

Binaurale Direktionalität III: Eine Direktionalität die die natürliche auditive Verarbeitung unterstützt

Jennifer Groth, MA

ZUSAMMENFASSUNG

Die Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen den in jedem Ohr eingehenden Klängen können genutzt werden, um Umgebungsgeräusche nach Wunsch zu verstärken oder zu unterdrücken, und ermöglicht uns die einfache Verlagerung unserer Aufmerksamkeit auf verschiedene Geräusche. Je nachdem, welches Geräusch zu einem bestimmten Zeitpunkt von Interesse ist, nutzen wir von Natur aus verschiedene Hörstrategien und wir wechseln unbewusst von einer Strategie, die auf Umgebungsbewusstsein setzt, zu einer Strategie, die auf das Ohr mit der besten Wiedergabe des interessanten Geräuschs setzt. Binaurale Direktionalität III bietet den Ausgleich zur Unterstützung natürlichen Hörens: eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses ähnlich wie bei bilateralen Richtmikrofonen und ein signifikanter Vorteil beim Hörkomfort verglichen mit anderen Richtmikrofonstrategien. In dieser Arbeit erläutern wir das Grundprinzip der Binauralen Direktionalität III und zeigen, wie sie diesen Ausgleich schafft.

Ein Supercomputer kann einen Menschen im Schach schlagen, aber weiß er, was dieser Mensch zum Mittag essen möchte? Ein Computer, der dauerhaft die Essgewohnheiten einer Person verfolgt hat, könnte möglicherweise eine gute Vermutung anstellen, würde aber trotzdem in den meisten Fällen falsch liegen. Es gibt viele Beispiele dafür, wie in Computern und intelligenten Geräten verbaute Intelligenz unseren Alltag prägt und versucht, unser Leben einfacher zu gestalten. Hörsysteme sind da keine Ausnahme. Obwohl sich die meisten Verarbeitungsstrategien in Hörsystemen der Verstärkung und Verarbeitung des Geräuschs widmen, gibt es auch Algorithmen für die Steuerung der Klangverarbeitung basierend auf Beobachtungen des akustischen Inputs. Und genau wie beim Supercomputer und den Essgewohnheiten kann es vorkommen, dass ein Hörsystem falsche Vermutungen anstellt, welches Signal ein Nutzer hören möchte. Diese falschen Vermutungen machen es den Nutzern von Hörsystemen schwer, das zu hören, was sie möchten. Deshalb beschäftigt sich ReSound seit über zehn Jahren damit, wie hochentwickelte Technologien noch besser genutzt werden können, um Hörsystemnutzern optimales Hören im Störschall zu ermöglichen, dabei aber alle Umgebungsgeräusche ähnlich einer normalhörenden Person zu hören.

Eine Automatik, die fast jedes moderne Hörsystem bietet, ist die Steuerung der Richtmikrofon-Verarbeitung. Dies bezieht sich darauf, wie das Hörsystem entscheidet, ob es den Mikrofonmodus ändert, sodass eine omnidirektionale oder Richtmikrofon-Verarbeitung erfolgt. Durch die automatische Steuerung des Mikrofonmodus kann der Hörsystemträger potenziell von der Richtmikrofon-Verarbeitung profitieren, ohne erkennen zu müssen, wann dieser besser wäre, oder ihn manuell auswählen zu müssen. Aber genau wie ein Computer mitunter nicht weiß, was Sie zum Mittag essen möchten, weiß ein Hörsystem nicht immer, ob in einer bestimmten Situation die Richtmikrofon- oder

omnidirektionale Verarbeitung besser wäre. Das liegt daran, dass das Hörsystem nicht die Absicht des Trägers kennt. Welche Geräusche ihm in einer bestimmten Situation wichtig sind, ist individuell verschieden und nicht aufgrund der akustischen Umgebung vorhersehbar. Durch die Anwendung der Richtmikrofon-Verarbeitung in bestimmten Situationen hört der Nutzer möglicherweise nicht die Geräusche, die ihm wichtig sind.

Wie kann die Richtmikrofon-Verarbeitung und die Steuerung der Richtmikrofon-Verarbeitung unter Berücksichtigung der Absicht des Hörsystemträgers erreicht werden? Für ein nahtloses, natürliches Hörerlebnis mit den Vorteilen der Richtmikrofon-Verarbeitung ohne ihre Nachteile sind drei Faktoren wichtig. 1. Der Algorithmus für die Entscheidung welcher Mikrofonmodus gewählt wird. Dieser hat erheblichen Einfluss auf die Informationen die dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. 2. Die Analyse der akustischen Umgebung. Sie ist unerlässlich und liefert Informationen für die Entscheidung, wie die Signalverarbeitung angepasst werden muss. 3. Die Richtmikrofon-Verarbeitung selbst. Sie sollte ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis bieten, aber keine Probleme mit Hörbarkeit oder Klangqualität erzeugen.

ReSound's Binaurale Direktionalität III wurde unter sorgfältiger Berücksichtigung aller drei Faktoren entwickelt. Basierend auf einer genauen Analyse der akustischen Umgebung, wendet die Binaurale Direktionalität III auf einzigartige Weise die Richtmikrofontechnologie an, um verschiedene Hörstrategien zu unterstützen, die es dem Nutzer erlauben, sich auf die für ihn wichtigen Geräusche zu konzentrieren. In Abhängigkeit von dem jeweiligen Mikrofonmodus sollen dedizierte Technologien für das beste Hörerlebnis sorgen. Die natürliche Klangqualität steht im Mittelpunkt von Binauraler Direktionalität III, und der Richtmikrofon-Mix sorgt für transparente Übergänge zwischen den verschiedenen Mikrofonmodi. Darüber hinaus bewahrt Spa-

tial Sense die wichtigen Ortungselemente, die zu räumlichen Hören und einer möglichst natürlichen Klangqualität beitragen. Zu guter Letzt wurden die Richtcharakteristiken der verschiedenen Mikrofonmodi akribisch entwickelt. Sie berücksichtigen die akustischen Eigenschaften des Kopfes, um sicherzustellen, dass der Zuhörer problemlos die Klänge um ihn herum ein- oder ausblenden kann. Binaurale Direktionalität III optimiert die Sensitivitätscharakteristiken, um die beste Kombination aus Sprache von vorn und räumlicher Wahrnehmung zu schaffen.

WANN ERFOLGT DIE UMSCHALTUNG? DIE BEDEUTUNG DES GRUNDPRINZIPS

Zweifelsfrei ist Direktionalität in Hörsystemen eine messbar effektive Möglichkeit zur Verbesserung des SNR, und damit der Spracherkennung, in geräuschvollen Situationen^{1,2,3,4,5}. Unter Laborbedingungen wurden Verbesserungen von in der Regel 4 bis 5 dB nachgewiesen, wenn die Geräuschquelle räumlich von der Sprache getrennt ist 6 und die Sprache von vorne und aus der Nähe des Zuhörers kommt^{2,5}. Jedoch müssen Nutzer in vielen täglichen Situationen ihre Aufmerksamkeit auf Geräusche lenken, die aus unterschiedlichen Richtungen kommen. Ein Großteil der aktiven Hörzeit einer einzelnen Person im Laufe eines Tages wird für Geräusche benötigt, die der Zuhörer nicht hören möchte. Cord et al⁷ fanden heraus, dass Hörsystemträger in mehr als 30 % der Fälle das interessante Signal aus einer anderen Richtung vermuten als von vorne. In dieser Studie gaben die Teilnehmer die Richtung, aus der Geräusche kommen, in einigen Hörsituationen als „multipel“ an, was darauf hindeutet, dass das interessante Geräusch sich entweder bewegte, oder dass es mehr Nutzsignale gab, oder beides. Dies bedeutet, dass ein System, das automatisch auf Direktionalität für beide Ohren in geräuschvollen Situationen umschaltet, auch wenn das System ebenfalls mit einer Spracherkennung ausgestattet ist, in der Mehrzahl der Fälle die Hörbarkeit der gewünschten Geräusche reduziert. Obwohl Menschen kontinuierlich und reflexartig ihre Köpfe zu dem interessanten Geräusch drehen, sind die Situationen im echten Leben nicht vorhersehbar, und vordergründige Geräusche können jederzeit aus einer beliebigen Richtung kommen. Forschungen zu Kopfdrehungen während Gesprächen für 10 verschiedene Weltsprachen zeigen, dass Redner, unabhängig von Kultur und Sprache, in weniger als einer Sekunde ihre Köpfe in eine andere Richtung drehen können. Um dem folgen zu können, muss der Zuhörer also besonders aufmerksam sein⁸. Der Arbeitsspeicher einer einzelnen Person ist begrenzt, und wenn Ressourcen für die Suche und Orientierung aufgewendet werden, stehen automatisch weniger für das eigentliche Zuhören und Verstehen zur Verfügung. So gesehen kann die Nutzung der Direktionalität auch von Nachteil sein, da die Hörbarkeit und das Bewusstsein für Umgebungsgeräusche anders sind als bei normal hörenden Menschen.

Seit fast zehn Jahren, in der sich die Hörsystemindustrie auf die Entwicklung der Richtmikrofontechnologie konzentriert hat, die den SNR-Vorteil in künstlichen und kontrollierten Umgebungen maximiert, beschreitet ReSound einen einzigartigen Weg bei der Nutzung dieser Mikrofontechnologie. Inspiriert von Untersuchungen, die sich auf die Anwendung im echten Leben und die Präferenzen für omnidirektionale und direktionale Mikrofonmodi konzentrierten, haben die Wissenschaftler von ReSound mit externen Partnern zusammengearbeitet, um einen anderen Ansatz für die Anwendung der Direktionalität zu erforschen und zu validieren, der es Hörsystemnutzern ermöglicht, im Störgeräusch besser zu hören, ohne auf das Umgebungsbewusstsein zu ver-

zichten⁹. Da Zuhörer sich auf das Ohr mit der besten Wiedergabe der von ihnen gewünschten Geräusche in geräuschvoller Umgebung konzentrieren, wurde die Idee näher beleuchtet, mit Direktionalität auf einem Ohr und Omnidirektionalität auf dem anderen zu arbeiten. Dies bietet nachweislich einen direktionalen Nutzen, der fast genauso hoch ist, wie bei der Direktionalität auf beiden Ohren¹⁰, während das omnidirektionale hörende Ohr den Zuhörer Umgebungsgeräusche besser hören lässt als bei Direktionalität auf beiden Ohren. Erstaunlicherweise wurden die unterschiedlichen Informationen von den beiden Ohren, die mit einer asymmetrischen Mikrofonstrategie versorgt wurden, als einheitliches Klangbild wahrgenommen, und ermöglichten es dem Zuhörer, sich auf Geräusche zu konzentrieren, sie zu überwachen und nach eigenem Ermessen die Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Geräusche zu richten. Diese asynchrone Anpassstrategie des Mikrofonmodus zeigte in manchen Situationen Nachteile. Zum Einen bot die bilaterale Direktionalität einen geringfügig höheren Nutzen. Zum Zweiten war die Sprache, die auf der Seite mit der direktionalen Einstellung auftrat und für den Nutzer von Interesse war, nicht ausreichend hörbar. Durch die Entwicklung der Ear-to-Ear-Kommunikation auf Basis der digitalen ReSound 2,4GHz Wireless Plattform wurde es möglich, dass beide Hörgeräte als ein System zusammenarbeiten, um diese Probleme zu lösen.

ReSound verfeinert unentwegt seine Methode für die Nutzung der Direktionalität und berücksichtigt dabei, wie Zuhörer diese im echten Leben wahrnehmen werden. Bei der Entwicklung muss das gesamte menschliche Gehör berücksichtigt werden, von der Form und Lage des Außenohrs am Kopf bis hin zur Fähigkeit des Gehirns, Geräusche binaural zu verarbeiten. Das oberste Ziel besteht nicht darin, Hörsystemträgern in anspruchsvollen Situationen ein Hörerlebnis zu bieten, das „besser als normal“ ist. Hörsystemträger sollen in Hörsituationen genauso mühelos sozial interagieren können wie normal hörende Personen, also ein natürliches und transparentes Hörerlebnis haben.

Wie der Name impliziert, ist Binaurale Direktionalität III die dritte Generation der Mikrofonmodus-Steuerungsstrategie, die ein natürliches Hörerlebnis bietet. Wie Binaurale Direktionalität II¹¹ steuert es die Mikrofonkonfiguration von zwei Hörsystemen, um die binaurale Klangverarbeitung durch das Gehirn zu unterstützen. Sie ist die einzige richtige binaurale Strategie. Sie nutzt wissenschaftlich belegte Hörstrategien unter Berücksichtigung akustischer Effekte und räumlicher Wahrnehmungsstrategien^{12,13,14,15,16}.

Binaurale Direktionalität III nutzt die 2,4 GHz Wireless Technologie von ReSound, um die Mikrofonmodi beider Hörgeräte für ein optimales binaurales Hören zu koordinieren. Durch die Sprachdetektoren wird die Position des Sprechers kontinuierlich vom Hörsystem erfasst. Die Umgebung wird auf Störschall untersucht. Durch die drahtlose Übertragung wird die Entscheidung, welcher Mikrofonmodus für ein oder beide Hörsysteme gewählt wird, auf der Grundlage des Eingangssignals und der vier Sprachdetektoren bei einer binauralen Versorgung gewählt. Mögliche Ergebnisse sind eine bilaterale omnidirektionale Einstellung mit Spatial Sense, eine bilaterale direktionale Einstellung oder eine asymmetrische direktionale Einstellung. Diese wurden von externen Forschungseinrichtungen im Hinblick auf die optimale Mikrofonausrichtung von zwei Hörgeräten in verschiedenen Hörsituationen abgeleitet.

UMGEBUNGSANALYSE: DIE BESTE SPRACHVERSTÄNDLICHKEIT IM STÖRLÄRM

Hörsysteme sind zu Wunderwerken geworden, die die Verstärkung unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden akustischen Umgebungsbedingungen anpassen können. Alle Hörsysteme versuchen, egal von welchem Hersteller, Geräusche zu erkennen, die dem Nutzer entweder wichtig oder unwichtig sind. Dies löst jeder Hersteller auf seine Art, jedoch haben alle Systeme eines gemeinsam: Sie versuchen mindestens, Umgebungen zu erkennen, die ruhig sind, die Sprache enthalten und die Störschall enthalten. Einige versuchen sogar, Arten von Lärm näher zu charakterisieren oder Musik zu erkennen. Da die Entscheidung über die Anpassung der Hörsystemeinstellungen davon abhängt, wie das Umgebungsklassifizierungssystem verschiedene Geräusche erkennt, ist es von großer Bedeutung, wie gut die Klassifizierung mit klar definierten Umgebungen übereinstimmt. Dies kann ein Hinweis darauf sein, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass das System angemessene Änderungen vornimmt.

Der Situations-Classifier wendet ausgefeilte Algorithmen zur Sprach- und Geräuscherkennung an, basierend auf dem Eingangssignal, dem Frequenzinhalt, der spektralen Balance sowie den zeitlich veränderlichen Eigenschaften des Eingangssignals, um die Art der akustischen Umgebungen zu ermitteln. Die Klassifizierung erfolgt nicht nach streng vorgegebenen Kriterien, sondern auf der Basis von Wahrscheinlichkeitsmodellen. Um die Genauigkeit dieses Systems mit anderen Umgebungsklassifizierungssystemen zu vergleichen, wurden die modernsten Hörgeräte von jeweils sechs Herstellern in einer Otometrics-Aurical-Messbox verschiedenen, klar definierten Geräuschen für Zeiträume von 2 bis 22 Stunden ausgesetzt. Die Geräuschaufnahmen wurden während dieser Zeit ständig wiederholt, um einen einheitlichen Input sicherzustellen. Nach jeder Testphase wurde das Hörsystem mit der Anpass-Software des Herstellers verbunden, um das Ergebnis der Umgebungsklassifizierung im Datalogging-Bildschirm auszulesen.

Die Geräuschumgebungen waren folgende, alle Geräusche mit Ausnahme von „Ruhig“ sind Bestandteil der Geräuschbibliothek in der Otometrics-OtoSuite-Software:

- *Ruhig*: kein Eingangssignal
- *Störgeräusch*: Handmixer bei 75 dB SPL
- *Störgeräusch*: Weißes Rauschen bei 75 dB SPL
- *Störgeräusch*: Stimmengewirr bei 75 dB SPL
- *Sprache im Störgeräusch*: Konversation mit Hintergrundgeräusch Café bei 75 dB SPL
- *Sprache im Störgeräusch*: Konversation mit Hintergrundgeräusch Bahnhof bei 75 dB SPL
- *Sprache im Störgeräusch*: Konversation mit Hintergrundgeräusch Party bei 75 dB SPL
- *Sprache im Störgeräusch*: Konversation mit Hintergrundgeräusch Supermarkt bei 75 dB SPL
- Popmusik bei 65 dB SPL
- Klassische Musik bei 65 dB SPL

Alle Systeme haben die Umgebungen „Ruhig“, „Sprache“ und „Weißes Rauschen“ mit sehr hoher Genauigkeit erkannt. Mindestens 96 % der Testzeit in diesen Umgebungen wurde von den Hörgeräten korrekt klassifiziert. Bei den Geräuschen Stimmengewirr und Handmixer gab es einige Unterschiede, siehe Abbildung 1. Ein System hat in 60 % der Testzeit das Hand-

mixer-Geräusch als „Sprache im Störgeräusch“ klassifiziert, ein anderes System hat in 96 % der Testzeit das Stimmengewirr als Musik klassifiziert.

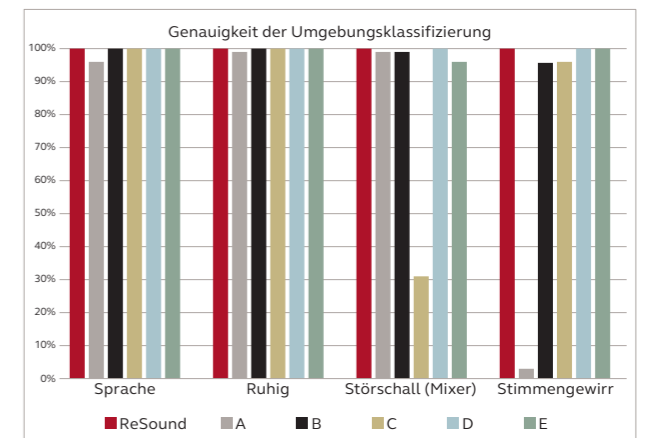


Abbildung 1. Die getesteten Umgebungsklassifizierungssysteme konnten alle die Umgebungen „Ruhig“ und „Sprache“ erkennen. Die meisten konnten auch verschiedene Geräusche und Stimmengewirr erkennen, obwohl es hier einige schwerwiegende Erkennungsfehler gab.

Die akustischen Umgebungen mit Hintergrundgeräuschen, sind für Hörsystemnutzer am schwierigsten. Algorithmen zur Steuerung der Direktionalität sollen hier Vorteile bringen, insbesondere in Situationen mit Sprache in geräuschvoller Umgebung. In der Realität bilden unterschiedliche Geräusche inklusive Sprache eine komplexe Geräuschkulisse, die oftmals gleichzeitig mit der Sprache von Interesse konkurriert. Deshalb wurden für diesen Test vier verschiedene Hintergrundgeräuschumgebungen verwendet. Die „Sprache“ bestand in allen Fällen aus einer männlichen und einer weiblichen Stimme, die ein Gespräch führten. Abbildung 2 zeigt die kombinierten Ergebnisse für alle vier Sprache-im-Störschall-Umgebungen. Das ReSound-System zeigte eine Genauigkeit von 98 % bei der Erkennung von Sprache im Störschall, was dem besten Wert unter den sechs getesteten Systemen entspricht. Ein anderes System war ebenfalls sehr genau, es erkannte in 91 % der Fälle alle Umgebungen korrekt. Die anderen Systeme waren weniger genau, mit einer Genauigkeit von 60 % oder weniger.

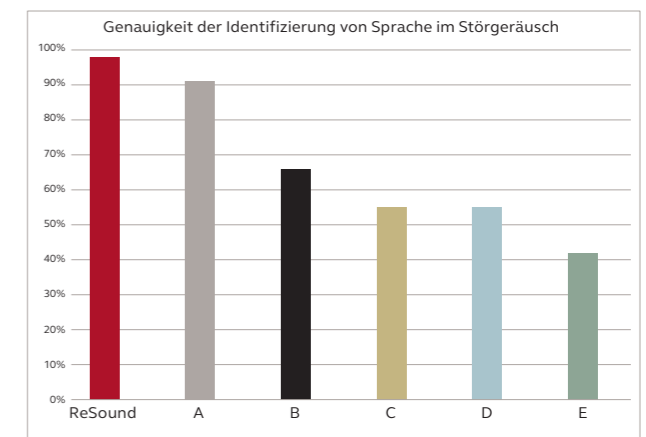


Abbildung 2. Das ReSound System erkannte mit einer Genauigkeit von 98 % Sprache im Störschall unter verschiedenen Hintergrundgeräuschbedingungen. Kein anderes System war so genau. Hintergründe mit Musik oder modulierten Geräuschen stellten das größte Problem für diese Systeme dar. Die genaue Ermittlung von Sprache im Störschall und anderen Umgebungen ist wichtig für die Anpassung umgebungsabhängiger Parameter.

Ein interessantes Ergebnis war, dass die Systeme alle mit völlig unterschiedlichen Hintergrundgeräuschen Erkennungsprobleme hatten. Sie waren alle mindestens 75 % genau bei der Erkennung von Sprache im Störschall für die Hintergrundgeräusche „Party“ und „Bahnhof“, jedoch bereiteten ihnen die Hintergrundgeräusche „Café“ und „Supermarkt“ Probleme. Die problematischen Geräusche bei „Cafe“ und „Party“ sind Menschen, die im Hintergrund reden. Bei „Café“ kommt noch das für diese Umgebung typische Klirren von Tassen und Untertassen hinzu. Die Klassifizierungsfehler für diese Umgebung bestanden darin, dass ein Großteil der Teststunden der Kategorie „Sprache“ zugeordnet wurde. Möglicherweise wurden die Systeme von den durch Tassen und Untertassen verursachten flüchtigen und modulierten Geräuschen getäuscht, sodass sie diese Umgebung fälschlicherweise als Sprache ohne konkurrierendes Geräusch klassifizierten.

Die Ergebnisse für den Hintergrund „Supermarkt“ waren eher ungenau bei den vier Klassifizierungssystemen mit der Kategorie Musik. Dieser Hintergrund umfasst häufig sanfte Musik sowie andere typische Supermarktgeräusche. Von den vier Systemen mit der Klassifizierungskategorie Musik ordneten zwei 100 % der Teststunden der Musikategorie zu, eins 84 % und eins 37 %. Zusammengenommen mit der ungenauen Klassifizierung bei Musik (Abbildung 3) lässt dies die Relevanz von Hörsystemen für die Erkennung von Musik fragwürdig erscheinen. Beispiel: Das System E hat zwar 100 % der Teststunden mit klassischer und Popmusik richtig erkannt, aber auch 100 % der Sprache vor dem Hintergrund Supermarkt als Musik klassifiziert. Dieses Ergebnis stimmt nachdenklich, da es zeigt, dass die Technik in Hörsystemen nicht in der Lage ist, die Absicht des Nutzers genau vorherzusagen. Selbst wenn eine Umgebung Musik enthält, bedeutet dies nicht, dass der Nutzer diese konkret hören möchte, er könnte diese sogar, je nach Situation, als störend empfinden.

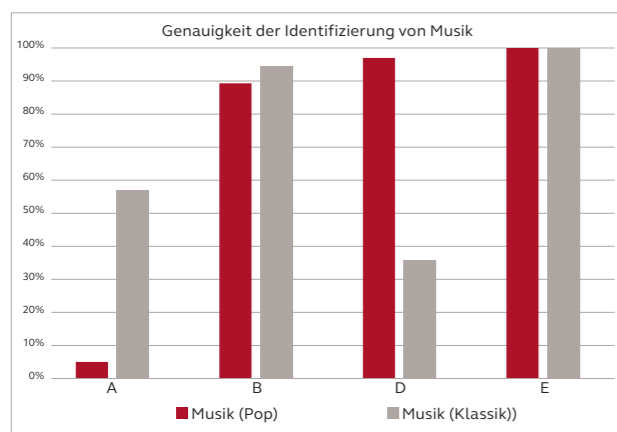


Abbildung 3. Vier der Systeme verfügten über eine Musikererkennung, vermutlich um automatisch Einstellungen für das Hören von Musik zu ändern. Die Systeme B und E zeigten die besten Ergebnisse bei der Erkennung zwei verschiedener Musikgenres. System E hat zwar klassische und Popmusik richtig erkannt, aber auch 100 % der Sprache vor dem Hintergrund Supermarkt als Musik klassifiziert. Der Zuhörer wäre wahrscheinlich nicht damit einverstanden, wenn das Hörsystem in einem Supermarkt auf das Musikprogramm umschaltet.

AUSGEWOGENHEIT ZWISCHEN DIREKTIONALEM NUTZEN UND NATÜRLICHEM HÖRERLEBNIS

Die Annahme, dass ein Datensatz von Hörsystemparametern für die Bedürfnisse einer Person nicht in allen Lebenslagen ausreicht, ist weit verbreitet. Dies ist das Grundprinzip von Mehrprogrammhörsystemen sowie der automatischen Anpassung von Hörsystemfunktionen. Beim Anpassen des Hörsystems geht es darum, die optimale Verstärkung für bestmögliches Sprachverstehen zu finden, wobei laute Töne automatisch weniger verstärkt werden. Dennoch kann es sein, dass Nutzer von Hörsystemen in verschiedenen Situationen verschiedene Aspekte des verstärkten Geräuschs verstärken oder abschwächen möchten. Beispielsweise kann es sein, dass ein Hörsystemnutzer für eine wichtige Arbeitsbesprechung eine etwas höhere Lautstärke wünscht, aber gern eine leisere Einstellung hätte, wenn er einige Stunden später auf der Heimfahrt mit dem Zug seine Zeitung liest. Diesen situationsbedingten Präferenzen kann durch automatische Wechsel zwischen verschiedenen Hörsystemeinstellungen entsprochen werden. Obwohl dies theoretisch ideal klingt, ist dies in der Praxis nicht zwingend der Fall. Abrupte oder hörbare Änderungen der Klangverarbeitung können störend und unangenehm sein. Einige Nutzer könnten aufgrund spürbarer automatischer Änderungen sogar eine Störung ihres Geräts annehmen. Deshalb will ReSound automatische Funktionalität schaffen, die für die Nutzer transparent ist. Sie sollen nicht wissen, wann sich das Hörsystem in welchem Modus befindet. Sie sollten nur in der Lage sein, zu hören und sich auf das zu konzentrieren, was sie möchten. Dieses Leitprinzip ist ein Grund für die Spitzennoten von ReSound-Hörsystemen für Klangqualität¹⁷.

DIE BEDEUTUNG DER DIREKTIONALEN VERARBEITUNG

Das Ziel, ein transparentes Hörerlebnis zu bieten, hat Auswirkungen auf die Klangverarbeitung in den Hörsystemen. Die Dual-Mikrofon-Direktionalität ist ein Beispiel für eine Klangverarbeitung, die bei automatischer Aktivierung und Deaktivierung die Aufmerksamkeit auf sich lenken kann. Aufgrund der dichten Anordnung der Mikrofone in Hörsystemen im Verhältnis zu den Wellenlängen von niederfrequenten Signalen wird die direktionale Verarbeitung zur Unterdrückung niederer Frequenzen tendieren, unabhängig davon, aus welcher Richtung sie kommen. Der sich daraus ergebende „Roll-off“ niedriger Frequenzen erzeugt einen blechernen Klang, der sich stark vom Klang bei einer omnidirektionalen Einstellung unterscheidet. Falls der Roll-off durch die Anhebung der niedrigen Frequenzen ausgeglichen wird, nimmt auch das Eigenrauschen des Geräts zu. Das kann dazu führen, dass der direktionale Modus stärker rauscht als der omnidirektionale Modus. Das heißt, dass unabhängig von der Methode bei der direktionalen Wiedergabe eine andere Klangqualität erzeugt wird als bei der omnidirektionalen Wiedergabe. Der Nutzer kann diesen Unterschied wahrnehmen und sich sogar davon gestört fühlen. Eine Möglichkeit, dieses Problem zu umgehen, ist die direktionale Verarbeitung von lediglich dem hochfrequenten Anteil des Eingangssignals. Dies erledigt der Direktionalitäts-Mix. Er bietet äquivalente Klangqualität für den direktionalen und omnidirektionalen Mikrofonmodus¹⁸.

Wenn Direktionalität die einzige bewährte Technologie wäre, mit der sich das Sprachverstehen in Störgeräuschen verbessern ließe¹⁹, könnte man annehmen, dass ein Vorgehen nach der Devise „viel hilft viel“ mit maximaler Direktionalität in allen Frequenzen

(volle Direktionalität) zu einer besseren Sprachverständlichkeit in Störgeräuschen führt als der Direktionalitäts-Mix. Andererseits würde die Theorie des Artikulationsindex eine vernachlässigbare Differenz zwischen diesen beiden Arten der Verarbeitung vorhersagen, da eine zusätzliche Hörbarkeit in den tiefen Frequenzen nur einen bescheidenen Beitrag zur Sprachverständlichkeit leisten sollte²⁰. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse einer klinischen Studie, die diese zuletzt genannte Auffassung unterstützt²¹. In dieser Studie wurden die Teilnehmer entweder offen oder geschlossen und mit verschiedenen Direktionalitäts-Mix-Einstellungen versorgt. Unter allen Bedingungen wurde die Spracherkennung im Störschall bewertet. Unabhängig von der Direktionalitäts-Mix-Einstellung oder der Art der Versorgung (offen oder geschlossen), war der Nutzen der direktionalen Wiedergabe signifikant höher als bei omnidirektionaler Verarbeitung (Abbildung 4). Bei offenen Versorgungen war die SNR-Verbesserung bei der omnidirektionalen Wiedergabe für alle Direktionalitäts-Mix-Einstellungen gleich. Dieses Ergebnis war abzusehen, da die offene Versorgung den Eintritt von niederfrequenten Signalen, die für Personen mit niedrigen Hörschwellen im unteren Frequenzbereich hörbar sind, in den Gehörgang erlaubt. Dies schränkt natürlich den direktionalen Nutzen ein, der in den unteren Frequenzen möglich ist. Außerdem stimmt es mit anderen Berichten über den direktionalen Nutzen von offenen Versorgungen überein^{22,23,24}. Für geschlossen versorgte Teilnehmer ergab sich durch die Erhöhung der Direktionalitäts-Mix-Einstellung eine schrittweise Verbesserung der Spracherkennung im Störschall. Aus diesem Grund wird die Direktionalitäts-Mix-Einstellung basierend auf dem Hörverlust berechnet, um die bestmögliche Ausgewogenheit zwischen der Maximierung des direktionalen Nutzens und transparenter Klangqualität zwischen Mikrofonmodi sicherzustellen. Diese Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass Direktionalität im Frequenzbereich mit der wichtigsten Sprachinformation den größten Nutzen für die SNR-Verbesserung hat.

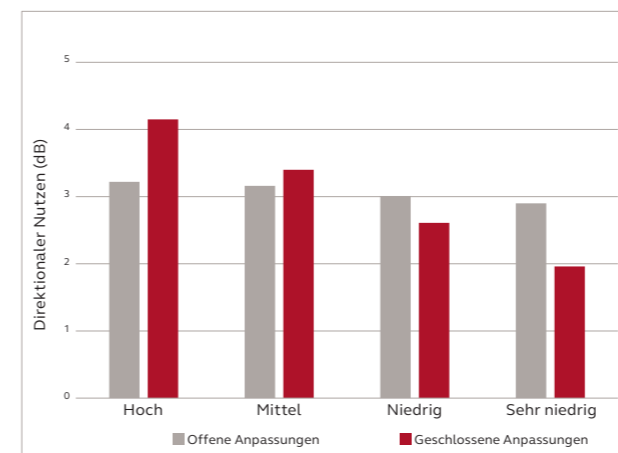


Abbildung 4. Direktionaler Nutzen wird laut Tests der Spracherkennung im Störgeräusch am meisten durch die Verstärkung in den höheren Frequenzen beeinflusst. Für Nutzer mit stärkeren Hörverlusten und geschlossener Versorgung ist mit Erhöhung der Direktionalitäts-Mix-Einstellung auch ein inkrementeller Anstieg des Nutzens festzustellen. Aus diesem Grund wird der Direktionalitäts-Mix individuell eingestellt.

OMNIDIREKTIONALITÄT IST AUCH EINE FORM DER DIREKTIONALITÄT

Häufig wird von direktionalen und omnidirektionalen Mikrofonen gesprochen, als ob es einen Unterschied zwischen beiden gäbe. Jedoch ist dies nicht der Fall. Diese Begriffe beschreiben die räumlichen Richtcharakteristiken des jeweiligen Mikro-

fons. Ein direktionales Mikrofon ist für Geräusche aus einer bestimmten Richtung empfindlicher als für Geräusche aus einer anderen Richtung, während ein omnidirektionales Mikrofon eine gleichbleibende Empfindlichkeit zur Aufnahme von Geräuschen hat, unabhängig von der Richtung, aus der sie kommen. Bei direktionalen Mikrofonensystemen in modernen digitalen Hörsystemen handelt es sich in der Regel um Dualmikrofonensysteme, bei denen zwei omnidirektionale Mikrofone am Gerät angebracht sind und digitale Verzögerungen für eines der beiden Mikrofone genutzt werden, um die gewünschten räumlichen Richtcharakteristiken zu erstellen. Mit dieser Technologie kann praktisch jede Form der Richtcharakteristik erzeugt werden, auf Wunsch auch omnidirektionale Richtcharakteristiken.

Aber was passiert mit räumlichen Richtcharakteristiken beim Tragen eines Hörsystems? Abbildung 5 zeigt die räumlichen Richtcharakteristiken für ein omnidirektionales Mikrofon, gemessen am Kopf. Niedrige Frequenzen können leicht und ohne starke Abschwächung um ein Hindernis wie z. B. den menschlichen Kopf geleitet werden. Die niedrigen Frequenzen verteilen sich omnidirektional, das bedeutet, dass diese Frequenzen, unabhängig vom Eingangswinkel, kaum abgeschwächt werden. Jedoch werden hohe Frequenzen von der linken Seite durch den Kopfschatteneffekt stark abgeschwächt. Wenngleich der Kopfschatteneffekt sowohl für die Lokalisierung in ruhiger Umgebung als auch die Unterstützung des Hörens im Störschall nützlich ist, versucht die Binaurale Direktionalität III einen Ausgleich zwischen besserem SNR und dem Hören von Geräuschen in bestimmten Umgebungssituationen zu schaffen. Das heißt, dass der Kopfschatteneffekt in gewisser Weise kontraproduktiv ist, wenn die Hörsystemmikrofone in den asymmetrischen Modus geschaltet sind. Dies führt zu toten Winkeln, bei denen einige Geräusche aus bestimmten Richtungen weniger hörbar sind. Obwohl der Kopfschatteneffekt für das direktional verarbeitete Ohr äußerst wünschenswert ist, um das SNR zu maximieren, wäre auf dem anderen Ohr eine komplett omnidirektionale Verarbeitung wünschenswert, um das Hören von Geräuschen in der Umgebung zu verbessern.

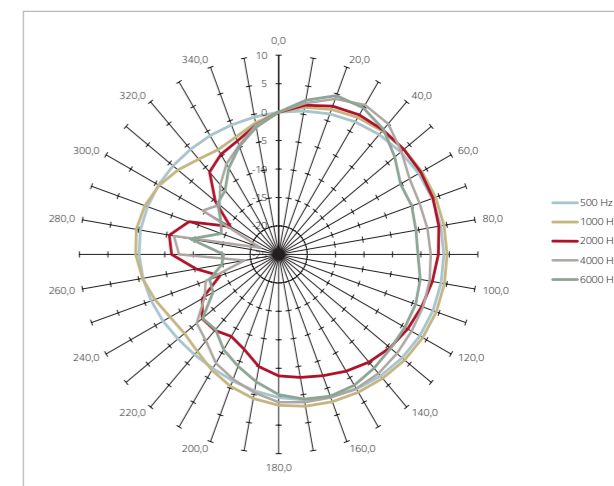


Abbildung 5. Räumliche Richtcharakteristiken eines omnidirektionalen Mikrofonens gemessen am rechten Ohr eines KEMAR. Die Richtcharakteristiken in den hohen Frequenzen werden stark vom Kopfschatteneffekt beeinflusst, sodass die Verarbeitung nicht omnidirektional ist.

Da es sich beim Kopfschatteneffekt um einen nicht umkehrbaren Effekt bei der Verarbeitung von Hörsystemen handelt, haben sich die ReSound-Techniker einmal mehr vom natürlichen

Ohr inspirieren lassen und die direktionalen Eigenschaften der direktionalen und omnidirektionalen Richtcharakteristiken angepasst, um einen möglichst natürlichen Ausgleich zwischen besserem Hören im Störschall und Umgebungsbewusstsein zu erreichen.

EINE NEUE METHODE ZUR OPTIMIERUNG DES SYSTEMS

Wie bereits besprochen, ist das menschliche Gehör auf den Input von zwei Ohren angewiesen. Binaurale Vorteile werden durch den Abgleich und die Integration der verschiedenen Inputs erreicht. Bei der Schaffung eines direktionalen Systems, das natürliche Hörprozesse unterstützt, ist es daher sinnvoll, zunächst die kombinierten akustischen Effekte der beiden Ohren und deren Lage am Kopf zu untersuchen. Diese Informationen können dann als Grundlage für das Benchmarking des Systemdesigns dienen. Hörakustiker sind mit dem Direktivitätsindex (DI) vertraut, einer Methode zur Quantifizierung der relativen Verstärkung von Geräuschen, die von einem Null-Grad-Azimuth kommen, zu Geräuschen von anderen Azimuten. Der DI wird häufig für die Beschreibung des Effekts der direktionalen Verarbeitung in Hörsystemen genutzt. Jedoch ist er ein schwacher Indikator dafür, wie sich binaurale Effekte auf Verbesserungen des SNR auswirken, da er lediglich die Charakteristiken eines Geräts beschreibt. Darüber hinaus kann der DI nur Hinweise darauf geben, wie das SNR für Geräusche verbessert werden kann, die vor dem Zuhörer einfallen. Da die Binaurale Direktionalität III dem Zuhörer ermöglichen soll, entweder eine Strategie des besseren Ohrs oder des Bewusstseins zu nutzen, ist es also unerlässlich, bei der Bewertung des Systemdesigns eine Messgröße für das Bewusstsein einzubeziehen.

Um ein optimales Design zu schaffen, haben ReSound-Ingenieure eine Methode entwickelt, um die räumlichen Charakteristiken des linken und rechten Ohrs akustisch zu gestalten und, basierend auf den Richtcharakteristiken der beiden Ohren, den Beitrag des Systems zu verbessertem SNR sowie Umgebungsbewusstsein zu quantifizieren²⁵. Grundlegend wurden zwei neue DI-Konzepte eingeführt. Eines besteht in der Einbeziehung der Auswirkungen beider Ohren (nicht nur eines Ohrs) bei der DI-Berechnung. Das andere besteht in der Berechnung einer Art von „umgekehrtem“ DI, der ebenfalls beide Ohren einbezieht, als Indikator für Umgebungsbewusstsein. Abbildung 6 zeigt diese Konzepte für offene Ohren am Kopf. Hier sehen Sie, dass der „Index für das bessere Ohr“, also der binaural berechnete DI, das SNR in stärkerem Ausmaß verbessert als der DI für ein Ohr. Ebenso ist der „Umgebungsbewusstseins-Index“ deutlich geringer als der DI für ein Ohr, was zeigt, dass binaurale akustische Effekte Geräusche unabhängig von der Richtung, aus der sie kommen, besser hörbar machen können. Diese beiden Indices dienen als Benchmark für das Design der räumlichen Richtcharakteristiken für Binaurale Direktionalität III. Ziel war dabei die Maximierung des DI für das bessere Ohr und der Erhalt eines der offenen Versorgung ähnlichen Umgebungsbewusstseins-Index. Für Hörgeschädigte bedeutet dies eine Verbesserung des SNR bei gleichzeitigem Erhalt des Bewusstseins für Umgebungsgereusche, die nicht von vorn kommen.

Interne Studien des menschlichen Gehörs haben gezeigt, dass diese Messgrößen stark mit der Wahrnehmung korrelieren.

Das heißt, dass ein hoher Besseres-Ohr-Index mit einer besseren Spracherkennung im Störschall verbunden ist für Signale, die von vorn kommen, während ein niedriger Umgebungsbewusstseins-Index mit besserer Hörbarkeit von schräg einfallendem Schall korreliert.

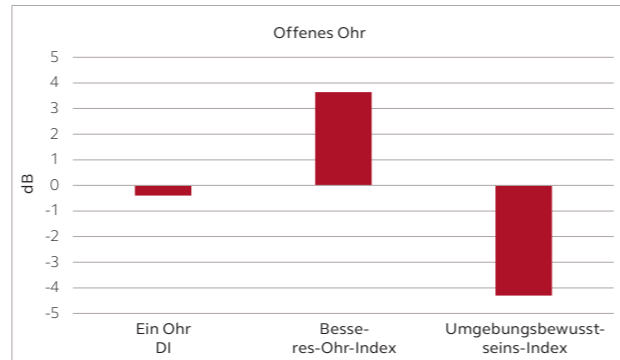


Abbildung 6. Der Besseres-Ohr-Index und der Umgebungsbewusstseins-Index erfassen binaurale akustische Richtcharakteristiken. Ein traditioneller DI erfasst nur die Effekte eines Ohrs. Der Besseres-Ohr-Index und der Umgebungsbewusstseins-Index können gemeinsam als Benchmark für die Bewertung des Systemdesigns genutzt werden.

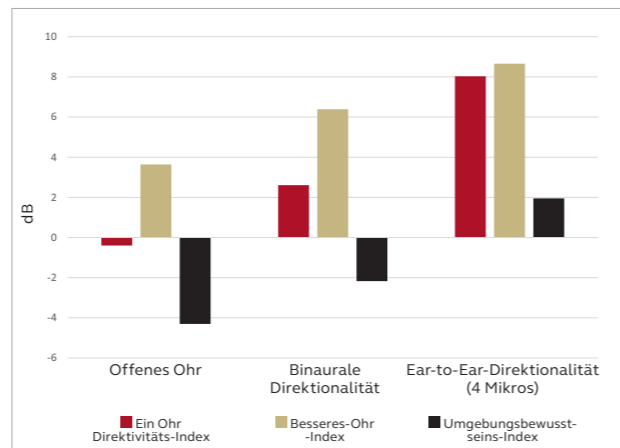


Abbildung 7. Binaurale Direktionalität III bietet ein besseres SNR als das offene Ohr, bewahrt jedoch das Bewusstsein für Schall in der Umgebung, wie die neuen Messgrößen zeigen. Dies bildet die Grundlage für ein natürliches Hörerlebnis. Eine Lösung mit eng gefasster Direktionalität mithilfe von 4 Mikrofonen sorgt für einen hohen Ein-Ohr-DI, aber einen geringen binauralen Nutzen, und reduziert die Hörbarkeit von schräg einfallendem Schall. Die Folge ist ein unnatürliches Hörerlebnis.

UNTERSTÜTZUNG DES RÄUMLICHEN HÖRENS

Räumliches Hören bezieht sich auf die Fähigkeit des Zuhörers, die Eingangssignale in auditorische Objekte zu unterteilen, was zu einer internen Wiedergabe der Hörwelt, inklusive Raumgefühl, führt. Ein auditorisches Objekt ist eine Wahrnehmungsschätzung des sensorischen Inputs, der von einem eindeutigen Gegenstand in der externen Welt kommt²⁶. Auditorische Objekte in der Hörumgebung „Küche“ können zum Beispiel der Klang der Kühlschranktür sein, der Klang von Wasser, das in das Spülbecken fließt und der Klang beim Schneiden einer Zwiebel. Die Fähigkeit, diese auditorischen Objekte zu bilden und sie im Raum zu platzieren, ermöglicht es dem Zuhörer, schnell und fließend zwischen diesen Objekten zu wählen und die Aufmerksamkeit auf sie zu richten. Zusätzlich bietet die Bildung einer auditorischen Szene ein natürlich

klingendes Hörerlebnis. Das auditorische System muss diese räumliche Repräsentation konstruieren, indem es mehrere Hinweisreize aus dem akustischen Input kombiniert. Darunter sind Zeitdifferenzen von ankommenden Schallsignalen an jedem Ohr (Interaural Time Difference – ITD), Pegeldifferenzen von ankommenden Schallsignalen an jedem Ohr (Interaural Level Difference – ILD) sowie spektrale Hinweisreize durch die Ohrmuschel. Kopfbewegungen sind auch wichtige Beiträge, weil das auditorische System schnell analysiert, wie sich die Beziehungen zwischen diesen Hinweisreizen ändern. Die Störung eines dieser Hinweisreize beeinträchtigt das räumliche Hören und es ist gut bekannt, dass Hörsysteme einige oder alle verzerren können.

Spatial Sense ist eine einzigartige Technologie von Surround Sound by ReSound, welche die drei Probleme im Zusammenhang mit Hörsystemen, die evtl. die räumlichen Hinweisreize stören, angeht:

1. Die Platzierung des Mikrofons über der Ohrmuschel bei Hinter-dem-Ohr- (HdO-) und Receiver-in-the-Ear- (RIE-) Geräten entfernt die spektralen Hinweise der Ohrmuschel^{27,28}.
2. Platzierung des Mikrofons über der Ohrmuschel in den Bauformen HdO und RIE verzerren die ILDs²⁹.
3. Die unabhängig arbeitende Wide Dynamic Range Compression in zwei bilateral angepassten Hörsystemen kann die ILD verzerren³⁰.

Spatial Sense¹¹ wird nach dem natürlichen Ohr modelliert, darunter die Wiederherstellung der Ohrmuschel für eine genaue Schätzung der ILD, den Wireless-Austausch von Informationen, um die Kreuzung der Signale zwischen den Ohren nachzubilden und die Korrektur der ILD basierend auf dem Ohr mit der geringsten Signallautstärke, um die inhibitorischen Effekte der auditorischen efferenten Fasern nachzubilden. Zusätzlich erhält Spatial Sense Lokalisationshinweise, um das von Surround Sound by ReSound zur Verfügung gestellte natürliche Hörerlebnis und die hervorragende Klangqualität zu ermöglichen.

ZUSAMMENFASSUNG

Für ein natürliches Hörerlebnis muss das Gehirn die verschiedenen eingehenden Signale empfangen, diese vergleichen und gegenüberstellen, um die Flut an akustischen Informationen in ein aussagekräftiges Abbild der Geräuschumgebung zu übertragen. Die Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen den in jedem Ohr eingehenden Klängen können genutzt werden, um Umgebungsgereusche nach Wunsch zu verstärken oder zu unterdrücken. Das ermöglicht uns die einfache Verlagerung der Aufmerksamkeit auf verschiedene Geräusche. Je nachdem, welches Geräusch zu einem bestimmten Zeitpunkt von Interesse ist, nutzen wir von Natur aus verschiedene Hörstrategien und wir wechseln unbewusst von einer Strategie, die auf Umgebungsbewusstsein setzt, zu einer Strategie, die auf das Ohr mit der besten Wiedergabe des interessanten Geräuschs setzt. Personen wechseln von „Umgebungsbewusstsein“ zu „besseres Ohr“, wenn sie näher am gewünschten Signal sind, mit einem Ohr näher an dem Geräusch sind, oder ihr Ohr mit einer Hand verdecken. Die meisten modernen Hörsysteme nutzen Technologien, um diese natürlichen Hörstrategien zu umgehen und ein bestimmtes Signal,

das von künstlicher Intelligenz als am wichtigsten eingestuft wurde, zu verstärken. In deutlichem Gegensatz dazu wendet Binaurale Direktionalität III die direktionale Mikrofontechnologie auf einzigartige Weise an, um sowohl die Hörstrategien Bewusstsein als auch Besseres Ohr zu unterstützen. Die Ear-to-Ear-Wireless-Kommunikation ermöglicht eine Analyse der Umgebung für die automatische Auswahl des optimalen bilateralen Mikrofonmodus zur Unterstützung beider Hörstrategien. In Abhängigkeit von dem jeweiligen Mikrofonmodus sollen dedizierte Technologien für das beste Hörerlebnis sorgen. Die natürliche Klangqualität steht im Mittelpunkt von Binauraler Direktionalität III, und der Direktionalitäts-Mix sorgt für transparente Übergänge zwischen den verschiedenen Mikrofonmodi. Darüber hinaus bewahrt Spatial Sense die wichtigen Ortungselemente, die zu räumlichen Hören und einer möglichst natürlichen Klangqualität beitragen. Zu guter Letzt sind die Richtcharakteristiken der verschiedenen Mikrofonmodi akribisch entworfen und berücksichtigen die akustischen Eigenschaften des Kopfes, um sicherzustellen, dass der Zuhörer problemlos die Klänge um ihn herum ein- oder ausblenden kann. Binaurale Direktionalität III optimiert die Sensitivitätscharakteristiken, um die beste Kombination aus Sprache von vorn und räumlicher Wahrnehmung zu schaffen. Binaurale Direktionalität III bietet den ultimativen Ausgleich zur Unterstützung natürlichen Hörens: eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses ähnlich wie bei bilateralen Richtmikrofonen und ein signifikanter Nutzen für den Hörkomfort verglichen mit anderen Richtmikrofonstrategien.

LITERATURHINWEISE

1. Amlani, AM. Efficacy of Directional Microphone Hearing Aids: A Meta-Analytic Perspective. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2001; 12: 202-214.
2. Best V, Mejia J, Freeston K, van Hoesel RJ, Dillon H. An evaluation of the performance of two binaural beamformers in complex and dynamic multitalker environments. *International Journal of Audiology*. 2015; 54(10): 727-735.
3. Desjardins JL. The effects of hearing aid directional microphone and noise reduction processing on listening efforts in older adults with hearing loss. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2016; 27(1): 29-41.
4. Magnusson L, Claesson A, Persson M, Tengstrand T. Speech recognition in noise using bilateral open fit hearing aids: the limited benefit of directional microphones and noise reduction. *International Journal of Audiology*. 2013; 52(1): 29-36.
5. Ricketts TA, Picou EM. Speech recognition for bilaterally asymmetric and symmetric hearing aid microphone modes in simulated classroom environments. *Ear and Hearing*. 2013; 34(5): 601-609.
6. Cord MT, Surr RK, Walden BE, Olson L. Performance of directional microphone hearing aids in everyday life. *Journal of American Academy of Audiology*. 2002; 13:295-307.
7. Cord MT, Surr RK, Walden BE, Dittberner A. Ear asymmetries and asymmetric directional microphone hearing aid fittings. *American Journal of Audiology*. 2011. 20: 111-122.
8. Stivers T, Enfield NJ, Brown P, Englert C, Hayashi M, Heinemann T, Hoymann G, Rossano F, de Ruiter JP, Yoon K, Levinson SC. Universals and cultural variation in turn-taking in conversation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009; 106(26): 10587-10592.
9. Groth J. ReSound Azure: The audiological background. ReSound white paper. 2007
10. »Bentler RA, Egge JLM, Tubbs JL, Dittberner AB, Flamme GA. Quantification of directional benefit across different polar response patterns. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2004; 15:649-659.
11. Groth J. Binaural Directionality II with Spatial Sense. ReSound white paper. 2014.
12. Zurek PM. Binaural advantages and directional effects in speech intelligibility. In G. Studebaker & I. Hochberg (Eds.), *Acoustical Factors Affecting Hearing Aid Performance*. Boston: College-Hill, 1993.
13. Akeroyd MA. The across frequency independence of equalization of interaural time delay in the equalization cancellation model of binaural unmasking. *J Acoust Soc Am*. 2004;116;1135-48.
14. Edmonds BA, Culling JF. The spatial unmasking of speech: evidence for within-channel processing of interaural time delay. *J Acoust Soc Am*. 2005;117;3069-78.
15. Shinn-Cunningham B, Ihlefeld A, Satyavarta, Larson E. Bottom-up and Top-down Influences on Spatial Unmasking. *Acta Acustica united with Acustica*. 2005;91; 967-79.
16. Simon H, Levitt H. Effect of dual sensory loss on auditory localization: Implications for intervention. *Trends Amplif*. 2007;11; 259-72.
17. Jespersen CT. Independent study identifies a method for evaluating hearing instrument sound quality. *Hear Rev*. 2014: 21(3); 36-40.
18. Groth J, Laureyns M, Piskosz M. Double-blind study indicates sound quality preference for surround sound processor. *Hearing Review*. 2010; 17(3):36-41.
19. Bentler RA. Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing aids: a systematic review of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2005; 16:473-484.
20. Kryter K. Methods of calculation and use of the articulation index. *J Acoust Soc Am*. 1962; 34:1689-1697.
21. Moeller K, Jespersen C. The Effect of Bandsplit Directionality on Speech Recognition and Noise Perception. *Hearing Review Products*. June 2013:8-10.
22. Magnusson L, Claesson A, Persson M, Tengstrand T. Speech recognition in noise using bilateral open fit hearing aids: the limited benefit of directional microphones and noise reduction. *International Journal of Audiology*. 2013; 52(1): 29-36.
23. Valente M, Mispagel KM. Unaided and aided performance with a directional open-fit hearing aid. *International Journal of Audiology*. 2008; 47:329-336.
24. Bentler RA, Wu Y, Jeon J. Effectiveness of directional technology in open canal hearing instruments. *The Hearing Journal*. 2006; 59(11): 40,42, 44, 46-47.
25. Dittberner A, Ma C, Gran F. Binaural directivity patterns of binaural hearing and implications on hearing prosthetic design. Presentation at American Auditory Society Scientific & Technology Meeting, Scottsdale, AZ, March 5-7, 2015.
26. Shinn-Cunningham BG, Best V. Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends Amplif*. 2008. 12(4): 283-299
27. Orton JF, Preves D. Localization as a function of hearing aid microphone placement. *Hörsysteme* 1979. 30(1); 18-21.
28. Westerman S, Topholm J. Comparing BTEs and ITEs for localizing speech. *Hörsysteme* 1985. 36(2); 20-24.
29. Udesen J, Piechowiak T, Gran F, Dittberner A. Degradation of spatial sound by the hearing aid. *Proceedings of ISAAR 2013: Auditory Plasticity – Listening with the Brain*. 4th symposium on auditory and Audiological Research. August 2013, Nyborg, Denmark. Dau T, Santurette S, Dalsgaard JC, Tanebjaerg L, Andersen T, Poulsen T eds.
30. Kollmeier B, Peissig J, Hovmann V. Real-time multiband dynamic range compression and noise reduction for binaural hearing aids. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 1993; 30(1): 82-94.

Weltweite Vertretungen

GN Hearing GmbH

Lautrupbjerg 7

DK-2750 Ballerup, Dänemark

Tel.: +45 45 75 11 11

info@gnresound.ch resoundpro.com

CVR-Nr.: 55082715

© 2016 GN ReSound A/S. Alle Rechte vorbehalten. ReSound ist eine eingetragene Marke von GN ReSound A/S. Apple, das Apple-Logo, iPhone, iPad, iPod und iPod touch sind eingetragene Warenzeichen der Apple Inc. in den USA und anderen Ländern. Android ist eine Marke der Google Inc. Bluetooth ist eine Marke der Bluetooth SIG, Inc.

ReSound GN
.....