



Wieder besser hören

Beim Hören wird Schall in Nervenreize umgewandelt. Ist das Gehör beeinträchtigt, können konventionelle Hörgeräte oder Cochlea-Implantate helfen.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

Für die meisten Menschen ist es selbstverständlich, auch leise Geräusche wie das Rascheln von Laub wahrzunehmen. Aber es gibt in Deutschland laut Deutschem Schwerhörigenbund auch rund 16 Millionen Menschen, deren Gehör beeinträchtigt ist; etwa 1,5 Millionen davon sind hochgradig schwerhörig oder taub. Das betrifft nicht nur ältere Menschen, sondern auch zwei bis drei von tausend Neugeborenen.

Das menschliche Ohr wandelt Schall in Nervenreize um (**Abb. 1a**). Über den äußeren Gehörgang erreicht der Schall das Trommelfell und versetzt dieses in Schwingungen. Die Gehörknöchelchen nehmen die Schwingungen auf und leiten sie zum Innenohr weiter. Dort sitzt die spiralförmige Hörschnecke, die Cochlea. Sie ist mit einer Flüssigkeit gefüllt, in der die Bewegungen des

angrenzenden Gehörknöchelchens eine Wanderwelle auslösen. Die Welle versetzt die Basilmembran, die dem schneckenförmigen Verlauf der Cochlea folgt, in Schwingungen. Weil deren mechanische Eigenschaften zwischen Basis und Spitze variieren, reagiert je nach Frequenz ein unterschiedlicher Bereich resonant (**Abb. 1b**): Die Basis verarbeitet hohe, die Spitze tiefe Töne, wobei der menschliche Hörbereich zwischen 20 Hertz und 20 Kilohertz liegt. Die Auslenkung der Basilmembran erregt die auf ihr sitzenden Haarsinneszellen, die das mechanische Signal in ein elektrisches umwandeln. Über den Hörnerv gelangt dieses zum Gehirn. Störungen dieses komplexen Prozesses können an vielen Stellen auftreten – vorübergehend, aber auch permanent.

Gegen Schwerhörigkeit hilft oft ein Hörgerät. Darin wandelt ein Mikro-

fon den Schall in ein digitales Signal um, das ein Mikrochip verarbeitet, frequenzabhängig verstärkt und über einen Lautsprecher ausgibt. Die Verstärkung sorgt für einen Schallpegel im Ohr, der Hörimpulse auslöst. Ein Dynamikkompressor vermeidet zu große Lautstärken; eine Rückkopplungskontrolle verhindert das unangehme Piepen durch einen mehrfach verstärkten Ton. Moderne Hörgeräte identifizieren u. a. die Richtung der Schallquelle, Tonlage, Sprachrhythmus und die Frequenzen von Störgeräuschen, um Verstärkung und Unterdrückung der Situation anzupassen, beispielsweise im Restaurant, auf der Arbeit oder während eines Konzerts. Sogar ein direktes Ankoppeln an Smartphones ist heute möglich.

Am weitesten verbreitet haben sich zwei Bauformen. Bei „Hinter-dem-Ohr“-Geräten stecken alle Kompo-

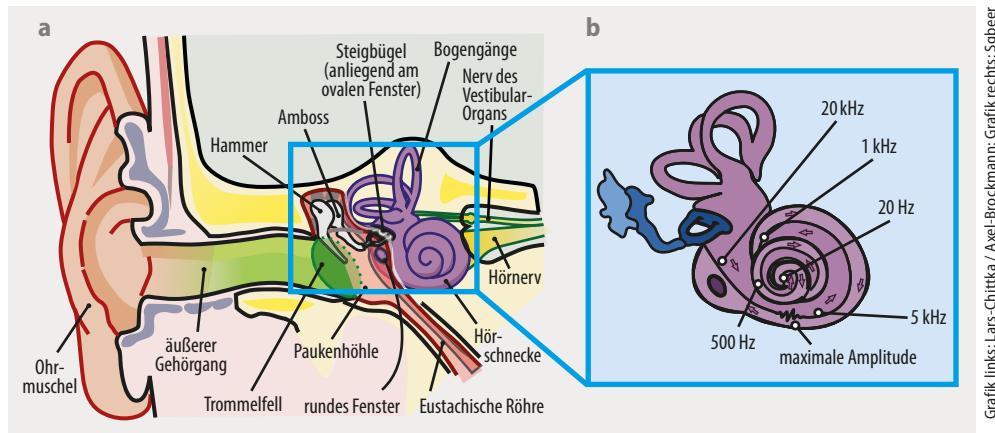


Abb. 1 Die Hörschnecke wandelt die Bewegungen des angrenzenden Gehörknöchelchens, des Steigbügels, in Schwingungen der Basilarmembran um (a). Abhängig von der Frequenz kommt es an einer anderen Stelle zur Resonanz (b).

nenten in einem kleinen Gehäuse, das hinter der Ohrmuschel getragen wird. Den verstärkten Schall leitet ein kleiner Schlauch in das Ohrpassstück. Dagegen verstecken sich „Im-Ohr“-Geräte kaum sichtbar im Gehörkanal: Alle Komponenten befinden sich in einer individuell angefertigten Hohlschale.

Künstliche Haarzellen

Bei hochgradigem oder vollständigem Hörverlust helfen diese konventionellen Hörgeräte jedoch nicht weiter. Ist die Ursache ein Verlust der Haarzellen in der Cochlea, der Hörnerv selbst aber intakt, besteht häufig die Möglichkeit einer Behandlung mit einem Cochlea-Implantat. Dabei übernehmen bis zu 24 in die Cochlea eingeführte Elektroden die Aufgabe der Haarzellen und stimulieren den Hörnerv direkt mit elektrischen Pulsen an verschiedenen Positionen. Zusammen mit einer Empfangsspule bilden sie das eigentliche Implantat im Knochen hinter dem Ohr. Ein abnehmbarer externer Teil vervollständigt das System: Hier verarbeitet ein Audioprozessor die Schallsignale (**Abb. 2**). Eine Sendespule überträgt die verschlüsselten Signale induktiv durch die Kopfhaut zur implantierten Empfängerspule und stellt die Energieversorgung des Implantats sicher.

Damit die Übertragung gelingt, muss das Außenteil exakt über dem Implantat sitzen. Deshalb enthalten beide Teile des Systems einen Magneten, der sie übereinander fixiert.

Um den Hörnerv anzuregen, braucht es pro Elektrode 250 bis 3500 Strompulse pro Sekunde, die zu einer außerhalb der Cochlea liegenden Referenzelektrode geschickt werden. Damit das Implantat ähnlich wie die Cochlea verschiedene Frequenzen unterscheidbar macht, sind die Elektroden an verschiedenen Stellen positioniert. Grundsätzlich erlaubt das Implantat nach einer erfolgreichen Operation, unterschiedliche Tonhöhen und Lautstärken wahrzunehmen. Die Hörqualität und das Sprachverständnis sind jedoch sehr individuell ausgeprägt. Denn das Gehirn muss die ungewöhnlichen neuen Höreindrücke mit Bekanntem abgleichen. Das erfordert ein intensives Hörtraining, das auch dazu dient, die Einstellungen des Audioprozessors immer weiter zu optimieren. Was direkt nach der Operation noch abstrakt und blechern klingt, kann nach und nach zu einem verständlichen Höreindruck werden. Die Aussicht auf Erfolg ist für Erwachsene am größten, wenn der Hörverlust nur kurz bestand und zuvor eine relativ lange Spracherfahrung vorliegt.

Bei Kleinkindern ist eine frühzeitige Behandlung – am besten vor dem Spracherwerb – von Vorteil.

Schätzungen zufolge werden in Deutschland pro Jahr rund 5000 Cochlea-Implantate eingesetzt. Sie ermöglichen vielen Betroffenen einen fast normalen Alltag: Sie können Sprache in ruhiger Umgebung verstehen und auch Musik hören; laute Hintergrundgeräusche bereiten aber Probleme. Denn die maximal 24 Elektroden begrenzen die spektrale Auflösung der Geräte bezüglich der Schallfrequenzen, obwohl die Signalaufbereitung 250 virtuelle Frequenzstufen zur Verfügung stellen kann. Das sind aber immer noch eine Größenordnung weniger als die rund 2000 Tonhöhen, die ein gesundes menschliches Ohr unterscheiden kann. Eine weitere Herausforderung ist die Ausbreitung der elektrischen Reize in der mit Flüssigkeit gefüllten Cochlea, welche die Ansteuerung der Frequenzbereiche unpräzise macht. Hier bieten Lichtpulse, die sich feiner steuern lassen, eine Alternative. Deshalb konzentriert sich die Forschung momentan darauf, wie sich die Nervenzellen im Ohr optisch stimulieren lassen. Da sie per se nicht lichtempfindlich sind, müssten sie dafür genetisch verändert oder mit entsprechenden Medikamenten manipuliert werden. Ziel dieser Forschung ist es, Cochlea-Implantate in den kommenden Jahren entscheidend zu verbessern.

Die Autor:innen

Dr. Denise Müller-Dum und **Dr. Jens Kube**, awjk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awjk.de

Grafik links: Lars-Chittka / Axel-Brockmann; Grafik rechts: Sgbeer

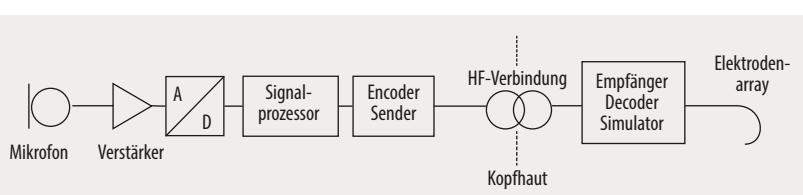


Abb. 2 Zwischen Mikrofon und Elektrodenarray wandeln verschiedene elektronische Komponenten den Schall in elektrische Pulse um – und imitieren die Vorgänge im Gehör.