

Aufsatzsammlung zum Thema

# Kybernetik

Autoren: André Adam <[adam@fh-brandenburg.de](mailto:adam@fh-brandenburg.de)>  
Martin Krüger <[kruegmar@fh-brandenburg.de](mailto:kruegmar@fh-brandenburg.de)>  
Jan Tobias Mühlberg <[muehlber@fh-brandenburg.de](mailto:muehlber@fh-brandenburg.de)>  
Alexander Schulte <[schulte@fh-brandenburg.de](mailto:schulte@fh-brandenburg.de)>  
Hannes Seidel <[seidelh@fh-brandenburg.de](mailto:seidelh@fh-brandenburg.de)>

## Vorwort

Wie alt sind sie? Wieviele Jahre haben sie schon bewußt miterlebt? Wieviele technische Neuerungen sind in dieser Zeit entstanden und wurden wiederum durch neuere Neuerungen ersetzt? Welche Auswirkungen hatten all diese Erfindungen auf sie? In wieweit verändert sich ein Mensch unter dem Druck, sich ständig mit neuen Technologien vertraut zu machen und diese anwenden zu müssen? Beeinflußt das vielleicht sogar die Struktur unserer Gesellschaft? Wenn ja, in welche Richtung werden wir uns bewegen?

Vieles, was vor kurzem noch wie ferne Zukunftsmusik klang, ist bereits heute greifbar. Menschen mit schweren Krankheiten können geheilt werden, abgetrennte Gliedmaßen werden durch leistungsstarke Prothesen ersetzt, selbst künstliche Sinneszellen können bereits hergestellt und implantiert werden. Die Fortschritte in Kybernetik bzw. Bionik waren in den vergangenen Jahren gewaltig. Und ebenso gewaltig waren häufig auch die Proteste dagegen. Doch warum wird eigentlich gegen augenscheinlich so phantastische Dinge, die vielleicht vielen Kranken und Behinderten helfen könnten, protestiert? Haben all die tollen Errungenschaften vielleicht eine Kehrseite?

Der 11. September hat die Regierungen der Welt wachgerüttelt. Weltweit wird nach mehr Sicherheit geschrien. Und leichtfertig wird so Manches kommentarlos hingenommen, was nur einen Tage vor dem 11.09.2001 noch Demonstrationen, momöglich sogar Aufstände ausgelöst hätte. Keiner denkt mehr daran, daß ein kleines Mehr an Sicherheit oft teuer bezahlt werden muß, kaum einer protestiert und kaum einer demonstriert. Vielleicht wird irgendwann der Tag kommen, an dem wir alle „mit dem Balkencode am Schniedel, und 'ner Prüzfiffer am Kinn“ (nach Reinhard Mey, *„Ein Stück Musik von Hand gemacht“*) umherlaufen.

Diese Aufsatzsammlung enthält die Arbeiten von fünf Studenten zu Teilgebieten des großen, kaum überschaubaren Themenkomplexes „Kybernetik“. Wir haben uns bemüht, in einer möglichst objektiven Art und Weise auf die Möglichkeiten und Chancen, aber auch auf Gefahren und Risiken beim Einsatz neuer Technologien hinzuweisen. Gewiß, einerseits studieren wir alle Informatik und stehen den Möglichkeiten, die beispielsweise das Anbinden eines Mikrochips an eine Nervenzelle bietet, mit einem gewissen Enthusiasmus, zumindest aber mit einigem technischen Interesse gegenüber. Das daran un-

ter Umständen die Objektivität einer Arbeit leidet, ist nicht auszuschließen. Andererseits haben wir jedoch eben dadurch auch die nötige Vorbildung um Gefahren, die sich durch die eine oder andere Entwicklung auf dem Gebiet der Kopplung von Mensch und Maschine ergeben, richtig abzuschätzen und Gewinn oder Verlust angemessen zu bewerten.

Wie dem auch sei, wir wünschen unseren Lesern viel Spass bei der Lektüre der Arbeiten.

Jan Tobias Mühlberg

## Inhaltsübersicht

Abschnitt	Überschrift	Seite
	Vorwort	3
	Inhaltsübersicht	5
1.	Chipimplantate bei Mensch und Tier	
1.1.	Der Chipsatz im Kopf	6
1.2.	Wird der Mensch zum Cyborg?	13
1.3.	Von Menschen, Tieren und Mülltonnen	17
2.	Mensch und Maschine wachsen zusammen	
2.1.	Intelligente Prothesen	23
3.	Simulation von Vorgängen in der Natur	
3.1.	Evolution durch Supercomputer verändern?	32

Abschnitt 1:

# Chipimplantate bei Mensch und Tier

## Der Chipsatz im Kopf

Während kybernetische Implantate bei Menschen noch für ethische Diskussionen sorgen, ist man bei Tieren schon wieder einmal etwas weiter. Wobei es hier zwei wesentliche Konzepte gibt. Entweder, man versucht, technische Geräte, z.B. Roboter um tierische Eigenschaften oder Verhaltensweisen zu erweitern (Roboter mit Fischgehirn), oder man versucht Tiere in ihren speziellen Einsatzgebieten mit HighTech zu erweitern, um sie somit als Sensoren für sich nutzbar zu machen. Zum Beispiel haben Bienen einen feineren Geruchssinn als Hunde. Mit Ortungssensoren ausgestattet, sind diese dann in der Lage, z.B. Sprengstoff zu erschnüffeln. Dabei ist es heutzutage auch möglich, die Kontrolle über Lebewesen teilweise zu übernehmen, indem man mit Elektroden jeweilige Gehirnteile stimuliert und so bestimmte Reaktionen erzielen kann.

Als ein erstes Beispiel möchte ich auf die international normierten Standards zur Kennzeichnung von Tieren durch Mikrochips eingehen.

Heutzutage verlangen viele Länder bei der Einfuhr von Tieren eine möglichst sichere Methode zur Identifizierung von Tieren. Im folgenden sind ein paar Fakten von einem Hersteller solcher Mikrochips<sup>1</sup> zusammengetragen.

Durch den ISO-Standard, der Normierungsvereinbarung der internationalen Standardisierungs-Organisation, wurden sämtliche unterschiedliche Transpondersysteme, die untereinander nicht kompatibel waren (Indixel, Destron, Trovan, Avid) durch die ISO-NORM 11784 und 11785,2 vereinheitlicht. Es wurde für den Chip eine einheitliche 15stellige Nummerncode-Struktur, bei gleichzeitigem Ausweis der jeweiligen Nationalität, festgelegt. Gleichzeitig wurden die einheitlichen technischen Spezifikationen bestimmt. Der Mikrochip, auch Transponder oder Tag genannt ist ein elektronisches System für das automatisierte Erkennen von Tieren. Der Transponder ist 12 x 2 mm groß. Eine gewebeverträgliche Glashülle enthält eine Antennenspule sowie den inaktiven (!) Chip mit der festgespeicherten Identifikationsnummer. Weltweit erhält jedes Tier eine eigene Kenn-Nummer (12stellige ID-Nummer+3stelliger Ländercode).

Mit einer sterilen Einwegspritze wird der Transponder vom Tierarzt in die linke Nackenseite des Tieres (international normierte Stelle!) injiziert. Durch

---

<sup>1</sup>siehe <http://www.virbac.at>

die besonders scharf angeschliffene Nadel verspürt das Tier keinerlei Schmerz. Der Vorgang ist mit einer Routineimpfung zu vergleichen: einfach, schnell und schmerzfrei!

Ein handliches, portables Lesegerät wird über den Nacken des Tieres geführt und aktiviert jetzt via Radiowellen im Niederfrequenzbereich mit seinem Sender den Chip. In einem Display des Ablesegerätes ist die Identifikationsnummer ablesbar.

Hier die Vorteile der Transponderkennzeichnung, welche auf der Homepage von VIRBAC für eine Chipkennzeichnung sprechen:

- Der Chip belastet und stört das Tier nicht, der Chip sendet keinerlei Radiowellen aus, er ist komplett inaktiv.
- Die Implantierung ist einfach, schnell, schmerzfrei, wie eine Impfung (keine Betäubung erforderlich).
- Der Chip ist fälschungs- und manipulationssicher.
- Der Chip hat ein Tierleben lang Bestand, ist beliebig oft ablesbar und „wandert“ nicht.
- Der Chip dient als Eigentums- sowie Abstammungsnachweis und sichert züchterische Glaubwürdigkeit.
- Die Rückermittlung entlaufender oder gestohlener Tiere ist durch Registrierung in internationale Datenbanken effektiv.
- Der Chip leistet einen Beitrag zum Umweltschutz und entspricht der ISO-Norm.
- Der Chip hat im grenzüberschreitenden Reiseverkehr internationale Gültigkeit.

Neben der Kennzeichnung von Tieren gibt es aber auch schon Experimente, die es Robotern ermöglicht, mit Nervenzellen von Tieren zu Kommunizieren.

Wissenschaftler der Universität Genua sowie der Northwestern University und der University of Illinois in Chicago haben, wie New Scientist<sup>2</sup> berichtet, einige Zellen aus dem Gehirn eines Neunauges (*Petromyzon marinus*) genommen, um damit einen Roboter zu steuern. Neunaugen sind relativ einfache aalförmige Fische. Der Roboterkörper des „künstlichen Tiers“, wie die Wissenschaftler ihre Erfindung in Analogie zum künstlichen Leben oder zur künstlichen Intelligenz genannt haben, ist ein im Handel befindlicher Roboter mit dem Namen Khepera, der auf zwei Rädern fährt und auch sonst nicht

---

<sup>2</sup>siehe <http://www.newscientist.com>

gerade einem Fisch ähnelt. Von dem Neunauge wurde der Hirnstamm und ein Teil der Wirbelsäule unter „totaler Anästhesie“ entfernt und in einer mit Sauerstoff angereicherten und gekühlten Salzlösung gelegt. Dann schlossen sie einige Müllerzellen, große Neuronen, die für die Integration von Befehlen und sensorischen Signalen an Motoneuronen verantwortlich sind, an Elektroden an. Mit diesen werden die Neuronen von lichtempfindlichen Sensoren mit den gewohnten Stromfrequenzen stimuliert. Weitere Elektroden wurden an den Axonen der Neuronen angeschlossen, um den Output zu messen. Das Gehirngewebe wurde allerdings nicht in den Roboter eingefügt, sondern nur mit Drähten mit diesem verbunden. Offenbar ist dieser halb biologische, halb technische Roboter in der Lage, „komplexe“ Verhaltensweisen in Reaktion auf Lichtsignale auszuführen. Setzt man es derartigen Signalen aus, reagiert das Neunaugengehirn, indem es den Roboter dem Licht folgen, ihm ausweichen oder im Kreis herumfahren lässt.

Bei einem ähnlichen Experiment geht es um Frösche.

In der Abteilung für Biomechatronics am MIT<sup>3</sup>) haben Hugh Herr und Bob Dennis, der an der University of Michigan lehrt, einen auf der Oberfläche von Wasser schwimmenden, 12 Zentimeter langen Roboter gebaut, der - zumindest für einige Zeit - von Froschmuskeln angetrieben wird. Im Roboterkörper - B1 - befindet sich vor dem Wasser geschützt, ein Mikroprozessor, der elektrische Impulse zu den an den beiden hinteren Seiten des runden Körpers angebrachten Muskeln sendet. Sehnen führen von den Muskeln an die Spitze (den „Kopf“) und an das Ende (den „Schwanz“), so dass der Fisch bzw. Frosch sich durch Schwänzeln fortbewegt. Der Roboter kann gestartet, angehalten, nach links oder rechts gesteuert werden und bewegt sich recht flott mit einer Maximalgeschwindigkeit von 60 Millimeter in der Sekunde. Ernährt werden die Muskeln von Glukose, die sich im Wasser befindet. Die Muskeln halten allerdings nur sieben Stunden ohne die Verbindung mit dem Körper durch. Hugh Herr denkt daran, zur besseren Versorgung eine Art Bauch anzufügen. Wenn die Muskeln größer würden, wird es noch problematischer. Dann müsste eine Art Zirkulationssystem in Analogie zu Blutbahnen die Glukose zu den Muskelzellen pumpen. Herr arbeitet an sich an künstlichen Gliedmaßen, beispielsweise an künstlichen Beinen und an zweibeinigen Robotern, sieht aber einige Vorteile, wenn diese nicht durch Motoren, sondern durch wirkliche Muskeln bewegt werden könnten. Künstliche Glieder können sich nicht ihrer Umgebung, etwa der Bodenbeschaffenheit, anpassen. Ohne Motoren können sie auch nicht aktiv Kraft ausüben - und sie sind laut. Natürliche

---

<sup>3</sup>siehe <http://www.ai.mit.edu/people/hherr/biomech.html>

Muskeln können sich hingegen an die Umgebung anpassen, sie können sich selbst regulieren und bis zu einem gewissen Grad auch sich heilen. Natürlich sind Muskeln von Fröschen nichts für Prothesen. Um dauerhafteres Muskelgewebe zu erhalten, züchtet Bob Dennis Muskelgewebe aus Muskelstammzellen. Zum Wachsen werden sie durch elektrische Stimulation gebracht, was die normalerweise von den umgebenden Zellen ausgehenden Signale ersetzt. Aufgrund der erfolgreichen Technik hat einer seiner Studenten vor kurzem die Firma Cell Based Delivery gegründet. Mit einem zum Patent angemeldeten Bioreaktor sollen hier unterschiedliche Muskelgewebe durch unterschiedliche elektrische Stimulation gezüchtet werden. Diese künstlich aufgezogenen Muskeln, genannt „Myoide“, können immerhin schon ein paar Monate überleben und aufgrund elektrischer Impulse bewegt werden, aber ihre Kraft ist noch wesentlich geringer als die von normalem Muskelgewebe. Primär dienen diese Muskelgewebe auch erst einmal der medizinischen Forschung, so dass beim Testen von Substanzen an Muskelgewebe weniger Tierversuche gemacht werden müssen. Zumindest ist dies ein Teil des Geschäftsplans. Ansonsten wird die patentierte Technik ImPACT (Implantable Protein FACTory) angeboten, mit der sich gentechnisch veränderte Muskelzellen herstellen lassen, die man in den Körper einpflanzt, um bestimmte Proteine als Wirkmittel abzugeben. Bob Dennis denkt allerdings auch noch weiter und könnte sich vorstellen, dass die künstlich gezüchteten Muskelzellen mit ihren Proteinen auch als Nahrung dienen könnten. Allgemein sieht er jedenfalls ein profitables Geschäftsfeld, schließlich besteht der erwachsene menschliche Körper fast zu 40 Prozent aus Muskeln. Dennis ist daran interessiert, Muskel- und Nervenzellen gemeinsam züchten zu können, die elektrische Stimulation der Muskelzellen zu verfeinern, Sehnen künstlich zu züchten und eine Art künstliches Blutsystem zur Versorgung zu entwickeln. Das von Dennis und Herr am MIT durchgeführte Experiment mit dem Roboterfisch geht allerdings in eine andere Richtung. Finanziert wird es von der Darpa, was die durch Muskeln angetriebenen Roboter zumindest potenziell als militärisch interessant zeigt. Das hängt wiederum damit zusammen, dass mechanische Motoren zwangsweise Geräusche machen, während wirkliche Muskeln auch für Roboter eine leise Fortbewegung ermöglichen. Möglicherweise ist die Darpa an dieser Forschung auch im Rahmen der Entwicklung von Exo-Skeletten interessiert, die sie fördert, damit die körperliche Leistungsfähigkeit der Soldaten erhöht werden kann. Vorerst aber bleibt der Roboter mit Froschmuskeln erst einmal ein skurriles Produkt der technischen Einbildungskraft.

Viele weitere Projekte werden, obwohl sie für zivile Zwecke angepriesen werden, trotzdem von der DARPA finanziell unterstützt. So zum Beispiel die

mit Ortungssensoren ausgerüstete ferngesteuerte Ratte<sup>4</sup>. Wenn Verschüttete unter den Trümmern eines eingestürzten Gebäudes in Zukunft von Ratten besucht werden, muss das kein Grund zur Beunruhigung sein. Im Gegenteil: Geht es nach einem Forscherteam um Sanjiv Talwar von der State University of New York, dann können die Nager in einer solchen Situation sogar willkommene Lebensretter sein. Wie die Wissenschaftler im Fachmagazin „Nature“ berichten, ist es ihnen gelungen, Ratten mit Hilfe von Mikroelektroden im Gehirn wie Roboter fernzusteuern. Talwar und seine Kollegen implantierten den Tieren Elektroden in verschiedene Bereiche des Gehirns. Die einen, die im so genannten somatosensorischen Kortex platziert wurden, dienten der Stimulation von Nervenzellen, die sonst Signale von den linken und rechten Schnurrhaaren empfangen. Weitere Elektroden pflanzte das Team in das mediale Vorderhirnbündel: Durch die Reizung dieses Bereichs wird ein erwünschtes Verhalten mit einer „Belohnung“ verstärkt. Die Forscher trainierten die so manipulierten Ratten zunächst in einem Labyrinth darauf, auf eine „virtuelle“ Berührung der Schnurrhaare hin die Richtung zu ändern. Nach zehn Sitzungen wurden die Versuche ins offene Gelände verlagert, wobei die Tiere weiterhin in gleicher Weise auf die Reize reagierten. Dabei zeigte sich, dass die Stimulierung des medialen Vorderhirnbündels die Nager nicht bloß zum Vorwärtsgen, sondern sogar zum Überklettern von Hindernissen animierte. Das Team konnte die Ratten problemlos durch Röhren oder Schutthaufen dirigieren und sogar über hell erleuchtete, offene Flächen, die die scheuen Nager normalerweise meiden würden. Dabei ließen sich die Versuchstiere, die einen kleinen Rucksack mit der Steuerungselektronik umgeschmalt bekommen hatten, über eine Entfernung von bis zu 500 Metern kontrollieren. Die Wissenschaftler halten es für möglich, über die Verkabelung weiterer Hirnregionen auch komplexere Verhaltensweisen steuern zu können. Solche ferngelenkten Ratten könnten etwa nach Katastrophenopfern suchen oder bei der Entschärfung von Landminen helfen, schlagen Talwar und seine Kollegen vor. „Kombiniert mit elektronischer Sensorik und Navigationstechnologie“, schreiben die Forscher, „könnte eine gesteuerte Ratte zu einem effektiven 'Roboter' entwickelt werden, der gegenüber den gegenwärtigen mobilen Robotern einige Vorteile hätte.“ Die Wissenschaftler betonen, dass sich die Gehirnaktivität der Tiere nicht nur manipulieren, sondern auch empfangen lässt - deshalb könnten die Nager zugleich als wandelnde „biologische Sensoren“ dienen. Allerdings gibt es noch einen entscheidenden Faktor. Der Urinstinkt des Tieres. Es ist den Wissenschaftlern z.B. nicht gelungen, ein Versuchstier von grosser Höhe herabspringen zu lassen. Doch ist nur noch eine Frage der Zeit, bis man gelernt hat, solche Faktoren zu um-

---

<sup>4</sup>siehe <http://www.nature.com/nsu/020429/020429-9.html>

gehen. Wissenschaftler der Wake Forest University in Winston-Salem, North Carolina, waren in der Lage, mit Hilfe Künstlicher Stimulierung bestimmter Hirnregionen Nerven zu umgehen, die einst Muskeln gelähmter Menschen kontrollierten. Somit ist es möglich, sowohl gelähmte zu heilen, als aber auch durch Manipulation von Hirnregionen bestimmte Reaktionen hervorzurufen, bzw. zu unterbinden.

Wie man sich seine eigene ferngesteuerte Kakerlake baut, beschreibt ein Dokument, welches man unter <http://dmtwww.epfl.ch/rholzer/papers/cbs.ohp.pdf> findet. Ein Forscherteam um Raphael Holzer vom EPFL DMT-IMS Lausanne in der Schweiz beschäftigen sich auch seit einiger Zeit mit Kontrollierten Biologischen Systemen (CBS - Controlled Biological Systems). Sie haben eine Kakerlake mit HighTech ausgerüstet, um sie per Infrarot Fernbedienung durch die Gegend zu steuern. Dabei hat die Kakerlake einen „Rucksack“ auf dem Rücken, der noch grösser als sie selbst ist. Der Rucksack besteht aus einer 3V Lithium Batterie, welche ein Mikrokontroller, den Infrarot Empfänger und ein EEPROM mit 36 Byte Datenspeicher mit Strom versorgt. Für das visuelle Feedback ist zusätzlich noch eine LED angebracht. Über serielles Kabel können nach Beendigung der Aufgaben die Messdaten in einen Rechner übertragen werden. Über Sensoren ist dieser Rucksack mit dem Nervensystem der Kakerlake verbunden, und kann auch Reize der Fühler wahrnehmen. Per Druck auf die jeweiligen Tasten der Fernbedienung, der sogenannten TeleRoach, konnten die Forscher in mehreren Experimenten erfolgreich eine Kakerlake über ein Testparcours steuern. Dabei wurden an den Fühlern virtuelle Berührungen suggeriert, so dass das Tier automatisch den Kurs änderte. Damit war das Experiment allerdings noch nicht beendet. Zusätzlich packte man dem armen Tier noch 2 Photosensoren auf den Rücken. Das Tier sollte nun auf einer schwarzen Linie auf weissem Untergrund entlanglaufen. Wenn der linke Photosensor die Linie ausmachte hiess das - Kakerlake nach links, und wenn der rechte Alarm schlug - Kakerlake nach rechts. Das Ganze, und jetzt der Clou - steuerte ein Computer.

Als Fazit ist zu sagen, dass der Schritt zur Kontrolle von Mensch und Tier durch Elektronik bzw. Computertechnik nicht mehr so weit entfernt ist, wie man glauben mag. Ich denke, nur rein ethische Gründe bilden die einzige Barriere, um solche Experimente auch an Menschen durchzuführen. Ich blicke noch einmal auf die Mikrochips in Tieren zurück. Anders als in der Science Fiction Welt ist dieser Chip nicht zur Ortung bzw. Lokalisierung ausgelegt, sondern speichert lediglich Daten wie ID und Ländercode. Mit diesem Satz versucht man natürlich, die Folgen, die eine solche Informationsquelle mit sich zieht, zu verharmlosen. Andererseits, dieses bisschen Wissen, Eine

ID, reicht aus, um den Faden etwas weiter zu spinnen. Setzt man einem Menschen solch einen Chip ein, könnte das Lesegerät zum Beispiel in der Tür eines Einkaufszentrums integriert sein und somit wunderbar Kundenprofile mit Name, Adresse und Alter abspeichern können. Auch gefällt mir der Gedanke nicht, das Staubsauger in den nächsten paar Jahren von Tierhirnen gesteuert werden. Vielleicht bekommt er einmal Angst vor meinem Besuch und saugt Amok? Und naja, mit Froschschenkeln angetriebene Boote... Ich kann mir gut vorstellen, dass die Reise im neuen Mercedes Benz 3500 SLK mit 6 Heuschreckenbeinen, welcher zwecks Stauumgehung Sprünge mit bis zu 50 Metern Entfernung macht, alles andere als angenehm ist. Ja und dann gibt es noch die ferngesteuerten Ratten. Wenn ich nun statt der Ratte einen Menschen nehme, könnte ich mit der Fernbedienung den netten Nachbarn von nebenan durch die Bank zum Tresorraum manövrieren, und er würde davon überhaupt nichts mitbekommen... tja nen paar Nerven überbrückt - Kinderspiel! Damit der Nachbar dabei nicht ganz zu kurz kommt, drücke ich noch gönnerhaft auf die Belohnungstaste, welche dann ein Schwall von Glücksgefühlen in seinem Vorderhirn auslöst... Auch die Idee mit den steuerbaren Insekten scheint gar nicht so abwägig. Diese könnten so zu den neün Cyborg-Mini-Robotern werden, die mit Kameras und andere Sensoren ausgerüstet sind, um an für Menschen unzugängliche Stellen zu gelangen. Vielleicht könnten sie auch Spione spielen, die man heimlich mit einer Kamera und einem Mikrofon an interessante Stellen lotst. Das wäre nicht nur für Industrie- oder Militärspionage, sondern vielleicht auch für den häuslichen Gebrauch ganz lustig.

Und zu guter Letzt werden, damit nicht pro Kakerlake ein Mensch eingesetzt werden muss, ganze Insektenscharen an einen Computer angeschlossen, der von nun an bestimmt, ob eins gilt, oder ob null gilt. Das versetzt mich als Informatiker nun erstmalig in die Lage, über ethische Prinzipien nachzudenken. Kann ich es verantworten, wenn durch einen Fehler in meinem Programm ein paar Dutzend Kakerlaken die nächsten 3 Tage im Kreis rennen, nur weil eine Schleife ihre Abbruchbedingung nicht mehr erreicht?

## Wird der Mensch zum Cyborg?

Kevin Warwick, Professor für Kybernetik an der Universität von Reading in Grossbritannien hatte sich im August 1998 einen kleinen Silikonchip in den Vorderarm implantieren lassen. Dieser sendete ein Radiosignal aus, mit welchem Warwick wechselweise eine Reihe von elektronischen Geräten betreiben und beeinflussen konnte, die sich in unmittelbarer Nähe befanden.

Wenn er in seinem Büro erschien, erkannten die Computer des Gebäudes den Radiocode, die Türen wurden aufgeschlossen, das Licht ging an, seine persönliche Webseite wurde aufgerufen und grüsste ihn mit einem freundlichen „Hallo, Professor Warwick“.

Das Experiment beabsichtigte aufzuzeigen, wie Mensch und Maschine zusammen arbeiten können, indem sie die gegenseitig besten Züge kombinieren. Am meisten überraschte Warwick, dass er während des Experiments eine emotionale Beziehung zu dem Chip in seinem Arm und zu dem Computer-Netzwerk im Haus spürte. „Ich fühlte mich mit Chip mächtiger als ohne, ich vermisste ihn, nachdem er aus meinem Arm entfernt worden war.“ Seine Frau Irena vermisste ihn nicht. Sie war auf die Maschine eifersüchtig, weil sie spürte, dass der Chip zwischen sie und ihren Mann trat. Warwicks Tochter hält ihren Vater für „verrückt“. Wenn nun jedoch ein Mensch durch einen Silikonchip mit einem Computer verkehren konnte, warum sollte dies nicht auch zwischen zwei Menschen möglich sein?

Aus diesem Grund beabsichtigt Prof. Warwick ein neues Experiment in naher Zukunft. In diesem neuen Experiment will der Professor dann noch einen Schritt weiter gehen und den neuen Chip mit einem Nervenstrang verbinden. Dabei soll im Sommer des kommenden Jahres der Neurochirurg Ali Jamous den linken Oberarm des Professors öffnen und besagten Chip dort mit einem Nervenstrang verbinden.

Prof. Warwick stellt sich vor, dass er aus der Narkose aufwacht und seinen linken Zeigefinger den Befehl gibt sich zu bewegen. Der dann ausgesendete Nervenimpuls soll dann von dem Chip abgefangen werden, auf einem Computer zwischengespeichert und anschliessend wieder an den Chip gesendet werden, der diesen dann weiterleitet. Dabei wird Warwick beobachten was sein Finger macht.

Anschliessend sticht sich der Professor mit einer Nadel und der Chip soll auch diesen Nervenimpuls abfangen, an einen Rechner senden, der diesen dann ab-

speichert und wieder zurückschickt. Hierbei will der Professor versuchen ob es auch in die andere Richtung klappt und er den Schmerz spürt.

Falls beide Richtungen funktionieren will der Professor auch seiner Frau einen solchen Chip einpflanzen lassen und dann versuchen auch Signale von ihrem Chip zu empfangen. Auf diese Weise könnten zwei Menschen durch einen Computerchip Informationen untereinander austauschen. Ob dies jedoch funktioniert oder nicht steht jedoch nicht fest. Vielleicht revanchiert sich sein Nervensystem mit chronischen Schmerzen. Vielleicht brennt aber auch sein Gehirn durch. Dies kann niemand genau sagen. Denn obwohl die Wissenschaftler von heute schon Kakerlaken mit einem Chip im Gehirn ferngesteuert werden können und man das Gehirn einer Ratte so manipulieren kann, dass sie nur noch an Essen denken kann, war noch kein Mensch mutig oder vielleicht auch verrückt genug so etwas zu versuchen.

Aber was treibt einen Menschen dazu so ein Experiment über sich ergehen zu lassen?

Professor Warwick will die Gattung Mensch erneuern. Ihn langweilt die unabänderliche Ausstattungsliste des menschlichen Körpers. Er will ihm ein paar Extras verpassen. Mit seinem Experiment will Warwick beweisen, dass der Mensch nur Materie ist, dass Schmerz, Lust, Angst und Freude nur Daten sind, die beliebig gespeichert, kopiert, verändert und übertragen werden können. Warwick träumt von einem Menschen, der Herr über seine Gefühle ist und Teil einer Maschine. Warum sollte man die Freude über einen guten Witz nicht auf einem Computer konservieren und sich das Gefühl in den Körper laden, wenn man frustriert ist? Warum sollte man einen guten Wein nur einmal schmecken? Warum muss ein Superorgasmus selten sein? Warum sollte ein Mensch sich nicht wie eine Fledermaus orientieren? Warum müssen die Fähigkeiten der Menschen von der Natur begrenzt werden? Warum nicht vom Kontostand?

Das Experiment wäre schon früher möglich gewesen, die meisten Bauteile existieren schon seit einigen Jahren. Aber in der Welt der Wissenschaft gab es niemanden, der neugierig und eitel genug war, der das Risiko auf sich nehmen wollte und der die richtigen Helden und Vorbilder bewunderte. Warwick verehrt Männer wie Lindbergh und Armstrong, nicht den Stubenhocker Einstein. Warwicks Vorbild ist John Paul Stapp, Colonel der U. S. Air Force. Stapp schnallte sich in den fünfziger Jahren auf einen Raketenschlitten, beschleunigte ihn auf 1000 Stundenkilometer und zwang ihn in weniger als eineinhalb Sekunden zum Stillstand. Stapp wollte wissen, ob sein Körper beim abrupten Stopp zerbricht. Das passierte nicht. Aber während der Experimente litten die Augen des Militärarztes, Knochen brachen, und sein

Gleichgewichtssinn wurde irreparabel geschädigt.

Wenn alles gut geht, hofft Warwick, im selben Atemzug mit Stapp, Lindbergh und Armstrong genannt zu werden. Geht etwas schief, werden ihn die Menschen eher mit Ken Charles Barger aus Newton, North Carolina, vergleichen. Barger verwechselte seine Pistole mit seinem Telefon und erschoss sich, als es klingelte. Posthum erhielt Barger den Darwin-Award, der Menschen verliehen wird, die auf aussergewöhnlich sinnlose Weise aus dem Leben scheiden.

Aber Warwick macht dies alles nicht alleine um berühmt zu werden oder gar den Menschen zu helfen. Er hofft auch durch sein Experiment eine Menge Geld zu verdienen. Er will ein Wissenschaftlerstar werden und bereitet sein Experiment dementsprechend vor. Er weiss, dass man drei Dinge braucht um in der Medienlandschaft bestehen zu können: eine provokante These, etwas zum Vorzeigen und einen guten Einstieg ins Unterhaltungsgeschäft. Seine These lautet: In 20 Jahren wird die Menschheit von Robotern versklavt sein. Der Einstieg ins Unterhaltungsgeschäft gelang ihm durch zwei Roboter, die er übers Internet verband und einen vom anderen lernen liess. Zum Vorzeigen soll dann in naher Zukunft sein zweites Experiment dienen. Seinen Forschungsetat, den er in den letzten zwei Jahren um zwei Millionen Pfund und weitere vier Millionen Pfund sollen ihn Firmen noch zur Verfügung stellen. Dabei wird bei weitem nicht das ganze Geld in das Experiment selbst fliessen, sondern benutzt werden um das Experiment in den Medien richtig zu transportieren. Nun wird auch klar, dass sein erstes Experiment nicht alleine der wissenschaftlichen Vorbereitung diene, sondern auch der Medien, denn die selbe Funktionalität des Chips im Arm würde auch mit einer Smartcard funktionieren. 23 Firmen aus der Chipindustrie setzten sich mit Warwick in Verbindung, um Details über seine Arbeit zu erfahren. So sehr Firmen Warwicks Popularität sonst schätzen, so sehr sie von seinem Projekt profitieren wollen, so wenig mögen sie schon jetzt mit ihm in Verbindung gebracht werden. Die US-Softwarefirma Blackbaud Inc. nannte Warwick in einem Interview mit Namen. Wenig später lag ein unfreundlicher Brief der Firma auf seinem Tisch. Seitdem ist Warwick eher zurückhaltend, wenn es um die Namen seiner Geldgeber geht.

Noch gilt es nicht als schick, Männer und Frauen mit implantierten Chips oder Smartcards aufzurüsten, nur weil sie es satt haben, ihren Pass, ihre Schlüssel, ihr Geld im Restaurant liegen zu lassen. Es muss schon ein Arm oder ein Bein oder ein Sinn fehlen, um den Schnitt ins Fleisch zu rechtfertigen. Für Menschen wie Warwick ist diese Einstellung jedoch sehr beschränkt. Weltweit sind sich die Wissenschaftler einig, dass der Mensch immer mehr zur Maschine wird. Es begann mit metallenen Hüftgelenken sowie Herzschrittmachern und Hirnschrittmacher unterdrücken epileptische Anfälle. Kran-

ke schieben mit Gedanken Pfeile über Computerbildschirme und schreiben Briefe nicht mit ihren Händen, sondern mit ihrem Hirn. Warum sollte, so Warwick, eine Gesellschaft, in der ein Gang zum Schönheitschirurgen fast so selbstverständlich ist wie der zum Friseur, Lifestyle-Implantate verweigern? Schon jetzt können 20 Prozent des menschlichen Körpers durch Maschinen ersetzt werden, allein in England laufen eine halbe Million Menschen herum, die in ihrem Körper ein Stück Elektronik tragen. Und Paul McMahon, Sprecher des Peilsenderherstellers LoJack in Dedham, Massachusetts, erhält fast täglich Anrufe von Eltern, die ihren Kindern einen Sender unter die Haut pflanzen wollen, weil sie keine Lust mehr haben, das ganze Viertel nach ihnen abzusuchen; und Kinder fragen an, weil sie ihre an Alzheimer erkrankten Eltern mit Hilfe eines Computers lokalisieren möchten. Kein Naturwissenschaftler hat Warwick bislang gesagt, er solle diesen gefährlichen Unfug lassen, schon gar keiner aus Warwicks kybernetischem Institut.

Quelle:

*[www.spiegel.de/reporter](http://www.spiegel.de/reporter)*

weitere Links:

*<http://www.spiegel.de/spiegel/21jh/0,1518,75774,00.html>*

*[http://news.bbc.co.uk/hi/english/sci/tech/newsid\\_158000/158007.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/english/sci/tech/newsid_158000/158007.stm)*

*<http://www.intern.de/98/18/37.shtml>*

*[http://www.berlinonline.de/wissen/berliner\\_zeitung/archiv/2000/1014/magazin/0001/](http://www.berlinonline.de/wissen/berliner_zeitung/archiv/2000/1014/magazin/0001/)*

*<http://www.cnn.com/TECH/computing/9808/28/armchip.idg/>*

*<http://www.rdg.ac.uk/KevinWarwick/FAQ.html>*

*[http://www.brueckner-online.de/html/politik\\_medizin\\_baustelle\\_gehi.html](http://www.brueckner-online.de/html/politik_medizin_baustelle_gehi.html)*

Jan Tobias Mühlberg, 20. Mai 2002

## Von Menschen, Tieren und Mülltonnen

Wozu Transponder eigentlich gut sind, wie man sie einsetzt und was wir davon haben.

*Was verbindet nun also einen Menschen, ein konventionelles Haustier und eine Mülltonne miteinander? Mal abgesehen davon, daß die Menschen sich vielleicht etwas häeufiger bemühen sollten, die Exkreme der Haustiere in den Mülltonnen landen zu lassen, erscheinen Vergleiche oder Ähnlichkeiten doch eher abwegig. Oder doch nicht?*

### **Was sind Transponder?**

Das Wort Transponder entstand aus einer Zusammensetzung der Worte Transmitter (engl., Sender) und Responder (engl., Antworter). Und genau das ist es auch, was ein Transponder macht: Er beantwortet ein eintreffendes Signal automatisch. Transponder sind daher hervorragend zur Überwachung und Steuerung von Abläufen geeignet. Die Kommunikation erfolgt hierbei grundsätzlich drahtlos.

Die Transponder lassen sich in zwei Klassen von Geräten aufteilen: Auf der einen Seite gibt es die relativ einfachen, passiven Transponder, auf der anderen die aktiven. Passive Transponder erlauben es bereits, Objekte eindeutig zu identifizieren. Beispiele hierfür sind die Magnetstreifen auf Kreditkarten oder Barcode-Aufkleber auf Produkten. Zum Lesen der Informationen aus einem passiven Transponder wird eine aktive Leseinheit benötigt. Die Informationen können häufig nur auf eine recht kurze Distanz von einigen Zentimetern bis Metern ausgelesen werden. Aktive Transponder haben dagegen oftmals sehr große Reichweiten. Sie senden, wenn sie von einer Leseinheit eine Anfrage erhalten, in ihnen gespeicherte Informationen selbstständig, sozusagen als Antwort auf die Anfrage, zurück. Bereits seit langem werden derartige Geräte in Luft-, Raum- und Seefahrt zur Identifikation von Fluggeräten und Schiffen auf große Distanz verwendet.

### **Minitransponder**

Seit einiger Zeit finden auch immer mehr miniaturisierte Transponder Anwendung. Hierbei handelt es sich um aktive Geräte, deren Sendereichweite allerdings häufig stark eingeschränkt ist. Dafür sind sie jedoch nur einige Millimeter groß.

Eingesetzt werden sie vorrangig zur Identifikation häufig genutzter Objekte in Verbindung mit Abrechnungs- oder Zählmechanismen. Ein erfolgreicher

Anwendungsbereich findet sich z.B. in der Abfallwirtschaft. Auch in Deutschland werden immer mehr Mülltonnen mit aktiven Transpondern ausgestattet, die vom Entsorgungsfahrzeug bei der Leerung automatisch ausgelesen werden. Die hierbei gesammelten Informationen können dann weiter ausgewertet werden, was eine automatische und litergenaue Abrechnung ermöglicht. Ein weiteres Einsatzgebiet stellt die Identifikation von Haustieren dar. In jeder Heimtierpraxis kann man seinen Haustieren winzige Transponder unter die Haut implantieren lassen. Diese haben eine Identifikationsnummer gespeichert, über die einem Tier eindeutig sein Besitzer zugeordnet werden kann. Darüber hinaus können noch weitere Informationen, beispielsweise Impfungen, Krankheiten etc., gespeichert werden. Unter Verwendung geeigneter Technik ermöglichen es solche Transponder auch, ein Tier aus einer gewissen Entfernung zu orten und biometrische Daten abzufragen. All dies macht die Transponder zur Identifikation von Haustieren zu einem, den herkömmlichen Methoden wie Tätovierungen und Brandzeichen in seiner Funktionalität bei weitem überlegenen und dennoch fast ebenso einfach anwendbaren Verfahren.

### **Einsatz an Menschen**

In den späten 70-er Jahren gab es eine nicht unerhebliche Diskussion über die Einführung der neuen maschinenlesbaren Personalausweise, im Sinne obiger Definition ein passiver Transponder. Die Bundesregierung überlegte, dazu die Verfassung zu ändern. Heute, nur etwas mehr als zwanzig Jahre später, haben alle deutschen Staatsbürger ab dem sechzehnten Lebensjahr einen solchen Ausweis in der Tasche.

In der Europäischen Zentralbank (EZB) denkt man offenbar daran, zum besseren Schutz der Euroscheine vor Fälschungen diese ab 2005 mit aktiven Transpondern auszustatten. Die EZB erhofft sich dadurch fälschungssicheres und besser indentifizierbares Geld, schließlich sind gut verpackte Mikrochips gegenüber Verunreinigungen recht unempfindlich. Abgesehen davon könnten die Scheine dann auch ohne physischen, womöglich sogar ohne Sichtkontakt identifiziert werden. Allerdings sprechen derzeit neben technischen Problemen auch finanzielle Erwägungen gegen einen solchen Einsatz der Technik. Zu meinem Glück (ich schreibe nicht gerne über ungelegte Eier) müssen wir nicht in die nahe Zukunft des Jahres 2005 blicken um, andere Transponder in unserem täglichen Leben zu finden. Die meisten derer finden sich wiederum in unseren Briefschaften. Hier finden sich Telephonkarten, Kreditkarten, oftmals bereits Schlüsselkarten, die in Verbindung mit einer PIN z.B. den Zugang zu Büroräumen etc. ermöglichen. Sie alle funktionieren auf der Basis von meist

passiven Transpondern und enthalten Daten über uns. Wir, die wir diese Techniken nur anwenden, ohne sie genau zu kennen, stecken sie in jeden sich bietenden Kartenleser, tragen Kreditkartennummern in Formulare im Internet ein, ohne zu wissen, wo all die Informationen gespeichert werden und wer sie auswertet.

### **Einsatz in Menschen**

Vor allem die Möglichkeit, ein Lebewesen, dem ein Transponder implantiert wurde, nahezu überall auffinden zu können und gleichzeitig biometrische Daten zu erhalten, macht diese Technik auch für den Einsatz am Menschen interessant. Im Februar dieses Jahres bewarben sich bei einem führenden Hersteller für Transpondertechnik (Applied Digital Solutions, <http://www.adso.com>) die ersten Kandidaten, die sich freiwillig einen Transponder implantieren lassen wollen. Einige von ihnen beantworteten die Frage, warum sie sich denn „chippen“ lassen, mit vorrangig medizinischen Beweggründen, andere hatten Angst vor Entführungen. Die hier eingesetzten Chips befinden sich in einem zwölf Millimeter langen Glaszylinder mit einem Durchmesser von etwa zwei Millimetern. Sie übertragen ihre Daten, nachdem sie einen elektrischen Impuls von außen erhalten haben. Da die hierfür benötigte Energie mittels elektromagnetischer Induktion gewonnen wird, benötigen sie keine Batterie. Die Reichweite des Transponders hängt von der Stärke des Impulses ab und kann durchaus einige Meter betragen. Biometrie wird nicht übertragen, was es denn unmöglich macht, den Zustand des Trägers zu bestimmen.

Allerdings wird es auch hierfür bald kommerziell verfügbare Lösungen geben. Technisch wäre es dann kein Problem, beispielsweise einen Patienten mit einem Herzleiden über einen Transponder nicht nur lokalisieren zu können, sondern gleichzeitig auch noch seine Vitalität zu überwachen. Derzeit für solche Zwecke verfügbare Systeme sind allerdings noch sehr schwer und unbequem zu tragen.

### **Was bringen uns Transponder**

Was Transponder sind und wie vielfältig man sie einsetzen kann, habe ich im oberen Bereich dieses Textes versucht darzulegen. Ob man sich mit dieser Technologie anfreunden kann oder nicht, obliegt letztlich jedem Einzelnen. Leider ist die Entscheidungsfindung nicht wirklich einfach. Es ist das allgemeine Problem, auf das man stößt, wenn man eine Sache entweder der Schublade „gut“ oder „böse“ zuordnen möchte: meistens trifft weder das Eine noch das Andere vollständig zu.

Richtig ist zweifellos, dass ein mit einem Transponder ausgestatteter Geldschein nach derzeitigem Stand der Technik schwerer zu fälschen ist als ein

herkömmlicher. Richtig ist ebenfalls, daß für die Sicherheit, egal ob es um die von Zahlungsmitteln, Flugzeugen oder Einzelpersonen geht, viel getan werden muß. Da dies allen bewußt ist, wird hier auch viel akzeptiert, sind Menschen oft bereit, Einschränkungen hinzunehmen. Mehr Sicherheit aber heißt meist auch mehr Kontrolle, die nicht nur etwaige Übeltäter betrifft, sondern auch diejenigen, die vor diesen geschützt werden sollen. Mit der Informationsgesellschaft steigt nicht unbedingt die Sicherheit an, wohl aber explodieren die Überwachungsmöglichkeiten, die dank dem 11.9. von den Regierungen und Sicherheitsbehörden auch leichter politisch umgesetzt und finanziert werden können.

Zurück zu den Geldscheinen: Wie teuer ist denn der Zuwachs an Sicherheit in diesem Fall wirklich? Der Transponder im Geldschein soll die eindeutige Identifizierung des Scheines auch ohne Sichtkontakt, also vermutlich auf einige Meter Entfernung, ermöglichen. Folglich kann jeder, der sich ihnen auf eben diese Distanz nähern kann, mit geeigneter Technik das Geld in ihrer Briefftasche zählen. Gleiches könnte beim Betreten eines Geschäftes geschehen. Mag sein, daß sich der Gesetzgeber etwas gegen derartige Maßnahmen einfallen lassen wird... leider wird sich nicht jeder daran halten. Da Transponder auch in der Lage sein können, Informationen zu speichern, ist es auch nicht undenkbar, daß zukünftige Zahlungsmittel sich ihre eigene Geschichte merken und zur späteren Auswertung zur Verfügung stellen.

Ähnliche Möglichkeiten bieten Barcodes in Verbindung mit Kreditkartenzahlungen. Die Barcodes werden an der Kasse im Supermarkt eingelesen, die Kreditkarte ebenfalls. Da Kreditkarten eindeutig einem Besitzer zuordenbar sind, sind auch alle getätigten Einkäufe auf diese Weise zuordenbar, einen Programmierer würde es lediglich ein müdes Lächeln und ein paar Stunden Arbeitszeit kosten, diese Informationen in geeigneter Weise abzuspeichern. Auch ein, scheinbar so simples und seit Jahren genutztes System läßt sich also gezielt zur Überwachung nutzen.

Gehen wir davon aus, daß unsere Testperson nicht nur Geldscheine mit Transpondern sowie ihre Kreditkarte im täglichen Leben verwendet, sondern selbst auch noch mit Transponderimplantat versehen ist: Einerseits erschiene es ihr vielleicht besonders höflich und zuvorkommend, von jeder Kassiererin und jedem Kellner mit dem Namen angedredet zu werden, vielleicht fände sie es auch praktisch, daß dem Notarzt im Falle eines Unfalls per Knopfdruck alle relevanten Informationen zur Verfügung stünden und keine unnötige Zeit beim Auffinden der Verunglückten verloren ginge. Die Kehrseite der Medaille ist natürlich auch nicht zu verachten. Unsere Testperson ist vollständig überwachbar, nicht nur was ihren gegenwärtigen Aufenthaltsort und ihre Einkaufsgewohnheiten angeht, auch darüber hinaus. Die vom Transponder gesendete Biometrie ließe nicht nur Rückschlüsse auf potentiell lebensbedro-

hende Zustände wie Herzausfälle oder Unterkühlung zu, sie ermöglichen es ebenso, Zustände wie Wachsein, Schlaf oder Erregung zu erkennen.

Neue Technologien machen unser Leben einfacher und geben uns Sicherheit. Dinge, die noch vor kurzem undenkbar waren, sind plötzlich machbar und sogar erschwinglich. Neben dem finanziellen haben sie meistens aber auch einen nicht numerisch erfassbaren, ideellen Preis: Sie kosten uns einen Teil unserer persönlichen Freiheit. Was nun wiederum Freiheit ist und wie man sie definiert, muß jeder Einzelne für sich bedenken und ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Daraus resultiert, daß ebenfalls Jeder für sich entscheiden muß, wieviel Freiheitsverlust er für seine eigene bzw. für die Sicherheit der Welt in Kauf zu nehmen bereit ist.

Derzeit hat auch Jeder diese Möglichkeit - man kann sich aussuchen, ob man mit Bargeld oder doch mit der Kreditkarte bezahlt, es ist einem freigestellt, sich „chippen“ zu lassen oder doch besser darauf zu verzichten. Was aber, wenn einem diese Freiheiten von höherer Stelle genommen werden? Was, wenn Geldscheine mit Transpondern unser Geld ablösen oder der bargeldlose Geldverkehr der einzig akzeptierte wird? Was, wenn Transponderimplantate Personalausweise ersetzen?

Bereits seit geraumer Zeit kursiert die Idee, Strafgefangenen einen Transponder als Erkennungszeichen und Ortungsmöglichkeit zu implantieren. Auf der einen Seite erhöht das wiederum die Sicherheit der Gefängnisse und damit die der gesamten Gesellschaft, andererseits ist auch ein Strafgefangener ein Mensch und hat dementsprechend gewisse Rechte und Freiheiten, einige von denen sollte man ihm vielleicht auch dann nicht aberkennen, wenn er das Gesetz gebrochen hat. Wieviel Mensch ist ein Straftäter eigentlich noch? Oder ganz allgemein formuliert: Wo sind moderne Technologien wie die Transpondertechnik am sinnvollsten einsetzbar? An Mülltonnen oder an Menschen?

Die Kompetenz, obige Fragen zu beantworten, habe ich leider nicht. Ich weiß auch nicht, ob irgendein anderer Mensch oder irgendein Gremium das Recht dazu hat und die nötige Weisheit aufzubringen vermag, dies zu tun. Wer immer sich dies jedoch anmaßt, er sollte mehr als nur ein paar Gedanken für die Zukunft unserer Gesellschaft opfern.

Quellen:

*<http://www.zeit.de>*

*<http://www.heise.de>*

*<http://www.ecb.int>*

*<http://www.bundesbank.de/ezb>*

Abschnitt 2:

# Mensch und Maschine wachsen zusammen

## Intelligente Prothesen

Mensch und Maschine wachsen zusammen

*Die Verschmelzung von Informatik und moderner Medizintechnik zur Bionik, mit dem Ziel Behinderten das Leben durch intelligente Prothesen zu erleichtern, aktuelle Projekte, Forschungsergebnisse und Zukunftspläne sind Gegenstand dieser Arbeit.*

*Da einige Projekte in diesem Bereich eher in Richtung Science Fiction gehen, wurden bewusst nur seriöse Quellen und Projekte ausgewählt, mit dem Ziel einen möglichst repräsentativen und aktuellen Forschungsstand wiederzugeben.*

### **Wie alles begann**

Vor unzähligen Generationen im Neandertal, als ein cleverer Invalide den begnadeten Einfall hatte, einen gabelförmigen Ast als Gehhilfe für ein verletztes Bein zu nutzen, war der erste Schritt in die richtige Richtung getan. Mit dem Ziel behinderten Menschen das Leben zu vereinfachen haben sich seitdem unzählige Forschergruppen auf den Weg gemacht, intelligente neuronale oder bionische Prothesen zu entwickeln. Die Anwendungsgebiete reichen von Körperprothesen über Seh- und Hörimplantate bis hin zu eingepflanzten Mikrochips.

### ***Apparate gleichen körperliche***

#### ***Schwächen aus und ersetzen ausgefallene Sinnesorgane***

Bereits seit Jahren wird routinemäßig Mikroelektronik in den menschlichen Organismus eingepflanzt, um wichtige körperliche Funktionen zu übernehmen. 1958 erfand der amerikanische Ingenieur Wilson Greatbatch den Herzschrittmacher und rettete damit Millionen von Patienten mit Herzrhythmusstörungen das Leben. Allein in Deutschland tragen heute rund 210 000 Menschen einen Schrittmacher. Beim Cochlea-Implantat übernehmen Mikrofon und Sprachprozessor die Funktion von Trommelfell und Hörknöchel, wobei die künstlichen Signale von einer implantierten Mikroelektrode auf die Hörschnecke (Cochlea) übertragen werden. Heute erlaubt die Prothese mehr als zehntausend ehemals tauben Menschen ein eingeschränktes, aber alltagstaugliches Hören.

## **Aktuelle Projekte**

Auf der ganzen Welt arbeiten Forscher an „Neuroprothesen“, elektronischen Implantaten, die Blinden das Sehen und Gelähmten das Laufen ermöglichen sollen.

### ***Bionischer Kunstarm - eine fast natürliche Hand***

Wer, in die Zeitung vertieft, nach einem Becher Kaffee greift, setzt großes Vertrauen in seinen Bewegungsapparat: Während die Aufmerksamkeit auf die Lektüre gerichtet bleibt, angelt sich die Hand das Heißgetränk, ohne dass die Augen die Greifbemühung der Hand kontrollieren. Das Manöver geht nur deshalb selten schief, weil andere Sinne den Bewegungszentren im Gehirn die nötigen Informationen liefern, um die rund 50 Muskeln in Unterarm, Hand und Fingern perfekt aufeinander abzustimmen: Positionsmesser melden die Stellung der Fingerglieder, Temperaturfühler warnen vor einer Verbrühung, Drucksensoren ermitteln die Stärke des Kontakts zum Kaffeebecher.

Der 47jährige Campbell Aird ist der erste Mensch, den Bio-Ingenieure und Ärzte am Princess Margaret Rose Hospital in Edinburgh mit einem voll funktionsfähigen bionischen Arm ausgestattet haben. Wie sein biologisches Vorbild lässt sich das künstliche Pendant von Nervensignalen steuern. Dazu nehmen Mikrosensoren oberhalb der Amputationsstelle an noch intakten Muskeln die vom Gehirn gesendeten Befehle auf.

Von dort werden sie an Mikrochips weitergeleitet. Deren Aufgabe ist es, relevante Informationen herauszufiltern und die komplizierte Mechanik des Arms in Gang zu setzen. Zugleich geben Potentiometer - empfindliche Spannungsmesser - genaue Rückmeldungen über die ausgeführten Bewegungen. Ohne den Zugriff auf ein funktionsfähiges Tastgefühl sind die internationalen Forschergruppen, die an einer Neuroprothese für den Arm arbeiten, allerdings noch vor ein großes Problem gestellt: Sie können zwar die Muskeln schon ziemlich genau ansteuern, aber ohne die taktile Empfindung greift die Hand viel zu fest nach einem Gegenstand. Und wenn der dann beispielsweise noch heiß ist, wird das fehlende Fingerspitzengefühl zur Gefahr. Kein Sensor kann bei diesem Sinneseindruck Alarm im Gehirn schlagen, damit die Hand loslässt.

Für Menschen mit gelähmten oder amputierten Gliedmaßen könnte der Fortschritt der Robotertechnik ebenfalls neue Möglichkeiten und Erleichterungen bringen. Bisher werden Prothesen beispielsweise meist durch die Nervensignale des noch erhaltenen Arm- oder Beinstumpfs gesteuert. Da die künstlichen Arme oder Beine nur auf ganz spezielle Signale reagieren, müssen Patienten meist erst mühsam lernen, genau dieses Signalmuster zu erzeugen - ein Prozess, der nicht nur viel Konzentration sondern auch Zeit erfordert. Das könnte sich bald ändern: Forscher der Tsukuba Universität in Japan

haben nun einen lernfähigen Roboterarm entwickelt, der die individuellen Signalmuster des Patienten lernt. Dank einer entwicklungsfähigen Hardware kann sich der Arm damit an den jeweiligen Menschen anpassen statt umgekehrt. In einem Test konnte nach nur zehn Versuchen der Roboterarm in 81 Prozent der Fälle die korrekten Bewegungen ausführen. Ein weiterer Vorteil: Bei vielen Amputierten verändern sich die Muskeln im verbleibenden Stumpf, der lernfähige Arm passt sich auch daran ohne Probleme an. Die neue Prothese soll nun in die ersten klinischen Tests gehen.

Einen anderen Ansatz verfolgen Forscher der Hahnemann Medizinhochschule in Philadelphia. Sie arbeiten an einer Methode, die es bald möglich machen soll, einen Roboterarm direkt durch Gehirnzellenaktivität zu steuern. Für Menschen, deren Gliedmaßen völlig gelähmt sind oder Amputierte, denen nicht einmal ein Stumpf geblieben ist, gab es bisher nur wenige Möglichkeiten, Prothesen oder Hilfsmittel zu steuern. Das neue System testeten die amerikanischen Wissenschaftler erst einmal in Versuchen mit Ratten. Diese lernten, einen Roboterarm herunterzudrücken, wenn sie Wasser bekommen wollten. In ihrem Gehirn eingepflanzte Elektroden registrierten das spezifische Muster bei dieser Bewegung und speicherten es. Im nächsten Schritt wurden die Elektroden direkt mit dem Roboterarm verbunden und die Ratten begriffen schnell, den Hebel allein durch ihre Gehirnaktivität zu betätigen.

Bevor dieses Verfahren allerdings auf den Menschen übertragen werden kann, müssen noch einige Hürden überwunden werden. Der Roboterarm in seiner jetzigen Form ist nur in einer Richtung beweglich, die Signalmuster der Gehirnzellen sind dementsprechend noch relativ einfach zu analysieren. Anders sieht es dagegen mit einer Prothese aus, die wie ein echter Arm auch in allen drei Dimensionen bewegbar sein soll. Ob die Methode auch noch den damit verbundenen komplexeren Gehirnaktivitäten gewachsen ist, soll die Zukunft zeigen.

Zwar funktionieren sowohl Computerchip als auch Gehirn auf der Basis von elektrischen Signalen. Aber im Silizium tragen Elektronen den Strom, im Gehirn dagegen Ionen. Das Problem: Die Ionen aus der Nervenzelle können nicht in den Halbleiter hinein, und die Elektronen aus dem Silizium nicht in die Zelle.

Im Labor scheint das Problem gelöst zu sein: Vor einigen Jahren hat man eine Methode gefunden, wie sich ein einzelnes Neuron, also eine Nervenzelle mitsamt Nervenfasern, mit einem Siliziumchip verbinden läßt. Der Trick: Anstatt beide direkt miteinander zu „verdrahten“, brachte Fromherz, Forscher am Max-Planck-Institut München, zwischen Neuron und Chip eine hauchdünne Glasscheibe an. Elektrische Ladungen können durch das Glas zwar nicht hin- und herfließen, aber der Siliziumchip „spürt“ das elektrische Feld der Nervenzelle.

Später war es auch möglich das Neuron dazu zu bringen, auf elektrische Spannungsschwankungen im Chip zu reagieren, und seit kurzem funktioniert beides gleichzeitig. Die Forscher können in einem Schritt die Zelle ansprechen und ihre Aktivität messen. Wenn man so will, ist das die primitive Version eines regelbaren Neurochips. Derzeit versuchen sich die Münchener Wissenschaftler an der Verknüpfung mehrerer Chips zum Aufbau eines einfachen neuronalen Netzes.

An einem weiteren viel versprechenden Projekt arbeiten Forscher an der Orthopädischen Klinik der Universität Heidelberg.

Die Prothese, mit der kürzlich der erste Patient versorgt wurde sieht aus wie eine Hand, sie fühlt sich an wie eine Hand und sie bewegt sich wie eine Hand und ist nur bei genauem Hinsehen von einer echten Hand zu unterscheiden. Eine Forschergruppe am Institut für Angewandte Informatik des Forschungszentrums Karlsruhe hat die künstliche Hand entwickelt.

Wichtiger als das fast echteÄussehen der Karlsruher Hand ist, dass sie dem natürlichen Vorbild auch in puncto Beweglichkeit nahe kommt. Herkömmliche Prothesen können sich nur öffnen und schließen, ähnlich wie eine Greifzange. Mit der neuen Handprothese kann der Patient dagegen verschiedene Griffe ausführen, die im Alltag wichtig sind.

So kann er nicht nur eine Flasche mit allen Fingern umschließen und hochheben, sondern auch Daumen und Zeigefinger alleine einsetzen, um zum Beispiel Gummibärchen aus der Tüte zu fischen. Er kann den Zeigefinger allein ausstrecken und eine Tastatur bedienen. Möglich ist jetzt auch der Schlüsselgriff, bei dem sich der Daumen seitlich an die geschlossenen Finger presst. "Damit kann der Prothesenträger einen Schlüssel ins Schloss oder eine Scheckkarte in einen Geldautomaten stecken", erläutert Georg Bretthauer, der das Institut für Angewandte Informatik in Karlsruhe leitet.

Ihre natürlich wirkende Beweglichkeit verdankt die künstliche Hand der „Mikro-Fluidaktorik-Technologie“, die an Georg Bretthauers Institut entwickelt wurde. Im Gegensatz zu bisherigen Prothesen, die aus mechanischen Gelenken bestehen und entsprechend unförmig aussehen, arbeitet die neue Kunsthand nach dem Hydraulik-Prinzip. In den Fingern stecken Kammern aus flexiblem Kunststoff, die so genannten Aktoren. Je nach gewünschter Bewegung drückt eine Pumpe eine ölhaltige Flüssigkeit in die Aktoren. Die verformen sich und bewirken, daß sich die Finger strecken oder krümmen. "Die Handprothese ist aus zehn solchen Kammern aufgebaut, um ein umfassendes Bewegungsspektrum zu ermöglichen", erläutert Stefan Schulz, der Leiter der Arbeitsgruppe. Einer der Vorteile dieses Konstruktionsprinzips ist, dass die künstliche Hand nicht schwerer ist als das natürliche Körperteil. Durch die flexiblen Kammern fühlt sie sich weich an und gibt dem Gegenüber nicht das Gefühl,

einem Roboter die Hand zu schütteln. Für natürliches Aussehen sorgt ein handschuhähnlicher Überzug, der einer gewachsenen Hand nachempfunden ist, einschließlich der Fingernägel.

Der Träger steuert die Bewegungen über Muskelzuckungen an seinem Armstumpf. Dort registrieren zwei auf die Haut geklebte Elektroden die dabei fließenden elektrischen Nervenimpulse. Mikroprozessoren in der künstlichen Hand steuern die Handbewegungen über die Flüssigkeitspumpe und Ventile. Je nachdem, wie oft oder wie stark der Patient mit seinen Unterarmmuskeln zuckt, bestimmt er, welche Bewegung seine Prothese ausführt. Der erste Patient lernte die Steuerkommandos in einer Viertelstunde.

Für Stefan Schulz und seine Karlsruher Kollegen ist die Entwicklungsarbeit noch nicht zu Ende: „Die Hand soll noch leichter werden und sich mit einer lernfähigen Elektronik auf ihren Träger einstellen können. Außerdem wollen wir eine Rückkopplungsfunktion integrieren, mit der der Patient dann über eine Art Tastsinn verfügt.“

### ***Elektrisches Licht im Dunkeln***

Es besteht aber auch ein starkes Bedürfnis nach einem Ersatz für verlorene Sehleistungen, weil allein in Deutschland jedes Jahr 30 000 Menschen wegen einer Schädigung der Netzhaut (Retina) im Dunkeln tappen. An der Universität Bonn entwickelt ein Team um Rolf Eckmiller ein Retina-Implantat, das Lichtmuster in elektrische Pulse übersetzt, mit denen man eines Tages den Sehnerv oder seine Anlaufstelle im Großhirn (Kortex) stimulieren will.

„Die Machbarkeit einer mikroelektronischen Sehprothese ist erfolgreich demonstriert worden“, sagt Eckmiller. Man stehe nun vor der „ersten Erprobung am Menschen nach streng medizinischen Kriterien“. Anfang des Jahres indes hat der Neurologe William Dobbie vom Presbyterian Medical Center in den USA der deutschen Arbeitsgruppe mit einem spektakulären Schritt buchstäblich die Schau gestohlen: Mit Hilfe einer Kamera und eines Computers, der mit einem Chip im Gehirn verbunden ist, hat Dobbie bei einem Patienten einen Teil des bei einem Unfall verlorenen Sehvermögens repariert.

Der Neurologe verwendet eine in eine Brille eingebaute Kamera. Sie liefert Bilder an einen tragbaren, vier Kilogramm schweren Computer, der die Größe eines Buches hat. Der Computer digitalisiert die Videoaufnahmen und sendet sie an die 68 Platinelektroden, die seit längerer Zeit auf der Oberfläche der Großhirnrinde des Patienten sitzen. Jede dieser Elektroden produziert ein bis vier „Phosphene“, die wie Lichtblitze auf einer dunklen Oberfläche erscheinen. Mit Hilfe dieser Impulse kann Jerry zwischen hell und dunkel unterscheiden.

Um seine neuen Fähigkeiten zu demonstrieren, lief Jerry vor Experten durch

einen Raum. Er ging zu einer Wand, an der ein Hut aufgehängt war, griff den Hut und setzte ihn einer Puppe auf, die in einer anderen Ecke des Zimmers stand. Dabei konnte er anderen Menschen, die auf ihn zugen, ausweichen. Seine Sicht entspräche der eines stark kurzsichtigen Menschen, sagen die Ärzte. Eckmiller allerdings wertet die Leistung der amerikanischen Konkurrenten ab. „Die sind mit einer Technik aufgetaucht, für die die USA vor Scham im Boden versinken müssten.“

Das hierzulande wohl ehrgeizigste Projekt koordiniert Rolf Eckmiller vom Institut für Informatik der Universität Bonn: die künstliche Netzhaut, im Fachjargon als „Retina-Implantat“ bezeichnet.

In Deutschland haben rund 200 000 Menschen ihr Augenlicht verloren, weil Krankheiten wie Retinitis Pigmentosa oder Makula-Degeneration im Laufe von Jahren die Sinneszellen der Netzhaut zerstört haben. Dagegen sind Sehnerv und zentrales Sehsystem noch intakt. Die Idee von Eckmiller und seinen Kollegen: Sie wollen die zerstörte Netzhaut durch einen lernfähigen, mit elektronischen Sensoren gespickten Sehprozessor, Encoder genannt, ersetzen. Er setzt das Bild in elektrische Signale um, die dann über den Sehnerv an das visuelle Zentrum im Gehirn weitergeleitet werden. Das Problem: „Der Encoder ist in einem Brillengestell untergebracht und muß mit den intakten Nervenzellen im Auge kommunizieren“, so Eckmiller. „Deshalb müssen wir im Augapfel eine dünne, biegsame Folie mit 500 Mikrokontakten implantieren.“

Daß sich Sehnerven durch elektrische Impulse künstlich stimulieren lassen, konnten US-Forscher bereits mit Versuchen an Freiwilligen beweisen. Die Blinden bahenplötzlich einen gelben Ring, groß wie ein Streichholzkopf. Wie gut sich jedoch das Sehvermögen eines Erblindeten wiederherstellen läßt, weiß Eckmiller noch nicht: „Aus der Sicht der Betroffenen geht es nicht ums Lesen oder Fernsehen, sondern um die Orientierung in der Wohnung, in einer Fußgängerzone oder einem Kaufhaus. Die Patienten sollen ein Fenster von einer Tür, einen Stuhl von einem Tisch unterscheiden können.“

Um das ehrgeizige Ziel zu erreichen, haben sich vor anderthalb Jahren 14 Forscherteams aus ganz Deutschland zu einem interdisziplinären Konsortium zusammengeschlossen, an dem Augenärzte ebenso beteiligt sind wie Elektroniker, Informatiker und Hirnforscher. Das Bundesforschungsministerium fördert das Vorhaben vier Jahre lang mit zehn Millionen Mark. „Das Projekt macht sehr gute Fortschritte“, so Eckmiller. „In zweieinhalb Jahren wollen wir eine erste Version des Retina- Implantats tierexperimentell erproben.“ Anschließend hoffen die Experten auf weitere Forschungsgelder, um in fünf bis sechs Jahren die Ergebnisse auf den Menschen übertragen zu können.

Einige US-Wissenschaftler wollen Blinden helfen, bei denen die Nervenverbindung vom Auge zum Gehirn gestört ist. Sie arbeiten an einer Neuroprothese, deren Mikrokontakte direkt in den für die Sehwahrnehmung zuständigen Bereich der Hirnrinde im Hinterkopf eingepflanzt werden. Unter dem Mikroskop erinnert das aus Silizium bestehende Implantat an eine Schar von Kämmen, deren „Zinken“ in Wirklichkeit aber nur anderthalb Millimeter lang sind. Ebenso wie beim Retina Implantat ist der Sehprozessor mit den Fotosensoren in einer Brille untergebracht. Dessen Signale werden jedoch nicht zu einem Netzhautimplantat geleitet, sondern an den Siliziumkontakt in der Sehhirnrinde.

## **Ausblicke in die Zukunft**

### ***Auf dem Weg zum digitalen Körper?***

Gerade beim Ersatz ausgefallener Sinnesleistungen werden die Maschinen in naher Zukunft auf breiter Front antreten. Beim Gehör ist die maschinelle Ergänzung besonders weit fortgeschritten. Zu Tausenden werden inzwischen Cochlea-Implantate eingepflanzt. Bei ihnen übernimmt ein Minicomputer die Funktion des ausgefallenen Hörorgans und übermittelt akustische Eindrücke über implantierte Elektroden direkt an die Hörschnecke.

Die zukunftsgläubigsten Prognosen sagen bereits die baldige Vernetzung der neuronalen und der kybernetischen Welt vorher. Dieser Gedanke liegt etwa dem Projekt „Soul Catcher“ des britischen Telekommunikationsunternehmens P.L.C. zugrunde, das an der Entwicklung eines implantierbaren Minichips arbeitet. Der Hilfscomputer soll unser Denkkorgan eines Tages beim Erinnern, beim Rechnen und beim Einfangen „extrasensorischer“ Informationen (Funkwellen) unterstützen.

Es gibt auch Forscher, die den Einsatz künftiger Neuroprothesen nicht auf Kranke und Behinderte beschränkt sehen. „Ich glaube, die zweite Gruppe von Anwendern werden die Militärs sein“, sagt Gerald „Chip“ Maguire, Professor für Computerkommunikation am Königlichen Institut für Technologie in Stockholm. Im Kriegsfall könnten seiner Ansicht nach die Überlebenschancen eines Piloten steigen, wenn er seinen Abfangjäger steuern könnte, ohne sich dabei körperlich bewegen zu müssen. Denn in einem Kampfjet herrschen so große Fliehkräfte, daß Bewegungen sehr langsam werden. Ausprobiert haben die Militärforscher bereits die Flugzeugsteuerung per EEG: Auf den Kopf aufgesetzte Elektroden messen die Hirnströme des Piloten, ein Spezialcomputer soll daraus ablesen, ob die Maschine nach rechts oben oder nach links unten fliegen soll. Gerald Maguire sieht jedoch nur geringe Chancen, daß dieses Verfahren jemals präzise genug funktioniert. Vielversprechender

erscheint es ihm, ein Neurochip-Implantat direkt an das Nervensystem des Piloten anzukoppeln - der erste Schritt zum lebenden Kampfroboter. Maguire hält auch den Einzug der Neuroprothesen in das Berufsleben für möglich: „Man stelle sich einen Broker vor, der Aktien kauft und verkauft. Kann er mit Hilfe implantierter Elektronik schneller auf eine Information reagieren als sein Konkurrent, dann ist er es, der das Rennen macht!“ Dabei sollen die Elektro-Sensoren vor allem die Interaktion zwischen Mensch und Computer beschleunigen. „Wer geübt ist, schafft 15 Anschläge pro Sekunde am Rechner“, so Maguire. „Aber unser Denken funktioniert rund 100mal schneller. Gäbe es eine Direktverbindung zwischen Hirn und Computer, könnte die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine im Prinzip 100mal schneller ablaufen!“ Die Vision: Menschen befehlen mit ihren Gedanken Computer und empfangen gleichzeitig via Neurochip Daten aus dem Rechner, Direktzugang zum Internet inklusive. Bei direkter Dateneinspeisung ins Gehirn wären echte Sinneseindrücke von vorgegaukelten womöglich nicht mehr zu unterscheiden.

### **Fazit**

Zweifellos sind die Erfolge im Bereich der bionischen und neuronalen Körperprothesen bahnbrechend. Blinde können teilweise wieder sehen, Taube wieder hören und Querschnittsgelähmte können kleine Schritte machen. Es zeichnet sich ab, dass die Forschung in den kommenden Jahren zunehmend Einzug in die alltägliche Medizintechnik halten wird. Dennoch sind wir von einem „Visor“ alla Enterprise Chefingenieur La Forge oder gar vollständigen Cyborgs, Terminator like, noch weit entfernt. Doch sollte man sich vielleicht mal Gedanken darüber machen, was passiert, wenn sich diese Technik irgendwann nicht mehr nur darauf beschränkt Teile verloren gegangener Fähigkeiten des Menschen zu ersetzen. Noch sind komplexe Neuroimplantate Zukunftsmusik, aber gerade durch militärisch finanzierte Forschungsprojekte könnte es bald dazu kommen, erste Anwendungsgebiete auch bei der Aufrüstung menschlicher Fähigkeiten zu finden. Sind wir dann auf dem Weg in eine Zwei-Klassen-Gesellschaft, die mit Neuroimplantaten und die ohne? Lassen sich solche Anwendungsgebiete noch ethisch vertreten und wer wird dann der erste Cyborg sein?

Quellen:

*Berliner Zeitung - Wissenschaftsbeilage*  
*Tagesspiegelarchiv*

Abschnitt 3:

# Simulation von Vorgängen in der Natur

## Evolution durch Supercomputer verändern?

Mit einem Supercomputer will IBM helfen, den Geheimnissen des menschlichen Körpers auf die Spur zu kommen. Blue Gene soll tausend Mal schneller arbeiten als der Rechner Deep Blue, der 1997 in einem Turnier Schachweltmeister Garry Kasparow besiegen konnte.

IBM will Blue Gene in rund fünf Jahren fertigstellen und dabei 100 Millionen Dollar ausgeben. Er soll eine Billion (1.000.000.000.000.000) Rechenoperationen in der Sekunde ausführen können (ein Petaflop<sup>5</sup>). Das wäre eine Million Mal schneller als ein heutiger Arbeitsplatzrechner. Dazu soll "Blue Gene mit einer Million Prozessoren arbeiten.

Ein Forscher am nationalen Krebsinstitut der USA, Stan Burt, erklärte, die Analyse von Proteinen sei so etwas wie der Heilige Gral der Biologie. Viele Krankheiten ließen sich auf Probleme im Bereich der Proteine zurückführen, und das sind hochkomplexe Strukturen. Jede Proteinkette kann mehr als tausend Verbindungen haben, von denen jede zehn verschiedene Varianten haben kann. IBM schätzt, dass selbst Blue Gene ein Jahr brauchen würde, um ein einzelnes Protein mit 300 Verbindungen in der Kette durchzurechnen.

Aufbauend auf dem Wissen, das bei der Entwicklung von Deep Blue gewonnen wurde, soll Blue Gene vornehmlich die komplizierten Faltungen von Aminosäuren zu Proteinen simulieren. Erst die genaue Kenntnis der dreidimensionalen Struktur der Proteine, die durchschnittlich aus 10000 Atomen bestehen, eröffnet ein breites Anwendungsspektrum etwa für neue Therapien durch die Herstellung von therapeutischen Proteinen, um Krankheiten zu bekämpfen.

Proteine sind das Bindeglied zwischen Genotyp (Träger der Erbinformationen) sowie dem eigentlich entstehenden Individuum, dem Phänotyp.

Um einen Nutzen aus der genetischen Information der DNA ziehen können, muss man wissen, wie Gene über die Synthese von Proteinen die Eigenschaften eines Organismus bestimmen, denn Gene enthalten nichts weiter als die

---

<sup>5</sup>Flop steht für „Floating Point Operation“, entspricht der Multiplikation von zwei Binärzahlen mit 16 Stellen hinter dem Komma und ist ein gebräuchliches Mass für die Leistungsfähigkeit von Grosscomputern.

Instruktionen zur Herstellung bestimmter Proteine. berdies sind viele der DNA-Sequenzen nicht codierend, enthalten also keine Informationen, die zur Herstellung eines RNA-Moleküls (Transkription) und schlielich zur Bildung eines Proteins (Translation) benötigt wird. Wichtig dabei ist, wie sich die durchschnittlich 10000 Atome, aus denen ein Protein besteht, zu einem dreidimensionalen Gebilde falten. Ziel der Gentechnik wären natürlich, nicht nur die Proteine, die von den ungefähr 100000 menschlichen Genen hergestellt werden, vorauszusagen, sondern auch die dreidimensionale Struktur der Proteine. Wäre die Proteinfaltung genauestens erforscht, so ergäbe dieses eine Vielzahl von Möglichkeiten im Hinblick auf die Medizin, etwa für neue Therapien durch die Herstellung von Proteinen, die selbst Krankheiten bekämpfen.

IBM steht mittlerweile an der Spitze der Liste der 500 leistungstärksten Supercomputer, die im Einsatz sind, gefolgt von Cray und Sun. BDa IBM Wissenschaftler erwarten, die enorme Petaflop-Rechnerleistung in etwa 5 Jahren erreichen zu können, waere dies in einem Drittel der Zeit, die nach dem „Moore’schen Gesetz“<sup>6</sup> vergehen müsste, bis Computer in diesen Leistungsbereich vorstossen.

Zum Vergleich:

Die zwei derzeit schnellsten Computer der Welt, Teil des ASCI-Programms<sup>7</sup> des US-Energieministeriums, schafften kürzlich eine Leistung von je 2 Teraflops. Das sind „nur“ zwei Billionen Instruktionen pro Sekunde.

Als Grundlage dient eine völlig neue Computer-Architektur. „Diese erste groe Revolution im Computerbau seit Mitte der achtziger Jahre wird die enorme Leistungssteigerung ermöglichen“, sagt Dr. Ambuj Goyal, Leiter der Computerwissenschaften in der IBM Forschung. SMASH steht für „Simple“, „Many“ und „Self Healing“.

---

<sup>6</sup>Nach „Moore’s Law“ verdoppelt sich die Leistungsfähigkeit der Computer rund alle 18 Monate

<sup>7</sup>ASCI steht für „Accelerated Strategic Computing Initiative,“

Die SMASH-Architektur ist in dreifacher Hinsicht revolutionär:

- Sie vereinfacht massiv den Satz an Instruktionen, die jeder einzelne Prozessor abarbeiten muss. Dies ermöglicht eine schnellere Verarbeitung bei geringerem Energieverbrauch und einfacherer Prozessorstruktur. Bisher wurden Leistungssteigerungen mit höherer Komplexität der Prozessoren erreicht.
- Sie ermöglicht ein hochparalleles System mit mehr als 8 Millionen gleichzeitiger Folgen von Verarbeitungsschritten („Threads“). Bislang sind maximal 5.000 möglich.
- Blue Gene verfügt über eine Art Eigenstabilisierungs- und Selbstheilungsmechanismen und kann damit die Auswirkungen von fehlerhaften Prozessoren und Verarbeitungsschritten automatisch eliminieren.

„Blue Gene“ wird aus mehr als einer Million Prozessoren bestehen, von denen jeder eine Milliarde Instruktionen pro Sekunde (1 Gigaflop) leisten kann. 32 dieser ultraschnellen Prozessoren sind auf einem einzigen Chip vereint, der somit 32 Gigaflops leistet. Eine kompakte, rund 60 mal 60 Zentimeter große Einschubkarte wiederum fasst 64 dieser Chips und schafft so 2 Teraflops. Zum Vergleich: Der ASCI-Computer belegt für die gleiche Rechenleistung eine Fläche von rund 750 Quadratmetern. Acht der rund 64-Chip-Karten des geplanten IBM Supercomputers finden Platz in einem rund 1,80 Meter hohen Rack - macht 16 Teraflops. Und der vollständige Petaflop-Computer besteht aus 64 miteinander verbundenen Racks, die eine Fläche von weniger als 200 Quadratmetern beanspruchen werden.

Da die Hardware aus Gründen der Steigerung der Geschwindigkeit vereinfacht wird, wächst dem Schreiben der Software die Aufgabe zu, die Komplexität zu bewältigen, die bei der Faltung der Proteine vorliegt. Unter anderem muss die Software auch dann weiterarbeiten können, wenn einige Prozessoren ausfallen.

Allerdings existieren ausser ein paar Ideen noch keine konkreten Lösungen dazu.

Doch selbst wenn dieser Supercomputer in der geplanten Zeit realisiert würde, bräuchte er noch ein ganzes Jahr, um die Faltung eines einzelnen Proteins zu simulieren, während der Körper gerade einmal eine Sekunde dafür braucht.

Festzuhalten bleibt dass ohne die Hilfe von Supercomputern Genetiker der Datenflut des menschlichen Erbgutes nicht mehr Herr werden.

Sowohl bei der Entschlüsselung als auch beim Verständnis der Gene helfen schnelle Rechner.

Blue Gene soll dann später in der Lage sein, alle Vorgänge bei der Proteinfaltung zu simulieren oder vorherzusagen. Damit könnte die Funktion des Proteins exakt bestimmt werden.

Über die Welt verteilt und durch das Internet verbunden speichern bereits mehrere hundert Datenbanken die Buchstabenfolgen analysierter Gene. Prozessoren vergleichen dabei Millionen Einträge miteinander. Immer mehr Erbanlagen werden so von immer mehr Organismen entschlüsselt.

Für das Verbessern der Software, speziell die ihr zugrunde liegenden Verfahren, zeichnet sich die Bioinformatik aus. Diese sollte helfen, unter Anwendung entsprechender statistischer Verfahren biologisch relevante Muster in massiven Datenmengen zu erkennen (laut Deutscher Forschungsgemeinschaft, DFG).

Außerdem sollen endlich existierende Theorien anhand von Simulationen überprüft werden. Schon jetzt helfen beim Drug Design Computer bei der Entwicklung neuer Medikamente.

Für die Wissenschaftler ist das Verständnis von der Art und Weise, wie sich Proteine falten, eine der größten Herausforderungen. Die Lösung dieses grundsätzlichen Problems hat weitreichende Konsequenzen nicht nur für Forschung und Lehre, sondern auch handfeste wirtschaftliche Auswirkungen. Denn es sind die Proteine, die alle zellulären Prozesse im menschlichen Körper kontrollieren. Sie bestehen aus mehreren Aminosäureketten, die sich zu einer hochkomplexen dreidimensionalen Struktur auffalten. Diese Struktur wiederum bestimmt die Funktion des Proteins. Jede noch so kleine Veränderung im Faltungsprozess und damit der 3D-Struktur verändert auch die Funktion des Proteins: Krankheiten können entstehen.

So verhelfen Faltungssimulationen und Verstehen der zugrunde liegenden Gesetze auch der Wissenschaft und Medizin zum besseren Verständnis zur Bekämpfung von Krankheiten.

Pharmaunternehmen beispielsweise synthetisieren High-Tech-Medikamente, die ausschließlich auf die Bedürfnisse einer speziellen Person zugeschnitten sind. Die Medizin wiederum kann wesentlich schneller auf Veränderungen im Erbgut von Bakterien und Viren reagieren. Solche Mutationen verhelfen den Krankheitserregern zur Resistenz gegen bestimmte Medikamente oder gar Medikamentenklassen. Dr. Paul M. Horn sieht die Zukunft so: „Eines Tages werden Sie zum Arzt gehen, der Ihre Gewebeprobe von einem Computer analysieren lässt. Dieser identifiziert das krankmachende Protein und

schlägt umgehend eine auf diese Krankheit und ihr spezifisches Genprofil zugeschnittene Behandlung vor.“

Biologie-, Medizin- und Computerwissenschaften wachsen in dieser Richtung zusehends zusammen.

Allerdings wird der Missbrauch, der vielen Erkenntnisse die daraus entstehen werden, wohl auch nicht auf sich warten lassen.

Auch die Möglichkeit Gene und Proteine aus medizinischen oder militärischen Gründen (z.B. Soldaten die gegen bestimmte biologische Waffen immun sind) zu verändern könnten sehr wohl Folgen für viele spätere Generationen haben die heute (wie vieles andere) noch niemand ahnt.

Rund 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für „Deep Computing“ und dessen Gruppe für computergestützte Biologie der IBM Forschung arbeiten am Projekt „Blue Gene“, um das Rätsel der Proteinfaltung zu lösen.