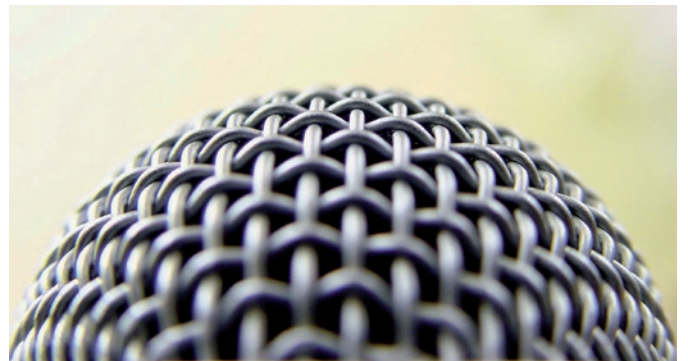


Mikrofone für Hörsysteme

Der winzige Gigant

Die Welt der Mikrofone ist einzigartig und faszinierend. So gelang erst kürzlich US-Wissenschaftlern die Entwicklung eines Unterwasser-Mikrofons, das wie das Gehör eines Wals einen gewaltigen Frequenzbereich auch noch in großer Meerestiefe abdeckt. Doch wie funktionieren eigentlich die Mikrofone von Hörsystemen und welchen Anforderungen müssen sie genügen, damit ihren Trägern ein optimales Hörerlebnis zuteil wird?



(Foto: Philip Sigin-Lavdanski/iStockphoto.com)

Die Geschichte des Mikrofons ist mittlerweile 150 Jahre alt und verlief parallel zur Erfindung des Telefons. Die Anfänge gehen auf den Italiener Antonio Meucci zurück. Doch erst der deutsche Physiker Johann Philipp Reis erkannte anhand des Modells einer Ohrmuschel, dass anstelle des Trommelfells auch ein mit einer Membran bespannter Schalltrichter zur Umwandlung in ein Mikrofonsignal ausreicht. An diesem Grundprinzip hat sich bis heute nichts geändert. Denn ein Mikrofon ist ein Schallwandler, der Schalldruck über eine Membran in elektrische Signale umwandelt. Auch für die immer winziger werdenden Mikrofone für Hörsysteme gilt dieses Prinzip, wobei die Empfindlichkeit der Membran eine entscheidende Rolle spielt, damit das Audiosignal besonders deutlich wiedergegeben und dadurch die Hörqualität verbessert wird.

Was Hörgeräte-Hersteller fordern

Bei den Hörsystem-Herstellern herrscht weitgehend Konsens darüber, was Mikrofone leisten sollten, um die Zufriedenheit der Kunden sicherzustellen. An erster Stelle steht bei den meisten Anbietern die Größe: Die Mikrofone sollten möglichst klein sein. Denn eine kleine und einbaugünstige Form ist die Grundvoraussetzung für den Bau kleiner, unauffälliger Hörsysteme – insbesondere von Im-Ohr-Hörsystemen. »Ganz besonders bei den CIC-Hörsystemen (completely-in-the-

canal), aber auch bei den Deep-Fit-Hörsystemen (DIC, auch deep-in-the-canal oder TiK-Hörsysteme genannt) kommt es auf Zehntelmillimeter an«, sagt Michael Bulk, Leiter der Entwicklung bei der Audio Service GmbH.

Eine weitere Forderung der Hersteller ist, die Mikrofone möglichst robust zu bauen, da die Hörsysteme im alltäglichen Betrieb einiges aushalten müssen. Fällt ein Hörgerät mal herunter, darf das Mikrofon keinen Schaden nehmen. Im Ohr sind Hörsysteme außerdem vielen aggressiven Stoffen wie z. B. Schweiß und Ohrenschmalz ausgesetzt. Mikrofone sollten daher unempfindlich gegenüber diesen Stoffen sein. Zudem müssen sie verzerrungs- und rauscharm sein. Je geringer nicht-lineare Verzerrungen (Klirrfaktor) und Mikrofonrauschen sind, desto besser ist der Klang eines Hörsystems. Auch sollten Mikrofone resistent gegen Rückkopplungen sein. »Insbesondere bei offenen Versorgungslösungen ist dies ein zentrales Thema«, sagt Bulk.

Klein – robust – rauscharm

Für Friedrich Bock, technischer Leiter Hörsysteme der Widex Hörgeräte GmbH, steht die Qualitätssicherung an erster Stelle: »Bevor wir unsere Schallwandler einkaufen, prüfen wir in einer Testphase von zwei bis drei Jahren, ob die Leistungsdaten den Anforderungen genügen. Erst dann suchen wir das passende Mikrofon aus, danach den Lautsprecher bzw. Hörer. Alle Komponenten werden also genau abge-

stimmt.« Entscheidend ist die Richtcharakteristik, die nur durch eine Multimikrofon-Technologie gewährleistet werde. Einzelne Mikrofone werden nur noch bei Geräten im unteren Preissegment eingesetzt. Die Mehrheit der aktuell entwickelten Hörsysteme verfügt über zwei identische Mikrofone bzw. ein sogenanntes »matched pair«, mit dem sich mithilfe einer Störgeräuschreduktion eine der jeweiligen akustischen Alltagssituation angepasste dynamische Richtwirkung erzielen lässt. Sie erst ermöglicht es, dass man nicht nur Sprache in hoher Klangqualität hört, sondern auch mitbekommt, aus welcher Richtung gesprochen wird. Außerdem ist Sprache auf diese Weise deutlicher zu verstehen.

Hohe Anforderungen werden ebenso an die Gleichheit der Produkte gestellt, das heißt, dass die technischen Spezifikationen vom Hersteller genau eingehalten werden müssen und sich diese Eigenschaften auch nach dem Einbau von Mikrofon und Lautsprecher in das Hörsystem im Laufe der Nutzungsdauer nicht verändern. »Für unsere Kunden ist es wichtig, dass während der durchschnittlichen fünf Jahre, in denen ein Hörgerät getragen wird, die Empfindlichkeit des Mikrofons und damit die Hörqualität nicht beeinträchtigt wird«, sagt Dieter Fricke, Direktor Audiologie der GN Hearing GmbH. Die Gesellschaft zählt weltweit zu den größten Anbietern von Hörsystemen. Zu ihren Marken gehört auch ReSound, ein Hersteller, der nun mit einem drahtlosen, nur 21 Gramm leicht-

ten Ansteck-Mikrofon für akustische Verstärkung sorgt. Mit dem ReSound Unite Mini-Mikrofon soll Sprache v. a. in extremen Hörsituationen direkt in die Hörgeräte übertragen werden. »Diese zusätzliche Systemkomponente verhilft zu einem intensiveren Hör-Erlebnis. Die Audiosignale von Fernseher, Radio, iPod oder Laptop werden in exzellenter Tonqualität übertragen«, so Fricke.

Fit für jedes Klima

Bei der Auswahl des »richtigen« Mikrofon orientieren sich die Hersteller zunächst an der Baugröße und -form. Abhängig von der Art des Hörgeräts, also HdO oder IdO, und dem angestrebten Design (hier spielt auch die Batteriegröße eine Rolle), wird eine Vorauswahl im Hinblick auf das Gesamtkonstrukt getroffen. Danach wird die Akustik evaluiert, das heißt, die tatsächlichen akustischen Eigenschaften werden auf ihre Übereinstimmung mit den Produktangaben der Mikrofon-Hersteller geprüft. Im Zusammenspiel mit ersten Prototypen für die Endform des Hörgeräts werden Parameter wie Eigenrauschen, Empfindlichkeit, Amplitudenfrequenzgang, Vibrationsempfindlichkeit und Klimabeständigkeit untersucht. »Da wir in über 65 Länder mit den verschiedensten Klimaverhältnissen exportieren, ist die Klimaprüfung (Wärme, Kälte, Feuchtigkeit, Salznebel, Schweiß) der elektroakustischen Wandler ein besonders wichtiger und auch zeitaufwendiger Schritt im gesamten Entwicklungsprozess«, sagt Guido Paschold, zuständig für Forschung & Entwicklung bei audifon.

Qualitätsverlust durch Eigenrauschen

»Ein gutes Mikrofon zeichnet sich durch eine hohe Empfindlichkeit der Membran aus: Je größer die Membran, desto empfindlicher ist sie und kann kleinste Druckschwankungen aufnehmen. Das Prinzip entspricht dem eines Kondensators, bei dem durch Änderung der Kapazität eine Wechselspannung entsteht, die das Eingangssignal abbildet. Je empfindlicher die Membran nun ist, umso genauer kann das Signal dargestellt werden«, sagt Sylvie Gerber, Produkttrainerin bei Starkey.

Gerber gibt zu bedenken, dass moderne Hörsysteme zwar immer kleiner werden, aber diese Minimierung der einzelnen Bauteile nicht zu einem Qualitätsverlust führen dürfe. Besonders das Eigenrauschen des Mikrofons müsse gering gehalten werden. Es wird in Dezibel (dB) angegeben und schwankt zwischen 22 und 29 dB im Messzustand. »Im alltäglichen Betrieb, also wenn das Hörgerät getragen wird, schwankt dieser Wert und kann auch deutlich höher liegen«, so Sylvie Gerber. Das Eigenrauschen der Hörgeräte wäre höher als das der Mikrofone, wenn nicht besondere Rauschunterdrückungen im Hörsystem durch den DSP (digitaler Soundprozessor) vorgenommen würden. So werden z. B. die niedrigen und hohen Frequenzen teilweise oder ganz unterdrückt.

Auch Andi Vonlanthen von der Phonak AG hält eine hohe Empfindlichkeit und ein niedriges Eigenrauschen für die entscheidenden Kriterien. Gerade hierfür sei es wichtig, neue Technologien zum Zuge kommen zu lassen. »Die Miniaturisierung von speziell für Hörsysteme gemachten Elektretmikrofonen ist eine nie endende Disziplin, mit der versucht wird, die Hörgeräte immer kleiner werden zu lassen. Das Entwicklungspotenzial für die Zukunft liegt in den Silizium-Mikrofonen, die als MEMS (MicroElectro-Mechanical System)-Teile gefertigt werden. Sie sind durch die höhere Massenfertigung auch effizienter in der Herstellung«, sagt Vonlanthen.

Was die Mikrofon-Hersteller bieten

Weltweit gibt es nur zwei Hauptproduzenten, von denen nahezu alle Hörgeräte-Hersteller ihre Mikrofone beziehen. Das sind die Firma Knowles in Itasca (US-Bundesstaat Illinois) und die Firma Sonion im dänischen Roskilde.

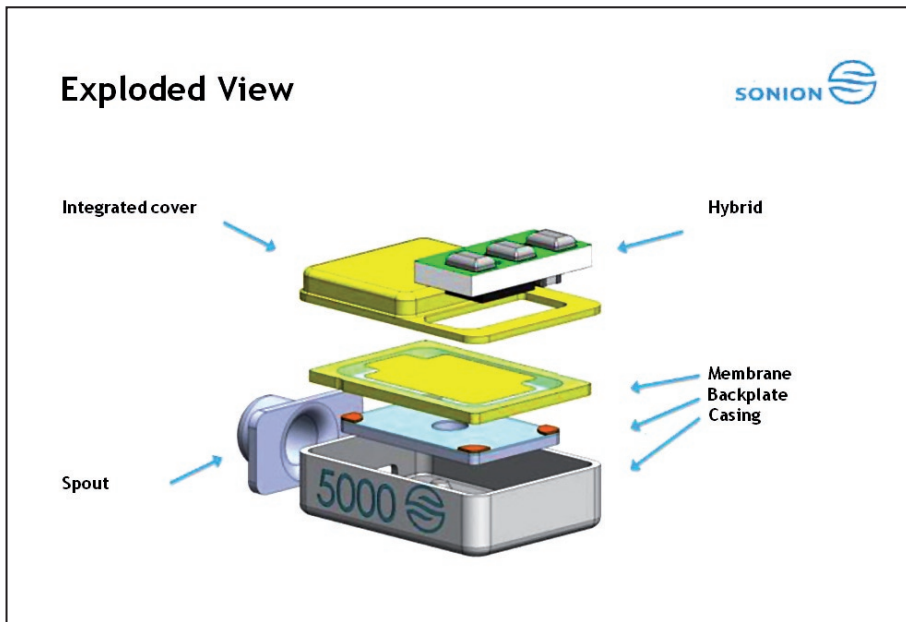
Das US-Unternehmen Knowles gilt als Marktführer auf dem Gebiet akustischer Spitzentechnologie für die weltweite Hörgeräte-Industrie, v. a. bei Subminiatur-Mikrofonen und -Hörern. Gegründet wurde die Firma von Hugh S. Knowles, der sich als Erfinder und Hersteller in der Hörgeräte-Branche mit über 50 Patenten einen Namen

gemacht hatte. Knowles Electronics wurde 1946 in Betrieb genommen und ist mittlerweile eine Tochtergesellschaft der Dover Corporation mit etwa 3 000 Beschäftigten. Bauteile, auch für die mobile Kommunikation und die Unterhaltungselektronik, werden in Malaysia, China und Österreich hergestellt.

Das nicht weit von Kopenhagen ansässige Unternehmen Sonion beschäftigt 1 900 Angestellte. Es gehört zu den weltweit führenden Herstellern von mikroakustischen und mikromechanischen Technologien, die bei Hörsystemen Anwendung finden, aber auch bei medizinischen Geräten. Die Komponenten hierfür werden v. a. in zwei Fabriken in Vietnam und Polen produziert. Auch in den Niederlanden, den USA und China hat die Firma Standorte. Die Firmengeschichte geht zurück auf das Jahr 1974, als mit der Gründung von »Microtronic« mikro-mechanische Bauteile für die Hörgeräte-Industrie hergestellt wurden.

Elektretmikrofone als Standard

Bei Sonion sind alle Mikrofone sogenannte Elektret-Kondensatormikrofone. Dieser Mikrofontyp wird heute bei allen gängigen Hörgeräten eingesetzt. Die Mikrofone bestehen aus zwei sehr kleinen, gegenüberliegenden metallischen Membranen: einer festen Elektrode (Elektret) und einer beweglichen metallischen Membran. An beiden Membranen wird eine geringe Spannung angelegt. Wird die bewegliche metallische Membran durch ein Schallsignal angeregt, so ändert sich die Kapazität dieser beiden Platten und damit auch proportional die Spannung. Diese geringe Spannungsveränderung wird mit einem im Mikrofon eingebauten Feldeffekttransistor verstärkt und als Signalspannung abgegeben. Elektretmikrofone benötigen eine Spannungsversorgung von ca. ein Volt. Sie sind mit einem globalen Marktanteil von 90 Prozent die am häufigsten produzierten Mikrofone. Dank ihrer kompakten Bauweise, ihres geringen Preises und der guten Audioqualität werden Elektretmikrofone in sehr großen Stückzahlen hergestellt: weltweit etwa 20 Millionen allein für die Hör-



Der Aufbau eines Mikrofons im Querschnitt

(Foto: Sonion)

geräte-Industrie. Wegen der kleinen Größe eignen sie sich besonders gut für Hörsysteme und Handys.

Drei Kriterien für die Produktion

Bei der Herstellung von Mikrofonen wird besonders auf drei Kriterien geachtet: Auf das **Rauschverhalten**, die **Empfindlichkeit** und die **Größe** der Schallwandler. So gibt es ein Grundrauschen bzw. elektrische und akustische Geräusche, die vom Mikrophon selbst erzeugt werden. Diese versucht man so gering wie möglich zu halten. Die Gesamtsumme aller Mikrophon-Geräusche nennt man auch »ENP-noise« – dieser Begriff steht für »equivalent noise pressure«: Was an Schalldruck auf das Mikrophon trifft, muss als gleiche elektrische Spannung erzeugt werden. Mit anderen Worten: Wie laut das Eigengeräusch eines Mikrofons ist, hängt von der Verstärkung ab. Je nach Übertragungscharakteristik der Hörgeräte sind Mikrofone mit linearem oder hochtonbetontem Frequenzgang verfügbar. Die maximale, von den Lautsprechern begrenzte Bandbreite bewegt sich bei den Mikrofonen von 8 bis 10 kHz; durch den Einbau ins Hörgerät wird die Bandbreite jedoch auf 7 bis 8 kHz reduziert.

Ein weiteres elektroakustisches Kriterium ist die Empfindlichkeit. Sie sagt etwas darüber aus, wie viel elektrische

Spannung bei einem Mikrophon beim jeweils eingehenden Schalldruck entsteht. Im Allgemeinen ist bei Hörsystemen eine Empfindlichkeit von -34 dB relativ zu einem Volt/Pascal akzeptabel. Davon hängt ab, wie gut der Ton aufgenommen und verstärkt wird. Auch der Stromverbrauch spielt bei der Herstellung der kleinen Hörgeräte-Mikrofone eine wichtige Rolle, denn ihn gilt es, so gering wie nur möglich zu halten.

Kleinste Mikrophon »MIC 5000«

Bei der Größe sind sich beide Hersteller einig: »Die Nachfrage nach immer kleineren Hörsystemen bleibt anhaltend stark. Wenn die Größe der Mikrofone und der Lautsprecher verringert wird, kann man auch beim Design von Hörsystemen kleinere Bauformen entwickeln. Das Ziel für jede Mikrophon-Generation ist es, die Größe weiter zu reduzieren – bei gleichzeitiger Minimierung von Empfindlichkeit und Geräuschverhalten«, sagt Rick Zanardo, Global Account Director bei Knowles Electronics. »Der Trend zu immer kleineren Mikrofonen und damit Hörsystemen ist ungebrochen«, bestätigt auch Dietmar Löhndorf, Key Account Manager bei Sonion. »So misst unser neuestes Mikrophon »MIC 5000« nur noch 2,55 mm x 3,55 mm x 1,32 mm. Es ist damit das kleinste Mikrophon auf dem Markt.«

Meist werden zwei Mikrofone in einem Hörgerät verbaut. Dadurch hört man nicht nur einfach rundum, wie bei nur einem Mikrophon, sondern gerichtet, das heißt, dass man erkennt, woher ein Schallsignal kommt. Nur bei der kleinsten Hörgeräte-Bauform, den CIC-Geräten, die komplett im Gehörgang verschwinden und nur für leichtere Hörverluste infrage kommen, ist dies nicht möglich. Die Mikrofone unterscheiden sich je nach Verwendung in ihrer Bauform; sie sind entweder quadratisch, rechteckig oder zylindrisch. Die Bauform der Mikrofone hängt dabei oftmals von der Bauform des jeweiligen Hörgeräts ab – also je nachdem, ob es sich um IdO- oder HdO-Geräte handelt. Die meist verbauten Mikrofone sind heutzutage quadratisch. Die Tendenz zu immer kleineren Hörgeräten hat in letzter Zeit die rechteckigen Mikrofone bevorteilt.

Im Wesentlichen besteht ein Mikrophon aus bis zu sieben Komponenten. Je nach Design werden bei der Herstellung eines Mikrofons automatisierte Prozesse, Handarbeit oder eine Kombination aus beidem angewendet. Die meisten Hörgeräte-Mikrofone besitzen ein Gehäuse aus rostfreiem Stahl. Die Motorbauteile (Ladungselektroden, Membran und Stützring) bestehen typischerweise aus Metallen, die wegen ihrer Fähigkeit ausgewählt werden, die Ladung dauerhaft zu speichern. Die Rückplatte erfordert eine Ladungsspeicherschicht aus einem Metall wie z. B. Teflon. Die Membran wird aus der Polyesterfolie Mylar hergestellt, mit einer dünnen Schicht Gold. Die Hybrid-schaltung enthält einen integrierten Schaltkreis.

Was die Zukunft bringt

Die zukünftige Herausforderung beim Bau neuer, noch kleinerer Mikrofone liegt darin, die genannten akustischen Kriterien einzuhalten und Qualitätsverluste zu vermeiden. »Mit unserem neuesten »MIC 5000« stoßen wir allmählich an die Grenzen bei Elektretmikrofonen in Hinsicht auf Größe und Leistungsfähigkeit. Deshalb gibt es Bestrebungen im Bereich der MEMS-Technologie oder anderer Technologien, die wir heute noch nicht näher beschreiben können«, sagt Löhndorf.

Anzeige

Mikrosystemtechnik auf dem Vormarsch

Die MEMS-Technologie kommt speziell bei Hörsystemen zum Einsatz. Hierzulande ist diese Form der Präzisionsfertigung auch als Mikrosystemtechnik bekannt. Für die Industrie hat die MEMS-Technologie den großen Vorteil, dass sie durch einen geringen Verbrauch an Werkstoffen zur Kostenersparnis beiträgt und auch hinsichtlich des Energiebedarfs effizient ist. Zudem halten MEMS-Mikrofone den Temperaturen stand, die beim sogenannten Oberflächenmontage-Lötverfahren benötigt werden, und eignen sich beim Einsatz von automatisierter Pick-and-Place-Bestückung (Greif- und Montage-Bestückung). Diese macht das Einlegen des Mikrofons per Hand überflüssig, spart Zeit und Fertigungskosten, von denen dann auch der Endverbraucher profitiert.

»Die Oberflächenmontage eignet sich in hohem Maße zur Automatisierung und reduziert Lohnkosten. Nach dem Siebdruck geht die Baugruppe

weiter zur Greif- und Montage-Einheit. Das erspart Reinigungskosten, beschleunigt den gesamten Fertigungsprozess und verringert Abfallstoffe.

Die Oberflächenmontage-Automatisierung wird nicht nur bei Hörgeräte-Mikrofonen genutzt, sondern findet v. a. extensiven Einsatz in der Unterhaltungselektronik – also auch bei Mobiltelefonen, Digitalkameras, Navigationssystemen, Flachbildschirmen und MP3-Playern«, erklärt Rick Zanardo. Zusätzlich bieten diese neuen, auf der MEMS-Technologie basierenden Mikrofone eine überlegene Funktionssicherheit, welche wichtig ist bei der Verbesserung der Software für die Richtungs-Algorithmen in Hörgeräte-Verstärkern.

MEMS im Fokus

Im Hinblick auf die MEMS-Technologie gibt es jedoch auch Skepsis: Zwar führt die Fertigung von MEMS-Mikrofonen zu Einsparungen bei den Produktionskosten. Jedoch sind die Materialkosten deutlich höher. »Die nach wie vor dominierenden Elektretmikro-

fone lassen sich billiger herstellen. Das liegt auch daran, dass ein typisches MEMS-Mikrofon für ein Hörsystem aus bis zu vier Einheiten besteht; für Consumeranwendungen wie bei Mobiltelefonen ist beispielsweise nur ein MEMS nötig. Mit den vier Einheiten ist es zwar möglich, das sonst hohe Rauschen der MEMS-Mikrofone durch mehrere gleichgeschaltete Mikrofone zu verringern, entsprechend teurer ist diese Technologie aber auch«, so Löhn-dorf.

Bisher laufen nur Feldversuche mit MEMS-Mikrofonen für Hörgeräte. Daher bleibt abzuwarten, wie diese verlaufen. In technischer Hinsicht (z. B. Rauschen, Stromverbrauch) sind die MEMS-Mikrofone noch lange nicht so ausgereift wie die Elektretmikrofone. Endgültige Gewissheit über den Kosten-Nutzen-Faktor wird es wohl erst dann geben, wenn die Elektretmikrofone eines Tages einer gänzlich neuen Generation von Schallwandlern weichen.

Dr. Herman Nilson