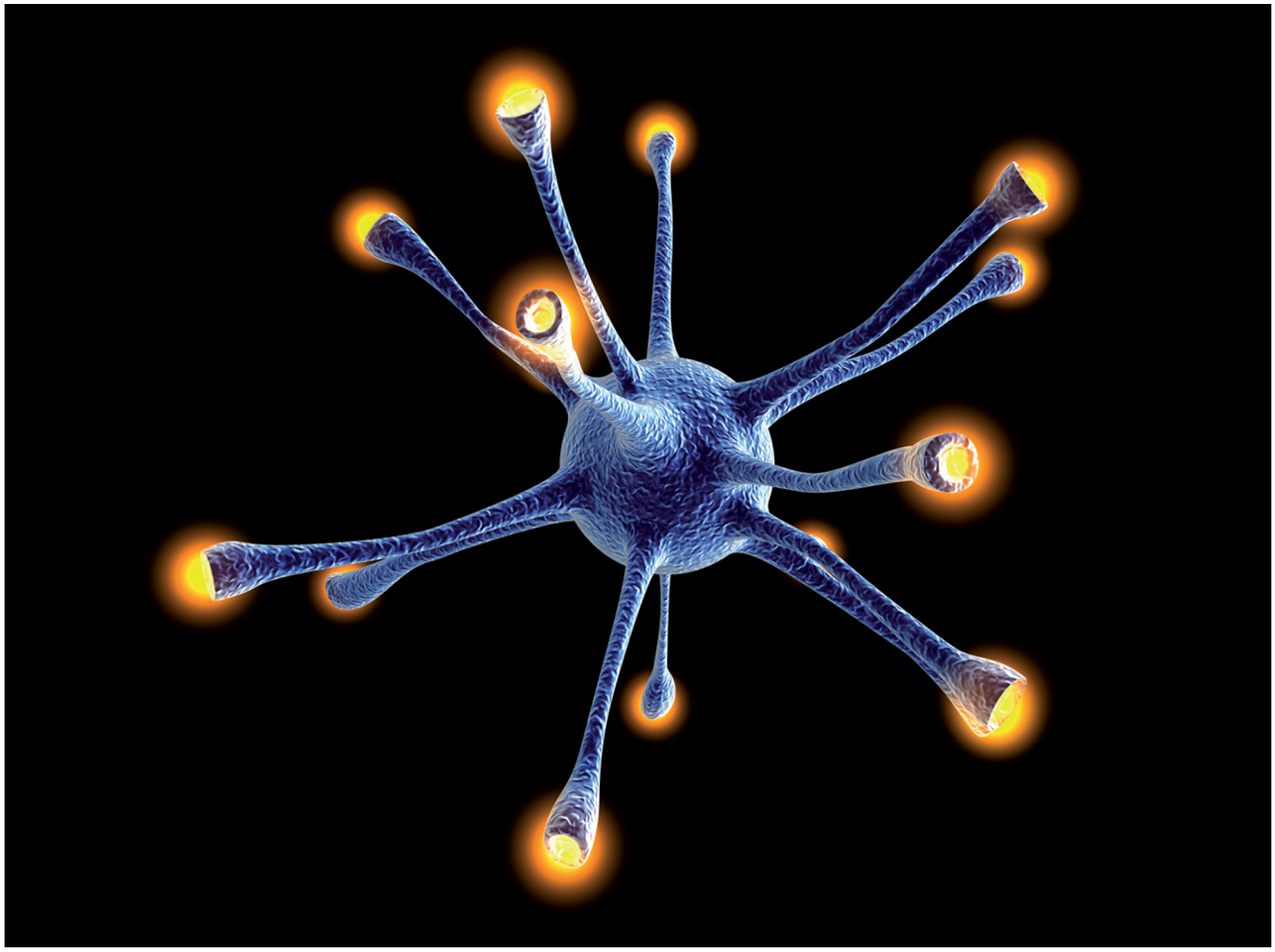
Optogenetik für's Hören?



Spectral-Design / Fotolia.com

Zur Untersuchung menschlicher Hirnfunktionen, aber auch für Medizinprodukte werden künftig neue Techniken zum Einsatz kommen. Signalübertragung mit Licht ist der Schlüssel dazu. Dieser Ansatz verspricht auch hochgradig Schwerhörigen ganz neue Perspektiven. Doch wie lässt sich Signalübertragung mittels Licht zum Hören nutzen?

Als 1953 Francis Crick gemeinsam mit James Watson die Molekularstruktur der Desoxyribonukleinsäure (DNA) entdeckte, hätte er wohl die Idee, Menschen per Licht zum Hören zu bringen, für absurd gehalten. Doch Crick selbst war es, der durch seine jahrzehntelange Arbeit wichtige Denkanstöße gab, dass heute Wissenschaftler genau an solchen Techniken forschen können. Der Grundgedanke, der den Physiker und Biochemiker dabei antrieb, bestand in der Überzeugung, dass Menschen, „ihre Freuden und Leiden, ihre Erinnerungen, ihre Ziele, ihr Sinn für ihre eigene Identität und Willensfreiheit, es sich bei alldem in Wirklichkeit nur um das Verhalten einer riesigen Ansammlung von Nervenzellen und dazugehörigen Molekülen handelt.“*

Wenn aber der menschliche Geist nichts anderes darstellt als biochemische Prozesse und eine gewaltige Anzahl vernetzter und miteinander kommunizierender Neuronen, dann lässt

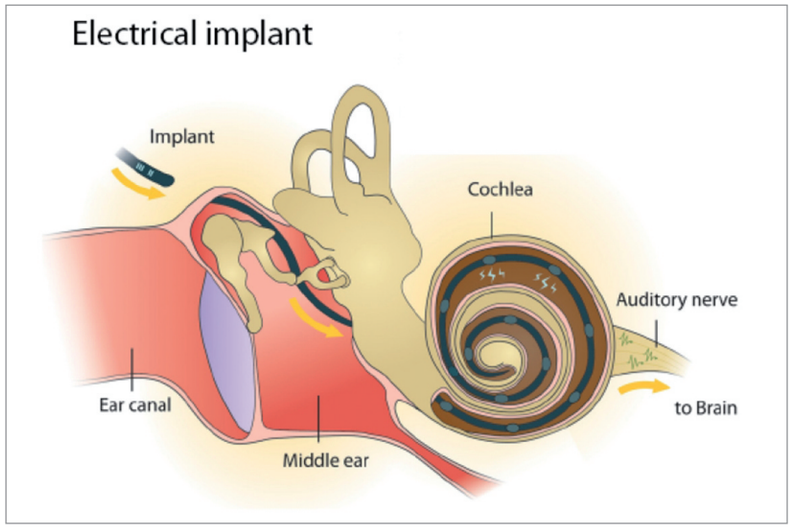
sich vielleicht auch die Aussage verstehen, die der Nobelpreisträger in dem Artikel „Gedanken über das Gehirn“ (Spektrum der Wissenschaft 11/1979, S. 146) formulierte. Demzufolge bestehe die größte Herausforderung der Neurowissenschaft in der Aufgabe, selektiv einen bestimmten Zelltyp im Gehirn zu beeinflussen – und die übrigen unverändert zu lassen. Denn aufgrund präzise getakteter Verschaltungsmuster, verschiedenster biochemischer Botenstoffe und nur Millisekunden andauernder elektrischer Signale ist das menschliche Gehirn derart komplex, dass selbst Neurowissenschaftler im Einzelnen nicht genau nachvollziehen können, wie dieses arbeitet.

Nach Ansicht vieler Neurowissenschaftler sind daher neue Techniken zur Untersuchung menschlicher Hirnfunktionen notwendig. Denn die heute gängigen Methoden basieren im Allgemeinen auf Elektrostimulation, wobei die erforderlichen Ströme große, radiale Bereiche neuronaler Nervenzellverbände gleichzeitig erregen, ohne nach Zelltypen zu unterscheiden. In Vorlesungen spekulierte Crick deshalb später, dass als Kontrollwerkzeug vielleicht Licht, welches in Form zeitlich und örtlich eng begrenzter Impulse unterschiedlicher Farben abgegeben wird, dienen könne, um Aktivitätsmuster bestimmter Hirnzellen nachzuweisen.

Seit längerer Zeit ist in der Biologie die Existenz spezieller Mikroorganismen bekannt, die durch das Vorhandensein von Photorezeptoren Licht nutzen, um von diesem sowohl Energie als auch Informationen zu entnehmen. Dabei produzieren Kleinstlebewesen Proteine, die auf sichtbare Strahlung reagieren. 1971 entdeckten die beiden deutschen Biologen Walter Stoeckenius und Dieter Oesterheld in Kalifornien, dass eines dieser Proteine, das Bacteriorhodopsin, als Ionenpumpe fungiert. Sobald es Photonen aus dem grünen Bereich des sichtbaren Lichts aufnimmt, lässt das Bacteriorhodopsin es zu, dass Wasserstoffionen durch die Membran fließen. Später wurden noch weitere solche Proteine entdeckt: 1977 das Halorhodopsin oder 2002 die Channelrhodopsine (zu Deutsch: Kanalrhodopsine). Eingruppiert werden diese Proteinketten unter dem Sammelbegriff der Opsine. Obwohl damit die biologischen Grundlagen für eine Realisation von Cricks Vision im Grunde genommen zur Verfügung standen, bevor dieser sie überhaupt formulierte, sollten noch Jahrzehnte vergehen, bis sich die Optogenetik als Fachdisziplin entwickeln würde.

Eine neue Wissenschaftsdisziplin

Die Optogenetik ist ein relativ neues Fachgebiet, das sich erst seit ungefähr acht bis zehn Jahren zeigt und mit der Ausbildung und Prüfung von genetisch modifizierten Zellen mittels Licht beschäftigt. Bei dieser Technologie werden hauptsächlich Methoden der Optik und der Genetik miteinander kombiniert, aber auch andere Bereiche wie die Elektronik können dabei von Bedeutung sein. Die Optogenetik verfolgt vor allem das Ziel, bestimmte funktionelle Ereignisse in spezifischen Zellen oder lebenden Geweben an- (gain-of-function) oder abzuschalten (loss-of-function). Die Potentialdifferenz, die beim Ein- und Ausschalten von Kanalrhodopsinen oder Pumpenrhodopsinen entsteht, verursacht eine Aktivitätsänderung erregbarer Zellen wie Nervenzellen.



HNO-Klinik Göttingen

Hierbei werden die lichtsensitiven Opsine auf gentechnischem Wege in die Zellen eingebracht. Nachdem diese erfolgreich in bestimmte Zielzellen bzw. -gewebe eingeschleust wurden, kann anschließend durch Lichteinfluss das Verhalten der Ionenkanäle der in dieser Weise modifizierten Zellen kontrolliert werden.

Die Optogenetik erlaubt somit eine gezielte und im Millisekunden-Bereich stattfindende Kontrolle von exakt definierten Ereignissen in komplexen biologischen Systemen. Dadurch werden Untersuchungen auf Proteinebene möglich, die in der Molekularbiologie genutzt werden, aber auch auf Ebene der Histologie oder in der Verhaltensbiologie. Neurowissenschaftler beeindruckt vor allem die Möglichkeit, bestimmte Abläufe in den ausgewählten Zellen zu genau festgelegten Zeitpunkten auszulösen. Die Prozesse, die diese komplexen physiologische Vorgänge und Verhaltensweisen steuern, ließen sich aus den Aktivitätsmustern spezifischer Neuronengruppen bei Würmern, Fliegen, Fischen, Vögeln, Mäusen, Ratten oder Affen gewinnen. Es verwundert also nicht, dass heute weltweit bereits tausende von Wissenschaftlern mit optogenetischen Methoden forschen. Dadurch konnten einige wichtige Erkenntnisse über Erkrankungen des Menschen gewonnen werden, unter anderem über Depression, Morbus Parkinson und Schizophrenie.

> “Das Kanalrhodopsin 2 fungiert in der Zellmembran als Ionenpumpe.”

Optogenetische Forschungsvorhaben werden seit einigen Jahren durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Zurzeit geschieht das hauptsächlich durch den 2008 gegründeten „Bernstein Fokus: Neurotechnologie“, das nationale Netzwerk für Computational Neuroscience. Es verfolgt in erster Linie die Entwicklung sogenannter Neuro-Bionischer-Systeme, bei denen biologische und technische Komponenten miteinander verknüpft werden, mit dem Ziel, die gewonnenen Forschungsergebnisse in marktfähige Produkte zu überführen.

Das BMBF stellt hierfür zwischen 2009-2013 insgesamt 34 Millionen Euro zur Verfügung. Neben der Beteiligung von Industriepartnern, einem integrierten Technologietransferkonzept und einem Ausbildungsprogramm zur Verbesserung der interdisziplinären Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses, bilden mehrere Zentren, genannt „Bernstein Fokus", den Kern des Konzeptes. Standorte befinden sich unter anderem in Berlin, München, Freiburg, Tübingen oder Göttingen. Die inhaltlichen Schwerpunkte der einzelnen Forschungsvorhaben sind dabei höchst unterschiedlich.

Laserstrahlen auf den Hörnerv

Der Forschungsverbund am Wissenschaftsstandort Göttingen möchte die lichtempfindlichen Eigenschaften der Opsine beispielweise nutzen, um das Cochlea-Implantat weiterzuentwickeln. So ist es den Professoren Tobias Moser aus Göttingen und Ernst Bamberg aus Frankfurt gemeinsam mit dem Cochlear Implant Hersteller MED-EL gelungen, mittels einer externen Leuchtdiode ein Signal im Ohr einer Maus zu erzeugen. Dabei bedienen sie sich des lichtempfindlichen Moleküls Channelrhodopsin 2, das bislang nur in der Zellmembran einer Meeresalge gefunden wurde. Nachdem das Gen des Proteins mit Hilfe eines genetischen Schalters in das Erbgut eines Vektors, wie zum Beispiel ein harmloses Virus, eingebracht wird, schleust dieser Vektor die DNA in die gewünschten neuronalen Zellen ein. Die stellen das Protein dann selbst her und bauen es in ihre Zellmembran ein. ChR2 ist ein Kanalprotein, das sich verformt, wenn kurzwelliges Licht darauf trifft, besonders bei Beleuchtung mit blauem Licht. Geschieht dies, öffnet sich die Membran und die geladenen Ionen fließen hindurch. Der dadurch entstandene Stromfluss bewirkt, dass die Zelle angeregt wird.

> „Die Lichtstimulation benötigt insgesamt wohl weniger Energie."

Da Licht besser fokussierbar ist als Strom, so die Hoffnung der Göttinger, ließe sich im Falle einer optischen Stimulation genetisch licht-sensibilisierter Nervenzellen im Innenohr eine deutlich verbesserte Frequenzauflösung erreichen als zuvor. Dies zeigte auch schon vor einiger Zeit Claus-Peter Richter, der sich an der Northwestern University in Chicago mit der Einwirkung von Infrarot-Laserstrahlen auf den Hörnerv auseinandersetzt. Richters Studien scheinen zu bestätigen, dass die Reizung des Hörnervs über den optischen Impuls tatsächlich sehr viel präziser ausfällt, als es mit noch so feinen Elektrodendrähten möglich ist. Denn die heutige Nutzung von Elektroden, die bislang zur Reizung der Nervenzellen der Hörschnecke eingesetzt werden, besitzt den Nachteil, dass grundsätzlich eine weite Ausbreitung des injizierten Stroms verursacht wird. Dies hat eine breite Aktivierung der Neuronen in der Cochlea zur Folge. Deswegen werden in der Regel auch nur 8 bis 24 Elektroden sequentiell aktiviert, da trotz der Abstände der Elektroden sonst eine überlappende Erregung stattfindet.

HNO-Klinik Göttingen

Möchte die lichtempfindlichen Eigenschaften der Opsine nutzen: Prof. Dr. Tobias Moser, Leiter der Molecular Pyhsiology of the Brain Bernstein Center for Computational Neuroscience der Universität Göttingen.

Nach Angaben des Bernstein Center für Computational Neuroscience Göttingen benötigt die infrarote Stimulation, wie sie Richter nutzt, deutlich mehr Energie als die von Moser und seinen Kollegen verfolgte optogenetische Stimulation. Die Erfolgsaussichten in Göttingen, aber auch anderorts, scheinen vielversprechend, zumal die Lichtstimulation insgesamt wohl weniger Energieaufwand benötigt, sodass die Gefahr von chronischen Gewebeschäden durch die Prothese sehr gering wäre.

Wissenschaftler des Instituts für Mikrosystemtechnik IMTEK der Universität Freiburg und des Fraunhofer Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF, Freiburg sollen nun die Göttinger Forschungsergebnisse nutzen, um gemeinsam Mikro-Leuchtdioden auf flexible Sonden zu integrieren, die so groß sind, dass sie in eine Cochlea passen. Nach Angaben des IMTEK ließe sich die Frequenzauflösung beim Hören um wenigstens eine Größenordnung erhöhen.

Gewiss, die Optogenetik bietet heute bereits Chancen, Antworten auf menschliche Erkrankungen zu finden und Francis Crick hatte durchaus mit als erster den richtigen Riecher, als nach Erklärungen und Lösungen gesucht wurde. Wissenschaftler hatten lange wenige Anhaltspunkte, wie es gelingen könnte, einzelne Nervenzelltypen dazu zu bringen, selektiv auf Lichtblitze zu reagieren. Die Bedeutung der Optogenetik als Forschungsmethode wächst rasant. Aber da all unsere sensorischen, motorischen und vegetativen Funktionen letztlich von Nervenzellen gesteuert und koordiniert werden, wird es sicherlich viele geben, die dazu eine ethische Debatte einfordern. **Text: Jan-Fabio La Malfa**

[Literaturhinweise:]

Crick, Francis: Gedanken über das Gehirn, Spektrum der Wissenschaft 11/1979, S. 146ff.

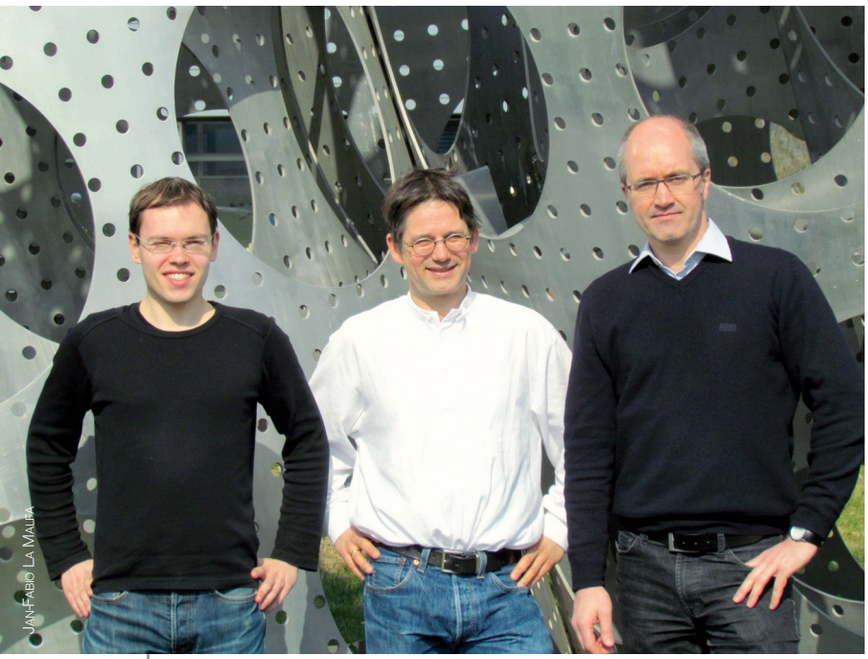
Deisseroth, Karl: Lichtschalter am Gehirn, Spektrum der Wissenschaft , 02/2011, S.22ff.

Gradinaru, V. [u.a.]: Optical Deconstruction of Parkinsonian Neural Circuitry, in Science 324/2009, S. 354ff.

Herwik, S., Aarts, A., Girardeau, G. [u.a.]: Fabrication technology for silicon-based
microprobe arrays used in acute and sub-chronic neural recording, Journal of Micromechanics and Microengineering

http://www.innerearlab.uni-goettingen.de/

Das Projekt **Lichthören**



Von links: Christian Goßler (Doktorand am IAF), Prof. Dr. Ulrich Schwarz und Dr. Patrick Ruther (IMTEK).

Das Rektorat des Instituts für Mikrosystemtechnik in Freiburg.

Mikrosystemtechnik erlaubt es, winzige Mikrobauteile herzustellen, die deutlich feiner als ein menschliches Haar sein können. Durch diese Querschnittstechnologie ergeben sich neue Anwendungsbereiche für die Industrie wie auch neue Möglichkeiten für die Forschung und Entwicklung. Am Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF) in Freiburg und am Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) der Universität Freiburg, forschen Prof. Dr. Ulrich Schwarz und Dr. Patrick Ruther gemeinsam an der technischen Umsetzung einer neuen Generation von Cochlea-Implantaten (CI). Der Ansatz des Projektes sieht vor, die Nervenzellen nicht mehr elektrisch, sondern optisch zu stimulieren.

Audio Infos: Herr Professor Schwarz, Sie sind Inhaber des Lehrstuhls für Optoelektronik am Institut für Mikrosystemtechnik und Gruppenleiter der Abteilung Optoelektronische Module am Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF). Sie beschäftigen sich in erster Linie mit Halbleiterlasern und Hochleistungs-Leuchtdioden auf Basis der Gruppe-III-Nitride. Wie sind Sie vom IMTEK überhaupt mit dem Thema Hören in Kontakt gekommen?

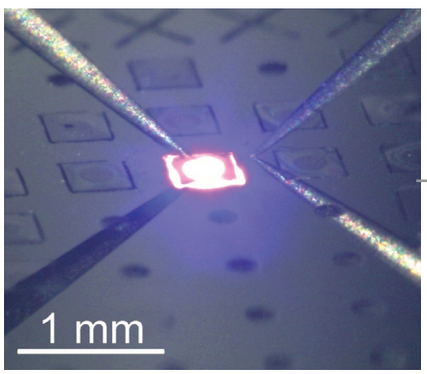
Ulrich Schwarz: Wir sind aus Göttingen angesprochen worden. Die dortige HNO-Universitätsklinik konnte mit Hilfe des CI-Herstellers MED-EL nachweisen, dass mit einer externen Leuchtdiode ein Signal im Ohr erzeugt werden kann. Dies wurde schon seit längerem vermutet. Grundvoraussetzung dafür ist eine genetische Veränderung der Nervenzellen in der Cochlea. Prof. Tobias Moser und seinen Mitarbeitern ist es gelungen, ein spezielles Opsin in die Nervenzellen der Cochlea einzuschleusen, welches auf Licht reagiert. Im Laufe der Zeit ergab sich jedoch dort das Problem, dass die kommerziell er-

hältlichen Leuchtdioden zu große Abmessungen aufweisen, um sie in großer Anzahl in die Cochlea implantieren zu können.

Audio Infos: Herr Dr. Ruther, Sie sind Gruppenleiter am Lehrstuhl Materialien der Mikrosystemtechnik des IMTEK und dort verantwortlich für neuronale Implantate. Im Projekt Leuchthören fällt Ihnen die Aufgabe zu, die Leuchtdioden zu miniaturisieren.
Patrick Ruther: Dies stimmt nicht ganz. Bei den Leuchtdioden handelt es sich um eine Schlüsseltechnologie des Fraunhofer IAF. Die Miniaturisierung der LEDs gehört zu den Kernkompetenzen von Herrn Prof. Schwarz. Meine Aufgabe innerhalb des Projektes Lichthören besteht darin, flexible Substrate zu entwickeln, die die Integration der miniaturisierten Leuchtdioden in einem Cochlea-Implanat ermöglichen. Wir wollen in Zusammenarbeit mit Herrn Schwarz die Frage beantworten, wie es technisch möglich ist, eine Kette von Leuchtdioden auf einem miniaturisierten Substrat zu integrieren. Hierzu verfügt das IMTEK über das entsprechende Portfolio von ausgefeilten Technologien. Diese werden in meinem Team u.a. bei der Entwicklung von innovativen, miniaturisierten neuronalen Sonden für die neurowissenschaftliche Grundlagenforschung eingesetzt.

> „Die Leuchtdioden wurden für ganz andere Anwendungen entwickelt."

Ulrich Schwarz: Nicht, dass Sie uns falsch verstehen! Wir reden über die Schlüsseltechnologie im Bereich der Leuchtdioden, die wir am Standort Freiburg seit Jahren entwickeln. Unsere Leuchtdioden wurden allerdings für ganze andere Anwendungen entwickelt. Sie werden in Autoscheinwerfern, LED-Fernsehern und Computermonitoren und LED-Lampen eingesetzt. Diese LEDs sind zwar mit einer Fläche von etwa einem Quadratmillimeter und einer Dicke deutlich unter einem Millimeter relativ klein, für die Anwendung im Ohr aber deutlich zu große „Klötze". Zudem hatten wir es immer mit starren Substraten zu tun. Das ist jetzt der Knackpunkt, denn wir versuchen beide Technologien zu kombinieren und flexible Substrate mit miniaturisierten Hochleistungsdioden zu verheiraten. Dafür benötigt man eine ganz neue Prozesstechnologie, die jetzt durch das BMBF als wissenschaftliches Vorprojekt für zwei Jahre gefördert wird.



Fraunhofer IAS

Die Schlüsseltechnologie Leuchtdiode wird seit Jahren am Standort Freiburg entwickelt und soll jetzt auch beim Hören zum Einsatz kommen.

Audio Infos: Würden bei einer CI-Technologie, die mit Lichtsignalen arbeitet, von der Anzahl her mehr Leuchtdioden verwendet als bei heutigen CI-Systemen die 12 bzw. 22 Elektroden?
Ulrich Schwarz: In unserem Vorprojekt sind es noch recht wenige. Im Augenblick haben wir vor, einige, vielleicht zehn, einzeln ansteuerbare Leuchtdioden im Implantat zu integrieren. Von den Abmessungen her wären hunderte möglich. Mehr sind im Augenblick aber auch deshalb nicht notwendig, weil man bereits mit dieser geringen Anzahl detailliert untersuchen kann, wie fein das Ohr optisch angeregte Signale überhaupt auflösen kann. So kann man an Tiermodellen untersuchen, ob und wie die Cochlea auf den optischen Reiz reagiert und welche Signalstärken die Leuchtdioden besitzen sollten. Zehn Leuchtdioden reichen daher vollkommen aus.
Patrick Ruther: Beim Vergleich mit bestehenden CI-Ansätzen darf man eines jedoch nicht vergessen! Eine Elektrode stimuliert das Gewebe radial um sich herum, da sie den elektrischen Impuls räumlich nicht eingrenzen kann. Die optische Stimulation mit Leuchtdioden funktioniert anders. Weil die Leuchtdioden das Licht gerichtet abstrahlen, bieten sie einen entscheidenden Vorteil. Der von einer Leuchtdiode optisch stimulierte Bereich der Cochlea kann enger eingegrenzt werden. Konsequenterweise werden im Wesentlichen die für einen bestimmten Frequenzbereich relevanten neuronalen Zellen angeregt.

Audio Infos: Wie kann man sich von der Größe her eine Lichtdiode im Vergleich zu einer Elektrode vorstellen?
Patrick Ruther: Dieser Vergleich ist zunächst schwierig zu führen. Elektroden von kommerziellen CIs haben typischerweise einen Durchmesser von etwa einem halben Millimeter. Im Vergleich dazu sind die Leuchtdioden des Fraunhofer IAF mit einer Grundfläche von 0,1 mal 0,1 mm^2 und kleiner ausgesprochene Winzlinge. Unsere Herausforderung im Projekt liegt neben der eigentlichen Integration der Leuchtdioden auch in der maximal zulässigen Implantatgröße, die zunächst für das Tiermodel ausgelegt werden muss. Hier reden wir von einer Breite des Substrats von lediglich 0,1 bis 0,2 mm bei einer Länge von maximal 2 mm.

Audio Infos: Sollte sich diese Technologie durchsetzen, so würde das die audiologische Technik vor neue Herausforderungen stellen.
Ulrich Schwarz: Das ist sicher. Das Hörimplantat würde eine komplette Umstellung erfahren. Bis dahin werden zwar sicherlich noch Jahre vergehen, dennoch wird diese Erkenntnis für die Signalverarbeitung zukünftiger Hörgeräte große Auswirkungen mit sich bringen. Ich bin daher überzeugt, dass künftig eher alles einfacher wird.

Audio Infos: Wieso sind Sie sich da so sicher?
Ulrich Schwarz: Jetzt ist es ja so, dass das akustische Signal auf wenige Kanäle komprimiert werden muss. Damit der Hörgeminderte mit zehn, zwölf Kanälen halbwegs richtig hören kann, müssen die akustischen Signale vorverarbeitet werden. Dies alles erst signaltechnisch umzusetzen, zu verarbeiten und abzustimmen, bedeutet dementsprechend einen enormen Aufwand der integrierten Schaltkreise. Stellen sie sich aber hun-

derte von Kanälen vor, die gezielt mit den Leuchtdioden stimuliert werden. Sie können dann in einen Bereich vorstoßen, indem sie sehr, sehr gut hören können, weil das ankommende Signal lediglich in einzelne Frequenzbänder aufgeteilt und vom Implantat weitergegeben werden muss, ohne das eine weitere elektronische Vorverarbeitung notwendig ist.

Audio Infos: Stellt sich die Frage, ob eine Technologie, die auf Optogenetik basiert, prinzipiell auf den Menschen anwendbar sein sollte.
Patrick Ruther: Ich denke, dass dieses hochaktuelle Thema der neurowissenschaftlichen Forschung sich bereits heute mit dieser Frage intensiv auseinandersetzt. Bisher beschränkt sich Optogenetik allerdings auf die Grundlagenforschung im Tiermodel, im Wesentlichen Mäuse und Ratten. Ob diese Technologie beim Menschen zum Einsatz kommen darf oder kann, ist von Ethikkommissionen zu klären. Wir stellen mit diesem Projekt zunächst einmal ein Werkzeug zur Verfügung, das erstmalig solche Dimensionen eröffnet. Wir Technologen dürfen uns dieser ethischen Diskussion allerdings nicht verschließen.
Ulrich Schwarz: Jedenfalls sind wir uns bewusst, dass sich auch hier wichtige Fragestellungen ergeben werden, die es dann zu beantworten gilt. Bis dahin müssen wir allerdings etliche Schritte bewältigen, denn wir werden wahrscheinlich mit der einen oder anderen Barriere rechnen müssen. Man wird also sehen, was überhaupt funktioniert, bevor aus meiner Sicht eine solche Debatte begonnen werden kann. Ob man lichtsensitive Zellen nutzt oder nicht, zurzeit prüft man auf diesem Gebiet verschiedenste Ansätze und selbstverständlich laufen hierzu bereits Diskussionen.

Audio Infos: Spielt bei der Stimulierung von Nervenzellen Wärme eine Rolle?
Ulrich Schwarz: Sie sprechen hier die Verlustleistung der Leuchtdioden an, die zu einer lokalen Wärmeentwicklung in der Cochlea führt. Dies ist grundsätzlich als sehr kritisch zu betrachten, weil man zunächst überprüfen muss, wie die Neuronen auf eine mögliche Temperaturerhöhung reagieren. Im Lichthören gehen wir mit den effizientesten Bausteinen an den Start, die überhaupt auf dem Markt zu erhalten sind. Das, was an Wärme dabei abfällt, sollte nach unseren Abschätzungen nicht kritisch sein. Die besten blauen LEDs haben einen Wirkungsgrad von über 50%. Wir brauchen daher sehr wenig elektrische Leistung, um diese Nervenzellen anzuregen. Sie können mit etwa 0,1 Milliwatt pro Quadratmillimeter rechnen. Wenn Sie berücksichtigen, dass der ganze Leuchtdiodenstrang nur wenige Millimeter lang und ein Zehntel Millimeter breit ist, müsste schon das ganze Band gleichzeitig leuchten, um auf den genannten Verbrauch zu kommen. Insgesamt gesehen ist Wärme durchaus ein kritisches Thema, aber es ist machbar.

Audio Infos: Werden zukünftige Systeme energieaufwendiger als aktuelle?
Patrick Ruther: Es ist noch zu früh, um hierzu eine verlässliche Aussage zu treffen. Meines Erachtens dürfte die optische Signalverarbeitung nicht mehr Energie verbrauchen als über elektrische. Man wird auf alle Fälle Vergleiche zwischen den

Jan-Fabio La Malfa

Die Aula im Rektorat des Instituts für Mikrosystemtechnik in Freiburg.

beiden Systemen, elektrisch vs. optisch, anstellen müssen. Doch wenn man bedenkt, dass man es mit einem System zu tun hat, das plötzlich über die 10-fache funktionelle Leistung verfügt, dann können sie nicht erwarten, dass das System die gleiche Energie verbraucht. Möglicherweise können wir so präzise stimulieren, dass in der Folge auch weniger Energie benötigt wird oder an der Prozessorleistung gespart werden kann, weil dieser weniger Daten verarbeiten muss. Letztlich sollte der Energieaufwand zumindest vergleichbar bleiben.

Audio Infos: Eine letzte Frage. Auf dem DGA-Kongress hieß es, dass die Entwicklung eines CIs, das mit Lichtstimulation arbeitet, weniger als 10 Jahre dauern könne. Ist das realistisch?
Ulrich Schwarz: Wir sind in jedem Fall optimistisch, es in diesem Zeitraum, wenn nicht vielleicht schon früher, schaffen zu können. Zum Glück haben wir in Freiburg die Konstellation, dass hierfür zwei ganz wesentliche Bausteine existieren. Zum einen verfügt das IMTEK über Fachkompetenzen im Bereich Mikrosystemtechnik, die weltweit anerkannt sind, und es bei-

> “Hochleistungsleuchtdioden haben eine Grundfläche von 0,1x0,1mm². ”

spielsweise ermöglichen, Silizium-Mikrostrukturen und -Schaltungen auf kleinstem Raum zu integrieren. Zum anderen bringt das Fraunhofer IAF das Know-how in Bezug auf Leuchtdioden mit, da es eines der ersten Forschungsinstitute in Europa war, das sehr intensiv an dem Materialsystem Gallium-Nitrid gearbeitet hat. Es ist heute in allen Lichtquellen von Grün bis UV oder auch weiß vertreten und man kennt diese innovativen Lichtquellen von Digitalkameras, Handys, Bildschirmen und deren Hintergrundbeleuchtung oder Autofrontscheinwerfern. Das Patent für die weiße Leuchtdiode wurde in Japan, aber ebenso gleichzeitig in Freiburg durch Prof. Schneider angemeldet.

Meine Herren, Audio Infos bedankt sich sehr für das Gespräch! **Interview: Jan-Fabio La Malfa**