

*Entwicklungen in der
Neurotechnologie*

Alexander M. Gross

Seminar „*Motorische Systeme*“

Prof. Dr. Hans-Georg Heinzel
Dr. Hartmut Böhm
Zoologisches und Vergleichend-Anatomisches Institut
Abteilung für Neurobiologie
Sommersemester 1996

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Inhaltsverzeichnis

1 EINFÜHRUNG.....	4
2 GRUNDLEGENDE PRINZIPIEN.....	5
2.1 MULTIKONTAKTIERUNG VON NERVEN MIT MIKROSTRUKTUREN.....	5
2.1.1 <i>Nervumschließende Elektrodenstrukturen.....</i>	6
2.1.2 <i>Intraneurale Implantate.....</i>	7
2.1.3 <i>Geplante Anwendungen.....</i>	9
2.2 OPTIMIERUNG DER BIOVERTRÄGLICHKEIT VON KUNSTSTOFF-IMPLANTATEN	10
2.2.1 <i>Hybrid-Blutgefäße</i>	11
3 ANWENDUNGEN	13
3.1 COCHLEA IMPLANT	13
3.2 RETINA IMPLANT.....	16
3.3 PRÄOPERATIVE FERTIGUNG VON SCHÄDELIMPLANTATEN.....	19
3.4 SPRACHGESTEUERTER VORLESE-ARBEITSPLATZ FÜR BLINDE.....	22
3.4.1 <i>Von textorientierten zu graphischen Systemen</i>	22
3.4.2 <i>Architektur des Systems</i>	23
3.4.3 <i>Hard- und Software-Realisierung</i>	25
3.4.4 <i>Erfahrungen.....</i>	26
3.5 STAND-GANG-NEUROPROTHESE (SGN).....	28
3.5.1 <i>Komponenten der SGN.....</i>	28
3.5.2 <i>Neuroinformatik der SGN.....</i>	29
3.5.3 <i>Neuromedizin der SGN.....</i>	29
3.6 BIOSENSORIK.....	32
4 ZUSAMMENFASSUNG.....	34
LITERATURVERZEICHNIS.....	35

Entwicklungen in der Neurotechnologie

Die Neurotechnologie ist ein junges, fachübergreifendes Gebiet mit dem Ziel, ausgefallene Funktionen im Bereich des peripheren und zentralen Nervensystems des Menschen durch Informationstechnologien zu ersetzen.

Neu an der Denk- und Arbeitsweise auf diesem Gebiet ist die gemeinsame, zielorientierte, angewandte Forschung von Experten aus verschiedenen Gebieten, z.B. der Neuroinformatik, der Mikrosystemtechnik, der Biologie oder der Neuromedizin.

Gemeinsam mit der Industrie werden weltweit neue Verfahren und Technologien erforscht, um in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Patientengruppen verlässliche, teilweise implantierbare, Neurotechnologie-Produkte (Neuroprothesen) zu entwickeln, zu erproben und deren kommerzielle Verfügbarkeit vorzubereiten.

1 Einführung

Die Neurotechnologie basiert auf der Intention verlorene Funktionen im menschlichen Körper zu ersetzen bzw. noch teilweise bestehende Funktionen zu unterstützen.

Im folgenden werden grundlegende Aspekte der Neurotechnologie aufgeführt und bereits bestehende, sowie in der Entwicklung befindliche, Anwendungen vorgestellt.

Es geht hierbei um folgende Themen :

- Retina-Implant, Sehen
- Cochlea-Implant, Hören
- Stand-Gang-Prothese, Stehen und Gehen
- Schädelimplantate, nach Operationen und Unfällen
- Sprachcomputer, Arbeitsplatz für Blinde
- Multikontaktierung, Senden und Empfangen von Nervensignalen
- Bioverträglichkeit, von Implantaten
- Biosensorik, Messung von Substanzen

2 Grundlegende Prinzipien

2.1 Multikontaktierung von Nerven mit Mikrostrukturen

Zur Kontaktierung ([MBS]) von möglichst vielen Nerven, um zeitlich versetzt zu stimulieren bzw. zu erfassen, entwickelt man diverse Elektrodentypen.

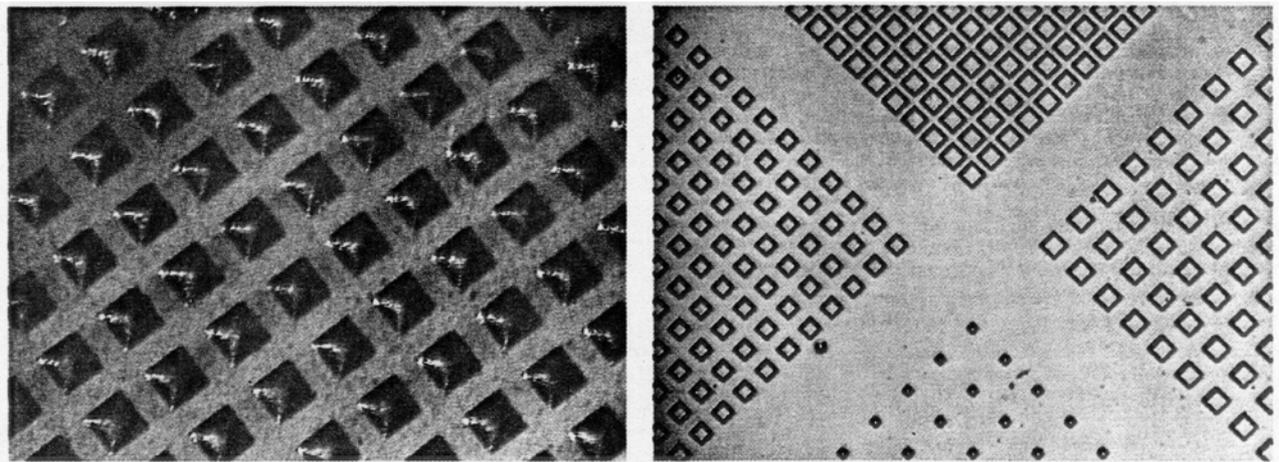


Abb. 2.1a

Angestrebt ist eine hohe Anzahl von Kontakten mit den einzelnen Nerven.

2.1.1 Nervumschließende Elektrodenstrukturen

Bisherige nervumschließende Elektroden sind eher einfach aufgebaut und enthalten nur relativ wenige Elektroden. Es existieren Typen mit nur einer bis hin zu mehreren Elektroden.

Die folgende Abbildung 2.1.1a zeigt bereits ein komplexeres Modell mit mehreren Kontakten.

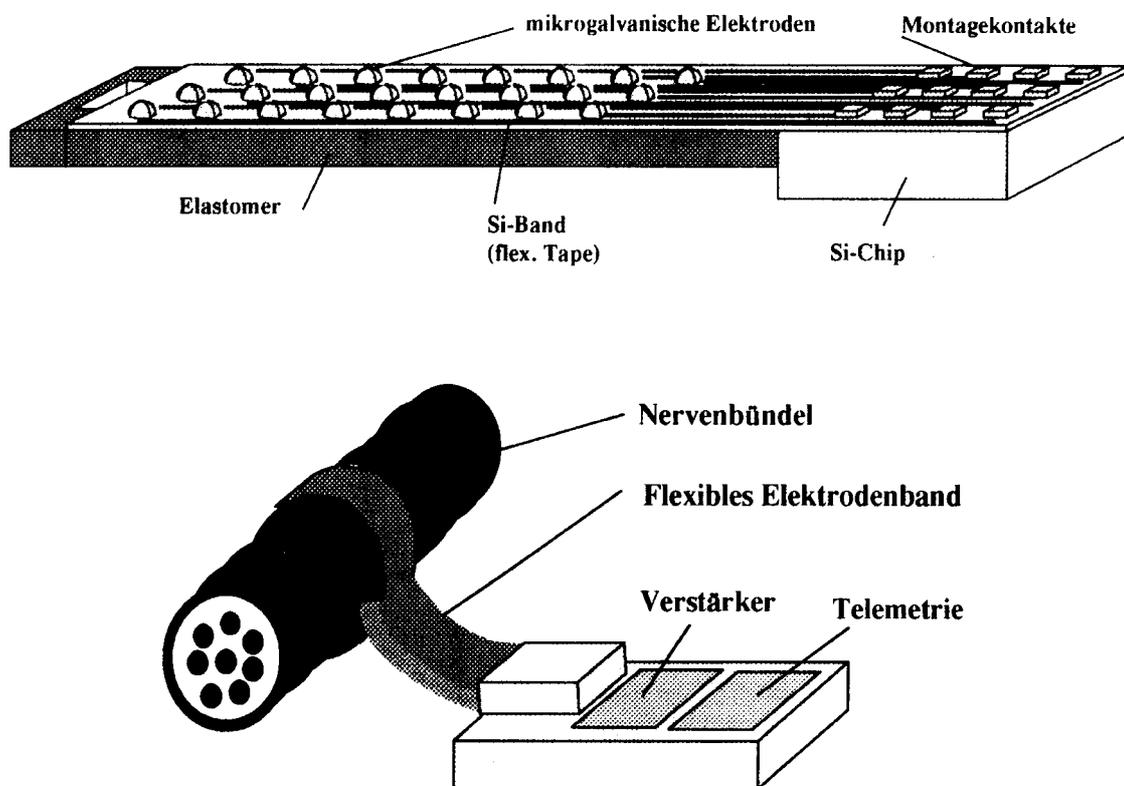


Abb. 2.1.1a

Um die Elektrodenzahl deutlich zu erhöhen wurde ein neuer Typ von flexibler Cuff-Elektrode mit ineinandergreifenden Fingerstrukturen entwickelt. Der Prototyp hat auf jeder Seite vier Finger mit zunächst ebenso vielen Elektroden.

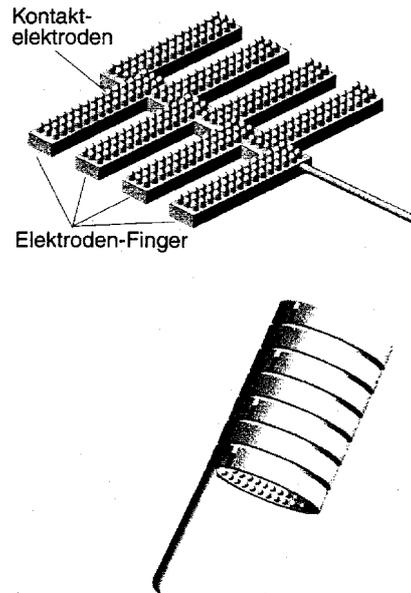


Abb. 2.1.1b

Das Material der Deckschicht steht unter Zugspannung, so daß sich die Finger nach Implantation der Neuroprothese von selbst um den Nervenstrang krümmen. Weil die Elektroden erhaben sind, ist die effektive Berührungsfläche sehr klein; das sollte die empfindlichen Nervenfasern schonen. Zudem könnten Stoffwechselprodukte durch die Zwischenräume diffundieren, was die Regeneration des Gewebes unterstützen sollte.

2.1.2 Intraneurale Implantate

Messungen aus dem Innern statt von der Oberfläche des Nerven verbessern die räumliche und zeitliche Auflösung des Signals. Dafür eignen sich Kontaktstifte, die als Schaft-Multielektroden entwickelt wurden.

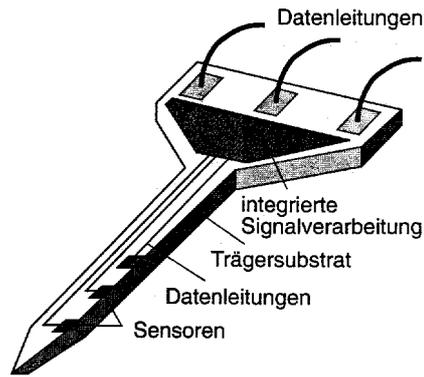


Abb. 2.1.2a

Von Nachteil ist indes die starre Bauform, zumal der Nerv beim Implantieren der Sonde oder infolge ihrer mechanischen Beanspruchung durch angrenzendes Gewebe leicht geschädigt werden kann.

Deshalb wird mit der Entwicklung einer flexiblen Nervenplatte begonnen, die sich zwischen den Faserbündeln im Nervenstrang plazieren lässt.

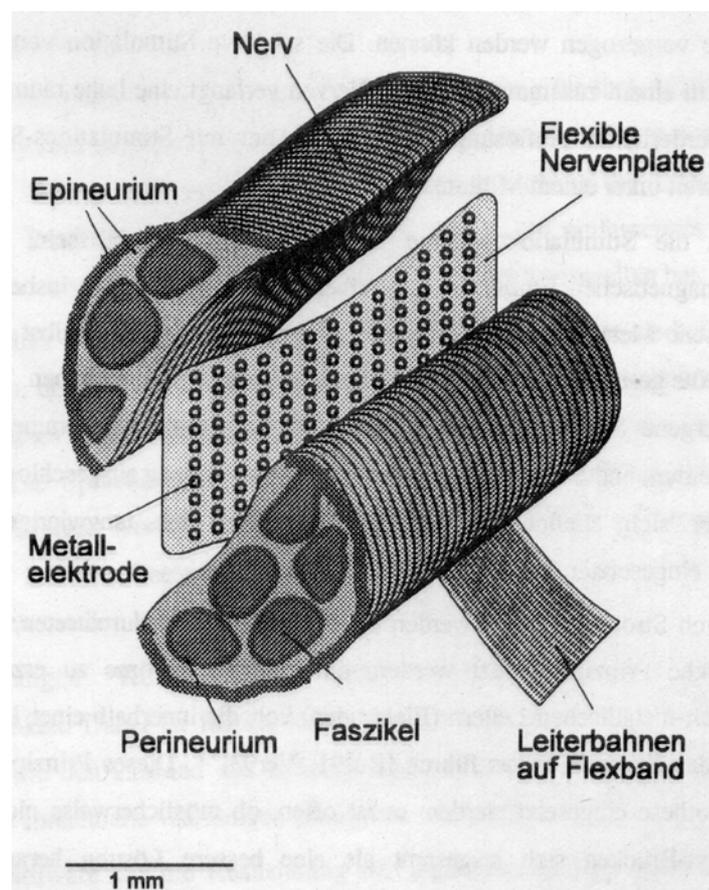


Abb. 2.1.2b

Von den Mikroelektroden führen mehrlagige Leiterbahnen auf einem Flexband zum Beispiel zu signalvorverarbeitenden Mikrochips. Die Maße der Platte betragen etwa $2 \times 12 \text{ mm}$.

Weil das Substrat nicht leitfähig ist, werden die beidseits liegenden Teile des Nervenstrangs elektrisch isoliert. So läßt sich bei Bedarf eine Hälfte stimulieren, während man gleichzeitig von der anderen Summenpotentiale ableitet.

2.1.3 Geplante Anwendungen

Zur Zeit wird eine implantierbare Mikrokontaktstruktur, die langfristig als intelligente Schnittstelle zwischen peripheren Nerven und externer Elektronik eingesetzt werden soll, entwickelt, zum Beispiel zur Ansteuerung von künstlichen Gliedmaßen.

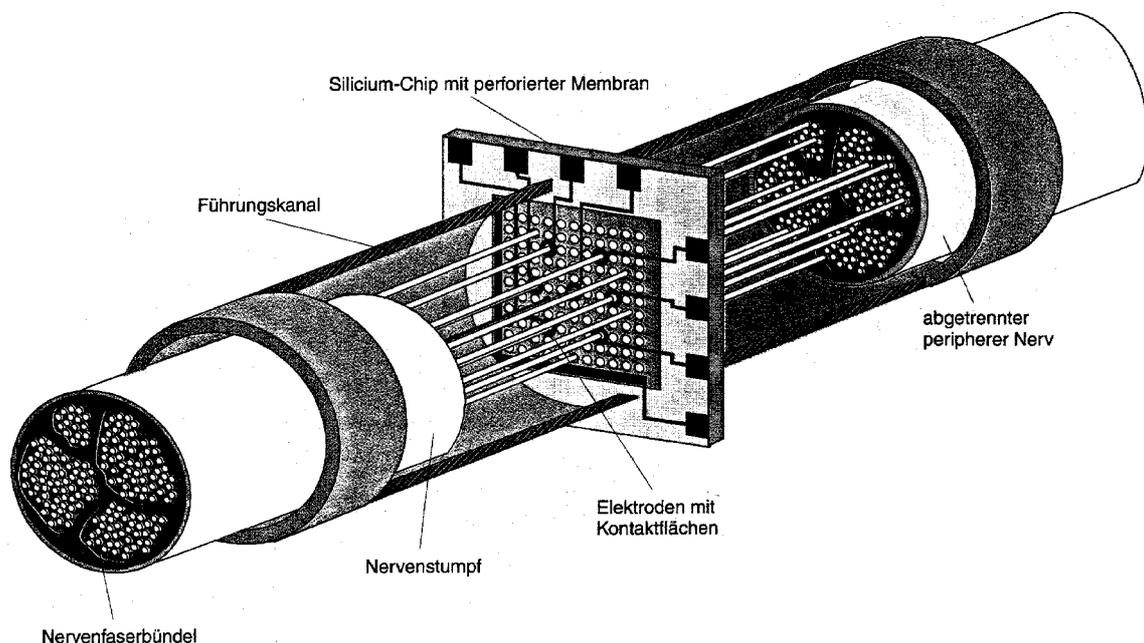


Abb. 2.1.3a

Zwischen den operativ getrennten Enden eines peripheren Nervenstrangs wird nun dazu ein Silizium-Chip mit siebartiger Membran implantiert, deren Löcher teils mit Mikroelektroden versehen sind.

Die Siebplatte soll in einem Polyurethan-Schlauch fixiert werden (Abbildung 2.1.3a), der auch als Führungskanal für die wieder aussprossenden Nervenfasern dient (periphere Nervenfasern können, anders als solche des Zentralnervensystems, regenerieren).

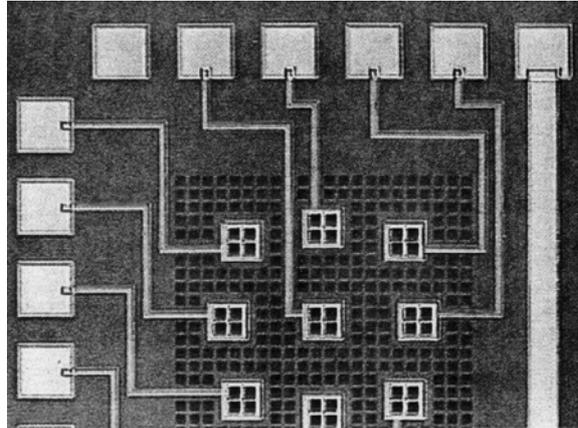


Abb. 2.1.3b

Die Platinelektroden der Siebplatte dienen zur Ableitung der Nervenimpulse (Abbildung 2.1.3b).

2.2 Optimierung der Bioverträglichkeit von Kunststoff-Implantaten

Mit zunehmender allgemeiner Lebenserwartung brauchen immer mehr Menschen ein neues Hüftgelenk, eine künstliche Augenlinse oder ein anderes Hilfsmittel bzw. Implantat. Allein in den Vereinigten Staaten wurden 1993 rund 1,4 Millionen Intraokularlinsen bei der Operation des grauen Stars eingesetzt.

Materialien und Systeme, die eine Komponente des Organismus ersetzen und ihre Funktion übernehmen sollen, sind entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen vielfältigster Art.

Eine Grundforderung ist die Verträglichkeit ([KH]) von Werkstoff und Organismus. Biokompatibilität bedeutet nach moderner Auffassung aber nicht nur das Ausbleiben von Störungen und Folgeschäden, sondern sogar die Fähigkeit der Implantatoberfläche mit Substanzen, Zellen und Organen des biologischen Systems aktiv zu interagieren und genau die Reaktionen auszulösen, die das entsprechende körpereigene Gewebe hervorrufen würde.

Polymeroberflächen können gezielt verändert werden, um sie bioverträglicher zu gestalten, etwa um das Zellwachstum auf der Fremdoberfläche zu verbessern.

Niedertemperatur-Plasmen sind geradezu prädestiniert für die Oberflächenbehandlung von Kunststoffen, weil sie nur auf die obersten Moleküllagen wirken und keine makroskopischen Eigenschaften des Grundpolymers, wie mechanische Festigkeit oder Transparenz verändern.

2.2.1 Hybrid-Blutgefäße

Die Blutverträglichkeit gilt allgemein als größtes Problem der Biokompatibilität.

Die meisten Materialien, die mit Blut in Kontakt kommen, fördern seine Gerinnung; das gilt auch für Polymeroberflächen. Deshalb werden künstliche Blutgefäße mit einem Durchmesser von weniger als fünf Millimetern schon innerhalb weniger Sekunden durch Gerinnsel verstopft, was bei natürlichen die Auskleidung mit einer einlagigen spezifischen Zellschicht, dem Endothel, verhindert.

Weil es bislang keine antithrombogene Polymeroberfläche gibt, wurde das Konzept entwickelt, vor der Implantation auf dem Kunststoff körpereigene Endothelzellen dauerhaft anzusiedeln.

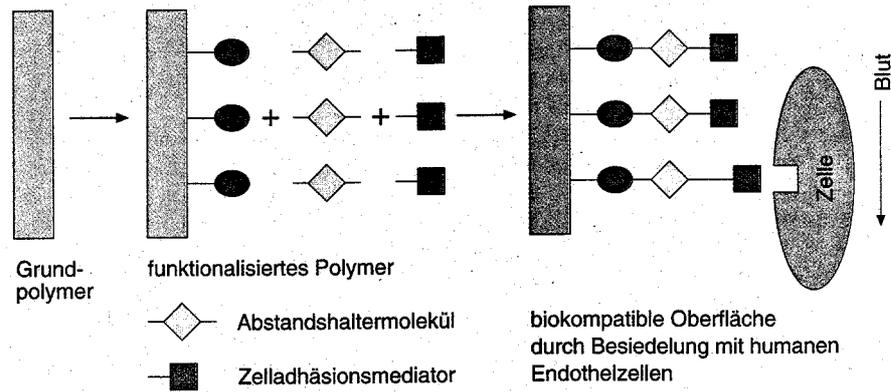


Abb. 2.2.1a

Ein Abstandshaltermolekül, sog. Spacer, verbindet dann das Polymer und eine Substanz, welche die Zellhaftung ermöglicht (Abbildung 2.2.1a). Das Fibronectin oder das Peptid bildet dabei einen Anker, an den Endothelzellen zumindest in der Zellkultur andocken, ohne ihre Gestalt zu verändern.

Das Prinzip läßt sich sowohl auf andere Trägerpolymere als auch auf andere Zelltypen übertragen. So wird man wohl künftig mit spezifischen Zellen als Auskleidung synthetischer Substrate, sogar Hybrid-Organen mit den Funktionen von Bauchspeicheldrüse, Leber und Niere, entwickeln.

3 Anwendungen

3.1 Cochlea Implant

Zur Orientierung sei zunächst auf die folgende Abbildung verwiesen, die schematisch das Hörsystem beim Menschen zeigt.

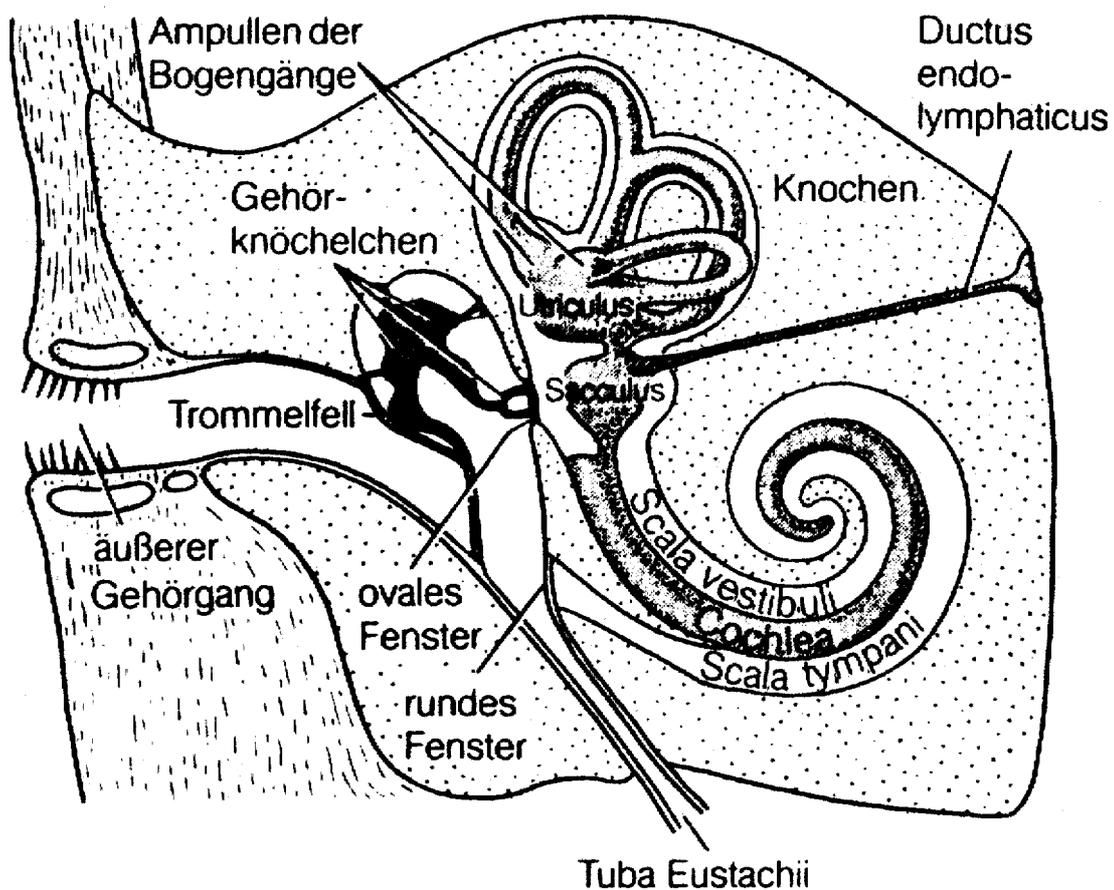


Abb. 3.1a

Prinzipiell sind alle bekannten Cochlea Implant Systeme ([NR]) wie in der folgenden Abbildung aufgebaut.

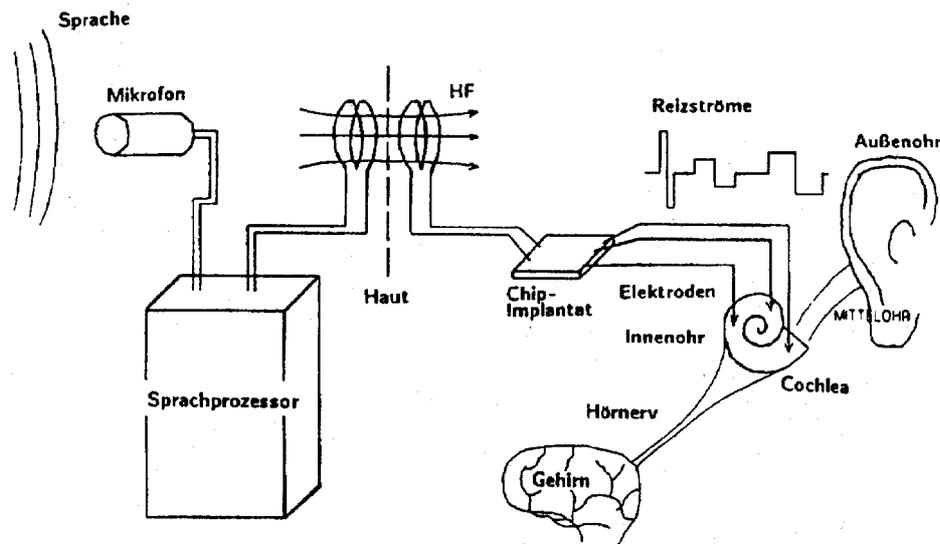


Abb. 3.1b

Das Sprachsignal gelangt nach der Wandlung in ein elektrisches Signal im Mikrofon in den Sprachprozessor. Mikrofon und Sprachprozessor übernehmen die im biologischen System vom Trommelfell und Hörknöchel wahrgenommenen Aufgaben der Impedanzanpassung und Dynamikkompression des akustischen Signals.

Darüber hinaus analysiert der Sprachprozessor das Frequenzspektrum des Sprachsignals und bildet damit grob die frequenzauflösende Funktion der Hörschnecke nach.

Es gibt in Bezug auf die Sprachverarbeitung auch einkanalige Prothesen, die nur eine Formung des Sprachsignals vornehmen.

Die vom Sprachprozessor gewonnenen und digital codierten Sprachsignal-Informationen moduliert die Ausgangsstufe des Sprachprozessors einem Hochfrequenz-Trägersignal auf, über eine Sendespule wird das Signal durch die Haut zur Empfangsspule der Implant-Elektrode übertragen.

Die Energieversorgung wird ebenfalls über den Hochfrequenzträger gewährleistet.

Die Implant-Elektronik demoduliert und decodiert die aktuellen Sprachsignal-Informationen; damit werden die Reizimpuls-Stromquellen angesteuert. Die erzeugten Reizimpulse gelangen je nach

Modell über 2 bis 22 Elektroden zu den an der Cochlea aufgefächerten Hörnervenenden.

Die Implantat-Elektronik ist in einem Gehäuse hermetisch gekapselt und wird bei der Operation hinter dem Ohr unter der Haut eingepflanzt.

Cochlea-Implants gehören zu den erfolgreichsten Anwendungen der funktionellen Stimulation und erlauben zum Teil Sprachverständnis ohne Lippenlesen und mit eingeschränktem Frequenzumfang (ähnlich wie beim Telefon).

Unter der Personalisierung der Hörprothese versteht man die Anpassung des Geräts an den Patienten. Hier wird die Wahrnehmungsfähigkeit des Patienten im Hinblick auf Impulsparameter-Änderungen festgestellt.

Die aus den Tests resultierenden Daten werden dann später im Sprachbetrieb der Prothese bei der Codierung der Sprachsignalinformation in Reizstromimpulse berücksichtigt. Im Anschluß an die Operation ermittelt man die Hörschwelle des Patienten und die Grenze zur schmerzhaften Hörempfindung.

Das Gesamtsystem besteht aus einem modular aufgebauten Einstell- und Testgerät, das eine zum Sprachprozessor funktionskompatible Einheit enthält. In Kombination mit einem Steuerrechner sind die Funktionen des Geräts über eine menügesteuerte Bedienoberfläche für den Mediziner einfach zu handhaben. Mit Hilfe des Einstellgeräts können neben der Ermittlung der Patientendaten auch verschiedene Sprachanalyse-Algorithmen am Patienten getestet werden. Der für den Patienten geeignete Algorithmus kann anschließend direkt in seinen Sprachprozessor übertragen werden.

Der Patient selbst kann seine spezifischen Daten, die im Sprachprozessor gespeichert sind, über eine kleine Tastatur modifizieren. Er hat so die Möglichkeit, in einer ihm vertrauten Umgebung eine günstigere Parametereinstellung zu finden. Die in der Klinik eingestellten Daten bleiben dabei jedoch unverändert; sie stehen per Tastendruck sofort zur Verfügung.

3.2 Retina Implant

Beim Retina Implant ([MM], [NR]) geht es prinzipiell darum, die Funktionen der Retina des Menschen nachzubilden.

Um ausgefallene Retina-Funktionen zu ersetzen muß ein entsprechendes System sich auch einer ähnlichen Arbeitsweise wie das Vorbild bedienen. Dies führt zu folgendem Schema eines Retina Encoders.

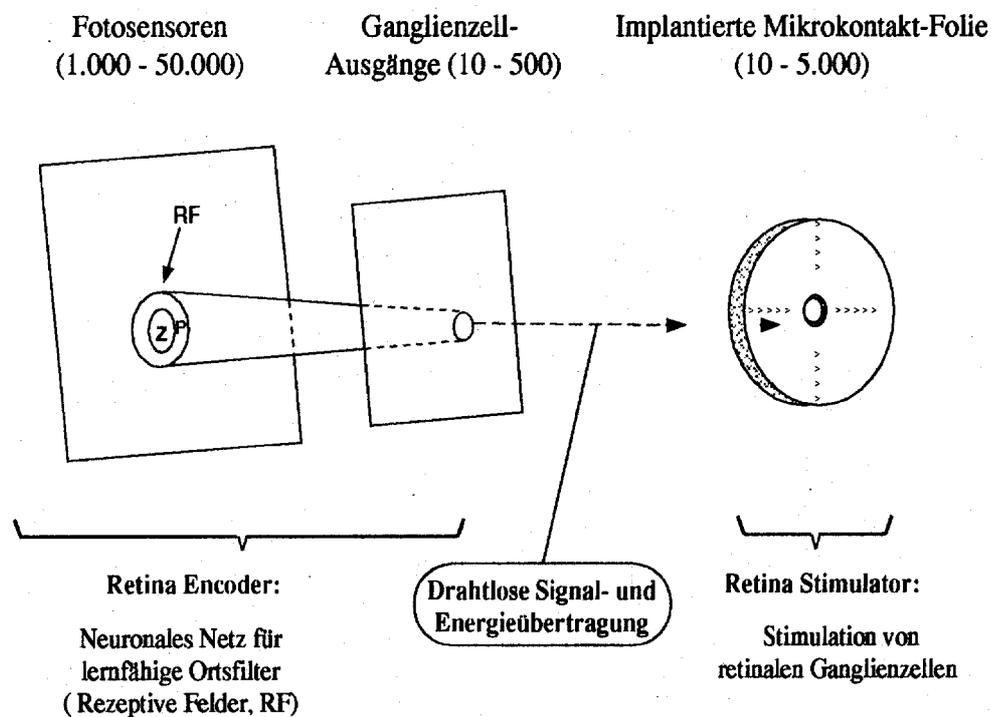


Abb. 3.2a

Der eigentliche Retina Encoder ist ein neuronales Netz, welches extern über Photosensoren Bildinformationen in einer gewissen Auflösung aufnehmen kann und dann auf eine geringere Anzahl von Ganglienzellausgängen projiziert.

Nach der Aufbereitung dieser Informationen werden diese Signale drahtlos zum Retina Stimulator übertragen. Dieser stimuliert retinale Ganglienzellen mit Hilfe einer implantierten Mikrokontaktfolie.

Der externe Teil des Gesamtsystems kann z.B. in einer Brille untergebracht werden wie im folgenden Bild dargestellt.

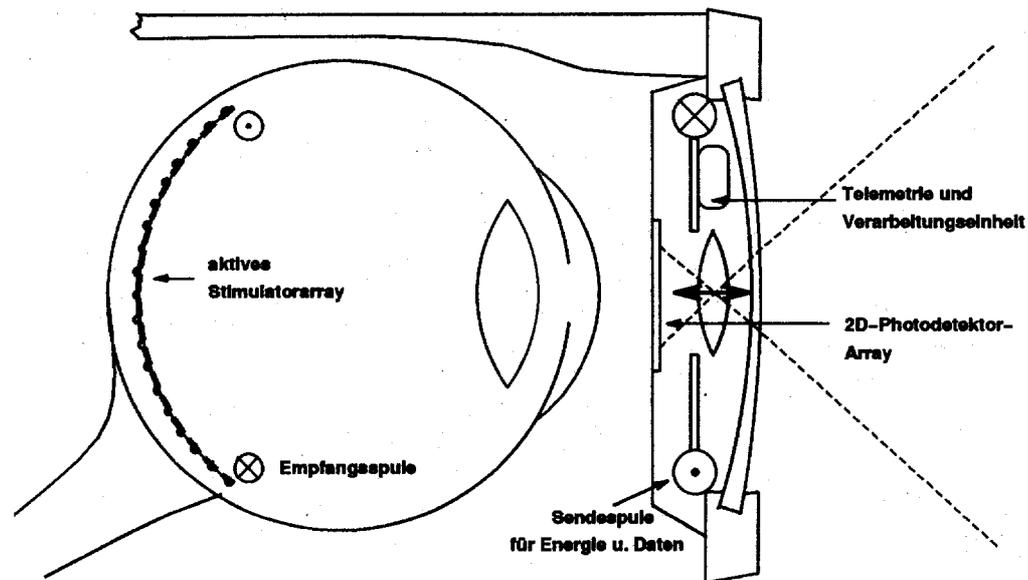


Abb. 3.2b

Die Bilderfassung erfolgt vor dem Auge durch ein 2D-Photodetektor-Array, welches man sich ähnlich einem CCD-Feld einer Videokamera vorstellen kann. In einer darüber gelegenen Einheit werden diverse Vorverarbeitungsschritte durchgeführt. Unten in dem Gestell befindet sich schließlich eine Sendespule, die sowohl für die Übertragung von Daten als auch für die Stromversorgung des Implantats zuständig ist, was drahtlos induktiv geschieht.

Innerhalb des Augapfels befindet sich der Retina Stimulator. Die Empfangsspule empfängt die von der Sendespule gesendeten Daten und schickt diese an ein aktives Stimulationsarray, welches die Ganglienzellen reizt, so daß dann die Bildsignale auf normalem Weg zum Gehirn gelangen können.

Zur Mikrokontaktfolie existieren mehrere Ansätze, wie diese beschaffen sein könnte.

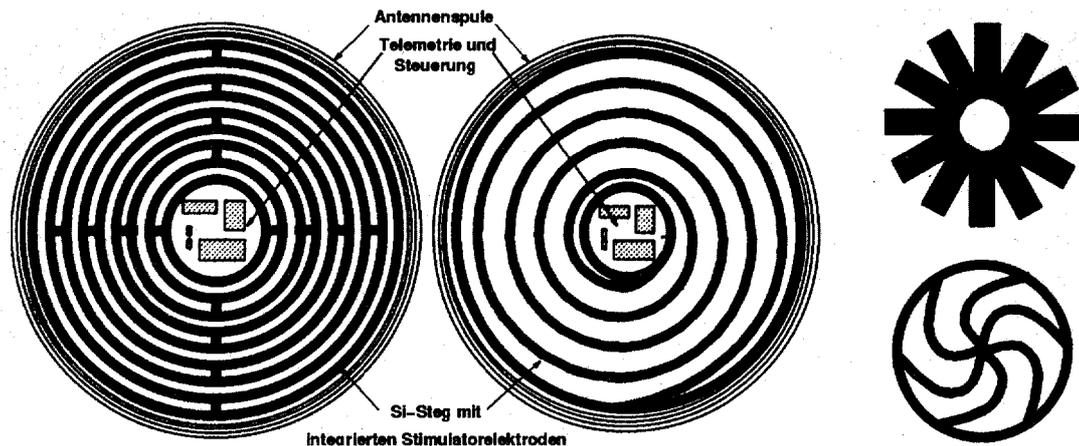


Abb. 3.2c

Hier seien als Beispiel einmal 4 verschiedene Muster gezeigt, die für eine Implementation in Betracht gezogen werden. Ihnen gemein ist die mittig angeordnete Einheit für Telemetrie und Steuerung, sowie die außen gelegene Antennenspule. Desweiteren besitzen die dunkel gezeigten Strukturen Stege aus Silizium, welche integrierte Stimulationselektroden besitzen.

Die Frage, die sich im Zusammenhang mit der Neuroinformatik stellt, ist die, wie man hinreichend viele Bildinformationen erfassen, übertragen und effizient stimulieren kann.

Eine Schwierigkeit besteht zum Beispiel darin, daß ein Mehr an Daten auch eine höhere Verarbeitungsleistung erfordert. Diese wiederum benötigt mehr Versorgungsstrom und darüber hinaus muß ein höher aufgelöstes Bild auch wieder auf die Ganglienzellen aufgebracht werden können.

Auf Grund der immer weiter ansteigenden Leistungsfähigkeit von Computersystemen wird sich das Problem der Verarbeitungsgeschwindigkeit quasi automatisch in den nächsten Jahren lösen. Es ist jedoch erforderlich den Energiebedarf solcher Systeme weiter zu reduzieren. Insbesondere das Aufbringen von höher aufgelösten Bildern kann nur ermöglicht werden, wenn man auf dem Gebiet der Mikrokontaktierung die Anzahl der Kontakte pro Fläche stark erhöhen kann.

3.3 Präoperative Fertigung von Schädelimplantaten

Bei der Kranioplastik ([EW]) handelt es sich um die Rekonstruktion von großflächigen Schädeldefekten, wie sie beispielsweise nach Unfällen oder Gehirnoperationen vorkommen.

Diese Implantate dienen vor allem dem Schutz des Gehirns; allerdings sollen sie auch normal wirkende Konturen wiederherstellen.

Solche Implantate werden allgemein bereits vor der Operation anhand von Modellen geformt. Durch die inzwischen verbreitete Röntgen-Computertomographie ist es möglich geworden, Knochenstrukturen schichtweise zu erfassen und diese in Computer zu übertragen.

Dieser kann dann aus den gewonnenen Daten realitätsgetreue 3D-Modelle errechnen. Dies geschieht mit Hilfe von CAD-Systemen, wobei CAD für Computer Aided Design steht. Die computerunterstützte Konstruktion von solchen Modellen bietet den Vorteil, daß man beliebige Modelle erstellen kann, die sowohl als reines Konturmodell als auch als realistisches 3D-Modell ähnlich einem Foto dargestellt werden können. Neben der Darstellung in beliebiger Größe können alle erfaßten Meßpunkte beliebig verändert werden.

Im Falle der Fertigung von Endoprothesen bietet CAD den großen Vorteil, daß die gespeicherten Modelldaten an ein CAM-System übergeben werden können. CAM steht für Computer Aided Manufacturing, d.h. daß beispielsweise eine an den Computer angeschlossene Fräsmaschine anhand der Modelldaten gesteuert werden kann. Als Ergebnis eines Arbeitsgangs erhält man schließlich ein exaktes Implantat, z.B. ein künstliches Hüftgelenk, was keiner weiteren Nachbearbeitung bedarf und somit sofort implantiert werden kann.

Bei den wesentlich feineren Strukturen des Schädels hat man bei obigem Verfahren ein ungleich höheres Datenaufkommen. Die

Computertomographie fördert beim Abtasten einer Schädelstruktur von rund 100 Schichten mit 1mm Abstand mehrere 100MB an Daten zu Tage.

Aus diesem Grund hat man bisher in der Kopfchirurgie die Konturdaten direkt als Steuerinformationen an Fräsmaschinen umgesetzt. Hierbei fährt das Werkzeug lediglich in der Höhe um feste Abstände, wodurch nur eine 2½-Achsen-Fertigung möglich ist. Desweiteren ist anschließend noch eine manuelle Anpassung der Prothese vor der Operation notwendig.

Dank leistungsfähiger Hard- und Software aus der Industrie kann man nun komplexe 3D-Modelle erstellen und mit Hilfe von Freiformflächen auch konstruieren. Freiformflächen sind beliebig unregelmäßige Flächen im Raum. Dabei werden die Flächen durch Parameterkurven, max. bis zur 21. Ordnung, näherungsweise beschrieben. Anhand der Modelle lassen sich Schädelprothesen direkt auf einer Fräsmaschine fertigen.

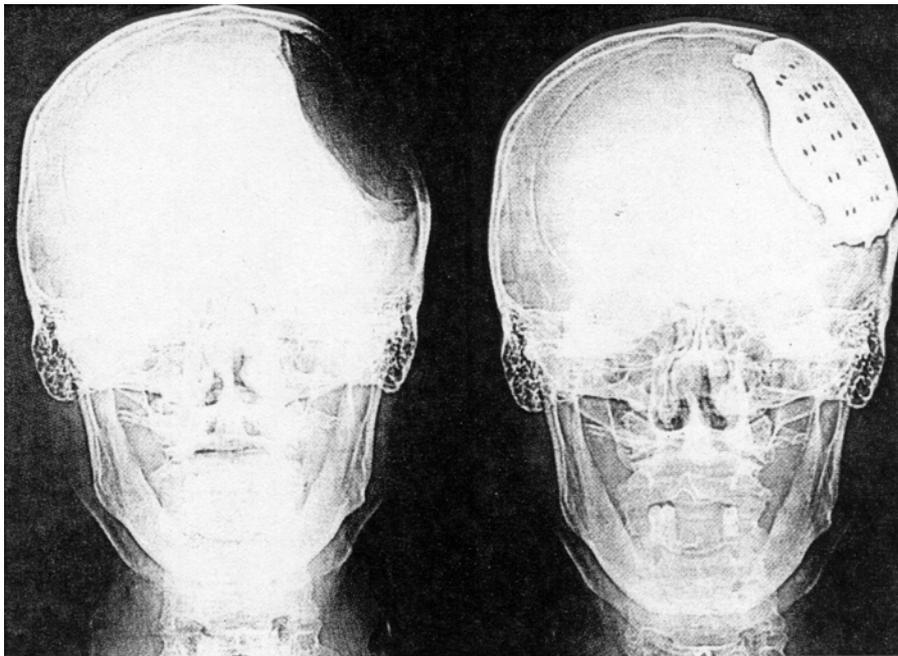


Abb. 3.3a

Zunächst werden mittels Spiral-Computertomographen 80 bis 140 Schichten aufgenommen. Durch statistische Analyseverfahren kann man dann die Knochengrenzen aus den Röntgendichtewerten ermitteln. Daraufhin wird ein Konturmodell erstellt und in ein 3D-Geometriemodell überführt.

Bei der eigentlichen Konstruktion der Implantate muß die Außenfläche beim Übergang zur intakten Knochenoberfläche glatt verlaufen.

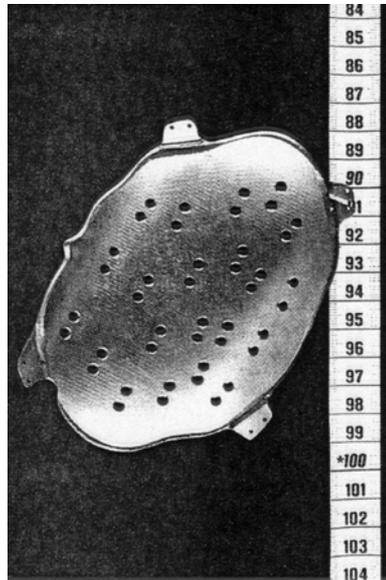


Abb. 3.3b

Die Prothese ist 1,5mm dick und an den Rändern konisch geformt, damit sie auch bei Abweichungen der realen Geometrie dicht anliegt. Die Fixierung erfolgt über 1mm starke Laschen, die mit 2 bis 4 Schrauben verankert werden.

Nach der Modellierung werden die Daten in einer 3- oder 5-achsigen Fräsmaschine zu einem Werkstück verarbeitet, welches jedoch nachbearbeitet werden muß.

Es gilt hierbei die zeitaufwendigen Prozesse der Modellierung und Fertigung zu optimieren.

Die Vorteile der CAD/CAM-Herstellung beruhen auf der Kombination von Vorfertigung und technisch-geometrischem Design, sowie standardisierbaren Konstruktionsprinzipien.

3.4 Sprachgesteuerter Vorlese-Arbeitsplatz für Blinde

Im Zeitalter von Internet und graphischen Benutzeroberflächen wird die Bedienung von Computern für Blinde und stark Sehbehinderte immer komplizierter. Unabhängig von Prozessortypen und Betriebssystemen setzen sich graphische Anwendungen und deren Bedienung per Maus immer stärker durch.

Die Integration dieser Personengruppe in soziale Prozesse und insbesondere in die Arbeitswelt ist somit ein notwendiges, aber schwieriges Unterfangen. Von Nachteil ist ebenso, daß gedruckte Informationen von der Zeitung bis zum Nachschlagewerk mehr und mehr zur Darstellung auf dem Bildschirm aufbereitet werden.

3.4.1 Von textorientierten zu graphischen Systemen

Die individualisierte Datenverarbeitung mit dem Personal Computer begann für Sehende mit einer Eingabe- und Ausgabe-Konvention, die dem Aufbau einer Schreibmaschinenseite folgt. Information gliedert sich in Zeilen von Buchstaben, Ziffern und einigen Sonderzeichen; die Anzahl der Zeichen ist meist auf 72 oder 80 pro Zeile beschränkt.

Der geübte Blinde oder stark Sehbehinderte vermochte bei der Eingabe dieser Technik zu folgen, indem die Tasten F und J einer sonst normalen Tastatur zur Orientierung mit kleinen Markierungen versehen wurden. Die Ausgabe, an sich eine rein serielle Abfolge von Zeichen, entspricht gewöhnlicher Braille-Schrift, also in Zeilen und auf Seiten angeordneten gestanzten Punktmarkierungen, die mit den Fingerkuppen zu ertasten sind. Bald stand auch ein Gerät zur Verfügung, das durch Anheben von Stiften unter einem Kunststoffband die Zeichen einer auf dem Bildschirm erscheinenden Zeile wiedergibt.

Heute bei den graphischen Oberflächen geht dies nicht mehr, da der Bildschirminhalt quasi ein Bild aus vielen Einzelpunkten ist. Durch Multitasking-Betriebssysteme sind zudem gleichzeitig mehrere Programme aktiv, die über Fenster ihre eigene Ein-/Ausgabe durchführen, im Gegensatz zu früheren textorientierten Programmen, bei denen der gesamte Bildschirminhalt nur von einem Programm verwendet wurde.

Das eigentliche Problem an graphischen Systemen ist jedoch die Maus, denn wie soll ein Blinder herausfinden, wo sich der Mauszeiger befindet und ob an der aktuellen Position irgend etwas zu tun ist. Außerdem gibt es gewisse Funktionen, welche über die Tastatur gar nicht mehr erreichbar sind.

Ein Problem heutiger Systeme erweist sich jedoch bei der Problemlösung als sehr hilfreich. Durch Multitasking, also das gleichzeitige Ausführen mehrerer Programme auf einem Computer, ist es möglich eine vermittelnde Ebene zwischen Mensch und Maschine einzubringen, nämlich ein Programm, welches dem Benutzer sagt, was gerade passiert und auf Befehle reagiert und diese umsetzt.

3.4.2 Architektur des Systems

Im Aufbau des Vorlese-Arbeitsplatzes ([We], Abbildung 3.4.2a) sind demnach mehrere Hauptbereiche zu unterscheiden. Durch Aussprechen anschaulicher Funktionsnamen wie "Lesen", "Inhaltsverzeichnis" oder "Suchen" lassen sich die gleichen Funktionen anwählen, die dem sehenden Benutzer der graphischen Bedienoberfläche durch Anklicken zur Verfügung stehen.



Abb. 3.4.2a

Von deren Merkmalen sind für den Blinden weder Größe noch Farbe noch Position wichtig. Hingegen muß er wissen, welches Fenster aktiviert ist. Der Sehende erkennt dies beispielsweise an einer farblichen Hervorhebung etwa des textuellen Inhalts oder des Rahmens; außerdem vermag er wahrzunehmen, ob ein Programm Eingaben von ihm erwartet.

Solche Informationen und Veränderungen in Reaktion auf Sprachkommandos werden automatisch ermittelt und an die Sprachausgabe-Einheit weitergeleitet. Diese synthetisiert daraus ein akustisches Signal, das in seinem Aufbau der Struktur der graphischen Oberfläche und der Folge der vom Benutzer getroffenen Auswahlen folgt. Insbesondere nennt es nach jedem Wechsel den Namen des gerade aktivierten Fensters, etwa "Inhaltsverzeichnis", dann den Inhalt dieses Fensters einschließlich verbaler Formulierungen für Hervorhebungen wie "unterstrichen" und schließlich das Wort, das unterstrichen ist.

Die Bedienung des Systems erfolgt quasi ähnlich wie mit der Maus, d.h. das Menüpunkte und Optionen, die man normalerweise anklicken würde, einfach ausgesprochen werden. Zusätzlich gibt es noch verkürzende Befehle wie z.B. „Starte Textverarbeitung“, die mehrere Einzelkommandos kombiniert.

Ein Hilfesystem ist ebenfalls realisiert, so daß kontextbezogen die möglichen Befehle vorgelesen werden. Außerdem gibt es natürlich einen Stopbefehl zum jederzeitigen Abbrechen der aktuellen Anweisung, falls man sich bei der Anweisung vertan hat oder aber das Spracherkennungssystem den erteilten Befehl falsch interpretiert hat.

3.4.3 Hard- und Software-Realisierung

Bei der Realisierung eines solchen Systems muß man sich aus Sicht der Informatik die Fragen nach dem zugrundeliegenden Betriebssystem und der Flexibilität stellen.

Wenn man die Software nicht derart gestaltet, daß sie mit geringem Aufwand auf ein beliebiges Betriebssystem portiert werden kann, dann ist es sinnvoll sich vorher für ein Betriebssystem zu entscheiden, was möglichst weit verbreitet ist. Nur bei einem hohen Verbreitungsgrad kann man möglichst vielen Benutzern ein solches System anbieten.

Insbesondere das Ziel, dem Blinden eine erfolgreiche Eingliederung in die Arbeitswelt und dort auch in soziale Prozesse zu ermöglichen, kann nur erreicht werden, wenn Blinde und Sehende über gemeinsame Themen sprechen können. Basiert die Sprachsoftware z.B. auf WindowsTM, dann findet man heutzutage sehr viele Personen, die mit dieser Oberfläche arbeiten. Dadurch kann man sich bei der Arbeit gegenseitig helfen. Würde man dem Blinden ein Spezialesystem an die Hand geben, was nur mit speziell angepaßten Programmen oder sogar nur auf bestimmten Geräten läuft, drängt man ihn unweigerlich ins Abseits.

Die Flexibilität ist wichtig, um ein universelles Werkzeug zu schaffen, was mit möglichst vielen Standardprogrammen zusammenarbeitet. Dies erweitert quasi das Anwendungsspektrum enorm. Es macht wenig Sinn sich nur auf Konventionen von einem bestimmten Hersteller

einzulassen, da man sich dadurch in eine starke Abhängigkeit begeben würde.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Aufbereitung von Daten für solche Anwendungen. Um beispielsweise eine Tageszeitung für einen Blinden aufzubereiten genügt es nicht einfach nur den Inhalt in eine Datei einzulesen und diese dem Blinden zukommen zu lassen. Vielmehr muß die enthaltene Information strukturiert aufbereitet werden, um ein nicht-sequentielles Suchen nach persönlichen Interessen zu gewährleisten.

Für die verschiedenen Aufgaben werden jeweils passende Programme, also eines zur Erweiterung von Dokumenten, eines zum Auffinden der Markierungen, usw. benötigt.

Desweiteren braucht man, neben dem Mikrofon für die Spracheingabe, ein extern an den Rechner angeschlossenes Gerät, das Buchstabenfolgen nach den Ausspracheregeln einer Sprache (z.B. Deutsch) in akustische Signale umsetzt und durch einen eingebauten Lautsprecher ausgibt.

3.4.4 Erfahrungen

Bei Verwendung von Standardprodukten bestimmt der Massenmarkt die Kosten, nicht der enge Markt besonderer Varianten für Behinderte. Somit kommen ihnen auch Weiterentwicklungen der Software, wie allen anderen Konsumenten, zugute und sie sind nicht auf Aktivitäten von in der Regel kleinen Spezialanbietern mit beschränkten Forschungskapazitäten angewiesen.

Ein weiterer Vorteil ist die Unterstützung im Routine-Service großer Software-Anbieter durch Hotline, Informationen über Programmverbesserungen und dergleichen mehr.

Jedes verwendete Software-Paket kann im Prinzip durch ein anderes unter dem Betriebssystem lauffähiges ausgetauscht werden. So lassen sich andere Anwendungen wie Datenbanken, Textverarbeitung und

eMail (elektronische Post) in den Spracheingabe-Sprachausgabe-Zyklus einbauen. Damit hat der Blinde oder schwer Sehbehinderte Zugang zu in der Arbeitswelt wichtigen Programmen, die ihm vorher verschlossen waren. Allein daß er über Software, mit der sehende Kollegen umgehen, mitreden kann, ist von großer sozialer Bedeutung.

Die Vision, gedruckte Medien Blinden und Sehenden gleichzeitig zur Verfügung zu stellen, erfordert allerdings noch die Einbindung des dargestellten Systems in ein Netz zur Datenfernübertragung. So muß man beispielsweise eine Tageszeitung auch über die Telephonleitung auf den Computer des Blinden übertragen, nachdem sie beim Verlag oder einem Service-Anbieter in ein passendes Format umgesetzt worden ist.

Es gibt spürbare Grenzen Dokumente mit einer sehr aufwendigen internen Struktur - etwa mehrbändige Lexika - angemessen darzustellen. Automatische Spracherkennung wird zudem nie von gelegentlichen Fehlerkennungen frei sein, insbesondere wenn man auf die zeitaufwendige Sprecher-Adaptation des Systems verzichtet. Bei diesem Vorgang wird das System auf die sprachlichen und stimmlichen Merkmale des Sprechers angepaßt.

Sprachsynthese ohne Begrenzung des Vokabulars produziert ohnehin noch eine Art technischen Dialekt, der gewöhnungsbedürftig ist.

Das gravierendste Problem ist derzeit aber nicht technischer, sondern finanzieller Art. Sowohl die Ausstattung mit Soft- und Hardware als auch die Übertragung von umfangreichen Texten aus Hörbüchereien auf den persönlichen Computer sind teuer und schränken die Benutzung auf einen begüterten Personenkreis ein.

Jegliche Euphorie über die globale multimediale Vernetzung ist fehl am Platze, solange es für die meisten Blinden unbezahlbar ist, in den Beständen einer Hörbücherei nach interessanten Texten zu suchen und sie sich überspielen zu lassen. Daß es anders geht, haben einige Nachbarländer gezeigt.

3.5 Stand-Gang-Neuroprothese (SGN)

Die Stand-Gang-Neuroprothese [NR] soll zukünftig bei Querschnittslähmung eingesetzt werden.

Um Patienten wenigstens teilweise zu rehabilitieren, wird seit vielen Jahren neben dem Rollstuhl die funktionelle Elektrostimulation eingesetzt. Dabei werden mittels schwacher Stromstöße die intakten Nerven an der Eintrittsstelle in den Muskel durch die Haut stimuliert und aktivieren ihrerseits die Muskeln zu nicht unerheblicher Kraftentfaltung. Diese wirkt dem Abbau der Muskeln und der Knochen entgegen und fördert die Durchblutung.

Es liegt daher nahe zu versuchen die Kraftentfaltung der erhaltenen Muskulatur zu koordinieren und auf diese Weise sinnvolle Bewegungen, z.B. Stand und Gang, zu ermöglichen.

3.5.1 Komponenten der SGN

Fügt man ein System hinzu, das es dem Patienten erlaubt, die Neuroprothese zu kommandieren, und ein weiteres, das ihm erlaubt, auch den Zustand des Kontrollsystems und der Gliedmaßen wahrzunehmen, erhält man die wesentlichen Bestandteile einer Stand-Gang-Neuroprothese wie in der folgenden Abbildung zusammengefaßt.

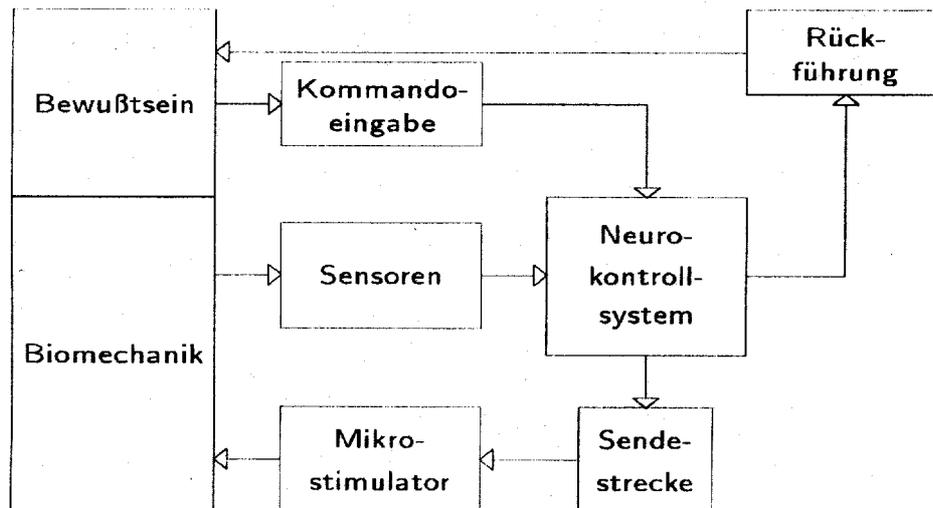


Abb. 3.5.1a

3.5.2 Neuroinformatik der SGN

In einer Stand-Gang-Neuroprothese muß unter Berücksichtigung einer großen Anzahl von individuellen biomechanischen Eigenschaften des Patienten aus situationsabhängigen Sensorsignalen in wenigen Millisekunden eine Reaktion berechnet werden, die eine äußere Störung (z.B. ein Anrennen) oder unerwartete Abweichungen in den Umweltverhältnissen (z.B. Bodenebenheit) kompensiert.

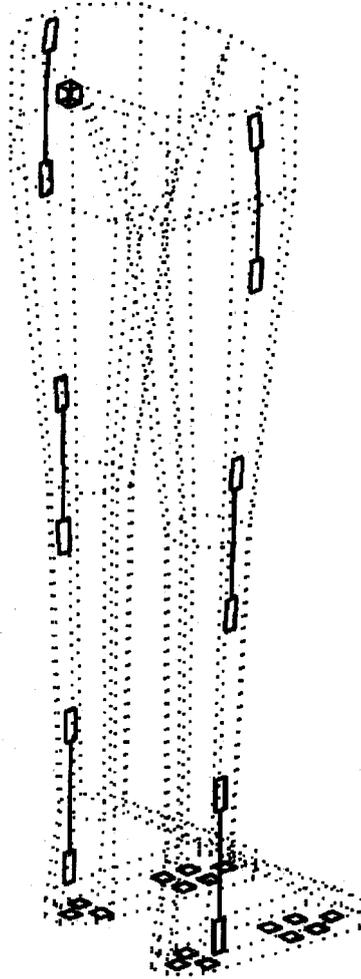
Zur Steuerung der Stand-Gang-Neuroprothese macht eine Spracheingabe Sinn, da so die übrige Körpermuskulatur, insbesondere die Hände, für Alltagsaktivitäten frei bleiben. Geeignete Spracherkennungssysteme, u.a. auch auf der Basis von neuronalen Netzwerken, stehen bereits jetzt zur Verfügung.

Desweiteren ist eine akustische Rückleitung vorgesehen, z.B. über Ohrhörer, die den Zustand des Systems und des Bewegungsapparates zurückführen soll.

3.5.3 Neuromedizin der SGN

Zur Erfassung der Zustände werden Sensoren benötigt, welche in einem Sensoranzug untergebracht werden.

3D Accelerometer



Drucksensoren

Abb. 3.5.3a

Die Neuroprothese wird zum Teil außerhalb des Körpers, zum Teil implantiert getragen. Zwischen diesen beiden Teilen findet ein drahtloser Signalaustausch statt. Außerhalb des Körpers befinden sich die Kommandoeingabe, die Rückführung, die Sensorik, das eigentliche Kontrollsystem und eine Sendeeinheit, sowie eine wiederaufladbare Batterie. Vollimplantiert werden Empfangseinheiten und Stimulationssysteme.

Es werden parallel drei Varianten von Implantationsarten getestet.

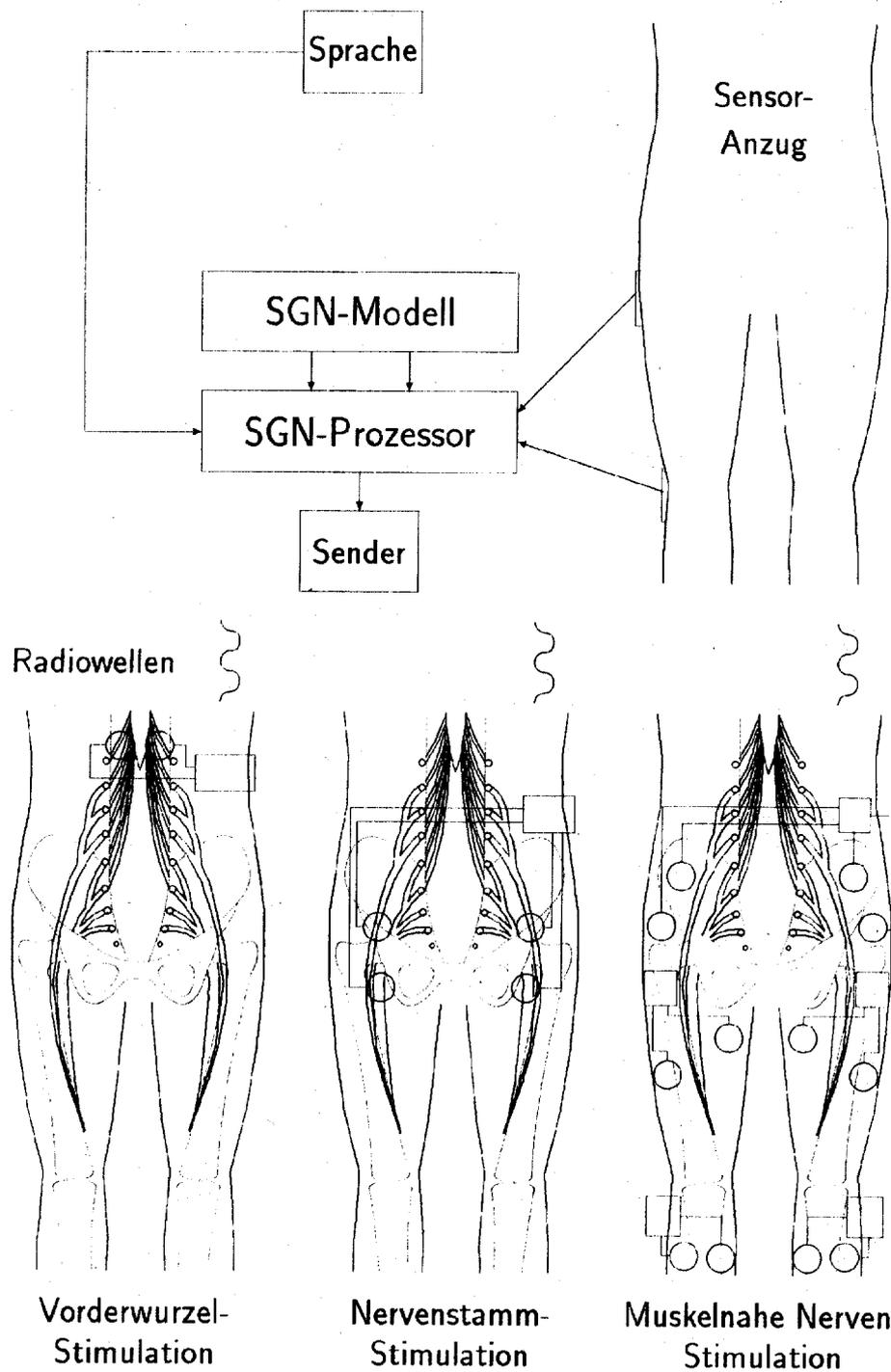


Abb. 3.5.3b

Für die Implantation der Stimulatoren kommt eine Kombination von verschiedenen Orten in Frage, da man gewisse Dinge berücksichtigen muß, wie z.B. kurze Leitungswege oder die unterschiedlichen Aufgaben, d.h. zur Stimulation der Muskeln sollte man auch in Muskelnähe bleiben.

Daher werden im Becken, in den Oberschenkeln und in den Unterschenkeln jeweils eigene Empfangseinheiten vorgesehen, die wegen der Energieversorgung jeweils eine eigene Antenne in unmittelbarer Nähe, z.B. in den Sensoranzug integriert, zugeordnet bekommen.

Dadurch verlagert sich das Problem der Gelenküberbrückung auf Bereiche außerhalb des Körpers. Dies geschieht entweder über eingesetzte Leitungen oder, bei dezentraler Verteilung der Batterien, drahtlose Signalübermittlung. Mit einer vertretbaren Anzahl chirurgischer Eingriffe können alle erforderlichen Muskeln mit Mikrostimulationssystemen ausgestattet werden.

Schließlich ist zu gewährleisten, daß der Patient lernt, die Prothese zu benutzen, ohne daß diese Tätigkeit ihn zeitlich zu sehr belastet und seine beruflichen und familiären Bezüge beeinträchtigt werden. Jederzeit müssen Fachleute für Beratung, Reparatur und Wartung der Neuroprothese zur Verfügung stehen.

Aus diesen Gründen kann die Betreuung der Patienten nur an einem geeigneten Zentrum, das über die benötigten Voraussetzungen verfügt, von einem interdisziplinär zusammengesetzten Team durchgeführt werden.

3.6 Biosensorik

Die Biosensorik [B] sei hier nur kurz erwähnt.

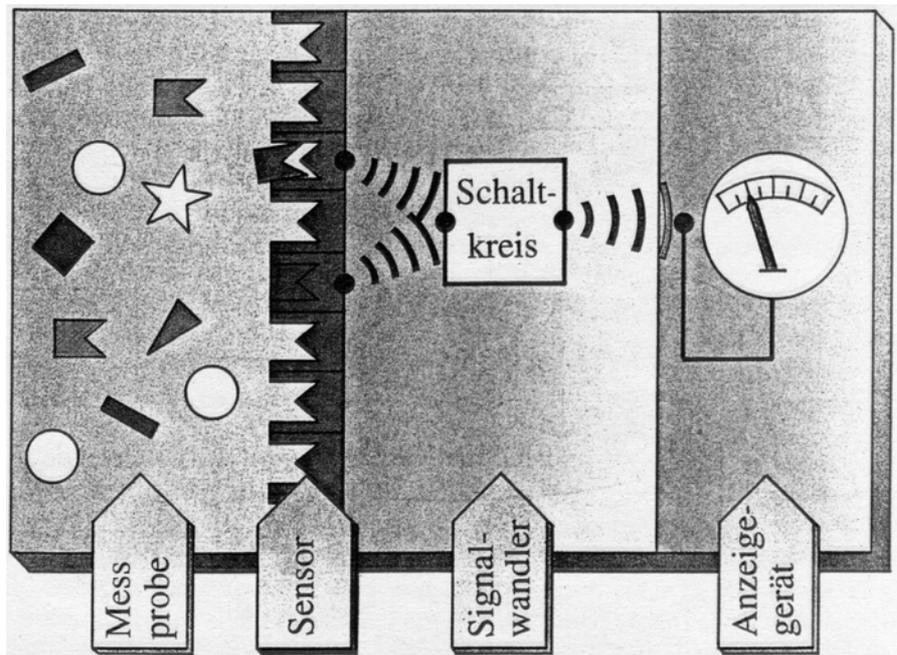


Abb. 3.6a

Wie in der Abbildung gezeigt, handelt es sich hierbei um biologische Verfahren zur Erkennung von Stoffen. Nach dem sog. Schlüssel-Schloß-Prinzip reagiert der biologische Meßfühler (Schloß) auf eine zu analysierende Substanz (Schlüssel). Durch die Reaktion darauf ändern sich einige physikalische Größen, die vom Signalwandler aufbereitet und mit einem Anzeigergerät dargestellt werden.

Anwendungsgebiete für Biosensoren sind :

- Medizinische Diagnostik
- Umweltanalytik
- Lebensmittelkontrolle
- Prozeßkontrolle und Substanztests
- Drogendetektion

4 Zusammenfassung

Es wurden diverse Modelle vorgestellt, die teilweise schon angewendet werden und teilweise erst in Entwicklung sind.

Die Fortschritte in den einzelnen Bereichen sind durchaus beachtlich, aber keineswegs bereits zufriedenstellend. Zukünftig müssen Systeme weiter optimiert werden und zwar in Bezug auf Größe, Energieverbrauch und Leistungsfähigkeit.

Nur wenn es gelingt noch mehr Kontakte auf Nerven aufzubringen wird es möglich sein feinere Kontrolle auszuüben. Um diese Informationen aber auch effizient nutzen zu können, bedarf es leistungsfähigerer Computertechnik, die auf weniger Raum mehr berechnen kann. Dadurch würde sich automatisch der Energieverbrauch reduzieren und man könnte die neuen Technologien verstärkt einsetzen.

Literaturverzeichnis

- [B] Bundesminister für Forschung und Technologie, *Biosensorik*, 1992
- [ERA] Eckert, Roger, Randall, David und Augustine, George, *Tierphysiologie*, 2. Auflage, Thieme, 1993
- [EW] Eufinger, Harald und Wehmöller, Michael, *Die präoperative Fertigung von Schädelimplantaten*, Spektrum der Wissenschaft, Juni 1995, pp. 92-94
- [KH] Klee, Doris und Höcker, Hartwig, *Optimierung der Bioverträglichkeit von Kunststoff-Implantaten*, Spektrum der Wissenschaft, Juni 1995, pp. 90-92
- [MBS] Meyer, Jörg-Uwe, Blau, Cornelia und Stieglitz, Thomas, *Multikontaktierung von Nerven mit Mikrostrukturen*, Spektrum der Wissenschaft, Juni 1995, pp. 98-102
- [MM] Mahowald, Misha und Mead, Carver, *Die Silizium-Netzhaut*, Spektrum der Wissenschaft, Ultrarechner, 1991, pp. 82-89
- [NR] Eckmiller, R., *Neurotechnologie-Report, Machbarkeitsstudie und Leitprojekt-Vorschlag*, Kurzfassung, BMFT, 1994
- [Re] Reichert, Heinrich, *Neurobiologie*, Thieme, 1990
- [We] Wetter, Thomas, *Mit den Ohren sehen - ein sprachgesteuerter Vorlese-Arbeitsplatz für Blinde*, Spektrum der Wissenschaft, Juni 1995, pp. 94-98