

Background Story

SoundRecover

Die Bedeutung einer großen wahrnehmbaren Bandbreite

Zusammenfassung

Für Menschen mit Hörminderung ist es ganz besonders wichtig, dass sie hochfrequente Klänge leicht und präzise wahrnehmen und unterscheiden können. Diese Signale enthalten Informationen der Sprache, die insbesondere in den alltäglich gegebenen geräuschvollen Hörbedingungen die Verständlichkeit verbessern. Die deutliche Wahrnehmung dieser Klänge kann zudem wertvolle Hinweise zur Klanglokalisierung geben und bringt besonders Vorteile bei der Sprachentwicklung. In jüngster Zeit wurden einige digitale Hörgeräte eingeführt, die angeben, eine erweiterte Bandbreite zur Verfügung zu stellen und damit auch eine bessere Verstärkung von Tönen im hohen Frequenzbereich. Doch die mit elektroakustischen Verfahren gemessene Bandbreite ist nicht unbedingt repräsentativ für die wahrnehmbare Bandbreite, die man in realen Hörsituationen erhält. Wenn die wahrnehmbare Bandbreite für die Audiogrammkonfiguration jedes einzelnen Schwerhörenden ermittelt wird, zeigt sich, dass die grössere Verstärkung der hohen Frequenzen, die man von Geräten mit erweiterter Bandbreite erwartet, in der Praxis nur schwer zu erzielen ist. Der proprietäre nichtlineare Frequenzkompressions-Algorithmus SoundRecover von Phonak kann hingegen die wahrnehmbare Bandbreite effektiv erweitern, indem er die Hör- und Unterscheidbarkeit von hochfrequenten Signalen verbessert.

Einleitung

Ein entscheidender Parameter jedes Kommunikationssystems ist die **Bandbreite**, die seine Fähigkeit kennzeichnet, Informationen zu transportieren. Über einen Breitbandzugang hat man beispielsweise einen wesentlich schnelleren Zugang zum Internet als über eine Wählverbindung. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass eine Breitbandverbindung höhere Frequenzen nutzt, um digitale Daten zu befördern. In der Regel wird die Bandbreite als der Frequenzbereich definiert, den ein Kommunikationskanal transportieren kann. Das Ausweiten der Bandbreite bedeutet, den Frequenzbereich zu vergrössern und damit das Befördern von mehr Informationen über den betreffenden Kanal zu ermöglichen.

Dasselbe Prinzip kann man auf das Hören anwenden. Es herrscht Konsens darüber, dass die normale Hörbandbreite im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz liegt. Doch die Hörbarkeit eines Lauts, beispielsweise eines reinen Tons, hängt nicht nur von seiner Frequenz sondern auch von seinem Schalldruckpegel ab.

Eine für die Praxis hilfreichere Definition von Bandbreite würde angeben, in welchem Frequenzbereich Töne mühelos angenehm laut gemacht werden können. Dies ist in Abbildung 1 (Robinson und Dadson, 1957) dargestellt, welche den Schalldruckpegel in dB SPL (vertikale Achse) darstellt, der nötig ist, um dieselbe Lautheit für Töne zu erzeugen, die über einen breiten Frequenzbereich hörbar sind (durchgehende Kurve).

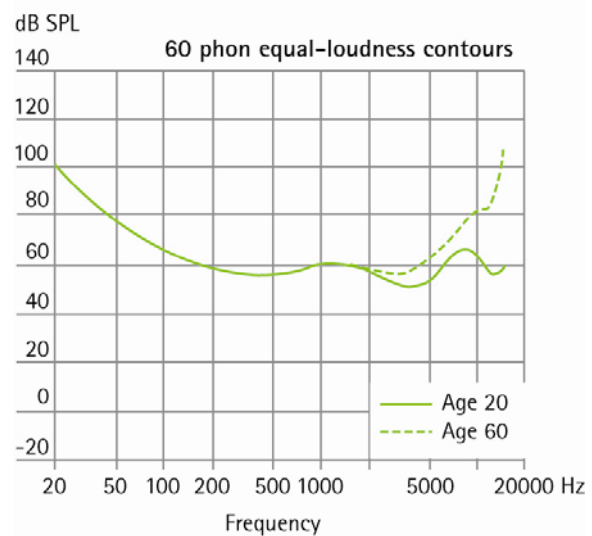


Abbildung 1: Gleicher Lautheitsverlauf bei jungen (durchgehende Kurve) und älteren Hörern (gestrichelte Kurve) mit normaler Hörfähigkeit. Die vertikale Achse zeigt einen mittleren Schalldruckpegel, der als gleich laut über den gesamten Frequenzbereich (horizontale Achse) wahrgenommen wird.

In dieser Grafik ist ein Ton bei 1 kHz mit einem Schalldruckpegel von 60 dB SPL dargestellt, was für einen durchschnittlichen Hörer mit normaler Hörfähigkeit eine angenehme Lautstärke wäre. Um dieselbe Lautstärke zu erhalten, wenn die Frequenz sich

ändert, muss der Schalldruckpegel des Tons über den Frequenzbereich von etwa 80 Hz bis fast 20 kHz um ungefähr 10 dB angepasst werden. Bei Frequenzen unter 80 Hz müsste der Pegel erhöht werden, um dieselbe wahrgenommene Lautheit zu erhalten. Ein Ton bei 20 Hz müsste beispielsweise mit etwa 100 dB SPL erzeugt werden, damit er mit der gleichen Lautheit gehört wird wie der 1-kHz-Ton bei 60 dB SPL. Hieran wird deutlich, dass die hörbare Bandbreite stark vom Schalldruckpegel abhängt, auch bei normal hörenden Personen. In der Regel lässt sich die effektive wahrnehmbare Bandbreite erhöhen, indem man den Schalldruckpegel erhöht.

In Abbildung 1 sind auch die Kurven gleicher Lautheit für ältere Personen dargestellt, bei denen ein normales Hörvermögen angenommen wird (gestrichelte Kurve). Obwohl es bei dieser Gruppe keine Anzeichen für Gehörschäden gab, war ihre durchschnittliche Empfindlichkeit für hochfrequente Töne deutlich geringer als bei jüngeren Hörern (durchgehende Kurve). Bei 10 kHz lag die Pegeldifferenz bei diesen beiden Gruppen beispielsweise bei fast 20 dB für das gleiche Lautheitsempfinden. Noch grössere Unterschiede ergeben sich bei höheren Frequenzen. Im Gegensatz dazu hat das Alter keinen Einfluss auf das Lautheitsempfinden bei niedrigeren Frequenzen unter 2 kHz. Die Messungen decken sich mit den Erkenntnissen vieler Studien, die gezeigt haben, dass das Lautheitsempfinden für hohe Frequenzen mit zunehmendem Alter einer Person abnimmt, auch wenn kein spezifisches Krankheitsbild vorliegt. Wenn also die Bandbreite des Hörens aufgrund des altersbedingten Hörverlusts schmaler wird, ist der Grund hierfür in der Regel eine Veränderung des Lautheitsempfindens bei höheren Frequenzen und nicht bei niedrigen. Darüber hinaus kann eine ähnliche Art der Bandbreiteneinengung durch die üblichen Ursachen für Hörverluste wie übermäßige Lärmbelastung, verschiedene Krankheiten, Nebenwirkungen von ototoxischen Medikamenten und andere Ursachen bedingt sein.

Inwiefern betreffen diese Überlegungen eine Person, die ein Hörgerät (HG) verwendet? Die Antwort ist aufgrund von zwei miteinander interagierenden Faktoren komplex. Zunächst gibt es die spezielle Ausprägung der Hörschwäche jedes einzelnen HG-Benutzers, die im Audiogramm zum Ausdruck kommt. Der zweite Faktor ist die effektive Bandbreite des HG, die von seiner Verstärkung und dem maximalen Ausgangspegel abhängt, zwei Parameter, die frequenzabhängig sind. Zudem können bestimmte Signalverarbeitungsprozesse wie Frequenzabsenkung die wahrnehmbare Bandbreite beeinträchtigen. Wie oben erwähnt, ist es von grundlegender Bedeutung, den **kombinierten** Effekt dieser beiden Faktoren zu berücksichtigen, um die Bandbreite, die einem bestimmten HG-Benutzer zur Verfügung steht, realistisch zu ermitteln.

Die Bedeutung hoher Frequenzen für die Wahrnehmung

Viele Laute, die zur Verständlichkeit von Sprache beitragen, enthalten hochfrequente Komponenten oder werden von diesen dominiert. Ein vertrautes Beispiel ist das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein des Phonems /s/ am Ende fast aller englischen Wörter, das angibt, ob der Sprecher ein einzelnes Objekt meint oder mehrere. Je nach Alter und Geschlecht des Sprechers hat dieses Phonem in der Regel eine spektrale Spitze zwischen 4 und 6 kHz und enthält oft intensive Komponenten bis zu über 10 kHz. Es gibt in jeder Sprache zahlreiche Sprachlaute, die sich leichter unterscheiden lassen, wenn die hochfrequenten Anteile des Signals deutlich hörbar sind. Wenn ein Zuhörer versucht, Sprache in einer lauten Umgebung zu verstehen, sind diese akustischen Signale besonders wichtig, weil sie nicht so leicht von den relativ intensiven niederfrequenten Komponenten verbreiteter Lärmarten überlagert werden können. Darüber hinaus haben schwerhörende Kinder, die eine Sprache neu lernen, einen Vorteil, wenn sie die hohen Frequenzen der Sprachlaute hören, die sie versuchen zu reproduzieren (Stelmachowicz et al., 2002).

Neben diesen allgemein anerkannten Nutzen für die Sprachwahrnehmung (Simpson et al., 2005) und die Sprachproduktion bietet die gute Hörbarkeit von Klängen weitere Vorteile. So werden zum Beispiel wertvolle Informationen über die Quelle von Klängen wie Vogelgezwitscher und verschiedene andere Umweltgeräusche vorwiegend durch hochfrequente Komponenten übermittelt. Die subjektive Qualität dieser Klänge wird als relativ schlecht eingestuft, wenn diese hohen Frequenzen zu leise oder unhörbar sind (Moore & Tan, 2003). Die Fähigkeit von schwerhörenden Menschen Klänge die hohe Frequenzen enthalten zu lokalisieren, kann auch durch eine erweiterte Bandbreite des HG verbessert werden, da auch hier der Ohr zu Ohr Unterschied des Schallpegels einen aussagekräftigen Hinweis darauf liefern kann, aus welcher Richtung der Schall kommt. Der Pegelunterschied muss auf jedem Ohr als Lautheitsunterschied empfunden werden, so dass das HG eine geeignete Bandbreite besitzen muss, um sicherzustellen, dass die hochfrequenten Signale mit angemessenem Pegel gehört werden (Dubno et al., 2002).

Bandbreite von Hörgeräten

In der Vergangenheit war die Begrenzung der Bandbreite im hohen Frequenzbereich bei analogen Hörgeräten durch die elektroakustische Leistungsfähigkeit bedingt. Insbesondere bei High-Power-Hörgeräten war es oft schwierig, bei Frequenzen über 4 kHz einen angemessenen Schalldruckpegel zu erzielen. In den letzten Jahren wurde die Verstärkertechnologie in dem Masse verbessert, dass die Bandbreiteneinschränkungen durch andere Faktoren bedingt sind.

Bei allen digitalen Hörgeräten gibt es eine absolute Grenze der Bandbreite, die direkt durch das Samplingverfahren bedingt ist. Das Sampling ist erforderlich, um die Schallsignale am Eingang des HG in einen Strom separater digitaler Signale zu konvertieren. Die Samplingfrequenz muss hoch genug sein, um sicherzustellen, dass das kontinuierlich variierende akustische Signal im digitalen Prozessor angemessen originalgetreu wiedergegeben wird. Die Wahl der Samplingfrequenz basiert auf dem grundlegenden Prinzip der digitalen Signalverarbeitung, das besagt, dass die höchste Frequenz, die sich nach dem Sampling angemessen darstellen lässt, etwas weniger als die Hälfte der Samplingfrequenz ist. Bei Normalhörenden liegt die obere Frequenzgrenze in der Regel bei 20 kHz, so dass die erforderliche Samplingfrequenz bei über 40 kHz liegt. Tatsächlich werden digitale Signale die auf eine Standard-CD aufgenommen werden, mit einer Frequenz von 44,1 kHz gesampelt.

Leider kann die Verwendung von relativ hohen Samplingraten auch unerwünschte Nebeneffekte haben. In jedem modernen Hörgerät ist der digitale Signalprozessor so programmiert, dass er die Eingangssignale mit einer Frequenz modifiziert, die gleich oder proportional zu der Samplingfrequenz ist. Aus diesem Zusammenhang resultiert die Tatsache dass die höheren Samplingfrequenzen einen höheren Stromverbrauch verursachen und damit die Lebensdauer der Batterie verkürzen. Entwickler von digitalen HG sind also mit dem Problem konfrontiert, dass die Erweiterung der akustischen Bandbreite des Geräts eine kürze Batterielebensdauer nach sich zieht. Deshalb ist es üblich, dass die Samplingfrequenz bei Hörgeräten bei etwa 20 kHz liegt. Mit dieser Entscheidung ist der obere Grenzwert der Bandbreite für den vom HG erzeugten Schalls bei etwa 10 kHz. Bei einigen Geräten kann die Samplingfrequenz sogar nur 16 kHz betragen, was zu einer akustischen Bandbreite von unter 8 kHz führt.

Es gibt einige herkömmliche Verfahren für die Messung der Bandbreite von Hörgeräten. Eine weit verbreitete Technik wird vom American National Standards Institute (ANSI) spezifiziert. In der Norm ANSI S3.22 wird die Verstärkung des HG den festgelegten Referenzbedingungen (Reference Test Gain, RTG) angepasst, und die entsprechende Wiedergabekurve als eine Funktion der Frequenz gemessen. In Abbildung 2 ist eine typische Messung dargestellt, bei der zwei Hörgeräte mit erweiterter Bandbreite als Beispiele verwendet wurden. Für ein Eingangssignal bei 60 dB werden die Werte des Ausgangssignals bei drei bestimmten Frequenzen gemittelt (in der Regel 1,0 kHz, 1,6 kHz und 2,5 kHz). Anschliessend werden zwei Frequenzen ermittelt, bei denen das Ausgangssignal 20 dB unter dem berechneten Durchschnitt liegt. Diese beiden Frequenzen werden verwendet, um die obere und die untere Grenze der Bandbreite zu definieren. Bei der in Abbildung 2 dargestellten Wiedergabekurve reicht die nach dem ANSI-Verfahren geschätzte Bandbreite von Hörgerät A von unter 100 Hz bis etwa 7,5 kHz.

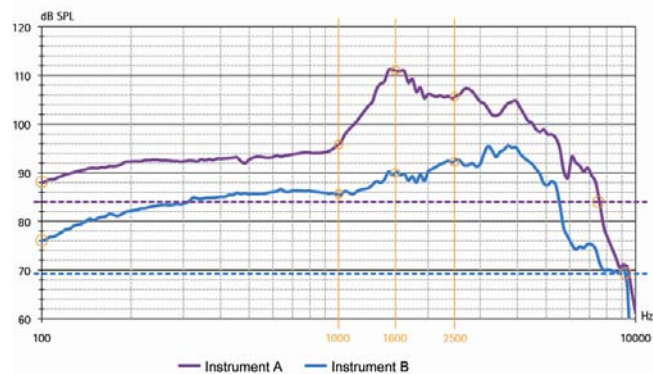


Abbildung 2: Beispiel einer Bandbreitenbestimmung nach dem ANSI-Standard für zwei gängige Hörgeräte. Jede Kurve zeigt den Ausgangsschalldruck über der Frequenz unter RTG-Bedingungen bei einem Input von 60 dB. Die Wiedergabekurve wird bei drei Frequenzen gemittelt (vertikale gelbe Linien) und dann um 20 dB reduziert (gestrichelte horizontale Linien). Die Bandbreite ist durch die Frequenzen begrenzt, bei denen diese Linien die Kurve schneidet. Somit hat Hörgerät A eine obere Bandbreitenbegrenzung von etwa 7,5 kHz, während Hörgerät B eine obere Bandbreitenbegrenzung von 9,2 kHz hat.

In Abbildung 2 ist ausserdem dieselbe Messung für Hörgerät B dargestellt, bei dem die nach der ANSI-Methode ermittelte obere Bandbreitenbegrenzung bei etwa 9,2 kHz liegt. Es ist jedoch auch deutlich erkennbar, dass der berechnete durchschnittliche Ausgangsschalldruck von Hörgerät A bei allen Frequenzen höher ist als der von Hörgerät B. Zieht man für die Schätzung der Bandbreite den absoluten Wert des Schalldruckpegels heran statt des Schalldrucks in Relation zu den Referenzbedingungen sind die oberen Frequenzgrenzen dieser beiden Hörgeräte fast identisch. Diese Beobachtungen machen deutlich, dass Bandbreitenmessungen, die nach einem technischen Standard durchgeführt werden, nicht unbedingt hilfreiche Informationen über die effektive Bandbreite eines Hörgeräts liefern, das an einen Benutzer angepasst ist. Eine Bestimmung der **wahrnehmbaren Bandbreite**, die nicht nur die elektroakustischen Merkmale des HG berücksichtigt, sondern auch die Konfiguration und das Mass der Hörminderung des Benutzers, ist hingegen wesentlich aufschlussreicher.

Wahrnehmbare Bandbreite

Ein herkömmliches Audiogramm zeigt die Hörschwelle einer Person bei einer Reihe unterschiedlicher Frequenzen auf. Die niedrigste Frequenz ist in der Regel 125 oder 250 Hz, während die höchste Frequenz bei bis zu 8 kHz liegen kann. Aus verschiedenen technischen und praktischen Gründen kann es schwierig sein, zuverlässige Hörschwellen für sehr hohe Frequenzen zu erhalten (z.B. über 8 kHz). Auch wenn zusätzliche Hörschwellen für Frequenzen zur Verfügung stehen, die über die in der klinischen Praxis routinemässig gemessenen Frequenzen hinausgehen, geben Anpassregeln, welche die Verstärkungs- und Amplituden – Kompressionseigenschaften für ein HG spezifizieren, in der Regel keine Zielwerte bei diesen zusätzlichen Frequenzen an. Dennoch wäre es erforderlich, die hochfrequenten Hörschwellen zu kennen, um

den gesamten Frequenzbereich einzuschätzen, den ein bestimmtes individuell angepasstes HG hörbar machen kann.

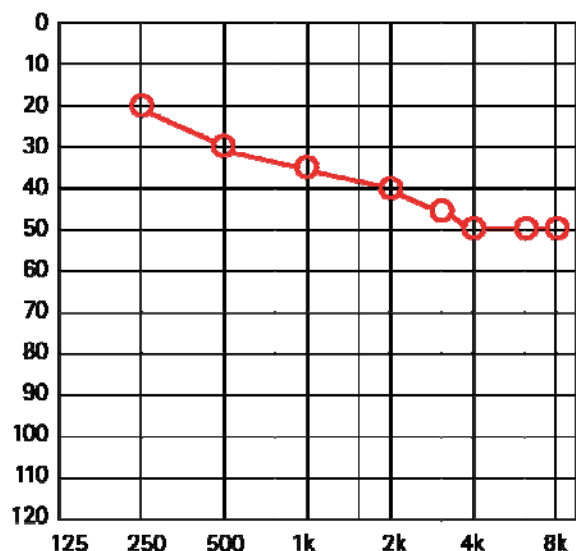


Abbildung 3: Audiogramm für einen typischen leichten bis mittleren Hörverlust mit Hochtonschrägabfall.

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für einen typischen milden bis mittleren Hörverlust mit Hochtonschrägabfall mit Hörschwellen von 50 dB HL bei und über 4 kHz. Die Umwandlung in äquivalente Schalldruckpegel am Trommelfell wird als rote Kurve im Audiogramm in Abbildung 4 dargestellt. Zudem ist auch die Anpassung eines Phonak HG mit erweiterter Bandbreite abgebildet. Der proprietäre Frequenzkompressionsalgorithmus **SoundRecover** ist deaktiviert (grüne Kurve). Das HG wurde so angepasst, dass es so dicht wie möglich an dem errechneten Zielwert der Anpassformel DSL v5.0a für Erwachsene liegt.

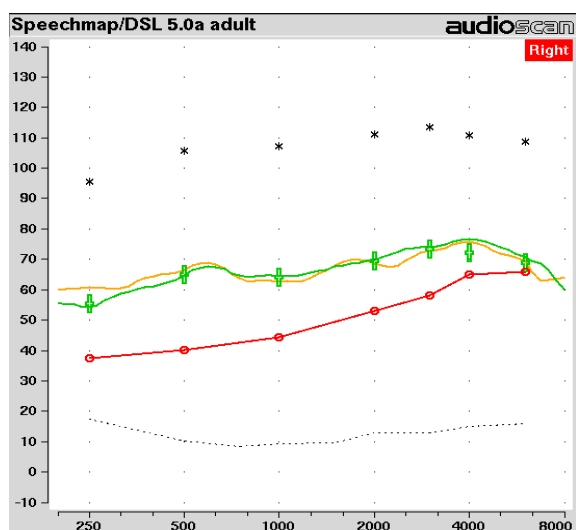


Abbildung 4: Die Ergebnisse der Anpassung von zwei HG gemäss der Anpassformel DSL-v5.0a (grüne Kreuze) für das in Abbildung 3 gezeigte Audiogramm (rote Kurve). Beim HG von Phonak (grüne Kurve) war SoundRecover deaktiviert. Die gelbe Kurve zeigt vergleichbare Ergebnisse mit einem HG eines anderen Herstellers, das eine erweiterte Bandbreite haben soll.

Es ist offensichtlich, dass das Phonak HG ohne SoundRecover in der Lage ist, bis mindestens 6 kHz eine nutzbare Hörbarkeit des Testsignals (Sprache bei einem durchschnittlichen Pegel von 65 dB SPL) zu liefern. Die gelbe Kurve in derselben Abbildung zeigt zum Vergleich die Ergebnisse für ein Premium-Produkt eines Wettbewerbers, das eine erweiterte Bandbreite bis 10 kHz haben soll. Die in Abbildung 4 dargestellten Messungen zeigen ganz deutlich, dass diese beiden HG fast identische wahrnehmbare Bandbreiten haben, wenn sie an eine gängige Audiogrammkonfiguration angepasst sind. Doch keines der beiden HG würde eine nutzbare Hörbarkeit für Frequenzen über 6 kHz liefern, und das obwohl in beiden Geräten die maximal verfügbare Verstärkung für diese Frequenzen gewählt wurde. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Einschränkung der Hörbarkeit über 6 kHz auch bei leichtem bis mittlerem Hörverlust mit Hörschwellen von nur 50 dB HL gegeben ist. Diese Einschränkung der wahrnehmungsadäquaten Bandbreite ergibt sich sowohl aus den Eigenschaften des Audiogramms als auch aus der technischen Leistungsfähigkeit der HG, wenn sie für ein bestimmtes Audiogramm angepasst sind.

Wie lässt sich diese Einschränkung überwinden? Zurzeit besteht die einzige praktische Lösung in der Verwendung eines hochentwickelten Algorithmus für die Frequenzkompression, wodurch sich die Hörbarkeit von hochfrequenten Schallsignalen ohne die Beeinträchtigung von Signalen mit niedrigeren Frequenzen verbessern lässt. SoundRecover, die einzigartige Lösung von Phonak, erweitert die für HG-Benutzer verfügbare wahrnehmbare Bandbreite, indem ein auf hohe Frequenzen beschränktes Frequenzband komprimiert und verschoben wird. Der Effekt von SoundRecover auf die Bandbreite ist in Abbildung 5 dargestellt. Es zeigt, wie die maximale Eingangsfrequenz reduziert wird, damit sie in die nutzbare Bandbreite des HG fällt, wenn dieses korrekt an die schwerhörende Person angepasst ist. Nur Frequenzen über einer festgelegten Grenzfrequenz werden auf diese Weise komprimiert. Da niedrigfrequente Signale den Frequenzkompressionsprozess nicht durchlaufen, bleibt die Qualität des Schalls für den HG-Benutzer erhalten.

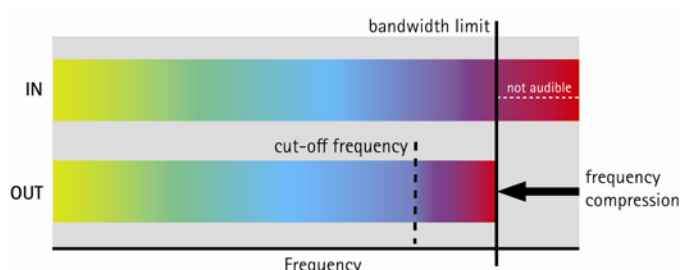


Abbildung 5: Wie SoundRecover die wahrnehmbare Bandbreite ausdehnen kann. Der obere Balken zeigt das volle Frequenzspektrum des Schalls am Eingang eines Hörgeräts. Signale mit Frequenzen über der Bandbreitengrenze, durch die rechte durchgehende schwarzen Linie dargestellt, sind für den HG-Benutzer nicht hörbar. Mit aktiviertem SoundRecover werden die Signale oberhalb der Grenzfrequenz jedoch so komprimiert, dass sie in die verfügbare Bandbreite fallen (unterer gestrichelter Balken).

Eine Reihe von Studien hat gezeigt, dass die Sprachverständlichkeit bei der Verwendung von SoundRecover sowohl in ruhiger als auch in geräuschvoller Umgebung häufig verbessert wird und dass die Klangqualität der Verarbeitung auf hohe Akzeptanz stößt (Glista et al., 2009, Wolfe et al., 2009). Es wurden keine Einschränkungen dieser Vorteile bei bestimmten Altersgruppen, einem bestimmten Grad des Hörverlusts oder einer bestimmten audiometrischen Konfigurationen festgestellt.

Abbildung 6 zeigt die erwarteten wahrnehmbaren Effekte von SoundRecover, wenn es bei dem Phonak Hörgerät aktiviert ist. Im Gegensatz zu Abbildung 4 ist hier der Ausgangsschalldruck jedes HG für ein Testsignal dargestellt, das aus einem Schmalbandrauschen mit einem Mittelwert bei 6,3 kHz besteht. (Hierbei handelt es sich um synthetisches Signal, das für den klinischen Gebrauch des Verifit-Verifikationssystems zur Verfügung gestellt wurde und das ähnliche Eigenschaften hat wie das Phonem /s/).

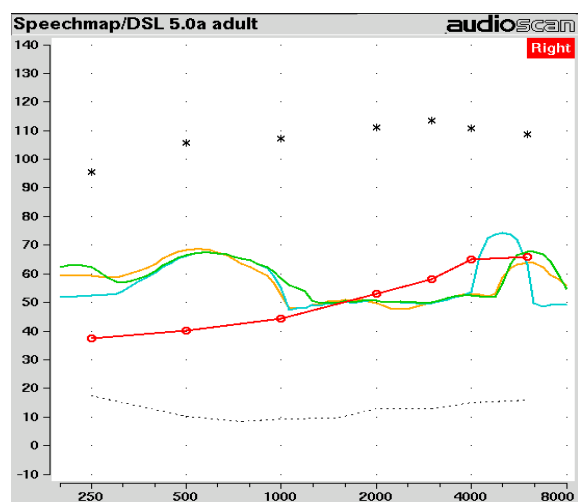


Abbildung 6: Wie Abbildung 4, jedoch für ein Eingangssignal, das aus einem Schmalbandrauschen mit einem Mittelwert bei 6,3 kHz besteht. Die blaue Kurve zeigt den Effekt von SoundRecover beim Phonak HG.

Ohne SoundRecover (grüne Kurve) wird nur eine geringfügige Hörbarkeit dieses Signals erreicht, und das Gerät des Wettbewerbs (gelbe Kurve) hat seinen Spitzenwert sogar unterhalb der Hörschwelle und liefert somit gar keine Hörbarkeit. Es ist zu beachten, dass die Anpassungsparameter für jedes HG unverändert blieben (so wie bei Abbildung 5 beschrieben) und optimal auf die maximale Verstärkung hoher Frequenzen abgestimmt wurden. Mit aktiviertem SoundRecover wird das Testsignal durch das Phonak HG auf ein deutlich hörbares Niveau verstärkt (blaue Kurve). Weitere Einzelheiten zur Durchführung und Interpretation des Verifit-Verfahrens zur Messung der Leistung von Hörgeräten mit Frequenzverschiebungstechnologie enthält das Dokument *"Guidelines for fitting hearing instruments with SoundRecover"*, das unter www.phonak.com zur Verfügung steht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fortschritte bei der Signalverarbeitung und im Hörerdesign es ermöglichen Hörgeräte zu entwickeln, die im Kuppler gemessen eine

elektroakustische Wiedergabekurve bis 10kHz erreichen. Die „reale“ nutzbare Verstärkung über 6 kHz wird in der Praxis oft nicht erreicht, selbst wenn so ein Gerät auf einen leichten bis mittleren Hörverlust angepasst ist. Bei vielen der heutigen Anpassungen reicht die erweiterte Bandbreite des HG alleine nicht aus, um die wahrnehmbare Bandbreite zu erweitern und damit hochfrequente Signale hörbar zu machen. Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass die Hörbarkeit dieser Signale sehr wichtig ist. SoundRecover liefert diese ansonsten nicht erreichte Hörbarkeit hoher Frequenzen durch die zusätzliche Ausweitung der wahrnehmbaren Bandbreite von Phonak HG, zusätzlich zu der ohnehin schon vergleichsweise breiten Bandbreite der Geräte, die aufgrund des grundlegenden elektroakustischen Designs gegeben ist. Die Vorteile dieser Technologie wurden in einer Reihe von Studien wissenschaftlich nachgewiesen, die sowohl in begutachteten (Peer Review) als auch nicht begutachteten Zeitschriften erschienen sind (siehe weitere Publikationen zu SoundRecover am Ende dieses Dokuments).

Literatur

Dubno JR, Ahistrom JB, Horwitz AR (2002) Spectral contributions to the benefit from spatial separation of speech and noise. *J Speech Lang Hear Res* 45:1297-1310.

Glista D, Scollie S, Bagatto M, Seewald R, and Johnson A (2009) Evaluation of nonlinear frequency compression: Clinical outcomes. *Int J Audiol*, 48(9): 632-44.

Moore BC, Tan CT, (2003) Perceived naturalness of spectrally distorted speech and music. *J Acous Soc Am* 114: 408-419.

Robinson DW, Dadson RS (1957) Threshold of hearing and equal-loudness relations for pure tones, and the loudness function. *J Acous Soc Am* 29:1284-1288.

Simpson A, McDermott HJ, Dowell RC (2005) Benefits of audibility for listeners with severe high-frequency hearing loss. *Hear Res* 210:42-52.

Stelmachowicz PG, Pittman AL, Hoover BM, Lewis DE (2002) Aided perception of /s/ and /z/ by hearing-impaired children. *Ear Hear* 23:316-324.

Wolfe J, Caraway T, John A, Schafer E, & Nyffeler M (2009) Initial experiences with nonlinear frequency compression for children with mild to moderately severe hearing loss. *Hear J* 62(9): 32-35.

Verfasser:

Prof. Hugh McDermott
Stellvertretender Direktor (Forschung)
The Bionic Ear Institute
384-388 Albert Street
East Melbourne VIC 3002
Australien

Weitere Publikationen zu SoundRecover

Bagatto M, Scollie S, Glista D, Pasa V, Seewald R (2008) Case study outcomes of hearing impaired listeners using nonlinear frequency compression technology. *Audiology Online*, March.

Boretzki M, Kegel A (2009) The benefits of nonlinear frequency compression for people with mild hearing loss. *Audiology Online*, November.

Dewald N (2009) Experiences with a wide application of SoundRecover, non-linear frequency compression. *Audiology Online*, October.

Glista D, Scollie S, Polonenko M, Sulkers J (2009) A comparison of performance in children with non-linear frequency compression systems. *Hearing Review*, November, 20-24.

Kegel A, Boretzki M (2009) Nutzen von SoundRecover für Menschen mit einer milden Hörminderung. *Hörakustik* August

McDermott HJ, Glista D (2007) SoundRecover: A breakthrough in enhancing intelligibility. *Background Story*, Phonak AG.

McDermott HJ (2010). The benefits of nonlinear frequency compression for a wide range of hearing losses. *Audiology Online*, January.

Nyffeler M (2008) The Naída power hearing instrument family – field test results demonstrate better speech clarity – unparalleled in its class. *Audiology Online*, September.

Nyffeler M (2008) Study finds that non-linear frequency compression boosts speech intelligibility. *Hear J* 61(12): 22-26.

Simpson A, Hersbach AA, McDermott HJ (2005) Improvements in speech perception with an experimental nonlinear frequency compression hearing device. *Int J Audiol* 44(5):281-292.

Simpson A, Hersbach AA, McDermott HJ (2006) Frequency-compression outcomes in listeners with steeply sloping audiograms. *Int J Audiol* 45(11): 619-29.

Wolfe J, Caraway T, John A, Schafer E, & Nyffeler M (2009) Verbesserung beim Erkennen und Erlernen hochfrequenter Signale. *Hörakustik* Oktober.