
BINAURAL SPATIAL MAPPING OPTIMIERT HÖRSYSTEMVERHALTEN IM ALLTAG

Shilpi Banerjee, Ph.D.

Jahrzehntelang haben Forscher und Ärzte die Notwendigkeit einer bilateralen Hörgeräteversorgung in den Vordergrund gestellt und betont, dass dadurch ungewünschte Beeinflussungen des fein abgestimmten auditorischen Systems verringert werden. Zu neuem Interesse gelangte diese Thematik durch die Einbettung neuer drahtloser Eigenschaften in Hörgeräten, die sich auf die Signalverarbeitung auswirken. Dieses Dokument beschäftigt sich mit dem Prinzip, dem Design und der Wirksamkeit des Binaural Spatial Mapping, dem Ear-to-Ear Protokoll von Starkey. Zudem werden weitverbreitete Meinungen über räumliches Hören, Hörschädigung und den Vorlieben Hörgeschädigter diskutiert, mit dem Ziel das Hören mit Hörgeräten außerhalb des Labors zu optimieren.

Untersuchungen sagen...

Die Zufriedenheit mit Hörgeräten ist mit 80 Prozent (Kochkin, 2012) so groß wie nie zuvor. Dennoch treten die größten Schwierigkeiten immer noch in ungünstigen Situationen wie im Restaurant, beim Autofahren und größeren Gruppen auf (Kochkin, 2012). Diese sind allerdings wichtige Situationen, die Kommunikation und bewusstes Zuhören erfordern (Wagener, et al., 2008). Die Fähigkeit, gleichzeitig mehreren Hörsituationen folgen zu können, wie Kochkin sie beschreibt (2007), steht in direktem Zusammenhang mit der Zufriedenheit des Hörens in ungünstigen Hörsituationen und der Gesamtzufriedenheit mit Hörgeräten. Die Leistungsfähigkeit der Hörgeräte in solchen schwierigen Situationen ist somit ein maßgeblicher Faktor für zufriedene Hörgeräteträger und Prämisse aller Technologien, wie auch Binaural Spatial Mapping.

Binaurales Hören

Binaurales Hören beschreibt die Vorteile des Hörens unterschiedlicher Signale durch zwei Ohren im Vergleich zum einseitigen Hören. Die Vorteile sind in komplexen, dynamischen Hörsituationen wie dem Restaurant, dem Auto oder in größeren Gruppen am stärksten ausgeprägt (Noble & Gatehouse, 2006). Trifft das Schallereignis direkt von vorn oder von hinten auf den Hörer, gibt es nahezu keine Unterschiede im Signal auf dem rechten bzw. linken Ohr. In diesen Situationen bietet das binaurale Hören gegenüber dem monauralen Hören keine Vorteile. Wandert das Schallereignis zum Beispiel auf die linke Seite, entstehen zwei Effekte. Erstens, das Signal ist am linken Ohr lauter als am rechten. Es kommt zu der sogenannten interauralen Pegeldifferenz (ILD), die am stärksten im Frequenzbereich ab ~1000 Hz ausgeprägt ist. Zweitens erreicht das Signal das linke Ohr vor dem rechten, es kommt zu der sogenannten interauralen Zeitdifferenz (ITD), besonders stark im Frequenzbereich unterhalb von ~1000 Hz.

ILDs und ITDs liefern die primären räumlichen binauralen Hinweise, um Maskierungseffekte – besser bekannt als Cocktail Party Effekt – zu unterbinden (Cherry, 1953). Diese Maskierungseffekte treten häufig in komplexen Hörsituationen auf, in welchen sich das Sprachsignal dem Störgeräusch angleicht und die Wahrnehmung der Sprache erschwert. Ein simpler Lösungsansatz hierfür ist die räumliche Trennung von Sprache und Störgeräusch. Nach diesem Ansatz wirken ILDs und ITDs und ermöglichen für das normalhörende Ohr die Aufnahme der Sprache in einem Störgeräusch 12 bis 16 dB früher (Beutelmann & Brand, 2006).

Natürlich auftretende Zeit- und Pegeldifferenzen werden durch die Signalverarbeitung eines Hörgerätes auf mehrere Arten verfälscht. So werden durch die Signalverarbeitung nach dem WDRC Prinzip (Wide Dynamic Range Compression) auftretende Pegeldifferenzen durch die Absenkung lauter Eingangssignale und die Anhebung leiser Eingangssignale reduziert. Ähnliche Effekte treten auf, wenn nur ein Hörgerät Direktionalität oder das Störgeräuschmanagement anwendet, obwohl beide Eigenschaften in ihrem Grundprinzip Zuhören in komplexen Situationen unterstützen. Somit ist es wichtig zu wissen, wie häufig diese Eigenschaften im täglichen Gebrauch in ihrer Einstellung übereinstimmen. Laut Banerjee (2011) führt die unabhängige Signalverarbeitung einer bilateralen Hörgeräteanpassung zu einer übereinstimmenden Einstellung in 75-95 Prozent der Zeit – und schlussfolgernd werden binaurale räumliche Informationen die meiste Zeit übertragen.

Wird sich aber eine ungleiche Einstellung der Hörgeräte (bis zu 25 Prozent der Zeit) auf die räumlichen Informationen, gegeben durch ILDs und ITDs, nachteilig auswirken? Beutelmann und Brand (2006) haben gezeigt, dass Hörschädigte bedeutend weniger Nutzen aus den räumlichen Hinweisen erhalten als Normalhörende. Aus unterschiedlichen Darstellungen geht hervor, dass sich die Fähigkeit, einen effektiven Nutzen aus den Zeit- und Pegeldifferenzen zu ziehen, bei Störungen des Gehörs reduziert.

Ist also der Erhalt der räumlichen Informationen durch erzwungene übereinstimmende Einstellung der Hörgeräteigenschaften die optimale Lösung? Oder könnte es sein, dass eine asymmetrische Einstellung vielmehr ein Teil der Lösung als das Problem ist? Stellt man sich eine Situation vor, in der der Zuhörende im Gespräch mit einem Kind auf der Rücksitzbank des Autos ist (Abb. 1), sollten die Hörgeräte idealerweise die Hörbarkeit der Kinderstimme in einem Ohr aufrecht erhalten und die Störgeräusche des Autofahrens auf dem anderen Ohr minimieren. Asymmetrische Einstellungen bedeuteten für diese Situation die omnidirektionale Einstellung des einen Hörgerätes und die direktionale Einstellung des anderen und erscheinen vorteilhaft.



Abbildung 1: Konstruiertes Szenario im Auto – Hörgeräteträger auf dem Fahrersitz im Gespräch mit dem Kind auf der Rücksitzbank. Sprache wird hauptsächlich auf dem rechten Ohr erkannt, während das linke von Störgeräuschen überlagert wird.

Ein Fall für abgestimmte Signalverarbeitung

Herkömmlich werden in der Hörgeräteentwicklung die Untersuchungen im Test-Labor in einem symmetrischen Umfeld durchgeführt. Das Sprachsignal von Interesse wird direkt vorn platziert und Störgeräusche werden diffus oder von hinten dargeboten. Ein Szenario, bei dem an beiden Hörgeräten das gleiche Signal auftrifft und räumliche Informationen keinen Nutzen liefern. Innerhalb eines Test-Aufbaus mit asymmetrischer Anordnung lässt sich die Arbeitsweise abgestimmter, zusammenarbeitender Signalverarbeitung durch einen Wireless-Abgleich vernünftig bewerten.

Die erste Studie von Hornsby und Ricketts (2007) untersuchte den Effekt einer asymmetrischen und symmetrischen Einstellung des Mikrofonmodus in folgenden Bedingungen: 1) Sprache von vorn mit umgebendem Störgeräusch, 2) Sprache von vorn und Störgeräusch von links und 3) Sprache von rechts und Störgeräusch von links. In den Fällen, in denen Sprache von vorn (Bedingung 1 und 2) angeboten wurde, führte die Aktivierung der Direktionalität in mindestens einem Hörgerät zu einer Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch und war am größten, als beide Hörgeräte im direktionalen Modus waren. Interessant zu bemerken war, dass die Platzierung der Störgeräuschquelle keinen Einfluss auf den direktionalen Nutzen hatte – dieser war gleich für die Positionierung des Störgeräusches von links oder im diffusen Störgeräusch. Sprache allerdings, die dem Ohr von rechts präsentiert wurde, erfuhr eine deutlich schlechtere Verständlichkeit bei aktiver Direktionalität, wohingegen die Ein-

stellung des linken Systems keine Einflüsse zeigte. Eine Schlussfolgerung aus dieser Studie war, dass das Aktivieren einer fixen Richtwirkung bei Auftreten der Sprache von der Seite eine negative Auswirkung auf die Sprachverständlichkeit hat.

Die zweite Studie, Banerjee (2010) zeigt ähnliche Ergebnisse für die Positionierung der Sprache bei der Auswahl der Richtungs-Einstellung. Abbildung 2 zeigt die favorisierte Einstellung verschiedener Mikrofoneinstellungen im Vergleich zu einer bilateralen omnidirektionalen (O-O) Einstellung. Hohe, positive Werte zeigen ein besseres Ergebnis an. Ist die Sprache direkt vor dem Hörer positioniert, wurde eine leichte Richtungs-Einstellung (O-D und D-O) vor der bilateralen omnidirektionalen (O-O) Einstellung bevorzugt. Eine bilateral Richtungs-Einstellung (D-D) wurde allerdings am besten bewertet.

Wurde das Sprachsignal von rechts aufgenommen, hatten die Probanden eine deutliche Abneigung gegen eine Richtungs-Einstellung auf der Seite, die Einstellung des linken Gerätes zeigte keine Effekte. Dies kann als Aversion gegen die verschlechterte Hörbarkeit von Sprache in der hinteren Hemisphäre der fixen Richtungs-Einstellung interpretiert werden.

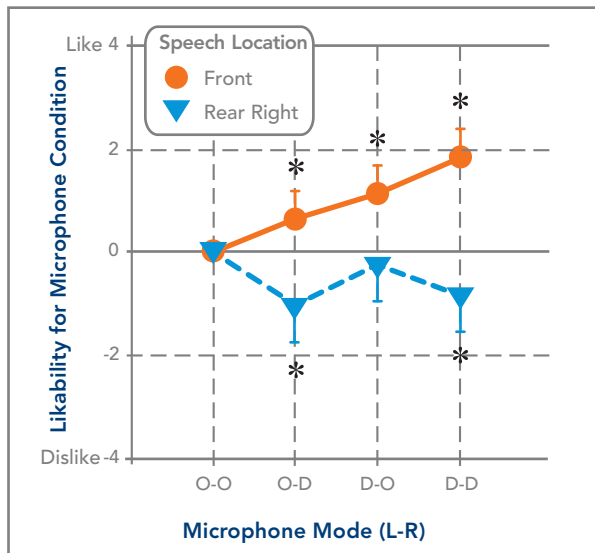


Abbildung 2: Als angenehm empfundene Mikrofon-Einstellungen für Sprache von vorne oder hinten rechts. Größere Wahrscheinlichkeit entspricht bevorzugter Einstellung. O-O ist die Referenz-Einstellung. Sternchen (*) deuten auf eine statistisch signifikante ($p < 0.05$) Differenz von der O-O-Einstellung hin. Fehler-Balken zeigen das 95% Konfidenzintervall. O=omnidirektional, D=direktional.

Diese Szenarien bewerteten in beiden Studien zuvor beschriebenen angenommenen Fall – einen Hörgeräteträger auf dem Fahrersitz im Gespräch mit dem Kind auf der Rücksitzbank (Abbildung 1)

Um diese Schlussfolgerungen in einen Zusammenhang mit einer sich abgleichenden binauralen Signalverarbeitung zu bringen, wird zuerst die synchronisierte Signalverarbeitung betrachtet, die zu jeder Zeit die gleiche Verarbeitungsstrategie in beiden Hörgeräten vorsieht.

Folgt das rechte Hörgerät einer Richtungs-Einstellung des linken Gerätes, welches sich näher am Störgeräusch befindet, ist zu erwarten, dass sich die Hörbarkeit der Sprache stark verschlechtert. Ebenso wird eine omnidirektionale Einstellung des linken Hörgerätes, ausgelöst durch das Bestreben die Sprachverständlichkeit des rechten Ohres aufrecht zu erhalten, dazu führen, dass das linke Ohr mit stärkeren Störgeräuschen einer erhöhten Höranstrengung ausgesetzt ist (Mackersie & Cones, 2011). Die Höranstrengung verursacht Stress, der die kognitiven Ressourcen schmälert, die zur Bewältigung der anstehenden Höraufgabe benötigt werden. Keine der beiden synchronisierten Signalverarbeitungen ist somit erstrebenswert.

Das Ziel gemeinschaftlich arbeitender Signalverarbeitungen ist die Verbesserung des Schalleignisses durch die Auswertung der Informationen beider Ohren. Manchmal kann dies eine asymmetrische Einstellung bedeuten. Für das Beispiel Auto heißt dies: das rechte Hörgerät arbeitet omnidirektional, da eine Richtungs-Einstellung den SNR verschlechtern würde und das linke Ohr, welches in keiner der beiden Mikrofonmodi eine SNR-Verbesserung erzielt, wird Richtungs-Einstellung eingestellt, um den Hörkomfort zu erhöhen. Eine solche asymmetrische Einstellung schafft für die vorliegende Situation die bestmögliche Sprachverständlichkeit bei geringer Höranstrengung. Diesen Ansatz der gemeinschaftlich, abgestimmten Signalverarbeitung macht sich Binaural Spatial Mapping zu nutze.

Binaural Spatial Mapping: Design

Binaural Spatial Mapping ist das Starkey Wireless Ear-to-Ear Protokoll. Es analysiert ständig die Umgebungssituation und wählt die geeignete Signalverarbeitungsstrategie für die InVision Richtwirkung, adaptive Parameter innerhalb der AudioScapes und Voice iQ². Binaural Spatial Mapping kann nur durch eine binaurale Anpassung mit Wireless-Hörgeräten erreicht werden.

Der Algorithmus orientiert sich an zwei Grundprinzipien: 1) Sprachverstehen und Hörbarkeit aufrechtzuerhalten, wenn Sprache vorhanden ist und 2) Hörkomfort in einer lauten Umgebung zu schaffen, in der keine Sprache vorhanden ist.

Sprache ist der Hauptträger der Kommunikation und bildet den wichtigsten Bestandteil innerhalb einer Hörgeräteversorgung. Sie hat somit die höchste Relevanz. Daher müssen Hörgeräte zuverlässig Sprache transportieren können, und auch als Signal gemischt, mit Störgeräuschen und Verzerrungen erkannt werden. Analysieren beide Hörgeräte ständig die Umgebung und tauschen ihre Informationen miteinander aus, kann Sprache nachweislich bis zu fünf dB früher erkannt werden. In der Praxis von Binaural Spatial Mapping bedeutet das: Hörbarkeit von Sprache kann bei SNR-Werten aufrechterhalten werden, die für ein Hörgerät zu Spracherkennung zu gering sind.

Das Sprachverstehen wird erhalten, indem die InVision-Richtwirkung den Mikrofonmodus (omnidirektional oder direktional) wählt, der den besseren SNR-Wert liefert und das Signal durch die schnelle Störgeräuschreduzierung Voice iQ² um Störgeräusche bereinigt wird, ohne das Sprachsignal zu beeinflussen (Pisa, Burk, & Galster, 2010), denn Störgeräusche empfindet ein Hörgeräteträger genauso unangenehm wie jeder andere und möchte so wenig wie möglich davon hören müssen. Die verbesserte Spracherkennung durch Binaural Spatial Mapping erlaubt daher die Anwendung eines konservativen Ansatzes um Hörkomfort zu schaffen. Mit anderen Worten: dadurch, dass Binaural Spatial Mapping es schafft, die Sprache auch bei sehr geringen SNR-Werten zu detektieren, wird ein Verlust von

Sprache verhindert. Störgeräusche werden durch die Anwendung der Direktionalität und der Störgeräuschreduktion vermindert, um Hörkomfort zu schaffen.

Nach Pearsons, Bennett und Fidell (1977) beinhalten Eingangssignale ~80 dB SPL typischerweise Störgeräusche. Wird ein Sprachsignal in solch einer Umgebung detektiert, schafft Binaural Spatial Mapping eine Balance zwischen Hörbarkeit der Sprache und Hörkomfort. Diese Balance wird durch gemeinschaftliche Entscheidungen erreicht, indem das Gerät mit dem besseren SNR Hörbarkeit für Sprache aufrecht erhält, während das Gegenohr auf Hörkomfort ausgerichtet wird. Auf diese Weise generiert Binaural Spatial Mapping durchaus zwei unterschiedliche Einstellungen innerhalb eines bilateralen Hörgerätepaars und setzt die Einstellungen nicht zwangsläufig gleich.

Durch Binaural Spatial Mapping werden auditive Beeinträchtigungen, hervorgerufen durch herkömmliche Signalverarbeitungsprozesse, unterbunden. Unterschiedlich empfundene Schaltungen der Hörgeräte durch Zeitverzögerungen, bei eigenständigem Umschalten oder unabhängigen Algorithmen, werden durch das gleichzeitig arbeitende, abgestimmte System Binaural Spatial Mapping ersetzt. Sie verhindern die bis dato entstandene Ablenkung in komplexen Hörsituationen durch Schaltvorgänge der Geräte.

Validierung

Galster und Burk (2011) begleiteten eine Studie mit 47 Probanden quer durch die Vereinigten Staaten, die verschiedene Aspekte der IRIS Technology und Binaural Spatial Mapping innerhalb der Wi-Serie- Hörsysteme von Starkey untersuchte. Die IRIS Technology ist das Ear-to-Ear Protokoll von Starkey, das innerhalb des 900 MHz Frequenzbandes arbeitet, und als einziges Protokoll neben der Ear-to-Ear Kommunikation auch drahtlose Programmierung und drahtlose Anbindung an Audio-Zubehör ohne zusätzliche Zwischengeräte ermöglicht. Innerhalb der Studie beschäftigten sich zwei Fragebögen mit den Erfahrungen der Hörgeräteträger im Alltag, die für die angeführte Diskussion relevant sind.



Abbildung 3: Probandenbewertung anhand der Device-Oriented Subjective Outcome (DOSO) Skala. Höhere Bewertungen stellen ein besseres Ergebnis dar. Sterne (*) weisen auf einen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0.05$) in der Vergleichsbewertung der eigenen Hörgeräte mit den Starkey Wi-Serie Geräten (mit Binaural Spatial Mapping) hin.

Speech=Hörbarkeit der Sprache, Effort=Hörerfolg, Pleasant=Annehmlichkeit, Quiet=Geräuschlosigkeit.

Die Teilnehmer wurden im Rahmen der Device-Oriented Subjective Outcome (DOSO)-Bewertung (Cox, et al., 2009) um folgende Bewertung gebeten: 1) die Möglichkeit Sprache zu hören [speech] 2) Menge der Hörerfolge in lauten Umgebungssituationen [effort], 3) Annehmlichkeit der verstärkten Signale [pleasant], 4) Geräuschlosigkeit der Hörgeräte [quiet], 5) Bedienfreundlichkeit und 6) tägliche Nutzung. Die ersten vier Kategorien können direkt (Sprache und Hörerfolge) oder indirekt (Annehmlichkeit und Geräuschlosigkeit) dem Binaural Spatial Mapping zugeschrieben werden. Sichtbar in Abbildung 3 wird die wesentliche Verbesserung durch höhere Bewertungen der Situationen im Vergleich zu den eigenen Hörgeräten der Probanden.

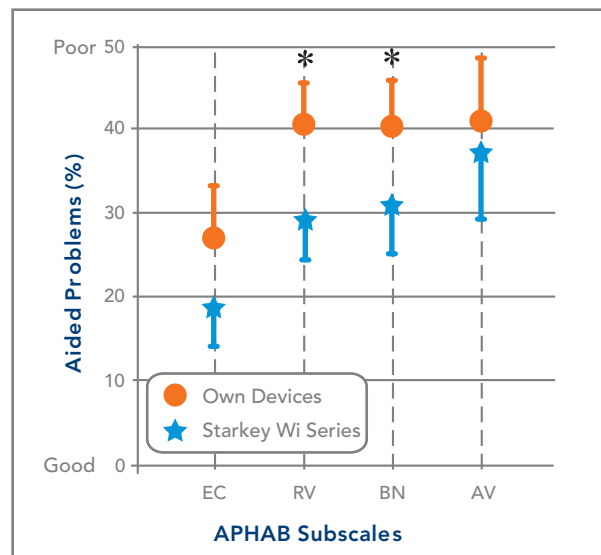


Abbildung 4: Probandenbewertung im Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB) Fragebogen. Niedrigere Werte reflektieren weniger Probleme in den Hörsituationen und damit bessere Ergebnisse. Sterne (*) weisen auf einen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0.05$) in der Vergleichsbewertung der eigenen Hörgeräte mit den Starkey Wi-Serie Geräten (mit Binaural Spatial Mapping) hin.

EC=Kommunikation unter einfachen Bedingungen, RV=in schallenden Räumen, BN=in geräuschvoller Umgebung, AV=Unannehmlichkeit der Umgebungsgeräusche.

Über den Fragebogen Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB) (Cox & Alexander, 1995) dokumentierten die Probanden während der Testphase die aufgetretenen Schwierigkeiten mit den Hörgeräten in verschiedenen Hörsituationen: 1) Kommunikation unter leichten Bedingungen [EC – ease of communication], 2) Kommunikation in schallenden Räumen [RV], 3) Kommunikation in geräuschvoller Umgebung [BN] und 4) Unannehmlichkeit der Umgebungsgeräusche [AV – aversiveness]. Abbildung 4 zeigt, dass die Probanden mit den Hörgeräten und Binaural Spatial Mapping zufriedener waren und weniger Probleme empfanden als mit ihren eigenen. Der Trend setzte sich für alle Hörsituationen fort.

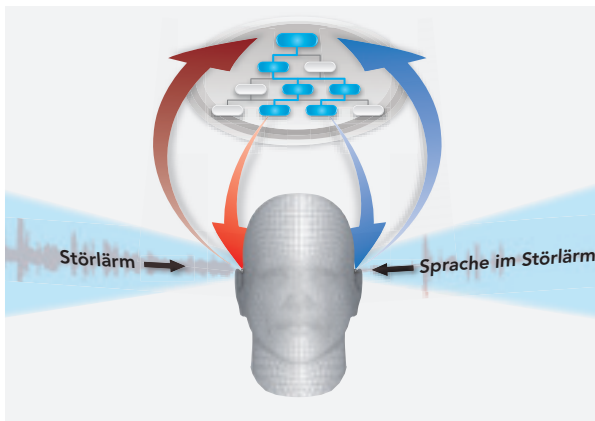


Abbildung 5: Schematische Darstellung des gemeinschaftlichen Entscheidungsprozesses des Binaural Spatial Mapping.

Zusammenfassung

Binaural Spatial Mapping ist Starkeys Ear-to-Ear Kommunikation, die die Schnelligkeit und Leistungsfähigkeit des Multikern-Prozessors nutzt, um die Vorteile der parallelen, abgestimmten Signalverarbeitung zur Anwendung zu bringen. Die Abfragen des neuen Protokolls analysieren und kartographieren die Umgebung des Hörgeräteträgers, um jederzeit die richtige Signalverarbeitungsstrategie für die Invision-Richtwirkung, adaptive Parameter innerhalb der Audio-Scapes und die Störgeräuschreduzierung Voice iQ² anzuwenden. Binaural Spatial Mapping in den Wi-Serie-HörSystemen erzeugt Vorteile für eine bilaterale Hörgeräteversorgung durch den gemeinschaftlichen Entscheidungsprozess. Aus den Informationen beider Hörgeräte erhält das System die Hörbarkeit der Sprache auch bei geringen SNR-Werten und stellt gleichzeitig Hörkomfort her. Binaural Spatial Mapping bringt die Hinweise zum räumlichen Hören Hörgeräteträgern näher.

Danksagung

Der Autor dankt Matt Burk, Ph.D., Elizabeth Galster, Au.D., Ivo Merks, Ph.D., und Justyn Pisa, Ph.D., für die Entwicklung und Evaluierung von Binaural Spatial Mapping.

Danksagungen gelten auch Sara Burdak, Au.D., Burk und Jason Galster, Ph.D., für hilfreiche Vorschläge zu ersten Versionen dieses Dokuments.

Referenzen

- Banerjee S. (2010). *Laboratory Evaluation of Directional Preference: Effects of Speech & Noise Location, Stimulus Type & Response Criterion*. Paper presented at the International Hearing Aid Research Conference.
- Banerjee S. (2011). *Hearing aids in the real world: Typical automatic behavior of expansion, directionality and noise management*. *Journal of the American Academy of Audiology*, 22(1), 34-48.
- Beutelmann R & Brand T. (2006). *Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 120(1), 331-342.
- Cherry EC. (1953). *Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
- Cox RM & Alexander GC. (1995). *The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB)*. *Ear and Hearing*, 16, 176-186.
- Cox RM, Alexander GC & Xu J. (2009). *Development of the Device-Oriented Subjective Outcome Scale (DOSO)*. Paper presented at the American Auditory Society.
- Galster E & Burk M. (2011). *Wi Series: Optimizing the Wireless Experience*. Eden Prairie, MN: Starkey Laboratories, Inc.
- Hornsby BWY & Ricketts TA. (2007). *Effects of noise source configuration on directional benefit using symmetric and asymmetric directional hearing aid fittings*. *Ear and Hearing*, 28(2), 177-186.
- Kochkin S. (2007). *Increasing hearing aid adoption through multiple environment listening utility*. *Hearing Journal*, 60(11), 28-31.
- Kochkin S. (2010). *MarkeTrak VIII: Consumer satisfaction with hearing aids is slowly increasing*. *Hearing Journal*, 63(1), 19-32.
- Mackersie C & Cones H. (2011). *Subjective and psychological indexes of listening effort in a competing-talker task*. *Journal of the American Academy of Audiology*, 22(2), 113-122.
- Noble W & Gatehouse S. (2006). *Effects of bilateral versus unilateral hearing aid fitting on abilities measured by Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ)*. *International Journal of Audiology*, 45(2), 172-181.
- Pearsons KS, Bennett RL & Fidell S. (1977). *Speech Levels in Various Environments (Report No. EPA-600/1-77-025)*. Washington, D.C.: United States Environment Protection Agency.
- Pisa J, Burk M & Galster E. (2010). *Evidence-based design of a noise-management algorithm*. *Hearing Journal*, 63(4), 42-48.
- Wagener KC, Hansen M & Ludvigsen C. (2008). *Recording and classification of the acoustic environment of hearing aid users*. *Journal of the American Academy of Audiology*, 19, 348-370.



Besser hören, mehr vom Leben

Ein weltweites Unternehmen mit Hauptsitz
in Eden Prairie, Minnesota, USA

Starkey Laboratories, Inc.
6700 Washington Avenue S.
Eden Prairie, MN 55344
StarkeyPro.com

Starkey Laboratories (Germany) GmbH
Weg beim Jäger 218-222
22335 Hamburg
www.starkeypro.de, www.starkey.de