



BERUFSAKADEMIE | M A N N H E I M
university of cooperative education | staatliche studienakademie

Fachrichtung Informationstechnik

Referat
-- Innovative Architekturen --



Mannheim, den 04.12.2004

Doreen Seider

Enrico Tappert

Christian Siegl

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
1. DEFINITION NANO	1
1.1. KURZER HISTORISCHER ABRISS.....	1
2. NANOBIOLOGIE	2
2.1. NANOBIOLOGIE ZUR BESEITIGUNG VON KREBSZELLEN.....	3
2.2. NANOBOTS	4
2.3. MINI-U-BOOTE	5
3. HOCHLEISTUNGSSCHIPS	6
3.1. ZUNGEN-DISPLAY	6
3.2. PROJEKT CYBORG	8
3.3. BRAINGATE.....	9
4. PROTHETIK	11
4.1. DAS RETINA IMPLANTAT.....	12
4.1.1. <i>EPI-RET-Projekt</i>	14
4.1.2. <i>SUB-RET-Projekt</i>	14
4.2. INTRAOKULARE SEHHILFE (IOS).....	15
4.3. C-LEG	16
4.4. DIE SENSOR-HAND.....	17
QUELLENANGABEN	20

1. Definition Nano

Nano steht meist im Zusammenhang mit etwas sehr kleinen, es wird als Einheiten Vorsatz verwendet und beschreibt das Verhältnis zwischen den unterschiedlichen SI-Einheiten. Das Verhältnis von Meter zu Nanometer entspricht $1:10^9$, d.h. 1 Milliarde Nanometer sind gerade mal 1 Meter. Operationen auf dieser Ebene spiegeln sich im Bereich der Atome wider, deren Durchmesser in der Größenordnung von einem Zehntel Nanometer bis hin zu einem Nanometer (10^{-10} bis 10^{-9} Meter) liegen. Da man in diesem winzigen Bereich kaum noch Gewichtsangaben von Gramm oder sogar von Kilogramm verwendet, was auch nicht sinnvoll ist, hat man die Masseinheit amu (atomic mass unit) eingeführt. Damit entspricht 1 amu dem Zwölftel der Masse eines Kohlenstoffisotops ($1 \text{ amu} = 1,66 \times 10^{-12} \text{ kg}$).

1.1. Kurzer historischer Abriss

Die Miniaturisierung spielt heutzutage eine wichtige Rolle. Der Vater der Miniaturisierung, auf dem Gebiet der Nanotechnologie, ist der berühmte Physiker Richard Feynman. Er hat damals 1959 die Ingenieure in aller Welt dazu aufgerufen einen Motor zu konstruieren, der in einen Würfel mit der Kantenlänge von weniger als vier Zehntel eines Millimeters passt. Die Ingenieure haben diese Aufgabe innerhalb eines Jahres erledigt. Im Vergleich zum heutigen technischen Fortschritt ist dieser damals konstruierte Motor ein Riese, wenn man bedenkt, dass heutzutage ein moderner Laptop mehr leisten kann als ein damaliger Computer, der die Ausmaße eines Saals hatte, dann erkennt man, dass der technische Fortschritt im Bereich der Miniaturisierung kein Halt gemacht hat. Erst die Bedürfnisse der Industrie und Forschung haben es möglich gemacht diese Entwicklung voran zu treiben bis zur heutigen Nanotechnologie. Die Nanotechnologie wird bereits heute in den Bereichen der Bautechnik, der Biologie und Medizin sowie in der Computertechnik eingesetzt.

Dieser Bericht geht dabei auf den Bereich der Nanotechnologie in der Biologie sowie Medizin ein.

2. Nanobiotechnologie

Die Nanobiotechnologie ist noch ein sehr junges aber dennoch weit gefasstes Forschungsgebiet. Das Ziel der Nanoforschung ist in verschiedenen technischen Bereichen angesiedelt und bildet eine Schnittstelle zwischen der Forschung an biologischen und nicht-biologischen Systemen. Motivation finden diese Forschungen vor allem durch die Entwicklungen der Miniarisierung von Bauteilen und deren Funktionalität – auch mit Hilfe der Nanotechnologie. Dieser Trend hat auch den Bereich der Biologie und Medizin erfasst.

Die Nanobiotechnologie lässt sich in einzelne Subthemen strukturieren, die im Folgenden aufgelistet werden:

- Produktionsprozesse
- Biosensoren und Biomembranen
- Lichtenergetische Prozesse
- Biomolekulare Motoren und Aktuatoren
- Informations- und Kommunikationstechnik

Das Themenfeld der Produktionsprozesse ist tiefgehend und weit gefächert, dabei geht es vermehrt darum, wie man Nanostrukturen aufbauen kann, welche Verfahren und welche Technologien dazu eingesetzt werden. Das Themenfeld der Biosensoren und Biomembranen beschäftigt sich mit der Herstellung von Biomembranen und Biosensoren, z.B. als Filterelemente (im Bereich der Lebensmittelindustrie und der Trinkwasseraufbereitung), die eine hohe Durchflussrate bei geringen Produktionskosten haben. Das Themenfeld der Lichtenergetischen Prozesse wiederum beschäftigt man sich damit Sonnenlicht zur Energiegewinnung zu verwenden, basierend auf dem Prinzip der Photosynthese bei Pflanzen. Wenn man diese Vorgänger verstanden hat und sie technisch umsetzen kann, wird dieser Bereich der Nanobiotechnologie sehr viel Veränderungen bewirken. Biomotoren werden als Proteinmaschinen verwendet, die z.B. als Schalter, Pumpen oder zum Transport dienen. Aktuatoren hingegen wandeln chemische Energie in mechanische um. Der Bereich Informations- und Kommunikationstechnik beschäftigt sich u. a. mit der Molekularelektronik, d.h. die Konstruktion, Verdrahtung und der Einsatz von Bauteilen. Weiterhin beschäftigt sich dieser Bereich mit der Datenspeicherung und mit Sicherheitsspezifischen Merkmalen mit dem Bezug der Nanobiotechnologie zum DNA-Computing sowie zur Neurotechnologie.

2.1. Nanobiotechnologie zur Beseitigung von Krebszellen

Der Einsatz der Nanotechnologie im Bereich der Medizin und Biologie hat die Möglichkeiten der Vernichtung von Krebszellen im menschlichen Organismus revolutioniert. So hat der Berliner Strahlenbiologe Dr. Andreas Jordan seit 15 Jahren eine hilfreiche Methode entwickelt, gegen diese (oft schädlichen) Zellen vorzugehen. Bei dieser Methode werden superparamagnetische Nanopartikel in den Körper des Patienten gegeben. Diese Nanopartikel werden von den Krebszellen als Nährstoff angesehen und durch den Stoffkreislauf in die Zellen aufgenommen. Es werden bis zu 10 Millionen dieser Nanopartikel pro Krebszelle aufgenommen. Diese Nanopartikel fungieren jedoch als so genannte trojanische High-Tech-Pferde und tarnen sich somit als Nährstoff. In ihrem Inneren enthalten sie ein Eisenoxid und besitzen trotz ihrer Winzigkeit magnetische Eigenschaften. Diese magnetischen Eigenschaften machen sich die Mediziner der Berliner Charité zu nutze und versetzen diese Nanopartikel in Schwingungen, mit einer Frequenz von bis zu 100.000 Hz. Dies führt dazu, dass sich das Tumorgewebe auf über 45 Grad erhitzt, so dass die Krebszellen vernichtet werden. Die abgestorbenen Zellen werden dann von den körpereigenen Abwehrzellen entsorgt. Diese Wärmetherapie der Tumorvernichtung durch den Einsatz von Nanopartikeln wurde sogar bereits erfolgreich in Deutschland angewandt. Bei einem 26jährigen Studenten aus Regensburg konnte mit den konventionellen Behandlungsmethoden nicht von seinem Tumor im Schlüsselbein befreit werden. Er wandte sich an die Strahlenbiologen aus der Charité. Die Mediziner haben den Studenten von seinen Krebsleiden befreit, dazu wurde der Patient 4mal mit der neuen Nanotherapie behandelt, mit dem Ergebnis, dass sich der Tumor zurückgebildet hat. Nach einigen Wochen konnte man keine Krebszellen mehr finden. Der Student wurde als krebsfrei eingestuft und wurde aus der Klinik entlassen (siehe Abbildungen 1 - 3).

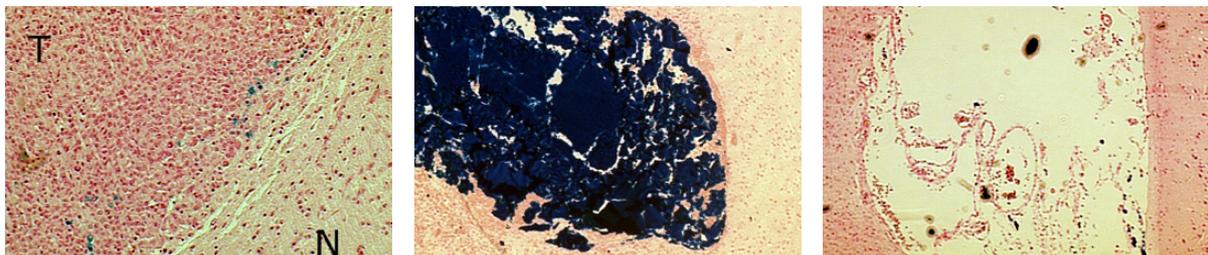


Abb. 1: Gewebe vor der Behandlung mit Tumorzellen (T) und gesunden Gewebe (N);
Abb. 2: Tumorzellen mit Nanopartikeln; **Abb. 3:** Gewebe nach der Behandlung

Diese Art der Therapie hat erstmals gezeigt, dass Tumorgewebe durch eine gezielte Erwärmung des Tumorgewebes vernichtet werden konnte ohne dabei umliegendes gesundes Gewebe zu zerstören. Die Erforschung und Entwicklung der Therapie begann Jordan an der Berliner Universitätsklinik Charité bereits 1988. Seit 1996 kooperiert er bei der Entwicklung der komplexen Nanopartikel mit dem Saarbrücker Leibniz-Institut für Neue Materialien (INM).

2.2. Nanobots

Nanobots sind kleine Roboter, so auch das Wort Nanobots (Nano-Roboter), die für medizinische Aufgaben prädestiniert sind. Die Zukunft der Nanobots könnte so aussehen, wie man es bereits von Science-Fiction-Filmen kennt. In nicht also ferner Zukunft, d.h. 10-15 Jahren, könnten sie bei dem Aufbau von Nanostrukturen helfen. Dieser Aufbau ist heutzutage noch sehr aufwändig und nimmt eine Menge Zeit in Anspruch. Bei dem Zusammenbau von Nanostrukturen geht es darum einzelne Atome aus einem Verbund herauszulösen oder gegebenenfalls Fremdatome einzusetzen. Diese Aufgabe erledigt man im Moment durch den Einsatz eines Rastertunnelmikroskops. Da Nanostrukturen kleiner sind als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts, kann man beim Aufbau von Nanostrukturen auf herkömmliche Mikroskope verzichten. Die Funktion eines Rastertunnelmikroskops ist allerdings kein Bestandteil dieses Berichts und wird daher auch nicht näher erklärt. Bei diesem Problem des Aufbaus von Nanostrukturen könnten nun zukünftige Nanobots eingreifen und die Arbeiten unterstützen.

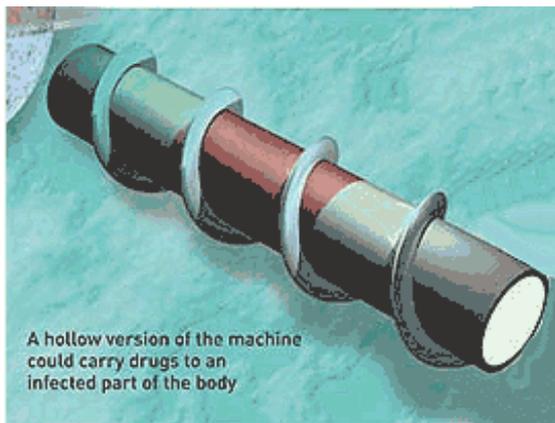


Abb. 4: erster Prototyp

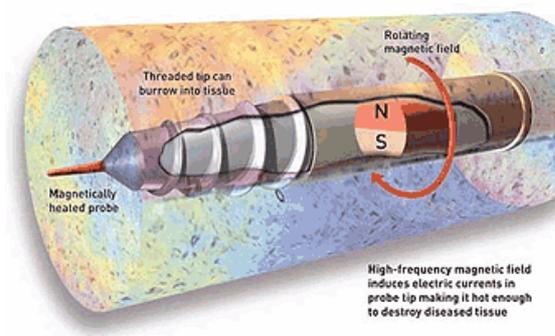


Abb. 5: zweiter Prototyp

Momentan jedoch werden Nanobots in der Medizin zum Transport von Medikamenten an gezielte Stellen im Körper eingesetzt oder auch zur Bekämpfung von Tumorzellen. Japanische Wissenschaftler haben einen ersten Prototyp eines Nanoroboters entwickelt, siehe Abbildung 4. Dieser hatte die Form einer reiskorngroßen Schraube und bestand aus einem Zylinder der magnetisch Eigenschaften besitzt. Am Ende des Zylinders befindet sich ein Keramikrohr und zusätzlich ist ein Draht schräg um den Zylinder gewickelt, dieser bewirkt, dass sich das Gebilde durch eine schraubenförmige Bewegung durch den Körper schwimmen kann. Dieser Nanobot kann durch ein 3D-Magnetfeld gesteuert werden, man kann so diesen Prototyp an fast jede Stelle im Körper manövrieren. Der Vorteil von solchen kleinen Geräten ist, dass man sie durch einfache Injektionen in den Körper bringen kann. Später wurde dann noch ein zweiter Prototyp von den gleichen

Wissenschaftlern entwickelt, dieser konnte nun noch zusätzlich durch eine kleine Metallspitze, die erwärmt werden konnte, Krebszellen vernichten.

Der Nachteil daran ist, dass diese winzigen Nanobots immer noch zu groß sind um sie Massenhaft in der Medizin einzusetzen. Diese Nanobots wurden auch an einem 20 mm dicken Steak getestet.

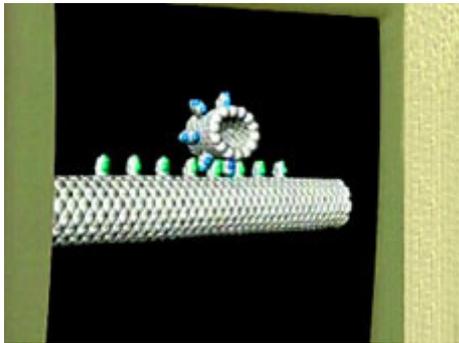


Abb. 6: Nanobot mit Schaufelradantrieb

Ein Forschungsteam aus Frankreich hat einen molekularen Vierbeiner entwickelt, der von dem Strahl eines Rastertunnelmikroskops angetrieben werden muss. Jedoch konnte man diesen Vierbeiner nur ein paar Zentimeter bewegen, wobei man bedenken muss, dass diese Dimension für ein Nanobot eine beträchtliche Strecke ist. Dieser Vierbeiner wurde dann später zu einem Geländefahrzeug (siehe Abbildung 6) ausgebaut, statt auf vier Beinen nimmt das Fahrzeug jetzt auf Schaufelrädern die atomaren

Hürden. Leider ist bis dato noch kein Antrieb dieses Fahrzeugs vorhanden. Es wird jedoch daran gearbeitet einen Motor für diesen Nanobot zu bauen. Dieser Nanobot könnte so als Putzkolonne im menschlichen Körper auschwärmen.

2.3. Mini-U-Boote

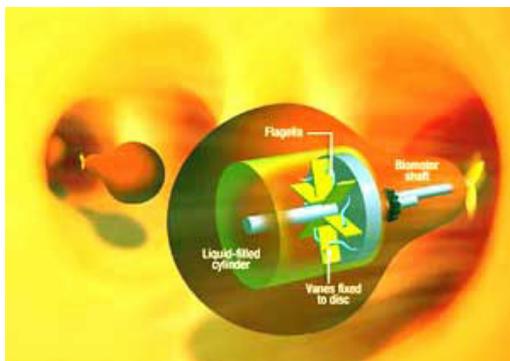


Abb. 7: grafische Darstellung eines Mini U-Bootes durch Geiselantrieb

Mini U-Boote sind ebenfalls eine Art Nanobot, nur werden diese extra betrachtet, da man sich hier einer anderen technischen Fortbewegung dieser kleinen U-Boote bedienen möchte. Die Aufgabe dieser U-Boote sind ebenfalls die gleichen, wie die der Nanobots: Sie sollen Medikamente an gewisse Stellen im Körper transportieren oder Krebszellen

vernichten. Man möchte diese Mini U-Boote (siehe Abbildung 7) allerdings nicht durch ein 3D-Feld durch den Körper steuern sondern man möchte, dass diese kleinen U-Boote selbständig durch den Körper schwimmt und die Aufgaben ebenfalls selbständig abarbeitet. Dieser Antrieb soll dem Antrieb von Bakterien ähneln, man spricht in diesem Zusammenhang von einem Geiselantrieb. Dazu werden die Bakterien auf einer Silikonscheibe angebracht. Die Bakterien befinden sich in einem mit Flüssigkeit gefüllten Zylinder, durch die natürliche Bewegung der Bakterien könnte man so einen winzigen Motor antreiben und mechanische Energie erzeugen und damit wiederum das Mini U-Boot durch den Körper bewegen. Derzeit wird der Biomotor noch am Computer simuliert, um das effektivste Design auszuarbeiten. In wenigen Monaten allerdings soll schon mit dem Bau eines Prototyps begonnen werden.

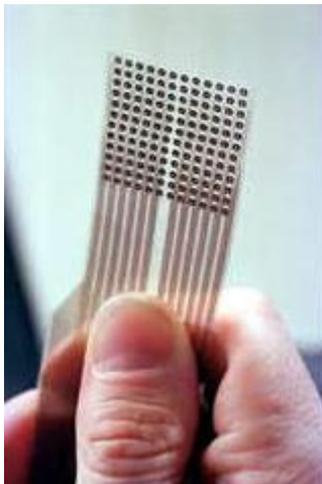
3. Hochleistungschips

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den neuesten Entwicklungen von Chip-Implantaten im menschlichen Körper und anderen Prozessoren und deren Ziele.

3.1. Zungen-Display

Bereits vor 40 Jahren entwickelte der US-Neurobiologe Paul Bach-y-Rita die Idee, Blinden zu mehr Mobilität zu verhelfen, indem die mit einer Kamera aufgenommenen Informationen an andere Sinnesorgane, zum Beispiel dem Tastsinn, des Menschen übertragen werden.

Amerikanische Wissenschaftler der Universität von Wisconsin haben jetzt diese Idee wieder aufgenommen und eine Art Zungen-Display namens "Tactile Vision Substitution System" (TVSS) entwickelt. "Man sieht sowieso nicht wirklich mit den Augen, sondern mit dem Gehirn, das nur die richtigen Informationen benötigt, um sich visuell orientieren zu können." [9] Eine kleine Videokamera, an einem Brillengestell befestigt, soll dabei die Bildsignale an eine Verarbeitungseinheit funken, die diese in elektrische Signale umwandelt.



Die Signale werden dann an eine Matrix (nicht viel größer als eine Briefmarke) aus insgesamt 144 vergoldeten Elektroden (12 x 12 Elektroden mit einem Durchmesser von jeweils 2.13 mm) gesandt.

Abb. 8: Matrix aus vergoldeten Elektroden



Die so genannte Zungen-Display-Einheit (ZDE; englisch: "Tongue Display Unit" TDU) wird auf die Zunge gelegt und leicht gegen den Gaumen gedrückt. Die elektrischen Impulse (1.61 mA) werden über die Zunge an einen bestimmten Bereich des Gehirns (Kortex) weitergeleitet, der bei bestimmten Arten von Blindheit ungenutzt ist. Die einzelnen Impulse sind je nach Eigenschaft des jeweiligen Bildpunktes unterschiedlich stark und lang. Somit können helle und dunkle, aber auch Bewegungsinformationen übertragen werden.

Abb. 9: Zungen-Display-Einheit wird gegen den Gaumen gedrückt

Die Zunge ist für diese Aufgabe deshalb ein ideales Sinnesorgan, da es ein dichtes Netz aus Nerven enthält. Außerdem stellt sie durch den ständigen Speichelfluss für die Elektroden eine wesentlich bessere Kontaktfläche als die Haut dar, da diese mit einer Schicht toter Hautzellen bedeckt ist und in wenigen Minuten vom schweißnassen in den trockenen Zustand wechseln kann. Aufgrund dieser Vorteile benötigt man für die ZDE nur einen geringen Teil der Spannung und Stromstärke, als es bei anderen Technologien, zum Beispiel der Übertragung per Tastsinn, erforderlich wäre.

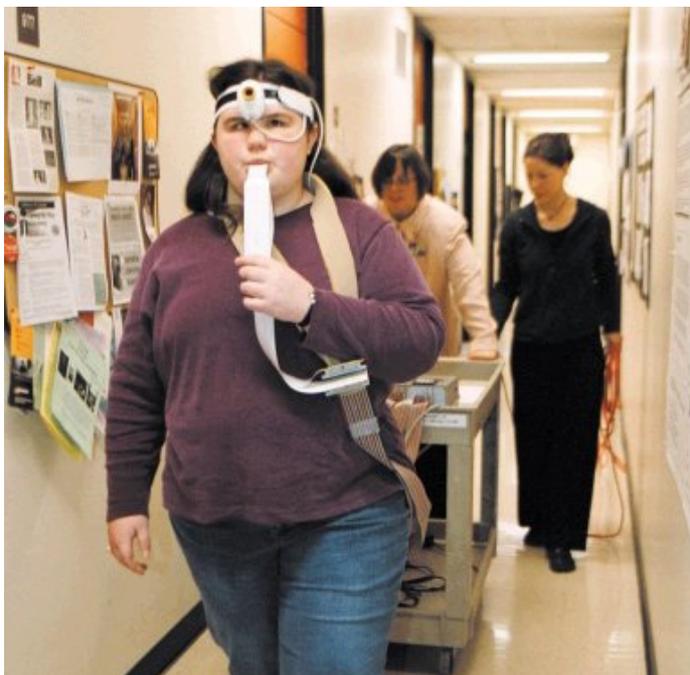


Abb. 10: ZDE im Einsatz

Dieses Gerät befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Die Elektroden sind zurzeit noch an der Spitze eines Plastikbandes befestigt, über welches die Daten von der Recheneinheit zur eigentlichen ZDE gelangen. Es kann derzeit nur einfache Informationen wie zum Beispiel Buchstaben übertragen, beziehungsweise dem Anwender eine Richtung vorgeben. Innerhalb der nächsten Jahre soll das System soweit ausgereift sein, dass es ohne zu erkennen eingesetzt werden kann. Die

Kamera, an einem Brillengestell befestigt, sollte dabei möglichst zoomen können, benötigt allerdings auch winzige Batterien, damit die Kamera

handlich und unauffällig ist. Die Daten müssten an einen Empfänger im Mund gefunkt werden. Dieser könnte beispielsweise zusammen mit Batterien und einem Chip zur Verarbeitung in einem künstlichen Zahn verpackt sein. Von dort müssten letztendlich die relevanten Daten an möglichst viele Elektroden auf einem möglichst kleinen Blättchen auf der Zunge übermittelt werden.

3.2. Projekt Cyborg

Ein Cyborg ist halb Mensch, halb Maschine. Die Technik heutzutage entwickelt sich in die Richtung, dass dem Menschen immer mehr technisches Know-How implantiert wird. Einerseits damit behinderte Menschen wieder zu so gesehenen normalen Menschen werden, andererseits um den Umgang mit dessen Umfeld zu vereinfachen.

1998 ließ sich der Professor für Kybernetik, Kevin Warwick, an der Universität von Reading in Großbritannien eine Glaskapsel (23 * 3 Millimeter, beinhaltet eine elektromagnetische Spule und einen Siliziumchip) in den linken Vorderarm implantieren. Aufgrund des von dem Chip ausgestrahlten Radiosignals konnten verschiedene elektronische Geräte angesprochen werden. So gingen beispielsweise automatisch die Türen auf und das Licht an, sobald Professor Warwick einen Raum betrat. Ziel dieses Experiments war es, die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine tiefgründiger zu studieren, das heißt inwieweit der menschliche Körper den Chip akzeptiert und wie gut man das Signal empfangen kann. Nach diesem Experiment, welches eine Woche dauerte, ging der Professor noch ein Stück weiter.

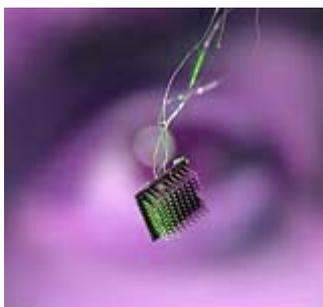


Abb. 11: Transponder-Chip

Am 14. März 2002 hat er sich einen Transponder-Chip (**transmitter** – Sender; **responder** - Antwortender) mit 100 Elektroden in seinen Arm implantieren und mit einem Nervenstrang verbinden lassen, um diese "Zusammenarbeit" zu untersuchen. Der Professor stellte sich vor, dass er seinen linken Zeigefinger bewegen möchte. Dieser Impuls wurde dann vom Chip abgefangen und auf einem Rechner zwischengespeichert wird, um dann diesen Befehl zurück an seinen Finger zu senden. Weiterhin hat er die andere Richtung der Signalübertragung getestet, indem er sich mit einer Nadel in den Finger stach. Außerdem konnte er mit diesem Chip einen elektrischen Rollstuhl, sowie eine künstliche Hand steuern.

Der Chip bestand aus einer kleinen Batterie, einem Funksender, einem Empfänger, sowie einer Recheneinheit. Im nächsten Experiment hat er auch seiner Frau einen Chip implantieren lassen, um den gegenseitigen Informationsaustausch mehrerer Siliziumchips zu testen. Laut [16] konnte

er all diese Experimente erfolgreich durchführen, es traten keine messbaren Beeinträchtigungen beziehungsweise Störungen auf.

Kevin Warwick meint unter anderem, dass man irgendwann aufgrund dieser Forschungen beispielsweise Gefühle wie Schmerz unterdrücken kann, wodurch die Medizin revolutioniert werden würde. Außerdem möchte er die Signale der menschlichen Bewegung studieren, um sie rekonstruieren und damit gelähmten Menschen wieder zum Laufen verhelfen zu können.

3.3. Braingate

Das US-Unternehmen Cyberkinetics entwickelte schon im Frühjahr 2004 einen winzig kleinen Siliziumchip namens "BrainGate". Dieser wurde im Juni einem ab dem Hals querschnittsgelähmten 24-jährigen Mann im motorischen Kortex implantiert. Diese Hirnregion kontrolliert die Bewegungen. Damit ist es ihm möglich, mittels seiner Gedanken E-Mails vom PC abzurufen oder Computerspiele zu spielen, den Computer ein- und auszuschalten, auch wenn er nebenbei spricht oder seinen Kopf bewegt.

In früheren Versuchen verfolgten Affen mit einer Computermaus bewegliche Punkte auf einem Bildschirm. Dabei wurden die Gehirnströme der Affen gemessen und ausgewertet. Nach einer Weile klemmten die Forscher die Maus ab. Die Affen verfolgten dann die Punkte allein aufgrund ihrer Gedanken. In weiteren Versuchen waren die Affen in der Lage, einen Roboterarm mit ihren Gedanken zu steuern, ohne ihren eigenen Arm zu bewegen.

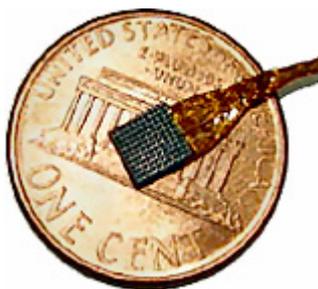


Abb. 12: Silizium-Chip im Vergleich zu einer Münze

Der Silizium-Chip besteht aus 100 Elektroden, die die Signale von Neuronen auffangen und weiterleiten. "BrainGate" ist der erste Versuch seiner Art und aufgrund dessen derzeit das sensibelste existierende Implantat. Silizium ist deswegen ein ideales Material für diese Aufgabe, da es biologisch verträglich, sowie beständig gegenüber der zersetzenden Umgebung im Gehirn ist. [21] Der implantierte Chip, Teil des "BrainGate"-Systems, ist vier Quadratmillimeter groß. Er wurde an der Oberfläche des Gehirns, in der Nähe der motorischen Rinde platziert. Elektroden stoßen daraus 1,5 Millimeter in das Gehirn vor. Jede der 100

Elektroden zapft eine Nervenzelle im Gehirn des Patienten an. Dadurch werden die Aktivitäten kleiner Neuronengruppen (das menschliche Gehirn besteht aus etwa 100 Milliarden Neuronen) gemessen. Nach der Operation hängt dem Patienten ein Kabel aus dem Kopf, um den Chip mit einem Computer verbinden zu können.

Derzeit wird an dieser Innovation weiterentwickelt. Zunächst soll dieser Chip vier weiteren Personen implantiert werden, um die Testergebnisse vergleichen zu können. Die ersten Ergebnisse dafür werden für das nächste Jahr erwartet. Außerdem soll eine kabellose Version entwickelt werden. Cyberkinetics rechnet damit, mit dem Verkauf von "BrainGate" ab 2007/2008 zu beginnen, wobei der Preis bei mehreren zehntausend Dollar liegen wird.

Ziel dieser Entwicklung ist es, behinderten Menschen zu neuer Mobilität zu verhelfen. Indem der Patient nur noch daran denkt, bewegt sich beispielsweise seine Prothese von allein. Allerdings könnte sie auch die Kommunikation zwischen den Menschen im Allgemeinen und dem Computer revolutionieren. Man stellt sich vor, dass der Mensch in ferner Zukunft in der Lage sein könnte, alle elektrischen Geräte per Gedanken zu steuern. Man denkt nur daran und die Kaffeemaschine läuft los, das Radio geht an und so weiter. Ebenso spielt diese Entwicklung für das Militär eine große Rolle. Kampffjets könnten beispielsweise per Gedanken gelenkt werden. Heutzutage wirken enorme Fliehkräfte auf den Piloten, weshalb unter anderem auch das Steuern des Jets eine Verzögerung erfährt. Mit einem Chip im Gehirn könnte der Pilot in der Lage sein, seinen Jet viel schneller zu steuern.

Allerdings hat diese Entwicklung auch ihre Schattenseite. Hierbei beschäftigt man sich auch mit den ethischen Fragen. Einerseits wird behauptet, dass Cyberkinetics-Team versuche, schnell Geld damit zu machen und kümmere sich dabei nicht um die Sicherheit und die unterschiedlichen Gegebenheiten der Patienten. Andererseits stellt sich die Frage, wo die Grenze zum eigentlichen Mensch-Sein ist. Inwieweit ist der Mensch dann noch individuell, oder inwiefern könnte er selbst ferngesteuert werden?

4. Prothetik

[39] definiert Prothetik als die Wissenschaft von der Herstellung und Eingliederung von Prothesen (Ersatzgliedern) und künstlichen Organen in den Organismus.

Die Menschen hatten schon immer das Ziel, sich ihr Leben so stark wie möglich zu vereinfachen. Dies gilt vor allem dann, wenn das Leben durch nicht intakte körperliche Funktionen eingeschränkt war. So kamen schon die Neandertaler auf die Idee ein verletztes oder amputiertes Bein durch einen gabelförmigen Ast zu ersetzen. Dafür klemmten sie sich den Ast so unter die Achseln, dass sich der Körper beim Gehen darauf stützen konnte. Diese Gehhilfe war also eine der ersten Entwicklung, die eine körperliche Funktion übernahm. Es war damit die erste Prothese geschaffen.

Heutzutage sind die Entwicklungen auf dem Gebiet der Prothetik so weit fortgeschritten, dass man von so genannten intelligenten Prothesen und Implantaten spricht. Diese übernehmen (teilweise) die verschiedensten körperlichen Funktionen, beginnend beim Sehen, über das Hören bis hin zum Gehen, Greifen usw.

Die folgenden Kapitel sollen einen kleinen Einblick darin geben, was Forschergruppen in der letzten Zeit in der Prothetik entwickeln haben.

4.1. Das Retina Implantat

Das Wort Retina kommt aus dem Lateinischen und bedeutet Netzhaut. Um den Sinn und die Funktionsweise des Retina Implantats besser verstehen zu können, sollte man sich die Funktion des Auges verdeutlichen. Die Abbildung 13 zeigt zur Veranschaulichung den Aufbau des Auges. Das Gelb eingezeichnete ist die Netzhaut, bzw. die Retina. Fällt nun Licht aus der Umwelt ins Auge, so wird dieses durch die Linse gebündelt und auf einem Punkt der Netzhaut (Fovea) projiziert.

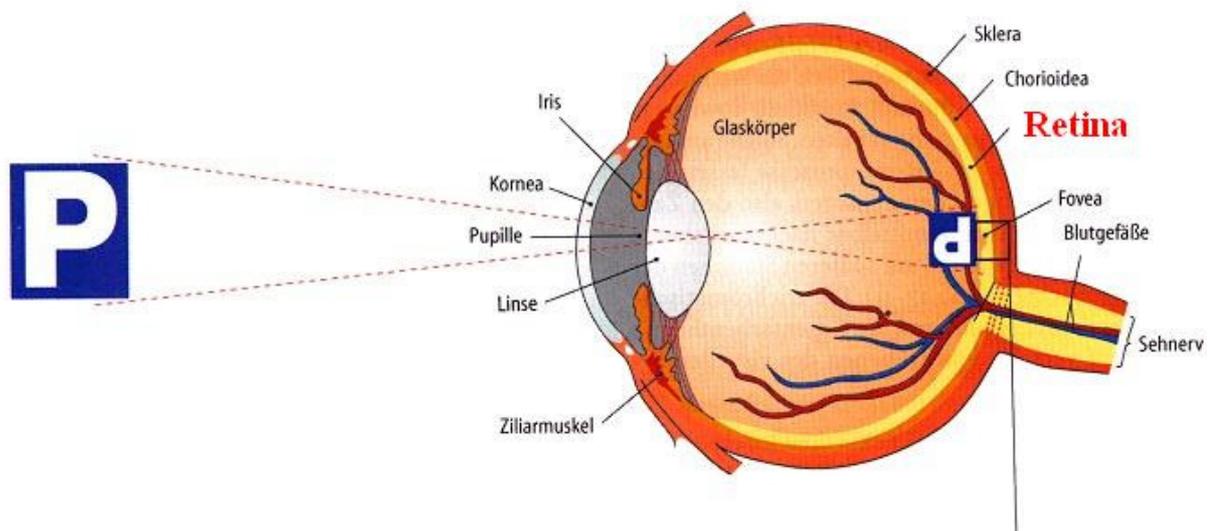


Abb. 13: Aufbau des Auges

Abbildung 14 zeigt die Netzhaut in einer detaillierten Darstellung. Man erkennt wiederum das einfallende Licht und den Punkt auf der Netzhaut (Fovea), auf den das Licht gebündelt projiziert wird. Die Photorezeptoren, die Sinneszellen der Netzhaut, werden durch das Licht stimuliert. Daraufhin erzeugen sie elektrische Impulse, mit denen die Bipolaren Zellen und darauf die Ganglienzellen angesprochen werden. Letztere leiten dann die entstandenen Impulse an den Sehnerv weiter, um dann im Gehirn weiterverarbeitet zu werden.

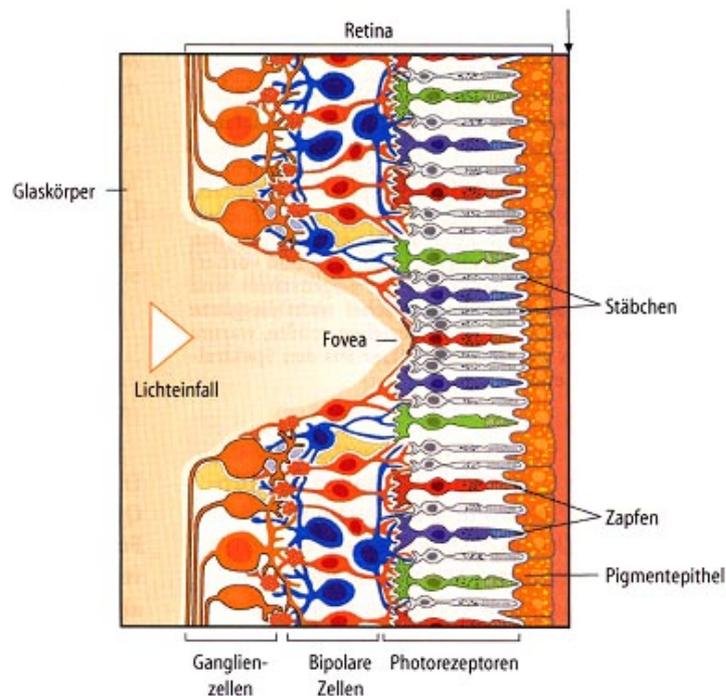


Abb. 14: Aufbau der Netzhaut

In Deutschland gibt es mehr als 30000 Menschen, die an einer speziellen Form der Retinalen Degeneration leiden. Bei einer solchen Erkrankung bilden sich die lichtempfindlichen Photorezeptoren in der Netzhaut zurück, während das Nervenzellgewebe (Ganglienzellen, Bipolare Zellen) fast vollständig intakt bleibt (Retinitis Pigmentosa). Diese Krankheit führt im Laufe der Jahre meist zur völligen Erblindung der Betroffenen, da keine Zellen mehr existieren, die durch das einfallende Licht stimuliert werden können und somit auch keine elektrische Impulse generiert werden. Für diese Krankheit gibt es bisher keine Therapiemöglichkeiten. Aus diesem Grund wurde das Retina Implantat entwickelt.

Es existieren dabei zwei verschiedene Ansätze:

1. Direktes Ansteuern der Ganglienzellen mit entsprechenden Signalen (EPI-RET)
2. Ersetzen der Photorezeptoren durch Photodioden (SUB-RET)

4.1.1. EPI-RET-Projekt

In einer speziellen Brille sind eine Kamera, ein Computer und ein Sender integriert. Die Kamera filmt dabei die Umwelt und gibt die Informationen an den Computer weiter. Dieser berechnet nun die Signale, mit denen die Ganglienzellen in der Netzhaut angesprochen werden. Dabei imitiert der Computer mittels eines speziellen Algorithmus den Teil der Netzhaut (Retina), der normalerweise für das Erzeugen der Signale zuständig ist. Aus diesem Grund wird dieser Computer auch Retina-Encoder genannt. Der Sender in der Brille überträgt nun diese berechneten Signale drahtlos an das Implantat im Auge. Dies besteht aus einer Empfängerschaltung und den Reizelektroden. Ersteres empfängt die Signale und leitet sie an die Reizelektroden weiter. Diese sprechen damit nun die Ganglienzellen in der Netzhaut an, welche die Signale ganz normal an den Sehnerv weiterleiten. Der Erkrankten verfügt damit wieder über ein orientierendes Sehvermögen.

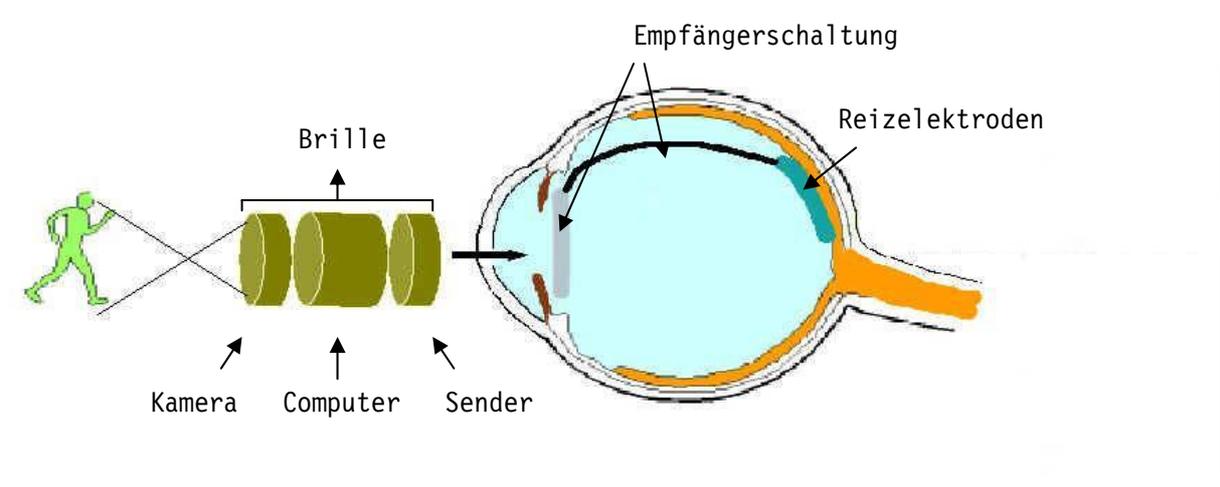


Abb. 15: Aufbau des Retina Implantats (EPI-RET-Projekt)

4.1.2. SUB-RET-Projekt

Dieses Implantat besteht aus einem Silizium-Mikrochip. Silizium ist dabei ein Material, welches vom menschlichen Körper besonders gut verträglich ist. Auf dem Chip sind Mikrophotodioden und Stimulationselektroden integriert.

Das Implantat wird in den subretinalen Raum des Auges – an Stelle der abgestorbenen Photorezeptoren eingepflanzt. Der Ort der Einpflanzung hat dem Projekt auch seinen Namen gegeben.

Fällt nun Licht in das Auge, werden die integrierten Mikrophotodioden – ähnlich wie die Photorezeptoren - stimuliert. Zusammen mit den

Stimulationselektroden werden elektrische Impulse erzeugt, mit denen dann die verbliebenen Zellen in der Netzhaut angesprochen werden. Auch dieses Implantat sorgt beim Träger für ein orientierendes Sehvermögen.

4.2. Intraokulare Sehhilfe (IOS)

Bei Trägern dieses Implantats liegen Störungen im vorderen Augenabschnitt vor (intraokular). Dies können zum Beispiel Trübungen und Vernarbungen der Hornhaut sein. Die Netzhautfunktion ist dabei noch völlig intakt.

Mit Hilfe der intraokularen Sehhilfe (IOS) wird diese Störung im Auge quasi überbrückt.

Den Aufbau und die Funktion der IOS verdeutlicht die Abbildung 16. Eine in einer Brille integrierte Kamera nimmt Bilder aus der Umwelt auf. Diese Informationen werden drahtlos an das Implantat im Auge übertragen. Dieses Implantat besteht aus einem Mikrodisplay, welches in ein Silikondiaphragma eingebettet ist. Dieses Mikrodisplay projiziert das aufgenommene Bild nun auf die Netzhaut und stimuliert somit die lichtempfindlichen Zellen der Netzhaut (Photorezeptoren). Damit wird ein orientierender Seheindruck erreicht, welcher in auch Abbildung 16 veranschaulicht ist.

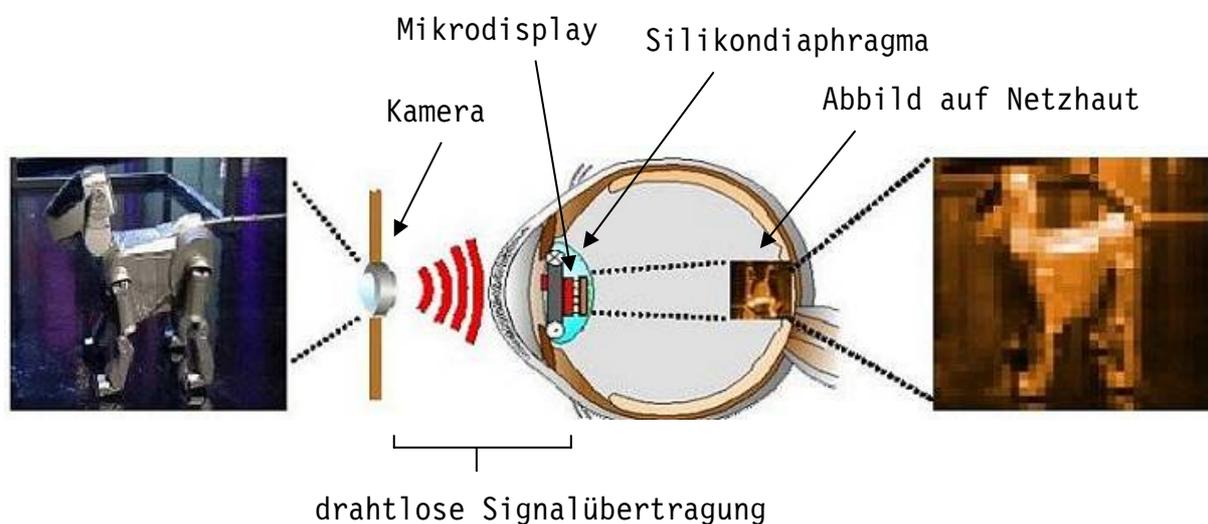


Abb. 16: Aufbau der intraokularen Sehhilfe (IOS)

4.3. C-Leg

Das C-Leg (Computerized Leg) ist ein mikroprozessor-gesteuertes, hydraulisches Beinprothesensystem.

Der Vorgang des Gehens bei einem Menschen besteht aus der Standphase – der Fuß ist mit dem Boden in Berührung- und der Schwungphase – der Fuß schwingt in der Luft nach vorne. Beim C-Leg werden diese beiden Phasen des Gehens elektronisch gesteuert. Dazu liefern Sensoren in der Prothese 50 Mal in der Sekunde Daten bezüglich des Knöchelmoments (wie stark wirkt der Fuß gegen den Boden), des Kniewinkels (wie stark ist das Bein gebeugt) und der Kniewinkelgeschwindigkeit (wie schnell beugt sich das Bein). Anhand dieser Informationen wird dann die Dämpfung der Hydraulik für jede Phase des Gehens geregelt. Die Koordination der Mess- und Regelungsvorgänge übernimmt eine Software.

Laut [34] ist das C-Leg das weltweit erste Beinprothesensystem mit Mikroprozessorsteuerung und liefert auch die bisher beste Annäherung an das natürliche Gehen. Der Träger des C-Legs muss seiner Prothese nicht mehr so viel Aufmerksamkeit schenken wie bisher, da sie quasi für ihn „mitdenkt“.



Abb. 17: das C-Leg

4.4. Die Sensor-Hand

Bisherige Arm- bzw. Hand-Prothesen liefern dem Träger keine Informationen, die für das Greifen und Halten von Gegenständen notwendig sind. Das heißt, Informationen darüber, wie stark zugegriffen werden muss, so dass der gegriffene Gegenstand nicht zu rutschen beginnt. Das Problem dabei ist, dass man nicht allen Gegenständen ihr Gewicht ansieht – z.B. einem TetraPak. Es fiel dem Träger einer Arm- bzw. Hand-Prothesen bisher immer schwer zu entscheiden, wann wie fest zugegriffen werden muss.



Abb. 17: die Sensor-Hand

Dieses Problem löst die Sensor-Hand, die über eine Greifkraftregelung verfügt. Diese Regelung wird aktiv, sobald der Träger der Prothese den "Befehl" zum Greifen gibt und endet, sobald er den Gegenstand wieder loslassen will.

Zu diesem Zweck messen integrierte Rutschsensoren 100 Mal in der Sekunde die Größe und Richtung der Kraft, mit der die Hand zugreift und entscheidet an Hand dieser Daten, ob die Prothese fester zugreifen muss. Um die Funktionsweise der Sensor-Hand besser verstehen zu können, betrachtet man die Kräfte, welche beim Greifen wirken.

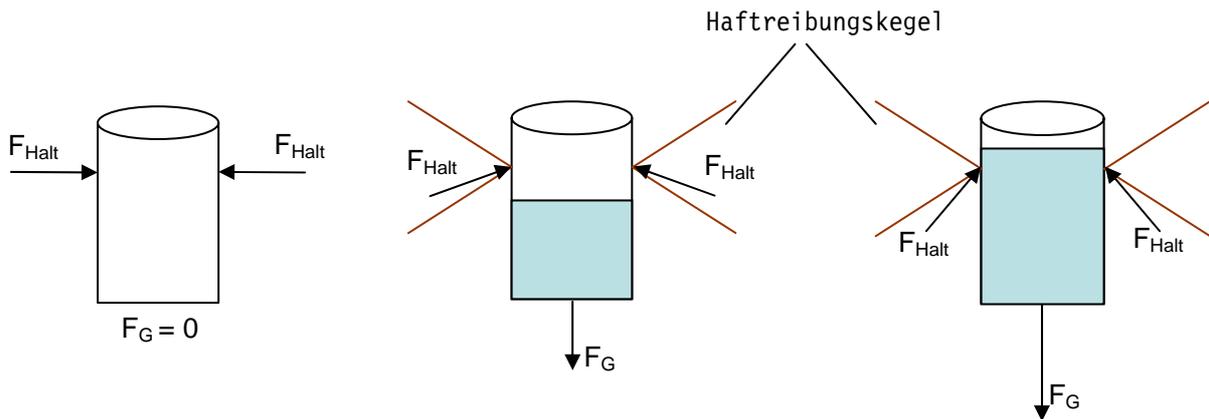


Abb. 18: Darstellung der wirkenden Kräfte beim Greifen eines Bechers mit unterschiedlichem Gewicht

Die Abbildung 18 zeigt einen Becher, welcher in der Hand gehalten werden soll. Der erste Becher ist leer und soll somit idealerweise als masselos angesehen werden – die Gewichtskraft F_G sei Null. Die Kraft, mit der der Becher gehalten wird sei F_{Halt} . F_{Halt} wirkt in diesem Fall senkrecht zum Becher. Wird dieser Becher nun gefüllt (zweites Bild), so nimmt dessen Gewichtskraft F_G zu und F_{Halt} greift nicht mehr senkrecht am Becher an. Mit Hilfe von Abbildung 19 lässt sich die Tatsache leicht erläutern.

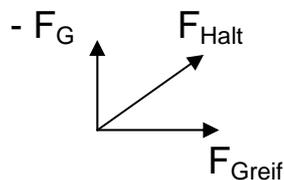


Abb. 19: Kräfteparallelogramm der wirkenden Kräfte beim Greifen

Um einen Gegenstand festhalten zu können, muss man dessen negative Gewichtskraft aufbringen. Weiterhin drückt die Hand beim Greifen senkrecht gegen den Becher (F_{Greif}). Die resultierende Kraft ist dann F_{Halt} , welche nicht senkrecht zum Becher hin wirkt.

Im dritten Bild in Abbildung 18 wurde der Becher weiter gefüllt und der Winkel, mit dem F_{Halt} am Becher angreift wurde nochmals kleiner. Der in den letzten beiden Bildern eingezeichnete, so genannte Haftreibungskegel, gibt nun an, in welchem Winkel F_{Halt} am Becher angreifen muss, damit der Gegenstand nicht aus der Hand gleitet. Während im zweiten Bild der Becher also noch gehalten wird, ist er im dritten Bild schon zu schwer und rutscht aus der Hand.

Die Sensor-Hand kann nun mit Hilfe der Informationen über F_{Halt} berechnen, ob die Haftreibungsgrenze erreicht ist und ob demnach fester gegriffen werden muss.

Die Abbildung 20 zeigt die Kräfte vor und nachdem fester zugegriffen wurde.



Abb. 20: Verändern des Kräfteparallelogramms der wirkenden Kräfte, wenn fester zugegriffen wird

Wenn die Hand fester zugreift, so wird F_{Greif} größer. Damit ändert sich auch die resultierende Kraft F_{Halt} – insbesondere der Winkel, welcher kleiner wird.

Die Sensor-Hand erhöht also nun solange F_{Greif} , bis sich F_{Halt} wieder innerhalb des Haftreibungskegels befindet und der Gegenstand somit nicht aus der Hand rutscht.

Quellenangaben

- [1] "Forschungszentrum Jülich"
<http://www.fz-juelich.de/portal/>
20.11.2004
- [2] "Kompetenzzentrum Nanotechnologie"
<http://www.cc-nanochem.de/Aktuell/Krebstherapie.htm>
19.11.2004
- [3] "Nanobots für die Medizin"
<http://science.orf.at/science/news/15381>
20.11.2004
- [4] "Medizintechnik: Forschung und Entwicklung"
<http://www.kompetenznetze.de/navi/de/Innovationsfelder/Medizintechnik/05forschung-und-entwicklung.html>
20.11.2004
- [5] "FORESIGHT INSTITUTE - peparing for nanotechnology"
<http://www.foresight.org/>
19.11.2004
- [6] "Nanotechnologie"
<http://www.marcus-haas.de/Wissenschaft/technologie/nanotechnologie.html>
- [7] "Bundesministerium für Bildung und Forschung"
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>
19.11.2004
- [8] Computer-Lexikon
(c) Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG,
2003
- [9] "Mit der Zunge sehen"
<http://www.tor.at/resources/focus/telepolis/science/heise.de/tp/deutsch/inhalt/lis/7168/1.html>
19.03.2001
- [10] "Wie Blinde mit der Zunge sehen"
<http://www.aerztezeitung.de/docs/2004/06/09/106a0404.asp?cat=/computer/computerco>
09.06.2004

- [11] "Zungen-Display für Blinde"
<http://www.golem.de/0107/14714.html>
06.07.2001
- [12] "Mit der Zunge sehen"
<http://www.wissenschaft.de/wissen/news/154797.html>
16.03.2001
- [13] "Wenn die Zunge zum Auge wird"
[http://www.expeditionzone.com/
start_hi.cfm?story=2844&business=&club=&member=](http://www.expeditionzone.com/start_hi.cfm?story=2844&business=&club=&member=)
02.11.2004
- [14] "Blinde sehen mit einem Zungen-Display"
[http://www.innovations-report.de/html/berichte/
informationstechnologie/bericht-3929.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/informationstechnologie/bericht-3929.html)
05.07.2001
- [15] "Form perception with a 49-point electrotactile stimulus array on the tongue: A technical note"
<http://www.var.d.org/jour/98/35/4/bachr354.htm>
07.07.2004
- [16] "Pofessor Kevin Warwick"
<http://www.kevinwarwick.org/>
31.10.2004
- [17] "Technology gets under the skin"
<http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/158007.stm>
25.08.1998
- [18] "Wird der Mensch zum Cyborg?"
[http://zeus.fh-brandenburg.de/~muehlber/content/
vortraege/gesellschaftliche-aspekte/kybernetik.pdf](http://zeus.fh-brandenburg.de/~muehlber/content/vortraege/gesellschaftliche-aspekte/kybernetik.pdf)
08.07.2002
- [19] "Kevin Warwick: Cyborg Professor"
<http://www.disinfo.com/archive/pages/dossier/id174/pg1/>
28.07.2002
- [20] "Kevin Warwick"
http://en.wikipedia.org/wiki/Kevin_Warwick
27.09.2004
- [21] "Cyborg 1.0 Erster Schritt zur Mensch-Maschine?"
[http://www.g-o.de/
index.php?cmd=focus_detail2&f_id=42&rang=15](http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=42&rang=15)
20.05.2002

- [22] "Kevin Warwick, 'I, Cyborg' "
http://www.rdg.ac.uk/KevinWarwick/html/i_cyborg.html
21.11.2004
- [23] "Cyberkinetics Neurotechnology Systems, Inc."
<http://www.cyberkineticsinc.com/index.htm>
04.11.2004
- [24] "Querschnittsgelähmter Mann schaltet per Gedanken den Fernseher ein"
<http://shortnews.stern.de/shownews.cfm?id=541882>
14.10.2004
- [25] " 'Braingate' ermöglicht Computer Steuerung nur mit dem Gehirn"
http://pooocs.de/archives/2004/10/abraingatea_erm.html
14.10.2004
- [26] "Erste Erfolge für Gehirn-Chip-Implantate"
<http://futurezone.orf.at/futurezone.orf?read=detail&view=bw&id=253994&tmp=21672>
14.10.2004
- [27] "E-Mail per Gedanke"
<http://www.n24.de/boulevard/nus/?a2004101419074839919>
14.10.2004
- [28] "Gelähmter sendet E-Mail mit Gedanken"
<http://www.innovations-report.de/html/berichte/informationstechnologie/bericht-34817.html>
14.10.2004
- [29] "Gelähmter schickt E-Mails kraft seiner Gedanken"
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,323079,00.html>
14.10.2004
- [30] "BrainGate"
<http://www.techpsych.net/archives/000058.html>
13.04.2004
- [31] "Pilot Study of Mind-to-Movement Device Shows Early Promise"
http://www.brown.edu/Administration/News_Bureau/2004-05/04-035.html
04.11.2004
- [32] "Gelähmter steuert PC über Chip im Gehirn"
http://www.multimedica.de/public/fachportal/alle/news_2020.html
19.10.2004

- [33] "Aktuelle Forschungsprojekte UK-Aachen"
<http://www.ukaachen.de/content/page/4158263>
04.2004
- [34] "C-Leg Versorgung"
<http://www.koppetsch.de/html/c-leg.html>
11.2004
- [35] "IOS"
<http://www.uak.medizin.uni-tuebingen.de/forschung/ios.html>
11.2004
- [36] "Retina Implantat Forschung in Köln"
<http://www.medizin.uni-koeln.de/kliniken/augenklinik/epi-ret3.htm>
11.2004
- [37] "Intelligente Körperersatzteile"
http://www.vdi-bb.de/bvbb/zeitung/feb04/11_ersatz.html
11.2004
- [38] "Der taktile Rutschsensor"
http://www.healthcare.ottobock.de/info_download/pdf/puchhammer-rutschsensor.PDF
11.2004
- [39] "wissen.de-lexikon"
[http://www.wissen.de/xt/default.do?MENUNAME=Suche
&SEARCHTYPE=topic&query=prothetik](http://www.wissen.de/xt/default.do?MENUNAME=Suche&SEARCHTYPE=topic&query=prothetik)
11.2004