

Sehchips – Hoffnung für Blinde

Von Eberhart Zrenner und Hugo Hämmerle

Seit mehr als einem Jahrzehnt arbeiten Wissenschaftler an der Entwicklung von elektronischen Prothesen, die es erblindeten Menschen ermöglichen sollen, wieder ausreichend zu sehen. Jetzt verspricht ein neuer, in Deutschland entwickelter „aktiver Sehchip“ erstmals einen Durchbruch.

Zu erblinden zählt für die meisten Menschen zum Schrecklichsten, was sie sich vorstellen können. In der Realität ereilt dieses Schicksal allein in Deutschland alljährlich rund 17.000 Menschen. Ihnen kann die Medizin trotz zahlreicher therapeutischer Neuentwicklungen nicht helfen – wohl aber künftig die Technik.

Die Miniaturisierung der modernen Elektronik und die Erfolge mit Herzschrittmachern oder mit Cochlea-Implantaten zum Wiederherstellen des Hörens haben die Entwicklung elektronischer Netzhautimplantate, so genannter Sehchips, bereits vor zehn Jahren weltweit angestoßen. Die Resultate waren zunächst enttäuschend.

Die mittlerweile erarbeiteten Fortschritte versprechen jedoch Implantate, die es blinden Menschen tatsächlich wieder ermöglichen, in gewissem Umfang zu sehen. Die Forscher erproben derzeit verschiedene Ansätze, abgestimmt auf die Ursache der Erblindung. Prinzipiell bestehen bei Ausfällen entlang der so genannten Sehbahn drei Möglichkeiten, Sehchips anzukoppeln: am Gehirn, an den Sehnerven oder an der Netzhaut, der Retina.

Ist der Sehnerv defekt, bleibt nur die direkte elektrische Stimulation der Sehrinde. Erste Versuche hierzu erfolgten bereits in den 1970er Jahren, schlugen jedoch fehl.

Es waren keine stabilen Sehempfindungen zu erzeugen. Zurzeit entwickeln mehrere Gruppen in den Vereinigten Staaten und in Portugal Elektrodenfelder, die an der Sehrinde am hinteren Pol des Gehirns ankoppeln und mit einer Digitalkamera angesteuert werden. William Dobbelle vom Dobbelle-Institut in Lissabon (Portugal) berichtete 2002 von einzelnen Patienten, bei denen rund hundert in die Gehirnoberfläche eingepflanzte Elektroden zumindest grobe Seheindrücke von Hell-dunkel-Feldern vermitteln konnten. Gegenstände oder Gesichter zu erkennen, gelang ihnen jedoch nicht. Nadelektrodenfelder aus Silizium (siehe kleines Foto Seite 2 im Kasten rechts) entwickelt ein Team um Richard Norman von der Universität von Utah in Salt Lake City. Die feinen Nadeln werden mit Pressluft so weit in die Sehrinde hineingeschossen, dass die Spitzen direkt die Eingangsschichten der Sehbahnfasern berühren. Das Verfahren hat die Forschergruppe zwar bisher nur bei Versuchstieren erprobt. Doch ist nicht auszuschließen, dass damit eines Tages erblindeten Menschen brauchbare Bilder vermittelt werden können.

Den zweiten Ansatz – die Ankopplung an den Sehnerv – versucht beispielsweise eine Gruppe um Claude Veraart von der Universität Löwen in Belgien. Über eine um den Sehnerv gewickelte Manschette wollen die Forscher vier bis acht Elektroden so ansteuern, dass einzelne Nervenfaserbündel darin gereizt werden und daraufhin verschiedene räumliche Erregungsmuster an das Gehirn weiterleiten. Allerdings lassen sich mit nur acht Elektroden die 1,2 Millionen Fasern des Sehnervs nicht spezifisch reizen, daher

reicht die räumliche und zeitliche Auflösung nicht wirklich aus. Immerhin: Eine blinde Patientin, die ein solches Sehnervenimplantat erhalten hatte, konnte – nach zwanzig Sekunden Suchbewegungen der ansteuernden Videokamera – eine weiße Vase auf einem schwarzen, schachbrettartig gerasterten Tisch lokalisieren.

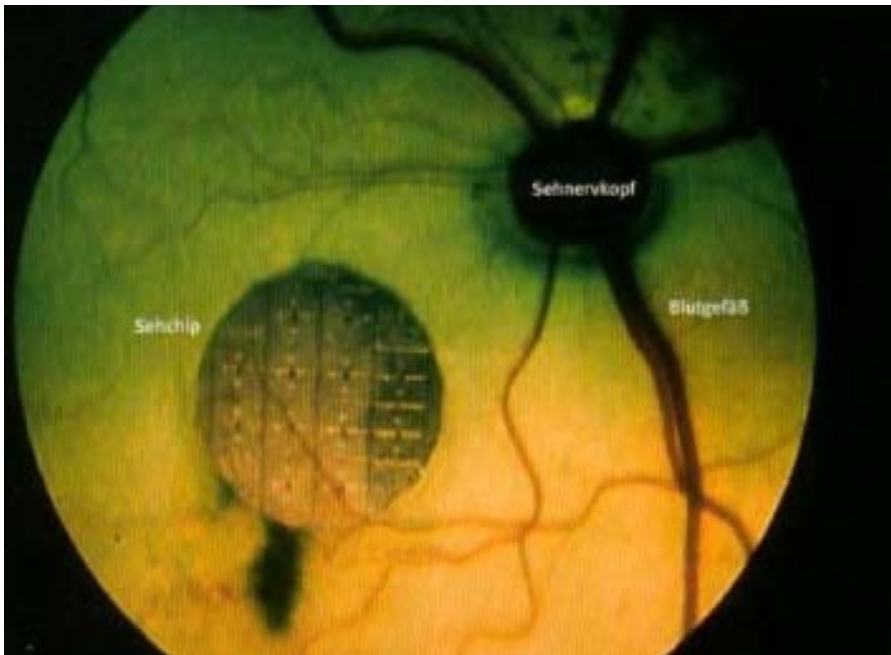
Der wohl vielversprechendste und von den meisten Forschergruppen favorisierte Ansatz aber ist, Implantate direkt an die Netzhaut anzuschließen. Dies bietet sich nicht zuletzt deshalb an, weil die Sehnervenfaserbündel an der Oberfläche der Retina noch flach auseinander gezogen sind – ähnlich wie das Ende eines aufgefächerten, dicken Telefonkabels, das zum „Anzapfen“ einlädt (siehe Kasten S. 3).

Dass solche elektrisch angesteuerten retinalen Implantate einen Seheindruck vermitteln können, wurde schon vor einigen Jahren nachgewiesen. Joe Rizzo von der Harvard-Universität in Boston, John L. Wyatt vom Massachusetts Institute of Technology in Cambridge sowie Mark Humayun und Eugene de Juan vom Doheny-Augen-Institut der Universität von Südkalifornien in Los Angeles setzten blinden Patienten auf die Netzhaut einzelne Elektroden auf, die über eine Drahtverbindung mit Strom versorgt wurden. Je nach Ort der Reizelektrode und abhängig von der Stärke und Dauer der Stimulationsströme konnten einigen Patienten geometrische Muster vermittelt werden. Dies gelang selbst bei Personen, die bereits seit Jahren erblindet waren.

Der retinale Ansatz ist also prinzipiell machbar. Ein großes Problem besteht aber darin, die Elektroden dauerhaft und schädigungsfrei an das neuronale Gewebe anzukoppeln. Für die „Biokompatibilität“ ebenso wichtig ist, die Art der Stimulation herauszufinden, die es erlaubt, über längere Zeit zu reizen, ohne die Nervenzellen zu schädigen. Schließlich gilt es auch die „Biostabilität“ sicherzustellen, also dass die Elektronik den Angriffen von Körperzellen und Körperflüssigkeiten jahrelang standhält. Das subretinale Implantat ist immerhin samt

In Kürze

- Blinde sehend machen können elektronische Sehprothesen auch in Zukunft nicht generell. Bei bestimmten, relativ häufigen Erkrankungen, die zur Erblindung führen, bieten sie jedoch berechtigte Hoffnung.
- Sehchips können auf oder unter die Netzhaut implantiert werden. Fachleute sprechen von epiretinalen und subretinalen Implantaten.
- Die Anforderung: Sie sollen den Patienten ein ausreichendes Sehen ermöglichen, haltbar sein und die Netzhaut nicht schädigen.



Biologische und technische Materialien müssen sich vertragen. Ein früher Vorläufer des subretinalen Sehchips – letzterer soll nun am Menschen getestet werden – wurde hier zur Prüfung unter die Netzhaut einer Katze eingepflanzt.

schützender Hülle etwa 50.000mal kleiner als ein Herzschrittmacher.

Bei der Entwicklung von Sehchips, die an Nervenzellen der Netzhaut angeschlossen werden können, sind Deutschland und die USA führend. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung beschäftigen sich seit 1995 mehrere deutsche Gruppen mit zwei unterschiedlichen Ansätzen:

dem so genannten epiretinalen und dem subretinalen Implantat. Ersteres liegt von der Pupille aus betrachtet auf der Netzhaut, Letzteres unter ihr (siehe Kasten Seite 3). Mittlerweile werden beide Ansätze auch in den Vereinigten Staaten und in Japan intensiv erforscht, sodass eine Art Wettlauf um ein wirklich brauchbares Netzhautimplantat entstanden ist.

Beim epiretinalen Implantat, das ein Forschungsverbund um Rolf Eckmiller von der Universität Bonn entwickelte, wird das Bild entweder von einer Kamera an einem Brillengestell aufgenommen oder von einem Sensor, den man anstelle der natürlichen Linse einpflanzt. Die erfassten Bildinformationen müssen danach in Stimulationsimpulse umgewandelt und gezielt an Elektroden, die auf der Netzhaut liegen, übertragen werden. Dazu ist es dann erforderlich, die zungenförmigen Elektrodenfolien, die vom vorderen zum hinteren Augenpol reichen, dauerhaft zu befestigen.

Die beteiligten Forschergruppen und Netzhautchirurgen erproben verschiedene Methoden dafür. Als nicht geeignet erwiesen sich Gewebekleber; etwas günstiger schnitten kleine Kunststoffnägel ab, die durch die Netzhaut hindurch bis zur Lederhaut des Auges reichen. Möglicherweise wären die Folien auch zu „befestigen“, indem man Netzhautzellen in sie einwachsen lässt. Leider ist die Netzhaut sehr empfindlich und reagiert gerade auf „Störungen“ von der Glaskörperseite her oft mit ungesteuertem Zell- und Gefäßwachstum.

Drei Quadratmillimeter Hightech

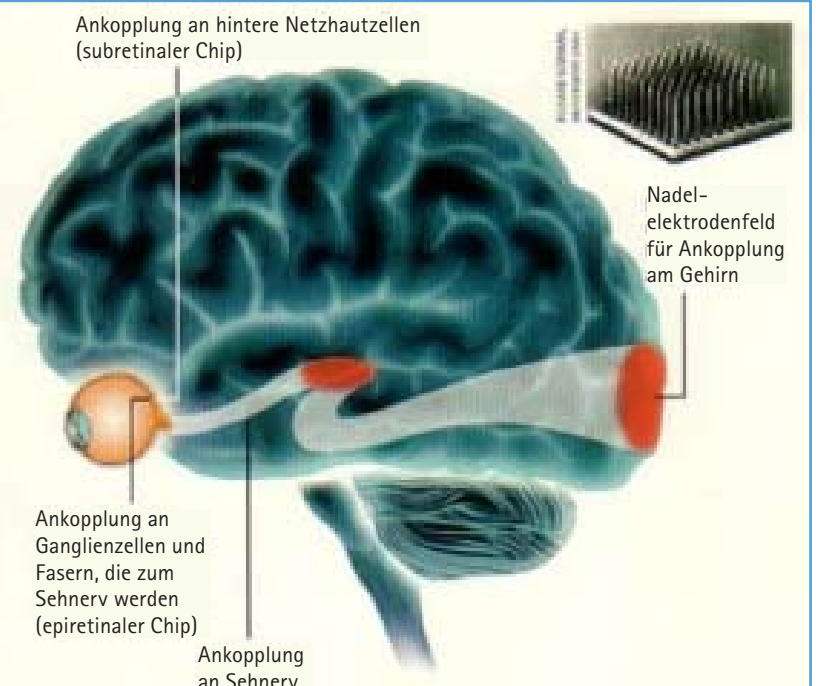
Humayun und seine Mitarbeiter haben einigen Patienten bereits 16 Elektroden dieser Art eingepflanzt und über Drähte

Ursachen dauerhafter Erblindung

Jährlich erblinden allein in Deutschland etwa 17.000 Menschen, denen die Medizin trotz zahlreicher therapeutischer Neuentwicklungen nicht helfen kann. Bei etwa einem Drittel sind Stäbchen und Zapfen – die Sehsinneszellen der Netzhaut – untergegangen. Etwa die Hälfte davon leidet an einer „Retinitis pigmentosa“, bei der schon in jungem Alter erblich bedingt die Sehzellen absterben. Die andere Hälfte leidet meist an einer „altersbedingten Makuladegeneration“; hier kann das retinale Pigmentepithel, das Sehzellen ernährt und erneuert, seine Aufgaben nicht mehr erfüllen.

Bei einem weiteren Drittel ist die „aufsteigende Sehbahn“ geschädigt; so gehen beim „Grünen Star“ die Ganglienzellen der Netzhaut zu Grunde, welche die Information der etwa 110 Millionen Lichtempfänger des Auges in verrechneter Form aufnehmen und über etwa 1,2 Millionen Fasern des Sehnervs an das Gehirn weiterleiten. Beim letzten Drittel sind auch die Zentren des Gehirns selbst geschädigt, etwa durch Tumoren oder Schlaganfälle.

Dem erstgenannten Drittel können prinzipiell retinale Sehprothesen helfen, dem zweiten Drittel corticale Sehprothesen, die an der Sehrinde, dem visuellen Cortex, ansetzen. Für das letzte Drittel wird es wahrscheinlich keinen technischen Funktionsersatz geben.



angesteuert. Es gelang bislang jedoch nur, ein Hell-dunkel-Sehen sowie eine gewisse Richtungswahrnehmung zu vermitteln. Brauchbare Bilder entstanden bei der kleinen Zahl an Elektroden nicht.

Beim epiretinalen Ansatz werden die so genannten retinalen Ganglienzellen und möglicherweise auch die Output-Fasern elektrisch stimuliert. Ein Problem dabei ist, dass die Fasern stets „unterwegs“ gereizt werden – irgendwo auf der Wegstrecke von ihrer in der Netzhaut gelegenen Ursprungszelle zum Sehnervaustritt. Nun interpretiert aber das Gehirn eine Erregung einer solchen

Faser immer als einen bestimmten Lichtfleck im Sehraum. Dieser Punkt entspricht dem Ort der Ursprungszelle in der Netzhaut, aber nicht notwendigerweise dem Ort der an der Faser angekoppelten Elektrode. Deshalb muss bei dieser Methode ein Bild, bevor man es der Faserseite der Netzhaut übermittelt, erst wieder „ortsgetreu“ aufbereitet werden. Dies kann beispielsweise ein lernendes Softwaresystem, ein „Encoder“, übernehmen, das den Reizort im Blickfeld jeweils so verschiebt, dass er zur eigentlichen Sehempfindung im Gesichtsfeld passt – eine komplexe Aufgabe, in deren

Zentrum die Entwicklung eines lernfähigen Encoders steht.

Der subretinale Ansatz umgeht dieses Problem. Bei ihm wird ein Chip mit 1.500 lichtempfindlichen Mikrophotodioden, ein „MPD-Array“, unter die Netzhaut eingebracht – also direkt an die Stelle der Zapfen- und Stäbchenschichten, die bei den meisten Patienten mit altersbedingter Makuladegeneration und Retinitis pigmentosa (siehe Kasten Seite 2) zu Grunde gegangen sind. Einen solchen Chip erprobt ein Verbund der Universitätsaugenkliniken in Tübingen und Regensburg, des Naturwissenschaftlichen

Wie Sehchips an die Netzhaut anknoppeln

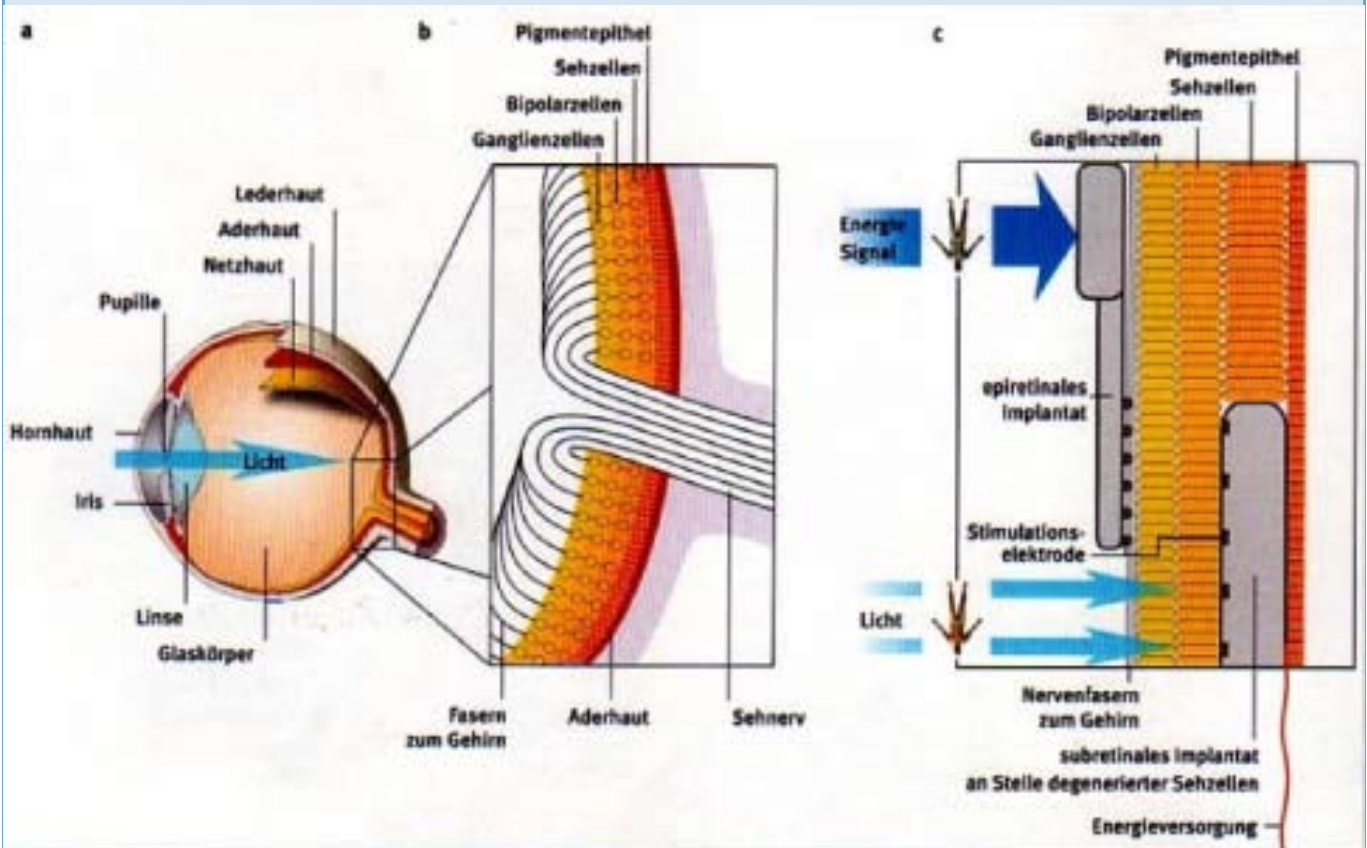
Beim gesunden Auge projizieren Hornhaut und Linse das zu sehende Objekt als umgekehrtes Abbild auf die Netzhaut, wo Sehzellen es in ein elektrisches Abbild verwandeln (a und b).

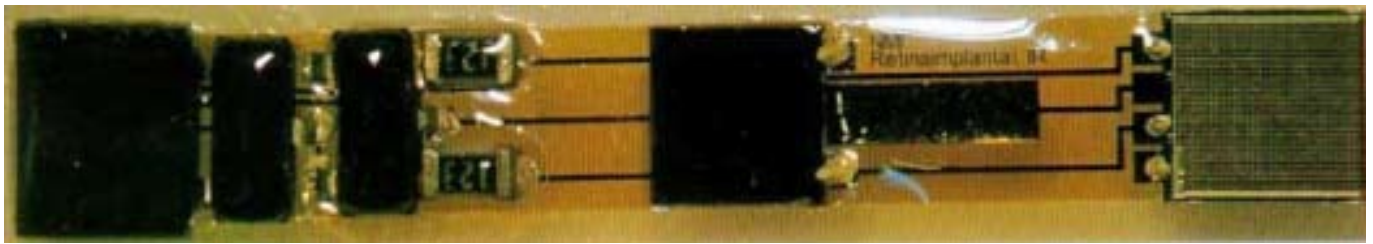
Bei einem subretinalen Implantat (c, rechts außen) werden die abgestorbenen Sehzellen an der hinteren Netzhaut durch ein Silikonplättchen ersetzt, auf dem sich Tausende lichtempfindliche Mikrophotodioden befinden. Jede ist mit einer

Stimulationselektrode versehen. Das vom Gegenstand kommende Licht steuert direkt die Mikrophotodioden an. Die Elektroden stimulieren die verbliebenen Nervenzellen wie die Bipolarzellen und Ganglienzellen der Netzhautschicht. Dafür sind nur winzige Strommengen erforderlich. Die Zellen sind durchscheinend.

Das epiretinale Implantat (c, links) besitzt hingegen keine lichtempfindlichen Flächen. Stattdessen erhält es elektrische Signale

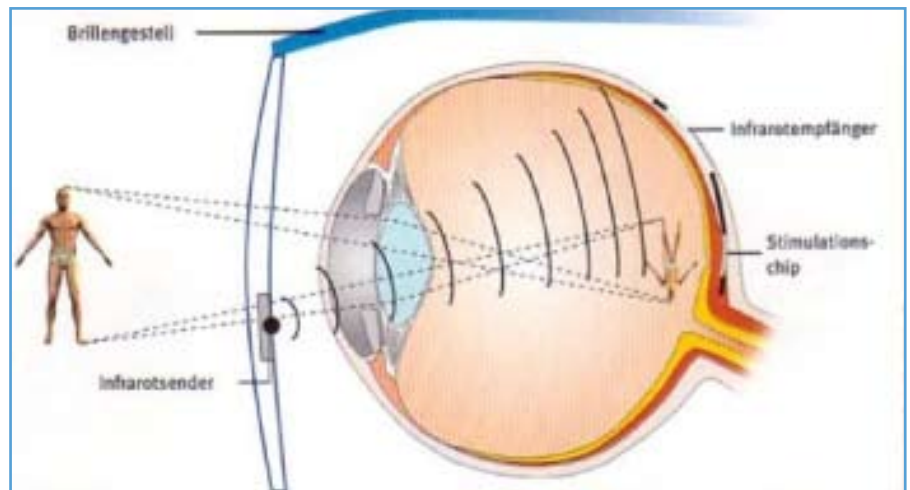
von einem mit einer externen Kamera ausgestatteten Rechner, der außerhalb am Körper getragen wird. Die Elektroden des epiretinalen Implantats stimulieren dann direkt die Ganglienzellen oder deren zum Gehirn ziehende Fasern, die sich beim Austritt aus dem Auge zum Sehnerv formieren. Die Fasern „ortsgerecht“ anzuregen, verlangt bei diesem System einigen Rechenaufwand.





Das neue, aktive Implantat besteht aus einem subretinalen Sehchip (oben, rechts außen) mit rund 1.500 Empfängern. Er ist auf einem Folienbändchen aufgebracht, das in der Mitte einen Infrarotempfänger trägt und links einen elektrischen Ladungsspeicher. Seine Energie erhält er durch Einstrahlen von Infrarotlicht (Schema rechts).

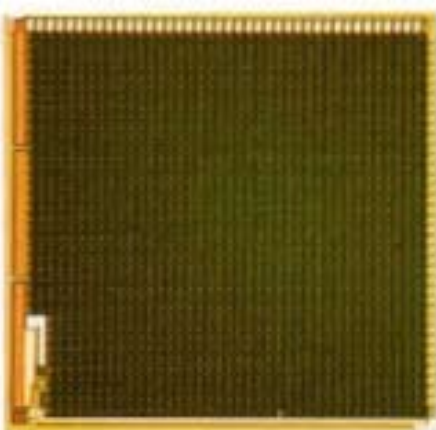
und Medizinischen Instituts (NMI) in Reutlingen sowie des Instituts für Mikroelektronik Stuttgart (IMS) und des Instituts für Physikalische Elektronik (IPE) an der Universität Stuttgart zusammen mit der aus unserem Verbund hervorgegangenen Firma Retina Implant AG, Tübingen. Quadratisch, mit einer Kantenlänge von drei Millimetern, und nur etwa ein zehntel Millimeter dick überdeckt der Chip ein Sehfeld von etwa zwölf Grad (Foto unten). Sein Schaltprinzip ist einem von Bernd Höfflinger am IMS entwickelten hochempfindlichen Kamerachip nachempfunden. Dank eines neuen, von der Universitätsaugenklinik Regensburg entwickelten Operationsverfahrens kann er direkt von außen durch die Aderhaut unter die Netzhaut geschoben und muss nicht mehr mitten durch den Glaskörperraum und einen zusätzlich notwendigen kleinen Schnitt in der Netzhaut an den Bestimmungsort gebracht werden.



Der Chip liegt in der Position der degenerierten Sehzellen und koppelt somit direkt an die Neuronen der inneren (hinteren) und mittleren Netzhautschicht an. Diese für die Verrechnung so wichtigen Nervenzellen sind nachgewiesenermaßen selbst noch nach langjähriger Blindheit zahlreich vorhanden. Derart korrekt „verortet“ bedarf es keiner weiteren externen Elektronik. Die elektrisch angesteuerten Netzhautzellen verrechnen die Signale auf quasi natürlichem Wege und leiten ihr Ergebnis an die Ganglienzellen weiter, deren Fasern zum Gehirn führen.

Wie frühere Versuche unserer Arbeitsgruppe mit Schweinen gezeigt haben, behält ein solcher Chip seine Lage bei. Zudem bleiben

die kontaktierten inneren und mittleren Zellschichten über mehr als 28 Monate hinweg gut erhalten. Allerdings erwies sich das Licht in natürlicher Umgebung als zu schwach, um alleine ausreichend Reizstrom an jeder Elektrode zu erzeugen. Die Gruppe um Alan Chow von der Universität Chicago konnte bei bislang zehn Patienten zwar zeigen, dass solche dünnen, passiven Siliziumchips über Jahre hinweg im subretinalen Raum sehr gut vertragen werden. Es kam weder zu Entzündungen noch zu Abstoßreaktionen, Blutungen oder Netzhautablösungen. Der kleine passive Solarzellenschip konnte jedoch nicht genügend Stimulationsstrom erzeugen, um den Patienten zu einem ausreichenden Sehen zu verhelfen.



Der Sehchip des aktiven Implantats umfasst rund 40 mal 40 „Zellen“. In jeder messen Mikrophotodioden die lokale Bildhelligkeit sowie die mittlere Umgebungshelligkeit (das Vollfeld). Das Licht eines Objekts erzeugt einen kleinen „Schaltstrom“, der die extern zugeführte Energie kontrolliert auf die Nervenzellen lenkt.

Was man mit dem Sehchip sehen könnte

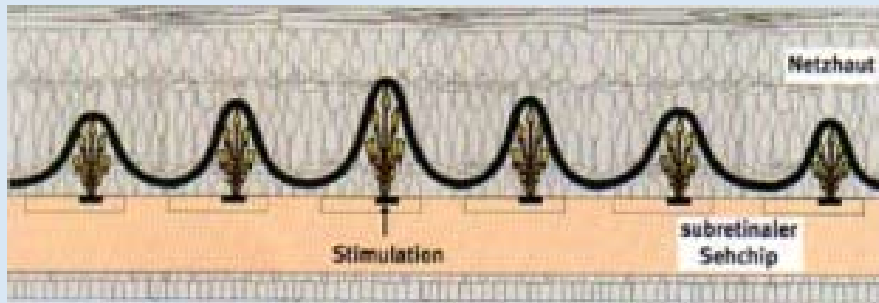
Welchen Seheindruck die elektronische Prothese wirklich erzeugt, wird nur der erste Mensch sagen können, der sie erhält. Stimulieren lässt sich aber der Effekt. Dazu wird ein farbiges Porträt oder eine Buchstabentafel in ein zweidimensionales Erregungsmuster umgewandelt und als Anordnung von 40 mal 40 kleinen Erregungspunkten – Pixeln – dargestellt (Bilder a der Reihen rechts). Die Qualität hängt davon ab, wie viele Neuronen der Netzhaut gemeinsam elektrisch gereizt

werden. Das System stimuliert ja nicht einzelne Zellen, sondern an jedem Reizpunkt eine kleine Gruppe (siehe Schema unten). Die simulierten Seheindrücke (b bis d, Bildreihen rechts) entsprechen von links nach rechts schwacher, mittlerer und starker Reizung.

Weil der Sehchip stets kleine Gruppen von Nervenzellen in der Netzhaut anspricht, kann er kein farbgereutes Bild hervorrufen. Jedes Reizfeld wird Rot, Grün und Blau übermittelnde Neuronen umfassen, die gemeinsam

im Gehirn letztlich ein „farbloses“, sprich ein Schwarz-Weiß-Bild erzeugen, allenfalls ein pastelliges „Falschfarbenbild“.

Allerdings weiß man von Innenohrprothesen, die ja auch keine Sprache übertragen, wie sie dem Normalhörenden vertraut ist, dass das Gehirn verfremdete Signale sehr gut erkennen lernt. Analog braucht unser Gehirn keine fotografische Realität, um auf Strichzeichnungen oder farbverfremdeten Bildern Objekte wieder zu erkennen.



Das Schema verdeutlicht, wie sich die elektrische Erregung verteilt, die durch die Elektrodenfelder eines subretinalen Implantats entsteht. Jeder Reizpunkt stimuliert eine kleine Gruppe von Nervenzellen der Netzhaut gleichzeitig.

1.500 Elektroden auf Haaresbreite Abstand

Unsere Arbeitsgruppe hat deshalb vor vier Jahren begonnen, ein „aktives“ Implantat zu entwickeln, dem Energie von außen zugeführt wird. Dies geschieht durch das Einkoppeln von Energie, wie bei einem Cochlea-Implantat, oder durch die Einspeisung von Infrarotlicht (siehe Abbildung Seite 4 oben), was Heiko Sailer vom NMI und Kei Shnoda von der Augenklinik Tübingen eingehend untersucht haben. Wie das passive wird auch das aktive Implantat operativ unter die Netzhaut gepflanzt. Der natürliche optische Apparat des Auges – aus Hornhaut und Linse bestehend – bildet dann die visuelle Szene auf 1.500 lichtempfindlichen Photodioden ab. Das Licht, das vom betrachteten Gegenstand ausgeht, dient aber beim aktiven Implantat nicht mehr als Quelle der Energie, sondern generiert lediglich einen kleinen „Schaltstrom“, um die extern zugeführte Energie kontrolliert auf die Nervenzellen der Netzhaut zu lenken.

Unsere Experimente mit Tieren haben ergeben, dass eine geringe Ladung von etwa 0,5 Nanocoulomb pro Elektrode ausreicht, um Nervenzellen der Netzhaut zu erregen. Dies

entspricht typischerweise einem Strom von zirka zehn millionstel Ampere. Alfred Stett vom NMI in Reutlingen wies an isolierten, von Ratten stammenden Netzhautpräparaten nach, dass man die Netzhaut auch im Falle einer Degeneration räumlich korrekt reizen kann, wenn die Elektroden auf Haaresbreite – in einem Abstand von 70 Mikrometer – stehen. Dass die Nervenimpulse, die mit subretinalen Elektroden zu erreichen sind, in der Sehrinde von Schweinen ankommen, belegten Florian Gekeler und Helmut Sachs von den Universitätsaugenkliniken Tübingen und Regensburg. Die Gruppen um Reinhard Eckhorn in Marburg und Ulf Eysel in Bochum wiesen zudem nach, dass mit epi- wie auch subretinaler Stimulation im Gehirn von Tieren eine räumliche Auflösung von mindestens einem Sehwinkelgrad zu erreichen ist. Dies genügt, um Bewegungen und Objekte zu erkennen.

Blick durchs Küchenfenster

Mit unserem aktiven subretinalen Sehchip liegt jetzt erstmals ein unter die Netzhaut verpflanzbares Implantat vor, das extern mit elektrischer Energie versorgt wird und mit

einer ausreichenden Zahl von Elektroden ausgestattet ist. Nach den in Tierversuchen errechneten Werten ist damit eine Auflösung möglich, wie sie etwa dem Blick durch ein Küchenfenster aus zwei Meter Entfernung entspricht, dessen Fläche in 1.500 kleine Pixel aufgelöst wird (siehe Abbildung Seite 6 oben). Jeder der 1.500 Bildpunkte wird von einem Lichtsensor aufgenommen. Hinter jedem der 1.500 Sensoren wiederum liegt ein Verstärker, dessen Ausgangsempfindlichkeit entsprechend der mittleren Bildhelligkeit eingestellt wird. Dies ermöglicht eine optimale Stimulation, sowohl bei hellem Tageslicht wie bei dämmeriger Umgebung.

Wie ist der aktuelle Stand unserer Sehchip-Entwicklung? Die verschiedenen Konzepte zur Energieversorgung sind im Tierversuch erprobt, die Operationsverfahren entwickelt. Auch die maximale, durch elektrische Stimulation mögliche räumliche Auflösung ist realisiert, die Stabilität des Chips sichergestellt und seine Verträglichkeit geprüft. Klinische Studien mit dem Sehchip mit der bisher höchsten Elektrodendichte und Bildauflösung, zudem einer an die Netzhaut angepassten Übertragungsscharakteristik – sind für die nächsten Jahre



geplant. Das Unternehmen „Retina Implant AG“, eine Firma, die das Wissen des Verbundes verwerten soll, bereitet derzeit eine klinische Studie mit acht blinden, an Retina pigmentosa leidenden Patienten vor und führt die letzten Schritte zur Anwendung der aktiven Chips durch.

Welche Bildeindrücke die neuen Sehchips tatsächlich vermitteln, werden jedoch erst diejenigen blinden Menschen beschreiben können, welche die Implantate eingepflanzt bekommen – nachdem sie alle zuvor zu absolvierenden Prüfungen bestanden haben.

Bereits in nächster Zeit, davon sind wir überzeugt, ist mit den subretinalen Implantaten, die erblindeten Menschen auf elektronischem Wege Bilder mit hoher Auflösung vermitteln, ein Durchbruch bei der Wiederherstellung des Sehens zu erwarten. Die neuen Sehchips werden Erblindeten wieder zu mehr Eigenständigkeit, zu einer besseren Orientierung, zum Greifen von Gegenständen, möglicherweise gar zum

Lesen, kurz zu einem sozial erfüllten selbstständigen Leben verhelfen. ■

Literaturhinweise

- Will retinal implants restore vision? Von E. Zrenner in: Science, Bd. 295. S. 1022, 2002
- Learning retina implants with epiretinal contacts. Von R. Eckmiller in: Ophthalmic Research, Bd. 29. S. 281, 1997

Weblink

- www.nmi.de/deutsch/spezial/institut/schowma.php3?id=1, PDF-Datei zum subretinalen Sehchip
- www.eye-chip.com und www.retina-implant.de. Tour durch das Projekt und dessen technischer Umsetzung
- www.uak.medizin.uni-tuebingen.de/zrenner/ für Kontakte



Prof. Dr. Eberhart Zrenner (links), Ärztlicher Direktor der Universitätsaugenklinik Tübingen, leitet das MPD-Konsortium zur Entwicklung subretinaler Implantate. Dr. Hugo Hämmerle, stellvertretender Leiter des Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Instituts (NMI) in Reutlingen, koordinierte die Retina-Implant-Projekte des BMBF.