

# MASCHINENMENSCHEN, MENSCHMASCHINEN: SCIENCE-FICTION ODER REALISTISCHE MÖGLICHKEIT?

Tendenzen der Verschmelzung von Mensch und Maschine, die Thema des TA-Projekts »Mensch-Maschine-Entgrenzung« sind, werden aktuell hauptsächlich durch zwei hochdynamische Technologiefelder angetrieben. Dazu gehört auf der einen Seite das weite Feld der Neurotechnologien, das die direkte Kopplung des menschlichen Gehirns resp. Nervensystems mit maschinellen Systemen unterschiedlicher Art – gegenwärtig vorwiegend noch zu therapeutischen und diagnostischen Zwecke – zum Ziel hat. Auf der anderen Seite arbeitet die Forschung zur künstlichen Intelligenz (KI) und zur Robotik an der Entwicklung von Maschinen, die möglichst autonom – d. h. quasi intelligent und folglich menschenähnlich – agieren. Beide Felder werden massiv gefördert und wecken weitreichende Zukunftserwartungen sowohl negativer als auch positiver Art.

Bei den Neurotechnologien und der Robotik handelt es sich derzeit noch um zwei voneinander weitgehend getrennte Forschungs- und Entwicklungsbereiche. Aber es tauchen erste zukunfts-trächtige Anwendungen am Horizont auf, bspw. in Form »intelligenter« Prothesen, aktiver Implantate oder von Exoskeletten, die in näherer Zukunft eine zunehmende Konvergenz dieser unterschiedlichen Technologiefelder erwarten lassen. Das visionäre Potenzial dieser Entwicklung steht außer Frage. Denn mit dem Gehirn wird nicht mehr nur der menschliche Körper, sondern im Prinzip das menschliche Selbst dem technischen Gestaltungs- und Optimierungswillen unterworfen. In Kombination mit der rasant wachsenden Rechenkapazität von Computern sowie der zunehmenden Miniaturisierung relevanter elektrotechnischer Komponenten werden so Visionen laut, welche im Kern die weitgehende Entgrenzung von Mensch und Maschine prognostizieren. In ihrer extremen Form prophezeien diese Zukunftsbilder, wie sie zum Beispiel von Ray Kurzweil und anderen Transhumanisten seit Längerem entworfen werden, den Anbruch eines neuen posthumanistischen Zeitalters, in dem die menschliche Natur durch die gänzliche Verschmelzung von Mensch (sprich: Gehirn) und superintelligenten Maschinen technisch überwunden resp. völlig neu definiert wird. Derartige »Enhancementvisionen« bilden wesentliche Referenzpunkte der gesellschaftlichen, aber auch der ethi-

schen Debatte rund um Entwicklungen im Bereich der Neurotechnologien, der Robotik und der KI.

Dass diese weitreichenden Zukunftsvorstellungen, die gleichermaßen Ängste und Hoffnungen wecken, nicht bloß aus der Luft gegriffen sind, zeigt etwa das Beispiel der sogenannten »Robo-Rats« – dabei handelt es sich um Ratten, die mithilfe von Hirnimplantaten über Funksignale ferngesteuert werden können. Beim Menschen befindet sich eine wachsende Zahl von Neuroprothesen bereits im klinischen Einsatz und ermöglicht zumindest in Ansätzen, was vor nicht allzu langer Zeit noch völlig unmöglich schien, nämlich Blinde wieder sehen, Gehörlose wieder hören zu lassen. Dennoch stellt sich die Frage, inwiefern die zuvor skizzierten Zukunftsbeschreibungen durch den derzeitigen Stand von Forschung und Entwicklung gedeckt sind, also technisch Erwartbares reflektieren. Um diesbezüglich zu einer ersten Einschätzung zu kommen, wird auf Basis erster Ergebnisse des TA-Projekts »Mensch-

Maschine-Entgrenzung« im Folgenden versucht, eine grobe Standortbestimmung der relevanten Entgrenzungstechnologien und ihrer Zukunftsperspektiven vorzunehmen.

## TECHNOLOGIEN DER MENSCH-MASCHINE-ENTGRENZUNG: WAS IST STAND DER DINGE?

Bei den Neurotechnologien und der Robotik handelt sich nicht nur um äußerst dynamische, sondern auch um sehr verzweigte Forschungs- und Entwicklungsfelder, die zu komplex sind, um hier in ihrer Gesamtheit beschrieben werden zu können. Stattdessen wird ein Einblick in den Stand von Forschung und Entwicklung am Beispiel einzelner relevanter Anwendungsmöglichkeiten gegeben.

### NEUROTECHNOLOGIEN

Die Reiz- und Signalverarbeitung im menschlichen Nervensystem erfolgt primär in Form elektrischer Erregung, die mithilfe geeigneter Verfahren messbar ist. Neurotechnologien machen sich dieses neurophysiologische Prinzip zunutze, um elektronische Apparate mit dem menschlichen Nervensystem zu koppeln, wobei elektrische Signale im Falle stimulierender Schnittstellen vom Apparat zum Nervensystem, im Falle ableitender Schnittstellen vom Nervensystem zum Apparat übertragen werden. Dabei ist wiederum grundsätzlich zwischen invasiven und nichtinvasiven Verfahren

TAB. KATEGORISIERUNG VON MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLEN NACH INVASIVITÄT UND SIGNALRICHTUNG

	nichtinvasiv	invasiv
<b>ableitend (aus dem Hirn)</b>	Brain-Computer-Interfaces (z. B. Steuerung eines Computers mittels EEG)	Brain-Machine-Interfaces (z. B. Steuerung eines Roboterarms mittels implantierbarer Elektroarrays)
<b>stimulierend (in das Hirn)</b>	transkranielle Magnetstimulation, Elektrostimulation	tiefe Hirnstimulation; periphere Stimulation (Cochleaimplantat etc.), Rückenmarkstimulation

zu unterscheiden, je nachdem, ob sich die Schnittstelle im Inneren des Körpers befindet, was einen operativen Eingriff erforderlich macht, oder auf der Körperoberfläche, was zwar in der Anwendung unkomplizierter ist, dafür jedoch eine schlechtere Signalqualität zur Folge hat. Durch diese verschiedenen Typen an neuroelektrischen Schnittstellen ergibt sich eine große Bandbreite an möglichen Anwendungen, hauptsächlich im klinischen Bereich, die sich in unterschiedlichen Phasen der Entwicklung resp. Anwendungsreife befinden.

Stimulierende Systeme gehören zu den am längsten etablierten klinischen Anwendungen im Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dass die elektrischen Stromschläge eines Zitterrochen zu medizinischen Zwecken nutzbar sind, war offenbar bereits in der Antike bekannt. Invasive Anwendungen – etwa das Cochlea-Implantat zur Stimulation des Hörnervs oder die tiefe Hirnstimulation zur symptomatischen Therapie neuromotorischer Erkrankungen wie Parkinson – gehören heute zum Standardrepertoire der Medizin und befinden sich bereits seit vielen Jahren im klinischen Einsatz. Der Vorteil von invasiv stimulierenden Schnittstellen, die neben den bereits erwähnten noch viele andere therapeutische Anwendungen haben (z. B. als Rückenmark-, Muskel-, Blasen- oder Enddarmstimulatoren), liegt darin, dass im Unterschied zu nichtinvasiven Stimulationsverfahren, wie der transkraniellen Magnet- oder Elektrostimulation, spezifisch einzelne Muskeln, Nerven oder Hirnbereiche gereizt werden können.

Zur Erfolgsgeschichte dieser Anwendungen hat wesentlich beigetragen, dass dabei in der Regel nur minimalinvasiv vorgegangen werden muss. Bei der tiefen Hirnstimulation, die neben Parkinson inzwischen u. a. auch bei schweren Fällen von Zwangsstörungen

und Depressionen zum Einsatz kommt, werden dem Patienten winzige Elektroden tief in das Gehirn implantiert und dort verankert, der Stromimpuls erfolgt über einen Impulsgeber, der unterhalb des Schlüsselbeins unter die Haut eingepflanzt wird. Sensorische Prothesen, wie das Cochlea-Implantat oder das in Entwicklung befindliche Retina-Implantat (zur Wiederherstellung des Sehens), setzen hingegen an peripheren Sinnesnerven an, um durch Reizung derselben die verlorengangene Sinnesfähigkeit zumindest rudimentär wiederherzustellen.

Aufgrund der erforderlichen operativen Eingriffe sind diese Systeme nicht ganz risikolos, ihr Einsatz erscheint derzeit deshalb nur bei schweren Erkrankungsfällen medizinisch gerechtfertigt. Dies gilt insbesondere für die tiefe Hirnstimulation, bei der schwere Persönlichkeitsveränderungen beobachtet wurden. Ein besonders eindrückliches Beispiel ist der Fall des an schwerem Parkinson leidenden Soziologen Helmut Dubiel. In seinem Buch »Tief im Gehirn« (2006) beschreibt er, wie erheblich sich der bei ihm implantierte »Hirnschrittmacher« auf sein Bewusstsein und seine Psyche ausgewirkt hat: So leidet er bei eingeschaltetem Schrittmacher unter einem stark eingeschränkten Sprachvermögen, während er bei ausgeschaltetem Schrittmacher mit den Krankheitssymptomen, nämlich depressiven Zuständen und einem aufkommenden Tremor, zu kämpfen hat. Das Erstaunliche an seiner Schilderung ist, wie es ihm offenbar gelingt, alleine durch Ein- und Ausschalten des Schrittmachers zwischen diesen Bewusstseinszuständen hin- und herzuwechseln.

Im Unterschied zu den soeben geschilderten stimulierenden Verfahren sind ableitende Mensch-Maschine-Schnittstellen noch nicht wirklich im klinischen Alltag angekommen. Dies hängt hauptsächlich damit zusammen, dass

zum primären Ziel dieser Ableitungsanwendungen gehört, mittels neuraler Signale komplexe Apparaturen zu steuern, was in der Regel nur mit komplizierteren Analyseverfahren und aufwendigerer Technik gelingt. In der Fachliteratur werden Anwendungen der ableitenden Art, die invasive Schnittstellen beinhalten, üblicherweise als Brain-Machine-Interfaces (BMI) bezeichnet, solche mit nichtinvasiven Schnittstellen als Brain-Computer-Interfaces (BCI). Diese begriffliche Unterscheidung ist darauf zurückzuführen, dass die ersten ableitenden Mensch-Maschine-Schnittstellen, etwa das wegweisende »Thought Translation Device« der Tübinger Gruppe um den Psychologen Nils Birbaumer, als nichtinvasive Kommunikationshilfen für vollkommen gelähmte, sogenannte Locked-in-Patienten entworfen worden waren. Dabei lernen die Patienten, ihre mittels Elektroenzephalografie (EEG) aufgezeichnete Hirnaktivität durch Neurofeedback gezielt zu beeinflussen und damit einfache Computerfunktionen zu steuern (z. B. Drücken einer Buchstabetaste).

Aufgrund dieser Verbindung zwischen EEG-Ableitungen und einem Computer erscheint der Begriff Brain-Computer-Interface technisch durchaus zutreffend – wenngleich bei der wahrscheinlich zukunftssträchigsten BCI-Anwendung, nämlich der gezielten Muskelreinnervation (»targeted muscle reinnervation« [TMR]), die EEG-Ableitung nicht am Gehirn, sondern am Muskel vorgenommen wird. Das TMR-Verfahren ermöglicht es armamputierten Patienten, eine Armprothese intuitiv, d. h. alleine durch gedankliches Armbewegen zu steuern. Möglich wird dies, indem die verbliebenen Armnerven in den Brustmuskel umgeleitet werden, wo die motorischen Steuersignale der Armnerven verstärkt und mittels Elektrodenableitung zur Prothesensteuerung genutzt werden. Zu erwarten ist,

dass sich dieses Verfahren in den nächsten 10 Jahren zum Goldstandard bei Armamputationen entwickeln wird.

Die Nichtinvasivität ist zugleich der größte Segen und der größte Fluch des Brain-Computer-Interfacing. Denn während Oberflächenpotentiale von der Kopfhaut einerseits unproblematisch und risikolos abgeleitet werden können, sind die gewonnenen Signale oft nur sehr unscharf und mithin schlecht nutzbar. Die Methode des nichtinvasiven Brain-Computer-Interfacing stellt damit immense Herausforderungen an die Signalverarbeitung und ist im Moment weitgehend auf hochspezialisierte Labore beschränkt. Eine grundlegendere Problematik ist zudem darin zu sehen, dass die bislang zur Verfügung stehenden BCI-Anwendungen nur binäre Signale verarbeiten können – zum Beispiel: Werden bestimmte ereigniskorrelierte EEG-Potentiale gemessen oder nicht? – und damit nicht in der Lage sind, Kontrollsignale für kontinuierliche Parameter wie Geschwindigkeit oder Kraftausübung zu erzeugen.

Ganz anders sieht dies bei den invasiven Brain-Machine-Interfaces aus. Im Unterschied zu den räumlich schlecht aufgelösten und oft verzerrten EEG-Ableitungen lassen sich mittels implantierter Mikroelektroden prinzipiell sehr spezifische Daten aus dem Gehirn gewinnen. Aus diesem Grund können mittels BMI-Anwendungen auch komplexere Gerätschaften wie etwa robotische Gliedmaßen kontrolliert werden weshalb die Steuerung von Computern zu Kommunikationszwecken in diesem Bereich eine eher untergeordnete Rolle spielt. Allerdings sind Prothesen, die direkt mit dem Gehirn verkabelt sind, noch nicht aus dem Stadium der Grundlagenforschung herausgekommen und wurden bislang nur im Tierversuch sowie in Einzelfällen beim Menschen realisiert. Einer verbreiteten Anwendung steht derzeit vor allem die noch sehr eingeschränkte Langzeitstabilität der implantierten Mikroelektroden im Weg, die aufgrund der Fremdkörperreaktion des Gehirns (Einkapselung) in der Regel nach wenigen Wochen ihre Funktionalität verlieren.

Die großen Erwartungen der letzten Dekade, wofür die massive Förderung durch die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums symptomatisch steht (Revolutionizing Prosthetics- und Reliable-Neural-Interface-Technology-Förderprogramme), scheint in den letzten Jahren einer gewissen Ernüchterung gewichen zu sein. Dennoch sind für die nähere Zukunft große Fortschritte zu erwarten, sofern es gelingt, die Datentransferrate der Hirnableitung weiter zu steigern und vor allem langzeitstabile, minimal traumatisierende Implantate zu entwickeln.

Beide Richtungen der Interaktion mit dem Nervensystem – Datengewinnung aus dem Hirn und Stimulation des Hirns – haben in jüngster Zeit eine neue Dimension durch Integration und Schließen des Regelkreises erreicht: In Einzelfällen konnte gezeigt werden, dass Hirnschrittmacher zur symptomatischen Therapie des Morbus Parkinson effektiver und schonender eingesetzt werden können, wenn die Tiefenhirnstimulation nicht kontinuierlich erfolgt, sondern je nach Bedarf, indem das System kritische Hirnzustände selbstständig erkennt und entsprechend reagiert.

Im Falle der Handprothesensteuerung mittels einer invasiven Nervenschnittstelle gelang es kürzlich, nicht nur Steuersignale aus dem Nervenstumpf zu extrahieren, sondern Drucksignale aus der Prothese in den Nerv zurückzusenden. Mit dieser Integration von Sensorik und Aktorik taucht eine ganz neue Klasse neurotechnologischer Systeme am Horizont auf, die sogenannten Elektrozeutika (aktive Implantate), die über einen verstärkten Autonomisierungsgrad verfügen. Wenn es gelingt, intelligente Schnittstellen zu entwickeln, die Hirnsignale selbstständig interpretieren und in Aktivität umsetzen, würde damit eine neue Dimension der Tech-

ABB. 1

BEISPIEL EINER MODERNEN ARMPROTHESE



Quelle: U.S. Navy photo



nisierung des Menschen erreicht. Bis derartige Systeme klinisch nutzbar sein werden, dürfte es noch ein weiter Weg sein, der insbesondere auch eine verstärkte Konvergenz zwischen den Feldern Robotik/KI und Neurotechnologien voraussetzt.

### AUTONOME ROBOTER

Als Roboter werden gemeinhin Maschinen bezeichnet, die über einen gewissen Grad an Autonomie verfügen und Tätigkeiten vollführen, die ursprünglich dem Menschen vorbehalten waren. Roboter stehen folglich synonym für die zunehmende Automatisierung der Gesellschaft, die im industriellen Bereich mit dem Aufkommen der ersten Industrieroboter etwa 1970 eingesetzt hat. Dabei handelt es sich in der Regel um Maschinen, die aus Sicherheitsgründen strikt vom Menschen getrennt werden und weitgehend repetitive Tätigkeiten in hochgradig strukturierten Umgebungen zu vollbringen haben. In den letzten 10 Jahren haben

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Robotik jedoch deutliche Fortschritte gemacht, sodass eine neue Generation von Robotern in Erscheinung tritt, die sogenannten autonomen Roboter, die zunehmend auch in andere gesellschaftliche Bereiche vordringen. So tauchen einfachere Spielzeug- und Serviceroboter bereits heute verbreitet in Haushalten auf, komplexere Robotersysteme für Pflegeaufgaben oder den Katastropheneinsatz befinden sich in Entwicklung, wohingegen der intelligente soziale Roboter oder miniaturisierte Nanoroboter noch reine Zukunftsmusik sind. Da seine anvisierten Aufgabenbereiche einen höheren Grad an Autonomie erforderlich machen sowie eine verstärkte Interaktion mit Menschen, ist dieser neue autonome Robotertyp in der Regel deutlich leichter als klassische Industrieroboter und darüber hinaus mit wesentlich mehr Sensorik ausgestattet (Abb. 2). Er sollte zudem fähig sein, komplexe Aufgaben selbstständig durchzuführen – was sich nur erreichen lässt, wenn zu-

mindest ein gewisses Maß an Wahrnehmungs-, Planungs- und Lernfähigkeit realisiert ist.

Angesichts des demografischen Wandels, der die meisten westlichen Staaten erfasst hat, ist eine verbreitete Hoffnung für die Zukunft, dass autonome technische Helfer die dadurch zu erwartenden Produktivitätsverluste ausgleichen können. Das erwartete Marktpotenzial für autonome Roboter ist demnach enorm, und es erstaunt deshalb nicht, dass sowohl private als auch öffentliche Akteure – zu nennen sind insbesondere die DARPA und die großen IT-Konzerne Google, Apple und Amazon – bereit sind, viel Geld zu investieren. Auch wenn offensichtlich ist, dass Robotik und autonome Systeme in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erlebt haben, ist gleichwohl zu konstatieren, dass die bisherigen Erfolge im Bereich der autonomen Robotik noch nicht zur Euphorie oder überzogenen Erwartungen Anlass geben. Beispielhaft dafür steht die Reaktorkatastrophe von Fukushima, bei der kein einziger Roboter zur Verfügung stand, der sinnvoll Hilfe hätte leisten können – und das in Japan, dem wohl führenden Roboterland.

Was im zweidimensionalen Raum und in strukturierten Umgebungen schon recht gut funktioniert, wie sich am Entwicklungsstand autonomer Fahrsysteme erkennen lässt, stellt im dreidimensionalen Raum und in unstrukturierten, unbekanntem Umgebungen, dem hauptsächlichen Anwendungsfeld autonomer Roboter, noch eine riesige Herausforderung dar: nämlich die Realisierung von Wahrnehmungs-, Planungs- sowie Steuerungsfähigkeiten in Echtzeit, was nur durch die Integration einer Vielzahl von Komponenten in einem perfekt aufeinander abgestimmten Gesamtsystem zu erreichen ist. Zu diesen Komponenten gehören hardwareseitig u. a. verschiedene Steuercomputer, Aktoren und Sensoren,

ABB. 2

DER HUMANOIDE ROBOTER KOTARO



Quelle: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ars\\_Electronica\\_2008\\_Kotaro.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ars_Electronica_2008_Kotaro.jpg)

softwareseitig geeignete Algorithmen zur Verhaltensplanung und zur Realisierung von Lernverhalten. Die relevanten Wissensgrundlagen für die Herstellung autonomer Roboter sind folglich über unterschiedlichste Disziplinen verstreut und stammen aus der Mechatronik, der Regelungstechnik, der künstlichen Intelligenz und dem maschinellen Lernen (um nur die wichtigsten Disziplinen zu nennen).

Der Prototyp des autonomen Roboters ist sicherlich der humanoide Roboter, der nicht nur in seinem Aussehen, sondern vor allem auch in seiner Intelligenz dem Menschen gleichkommt. Maschinenmenschen sind seit Jahrzehnten ein immer wiederkehrender Topos in Literatur und Film, wobei vor allem die Vorstellung große Faszination auszuüben scheint, dass technische Systeme dieser Art eines Tages über kognitive Fähigkeiten verfügen könnten, die diejenigen des Menschen egalisieren oder gar noch übertreffen. Die Enthronung des Menschen als mit Abstand intelligenteste Schöpfung auf Erden ist eine explizite Zielsetzung der starken KI-Forschung, deren Hochzeit in den 1970er und 1980er Jahren lag.

Obwohl immer wieder Warnungen vor allzu intelligenten Robotern zu hören sind, die sich der menschlichen Kontrolle entziehen könnten – gerade kürzlich wieder von so respektablen Persönlichkeiten wie Bill Gates oder Stephen Hawking –, ist festzuhalten, dass innerhalb der Robotikszene das Interesse an der klassischen KI in den letzten Jahren stark abgeflaut zu sein scheint. Dies hat nicht zuletzt mit der ernüchternden Erkenntnis zu tun, dass die analytisch vorgehende KI-Forschung bei der Realisierung autonomen Verhaltens (Wahrnehmung, Bewegung, Lernen) auf große Probleme gestoßen ist. Derzeit scheint man deshalb stärker auf empirische, datengetriebene Ansätze zu setzen, die dem maschinellen Lernen zuzuordnen sind – nicht mehr der von

vornherein intelligente (was immer das auch heißen mag), sondern der lernende, d. h. sich autonom verbessernde Roboter steht dabei im Fokus. In den letzten Jahren wurden hier mithilfe von Deep-Learning-Verfahren, die sich künstliche neuronale Netze und die stetig wachsende Rechenleistung von Computern zunutze machen, deutliche Erfolge erzielt.

Trotz vieler Fortschritte zeigt ein nüchterner Blick auf den Stand von Forschung und Entwicklung, dass die vorliegenden Prototypen autonomer Roboter – etwa der iCub-Roboter oder der am KIT entwickelte ARMAR-Roboter – von tatsächlicher Autonomie noch weit entfernt sind. Zwar sind gewisse autonome Teilverhalten realisierbar, etwa das Balancieren und Gehen auf zwei Beinen im ebenen Gelände oder das Greifen von Gegenständen. Komplexeres Verhalten jedoch, etwa eine Manipulationsaufgabe, bei der sowohl Arme als auch Beine gleichzeitig im Einsatz sind, wie z. B. beim Aufheben eines Objekts vom Boden, erfordert noch viel manuelle Programmierung oder die Unterstützung durch den Menschen. Dies hat damit zu tun, dass ein humanoider autonomer Roboter in der Regel über 7 Freiheitsgrade pro Arm und Bein, und darüber hinaus über 10 bis 20 zusätzliche Freiheitsgrade für Körper, Finger und Kopf verfügt. Daraus ergeben sich hochdimensionale Planungs- und Optimierungsprobleme, zu deren Lösung die herkömmlichen Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz nicht ausgelegt sind und die eine Rechenkapazität erfordern, welche die verfügbaren Computer immer noch an ihre Grenzen stoßen lässt. Hinzu kommt die mangelnde Robustheit von Wahrnehmung, Robotersteuerung und Algorithmen, sodass kleine Änderungen in der Umwelt oder der Kalibrierung des Roboters zu komplettem Fehlverhalten führen können.

Um diese Probleme zu überwinden, sind noch viele grundlegende For-

schungsfragen zu lösen, darunter die Verbesserung der 3-D-Wahrnehmung (Mustererkennung, Merkmalsextraktion), der Verhaltensplanung sowie von Methoden des autonomen maschinellen Lernens. Eine wesentliche Hürde hierbei ist auch die fast fehlende Standardisierung von Hardware-, vor allem aber Softwaresystemen, sodass nahezu jedes Forschungslabor Insellösungen entwickelt, die oft nur auf einen einzigen Roboter und einige spezialisierte Anwendungen zugeschnitten sind. Mit einem technologischen Durchbruch, der Voraussetzung für eine Durchdringung der Gesellschaft mit komplexeren autonomen Robotersystemen wäre (z. B. in Form des persönlichen Assistenten), ist folglich auf absehbare Zeit nicht zu rechnen – umso mehr, als die derzeit kommerziell verfügbaren Systeme noch sehr teuer sind (der populäre Kuka-Lightweight-Roboterarm kostet bspw. um die 100.000 Euro).

## AUSBLICK

Wie sich zeigt, sind sowohl die Technisierung des Menschen (durch die direkte Kopplung elektronischer Geräte an das Gehirn resp. Nervensystem) als auch die Autonomisierung von Maschinen (in Form autonomer Roboter) Gegenstände intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Die fortschreitende Entgrenzung von Menschen und Maschinen im Zuge dieser Forschungen und der weiteren technologischen Entwicklung scheint auf längere Sicht ein weitgehend unaufhaltbarer Prozess zu sein – in dem Sinne, dass Technik dabei ihren passiven, instrumentellen Charakter zunehmend verliert und tief in das individuelle wie auch das gesellschaftliche Selbstbewusstsein einzugreifen beginnt. Dass dadurch vielfältige Fragen nach dem wünschbaren Grad an Automatisierung und Autonomisierung, nach dem erforderlichen Maß an Sicherheit und Privatheit aufgeworfen werden, dürfte auf der Hand liegen.

Entgegen vieler futuristischer Visionen, welche die Debatten um die Entgrenzungstechnologien weitgehend dominieren, muss allerdings gleichzeitig konstatiert werden, dass nach derzeitigem Stand der Technik viele der damit verknüpften Zukunftserwartungen rein spekulativ erscheinen und von den wirklich drängenden gesellschaftlichen Fragen ablenken. Zwar schaffen die bestehenden Neurotechnologien im Prinzip bereits jetzt die Option, die menschliche Sinnesfähigkeiten über das natürlich gegebene Maß hinaus zu erweitern – man denke etwa an den farbenblinden Künstler und selbsternannten Cyborg Neil Harbisson, der mittels eines elektronischen Auges und eines implantierten Hirnchips Farben hören kann. Inwiefern derartige technische Sinneserweiterungen eine Optimierung der menschlichen Natur darstellen, d. h. einen allgemeinen Nutzen haben, ist allerdings fraglich, vor allem vor dem Hintergrund der damit verbundenen gesundheitlichen Risiken, die derzeit noch keine breitere gesellschaftliche Anwendung bei Nichtkranken rechtfertigen und auch in näherer Zukunft nicht erwarten lassen.

Was die Robotik anbelangt, so scheint die Gefahr einer Machtübernahme künstlicher Intelligenzen derzeit ver-

nachlässigbar zu sein gegenüber den großen gesellschaftlichen Herausforderungen, welche die umfassende Digitalisierung und Automatisierung vieler Lebensbereiche bereits jetzt mit sich bringt. Dabei scheint weniger die Intelligenz der Maschinen das Problem als die Tatsache, dass verhältnismäßig »dumme« Algorithmen zur Basis neuer digitaler Geschäftsmodelle werden und zunehmend unseren Alltag bestimmen.

Alles in allem ist also in absehbarer Zeit weder mit der technischen Optimierung der »Natur« des Menschen (in einem größeren, d. h. gesellschaftlich relevanten Maßstab) noch mit einer »Intelligenzexplosion« bei Maschinen zu rechnen. Die zuvor umrissene Entgrenzungsdynamik vollzieht sich aktuell vielmehr auf einer subtileren Ebene, beispielsweise, indem fundamentale anthropologische Kategorien – wie Verantwortungsfähigkeit, Selbstbestimmtheit, Identität –, welche die Grundlage unserer jetzigen moralischen und rechtlichen Ordnung bilden, durch die beschriebenen Technisierungsprozesse ins Wanken geraten. Dabei scheinen gesellschaftliche Erwartungen hinsichtlich Autonomie und Kontrolle in einem eigentümlichen Spannungsverhältnis zu stehen: Auf der einen Seite ist die zunehmende Autonomisierung von Ma-

schinen in vielen gesellschaftlichen Bereichen erwünscht und wird angestrebt (z. B. aus ökonomischen oder medizinischen Gründen), gleichzeitig resultiert daraus auf der anderen Seite ein unausweichlicher Kontrollverlust, der grundlegende Bedürfnisse nach Sicherheit und Privatheit verletzt und die Frage nach dem angemessenen Grad an Autonomie bzw. der angemessenen Gestaltung der Systeme aufwirft.

Eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den gesellschaftlichen Konsequenzen, aber auch Rahmenbedingungen dieser Entwicklung, wie sie in der jetzt anlaufenden zweiten Projektphase des TA-Projekts zu Mensch-Maschine-Entgrenzungen angestrebt wird, scheint vor diesem Hintergrund dringend erforderlich, basierend auf einer genaueren Beschreibung der Technologien und ihrer tatsächlichen Leistungsfähigkeit einerseits, aber auch von gesellschaftlichen Erwartungen andererseits.

### *Mensch-Maschine-Entgrenzungen*

Oktober 2014 – März 2016

Kontakt:

Dr. Christoph Kehl

+49 30 28491-106

kehl@tab-beim-bundestag.de