärt werden. Dabei bezieht sich der Autor auf Turings Ausführungen in seinem Aufsatz „Can a Machine think?“⁵⁷.

Beim von Turing vorgeschlagenen Versuchsaufbau chattet eine Person A ohne Sicht- und Hörkontakt mit zwei unbekanntem Gesprächspartnern in separaten Räumen. Einer der beiden Partner ist wie Person A ein Mensch, der zweite jedoch ist ein Rechner. Durch Fragen versucht Person A herauszufinden, bei welchem Gesprächspartner es sich um die Künstliche Intelligenz handelt. Kann der Computer seine Künstlichkeit länger als fünf Minuten verbergen, so gilt der Test als bestanden. Beim Test vorausgesetzt wird, dass alle drei Teilnehmer ihre wahre Intelligenz nicht verbergen.

Natürlich gab es seit Bestehen des Turing Tests diverse Kritikpunkte am Testaufbau, und auch Turing sah zu Beginn der 50er schon mögliche Kritikpunkte voraus und nahm im selben Aufsatz, in dem er den Test vorstellte, Stellung zur Kritik. Doch unabhängig jeder Kritik ist es immer noch das Ziel vieler Forscher, eine Maschine zu entwickeln, welche den Turing Test als erste bestehen könnte um damit die nächste Phase der KI einzuläuten.

⁵⁷ Vgl. Zimmerli et al, 1994, S. 39 ff.

3 Intelligente Maschinen als nächste Stufe der Evolution

Nach den theoretischen Ausführungen zum Thema soll in diesem Kapitel die Frage erörtert werden, ob Maschinen jemals die Stelle des Menschen einnehmen, oder ihn sogar übertrumpfen können. Diese Idee ist wie bereits weiter oben erwähnt eines der klassischsten Szenarien von SF, und auch nach 50 Jahren hat diese Idee innerhalb des Genres nichts von ihrer ursprünglichen Faszination verloren. Die Wissenschaft tut sich jedoch, wie im vorhergehenden Kapitel über KI schon erwähnt, schwer mit der Erschaffung künstlicher Wesen. Zu viele Fragen stehen noch unbeantwortet im Raum. Kurzweil formuliert folgende philosophische Fragestellungen, die die Fragen zur künstlichen Intelligenz und zu intelligenten Maschinen zusammenfassen:

„Denken Computer oder rechnen sie nur? Ist menschliches Denken nur ein Rechnen? Wenn das menschliche Gehirn physikalischen Gesetzen folgt, ist es dann nur eine hochkomplexe Maschine? Gibt es zwischen menschlichem und maschinellm Denken einen grundlegenden Unterschied? Oder umgekehrt formuliert, müssen wir Computer als bewusst denkende Wesen betrachten, sobald sie die Komplexität menschlicher Gehirne erlangt haben und ebenso komplexe und feinsinnige Aufgaben erfüllen?“⁵⁸

Besonders die Beantwortung der letzten Frage stellt Kurzweil als extrem schwierig dar. Während sie von einigen Philosophen als die einzig wahre Frage der Philosophie angesehen wird, erachten sie Andere als komplett sinnlos. Sie steht in engem Zusammenhang mit Kants Aussage „Ich denke, also bin ich“. Müssen Maschinen als seiende Wesen betrachtet werden, sobald sie das menschliche Denken simulieren können? Kann man ihnen demnach auch ein Bewusstsein zusprechen oder steht das Bewusstsein über dem Denken? Die Entwicklung von intelligenten Wesen kann ohne die Beantwortung der von Kurzweil gestellten Fragen nicht erfolgen, da ohne sie das Ziel der Entwicklung nicht klar definiert werden kann. Nur wenn klar ist, was genau das menschliche Denken ausmacht, kann es simuliert und künstlichen Wesen implementiert werden.

Gehen wir davon aus, dass es Wissenschaftlern kurz- oder mittelfristig gelingen wird, Software zu entwickeln, die den Ansprüchen des Turing-Tests und anderen Tests zur Feststellung künstlicher Intelligenz standhalten kann und dass die Entwicklungen im Hardware-Sektor ähnlich schnell fortschreiten wie vorausgesagt, so hat die menschliche Spezies offensichtlich nur noch einen entscheidenden Vorteil gegenüber den aus diesen Umständen entstehenden Maschinen – ihren Geist.

⁵⁸ Kurzweil, 2001, S. 23

Doch genau diese Annahme wird von vielen Philosophen in Frage gestellt. Die so genannten Naturalisten wehren sich vehement gegen die Annahme, der Mensch sei etwas anderes als ein ständig Kausalitäten physikalisch verarbeitendes Individuum. Aus der angesprochenen Diskussion hat sich ein seit Jahrzehnten bekanntes Problem entwickelt, dass von vielen Philosophen versucht wurde zu lösen. Es handelt sich um das so genannten „Leib-Seele-Problem“, in anderen Zusammenhängen auch „Körper-Geist-Problem“ genannt. Dieses Problem und seine Bedeutung soll im nächsten Abschnitt genauer untersucht werden. Von ihm ausgehend soll auch die Frage untersucht werden, ob Maschinen tatsächlich wie von Kurzweil behauptet die nächste Stufe der Evolution darstellen können.

3.1 Das Leib-Seele-Problem

Dieses Kapitel orientiert sich an den Ausführungen Holm Tetens, der sich als Professor der Philosophie an der Freien Universität Berlin in seinem 1994 erschienen Buch „Geist, Gehirn, Maschine“ ausführlich mit dem Leib-Seele-Problem und den verschiedenen hierzu existierenden philosophischen Ansichten beschäftigt hat⁵⁹. Ausgangspunkt für das Problem ist die von Kant formulierte Frage „Was ist der Mensch“, die sich lt. Tetens zur Hauptfrage der Philosophie entwickelt hat. Die Frage steht in engem Zusammenhang mit den von Kurzweil aufgestellten Fragen zur menschlichen Existenz, welche bereits weiter oben erwähnt wurden. Das Leib-Seele-Problem beschäftigt sich grundsätzlich mit der Frage, was der menschliche Geist ist und ob er rein physikalisch bzw. biologisch erklärt werden kann. Tetens nennt als Teile des Geistes innere Zustände wie Wahrnehmung, Empfindungen, Gefühle, Gedanken, Meinungen, Vorstellungen, Wünsche, Absichten und Träume und bezeichnet diese als mentale Zustände. Die zentrale Frage des Leib-Seele-Problems lässt sich nach Tetens wie folgt formulieren:

„Wie können Wahrnehmungen, Gefühle, Überzeugungen, Wünsche, Absichten unser Verhalten lenken, wenn zugleich wahr ist, dass dieses Verhalten lückenlos physisch verursacht ist?“⁶⁰

Es geht also um den direkten Zusammenhang zwischen körperlichen und geistigen Vorgängen und deren Abhängigkeit voneinander. Heute tendieren viele Philosophen zu der Annahme, dass die bereits erwähnten mentalen Zustände auf keinen Fall etwas Nicht-Physisches sein können, sondern dass es sich bei diesen Vorgängen um rein physische Gehirnzustände handelt. Diese weit verbreitete Richtung innerhalb der Philosophie nennt sich Naturalismus oder auch Materialismus⁶¹. Die Naturalisten sehen sich auch durch die Erkenntnisse der Biologie und der Medizin bestätigt, die den menschlichen Geist ohne Zweifel im menschlichen Gehirn lokalisieren.

⁵⁹ Vgl. Tetens, 1994, S. 7 ff

⁶⁰ Tetens, 1994, S. 12

⁶¹ Vgl. Tetens, 1994, S. 29

Trotz dieser Sicherheit über den Sitz des Geistes kann bei der Untersuchung des Geistes nicht eine bloße äußere Beobachtung des menschlichen Gehirns in Betracht gezogen werden, da der Geist nicht sichtbar ist.

Dem Naturalismus gegenüber steht der Dualismus, welcher von einer strikten Trennung von Körper und Geist ausgeht. Glaubt man an diese strikte Trennung von Körper und Geist, so dürfte es schwer fallen an eine konkrete Umsetzung vieler Figuren aus SF-Geschichten zu denken, die dem Menschen sehr ähnlich oder gar überlegen sind, da in diesem Fall die Simulation des Menschen nicht mehr mit Schaffung einer möglichst idealen Hardware oder Hülle und einer künstlichen Intelligenz zu erreichen wäre. Vielmehr müssten die metaphysischen Phänomene erforscht, erklärt und nachempfunden werden, was eine deutlich schwierigere Aufgabe als die Simulation der reinen menschlichen Intelligenz darstellen dürfte.

Welche der beiden Richtungen man auch vertritt, sicher dürfte sein, dass an der Erforschung des Geistes im Rahmen der Schaffung intelligenter Maschinen kein Weg vorbei führen kann. Hans Moravec schreibt hierzu:

„Wer wirklich intelligente Maschinen bauen will, muß dieses Meer erforschen, von den logischen Oberflächenströmungen bis zum adaptiven Grund. Wahrscheinlich lässt sich das an beiden Extremen leisten – mit immer leistungsfähigeren Computern, die adaptive Systeme von zunehmender Komplexität beherbergen, oder mit immer umfassenderen logischen Programmen.“⁶²

3.1.1 Neuronale Netze

Ausgehend von den Theorien des Naturalismus soll in diesem Abschnitt der Begriff der „Neuronalen Netze“ erklärt werden, da neuronale Netze für die Imitation des menschlichen Denkens und der menschlichen Mustererkennung eine entscheidende Rolle spielen. Das Modell des neuronalen Netzes stellt das menschliche Zentralnervensystem nach, dessen wichtigster Teil das Gehirn ist⁶³. Der Typus des neuronalen Netzes stellt dabei eine Menge verschalteter, endlicher Automaten dar, die als Input den Output anderer Neuronen des Netzes empfangen und diesen weiterleiten. Viele Wissenschaftler gehen davon aus, dass sich mit Hilfe von neuronalen Netzen, die das menschliche Zentralnervensystem abbilden, jedes zielgerichtet-umweltbezogene menschliche Verhalten produzieren lässt. Das weiter unten abgebildete, so genannte neurokybernetische Grundmodell stellt das menschliche Verhalten dar. Mit sensorischen Oberflächen sind im Falle der Abbildung die menschlichen Rezeptoren für Umwelteinflüsse gemeint, als Effektoren werden Drüsen und Bewegungsorgane des Menschen bezeichnet.

⁶² Moravec, 1998, S. 44

⁶³ Vgl. Tetens, 1994, S. 88 ff

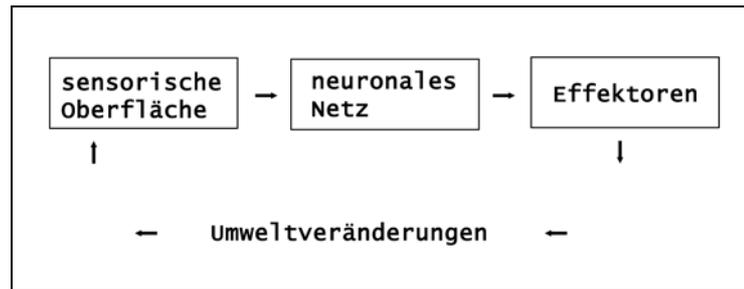


Abbildung 16: Das neurokybernetische Grundmodell⁶⁴

Beim neurokybernetischen Grundmodell wird von folgendem menschlichen Verhalten ausgegangen⁶⁵:

- Menschliche Verhaltensweisen werden über physikalische Zustandsänderungen der Effektoren realisiert, wobei diese Bewegungen neuronal gesteuert werden.
- Das Nervensystem stellt ein neuronales Netz dar, welches mit den Sinnes- und Bewegungsorganen des Organismus rückgekoppelt ist. Dabei werden die Impulse an den sensorischen Oberflächen aufgenommen und in energetische Impulse für die Effektoren umgewandelt. Dies Alles geschieht unter der Prämisse der zielgerechten und umweltangepassten Reaktion.
- Die kausale Aufgabe des Nervensystems, sensorische Impulse in solche Aktivitätszustände der Effektoren umzuwandeln, über die ein zielgerechtes Verhalten und Handeln realisiert wird, kann prinzipiell automatentheoretisch modelliert werden.

Dieser dritte Punkt bringt Wissenschaftler ihrem Traum von menschenähnlichen Maschinen einen entscheidenden Punkt weiter.

Ray Kurzweil beschreibt in „Homo S@piens“ ein Forschungsprojekt des Advanced Telecommunication Research Lab (ATR) in Kyoto, in dem versucht wird neuronale Netze nach dem Vorbild der Natur mit Hilfe von Computern nachzubauen⁶⁶. Hierbei wird verstärkt auf massiv-parallel verarbeitende Technik gesetzt, wobei jedes Neuron durch einen Computer simuliert wird. Das von den japanischen Wissenschaftlern entworfene Modell umfasst eine Milliarde elektronischer Neuronen, diese Zahl entspricht ungefähr einem Prozent der Anzahl von Neuronen im menschlichen Gehirn. Der große Vorteil elektronischer Neuronen liegt in der hohen Geschwindigkeit mit der sie arbeiten – diese ist ungefähr eine Millionen Mal höher als die biologischer Neuronen. Natürlich kann im beschriebenen Projekt kein komplexes menschliches Gehirn simuliert werden, jedoch hofft der Leiter des Projekts, Hugo de Garis, dem erschaffenen neuronalen Netz

⁶⁴ Abbildung nach Tetens, 1994, S. 91

⁶⁵ Vgl. Tetens, 1994, S. 91

⁶⁶ Vgl. Kurzweil, 2001, S. 133 ff

die Grundlagen der menschlichen Sprache vermitteln zu können um es in die Lage zu versetzen, sich nach Belieben durch die Literatur des World Wide Web zu lesen. Mit weiteren Forschungsergebnissen wird der Umfang der wissenschaftlichen Projekte auf diesem Gebiet größer und größer werden, so das es denkbar ist, dass aus einem Expertensystem evtl. einmal eine Kopie eines komplexen menschlichen Gehirns entsteht.

3.1.2 Kritik am Modell neuronaler Netze

Wie jedes Modell stellen auch das neurokybernetische Grundmodell sowie das Modell der neuronalen Netze nicht alle Details der Wirklichkeit dar. Der Hauptkritikpunkt des neurokybernetischen Modells liegt hierbei in seinem statischen Aufbau.⁶⁷ Die Funktionsweise von Computern und Gehirnen ist definitiv nicht vergleichbar. Während das endliche Automaten-system ein nicht-dynamisches Modell darstellt ist das menschliche Gehirn ein sehr dynamisches System. Dynamik definiert sich hierbei vor allem über die Punkte:

- Anzahl der im System enthaltenen Neuronen
- Bedeutung der Verbindungen zwischen den Neuronen
- Gewichtung der Verbindungen
- Summations-, Transfer- und Outputfunktionen der Neuronen

Die dynamischen Veränderungen innerhalb des Gehirns lassen sich unmöglich mathematisch voraussagen, weshalb ein neuronales Netz die Dynamik eines menschlichen Gehirns nach heutigem Standpunkt der Technik nicht simulieren kann. Die Schlussfolgerung hieraus ist, dass selbst wenn menschliches Verhalten ein gehirngesteuertes physisches Geschehen ist, es auf Grund des nicht-algorithmischen Modells nicht zu einer Simulation menschlichen Handelns kommen kann. Diese Schlussfolgerung lässt die Hoffnung auf die baldige Entwicklung „menschlicher Maschinen“ deutlich geringer werden.

3.1.3 Das Leib-Seele-Problem und KI

Unmittelbar mit dem Leib-Seele-Problem und dem Modell der neuronalen Netze verbunden ist auch die bereits ausführlich erläuterte Entwicklung von KI. Für ihre Entwicklung dürfte es von ausgesprochen positiver Wirkung sein, sollten sich neuronale Netze als geeignet für die Simulation komplexer menschlicher Denk- und Handlungsweisen herausstellen. Tetens beschreibt das Problem Künstlicher Intelligenz, indem er auf die Anforderungen an die formale Sprache der KI eingeht, mit deren Hilfe zielgerichtet-umweltbezogenes Verhalten aus der alltagspsychologischen Sprache übersetzt werden muss.⁶⁸

⁶⁷ Vgl. Tetens, 1994, S. 102 ff

⁶⁸ Vgl. Tetens, 1994, S. 100

Demnach muss diese Programmiersprache neuronale Datenexplosionen, wie sie im menschlichen Gehirn auftreten, auf Grund beschränkter Rechenkapazitäten vermeiden können. Außerdem muss es möglich sein, menschliches Verhalten auf künstlichen Systemen zu simulieren, obwohl diese Systeme komplett andere physikalische Eigenschaften aufweisen als biologische Organismen.

Bezogen auf das bereits erläuterte Leib-Seele-Problem kann und muss die KI-Forschung absolut vom naturalistischen bzw. materialistischen Ansatz ausgehen, da nach heutigem Stand alleine mit Hard- und Software sonst keine Simulation des menschlichen Geistes möglich wäre. Deshalb geht die KI-Forschung sehr konsequent von folgendem Grundsatz aus:

„Jedes beobachtbare Verhalten, das wir uns beim Menschen nur damit erklären können, dass er eben „Geist hat“, kann auch eine Maschine ausführen, aber jetzt nachweislich allein kraft ihrer physikalischen Mechanismen.“⁶⁹

3.2 Sind intelligente Maschinen die nächste Stufe der Evolution?

Einige Wissenschaftler gehen davon aus, dass die Entwicklung intelligenter Maschinen der nächste „Coup“ der Evolution ist. Dieser Ansatz, der gleichzeitig eine zentrale Idee vieler SF-Geschichten darstellt implementiert den Gedanken an ein Aussterben der menschlichen Spezies. Als eines der besten Beispiele für die Darstellung dieses Szenarios kann der Film „Matrix“ gelten, in dem eine kleine Gruppe überlebender Menschen aus dem Untergrund gegen die herrschenden Maschinen, die ihnen in Intelligenz und Kraft deutlich überlegen sind, kämpft. Die Matrix-Trilogie war eines der erfolgreichsten Filmprojekte der 90er Jahre und schickt sich an, ähnlichen Kultstatus wie die StarWars-Filme zu erlangen. Die Idee, dass sich Maschinen gegen ihre Erschaffer richten, um unseren Planeten allein zu bevölkern, kam in den 20er und 30er Jahren des 20. Jhd. verstärkt auf und fasziniert die SF-Fans bis heute.

Doch müssen wir wirklich Angst vor unseren eigenen Kreationen haben? Sollte es uns als deren Erfindern nicht möglich sein, ihnen Schutzmechanismen zu implementieren (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.1)? Zu dieser Frage, die als einer der zentralen Punkte dieser Arbeit gelten muss, sollen im Folgenden die Meinungen dreier berühmter und zum Teil bereits mehrfach zitierter Computerwissenschaftler dargestellt werden. Es handelt sich um Hans Moravec, Bill Joy und Ray Kurzweil, deren Meinungen mit Hilfe von Zitaten vorgestellt werden sollen. Moravec ist sich sicher, dass die von uns geschaffenen Maschinen uns verdrängen. Er schreibt hierzu:

⁶⁹ Tetens, 1994, S. 109

„Gleichzeitig werden die Roboter, da sie bessere und billigere Arbeit leisten, die Menschen aus wichtigen Funktionen verdrängen. Mir macht diese Möglichkeit weniger Kopfzerbrechen als vielen anderen Kommentatoren der Zukunft, weil ich diese künftigen Maschinen für die Nachkommen der Menschheit halte, >>Mind Children<<, die nach unserem Bilde geschaffen sind, Wiederholungen unserer selbst in leistungsfähigerer Form.“⁷⁰

Doch natürlich existieren auch gegenteilige Meinungen zu diesem Thema, die durchaus von Angst vor dieser Entwicklung zeugen, auch wenn sie sie nicht anzweifeln. Bill Joy, Gründer von Sun Microsystems und Hauptverantwortlicher für die Entwicklung des Betriebssystems Unix veröffentlichte im Jahr 2000 einen Artikel mit dem Titel „Why the Future doesn't need us“. In ihm berichtete der Computerwissenschaftler über seine Angst davor, dass die Menschheit eines Tages von Maschinen ersetzt werden könnte:

“Our most powerful 21st-century technologies - robotics, genetic engineering, and nanotech - are threatening to make humans an endangered species.”⁷¹

Bei seiner Meinungsbildung hatte Joy die Lektüre des in dieser Arbeit bereits mehrfach erwähnten Buches „Homo S@piens“ von Ray Kurzweil noch bestärkt. Dieser hebt in seinen Ausführungen die Eigenschaft des Menschen hervor, als einziges Lebewesen Technik erfunden zu haben⁷². Dieses Merkmal macht die menschliche Spezies im Gegensatz zu allen anderen Lebewesen, die teilweise ja auch Werkzeuge benutzen, zu etwas Besonderem und genau diese besondere Eigenschaft wird nach Kurzweils Meinung langfristig zur Ausrottung der Menschheit durch die von ihr geschaffene Technik führen. Die Frage, ob eine Intelligenz eine neue, sie selbst überragende Intelligenz entwickeln kann, wird von Kurzweil klar mit „Ja“ beantwortet und gilt für ihn als Kernfrage der Entwicklungen im 21. Jhd.⁷³ Die Zentrale Aussage Kurzweils zum Thema lautet:

„Die menschliche Intelligenz – als Produkt der Evolution – ist folglich weitaus leistungsfähiger als die Intelligenz ihrer Schöpferin; intelligenter als die Evolution selbst, aus der sie hervorgegangen ist. Und genauso wird auch die vom Menschen geschaffene maschinelle Intelligenz eines Tages die menschliche Intelligenz überflügeln. Noch ist es nicht soweit. Doch schon bald werden wir diese Stufe erreichen, noch zu Lebzeiten der meisten Leser dieses Buches.“⁷⁴

⁷⁰ Moravec, 1998, S. 29

⁷¹ Joy, „Why the Future doesn't need us“, 2000,
<http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>, Stand 02.09.04

⁷² Kurzweil, 2001, S. 35

⁷³ Kurzweil, 2001, 73

⁷⁴ Kurzweil, 2001, 81

Kurzweil rechnet also damit, dass die in Kapitel 2 beschriebenen Probleme der KI sehr schnell überwunden werden können. Ebenso setzt seine Theorie eine rasante Entwicklung der Hardware-Technologien voraus, an der er aber keine Zweifel zu haben scheint. Als Vergleich der Entwicklung von KI durch den Menschen führt Kurzweil die Erfindung der DNS, dem biologischen Code an, welche die weitere Entwicklung der Evolution exponentiell beschleunigte. Ähnliche Auswirkungen auf die Entwicklung des Lebens auf dem Planeten Erde hatte lt. Kurzweil die Erfindung der Technik durch den Menschen. Auch sie wird die Entwicklung der Evolution weiter beschleunigen und schließlich zu immer intelligenteren Wesen führen.⁷⁵ Kurzweil zitiert in seinen Ausführungen auch Kaczyński, den so genannten „Unabomber“ und einen Vertreter der Maschinengegner. Dieser führt seinerseits sehr starke Argumente dafür an, dass die Menschen früher oder später abhängig von Maschinen und einer kleinen sie beherrschenden Elite sein werden.⁷⁶ Diese Argumente sind der trotz der sonst sehr radikalen Ausführungen Kaczyński's sehr einleuchtend und beeindrucken sowohl Kurzweil als auch Joy. Die angesprochene Abhängigkeit wird lt. Kaczyński früher oder später zu einer Beherrschung des Menschen durch die Maschinen und unter Umständen sogar zu einer völligen Ausrottung des Menschen führen.

⁷⁵ Vgl. Kurzweil, 2001, S. 35

⁷⁶ Vgl. Kaczyński, 1997, S. 120 zit. nach Kurzweil, 2001, 281 f

4 Roboter - Vision und Realität

Als wohl klassischstes Element von SF kann die Idee der humanoiden Roboter angesehen werden. Die Vision von menschenähnlichen Maschinen ist lt. Isaac Asimov so alt wie die menschliche Phantasie und seiner Meinung nach begründet sich die Faszination der Roboter in ihrer Unheimlichkeit, welche wiederum durch äußerliche Ähnlichkeit zum Menschen und die innere Emotionslosigkeit hervorgerufen wird.⁷⁷ Im Vorwort seines Buches „Roboter-Visionen“ führt er diverse Beispiele altertümlicher und mittelalterlicher Apparate an, darunter „Golem“, das der Sage nach von Rabbi Loew im 16. Jhd. geschaffene menschenähnliche Wesen. Dieses Wesen bestand den Überlieferungen zu Folge aus Lehm und der Rabbi hauchte ihm einen göttlichen Geist ein, welcher den Golem zum Leben erweckte. Als weiteres Beispiel für die menschlichen Phantasien bezüglich menschenähnlicher Apparate nennt Asimov die von Homer in der Ilias erwähnten künstlichen Menschenmädchen. Diese beschrieb Homer als von Hephaistos, dem griechischen Schmiedegott aus Gold geschmiedete Wesen, die dem Menschen allerlei Arbeit abnahmen. Bereits im 18. Jhd. begannen die Menschen eifrig, nach dem bereits existierenden Vorbild des Uhrwerks Apparate zu entwickeln, die menschliche Tätigkeiten ausführten. Asimov führt hierfür Beispiele wie marschierende Spielzeugsoldaten oder tauchende Maschinenenten an.⁷⁸

Die erste literarische Figur, die unserer Vorstellung von Robotern am Nächsten kommt ist nach Asimovs Meinung das in Mary Shelleys 1818 im Roman „Frankenstein“ vorgestellte Wesen. Es wurde vom Wissenschaftler Frankenstein aus den Körperteilen Verstorbener zusammengesetzt und durch diverse naturwissenschaftliche Verfahren, die im Roman nicht näher erläutert werden, zum Leben erweckt. Da der Begriff Roboter im heutigen Zusammenhang noch nicht gebräuchlich war wurde Frankenstein fortan im Roman als „Monster“ bezeichnet. Diese negative Begrifflichkeit wurde auf Grund der Tatsache gewählt, dass das künstliche Wesen nach seiner Erschaffung seinen Schöpfer und die komplette Familie des Hauses tötete.

Filmisch wurde ein Roboter der staunenden Öffentlichkeit das erste Mal von Fritz Lang präsentiert, der in seinem Film „Metropolis“ 1927 einen Maschinenmenschen vorstellte (siehe Kapitel 4.3.1). Die nächsten Bahn brechenden Ideen bezüglich der Maschinenmenschen müssen wohl Isaac Asimov selber zugeschrieben werden, der um 1950 mit seinen Robotervisionen ein großes Publikum ansprach und als einer der Urväter des SF-Genres angesehen werden muss. Seine Visionen beeinflussten Generationen von SF-Autoren – er gilt bis heute als meist gelesener Autor des Genres (siehe Kapitel 4.2).

⁷⁷ Vgl. Asimov, 1994, S. 12

⁷⁸ Vgl. Asimov, 1994, S. 13

Ebenfalls berühmte Roboter sind sicherlich die weltweit namentlich bekannten „C-3PO“ und „R2-D2“, die George Lucas innerhalb seines Starwars Universums kreierte und denen er dank eines ausgeprägten Geschäftssinns und guter Marketingstrategien zu weltweitem Ruhm verhalf. Auch sie werden später im Einzelnen vorgestellt (siehe Kapitel 4.3.2).

Gemäß einer Studie der „United Nations Economic Commission for Europe“ beträgt die heutige Industrieroboter-Population ca. eine Million – und der Trend geht stark nach oben. Doch wann werden die ersten menschenähnlichen Roboter uns umgeben?

4.1 Definition des Begriffs Roboter

Bevor wir zu weiteren Ausführungen über Roboter und die Robotik kommen, soll der Begriff des Roboters erläutert und seine Herkunft erklärt werden. Nach Asimovs Ausführungen lässt sich der Begriff Roboter wie folgt definieren:

„Man kann ihn ganz knapp und verständlich als ‘künstliches Wesen, das dem Menschen ähnlich ist’ bezeichnen. Wenn wir Ähnlichkeit sagen, denken wir zuerst an äußerliche Ähnlichkeit. Und ein Roboter sieht wie ein Mensch aus.“⁷⁹

Für Asimov schließt diese Definition in der Moderne das Vorhandensein von Computertechnik mit ein. Er stellt folgende Formel auf:

Roboter = Maschine + Computer

Des Weiteren beschreibt Asimov im gleichen Kapitel auch die Herkunft des Wortes „Roboter“. Demnach wurde der Begriff erstmalig 1920 vom tschechischen Dramatiker Karel Capek benutzt. Das Wort bedeutet aus dem tschechischen übersetzt „Zwangsarbeiter“ oder „Sklave“ und hat sich seitdem weltweit als Bezeichnung für Maschinenmenschen etabliert.

Natürlich ist die von Asimov aufgestellte Definition eine sehr eingeschränkte, da Spezialroboter bereits seit Jahrzehnten ihre Arbeit in der Wirtschaft verrichten, und dies schneller und genauer als es ihre menschlichen Pendanten je könnten. Diesen Roboter Maschinen fehlen natürlich gewisse Merkmale, die sie nach Asimovs Definition menschenähnlich machen würden. Hierzu zählen vor allem die Merkmale zur Umweltwahrnehmung oder Bein-ähnliche Fortbewegungswerkzeuge. Die genannten Roboterarten, die Thomas Christaller in seinem Buch „Robotik“ beschreibt, zählen nach einhelliger Meinung der Experten heute jedoch genauso zum Bereich der Robotik wie die Asimovschen Humanoiden. Deshalb sollen in den folgenden Ausführungen nicht nur Maschinen betrachtet werden, die der obigen Definition von Asimov entsprechen, sondern es soll auch auf Roboter Rücksicht genommen werden, die zwar die Bedingung Robo-

⁷⁹ Vgl. Asimov, 1994, S. 11

ter = Maschine + Computer erfüllen, aber trotzdem kaum äußere Ähnlichkeit mit dem Menschen teilen. Nach Christaller existieren neben den von Asimov genannten noch folgende Roboterarten:⁸⁰

- **Androiden** > Maschinen mit menschlicher Gestalt und mindestens menschlicher Intelligenz, sie stellen das Ziel der Robotik dar, werden aber lt. Christaller in unmittelbarer Zukunft nicht realisierbar sein. Die zu lösenden Probleme auf dem Weg ihrer Entwicklung gestalten sich als zu komplex, um eine verlässliche Aussage über den Zeitpunkt des Erreichen des Zieles zu treffen (vgl. Kapitel 2.3 zum Thema künstliche Intelligenz).
- **Humanoide und persönliche Roboter** > Sie stellen eine Vorstufe zu den Androiden dar und werden bereits in vielen Forschungslabors weltweit entwickelt. Die Humanoiden werden als Helfer der Menschen angesehen und sollen, wenn auch im Moment nur ferngesteuert, eines Tages Einzug in unseren Alltag halten.
- **Industrieroboter** > Diese Roboterart ist bereits seit mehreren Jahrzehnten vor Allem in der Autoindustrie im Einsatz. Jährlich werden etwa 80.000 bis 100.000 stationäre Roboter verkauft und mit der Verbesserung ihrer kognitiven Fähigkeiten wachsen die Einsatzgebiete.
- **Mobile Roboter** > Mobile Roboter entstanden lt. Christaller vor Allem auf Grund des Wunsches, Produktionsprozesse weiter automatisieren zu können. Sie sollten mit Hilfe vorinstallierter Wege und Aufgaben Objekte von einem Ort zum anderen transportieren. Teile von mobilen Robotern werden heute bereits in der Autoindustrie eingesetzt, wo sie den Fahrer unterstützende Aufgaben übernehmen.
- **Roboter für Weltall und Tiefsee** > Natürlich bietet sich der Einsatz mobiler Roboter auch in Gebieten an, die für den Menschen nur sehr schwer oder nur unter großen Gefahren erreichbar sind. Für Roboter, die in diesem Gebiet im Einsatz sind, definierte Christaller eine eigene Kategorie. Da normale Menschen unter den extremen Bedingungen des Meeres oder des Alls nur begrenzt leistungsfähig sind, bietet sich die Zuhilfenahme mehr oder weniger autonomer Roboter hier besonders an.
- **Roboter für medizinische Nutzung** > Auf Grund ihrer technischen Präzision sind Roboter vor Allem in Chirurgie und Orthopädie bereits in vielen Fällen verlässliche Partner für menschliche Ärzte. Auch spricht Christaller von der Möglichkeit Mikro-Roboter in den Körper einzupflanzen (vgl. 2.1.3, Möglichkeiten der Nanotechnologie) um Signale aus dem Inneren des Körpers zu entsenden.

⁸⁰ Vgl. Christaller et al, 2003, S. 4ff.

- **Militärroboter** > Natürlich hat auch das Militär großes Interesse an der Entwicklung von leistungsfähigen Robotern. Hier sind vor Allem automatisch navigierende Waffensysteme von Interesse, in deren Entwicklung die USA jährlich enorme Summen steckt.

So spannend diese Roboterarten auch sind, so sehr unterscheiden sie sich doch von den Asimovschen und anderen klassischen SF-Robotern. Zwar kommen auch hier ab und zu nicht-humanoiden, autonome Maschinen vor, jedoch stehen diese nur selten im Mittelpunkt. Allerdings widersprechen die von Christaller genannten Roboterarten auch nicht der von Asimov aufgestellten Formel, so dass wir alle genannten Bereiche ebenfalls zu Robotik zählen. Dies macht zudem Sinn, da sie eher den aktuellen Stand der Technik repräsentieren als die Androiden. Nicht eingegangen werden soll in diesem Kapitel auf so genannte Cyborgs, also Wesen die halb Mensch halb Maschine sind. Auch wenn die Forschung im Bereich künstlicher Implantate beim Menschen riesige Fortschritte macht, so nimmt die Vision der Cyborgs doch im literarischen Feld von SF keine dominierende Stellung ein, weshalb sie in dieser Arbeit keine Berücksichtigung finden sollen.

4.2 Isaac Asimovs Robotervisionen

Asimov zeichnet sich im Gegensatz zu vielen seiner Kollegen vor allem durch seine positive Darstellung der Roboter aus. Charakteristisch für seine Visionen ist, dass die Maschinen immer als Helfer der Menschen dargestellt werden. Diese Eigenschaft erinnert sehr an die ursprüngliche Bedeutung des Wortes Roboter (siehe Kapitel 4.1) und auch an die Entwicklungen der realen Roboter Asimo, Qrio und HRP-2 (siehe Kapitel 4.4) zu Beginn des dritten Jahrtausend. Asimov beschreibt seine Roboter als fortschrittliche Maschinen und versucht damit, den Humanoiden das Bild der blasphemischen Imitation des Lebens zu nehmen.⁸¹ Immer wieder stellt er in seinen Geschichten Roboter als Spielgefährten für Kinder, Haushaltshelfer oder gar Lehrer dar und positioniert sie somit als wichtigen Teil der Gesellschaft. Asimov versucht auf diese Weise, den „Frankenstein-Komplex“, nach welchem Roboter ihre Schöpfer immer umbringen mussten, zu schwächen. Mit den technischen Einzelheiten der Maschinen beschäftigen sich die Asimovschen Erzählungen so gut wie gar nicht. Für ihn sind Roboter metallische, dem Menschen nachempfundene Wesen (siehe Abbildung 17) die von einem maschinellen Gehirn gesteuert werden. Auch über die Funktionsweise der Robotergerirne klärt Asimov seine Leser nie auf. Vielmehr belässt er es dabei, die Gehirne der Maschinen als „Positronengehirne“ zu bezeichnen und die Phantasie der Leser zu möglichen Funktionsweisen anzuregen.⁸² So wenig sich Asimov auch mit der äußeren Funktionsweise seiner künstlichen Geschöpfe auseinandergesetzt haben mag, so hat er doch viel über die Art der künstlichen Intelligenz nachgedacht, die man Robotern

⁸¹ Asimov, 1994, S. 422

implementieren könnte. In einem Essay mit dem Titel „Das Zusammenleben der Intelligenzen“ stellt er die Tatsache in Frage, dass sich Intelligenz geradlinig wie mit einem Thermometer messen lässt.⁸³ Vielmehr beruft er sich auf die Möglichkeit, dass menschliche und künstliche Intelligenz sich auf Grund ihrer unterschiedlichen Herkunft und der unterschiedlichen Antriebskräfte ihrer Entstehung nicht ohne weiteres vergleichen lassen.

Da Asimov, wie schon erwähnt, heute als meistgelesener SF-Autor gilt, sind seine Visionen von intelligenten Maschinen besonders wichtig, da sie nicht nur Leser und Fans sondern auch weitere Schriftsteller und Filmemacher beeinflusst haben. Auch einige Wissenschaftler wurden von den Asimovschen Ideen inspiriert, ein Beispiel hierfür wird später noch angeführt (siehe Kapitel 5).

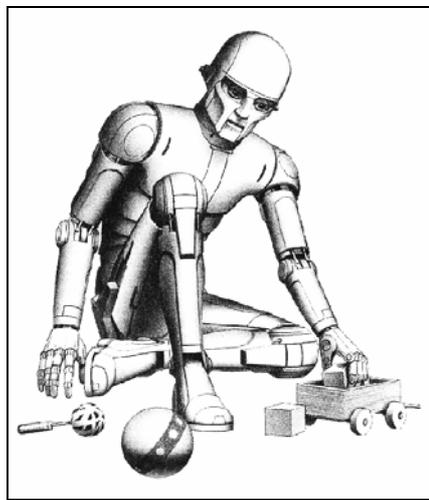


Abbildung 17: Asimovsche Robotervision⁸⁴

4.2.1 Die Asimovschen drei Gesetze der Robotik

Wie bereits erwähnt, hatte sich Asimov mit der Entwicklung menschenfreundlicher Roboter, die ihren Schöpfern helfend zu Seite stehen, einen Namen gemacht. Auf Grund einiger Bedenken seines Verlegers John W. Campbell, der wohl durch die bis dahin veröffentlichte SF-Literatur beeinflusst war, fühlte sich Asimov dazu gedrängt, die Sicherheitsaspekte seiner Roboter näher zu erläutern.⁸⁵ Er tat dies im Rahmen seiner 1942 erschienen Geschichte „Runaround“, in der die drei fundamentalen Regeln der Robotik das erste Mal niedergeschrieben wurden.

⁸² Vgl. Asimov, 1994, S. 422

⁸³ Vgl. Asimov, 1994, S. 468 f

⁸⁴ Abbildung entnommen aus: Asimov, 1994, S. 353

⁸⁵ Vgl. Asimov, 1994, S. 16

Aus diesen fundamentalen Regeln entstanden die legendären „Asimovschen drei Gesetze der Robotik“, welche im Folgenden aufgeführt werden.⁸⁶

1. Ein Roboter darf keinen Menschen verletzen oder durch Untätigkeit zu Schaden kommen lassen.
2. Ein Roboter muss den Befehlen eines Menschen gehorchen, es sein denn, solche Befehle stehen im Widerspruch zum ersten Gesetz.
3. Ein Roboter muss seine eigene Existenz schützen, solange dieser Schutz nicht dem ersten oder zweiten Gesetz widerspricht.

Diese drei Gesetze dürfen als Revolution innerhalb des SF-Genres angesehen werden, da ihr Erscheinen Einfluss auf viele Autoren hatte, welche in den 50er, 60er und 70er Jahren bekannte SF-Geschichten verfassten. Fortan existierte nicht mehr nur das Bild des bösen, außer Kontrolle geratenen Roboters, der das Ziel verfolgt seine Schöpfer anzugreifen, sondern die eigentliche Idee hinter dem Begriff Roboter wurde wiederentdeckt und als Idee für viele Drehbücher und Romane verwendet. Auch gelten die Gesetze als bis heute gültig, und sicherlich werden sie auch von Wissenschaftlern berücksichtigt, die heute an der Entwicklung von Robotern arbeiten. Asimov selbst geht davon aus, dass seine Gesetze Anwendung in der modernen Robotik finden, er schreibt hierzu:

„Und ich bin der festen Überzeugung, dass zu dem Zeitpunkt, wenn fortschrittliche, menschenähnliche Roboter wirklich gebaut werden, man ihnen etwas einpflanzen wird, das meinen Robotik-Gesetzen sehr ähnlich ist.“⁸⁷

Allerdings ist sich Asimov bewusst, dass diese Entwicklung noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird, so dass er bedauert, sie nicht mehr zu seinen Lebzeiten erleben zu können.⁸⁸

4.3 Andere berühmte Robotervisionen

Natürlich existieren außer der von Asimov beschriebenen Roboterart noch weitere berühmte Maschinen. Viele der in den letzten 100 Jahren beschriebenen Roboter sind inzwischen wieder aus dem Gedächtnis der SF-Fans verschwunden – andere hingegen haben Kultstatus erreicht und sind aus dem Genre nicht mehr wegzudenken. In Filmen wie Robocop, Star Trek, Terminator, Nummer 5 lebt, Westworld oder auch Alarm im Weltall spielten Roboter die Hauptrollen und wurden von den SF-Fans weltweit geliebt. In diesem Kapitel sollen einige der berühmtesten Roboter vorgestellt werden.

⁸⁶ Vgl. Asimov, 1994, S. 19

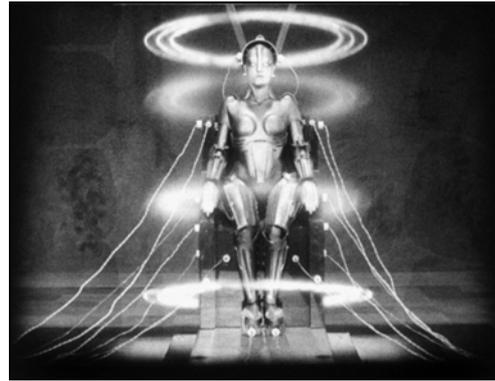
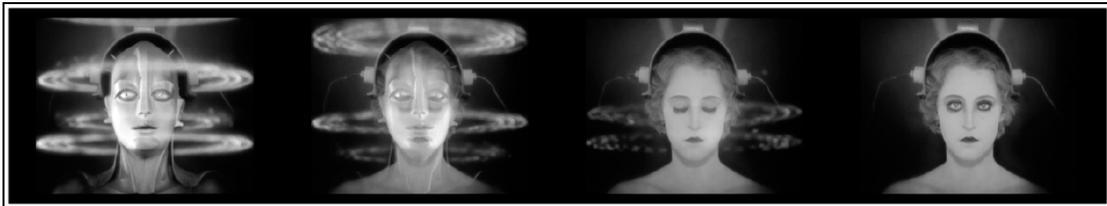
⁸⁷ Asimov, 1994, S. 426

⁸⁸ Vgl. Asimov, 1994, S. 426

Dabei sollen stets besondere Fähigkeiten der Roboter erläutert werden, um den Vergleich zu heutigen Entwicklungen der Wissenschaft leichter anstellen zu können. Zuerst sollen hierbei der Maschinenmensch aus dem Film *Metropolis* sowie die Roboter der *Starwars*-Filme vorgestellt werden. Danach folgt eine Kurzübersicht über die Roboter, die in die „Robot Hall of Fame“ der berühmten Carnegie Mellon Universität aufgenommen wurden. Hierbei werden nicht nur Roboter aus der Literatur oder Filmen berücksichtigt, sondern ebenfalls real entwickelte Maschinen der Wissenschaft und Wirtschaft.

4.3.1 Fritz Langs Maschinenmensch

Fritz Lang war es, der in seinem von der UNESCO zum Weltkulturerbe ernannten Film „*Metropolis*“ 1927 der Öffentlichkeit erstmals das bewegte Bild eines Maschinenmenschen präsentierte. Dieser wurde im Film vom Erfinder Rotwang entwickelt (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19) und sollte in Form von Maria Menschengestalt annehmen (siehe Abbildung 20) um die Bewohner der Stadt *Metropolis* irrezuleiten. Als der „falsche Mensch“ jedoch beim Volk in Ungnade fällt, verbrennt es ihn auf dem Scheiterhaufen. Erst in diesem Augenblick erscheint die Technik unter der menschlichen Oberfläche und den Menschen wird klar, dass sie Opfer eines Täuschungsversuchs wurden. Wie auch bei Mary Shelleys *Frankenstein* geht der Bau des künstlichen Menschen in einem Laboratorium mit Unmengen technischem Gerät und unter der Verwendung von Elektrizität von statten. Ähnlich wie bei *Frankenstein* oder auch den bereits erwähnten Asimovschen Robotern verzichtet auch Fritz Lang auf die genauere Erklärung der technischen Einzelheiten des Roboters. Die herausragende filmische Leistung und die unglaublich aufwendige Produktion verhalfen dem deutschen Film damals zu Weltruhm. Auch kann die Idee, einem Roboter nach seiner Erschaffung jedes beliebige menschliche Aussehen geben zu können, als Bahn brechend angesehen werden.

Abbildung 18: Der Erfinder Rotwang⁸⁹Abbildung 19: Der Maschinenmensch⁹⁰Abbildung 20: Die Verwandlung des Maschinenmenschen⁹¹

Unter dem technischen Aspekt betrachtet bleibt festzuhalten, dass Fritz Langs Robo-
tervisionen heute noch genauso spannend wie in den 20er Jahren des 20. Jhd. sind.
Seine Idee der Verbindung von Technik, die den Menschen komplett imitieren kann,
und dem Schaffen einer menschlichen Hülle um die Maschine herum, gilt auch heute
noch als oberste Messlatte für die Robotik und dennoch sind wir der Erfüllung dieser
Vision seit Metropolis offensichtlich nur ein paar Schritte näher gekommen.

4.3.2 Die Roboter der StarWars Geschichte

Wesentlich reduzierter in ihren Fähigkeiten und in ihrem Aussehen als Fritz Langs Ma-
schinenmensch sind die zwei Roboter, die im Folgenden vorgestellt werden sollen.
1977 stellte George Lucas die komplette Filmwelt auf den Kopf, als er mit dem ersten
Teil der StarWars Filme „A New Hope“ SF in nie da gewesener Form zelebrierte und
den Begriff Blockbuster neu definierte. Als besondere Stars der Kultfilme gelten bis
heute die zwei Roboter R2D2 und C3PO.

⁸⁹ Der Erfinder Rotwang, Abbildung entnommen aus ArtDicine Booklet der Firmen recom und NewVicom, 2004, S. 29

⁹⁰ Der Maschinenmensch, Abbildung entnommen aus ArtDicine Booklet der Firmen recom und NewVicom, 2004, S. 31

⁹¹ Die Verwandlung des Maschinenmenschen, Abbildung entnommen aus ArtDicine Booklet der Firmen recom und NewVicom, 2004, S. 36



Abbildung 21: Die StarWars Roboter R2D2 und C3PO (von links nach rechts)⁹²

Auf Grund der Fanscharen, die immer mehr Einzelheiten über ihre Lieblinge erfahren wollten, erfanden und veröffentlichten die Macher von StarWars diese Einzelheiten. Die folgenden Ausführungen zum Roboter C3PO begründen sich auf den Angaben auf der offiziellen Homepage von StarWars.⁹³

C3PO wurde von seinem Besitzer aus alten Schrottteilen zusammengesetzt, die teilweise mehr als 100 Jahre alt waren. Sein so genanntes „VerboGehirn“, eine von den StarWars Machern erfundene, fiktive Denkmaschine ermöglicht es dem Roboter Millionen von Sprachen zu sprechen und seinem Herrn in allen Lebenslagen die passenden Ratschläge zu geben. Es handelt sich bei C3PO also um einen Roboter, der die Aufgabe besitzt den Menschen zu dienen und ihnen zu helfen. Auch wenn er wesentlich intelligenter ist, als die Lebewesen um ihn herum, so missbraucht er seine Macht nicht und entspricht mit diesem Verhalten eher den bereits erwähnten Vorstellungen Asimovs. C3PO stellt somit ein absolutes Vorbild für die Roboter dar, die Hersteller wie Sony oder Honda seit den 80er Jahren versuchen zu entwickeln (siehe Kapitel 4.4) und lässt sich nach den Roboterarten von Christaller im Bereich zwischen Androiden und Humanoiden klassifizieren. Eine weitere wichtige Eigenschaft, die George Lucas seinem Roboter gab, ist die Fähigkeit, zu lernen. Auch diese Eigenschaft stellt in der heutigen Entwicklung, vor Allem in der KI eine große Herausforderung dar, welche es auf dem Weg zu ähnlich intelligenten Maschinen wie C3PO anzunehmen gilt.

⁹² Abbildung „Die Starwars Roboter R2D2 und C3PO“ entnommen von:
http://www.brianstoys.com/acatalog/POTF2_12inDollLoose_R2-C3PO.jpg, Stand 30.11.04

⁹³ C3PO, Vgl. <http://www.starwars.com/databank/droid/c3po/?id=eu>, Stand 10.10.04

Der zweite berühmte Roboter aus StarWars ist der bereits erwähnte R2D2, der eher als Spezialroboter angesehen werden kann.⁹⁴ Er dient den Menschen als Mechaniker und als Benutzer von Computer-Interfaces. Die Fähigkeit zu sprechen ist ihm nicht implementiert, vielmehr kommuniziert er mit Hilfe von piepsenden Lauten und Bewegungen seines Kopfes. Auf Grund der schon erwähnten Fähigkeit der StarWars Roboter zu lernen, entwickelte sich R2D2 nach und nach neben seiner normalen Berufung als Mechaniker zu einer Art Bodyguard. Ausgerüstet mit Lasern scannte er die jeweilige Umgebung ab und suchte nach möglichen Feinden. Alle genannten Fähigkeiten von R2D2, auch wenn sie deutlich reduzierter als die seines Kollegen C3PO sind, stellen auch für die realen Entwicklungen der Robotik eine große Herausforderung dar. Zwar kommt R2D2 von der Idee her bereits bestehenden Expertensystemen erstaunlich nahe, jedoch machen ihn seine vielseitigeren Einsatzmöglichkeiten und seine Fähigkeiten Gefühle zu zeigen zu einem im Moment noch nicht erreichbaren Vorbild für Spezialroboter.

Die beiden beschriebenen Roboter schließen im Film eine enge Freundschaft, was ein natürliches oder künstliches Empfinden voraussetzt. Auch diese Eigenschaft ist auf Grund ihrer noch ungeklärten natürlichen Ursache (siehe Kapitel 3) im Moment für die Forschung unerreichbar.

4.3.3 Die „Robot Hall of Fame“

In Anlehnung an die „Robot Hall of Fame“, einem von der berühmten Carnegie Mellon Universität gegründeten Forum, sollen in diesem Kapitel einige weitere bekannte Roboter vorgestellt werden.⁹⁵ In die Hall of Fame der Roboter werden sowohl Roboter-Visionen aus SF wie auch real umgesetzte Roboter aus Wirtschaft und Wissenschaft aufgenommen. Wichtig für die Aufnahme ist, dass ihr Konzept die Jury aus berühmten Wissenschaftlern, Designern und Technikern überzeugen kann. Die Hall of Fame stellt eine recht neue Institution dar, wurden doch erst 2003 die ersten Roboter aufgenommen. Natürlich werden alle Arten von Robotern berücksichtigt, es findet also nicht nur eine Bewertung humanoider Roboter statt. Welche Roboter stellen also für die Jury der Carnegie Mellon Universität, die ihrerseits viele berühmte Computer-, und Robotik-Wissenschaftler hervorbrachte, die herausragenden Exemplare ihrer Gattung dar? Die folgende Aufzählung zeigt einige der bisher prämierten Roboter. Dabei soll wie auch in der „Robot Hall of Fame“ kein Unterschied zwischen Robotern aus Wissenschaft und Literatur gemacht werden.

⁹⁴ R2D2, Vgl. <http://www.starwars.com/databank/droid/r2d2/index.html>, Stand 11.10.04

⁹⁵ Robot Hall of Fame vgl. Carnegie Mellon Universität, Robot Hall of Fame, www.robothalloffame.org/, (Stand 05.12.04)

- **HAL 9000:** aus dem SF-Klassiker „2001: A Space Odyssey“ von Stanley Kubrick. Der Roboter war kein humanoides Modell, sondern vielmehr als Gehirn des Raumschiffs „Discovery“ für die Steuerung der gesamten Einheit zuständig. Seine Intelligenz reicht im Film aus, um Sprache zu erkennen und wiederzugeben, Schachspiele gegen die Astronauten der „Discovery“ zu gewinnen und die Informationssysteme des Schiffes zu steuern. Hal 9000 tötet im Laufe des Films die Crew. Deutlich sind die Bemühungen Kubricks zu erkennen, den Stand der damaligen KI-Forschung in seinem Film aufzugreifen und weiterzuspinnen. In der Begründung für die Aufnahme in die Hall of Fame wird vor Allem die Inspiration des Roboters für die Wissenschaft und die Philosophie hervorgehoben:

“It has inspired astronauts, scientists and philosophers. Scientists ask how its capabilities can be duplicated and philosophers have asked whether HAL was responsible for the murders of the astronauts.”⁹⁶

- **Mars Pathfinder Sojourner Rover:** Dieser Roboter war 1997 bei der Mars Mission der NASA im Einsatz. Er war mit Laseraugen ausgestattet und konnte innerhalb gewisser Grenzen auf Grund seiner Software auf bestimmte Umstände reagieren. Seine Aufgabe war es, Bilder der Marsoberfläche zur Erde zu senden.
- **Asimo:** Dieser reale Roboter wurde von Honda entwickelt und war der erste seiner Art, der sich dynamisch fortbewegen konnte. Er wurde der Weltöffentlichkeit das erste Mal am 31.10.2000 vorgestellt. Ein Teil der Begründung zur Aufnahme in die Hall of Fame lautet:

“ASIMO is a four-foot mechanical masterpiece, with a remarkable sense of balance, agility, and grace. It surpasses all other robots in its simulation of human movement.”⁹⁷

Die Eigenschaften Asimos und ähnlicher aktueller Roboter werden im folgenden Kapitel noch ausführlicher beschrieben.

- **R2D2:** Der bereits erwähnte R2D2 dürfte einer der berühmtesten Roboter der Welt sein und entstammt George Lucas´ Starwars Epos. Als besonders positiv wertete die Jury die Eigenart des Roboters, dem Menschen ergeben zu dienen und nicht nach Höherem zu streben. Die Eigenschaften R2D2´s und seines Kumpanen C3PO wurden bereits ausführlich erläutert.

⁹⁶ Hal 9000 vgl. Carnegie Mellon Universität, Robot Hall of Fame, www.robothalloffame.org/hal, (Stand 05.12.04)

⁹⁷ Asimo vgl. Carnegie Mellon Universität, Robot Hall of Fame, www.robothalloffame.org/asimo, (Stand 05.12.04)

- **Robby:** Dieser Roboter entstammt dem 1956 erschienenen Film „Forbidden Planet“ und zeichnet sich durch seinen Charme und durch seine guten Manieren aus. Diese machten die Figur zum Star des Films und den Film zu einem absoluten SF-Klassiker. Robbys Erfinder legten großen Wert darauf, dass ihre Schöpfung als Roboter dargestellt wurde, dem die drei Asimovschen Gesetze implementiert waren.
- **Shakey:** Shakey wurde 1966 als Projekt der Stanford Universität vorgestellt und gilt als erster mobiler Roboter, der seinen Weg mit Hilfe implementierter Fernsehkameras im Voraus berechnen konnte. Einer der Entwickler von Shakey war der bereits mehrfach erwähnte John McCarthy. Die Jury der „Robot Hall of Fame“ würdigte Shakey mit den Worten:

“Shakey was a true pioneer in demonstrating the entire range of robot capabilities.”⁹⁸

- **Unimate:** Unimate gilt als der erste industrielle Roboter und wurde 1961 von General Motors eingesetzt. Er wurde von George Devol und Joseph Engelberger auf Grund diverser SF-Ideen entwickelt. Von beiden Erfindern wird später noch im Zusammenhang mit durch SF beeinflusste reale Entwicklungen die Rede sein.

Tabelle 2: berühmte Mitglieder der "Robot Hall of Fame"⁹⁹

Hal 9000	Sojourner	Asimo	R2D2	Robby	Shakey	Unimate
						

4.3.4 Robotervisionen in Menschengestalt

Asimovs Roboter-Definition wurde in den letzten 30 Jahren weiterverfolgt und in SF-Filmen und der einschlägigen Literatur wurden vermehrt Roboter dargestellt, die gemäß dieser Definition nicht nur dem Menschen ähnlich waren, sondern äußerlich ein komplettes Abbild ihrer Erfinder darstellten und somit Christaller's

⁹⁸ Shakey vgl. Carnegie Mellon Universität, Robot Hall of Fame. www.robothalloffame.org/shakey, (Stand 05.12.04)

⁹⁹ Tabelle erstellt auf Grund von: Carnegie Mellon Universität, Robot Hall of Fame. www.robothalloffame.org/, (Stand 05.12.04)

Definition von Androiden entsprechen. Sie erinnern damit stark an den Maschinenmenschen aus Metropolis, doch in den meisten Fällen sind ihre Fähigkeiten nicht nur menschlich, sondern übermenschlich. Zahllose Beispiele für fiktive Androiden können hierzu aufgeführt werden, die folgende Aufzählung soll die meiner Meinung nach bekanntesten Filme, in denen Androiden eine Hauptrolle spielen, präsentieren. Da die Wissenschaftler in der Robotik und KI sich immer noch mit der Lösung sehr fundamentaler Problem beschäftigen, muss klar sein, dass die Idee der Androiden mit den übermenschlichen Fähigkeiten noch sehr lange Fiktion sein wird.

- **Blade Runner** > In John Ridleys SF-Klassiker von 1982 sind Maschinen und Menschen äußerlich nicht zu unterscheiden. Es existieren sogar Maschinen die – mit künstlichen Erinnerungen ausgestattet – davon ausgehen, dass sie selbst Menschen sind.
- **Die Frauen von Stepford** > In diesem 2004 erschienen Kinohit bastelt sich eine männliche Dorfgemeinschaft ferngesteuerte Roboterfrauen, die ihnen alle Wünsche von den Augen ablesen und erfüllen.
- **A.I.** > In diesem Steven Spielberg Film von 2001 kauft sich eine Familie, deren eigenes Kind todkrank ist, einen mit Gefühlen ausgestatteten Kinderroboter, um den Verlust ihres Sohnes besser verschmerzen zu können. Als ihr wahrhaftiger Sohn überraschend wieder gesund wird, versucht die Familie den Roboter zu verstoßen. Dieser hat jedoch ein Eigenleben entwickelt und zeigt neue, ihm vorher nicht implizierte Gefühle.
- **Matrix** > Auch diese 1999 erschienene Comic-Verfilmung der Wachowski-Brüder spielt mit der menschlichen Darstellung extrem starker und intelligenter Roboter, die versuchen, die wenigen noch lebenden Menschen zu töten, sobald sie die Illusion der so nicht existierenden Welt durchschaut haben. Die Roboter haben in diesem Film die Macht, sich selbst innerhalb von Sekundenbruchteilen zu replizieren (siehe Abbildung 22), diese Eigenschaft erinnert stark an die bereits erwähnte Nanotechnik.



Abbildung 22: Matrix, Agent Smith¹⁰⁰

4.4 Asimo, Qrio & HRP2 - Vorstellung der realen, aktuellen Robotergeneration

Nach der Vorstellung vieler Roboter aus den Bereichen Film und Literatur sollen in diesem Unterkapitel reale humanoide Roboter vorgestellt werden, die sich zurzeit im Entwicklungsstadium befinden. Die drei berühmtesten existierenden Humanoiden dürften Asimo, Qrio und HRP2 sein (siehe Abbildung 23, 24, 25), ihrerseits allesamt Weiterentwicklungen früherer Roboterexperimente. Die Entwickler dieser Roboter verfolgen dabei mehrere Ziele. Zum einen sollen natürlich irgendwann serienreife Produkte aus den Entwicklungen werden, zum anderen können auch Produkte aus Einzelteilen der Humanoiden entstehen. So nennt Christaller z.B. die Möglichkeit, einzelne Bauteilgruppen wie Hände oder Arme auszugliedern und in eigenen Gebieten einzusetzen.¹⁰¹ Nicht vergessen werden sollte auch der Imagegewinn, den die entwickelnden Firmen durch die Konstruktion und das Vorstellen von humanoiden Robotern erfahren. So veröffentlichte Honda 2001 einen weltweiten Fernseh-Werbepspot, in dem die Firma Asimo vorstellte. Obwohl der Roboter noch lange keine Serienreife erlangen wird, sorgte die Kampagne für viel Gesprächsstoff, da viele Menschen das erste Mal Bilder eines humanoiden Roboters außerhalb von SF-Geschichten sahen.

¹⁰⁰ Abbildung Matrix entnommen von <http://whatisthematrix.warnerbros.com/>, (Stand 05.12.04)

¹⁰¹ Vgl. Christaller et al, 2003, S. 13



Abbildung 23: HRP-2 der Firma Kawada¹⁰²



Abbildung 24: Qrio der Firma Sony¹⁰³



Abbildung 25: Asimo der Firma Honda¹⁰⁴

4.4.1 Eigenschaften von Asimo

Da sich die genannten, aktuellen Roboter der Firmen Honda, Sony und Kawada in ihrem Können und Verhalten sehr ähnlich sind, soll in dieser Arbeit stellvertretend nur eines der Modelle ausführlicher vorgestellt werden. Auf Grund des gut aufbereiteten Informationsmaterials ist meine Wahl hierbei auf Asimo, den Humanoiden der Firma Honda gefallen. Der Name Asimo steht für „Advanced Step in Innovative Mobility“. Die folgenden Ausführungen zu Asimo begründen sich auf den Angaben der Firma Honda, welche auf der eigens für Asimo erstellten Homepage veröffentlicht wurden.¹⁰⁵

- **Ziel der Entwicklung:** Honda begann 1986 mit der Entwicklung von humanoiden Robotern und verfolgte damit das Ziel, dem Menschen in naher Zukunft einen künstlichen Helfer zur Seite zu stellen, der sich in die Arbeitswelt integrieren und dem Menschen lästige Aufgaben abnehmen sollte. Dabei stellten sich die Entwickler zunächst das ehrgeizige Ziel, dem Roboter die menschliche Art des Laufens beizubringen. Dies gestaltete sich zunächst als äußerst schwierig, da der Roboter für die Berechnung der einzelnen Schritte zu lange benötigte und häufig das Gleichgewicht verlor. Die Probleme konnten erst im Jahr 2000 nach einigen Entwicklungsstufen zufrieden stellend gelöst werden.

- **Geschichte:** 1986 begann Honda, zweibeinige Roboter zu entwickeln. Das erste Modell, und somit der Vorgänger des von uns betrachteten Asimo, hieß E0 und benötigte rund 5 Sekunden für die Ausführung eines Schrittes.

¹⁰² HRP-2 der Firma Kawada vgl. www.kawada.co.jp/global/ams/hrp_2.html, (Stand 06.12.04)

¹⁰³ Qrio der Firma Sony vgl. www.sony.net/SonyInfo/QRIO/top_nf.html, (Stand 06.12.04)

¹⁰⁴ Asimo der Firma Honda vgl. <http://www.honda-robots.com/german/html/asimo/frameset2.html>, (Stand 04.11.04)

¹⁰⁵ Informationen Asimo vgl. www.honda-robots.com/german/html/asimo/frameset2.html, (Stand 06.12.04)

Bei E0s Nachfolgern, den Robotern E1, E2 und E3 wurde vor Allem auf eine schnellere Fortbewegung und die Navigation in unebenem Gelände geachtet. 1997 benannte Honda seine Roboterserie um, und schuf in der Zeit zwischen 1994 und 1997 drei weitere Humanoide mit den Namen P1, P2 und P3. Die Roboter der P-Serie konnten bereits Schalter und Türgriffe betätigen sowie leichte Gegenstände aufheben und tragen. Asimos direkter Vorgänger, der Roboter P3, war noch 130 cm groß und wog 130 Kilogramm.

- **Fähigkeiten:** Die Einsatzmöglichkeiten Asimos hängen wesentlich von der Bewegungsfreiheit seiner Gliedmaßen ab. Der Roboter kann seine Ellbogen 15 Grad über die Horizontale heben, der Spielraum seiner vertikalen Armbewegung beträgt immerhin 105 Grad. Asimo ist mit einer Echtzeit-gesteuerten, flexiblen Walk-Technologie ausgestattet, die es ihm ermöglicht, sehr flexibel auf Veränderungen in seiner Umwelt zu reagieren. Außerdem wurde ihm ein Feature implementiert, das es ihm wie dem Menschen ermöglicht, den Körperschwerpunkt bei einer Kurvenbewegung entsprechend zu verlagern.

- **Design:** Die möglichst effiziente Bewegung in menschlicher Umgebung war das oberste Ziel von Asimos Designern. Dabei hat sich eine Höhe von 120 cm als optimal erwiesen. Mit dieser Größe ist es Asimo möglich, Lichtschalter und Türgriffe zu bedienen und an Tischen und Werkbänken zu arbeiten (siehe Abbildung 26). Die Augen des Roboters befinden sich in etwa auf Höhe eines auf einem Stuhl sitzenden Erwachsenen – dies garantiert eine optimale Kommunikation.

- **Gewicht:** Durch die Verwendung spezieller, sehr dünner Materialien und den Einsatz einer relativ leichten Steuereinheit konnte das Gewicht Asimos auf 43 Kilogramm verringert werden. Dieser Umstand hat den Vorteil, dass der Kraftaufwand für die Bewegung der einzelnen Körperteile relativ klein ist.

- **Steuerung:** Gelenkt wird Asimo durch eine mobile Steuereinheit. Sie ermöglicht eine flexible Kontrolle der Gliedmassen und der Bewegungen, die der Roboter ausführen soll.

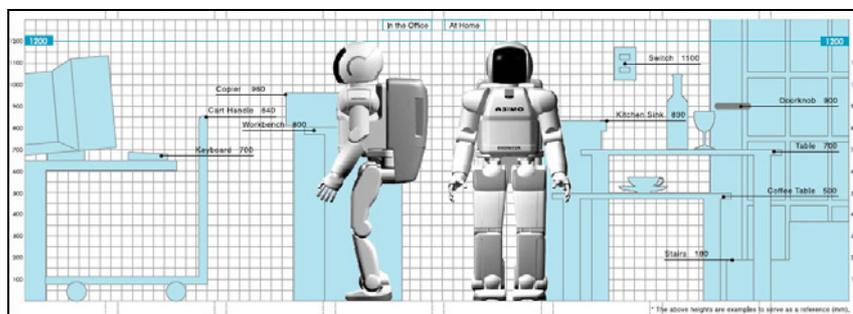


Abbildung 26: Asimo in seiner möglichen Arbeitsumgebung¹⁰⁶

¹⁰⁶ Abbildung entnommen aus: Asimo Technical Information, 2003, S. 1

4.5 Aibo – der erste Roboter für den Endverbraucher

Bei Aibo handelt es sich um einen von Sony entwickelten Roboterhund, den Sony selbst als außerordentlich intelligent bezeichnet.¹⁰⁷ Aibo kann bis zu einem gewissen Grad mit seiner Umwelt interagieren und ist mit einem internen Speicher ausgestattet, der die Entwicklungen in Aibos Leben speichert und auswertet. Gesteuert wird Aibo von einer eigens für ihn entwickelten KI-Software, die sich auf einem Memory Stick befindet. Diese Software nennt sich „Mind 2“ und verarbeitet die Signale zahlreicher Sensoren, mit denen Aibo ausgestattet ist. Hierzu zählen unter anderem ein Temperatursensor, mehrere Infrarotsensoren zur Entfernungsmessung, ein Beschleunigungssensor, ein Drucksensor und ein Vibrationssensor.



Abbildung 27: Aibo - der erste käufliche Roboter¹⁰⁸

Des Weiteren besitzt Aibo ein Mikrofon, mit dem er Befehle entgegennehmen und verarbeiten kann. Ebenso wurden ihm kleine Lautsprecher implementiert, mit deren Hilfe er Laute von sich geben kann. Als Effektoren kann Aibo das Maul, den Kopf, die Beine, die Ohren und den Schwanz bewegen. Auch besitzt der kleine Roboter diverse Kommunikationsschnittstellen wie z.B. eine Wireless LAN (Local Area Network) Schnittstelle, über die die Kommunikation zwischen Besitzer und Maschine stattfinden kann. Im Inneren des künstlichen Hundes befindet sich ein 64 Bit RISC-Prozessor mit 576 MHz, der die Bewegungen und Aktionen berechnet und die Steuerbefehle an die Gliedmassen weitergibt.

Der Roboterhund kann durchaus als Vorstufe zu Humanoiden angesehen werden, da sich die Verantwortlichen bei der Entwicklung der Bewegung und der Navigation mit ähnlich komplexen Problemen wie bei zweibeinigen Robotern konfrontiert sahen. Natürlich erleichterten die Umstände, dass Aibo 4 Beine hat und dass an einen Roboterhund geringere Ansprüche gestellt werden, die Entwicklung ungemein.

¹⁰⁷ Informationen Aibo vgl. www.aibo-europe.com, (Stand 24.09.04)

¹⁰⁸ Abbildung Aibo entnommen von www.sonymstyle.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/en/-/USD/SY_DisplayProductInformation-Start;sid=Y3qLPBWjKdCLSIT3T_6BN1quViC0GjMtfE=?ProductSKU=ERS7%2fW&Dept=AI&CategoryName=aibo_AIBOs_7%2fWSeries, (Stand 24.09.04)

Aibo wiegt rund 1,6 Kilogramm und kostet 2.000 EURO. Bedenkt man die in ihm verarbeitete Highend-Technik erscheint der Preis angemessen, auch wenn der familiäre Nutzen des Roboterhundes fraglich bleibt. Bemerkenswert an der Strategie Sonys ist der Umstand, dass die Firma ihren Roboterhund interessierten Universitäten, die sich mit den Bereichen Robotik und KI beschäftigen, zur Verfügung stellt, um Versuche durchzuführen. Ebenso geben sie die KI-Software als Open Source Software frei, um es ambitionierten Entwicklern auf der ganzen Welt zu ermöglichen, die Intelligenz Aibos zu verbessern.

4.6 Die Robotik zu Beginn des 21. Jahrhunderts

Wie bereits erwähnt „bevölkern“ schon heute rund 1.000.000 Industrieroboter unseren Planeten und helfen mit ihrer Arbeit, unseren Wohlstand aufrecht zu erhalten und zu vermehren. Die Robotik muss dabei als ganzheitliche Disziplin zwischen Mechanik, Elektrotechnik, Wahrnehmungspsychologie, Maschinenbau und natürlich dem Bereich der künstlichen Intelligenz angesehen werden. Das Wort an sich stammt vom schon mehrfach genannten Isaac Asimov, der es erstmals 1941 im Zusammenhang mit seinen drei Gesetzen der Robotik verwendete.

Lt. Thomas Christaller haben Roboter in der momentanen Phase zwei hauptsächliche Aufgaben: Die Transportfunktion und die Handhabungsfunktion.¹⁰⁹ Roboter mit der ersten Funktion werden bereits seit langem eingesetzt, um innerhalb automatisierter Prozessketten Produkte oder Produktelemente von A nach B zu befördern. Roboter mit Handhabungsfunktion besitzen im Regelfall Greifer und Armsegmente und sind für das Zusammensetzen oder Bearbeiten bestimmter Elemente zuständig. Beide Roboterarten werden heute üblicherweise durch digitale Rechner gesteuert und kontrolliert. Haushaltsroboter, wie sie von der Industrie derzeit entwickelt und getestet werden, stellen eine Kombination aus beiden genannten Roboterarten dar. Christaller beschreibt die Vision eines humanoiden Roboters, der das Geschirr abräumt, in die Küche transportiert und zielgerichtet in die Spülmaschine einsortiert. Und auch Moravec beschrieb 1990, dass er bis zur Jahrtausendwende mit einem Roboter rechne, der in der komplexen Umwelt eines Haushalts diverse Aufgaben übernehmen könnte. Für ihn war zu diesem Zeitpunkt sicher, dass der Markt für solche künstlichen Helfer sich enorm ausbreiten würde, sobald eine gewisse universelle Einsetzbarkeit erreicht wäre.¹¹⁰ Ein solcher Roboter, der sehr an zukünftige Versionen des bereits beschriebenen Asimo und seiner Pendants anderer Hersteller erinnert, wäre sicherlich die nächste Stufe der Entwicklung und würde viele von uns an klassische SF-Szenarien erinnern. Auch Asimov stellte sich in einer seiner berühmtesten Geschichten „I, Robot“ vor, Humanoide könnten genau diese Aufgaben für uns übernehmen.

¹⁰⁹ Vgl. Christaller et al, 2003, S. 16 f

¹¹⁰ Vgl. Moravec, 1990, S. 39

Die Geschichte, die Asimov vor ca. 60 Jahren schrieb, wurde 2004 neu verfilmt und avancierte zum Blockbuster. Doch fehlen zu dieser Entwicklung heute noch einige Elemente, deren Entwicklung für die Einführung von Roboter-Assistenten absolut notwendig erscheinen. Moravec nennt als wichtigstes Element die Wahrnehmung.¹¹¹ Er unterscheidet drei Arten von Programmtypen, von denen Roboter gesteuert werden:

- Programme, die rechnen
- Programme, die schlussfolgern
- Programme, die mit der physischen Welt interagieren

Während das Rechnen für Computer heute als Standardaufgabe gilt, so tun sie sich doch bei komplexen Schlussfolgerungen und bei komplexer Interaktion sehr schwer. Die Wahrnehmung spielt deswegen eine entscheidende Rolle, da nur ein Computer, der seine Umgebung menschenähnlich wahrnimmt, auch mit ihr interagieren kann wie ein Mensch. D.h. die Maschine muss mit Sensoren ausgestattet sein, die Temperatur, Druck, Geräusche, visuelle und haptische Elemente der Umwelt aufnehmen und an das Computerhirn weiterleiten, damit sie verarbeitet werden können. Des Weiteren sind Effektoren wie Lautsprecher zum Ausgeben der Sprache, und natürlich möglichst feingliedrige Gliedmaßen von Nöten, um die auf der Umgebung basierenden Schlussfolgerungen umzusetzen. Alles in Allem geht es darum, die gleichen Elemente, die Aibo, der bereits beschriebene Roboterhund von Sony heute bereits beinhaltet, auf die Stufe der menschlichen Komplexität zu bringen. Moravec geht wie viele seiner Kollegen davon aus, dass die millionenfache Rechenleistung eines heute üblichen PCs nötig sein wird, um die menschliche Wahrnehmung simulieren zu können.¹¹² Dies zeigt die unglaubliche Komplexität, die die Evolution bei der Erschaffung des Menschen hervorgebracht hat. Die größten technischen Probleme, die dabei auftreten, werden im folgenden Abschnitt erläutert.

4.6.1 Die technischen Probleme der Robotik

Gehen wir wie schon beschrieben davon aus, dass wir das Ziel verfolgen, Roboter zu entwickeln, die sich eigenständig in ihrer Umgebung bewegen können, ohne dabei Minuten für die Berechnung ihres nächsten Schrittes zu benötigen. Welche Schwierigkeiten müssen hierbei besonders beachtet werden? Als die zwei wichtigsten Punkte in diesem Zusammenhang gelten die möglichst exakte Umgebungsmodellierung durch den Roboter sowie die Lokalisierung seiner eigenen Position in der modellierten Umgebung.¹¹³ Neben den Aufgaben der Navigation spielt die Objekterkennung eine entscheidende Rolle.¹¹⁴ Schließlich muss ein als Haushaltshelfer fungierender Roboter Teller als solche erkennen können, wenn er sie in die Spülmaschine einräumen soll.

¹¹¹ Vgl. Moravec, 1998, S. 40

¹¹² Vgl. Moravec, 1998, 41

¹¹³ Vgl. Christaller et al, 2003, S. 63

¹¹⁴ Vgl. Moravec, 1998, S. 48 ff

Und genau hier liegt das Kernproblem: wie kann der Roboter einen Teller von einer Frisbeescheibe unterscheiden? Es handelt sich hierbei um das bereits angesprochene Problem der Mustererkennung (siehe Kapitel 2).¹¹⁵ Mustererkennung bei einfachen, eindeutigen Problemen funktioniert heute schon recht gut und ist auch in Produkten unseres Alltagslebens bereits integriert. Als Beispiele können an dieser Stelle z.B. die Schriftenerkennung bei Scannern oder PDAs genannt werden. Auch Systeme zur dreidimensionalen Identifikation von menschlichen Gesichtern und Methoden zur Sprachanalyse sind bereits entwickelt und teilweise etabliert. Forscher haben herausgefunden, dass ein Großteil des menschlichen Denkens auf die Mustererkennung von Situationen und Umständen angewendet wird. Der Weg zu autonomen Maschinen führt also zwangsweise über den Weg der besseren Mustererkennung, auch deshalb setzen Wissenschaftler vermehrt auf neuronale Netze (vgl. Kapitel 3.1.1). Hans Moravec beschreibt in seinem Buch „Computer übernehmen die Macht“ mehrere seiner Forschungsreihen, in denen er Robotern beibrachte, Karten ihrer Umgebung anzulegen, ihre Position zu bestimmen und daraus resultierend sich ihren Weg durch ihre Umgebung zu bahnen.¹¹⁶ So stellt er z.B. ein Programm vor, das er 1976 schrieb und welches zur Berechnung von einem Meter, den es zurückzulegen galt rund 10 Minuten benötigte. Der Roboter, dem das Programm implementiert wurde benötigte für die Durchquerung eines 30 Meter langen Raums ca. fünf Stunden und war in drei von vier Versuchen erfolgreich. Je verwinkelter die Räume waren und je weniger Kontrast zwischen einzelnen Objekten herrschte, desto fehleranfälliger war das System. Auch wenn heute Kameras viel lichtempfindlicher und hoch auflösender sind als Mitte der 70er Jahre, und auch wenn die Rechner heute ein Vielfaches der Leistung von damals bringen, so ist die Problematik in ihren Grundzügen doch gleich geblieben. Autonome Roboter müssen sich in ihrer Umgebung zurecht finden und dürfen keine Aussetzer haben, sonst sind sie für ihre zukünftigen Aufgaben nicht gerüstet und werden noch lange auf dem zu Beginn dieses Abschnitts erwähnten Level der einfachen Industrieroboter stehen bleiben. Ein weiteres Problem der Robotik stellt nach wie vor die Energieversorgung der Maschinen dar. Mobile Roboter können nicht ständig an einen geschlossenen Stromkreis angeschlossen sein, sie müssen also mit Akkumulatoren ausgestattet sein. Auf Grund des sich ständig verringernden Gewichts von mobilen Einheiten und der immer besser werdenden Lithium-Ionen-Technologie wurden auch auf diesem Gebiet beachtliche Fortschritte erzielt, jedoch gilt es nach wie vor die Lebensdauer der Akkus sowie die Stromversorgung der Roboter deutlich zu verbessern, damit sie sich für einen dauerhaften Einsatz eignen.

¹¹⁵ Vgl. Kurzweil, 2002, S. 128 ff

¹¹⁶ Vgl. Moravec, 1998, S. 50 ff

4.7 Autonomie als wichtiger Aspekt der Robotik

Immer wieder war in den vorangegangenen Kapiteln von autonomen Robotern und Autonomie an sich die Rede. Wie lässt sich dieser Begriffe jedoch im Zusammenhang mit Robotik definieren? Der Begriff Autonomie stammt vom griechischen Wort „autonomia“ ab und bedeutet soviel wie „sich selbst Gesetze gebend“ oder auch „Selbständigkeit“.¹¹⁷ Christaller definiert in dem für uns relevanten Zusammenhang Autonomie wie folgt:

„Dabei ist Autonomie so zu verstehen, dass das System in Abhängigkeit von sich ständig wandelnden Umweltsituationen nicht nur – losgelöst von menschlichen Kommandos – zielgerichtet arbeitet, sondern dass ein externer Beobachter Verhaltensweisen des Systems erkennen kann, die nicht explizit bei der Konstruktion des Systems vorgegeben wurden.“¹¹⁸

Demnach stellt die Autonomie einen absolut zentralen Punkt bei der Verwirklichung vieler technischer SF-Phantasien dar. Nur Maschinen, die selbständig handeln und ihr Schicksal selber bestimmen können, können dem Menschen als ebenbürtige Partner dienen oder ihn sogar übertrumpfen. Christaller geht in diesem Zusammenhang auch davon aus, dass autonome Maschinen lernen können, in dem sie Daten und neue Verhaltensmuster aus ihren „Erfahrungen“ oder aus der Kommunikation mit anderen Maschinen generieren.¹¹⁹ Durch dieses Lernen werden die Vorgänge innerhalb der autonomen Maschinen für den Menschen unverständlich und zum größten Teil unkalkulierbar. Dieser Umstand hätte im Extremfall zur Folge, dass sich defekte Maschinen selber reparieren und pflegen müssten. Die Roboter hätten in diesem Fall das Stadium des reinen Befehlsempfängers längst verlassen. Nach Dietrich Dörner existieren verschiedene Grade von Autonomie, die im Folgenden mit Hilfe theoretischer Vergleiche dargestellt werden sollen:¹²⁰

1. Wenn ein System vor der Entscheidung für ein bestimmtes Verhalten nicht nur den unmittelbaren Nutzen berücksichtigt, sondern außerdem noch die Neben- und Fernwirkungen, so ist es autonomer als ein System, das nur gemäß des unmittelbaren Nutzens entscheidet, da es mehr Bedingungen für Nutzen und Schaden in Rechnung stellt.
2. Ein planendes System, welches dann, wenn keine zielführenden Verhaltensweisen bekannt sind, überprüft, ob man nicht die bekannten Verhaltensweisen neu kombinieren kann, so dass dabei eine neue zielführende Verhaltensweise entsteht, ist autonomer als ein System, welches in einer solchen Situation einfach nur herumprobiert.

¹¹⁷ Definition Autonomie vgl. Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Autonomie>, (Stand 01.12.04)

¹¹⁸ Christaller et al, 2003, S. 52

¹¹⁹ Vgl. Christaller et al, 2003, S. 19

¹²⁰ Vgl. Dietrich Dörner in Christaller, 2003, S. 112 f

3. Ein System, welches in seine Verhaltensentscheidungen die augenblicklichen Erfolgchancen mit einbezieht und deshalb Gelegenheiten nutzt, andererseits aber auch Handlungen unterbricht, wenn sie im Augenblick nicht Erfolg versprechend fortgeführt werden können, bezieht mehr Bedingungen in seine Handlungsgestaltung ein als ein System, welches nur nach Nutzen oder Schaden entscheidet.

Diese verschiedenen Grade der Autonomie zeigen auch, dass es auf dem Weg zu intelligenten, absolut autonomen Maschine, wie sie in SF-Handlungssträngen gerne dargestellt wird, viele Zwischenstufen und Spielweisen gibt, mit denen wir vorerst Vorlieb nehmen werden müssen.

4.8 Ein besonderer Roboter: Kismet

In diesem Kapitel soll noch ein besonderer Roboter vorgestellt werden.¹²¹ Es handelt sich um „Kismet“, einen vom M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) entwickelten Roboter, der Gesichtszüge, ähnlich denen des Menschen besitzt und der mit den Personen in seinem Umfeld durch Mimik interagiert. Genauer betrachtet handelt es sich bei Kismet nicht um einen kompletten Roboter im üblichen Sinne, sondern vielmehr nur um ein Teilsystem, nämlich den Kopf. Ausgestattet ist Kismet mit Mikrofonen und Kameras, die ihm helfen seine Umgebung wahrzunehmen. Die Geschehnisse in seiner Umgebung werden dann von einer vom M.I.T. programmierten Software interpretiert und erzeugen eine Reaktion in Form von verschiedenen Gesichtsausdrücken bei Kismet. Folgende Zustände kann der Roboter darstellen:

- Ruhe
- Interesse
- Trauer
- Freude
- Zorn
- Überraschung
- Ekel

¹²¹ Kismet vgl. www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html, (Stand 11.09.04)

Die Zustände Zorn, Überraschung, Freude und Ruhe sind in der folgenden Abbildung dargestellt (von links nach rechts):

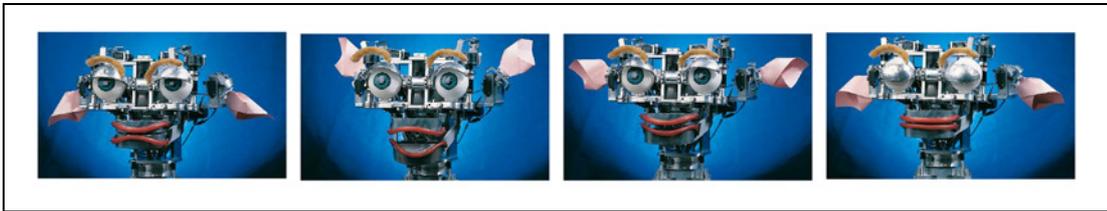


Abbildung 28: verschiedene Gesichtsausdrücke bei Kismet¹²²

Das Besondere an Kismet ist, dass er seine Mimik nicht willkürlich einsetzt, sondern dass er, wie schon erwähnt, auf die Geschehnisse in seiner Umwelt reagiert. Dies geschieht mit Hilfe von durch Motoren gesteuerte Effektoren. Bei Kismet sind dies: Augen, Augenbrauen, Augenlider, Lippen, Kiefer, Hals und Ohren. Je nach Gemütszustand werden diese Effektoren in gewisse Stellungen gebracht und die Gesamtheit des Gesichtsausdrucks erinnert stark an die menschliche Mimik. Ein Beispiel für eine Situation, in der Kismet reagiert, wäre eine Phase langer Ruhe in seiner Umgebung. Der Roboter reagiert mit „Unmut“ und möchte unterhalten werden. Interagiert darauf hin ein Mensch mit ihm, bessert sich die Kismet's Laune und er beginnt zu lächeln. Wird er jedoch zu lange von einem Menschen behelligt, wird er wiederum ärgerlich.

Kismet zeigt den aktuellen Stand auf, wenn es darum geht menschliche Gefühle von einem Roboter darstellen zu lassen. Die Forschungsergebnisse aus diesem M.I.T. Projekt werden sicher früher oder später in die Entwicklung von Humanoiden wie Asimo mit einfließen um dem Traum von autonomen, interagierenden Robotern ein Stück näher zu kommen. Natürlich sind die Möglichkeiten der Interaktion noch immer sehr begrenzt, doch sie stellen einen Anfang dar. Interessant in diesem Zusammenhang ist, dass viele Roboter aus SF-Geschichten keinerlei Mimik aufzeigen. So haben weder die Asimovschen Roboter, noch die Humanoiden der StarWars Saga, noch der ebenfalls genannte Robby eine Mimik, mit der sie ihren Gemütszustand wiedergeben könnten. Den Autoren scheint diese „Gesichtslosigkeit“ als Mittel zu dienen, den maschinellen Charakter ihrer Roboter zu unterstützen. Auch bei einer Betrachtung der genannten Roboter mit komplett menschlicher Hülle (siehe Kapitel 4.3.4) fällt auf, dass diese eine sehr statische Mimik besitzen. Ihre Mimik ist fast immer sehr hart und starr, und lässt so auf den maschinellen Inhalt der menschlichen Hülle schließen.

¹²² Abbildung entnommen aus: Brooks, 2002, S. 33

5 Die Auswirkung klassischer Science-Fiction-Ideen auf die Wissenschaft

Nachdem in den letzten Kapiteln viele Vergleiche zwischen Science und Fiction gezogen wurden, soll in diesem Kapitel noch auf ein konkretes wissenschaftliches Projekt eingegangen werden, das ohne die künstlerische Phantasie von Science Fiction Autoren wohl nie begonnen worden wären. Natürlich sind solche Beispiele schwer zu finden, da kaum ein Firmengründer zugeben dürfte, dass seine Geschäftsidee auf einer Idee aus dem SF-Genre begründet ist, und doch gibt es einige Unternehmer, die aus ihren Einflüssen keinen Hehl machen.

5.1 Die Auswirkungen von Asimov's Roboter-Visionen

In Folge des bereits erwähnten Asimov-Booms entwickelten lt. Isaac Asimov selbst viele junge Wissenschaftler zu Beginn der 50er Jahre einen enormen Ehrgeiz bei der Roboter-Entwicklung.¹²³ Ähnlich dem Einfluss, den H.G. Wells auf die Raketenforscher der 60er Jahre hatte, ließen sich auch viele der jungen Forscher von SF inspirieren. Asimov nennt in seinem Buch „Roboter-Visionen“ Wissenschaftler wie Joseph F. Engelberger, Geroge C. Devol Jr., Marvin Minsky oder auch Shimon Y. Nof, die allesamt sehr erfolgreiche Wissenschaftler wurden und nie einen Hehl aus der Lektüre von Asimov-Geschichten als Inspirationsquelle machten. Marvin Minsky wurde in dieser Arbeit bereits mehrfach als Pionier der KI erwähnt und gilt auf seinem Gebiet als absolute Kapazität. Nof ist seinerseits ein anerkannter Wissenschaftler, der weltweit Vorlesungen zum Thema Robotik hält und bereits mehrere Bücher zum Thema Robotik veröffentlicht hat.

Als konkretes Beispiel sei an dieser Stelle die von Engelberger und Devol gegründete Firma Unimation genannt, die kurz nach ihrer Gründung 1961 viele Robotik-Patente anmeldete und schnell zur größten Firma der Branche wurde.¹²⁴ Nach den Ausführungen des Internet-Portals „Robotics Online“ war das Spezialgebiet der Firma die vorausschauende Konstruktion von hoch entwickelten Industrierobotern, wie dem bereits erwähnten ersten Industrieroboter „Unimate“ (vgl. Kapitel 4.3.3).¹²⁵ Das Unternehmen wurde 1983 an die „Westinghouse Electric Company“, einen der größte Konzerne Amerikas verkauft. Betrachtet man Unimate (siehe Abbildung 29), so kann man nicht gleich an den Einfluss der Asimovschen Roboter glauben.

¹²³ Vgl. Asimov, 1994, S. 20

¹²⁴ Vgl. Asimov, 1994, S. 20

¹²⁵ Vgl. Robotics Online, 2004, www.roboticonline.com/public/articles/archivedetails.cfm?id=1472, (Stand 30.11.04)

Bei einer seiner späteren Firmen, der HelpMate Robotics Inc., versuchte Engelberger verstärkt, Roboter zu entwerfen, die älteren oder behinderten Menschen zur Hand gehen sollten. Damit betrat er das Gebiet der Humanoiden. Im Jahre 2004 erhielt Engelberger, der sich inzwischen aus der Branche zurückgezogen hat, den begehrten „IEEE Robotics and Automation Award“ für sein Lebenswerk. Laut IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), der mit 360.000 Mitgliedern weltweit größten professionellen Technik-Gesellschaft, kann Engelberger als der Vater der realen, wissenschaftlichen Robotik angesehen werden.



Abbildung 29: Unimate, der erste Industrieroboter¹²⁶

¹²⁶ Abbildung Unimate entnommen von www.servosystems.com/unimate_puma562cr.jpg, (Stand 22.11.04)

6 Ethische Ansätze in Bezug auf intelligente Maschinen

Je näher der Zeitpunkt rückt, in dem sich das erste Mal intelligente, künstliche Wesen unter uns mischen um mit uns zu kommunizieren, uns zu helfen und mit uns zu leben, desto heftiger und kontroverser werden auch die ethischen Diskussionen zu diesem Thema. Auch die Szenarien, die teilweise von SF-Autoren und Filmemachern entworfen werden dürften die Menschen für die möglichen Probleme der Zukunft sensibilisieren und diese Diskussionen noch weiter anheizen. Je mehr die real existierenden Humanoiden den teilweise skrupellosen Maschinen in SF-Filmen und Büchern ähneln, desto mehr werden die Menschen ethische Bedenken äußern und moralische Diskussionen führen. Bei den ethischen Diskussionen geht es im Wesentlichen um folgende Fragen:

- Können autonome, intelligente Maschinen menschliches Leben gefährden?
- Wer ist verantwortlich für die Handlungen von Maschinen?
- Welche Verantwortung tragen die Designer von intelligenten Robotern?

Im Folgenden sollen diese drei Fragen untersucht werden. Dabei sollen die zweite und die dritte Frage zu einem Diskussionspunkt zusammengefasst werden. Da der ethische Gesichtspunkt sicherlich Stoff für eine oder mehrere eigene Arbeiten bieten würde, soll das Thema an dieser Stelle nur angerissen werden um seine Bedeutung zu unterstreichen.

6.1 Die Gefährdung des menschlichen Lebens

Die erste Frage hängt eng mit der in Kapitel 3 behandelten Thematik zusammen, bei der es um die Klärung der Frage ging, ob intelligente Maschinen die nächste Stufe der Evolution darstellen könnten. Die Meinung einiger Experten wurde dabei schon erläutert, deshalb möchte ich in diesem Kapitel unter anderem auch meine eigene Meinung äußern.

Sollte es gelingen intelligente, mächtige Maschinen zu kreieren, dann kann angenommen werden, dass von ihnen zwangsläufig auch eine Gefahr ausgeht. Wie in Kapitel 4.7 beschrieben besteht bei zunehmender Autonomie der Maschinen eine für den Menschen wachsende Undurchsichtigkeit, was die Steuerung und die Kontrolle der Maschinen schwieriger macht. Auch die Handlungsmotive von intelligenten Maschinen werden mit wachsender Autonomie schwerer erkennbar. Bei möglichen Horrorszenarien ähnlich denen in SF-Handlungssträngen ist dabei nicht zwangsweise von einer Bösartigkeit der Maschinen auszugehen.

Auch Fehlfunktionen wie sie bei Maschinen immer auftreten können, sind hierbei zu bedenken. Unter Berücksichtigung von Murphys Law (Alles was schief gehen kann, geht einmal schief!) ist durchaus davon auszugehen, dass intelligente Maschinen unvorhergesehen agieren können und somit eine Gefahr für die Menschen darstellen. Die Frage ist: Warum sollten Maschinen von sich aus den inneren Drang verspüren, einem natürlichen oder auch künstlichen Wesen in ihrer Umgebung Schaden zuzufügen?

Neben der Gefahr durch Fehlfunktionen der Maschinen besteht natürlich auch jederzeit die Gefahr, dass Menschen mit niederträchtigen Zielen Roboter oder andere intelligente Maschinen gegen andere Menschen einsetzen, so wie dies heute in gewissem Grad schon bei Militäraktionen Realität ist. Allerdings müssen die heute eingesetzten militärischen Maschinen und Roboter als sehr unselbständig angesehen werden, da ihre Steuerung und Kontrolle noch immer vom Menschen vorgenommen werden muss. Autonome Maschinen müssten nach einer Zielvorgabe Weg und Art der Erreichung ihres Ziels selbständig planen und die nötigen Schritte auch tätigen. Davon sind heutige Roboter im Militäreinsatz noch sehr weit entfernt. Ohne genaue Vorgaben durch den Menschen kann keine Maschine heute eigenständig Kampfhandlungen durchführen, lediglich die Unterstützung der menschlichen Handlungen durch extrem spezialisierte Maschinen ist derzeit in der Realität zu beobachten.

Nun aber zurück zur ursprünglichen Frage, ob die menschliche Spezies den von ihnen geschaffenen künstlichen Wesen zum Opfer fallen kann. Wie schon erwähnt, beantwortet Bill Joy diese Frage mit einem klaren „Ja“. Er vergleicht die aktuellen Entwicklungen der Nanotechnologie und anderer Zukunftstechnologien mit der Entwicklung der Atombombe und merkt hierzu an:

„ We should have learned a lesson from the making of the first atomic bomb and the resulting arms race. We didn't do well then, and the parallels to our current situation are troubling. ”¹²⁷

Des Weiteren fordert Joy gleichzeitig die Wissenschaft auf, sich bei der Entwicklung weiterer Zukunftstechnologien strengen Beschränkungen zu unterwerfen, um die Menschheit nicht unnötigen Gefahren auszusetzen:

„The only realistic alternative I see is relinquishment: to limit development of the technologies that are too dangerous, by limiting our pursuit of certain kinds of knowledge.“¹²⁸

Doch ähnlich wie Oppenheimer nach der Entwicklung der ersten Atombombe, könnten die heutigen Wissenschaftler antworten, dass der wissenschaftliche Nutzen im Vordergrund stehe, und dass man den Fortschritt der Wissenschaft mit allen Konsequenzen vorantreiben müsse.

¹²⁷ Joy, „Why the Future doesn't need us“, 2000, <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>, Stand 02.09.04

¹²⁸ Joy, „Why the Future doesn't need us“, 2000, <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>, Stand 02.09.04

Dieser von Wissenschaftlern oft verwendete Einwand wirft die Frage nach der Verantwortlichkeit für die Konsequenzen aus wissenschaftlichen Entwicklungen, in unserem Fall der Nanotechnologie, der KI und der Robotik auf, um die es im nächsten Abschnitt gehen soll.

6.2 Die Verantwortung für das Handeln von Maschinen

Nach Meinung des Autors kann es auf die Frage nach der Verantwortlichkeit für die Konsequenzen aus wissenschaftlichen Entwicklungen verschiedene Antworten geben. Keine dieser Antworten kann einen alleinigen Anspruch auf Richtigkeit erheben, da sie sich alle auf unterschiedlichen Sichtweisen und Weltanschauungen begründen. Im Einzelnen sind folgende Antworten denkbar, wobei eine religiöse Sichtweise an dieser Stelle ausgeschlossen wird:

- Der Designer eines autonomen Systems ist verantwortlich für dessen Taten.
- Das System selber ist verantwortlich für seine Taten, da es autonom ist und somit sein Handeln selbständig und unabhängig plant.
- Der Besitzer des autonomen Systems, der es mit Zielvorgaben versorgt ist verantwortlich für das Handeln des Systems. Er muss sich über mögliche Gefahren bewusst sein und diese von vornherein ausschließen.
- Regierungen sind verantwortlich, da sie nach Kenntnis möglicher Gefahren die Möglichkeit haben, die Entwicklung zu stoppen oder zumindest bestimmten Bedingungen zu unterwerfen.
- Die Evolution als abstrakter, eigenständiger Prozess ist für die Taten der Maschinen zuständig, da sie die Entwicklung der Technik durch den Menschen begünstigt hat. Der Mensch wäre nach diesem Szenario nur eine Durchgangsstation auf dem Weg zu höheren Lebewesen gewesen.
- Die Gesellschaft ist verantwortlich, da sie nach selbständigeren Maschinen verlangt.

Sicherlich trägt einen Teil der Verantwortung immer der Designer, doch ist ihm im Fall von Dysfunktion mit Sicherheit nicht alleinig ein Vorwurf zu machen. Der Designer ist umgeben von Forderungen der Auftraggeber, den Anforderungen und Wünschen der Gesellschaft, gesetzlichen Vorgaben und schließlich von seinem eigenen Forscherdrang. Viele Entwicklungen, die der Menschheit ein Segen waren, brachten auch viel Leid mit sich. Asimov beruft sich darauf, dass jeder technische Fortschritt immer sowohl eine gute als auch eine schlechte Seite hatte.¹²⁹ Er führt als Beispiele das Feuer an, dass sowohl Wärme und Licht als auch Brände brachte. Waffen können zum eigenen Schutz dienen und ebenso Unheil über die Menschen bringen.

¹²⁹ Vgl. Asimov, 1994, S. 452

Flugzeuge erfüllten den uralten Traum des Menschen vom Fliegen und brachten gleichzeitig im ersten und zweiten Weltkrieg Bomben und Leid¹³⁰. Die Chemie, die der Menschheit Medikamente und Farben geschenkt hatte, wurde missbraucht um Giftgas und andere todbringende Stoffe herzustellen. Alle diese Beispiele spiegeln die positive Sichtweise Asimovs wieder, der sich sicher ist, dass die Menschheit eine Technologie nie auf Grund ihrer möglichen Gefahren aufgeben würde, sondern dass sie diese Gefahren immer versuchen würde, mit Verbesserungen und Zusätzen zu bannen. Übertragen auf die von uns betrachtete Robotik würde dies wiederum auf die drei Asimovschen Gesetze verweisen, die eine autonome Maschine davon abhalten sollten, dem Menschen oder anderen Wesen Unheil zuzufügen.

¹³⁰ Vgl. Asimov, 1994, S. 459

Fazit

In dieser Arbeit wurden klassische technische SF-Ansätze aus dem Bereich der Robotik dargestellt. Dabei ging es nicht darum, möglichst viele Einzelbeispiele zu zeigen, sondern die Gattung der Roboter aus Film und Literatur global zu betrachten und ihre ausgeprägtesten Eigenschaften zusammenzufassen. Als Ergebnis dieser Betrachtung bleibt festzuhalten, dass die Erfinder der jeweiligen Roboter fast immer von einer den Maschinen implementierten Intelligenz ausgehen. Diese Intelligenz hat in den meisten Fällen menschliches Niveau oder liegt sogar deutlich darüber. Mechanische oder technische Einschränkungen der Phantasie-Roboter existieren fast nie, es wird fast immer davon ausgegangen, dass die Roboter alle menschlichen Fähigkeiten besitzen oder gar diese deutlich übertrumpfen.

Parallel zu der Untersuchung von nicht-realen Robotern wurde der Stand der aktuellen Robotik und deren Grundlagen betrachtet. In diesem Zusammenhang wurden vor allem der Bereich der KI und der Computertechnik untersucht, da sie als Schlüsseltechnologien gelten, wenn es darum geht Zukunftstechnologie zu realisieren. Dabei wurde klar, dass es kaum Zweifel daran geben kann, dass sich die Rechenleistung von Computern, die als zentrale Messgröße angesehen werden muss, weiter stetig nach oben orientieren wird. Auch wenn die Grenzen der heutigen Technologie erreicht sind, stehen schon diverse andere Technologien im Hintergrund, die die uns heute bekannten ablösen werden. Weniger Optimismus ist hingegen im Bereich der KI angebracht. Rund 60 Jahre nach den ersten Gehversuchen tut sich die Wissenschaft immer noch schwer, eine künstliche Intelligenz zu schaffen, die über dem Status eines Expertensystems anzusiedeln ist. Das menschliche Denken scheint sehr komplex, und selbst die stärksten Fürsprecher der KI zweifeln heute an einem schnellen Fortschritt. Ein weiterer wichtiger Punkt, der in diesem Zusammenhang genannt werden muss, ist das so genannte Leib-Seele-Problem. Erst wenn ganzheitlich klar ist, wie der Mensch „funktioniert“ und wie sich die Existenz des Geistes beschreiben lässt, kann es die Möglichkeit geben, ihn mit künstlichen Mitteln zu simulieren. Da es hier unterschiedliche Ansätze gibt, und Wissenschaftler und Philosophen noch zu keinem einschlägigen Ergebnis gekommen sind, stellt dieser Punkt eine Art Crux dar, wenn es um die Erschaffung von intelligenten Maschinen mit einem menschlichen Bewusstsein geht.

Als Hardware der Zukunft wurde die Nanotechnologie beschrieben, die mit ihren unendlich scheinenden Möglichkeiten alle technologischen und mechanischen Probleme aus dem Weg räumen könnte. Doch auch hier existieren noch diverse Grundsatzprobleme und die Menschheit muss sich auf dem Weg zu den ersten Nanoprodukten wohl noch einige Zeit gedulden.

Ebenfalls untersucht wurde das wohl klassischste SF-Szenario, in welchem die Menschheit von einer künstlichen Intelligenz bedroht wird. Dieses klassische Bild der intelligenten Maschine, die sich gegen ihre Schöpfer wendet, fasziniert die SF-Fangemeinde zunehmend und wird inzwischen auch von einigen renommierten Wissenschaftlern unserer Zeit als durchaus realistisch angesehen. Doch noch scheint diese Gefahr auf Grund der Probleme in der KI-Wissenschaft relativ klein, und selbst wenn in Zukunft künstliche Intelligenzen existieren sollten, stellt sich die Frage, ob wir als ihre Schöpfer nicht die Möglichkeit besitzen, die von uns geschaffene Technik so zu beherrschen, dass wir ihr Schutzmechanismen implementieren können.

Zum Abschluss der Arbeit wurde noch auf die ethische Diskussion zum Thema eingegangen. Die Frage, ob die Menschheit die technische Entwicklung aus Gründen des Selbstschutzes stoppen sollte wurde aufgeworfen. Auch zu dieser Frage existieren unterschiedliche Ansichten. Ebenso kontrovers kann die Frage nach der Verantwortung für die Taten von künstlichen Intelligenzen und Maschinen diskutiert werden.

Zum Abschluss dieser Arbeit möchte ich noch kurz erwähnen, dass der im Vorwort zu dieser Arbeit zitierte Franzose eine Woche nach seiner Begegnung mit einer sich selbstständigenden Technik als Lügner überführt wurde. Keine seiner Angaben ließ sich nachvollziehen und es stellte sich heraus, dass der Renault in technisch einwandfreiem Zustand war.

Literaturverzeichnis

- Asimov, Isaac (1994):** Robotervisionen, Bastei-Verlag Gustav H. Lübbe, Bergisch Gladbach
- Brooks, Rodney (2002):** Humanoid Robots, aus Communication of the ACM, March 2002/Vol. 45, Nr. 3
- Burnell, Scott R. (2000):** Merged science promises golden age.
<http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=08072002-070804-2331r>, (letzter Zugriff 01.09.04)
- Calvet, Carlos (2001):** Geheimtechnologien, von Nanomaschinen über Quantencomputer, bis zur interstellaren Raumfahrt von Morgen, 1. Auflage, Bohmeier Verlag, Lübeck
- Capurro, Rafael (2001):** Über Künstlichkeit; <http://www.capurro.de/kuenstlich.html>, (letzter Zugriff 12.11.04)
- Christaller, Thomas / Knoll, Alois (2003):** Robotik, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main
- Christaller, Thomas / Wehner, Josef (2003):** Autonome Maschinen, 1. Auflage, Westdeutscher Verlag, Wiesbaden
- Dreyfus, Hubert L. (1989):** Was Computer nicht können: Die Grenzen künstlicher Intelligenz, Athenäum, Frankfurt am Main
- Fritz, Michael / Karnebogen, Giesbert (2004):** Art Dicine : Project No. 1 „Metropolis, Ostfildern
- Heinlein, Robert (1953):** Artikel "Ray Guns and Rocket Ships" aus: Library Journal
- Hofstadter, Douglas R. (1986):** Goedel, Escher, Bach: Ein endlos geflochtenes Band, Dtv, Stuttgart
- Ilfrich, Thomas (2003):** Nano + Mikrotech., Entwicklung der Nano- und Mikrotechnologie, ivcon.net Corp., Berlin
- Iglhaut, Stefan / Spring, Thomas (2003):** Science + Fiction, zwischen Nanowelt und globaler Kultur, Jovis Verlag, Berlin
- Joy, Bill (2000):** Why the Future doesn't need us,
<http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>, (letzter Zugriff 02.09.04)
- Kaczynski, Theodore (1997):** Surviving the Unabomber, Drawing Life. Free Press
- Kurzweil, Ray (2002):** Artikel „Zu Besuch in fremden Köpfen“ aus „Die Zeit“ (31.01.2002)

- Kurzweil, Ray (1999):** Homo S@piens, Leben im 21. Jahrhundert – Was bleibt vom Menschen?, 4. Auflage, Econ Ullstein List Verlag, München
- Kyle, David (1976):** A Pictorial History of Science Fiction, Hamlyn, London
- McCarthy, John (1955):** Definition KI von John McCarthy, http://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz, (letzter Zugriff 12.11.04)
- Minsky, Marvin (1967):** Computation: Finite and Infinite Machines, Prentice Hall
- Moravec, Hans (1999):** Computer übernehmen die Macht, Vom Siegeszug der künstlichen Intelligenz, 1. Auflage, Hoffmann und Campe, Hamburg
- Moravec, Hans (1990):** Mind Children. Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz, Hoffmann und Campe, Hamburg
- Negrotti, Massimo (1999):** The Theory of the Artificial, Intellect Books, Exeter
- o. V. (2002):** Derwent Information/The Thomson Corporation, White Paper: „nanotechnology – size matters. Building a successful nanotechnology company.“, 3i, “Economist Intelligence Unit” und “Institute of Nanotechnology”
- o. V. (2003):** Matrix, whatisthematrix.warnerbros.com, (letzter Zugriff 05.12.04)
- o. V. (2003):** American Honda Motor Co. Inc. Corporate Affairs & Communications, Asimo Technical Information, <http://www.asimo.honda.com>, (letzter Zugriff 12.10.04)
- o. V. (2004):** Kismet, M.I.T., <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>, (letzter Zugriff 11.09.04)
- o. V. (2004):** Qrio, Sony, www.sony.net/SonyInfo/QRIO/top_nf.html, (letzter Zugriff 06.12.04)
- o. V. (2004):** Aibo, Sony, <http://www.aibo-europe.com>, (letzter Zugriff 24.09.04)
- o. V. (2004):** Aibo, Sonystyle, http://www.sonystyle.com/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/en/-/USD/SY_DisplayProductInformation-Start;sid=Y3qLPBWjKdCLSIT3T_6BN1quViC0GjMtlfE=?ProductSKU=ERS7%2fW&Dept=AIBO&CategoryName=aibo_AIBOs_7%2fWSeries, (letzter Zugriff 24.09.04)
- o. V. (2004):** Asimo, Honda, <http://www.honda-robots.com/german/html/asimo/frameset2.html>, (letzter Zugriff 11.12.04)
- o. V. (2004):** HRP-2, Kawada, http://www.kawada.co.jp/global/ams/hrp_2.html, (letzter Zugriff 06.12.04)
- o. V. (2004):** Robot Hall of Fame, Carnegie Mellon Universität, <http://www.robotalloffame.org>, (letzter Zugriff 05.12.04)
- o. V. (2004):** Definition Autonomie vgl. Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Autonomie>, (letzter Zugriff 01.12.04)
- o. V. (2004):** Definition Nanotechnologie, Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie>, (letzter Zugriff 01.11.04)

- o. V. (2004):** StarWars, BriansToys,
http://www.brianstoys.com/acatalog/POTF2_12inDollLoose_R2-C3PO.jpg, (letzter Zugriff 30.11.04)
- o. V. (2004):** Wikipedia, Abbildung Alan Turing,
http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Alan_Turing.jpg, (letzter Zugriff 11.11.04)
- o. V. (2004):** Artikel Roboterhand, Audi Magazin, Ausgabe 03/2004
- o. V. (2004):** Abbildung Nanoröhren, Ecole Polytechnique Montreal,
http://www.phys.polymtl.ca/nanostructures/images_new/nano.gif, (letzter Zugriff 01.11.04)
- o. V. (2004):** Abbildung Top 500 List, Top 500 List, <http://www.top500.org/>, (letzter Zugriff 10.11.04)
- o. V. (2004):** Artikel: Hände weg! Aus, die Maus: Endlich lassen sich Gehirn und Computer direkt miteinander verbinden. Ab jetzt genügen klare Gedanken. Aus: GQ – Gentlemen’s World (Ausgabe September 2004), Condé Nast Verlag, München
- o. V. (o. J.):** Unimation, Robotics Online,
<http://www.roboticonline.com/public/articles/archivedetails.cfm?id=1472>, (letzter Zugriff 30.11.04)
- o. V. (o. J.):** Unimate, Servo Systems,
http://www.servosystems.com/unimate_puma562cr.jpg, (letzter Zugriff 22.11.04)
- o. V. (o. J.):** StarWars, <http://www.starwars.com/databank/droid/c3po/?id=eu>, (letzter Zugriff 11.10.04)
- o. V. (o. J.):** Geoscience, http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=42&rang=11, (letzter Zugriff 15.11.04)
- o. V. (o. J.):** Kurzweil Cyberart,
http://www.kurzweilcyberart.com/aaron/img/aaron_static/aaron02.gif, (letzter Zugriff 02.09.04)
- o. V. (o. J.):** Deep Blue, IBM, <http://www-5.ibm.com/de/ibm/unternehmen/chronik/1990.html>, (letzter Zugriff 15.11.04)
- o. V. (o. J.):** Artificial Intelligence, American Association for Artificial Intelligence,
<http://www.faqs.org/faqs/ai-faq/general/part1/section-3.html>, (letzter Zugriff 11.10.04)
- o. V. (o. J.):** Abbildung Bio Nanobot, Nano Pic of the Day,
<http://www.nanopicoftheday.org/2003Pics/Nanobot%20Blood.htm>, (letzter Zugriff 03.11.04)
- o. V. (o. J.):** Abbildung “The Blob” entnommen von <http://images-eu.amazon.com/images/P/B000260QB0.03.LZZZZZZZ.jpg>, (letzter Zugriff 02.11.04)
- o. V. (o. J.):** Abbildung „Gordon Moore“, Intel,
<http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>, (letzter Zugriff 28.10.04)

o. V. (o. J.): Abbildung „Das Mooresche Gesetz“, Intel,
<http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>, (letzter Zugriff 28.10.04)

Reif, Gerald (o. J.): Einführung in künstliche Intelligenz,
<http://www.iicm.edu/greif/node5.html>, (letzter Zugriff 11.11.04)

Shannon, C.E. (1962): Computers and the World of the Future

Suerbaum, Ulrich / Broich, Ulrich / Borgmeier, Raimund (1981): Science Fiction:
Theorie und Geschichte, Themen und Typen, Form und Weltbild, Reclam, Stuttgart

Tetens, Holm (1994): Geist, Gehirn, Maschine. Philosophische Versuche über ihren
Zusammenhang, Reclam, Stuttgart

Wittgenstein, Ludwig (o. J.): Tractatus logico-philosophicus.
<http://culturitalia.uibk.ac.at/hispanoteca/Lexikon%20der%20Linguistik/g/GEDANKE%20%20%20Pensamiento.htm>, (Letzter Zugriff 01.11.04)

Zimmerli, Walther Ch. / Wolf, Stefan (1994): Künstliche Intelligenz, Philosophische
Probleme, Reclam, Stuttgart

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift