

Von der Hand hinter dem Ohr zum Hörcomputer

Moderne Hörgeräte können mehr als nur linear die Lautstärke jedes Schallereignisses zu verstärken. Das komplexe Hörvermögen lässt sich mit Hörgeräten mittlerweile soweit nachbilden, dass Schwerhörige wieder differenziert hören können.

Der berühmteste Schwerhörige ist wohl Ludwig van Beethoven. Zwar schuf er viele seiner großartigen Werke erst in einem Alter, als er



Abb. 1: Mit Beethovens Hörrohr haben moderne digitale Hörgeräte nicht mehr viel gemein. (Foto: Akustika)

von seiner Umwelt fast völlig akustisch isoliert war, aber das bedeutet nicht, dass er sich seinem Schicksal kampflös ergab. Im Jahr 1813 ließ er sich von dem Mechaniker Johann Nepomuk Mälzel mehrere Hörrohre anfertigen, die allerdings nur eine geringe Wirkung entfalteten. Dennoch setzte Beethoven lange auf diese „Gehörmaschinen“, die es bereits seit dem Ende des 17. Jahrhunderts gab und die eigentlich nur eine Verfeinerung der allerersten Hörhilfe des Menschen waren – der Hand hinter dem Ohr, sowie der ersten künstlichen „Geräte“, Muscheln und ausgehöhlten Tierhörnern.

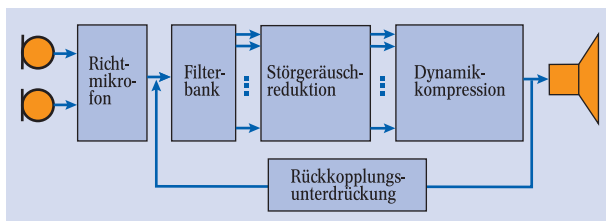


Abb. 2: Das Funktionsprinzip moderner Hörgeräte beinhaltet u. a. eine je nach Lautstärke unterschiedliche Verstärkung (sog. Dynamikkompression), um differenzierteres Hören zu ermöglichen.

Wirkliche Hilfe brachten erst die elektrischen bzw. elektronischen Hörgeräte. Ihre Erfindung vollzog sich parallel zur Entwicklung des Telefons und nutzt das gleiche Grundprinzip. Das erste kommerzielle Hörgerät konnte man 1899 in den USA kaufen. Seine Batterie war so groß wie ein Koffer und entsprechend schwer und hielt außerdem nur einen Tag; dieses Modell war also eher etwas für zuhause. In den 1920er-Jahren näherten sich die Hörgeräte langsam der Taschengröße. Einen wirklichen Sprung in

der Entwicklung vor allem in Bezug auf die Qualität brachte aber erst die Erfindung des Transistors 1947. Bereits fünf Jahre später wurden die ersten Hörgeräte auf Transistorbasis vorgestellt, 1955 dann die ersten „Im-Ohr-Geräte“. Seitdem wurden die Geräte kontinuierlich kleiner und leistungsfähiger. Spätestens in den 1980er-Jahren erwiesen sich sich dann auch als alltagstauglich.

Vom analogen zum digitalen Hören

Die analoge Hörgerätetechnik, die bis in die Neunzigerjahre hinein ausschließlich zum Einsatz kam, stellt zwar für geringe Kosten und niedrigen Aufwand Schaltungen zur Verfügung, die einfache Verstärkungsaufgaben lösen können; soll aber eine Beeinträchtigung des komplexen Hörvorgangs effektiv kompensiert werden, hat die digitale Signalverarbeitung entscheidende Vorteile: Miniaturisierung, geringer Stromverbrauch, geringes Eigenrauschen und die Vielzahl der einstellbaren Parameter bei digitalen Algorithmen, um nur einige zu nennen. Sie hat die Analogtechnik seit dem ersten voll digitalen Hörgerät 1996 weitestgehend verdrängt.

Heutzutage gibt es eine Vielzahl von Hörgeräten unterschiedlicher Formen und Funktionen. Hörgeräte können vollkommen oder teilweise im Gehörgang verschwinden, in der Ohrmuschel sitzen oder hinter dem Ohr getragen werden. In allen Fällen tritt der Schall durch ein Mikrofon in das Gerät ein, wird dort verarbeitet und verstärkt und durch einen Lautsprecher in den Gehörgang abgegeben.

Beim „klassischen“, konventionellen Hörgerät, meist in der Hinterdem-Ohr-Bauform, besteht die Signalverarbeitung im Prinzip nur aus einer linearen Verstärkung. Der Frequenzgang dieser Hörhilfe ist durch das Mikrofon, die Art der Verstärkerschaltung und die Ankopplung an den äußeren Gehörgang vorgegeben und für einen mittleren Pegelbereich ausgelegt.

Patienten mit einer Innenohrschwerhörigkeit nehmen aber typischerweise leise Signale überhaupt nicht wahr, laute hingegen wie Normalhörende. Das führt dazu, dass leise Eingangspegel von konventionellen Geräten vor allem in den für die Sprachwahrnehmung wichtigen Höhen zu schwach wiedergegeben werden, hohe Eingangspegel hingegen überschreiten schnell die Unbe-

haglichkeitsschwelle. Patienten mit einem älteren Hörgerät sind deshalb ständig damit beschäftigt, die Lautstärke nachzuregeln.

Um die ständige Regelei zu vermeiden, wird eine *Dynamikkompression* eingesetzt. Bei ihr bleibt der einmal eingestellte Frequenzgang des Hörgeräts unverändert, die Eingangs-Ausgangs-Kennlinie wird allerdings so angepasst, dass leise und laute Signale unterschiedlich stark verstärkt werden und die oben geschilderten Probleme nicht auftreten. Findet diese Dynamikkompression unabhängig in verschiedenen Frequenzbereichen statt, spricht man von *Multikanal-Dynamikkompression*. Sie ist bei modernen Hörgeräten Standard.

Wahrnehmungsmodelle

Digitale Hörgeräte der neuesten Generation gehen aber noch einen Schritt weiter und basieren auf einem Wahrnehmungsmodell, welches die elementaren Funktionen der Cochlea (Schnecke), die im Innenohr die Schallschwingungen in Nervenimpulse umwandelt, nachvollzieht. Die Beschallung des Ohres mit einem einzigen Ton erzeugt in der Cochlea nicht nur an einer Stelle einen Reiz, sondern auch – abhängig vom Pegel – in benachbarten Bereichen links und rechts der entsprechenden Frequenz, und zwar in Form eines asymmetrischen Anregungsmusters mit bestimmter Bandbreite.

Bei einem komplexen Signal regt jede Spektralkomponente einen solchen Bereich an. Dabei kann es passieren, dass eine leisere Komponente von den lautereren maskiert und damit nicht gehört wird, da die *Lautheitswahrnehmung* eines zusammengesetzten Klangs der einschließenden Gesamtanregung entspricht; ob die leise Komponente vorhanden ist oder nicht, spielt also keine Rolle. Die Cochlea sorgt sozusagen dafür, dass bei der Entschlüsselung einer Hörinformation nur die wichtigen Komponenten eines Signals verarbeitet und an die Hörrinde weitergeleitet werden. Ein herkömmliches Mehrkanalsystem erkennt aber diese Maskierungen nicht und verstärkt die entsprechenden Komponenten ebenfalls, was zu Rauschen und Verzerrungen führt.

Erst die modernen Hörcomputer (Abb. 2) mit ihrer gehörgerechten Signalverarbeitung „hören“ quasi zu, bevor sie die Verstärkung be-

rechnen. Der Begriff „Hörcomputer“ ist nicht nur aus Marketinggründen gerechtfertigt, denn bei den digitalen Hörgeräten werden auf einem rund 10 Quadratmillimeter großen Chip pro Sekunde etwa 40 Millionen Berechnungen durchgeführt, das ist eine höhere Rechenleistung als bei derzeit handelsüblichen Pentium-Prozessoren.

Mithilfe der Digitalisierung können Hörgeräte also Leistungen realisieren, die analog nicht machbar sind. Neben der Dynamikkompression zählen dazu vor allem die Maßnahmen zur *Störschallunterdrückung*. Den Verlust dieser wunderbaren Fähigkeit des menschlichen Gehörs („Cocktail-Party-Effekt“) beklagen Schwerhörige besonders. Digitale Hörgeräte setzen zur Unterdrückung von Nebengeräuschen u. a. einen Algorithmus ein, der Kenntnisse der natürlichen Sprache verwendet und beispielsweise Gesprächspausen nutzt, um den Frequenzgehalt der Hintergrundgeräusche zu bestimmen. Ein anderer Algorithmus rechnet die Einhüllende eines Schallsignals aus, deren Modulationsfrequenz für Sprache – unabhängig vom Klang und der Nationalität – im Bereich 2–8 Hz liegt und sich charakteristisch von der für Störgeräusche unterscheidet. In einfachen akustischen Situationen funktionieren diese Algorithmen schon sehr gut, an der Verbesserung für den Einsatz in üblicherweise anzutreffenden schwierigen Kommunikationsszenarien (viele Sprecher auf engem

Raum etc.) wird intensiv geforscht.

Neben der Signalverarbeitung tragen auch die in Hörgeräten schon seit den Siebzigerjahren verwendeten Richtmikrofone zur Störgeräuschunterdrückung bei. Mit ihnen erreicht man einen Signal-Rausch-Abstand (SNR) von 3–4 dB. Richtmikrofone sind aber nur für spezifische Situationen geeignet, da man bei ihnen *immer* eine Richtwirkung hat. Außerdem können sie bei Im-Ohr-Geräten nicht verwendet werden. Eine Verbesserung brachte die Einführung der Multi-Mikrofon-Technologie, die zwei getrennte aufeinander abgestimmte Kugelmikrofone benutzt, die elektronisch auf Kugel- oder Richtcha-

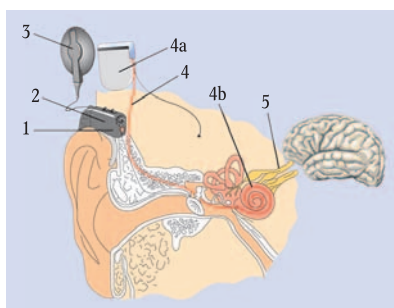


Abb. 3: Beim Cochlea-Implantat wird der Schall von einem Mikrofon (1) aufgenommen und von einem Sprachprozessor (2) als elektrisches Pulsmuster kodiert. Dieses Muster wird zur Spule (3) und dann induktiv durch die Haut zum Implantat (4a) geleitet, wo das Pulsmuster entschlüsselt und zur aktiven Elektrode (4b) in die Cochlea geleitet wird (4). Das stimuliert den Hörnerv, der sog. Aktionspotenziale erzeugt (5), welche das Gehirn schließlich als akustisches Ereignis interpretiert.

rakteristik geschaltet werden konnten. Diese Systeme sind aber immer noch auf eine bestimmte Richtung für die maximale Störunterdrückung fixiert. Bei der neuesten Hörgerätere-generation lokalisiert das Multi-Mikrofon-System fortwährend die Richtung, aus der das lauteste Störgeräusch kommt, und passt seine Richtcharakteristik der Situation an.

Eine wichtige Anforderung an Hörgeräte ist zudem die Vermeidung von akustischen Rückkopplungen, die sich in störendem Pfeifen zeigen. Moderne Geräte verwenden hierfür adaptive Algorithmen, die das Eingangssignal fortlaufend analysieren und bei Rückkopplungen ein schmalbandiges Filter aktivieren, welches das Feedbacksignal eliminiert.

Eine Spezialform des Hörgerätes sind Cochlea-Implantate (Abb. 3), die Gehörlosen und hochgradig hörbehinderten Patienten die Wiederherstellung des Hörvermögens erlauben. Das Implantat ersetzt das Sinnesorgan, benötigt aber eine gewisse Restfunktion des Hörnervs (*Nervus cochlearis*).

Die weitere Entwicklung der Hörgeräte wird entscheidend davon abhängen, inwieweit die komplexen Hörvorgänge – gerade auch mit Hilfe physikalischer Modelle – nachgebildet werden können.¹⁾

ULRICH KILIAN

1) Vgl. Physik Journal, April 2002, S. 39

Dr. Ulrich Kilian,
science & more
redaktionsbüro,
uk@science-and-
more.de