

# Hören „mit dem eigenen Ohr“ – dank eines innovativen Hörsystems mit externem Hörer und Mikrofon im Ohr

Jennifer Groth und Hans-Christian Drechsler (GN Hearing A / S)

## ZUSAMMENFASSUNG

Hörsysteme mit Ex-Hörer dominieren inzwischen den Markt. Allein in den USA, dem weltweit größten Markt für Hörsysteme, machten sie 2019 fast 79% der abgegebenen Hörsysteme aus. Die große Beliebtheit von RIC-Systemen ist nachvollziehbar. Sie sind robust, bequem, diskret und sie bieten zahlreiche Funktionen. Ein wesentlicher Nachteil von HdO-Hörsystemen ist jedoch die Positionierung der Mikrofone. Der Ort, an dem sie den Schall für das jeweilige Ohr aufnehmen, entspricht nicht dem der natürlichen Schallaufnahme. Algorithmen zur Kompensation des Ohrmuscheleffektes gleichen diesen Nachteil bis zu einem gewissen Grad aus. Doch der natürlichste Klang ist derjenige, der von der Ohrmuschel direkt eingefangen wird – in der von der Natur vorgesehenen Weise. Hersteller GN ReSound verfolgt eine Philosophie des „Organic Hearing“, bei der die natürlichen Hörprozesse nachgeahmt und bewahrt werden. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist Hörsystem ReSound ONETM. Hier kann das Hörsystem mit einem M&RIE-Hörer (Microphone & Receiver-In-Ear) kombiniert werden. Bei dieser neuartigen Lösung wird ein Mikrofon im Gehörgang des Hörsystemträgers platziert. Der Klang wird somit auf natürliche Weise durch die einzigartige Anatomie des jeweiligen Ohres geformt. Der Nutzer profitiert von sämtlichen Vorteilen eines Hörsystems mit externem Hörer und zugleich von der einzigartigen, natürlichen Klangqualität dieser Hörlösung.

Geschätzte 10% der US-Amerikaner zwischen 50 und 59 Jahren leben mit einem leichten Hörverlust. Bei den 60- bis 69-jährigen steigt der Anteil auf 19%; bei Menschen jenseits der 70 liegt er bei 35%.<sup>1</sup> Somit könnten mehr als 22 Millionen US-Amerikaner über 50 aufgrund ihres leichten Hörverlustes Kandidaten für eine Versorgung mit Hörsystemen sein. Doch Menschen mit leichtem Hörverlust tragen am seltensten Hörsysteme. Hierfür gibt es mehrere Gründe, die sich zu einem entscheidenden Punkt zusammenfassen lassen: Die potentiellen Nutzer versprechen sich nicht viel von einer Hörsystem-Versorgung; falls sie die Systeme überhaupt ausprobieren, ist deren wahrgenommener Nutzen zu gering, um die Anschaffungskosten und die regelmäßige Nutzung zu rechtfertigen. Bei denjenigen, die Hörsysteme tragen oder testen, sind höchstwahrscheinlich Lösungen mit externem Hörer geeignet. In den USA lag ihr Anteil 2019 bei 78,9% der insgesamt abgegebenen Hörsysteme.<sup>2</sup> Es gibt gute Gründe für die große Popularität dieser Bauform. In der Versorgung können diese Systeme einfach zur Ausprobe genutzt und eventuell sogar mit einem Standard-Dome versehen werden. Die Systeme tragen sich angenehm. Sie sind an den meisten Ohren kaum zu sehen und verglichen mit anderen Bauformen bieten sie zumeist die beste Ausstattung hinsichtlich der Klangverarbeitung und der Wireless-Konnektivität. Darüber hinaus ist die drahtlose Anbindung wahrscheinlich robuster und zuverlässiger als bei Lösungen mit maßgefertigtem Gehäuse. Und schließlich gibt es auch Hinweise darauf, dass die Nutzer mit Ex-Hörer-

Systemen generell zufriedener sind; was natürlich ein weiterer guter Grund ist, um sie anzupassen. MarkeTrak 10 nennt für Hörsysteme, die hinter dem Ohr sitzen (und die zumeist Ex-Hörer-Systeme waren) eine Zufriedenheitsrate von 84%. Bei Systemen mit maßgefertigtem Gehäuse lag diese Rate bei 79%.<sup>3</sup>

## PROBLEME BEI EX-HÖRER-SYSTEMEN?

Ein Grund dafür, warum Menschen mit leichtem Hörverlust Ex-Hörer-Systeme ablehnen könnten, ist die Klangqualität. Sie wird von Personen mit leichtem Hörverlust zumeist als unnatürlich empfunden. Schlimmstenfalls ist sie dem, was eigentlich gehört werden soll, sogar abträglich. Ein entscheidender Nachteil dieser Bauform besteht darin, dass sich die Mikrofone, die den Schall aufnehmen, oberhalb oder sogar hinter der Ohrmuschel befinden. Für die Qualität des Klangs ist diese Platzierung ungünstig. Der Schall wird nicht auf natürliche Weise aufgenommen und zum Trommelfell geleitet. Das Gehirn erwartet einen akustischen Reiz, der durch die individuelle Anatomie des Körpers, des Kopfes und des Ohres geformt wurde. Schallsignale werden über das System aufgenommen, das diese an einem anatomisch falschen Ort aufnimmt. Sollen nicht hörbare Geräusche auf diese Art hörbar gemacht werden, so könnte das die natürlichen Verarbeitungsprozesse im Gehirn beeinträchtigen und die beabsichtigte Wirkung untergraben. Für Menschen mit leichteren Hörverlusten ist das sogar besonders wahrscheinlich. Suchen diese Menschen

nach Hilfe, dann vor allem deshalb, weil sie Hörschwierigkeiten in lauten Umgebungen feststellen; alltägliche Sprache und Geräusche hingegen können sie zumeist noch wahrnehmen. In der Regel berichten sie, dass sie in vielen Situationen ihres Alltags noch gut hören. Daraus folgt, dass sie von einer Hörhilfe vor allem zwei Punkte erwarten: Zum einen wollen sie Hilfe, um in lauter Umgebung zu hören und zu verstehen. Und zum anderen wollen sie eine Hilfe, die ihr Gehör nicht in irgendeiner Form beeinträchtigt. Mit Mikrofonen, die über dem Ohr sitzen, können Ex-Hörer-Systeme der ersten dieser beiden Erwartungen entsprechen. Der zweiten Erwartung jedoch werden sie möglicherweise nicht voll gerecht.

## VORTEILE EINES MIKROFONS IM OHR

Als vor Jahrzehnten Im-Ohr-Hörsysteme (IdO) auf den Markt kamen, mühte sich die Forschung darum, die Vorteile einer Platzierung von Hörsystem-Mikrofonen im Ohr nachzuweisen. Herausgestellt wurde, dass aus akustischer Sicht die Platzierung des Mikrofons innerhalb der Ohrmuschel HdO-Systemen grundsätzlich überlegen ist.<sup>4-6</sup> In lauter Umgebung könne Sprache besser erkannt werden.<sup>6-8</sup> Schallquellen ließen sich besser lokalisieren.<sup>9</sup> Neuere Studien haben diese Vorteile auf andere Weise untersucht; sie haben die früheren Ergebnisse bestätigt und ergänzt.

Cubick et al<sup>10</sup> wiesen nach, wie die Fähigkeiten zum räumlichen Hören sowie zum Erkennen von Sprache nachlassen, wenn man mit Hörsystemen hört, deren Mikrofone auf unnatürliche Weise über dem Ohr positioniert sind. In ihrem Experiment erhielten Probanden mit normaler Hörschwelle eine lineare Verstärkung. Dies sollte ermöglichen, die Auswirkungen der Mikrofonposition isoliert von der Schallverarbeitung zu betrachten. Sie stellten fest, dass Hörer mit gutem Hörvermögen weniger Sprache erkannten, wenn konkurrierende Geräusche auftraten. Und sie gingen von ebensolchen Konsequenzen für Höreräteträger aus. Diesen könnte es schwerer fallen, verschiedene Geräusche oder auch mehrere Sprecher voneinander zu trennen. Anders gesagt könnte die Schwierigkeit, die Menschen mit leichtem Hörverlust überhaupt erst dazu bringt, Hörsysteme zu testen, aufgrund dieser Position des Mikrofons sogar noch zunehmen. Ihre Hörprobleme in Situationen mit konkurrierenden Geräuschen werden dann nicht kompensiert, sondern verstärkt.

Ist es für Personen mit Hörminderung wichtig, räumlich hören zu können? Ob Hörsystemträger oder nicht – die wenigsten artikulieren eigene Schwierigkeiten oder Wünsche hinsichtlich der Wahrnehmung von Geräuschen im Raum. Vorstellbar ist etwa, dass jemand bei einem Familientreffen erklärt, er oder sie habe Schwierigkeiten dem Gespräch zu folgen. Was jedoch vermutlich nicht erkannt wird, ist der Stellenwert, den das räumliche Hören für diese Schwierigkeiten hat. Die Fähigkeit der eigenen Ohren, den aufgenommenen Schallfluss zu trennen, aus den so gewonnenen Informationen eine Hörszenarie zu formen und innerhalb dieser Szenarie effizient zu funktionieren, zu differenzieren und zu verstehen, wird überhaupt nicht bemerkt. Byrne & Noble<sup>11</sup> diskutierten die Bedeutung

der Lokalisierung für das Hören in Alltagssituationen. Sie wiesen darauf hin, dass diese Fähigkeit ein so natürlicher Teil unseres Lebens ist, dass sie uns selbstverständlich ist. Mittlerweile ist anerkannt, dass Zuhörer im wirklichen Leben „Signale lokalisieren, identifizieren und bewusst wahrnehmen sowie ihre Aufmerksamkeit gegebenenfalls verlagern müssen, um Kommunikationskompetenz sowie ein Gefühl der Verbundenheit mit ihrer Umgebung aufrechtzuerhalten.“<sup>12</sup> (S. 86) Ergebnisse von MarkeTrak<sup>10</sup> stützen die Annahme, dass räumliches Hören zur allgemeinen Zufriedenheit mit Hörgeräten beiträgt. Die stärkste Triebkraft für die Zufriedenheit waren „Leistung und Klang des Hörsystems“. Bestimmt wurde dieser Faktor auch von der „Fähigkeit zur Bestimmung der Richtung“ eines Klanges.<sup>13</sup> Immer mehr Studien beschäftigen sich mit dem Zusammenspiel von Hinweisen zur Lokalisierung und dem Hören in dynamischen Situationen. Gefragt wird dabei auch, welche technischen Parameter eines Hörsystems die Fähigkeit zum räumlichen Hören stützen bzw. beeinträchtigen können.

Wie erwähnt weiß man heute, dass für die spektrale Filterung des von der Ohrmuschel aufgenommenen Schalls eine Positionierung des Mikrofons innerhalb der Ohrmuschel günstiger ist als eine Positionierung oberhalb der Pinna. Diese Tatsache wurde auch durch neuere Untersuchungen bestätigt.<sup>14-16</sup> Zudem wurde gezeigt, dass handelsübliche Hörsysteme in ihren Standardprogrammen Verzerrungen bei räumlichen Hinweisen verursachen – und zwar sowohl aufgrund der Mikrofonposition als auch aufgrund von Funktionen der Klangverarbeitung wie der adaptiven Direktionalität.<sup>17,18</sup>

Um eventuelle Beeinträchtigungen der Lokalisierung sowie der Klangqualität auszugleichen, nutzen Hörgerätehersteller zumeist einen Algorithmus zum Ausgleich des Ohrmuscheleffektes nutzen, um so die nachteilige Mikrofonposition oberhalb des Ohres zu kompensieren. Diese Art der Verarbeitung wird von dem System aus zwei Hörerätetikrofonen genutzt, um räumliche Richtungsmuster zu erzeugen. Der Kompensationsalgorithmus unter Verwendung beider Mikrofone über dem Ohr ist eine gute Annäherung, basiert jedoch, wie vorab erwähnt, auf Durchschnittswerten. Für solche Algorithmen wurde eine verbesserte Lokalisierung von vorn und von hinten konstatiert.<sup>19-21</sup> Sicherlich ist dies eine gute Nachricht für die Nutzer von Ex-Hörer-Systemen; und dennoch haben Algorithmen zur Pinna-Kompensation zwei Schwachpunkte. Wie zuvor erwähnt, werden diese zum einen für ein Durchschnittsohr entwickelt und auf den Betrieb an einem menschenähnlichen Modell abgestimmt. Der Nutzen variiert nicht nur in Abhängigkeit von der großen Vielfalt individueller Ohrmerkmale. Gezeigt wurde auch, dass Modelle nur sehr dürftige Anhaltspunkte bieten, um Kennzahlen für die Lokalisierungsfähigkeit von Menschen zu prüfen.<sup>16</sup>

Ein weiteres Problem von Algorithmen zur Pinna-Kompensation besteht darin, dass sie nicht den Schall berücksichtigen können, der von sämtlichen Azimut- und Elevationachsen eintrifft. Sie sind so abgestimmt, dass sie nur jenen Schall berücksichtigen, der von vorn in der horizontalen Ebene eintrifft. Hier unterscheiden sie sich vom menschl-

chen Ohr, das jeden Schall, der von irgendeinem Punkt im Raum eintrifft, auf einzigartige Weise formt. Die Bedeutung dieser Funktion hinsichtlich monauraler spektraler Hinweise liegt auf der Hand. Der Ort der Schallaufnahme hat jedoch auch einen starken Einfluss auf Hinweise zu binaural interauralen Pegeldifferenzen (ILD). Udesen et al.<sup>14</sup> haben diese Unterschiede an verschiedenen Punkten rund um die Ohrmuschel gemessen und je nach Position eine Abweichung von bis zu 30 dB festgestellt. Neben dem Umstand, dass die Kompensation der Ohrmuschel nicht individualisiert erfolgt, ist dies wohl ein weiterer Faktor, der zum Ergebnis einer Meta-Studie führt; dieses Ergebnis besagt, dass die Kompensation der Ohrmuschel im wirklichen Leben weniger hilfreich sein könnte als unter Laborbedingungen.<sup>22</sup>

## EIN ANSATZ, DER DIE HINWEISE RÄUMLICHEN HÖRENS BEWAHRT

Schon lange verfolgt Hersteller GN Hearing die Philosophie des „Organic Hearing“, die sich vornehmlich an der Schallverarbeitungsstrategie der Natur orientiert. Dieser Ansatz war und ist Ausgangspunkt für technologische Innovationen. Ein erster Schritt war etwa WDRC zur Nachahmung von Frequenzen in Abhängigkeit von der logarithmischen Kompression der Cochlea. Ebenso war GN Pionier im Bereich der offenen Hörsystem-Versorgung, die das natürliche Hören des unmittelbaren Klangs mit dem Hören von naturgetreuem und verstärktem Schall verband. Das Hörsystem ReSound Air™ war komfortabel und praktisch unsichtbar. Die damalige Innovation führte zu den heute beliebten Bauformen mit externem Hörer.

Beim Hörsystem ReSound ONETM orientiert sich der Hersteller erneut an der Verarbeitungsstrategie der Natur. Die individuelle Ohrform des jeweiligen Trägers wird ausgenutzt, um den Klang derart zu personalisieren, wie es bislang keine Technologie vermochte. Die neue M&RIE-Lösung kombiniert alle Vorteile einer Ex-Hörer-Bauform mit einem Mikrofon im Gehörgang. Jeder Nutzer soll genau den Klang erhalten, der seiner individuellen Ohranatomie entspricht. Ein Mikrofon im kleinen Empfängermodul macht es möglich, den Schall am Eingang des Gehörgangs aufzunehmen. Der Schall wird hinter dem Ohr verarbeitet und dann über den Hörer in den Gehörgang übertragen. Dank der zusätzlichen Mikrofone, die in den Gehäusen hinter den Ohren sitzen, kann M&RIE mit richtungaler Technologie kombiniert werden, falls eine zusätzliche Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands (SNR) in den betreffenden Situationen von Vorteil ist. M&RIE ermöglicht es dem Nutzer, in vollem Umfang von der binauralen Verarbeitung im Gehirn zu profitieren. Wird dem Gehirn die räumlich kodierte Information in der Art und Weise zur Verfügung gestellt, wie das Gehirn sie erwartet, bringt dies mehrere Vorteile: einen verbesserten SNR, eine zuverlässigere Wahrnehmung der Richtung, aus der ein Schall kommt, eine bessere Wahrnehmung des Raumes und der Entfernung sowie Synergien zwischen dem visuellen und dem auditorischen System. All das erhöht die Natürlichkeit des Hör-Erlebens.

## BELEGE FÜR DIE WIRKSAMKEIT VON M&RIE

Messungen belegen, dass die Filtereigenschaften bei Positionierung des M&RIE-Hörers im Ohr nahezu identisch mit denen eines offenen Ohres sind. Abbildung 1 zeigt ein ReSound ONETM Hörsystem mit M&RIE-Hörer am Ohr; die gelben Punkte markieren die Position der Mikrofone. Zusätzlich zu den beiden Mikrofonen, die im Gehäuse hinter dem Ohr sitzen, verfügt diese Lösung über ein Mikrofon, das im Gehörgang sitzt – und zwar am nach außen gerichteten Ende des Empfängermoduls. Die 3D-Plots zeigen die Intensität von Tönen unterschiedlicher Frequenz sowie aus einem Winkel von 0 bis 360 Grad. Dargestellt wird dies für ein offenes Ohr, für das Hören mit dem M&RIE-Hörer sowie für den Algorithmus zur Pinna-Kompensation bei Verwendung der beiden Mikrofone hinter dem Ohr. Während der Algorithmus zur Pinna-Kompensation nur grob an die Messergebnisse für das offene Ohr heranreicht, werden diese beim M&RIE-Hörer sehr genau beibehalten.

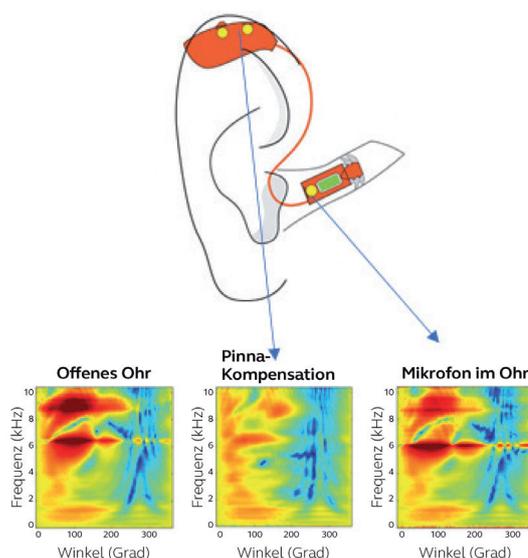


Abbildung 1: Der M&RIE-Hörer enthält sowohl ein Mikrofon als auch einen Lautsprecher. Die 3D-Diagramme zeigen die im Gehörgang gemessene Intensität je Frequenz und Präsentationswinkel für das offene Ohr, für den Algorithmus zur Pinna-Kompensation und für den M&RIE-Hörer. Die blaue Färbung steht für eine geringere Intensität, die rote für höhere Intensität. Bei Verwendung des M&RIE-Hörers ist die spektrale Filterung von Kopf und Außenohr nahezu identisch mit der des offenen Gehörgangs. Mit dem Algorithmus zur Pinna-Kompensation unter Verwendung der beiden Mikrofone hinter der Ohrmuschel wird eine gute Annäherung erreicht; diese basiert jedoch auf durchschnittlichen Werten.

Noch interessanter ist natürlich, ob die Position des M&RIE-Mikrofons Vorteile in der Wahrnehmung bietet, die mit den akustischen Messungen übereinstimmen. Möglichkeiten zu überprüfen, inwieweit das räumliche Hören beeinflusst wird, können durch einen Versuchsaufbau zur Lokalisierung realisiert werden. Wie bereits erwähnt, wurde für Algorithmen zur Pinna-Kompensation gezeigt, dass sie im Vergleich zu omnidirektionalen Mikrofonen primär die Lokalisierung für Signale von vorn und von hinten verbessern. Um den Vorteil bei der Lokalisierung mit dem M&RIE-Hörer gegenüber der mit Omnidirektionalität und der mit Pinna-Kompensation nachzuweisen, wurde ein

interner Test durchgeführt. An diesem Test nahmen fünf Erwachsene mit ungeminderter Hörschwelle sowie zehn Erwachsene mit Audiogrammen ähnlich den Standard-Audiogrammen N1, N2 und N3 teil.<sup>23</sup>

Die Probanden saßen inmitten einer Anordnung von 12 Lautsprechern, die jeweils 30 Grad voneinander entfernt standen. Alle Lautsprecher waren so positioniert, dass sich die Ohren der Probanden auf derselben Höhe wie die Lautsprecher befanden. Die Probanden wurden gebeten, ihren Kopf während des Versuchs möglichst nicht zu bewegen.

Die Präsentation der Signale über die Lautsprecher erfolgte zufällig. Aus jedem der zwölf Winkel wurde viermal ein Signal abgegeben; insgesamt gab es also 48 Signale. Die Aufgabe bestand nun darin, jeweils den Lautsprecher zu erkennen, von dem das Signal stammt. Dafür musste die Nummer des Lautsprechers genannt werden, als Orientierungshilfe hatten alle Probanden hierfür eine nummerierte Skizze mit der Anordnung der Lautsprecher vor sich. Der Test wurde jeweils zweimal wiederholt.

Die Ergebnisse, die von den fünf Probanden mit normaler Hörschwelle erreicht wurden, belegen das Potential der M&RIE-Technologie. Wie Abbildung 2 zeigt, erzielten sie einen erheblichen Vorteil – sowohl bei der Lokalisierung der Geräusche von vorn und von hinten als auch bei der Rundum-Lokalisierung. Bei der Lokalisierung der Geräusche von vorne und von hinten machten diese Probanden durchschnittlich 29% weniger Fehler als beim omnidirektionalen Hören. Insgesamt machten sie mit dem M&RIE-Hörer 17% weniger Fehler bei der Lokalisierung als mit dem omnidirektionalen Hören. Weiterhin zeigte sich auch ein Vorteil des M&RIE-Hörers gegenüber der Pinna-Kompensation; was die Relevanz der individuellen Ohrform für die Fähigkeit zur Schalllokalisierung verdeutlicht. Wie zu erwarten, schnitten die zehn Probanden mit Hörverlust unabhängig vom Grad ihres Hörverlustes bei sämtlichen Lokalisierungsaufgaben schlechter ab als die Probanden ohne Hörverlust. Es ist allgemein bekannt, dass Menschen mit Hörverlust eine verringerte Lokalisierungsfähigkeit haben, und dass sie aufgrund der Position der Hörsystemmikrofone auf akustische Reize weniger sensibel reagieren.<sup>24,25</sup> Zwar waren die Ergebnisse hier weniger einschneidend als bei den Probanden mit voll intaktem Hörvermögen. Dennoch hatten die Probanden mit leichtem Hörverlust in der Untersuchung im Schnitt sowohl mit Pinna-Kompensation als auch mit dem M&RIE-Hörer einen Vorteil. Signifikant besser war dieser Vorteil jedoch nur bei Verwendung des M&RIE-Hörers. Im Durchschnitt nahmen die Fehler in der Lokalisierung bei Signalen von vorn und von hinten um 10% ab. Insgesamt nahmen die Fehler im Vergleich zum omnidirektionalen Hören um 9% ab. Bemerkenswerter Weise gab es bei der Messung jedoch ziemlich viele individuelle Varianzen. Dies spricht dafür, dass einige Personen die Signale besser orten können als andere, obwohl sich die Hörempfindlichkeit der Personen ähnelt.

Gutes räumliches Hören unterstützt die wahrgenommene Natürlichkeit des Klangs. Die spatiale Wahrnehmungsfähigkeit hilft uns, Signale im Raum zuzuordnen und entsprechend zu separieren. Daher ist es auch interessant,

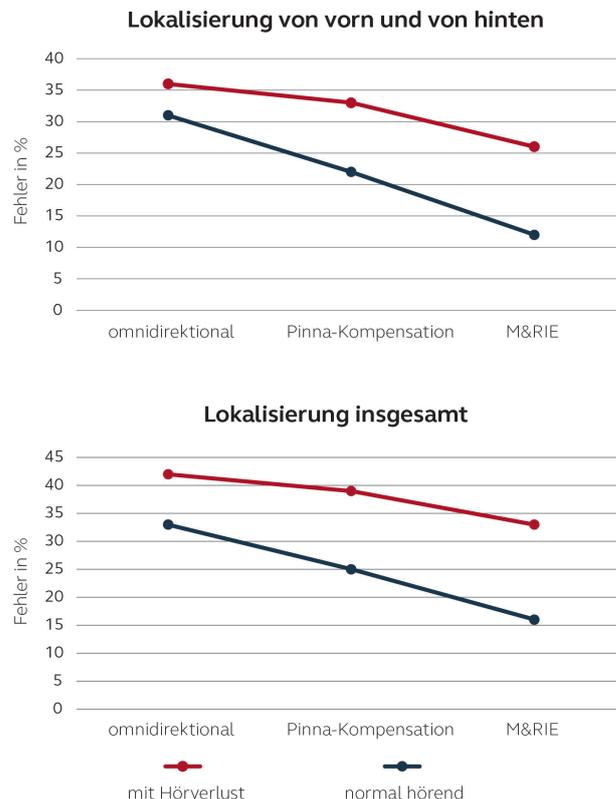


Abbildung 2: Das obere Diagramm zeigt den Prozentsatz der Fehler, die bei der Aufgabe zur Lokalisierung der Geräusche von vorn und von hinten gemacht wurden. Das untere Diagramm zeigt den Prozentsatz der Fehler, die bei der Aufgabe zur Lokalisierung insgesamt gemacht wurden. Die Zahl der Fehler bei der Lokalisierung nahm sowohl bei den Probanden mit voll intaktem Gehör als auch bei denjenigen mit leichtem Hörverlust ab, wenn statt Omnidirektionalität die Pinna-Kompensation genutzt wurde. Einen zusätzlichen Vorteil gab es dann, wenn der M&RIE-Hörer verwendet wurde.

Abhängigkeit von der Position der Hörsystemmikrofone erleben. Bei einer weiteren Aufgabe der internen Studie wurden die Probanden gebeten, die drei verschiedenen Mikrophon-Varianten bei einem Spaziergang im Freien sowie in einem vollen Speisesaal zu bewerten. Die Hörsysteme wurden mit Omnidirektionalität, mit Pinna-Kompensation und mit dem M&RIE-Hörer getestet. Die Reihenfolge, in der die Varianten getestet wurden, war zufällig. Sowohl Proband als auch Prüfer wussten nicht, welche Variante gerade getestet wird. Die Probanden wurden gebeten, ihre Präferenz hinsichtlich der Natürlichkeit des Klangs anzugeben. Von den Probanden mit uneingeschränktem Gehör bevorzugten drei von fünf den M&RIE-Hörer, einer hingegen die Pinna-Kompensation und einer die Omnidirektionalität. Von den hörgeschädigten Probanden bevorzugten neun von zehn den M&RIE-Hörer, nur einer entschied sich für die omnidirektionale Lösung.

Eine strukturierte Methode zur Bewertung der Klangqualität von Hörsystemen wurde von Legarth et al<sup>26</sup> auf Basis eines MUSHRA-Ansatzes (MULTiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor) entwickelt.<sup>27,28</sup> Diese Methode bietet mehrere Vorteile. Sie ist doppelt verblindet und zuverlässig. Und sie ist unabhängig von den Grenzen des auditorischen Gedächtnisses. Die Methode wird häufig verwendet, um sowohl die allgemeinen Präferenzen bezüglich der Klangqualität als auch die subjektiv empfundene Klangqualität von Hörsystemen bestimmen zu

können. Bei dieser Methode hören die Probanden Klangstimuli und gewichten diese in Relation zu hohen und niedrigen Werten. Die Methode wurde auch genutzt, um die Klangqualität für das M&RIE-Konzept in Relation zur Pinna-Kompensation zu bewerten.

Um die Klangqualität zu bewerten, die sich aus der Position des Mikrofons ergibt, müssen Probanden in der Lage sein, den Klang so zu erleben, als würde er – geformt von ihrer einzigartigen Ohranatomie – am Hörsystem-Mikrofon ankommen. Um das beim Hören unter Kopfhörern zu ermöglichen, mussten die Klangstimuli für jede Hör-Gegebenheit anhand einer Reihe von Daten modifiziert werden. Ermittelt wurden diese Daten anhand von individuellen Messungen. Gemessen wurde, wie Schall, der aus unterschiedlichen Entfernungen und Richtungen präsentiert wurde, je nach anatomischen Gegebenheiten gefiltert wurde. Hierfür wurde ein Satz von Filtern für das rechte und für das linke Ohr bei fünf Probanden bestimmt – für die Platzierung des M&RIE-Mikrofons sowie für die Platzierung des Ex-Hörer-Mikrofons hinter der Ohrmuschel. Dann wurden die Filter im Signalpfad zwischen den Klangstimuli und den Kopfhörern platziert – zusammen mit einer Korrektur für die Rückmeldungen des Kopfhörers. Das Ergebnis ist für jede der Gegebenheiten eine exakte Reproduktion des Schalldrucks, der natürlicher Weise in den Ohren der Probanden auftreten würde.

Im Test bewerteten die fünf normal hörenden Probanden die allgemeine Klangqualität sowie die Qualität des räumlichen Klangs. Hinsichtlich der allgemeinen Klangqualität sollten sie auf Klarheit, Klangfarbe und Natürlichkeit achten. Hinsichtlich der Qualität des räumlichen Klangs sollten die Probanden auf ihre Fähigkeit achten, Geräusche zu lokalisieren, die Geräusche zu definieren sowie die Größe des Raumes bzw. ihre räumliche Wahrnehmung bewerten. Die Stimuli wurden mit einem für diesen Zweck entwickelten Stimulationstool erstellt. Genutzt wurden hierbei eine Büroszene, eine Szene aus einer Cafeteria und Jazzmusik.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchschnittswerte für die generelle Klangqualität sowie für die Qualität des räumlichen Klangs für den M&RIE-Hörer doppelt so hoch lagen als jene für die Pinna-Kompensation. Am auffälligsten ist dabei, dass es bei den Bewertungen für den M&RIE-Hörer weniger Variabilität gibt als bei denen für die Pinna-Kompensation. Betrachtet man die Bewertungen für die Pinna-Kompensation, so reichen diese bei den einzelnen Probanden von „schlecht“ bis „fast so gut wie M&RIE“. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, denn der Algorithmus zur Kompensation der Ohrmuschel basiert ja auf dem durchschnittlichen Ohr eines Erwachsenen. Weichen die anatomischen Eigenschaften eines Ohres stärker von diesem Durchschnitt ab, so erscheint der Klang, der nach der Pinna-Kompensation bereitgestellt wird, weniger natürlich und von schlechterer Qualität als der mit dem M&RIE-Mikrofon aufgenommene Klang. Ist ein Ohr hingegen so geformt, dass es den Merkmalen eines durchschnittlichen Ohres näherkommt, so ist der Klang auch mit Pin-

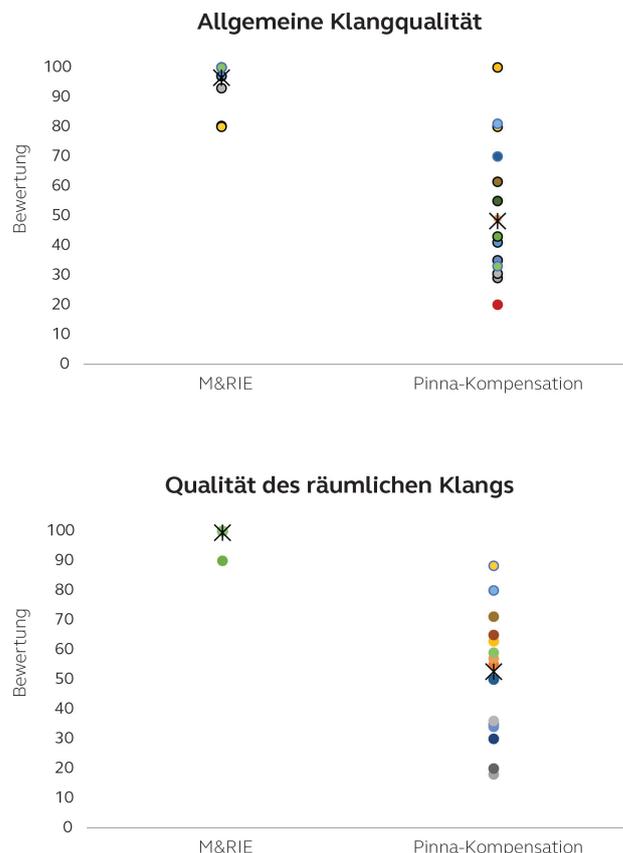


Abbildung 3: Individuelle Bewertung der allgemeinen Klangqualität sowie der Qualität des räumlichen Klangs für den M&RIE-Hörer sowie für die Pinna-Kompensation. Das „X“ markiert die mittlere Bewertung für jede Testbedingung. Für den M&RIE-Hörer wurden einheitlich hohe Bewertungen mit einer geringen Streuung beobachtet. Die größere Varianz der Ergebnisse für die Pinna-Kompensation spiegelt die individuellen Unterschiede in der Filterung des Klangs wieder, die sich aus der individuellen Anatomie der verschiedenen Probanden ergeben.

## WIRD DER HÖRKOMFORT VON DER PLATZIERUNG DES MIKROFONS BEEINFLUSST?

Ein konkretes Problem für Hörsystemträger sind Windgeräusche. Sie sind ein Ärgernis, das auftritt, wenn die Nutzer alltäglichen Aktivitäten nachgehen und ihre Hörsysteme dabei Wind oder anderen Luftströmen ausgesetzt sind. Solche Luftströme können schon durch einfaches Gehen erzeugt werden. Stärkeren Windgeräuschen sind die Nutzer regelmäßig bei Aktivitäten im Freien ausgesetzt. Windgeräusche werden durch einen turbulenten Luftstrom an den Mikrofoneingängen hervorgerufen. Der Luftstrom wird von den Mikrofonen aufgenommen und verstärkt. Am gravierendsten ist dieses Problem bei solchen Mikrofonen, die sich in unmittelbarer Nähe von Hindernissen befinden, die den Luftstrom erzeugen. Die Ohrmuschel ist so ein Hindernis. Aus diesem Grund ist die Platzierung eines Mikrofons oberhalb bzw. hinter der Ohrmuschel mit Blick auf Windgeräusche die denkbar schlechteste Platzierung. Selbst für kleinere Ex-Hörer-Bauformen, die von der Ohrmuschel besser verdeckt werden, ist eine derartige

Platzierung des Mikrofons nachteilig.<sup>30</sup> Hörgerätehersteller haben Algorithmen zur Signalverarbeitung entwickelt, mit denen Windgeräusche erkannt und die Verstärkung im betreffenden Frequenzbereich abgesenkt werden. Hinsichtlich der Klangqualität sowie mit Blick auf die Erhaltung der Hörleistung ist dieser Ansatz jedoch deutlich schlechter als einer, bei dem die Windgeräusche gar nicht erst in die Hörsysteme gelangen. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Platzierung von Hörgerätemikrofonen im Gehörgang Windgeräusche je nach Ausrichtung zum Luftstrom drastisch reduziert.<sup>31</sup>

Messungen im Windkanal, bei denen der M&RIE-Hörer mit Mikrofonplatzierungen hinter der Ohrmuschel verglichen wurde, stimmen mit anderen Studien überein. Sie bestätigen, wie sich die Vorteile des M&RIE-Hörers auf die Reduzierung von Windgeräuschen auswirken. Ein M&RIE-Hörer wurde an ein Ex-Hörer-System angeschlossen und auf einem KEMAR-Modell montiert. Die Ausgangsleistung aller drei Mikrofone (der beiden Mikrofone oberhalb des Ohres sowie des M&RIE im Gehörgang) wurden bei unterschiedlichen Einfallswinkeln des Windes sowie bei Windgeschwindigkeiten von 2 m/s, 4 m/s und 8 m/s gemessen. Abbildung 4 zeigt die durchschnittliche Reduzierung des Windgeräuschs für die verschiedenen Winkel. Dabei wird die Position des M&RIE-Mikrofons mit der des vorderen Mikrofons hinter der Ohrmuschel verglichen. Die Vergleichswerte für das hintere der beiden Mikrofone hinter der Ohrmuschel ähnelten denen des Vorderen. Mit dem M&RIE-Mikrofon wurden die Windgeräusche um 14 bis 19 dB reduziert.

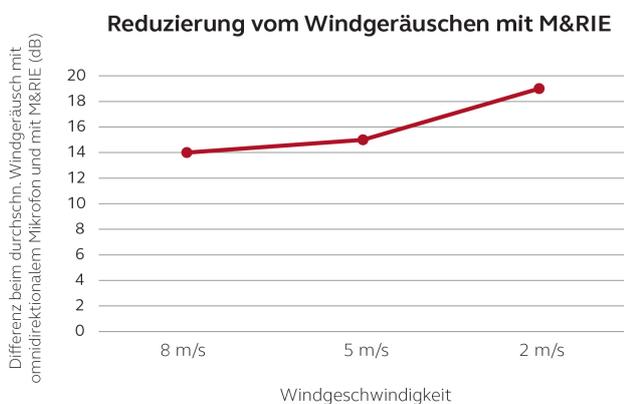


Abbildung 4: Reduzierung des Windgeräuschs mit M&RIE im Vergleich zum omnidirektionalen Mikrofon hinter der Ohrmuschel bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten.

## WIE PASST M&RIE ZUM RESOUND ONE™?

Die Versorgung mit einem M&RIE-Hörer empfiehlt sich bei leichtem bis mittelgradigem Hörverlust. Am meisten profitieren werden diese Nutzer wahrscheinlich vom Zugang auf die bereitgestellten hochfrequenten Hinweise für räumliches Hören. Entscheidende spektrale Informationen zur Vermeidung von horizontalen und vertikalen Lokalisierungsfehlern werden in Frequenzen jenseits von 5.000 Hz kodiert.<sup>32</sup> Hörsystem ReSound ONE™, das mit dem M&RIE-Hörer genutzt werden kann, verfügt über eine er-

weiterte Frequenzbandbreite. Vielen Nutzern mit leichtem bis mittelgradigem Hörverlust kann M&RIE diese wichtigen Hinweisreize verfügbar machen. Das auditorische System kann sich in einem gewissen Maße passend zur unterschiedlichen Platzierung des Hörgerätemikrofons an die Lokalisierung von Schallquellen anpassen.<sup>33,34</sup> Daher ist es wahrscheinlich, dass neue Hörgerätenutzer eine Anpassung mit dem M&RIE-Hörer als den natürlichsten Einstieg in das Hören mit Verstärkung erleben. Sie empfinden den Klang subjektiv als deutlich näher am „Hören mit dem eigenen Ohr“.

Unabhängig vom Hörvermögen nutzt jeder Zuhörer intuitiv unterschiedliche Hörstrategien. Sie basieren auf der jeweiligen Intention des Zuhörens sowie auf der jeweiligen akustischen Umgebung. In manchen Situationen sind die natürliche Klangqualität und die Verlässlichkeit, mit der räumliche akustische Signale aus den Klängen der Umgebung herausgelöst werden können, am wichtigsten. In anderen Situationen, in denen vermehrt Störgeräusche auftreten, wird die Verbesserung des SNR wichtiger, um das zu hören, was man hören will. Die All Access Directionality ist die evidenzbasierte binaurale Hörstrategie, die ReSound einsetzt, um die binaurale Hörverarbeitung im Gehirn zu unterstützen und anzuregen.<sup>35</sup> Menschen, die mit M&RIE versorgt sind, werden bei dieser Strategie nur dann mit dem Mikrofon im Gehörgang hören, wenn sie sich in leisen und relativ unkomplizierten Hörumgebungen befinden, in denen nur Sprache auftritt und störende Geräusche begrenzt sind. In anderen Umgebungen wird die Strategie die Mikrofone hinter der Ohrmuschel nutzen, um so den SNR zu verbessern und um gleichzeitig einen Zugang zu den Umgebungsgeräuschen zu ermöglichen. M&RIE kann zudem für definierte Hörprogramme aktiviert werden. Aufgrund des signifikant besseren Schutzes vor Windgeräuschen und seiner besonders natürlichen Klangqualität wird M&RIE zum Beispiel als Standard im Outdoor-Programm definiert.

## ZUSAMMENFASSUNG

Viele derzeitige und potenzielle zukünftige Höreräteträger haben einen leichten bis mittelgradigen Hörverlust. Die Hörsysteme, mit denen diese Menschen am wahrscheinlichsten versorgt werden, sind Ex-Hörer-Systeme. Diese Nutzer reagieren jedoch möglicherweise besonders sensibel auf Beeinträchtigungen des räumlichen Hörens und der Klangqualität, die durch die Position der Mikrofone bei dieser Hörsystem-Kategorie entstehen. Ausgehend von seinem Ansatz des organischen Hörens führt ReSound eine neue Option zur Anpassung von Ex-Hörer-Systemen ein, um dieses Problem zu lösen. Der M&RIE-Hörer ist für Personen mit leichtem bis mittelgradigem Hörverlust bestimmt. Mit ihm werden sowohl ein Lautsprecher als auch ein Mikrofon im Gehörgang des Nutzers platziert. Da die Signale im Gehörgang aufgenommen werden, bleiben die einzigartigen, von der individuellen Ohranatomie bestimmten Eigenschaften erhalten. Dies ermöglicht es dem Gehirn, den Schall auf natürliche Weise zu verarbeiten. Zu den Vorteilen des M&RIE-Hörers zählen eine bessere Fähigkeit zur Lokalisierung sowie verbessertes räumliches Hören und eine ausgewogenere Klangqualität – auch gegenüber Algorithmen zur Pinna-Kompensation.

M&RIE ist in die All Access Directionality integriert, kann aber auch als einzelnes Programm gewählt werden. Die All-Access-Directionality ist die neueste binaurale Direk-tionalitätsstrategie von ReSound, die ein optimales und natürliches Höremfinden, eine verbesserte Lokalisierungs-fähigkeit und Sprachverstehen unterstützt.

## LITERATUR

1. Goman AM, Lin FR. Prevalence of hearing loss by severity in the United States. *American Journal of Public Health*. 2016 Oct;106(10):1820-2.
2. Strom K. Hearing aid unit sales increase by 6.5% in 2019. *Hearing Review*. 2020;27(2):6,34.
3. Carr, K. (2020). 20Q: Consumer insights on hearing aids, PSAPs, OTC devices, and more from MarkeTrak 10. *Audiology Online*. Retrieved from [www.audiologyonline.com](http://www.audiologyonline.com).
4. Griffing T, Preves D. In-The-Ear aids: Part 1. *Hearing Instruments*. 1976; 3:23-24.
5. Griffing T, Preves D. In-The Ear aids: Part 2. *Hearing Instruments*. 1976; 5:12-14,56.
6. Risberg DM, Cox RM. Comparison of In-The-Ear and Over-The-Ear hearing aid fittings. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 1986 Nov;51(4):362-9.
7. Festen JM, Plomp R. Speech-reception threshold in noise with one and two hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1986; 79(2):465-471.
8. Pumford JM, Seewald RC, Scollie SD, Jenstad LM. Speech recognition with In-The-Ear and Behind-The-Ear dual-microphone hearing instruments. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2000 Jan 1;11(1):23-35.
9. Westerman S, Topholm J. Comparing BTEs and ITEs for localizing speech. *Hearing Instruments*. 1985; 36(2): 20-24.
10. Cubick J, Buchholz JM, Best V, Lavandier M, Dau T. Listening through hearing aids affects spatial perception and speech intelligibility in normal-hearing listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018 Nov 20;144(5):2896-905.
11. Byrne D, Noble W. Optimizing sound localization with hearing aids. *Trends in Amplification*. 1998 Jun;3(2):51-73.
12. Gatehouse S, Noble W. The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). *International Journal of Audiology*. 2004 Jan 1;43(2):85-99.
13. Picou EM. MarkeTrak 10 (MT10) Survey Results Demonstrate High Satisfaction with and Benefits from Hearing Aids. *Seminars in Hearing*. 2020; 41(1):21-36.
14. Udesen J, Piechowiak T, Gran F, Dittberner AB. Degradation of spatial sound by the hearing aid. In *Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audio-logical Research* 2013 Dec 15 (Vol. 4, pp. 271-278).
15. Van den Bogaert T, Carette E, Wouters J. Sound source localization using hearing aids with microphones placed Behind-The-Ear, In-The-Canal, and In-The-Pinna. *International Journal of Audiology*. 2011 Mar 1;50(3):164-76.
16. Denk F, Ewert SD, Kollmeier B. Spectral directional cues captured by hearing device microphones in individual human ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018 Oct 11;144(4):2072-87.
17. Keidser G, Rohrseitz K, Dillon H, Hamacher V, Carter L, Rass U, Convery E. The effect of multi-channel wide dynamic range compression, noise reduction, and the directional microphone on horizontal localization performance in hearing aid wearers. *International Journal of Audiology*. 2006 Jan 1;45(10):563-79.
18. Gran F, Bønnelykke JR, Haastrup A, Udesen J, Fortune T, Piechowiak T, Dittberner A. Spatial cue reproduction in modern Receiver-In-Ear hearing instruments. In *Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audio-logical Research*. 2011 Dec 15;3:441-448.
19. Keidser G, O'Brien A, Hain JU, McLelland M, Yeend I. The effect of frequency-dependent microphone directionality on horizontal localization performance in hearing-aid users. *International Journal of Audiology*. 2009 Jan 1;48(11):789-803.
20. Kuk F, Korhonen P, Lau C, Keenan D, Norgaard M. Evaluation of a pinna compensation algorithm for sound localization and speech perception in noise. *American Journal of Audiology*. 2013.
21. Groth, J. Hearing aid directionality with binaural processing. *Audiology Online*. 2016 May. Available from [www.audiologyonline.com](http://www.audiologyonline.com).
22. Xu J, Han W. Improvement of Adult BTE Hearing Aid Wearers' Front/Back Localization Performance Using Digital Pinna-Cue Preserving Technologies: An Evidence-Based Review. *Korean Journal of Audiology*. 2014; 18(3): 97.
23. Bisgaard N, Vlaming M, Dahlquist M. Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. *Trends in Amplification*. 2010; 14:113-120.
24. Akeroyd MA. An overview of the major phenomena of the localization of sound sources by normal-hearing, hearing-impaired, and aided listeners. *Trends in Hearing*. 2014 Dec 8;18:1-7.
25. Best V, Kalluri S, McLachlan S, Valentine S, Edwards B, Carlile S. A comparison of CIC and BTE hearing aids for three-dimensional localization of speech. *International Journal of Audiology*. 2010 Oct 1;49(10):723-32.
26. Legarath SV, Simonsen CS, Dyrland O, Bramsloev L, Jespersen C. Establishing and qualifying a hearingimpaired expert listening panel. Poster presentation at ICHON. 2012, Lake Tahoe.

27. Mason AJ. The MUSHRA audio subjective test method. BBC R&D White Paper WHP. 2002 Sep;38.
28. Liebetrau J, Nagel F, Zacharov N, Watanabe K, Colomes C, Crum P, Sporer T, Mason A. Revision of Rec. ITU-R BS. 1534. In Audio Engineering Society Convention 137 2014 Oct 8. Audio Engineering Society.
29. A.Wabnitz, N. Epain, C. Jin, and A. van Schaik. Room acoustics simulation for multichannel microphone arrays. In Proc. International Symposium on Room Acoustics, Melbourne, 2010.
30. Zakis JA, Hawkins DJ. Wind noise within and across Behind-The-Ear and miniature Behind-The-Ear hearing aids. The Journal of the Acoustical Society of America. 2015 Oct 21;138(4):2291-300.
31. Zakis JA. Wind noise at microphones within and across hearing aids at wind speeds below and above microphone saturation. The Journal of the Acoustical Society of America. 2011 Jun;129(6):3897-907.
32. Langendijk EH, Bronkhorst AW. The contribution of spectral cues to human sound localization. The Journal of the Acoustical Society of America. 1999 Feb;105(2):1036.
33. Byrne D, Dirks D. Effects of acclimatization and deprivation on non-speech auditory abilities. Ear and Hearing. 1996 Jun;17(3 Suppl):29S-37S.
34. Whitmer WM, Schinkel-Bielefeld N, McShefferty D, Wilson C, Naylor G. Adaptation to hearing-aid microphone modes in a dynamic localisation task. In Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research 2019 (Vol. 7, pp. 197-204).
35. Groth J. The evolution of the ReSound binaural hearing strategy: All Access Directionality and Ultra Focus. ReSound white paper. 2020.

## ÜBER DIE AUTOREN



**Jennifer Groth**, MA ist Director Audiology Communications der Global Audiology bei GN ReSound. Zuvor war sie bereits als Produktmanagerin und als Senior Research Audiologist bei GN ReSound tätig. Vor ihrem Einstieg in das Unternehmen arbeitete sie als

klinische Audiologin im Universitätskrankenhaus Gentofte (Dänemark), und sie koordinierte in Kopenhagen ein Projekt zum OAE-Hörscreening für Neugeborene. Sie besitzt einen M.A.-Abschluss in Sprachpathologie und Audiologie, den sie an der Universität Iowa (USA) erworben hat.



**Hans-Christian Drechsler**, Mstr. mir. ist Senior-Audiologist der GN Hearing A/S in Dänemark, wo er in der Globalen Audiology an der Entwicklung von audio-logischen Trainingskonzepten sowie produktbezogenen, globalen Kommunikationsstrategien arbeitet. Nach

seiner Ausbildung zum Hörakustiker arbeitete er in einem traditionsreichen Frankfurter Hörakustik-Unternehmen. Danach war er sieben Jahre als Vertriebsaudiologe für die GN Hearing GmbH tätig; berufsbegleitend legte er seine Meisterprüfung in Lübeck ab.

GN Hearing GmbH  
An der Kleimannbrücke 75  
48157 Münster  
Tel.: +49 251 20396-0  
Fax: +49 251 20396-250  
www.resoundpro.com