

## ■ Mit dem Zweiten hört man besser

Schwerhörigkeit ist spätestens im Alter für viele Menschen ein Problem. Binaurale Hörgeräte nutzen räumliche Informationen.

**R**und 15 Millionen Menschen in Deutschland leiden unter einem eingeschränkten Hörvermögen. Weltweit wird ihre Zahl auf etwa 800 Millionen geschätzt. Für die Betroffenen bleibt mit fortschreitender Hörbeeinträchtigung oft nur eine Möglichkeit: ein Hörgerät. In den vergangenen Jahren haben Hörgeräte für beide Ohren, die sich miteinander synchronisieren lassen, an Bedeutung gewonnen. Von diesen binauralen Hörgeräten profitieren alle Schwerhörigen, die besondere Probleme beim Hören im Störschall und bei der Ortung von Schallquellen haben.

Hören ist ein komplexer Vorgang, an dem Ohr und Gehirn beteiligt sind. Der Schall gelangt über Außen- und Mittelohr mit geringen Energieverlusten in das Innenohr. Dort werden die Schall-schwingungen durch die Haarzellen mechano-elektrisch in Nervenimpulse gewandelt. Diese Impulse verarbeitet das Gehirn weiter. Das menschliche Gehör ist ein hochgradig nichtlineares System, das über einen weiten Bereich von Frequenzen und Schalldruckpegeln arbeitet. Der Mensch kann deshalb selbst feinste Unterschiede im Schall wahrnehmen, etwa ob heißes oder kaltes Wasser in ein Gefäß geschüttet wird. Zudem hört der Mensch räumlich. Trifft ein Schallsignal seitlich auf den Kopf, nehmen es beide Ohren aufgrund ihres Abstands unterschiedlich wahr

– und zwar in zweifacher Hinsicht: Erstens kommt es zu einem geometrischen Laufzeitunterschied, zweitens führt die Abschattung durch den Kopf zu Pegeldifferenzen zwischen den beiden Ohren.

Wie gut der Mensch hört, verdeutlichen Labormessungen: Er kann unter idealen Bedingungen Winkelunterschiede zwischen Schallquellen von nur einem Grad



Situationen mit einem Stimmengewirr im Hintergrund und womöglich mehreren Gesprächspartnern sind für Menschen mit Hörbeeinträchtigung beson-

ders schwierig. Binaurale Hörgeräte erleichtern zwar das Hören, bleiben aber noch deutlich hinter dem gesunden menschlichen Gehör zurück.

wahrnehmen und Laufzeitunterschiede in der Größenordnung von zehn Mikrosekunden.

Bei Hörbeeinträchtigungen treten vor allem zwei Probleme auf: Der Schall wird nur unzureichend zu den Haarzellen weitergeleitet, oder die Haarzellen sind ausgefallen. Reduziert man die Beurteilung von Hörbeeinträchtigungen auf den Schalldruckpegel, sprechen Ärzte ab etwa 30 Dezibel von einem Hörverlust. Diese Angabe allein ist allerdings ein unzureichender Indikator, da er recht wenig über das Hören in Alltagssituationen aussagt, in denen meist zusätzlich Hintergrundgeräusche auftreten.

### Räumliches Hören

Die wesentlichen Bestandteile eines Hörgeräts sind Mikrofon, Verstärker, Lautsprecher, Batterie und Signalverarbeitungslogik. Hardwareseitig gibt es vor allem Unterschiede bei Verstärker, Lautsprecher und Batterie, da der zu erzeugende Schalldruckpegel an die Hörminderung des Trägers angepasst sein muss. Darüber hinaus unterscheiden sich die Signalverarbeitungs-algorithmen wesentlich. Binaural heißen Hörgeräte, bei denen es irgendeine Form von drahtlosem Da-

tenaustausch zwischen der linken und rechten Seite gibt. Die Art des Austauschs kann sehr unterschiedlich sein. Im einfachsten Fall ist die Bedienung der beiden Hörgeräte – etwa für die Lautstärke – synchronisiert. Komplexere binaurale Hörgeräte tauschen weitere Metadaten aus, um zum Beispiel die Mikrofone koordiniert zu betreiben. Die höchste Stufe der Binauralität bieten derzeit Hörgeräte, die Audio-signale bidirektional übertragen können, mit bis zu 300 Kilobit pro Sekunde. Aufgrund des deutlich höheren Energieverbrauchs geschieht dies jedoch nur zeitlich begrenzt, also situationsbezogen. Kaum ein Hörgeräteträger möchte noch häufiger als ohnehin nötig die Batterien wechseln.

Erreicht ein Schallsignal das Ohr, sorgt ein Algorithmus im Hörgerät für ein besseres Signal-zu-Rausch-Verhältnis, indem er Sprachsignale identifiziert und verstärkt. Die Amplitudenmodulation ist ein Beispiel für ein dazu eingesetztes Verfahren. Dabei nutzt der Algorithmus typische Eigenschaften der Sprache aus. Akustisch gesehen besteht Sprache aus verschiedenen Lauten unterschiedlicher Lautstärke. Die Signalstärke der



Phonak

Siemens

gesprochenen Laute hat eine Dynamik von etwa 30 Dezibel – variiert also um ungefähr diesen Betrag bei Gesprächen in Zimmerlautstärke. Pro Sekunde schafft ein typischer Sprecher mehrere Silben, was sich in einer zeitlichen Modulation der Dynamik niederschlägt. Anhand dieser Amplitudenmodulation mit mehreren Hertz kann der Algorithmus des Hörgeräts Sprache und Hintergrundgeräusche voneinander trennen. Hintergrundgeräusche sind nämlich meist durch deutlich höhere Modulationsfrequenzen und eine viel geringere Modulationsdynamik gekennzeichnet. Die Analyse im Hörgerät erfolgt mehrkanalig, woraus sich ein weiteres Differenzierungsmerkmal zwischen Nutz- und Störsignal ergeben kann.

### Gerichtete Mikrofone

Wenn der Algorithmus eine Gesprächssituation erkannt hat und das betroffene Hörgerät über zwei Mikrofone verfügt, die an verschiedenen Stellen ins Gehäuse integriert sind, schaltet das Hörgerät in den Richtmodus. Dadurch nimmt das Hörgerät den Schall stärker von vorne wahr – von dort, wo in einem Gespräch das Gegenüber zu erwarten ist. Bei binauralen Hörgeräten können bis zu vier Mikrofone, zwei pro Gerät, daran mitwirken: Jedes für sich ist für Schall aus allen Richtungen ungefähr gleich empfindlich. Sind die einzelnen Mikrofone

dagegen logisch gekoppelt, treten aufgrund ihrer geometrischen Anordnung zwischen den erfassten Schallsignalen Laufzeitdifferenzen auf. Durch die Überlagerung der zeitkorrigierten Signale kommt es zur Interferenz. Die Schallsignale zum Beispiel von einem Gesprächspartner gegenüber weisen nur geringe Laufzeitunterschiede auf und lassen sich weitgehend rekonstruieren. Unerwünschte Schallsignale aus anderen Richtungen unterdrückt das Hörgerät.

Binaurale Hörgeräte gleichen nach der Spracherkennung und dem Umschalten in den Richtmodus die Metadaten ab, passen also beispielsweise die Lautstärken der beiden Geräte aneinander an. Wenn es die Technik der binauralen Hörgeräte erlaubt und es die Situation erfordert, kann anschließend die Übertragung von Audiostreams – also des aufbereiteten Sprachsignals – vom einen aufs andere Hörgerät erfolgen. So lassen sich einseitig wirkende Störgeräusche weiter unterdrücken. Wind, der seitlich auf den Kopf trifft, ist ein Beispiel für eine solche Situation: Bei einem Gespräch prüfen die Hörgeräte dabei, von welcher Seite weniger Wind – also Störgeräusch – kommt und nehmen dort das Sprachsignal auf. Dieses wird auf das zweite Hörgerät übertragen, bei dem dann die Mikrofone stumm bleiben, sodass die störenden Windgeräusche das



Phonak

Verfügt ein Hörgerät über zwei Mikrofone, lassen sich diese wie ein Richtmikrofon betreiben. Hierbei macht sich der zugrunde liegende Algorithmus die Laufzeitunterschiede der akustischen Signale zunutze.

Sprachverstehen nicht mehr beeinträchtigen.

Damit ein Hörgerät tatsächlich zu einem besseren Verstehen führt, ist es jedoch nicht damit getan, das Nutzsignal möglichst gut zu extrahieren. Genauso entscheidend ist es, die aufbereiteten physikalischen Signale als Information nutzbar zu machen. Hier fehlt es bislang noch an praxisnahen Hörmodellen für wechselnde Situationen, weil das auditorische System aufgrund seiner Komplexität bisher nicht eins zu eins auf eine technische Lösung übertragbar ist. Zudem verändert sich durch einen langsamen Hörverlust, wie er im Alter auftritt, vermutlich die Verarbeitung der Schallsignale im Gehirn.

Michael Vogel

Birger Kollmeier und Tobias Neher von der Universität Oldenburg danke ich für hilfreiche Erläuterungen.