

# UNABHÄNGIGE STUDIE ERGIBT HERVORRAGENDE BEWERTUNGEN FÜR SURROUND SOUND BY RESOUND

Lisa Sjölander, Au.D., Jennifer Groth, M.A.

---

## Zusammenfassung

Hörgerätehersteller werben oft mit hervorragender Klangqualität und technologischen Neuerungen. Diese Werbeversprechen sind jedoch nur schwer objektiv zu dokumentieren. In dieser Publikation stellen wir Ergebnisse einer Studie zur Klangqualität von Highend-Hörsystemen vor, bei der eine einzigartige Methode verwendet wurde, um subjektive Beurteilungen der Teilnehmer zu verhindern. Die Ergebnisse unterstützen das Versprechen, dass die Klangverarbeitungsstrategie Surround Sound by Resound™ Hörgeräteträgern hervorragende Klangqualität bietet. Resound LiNX™ umfasst Surround Sound by ReSound und ermöglicht das Streaming von Apples iPhone, iPad und iPod touch. Dies ist eine technologische Neuerung, denn ReSound LiNX ist das erste Hörsystem „Made for iPhone“, das sich wireless ohne umständliche Geräte verbindet.

---

## EINLEITUNG

Haben Sie im Urlaub schon einmal ein außergewöhnliches Gericht bestellt und es hat Ihnen so gut geschmeckt, dass Sie zu Hause versucht haben es nachzukochen, doch leider hat es bei Ihnen nicht annähernd so gut geschmeckt wie im Urlaub? Das kommt öfter vor und ist keine falsche Erinnerung, sondern der Einfluss verschiedener Reize während einer Sinneserfahrung. Auch das Hören spielt dabei eine Rolle. Zum Beispiel ist nachgewiesen, dass Meeresfrüchte besser schmecken, wenn man sie bei Meeresrauschen isst, auch wenn man selbst gar nicht am Meer ist.<sup>1</sup>

Klang ist unbestritten ein einflussreicher Aspekt des menschlichen Lebens. Nicht nur müssen wir zur verbalen Kommunikation Töne erzeugen und empfangen, Töne vermitteln auch Nuancen und Feinheiten von Emotionen, helfen uns bei der Orientierung in unserer Umgebung und dienen der Unterhaltung. Die Qualität des gehörten Tons ist ein wesentlicher Bestandteil der menschlichen Erfahrung. Daraus folgt, dass Klangqualität auch bei Hörsystemen eine wesentliche Rolle spielt. Der vom Hörsystem wiedergegebene Klang beeinflusst, wie der Nutzer die Welt erlebt. In Anbetracht dessen ist es wenig überraschend, dass Studien belegen, dass Aspekte der Klangqualität wie Klarheit und Natürlichkeit stark mit der Zufriedenheit mit Hörsystemen zusammenhängen.<sup>2</sup>

Trotz ihrer Bedeutung kann die Klangqualität für den Hörgeräteträger schwer zu definieren sein. Das liegt daran, dass die Verarbeitungsstrategien des Hörsystems die eingehenden Signale signifikant verändern, da sie die verlorene Hörfunktion zu kompensieren versuchen. Zum Beispiel resultieren die von uns für eine verordnete Versorgung verwendeten Formeln immer in einer Gewichtung der Verstärkung in bestimmten

Frequenzbereichen und verzichten damit auf akustische Signale, die exakte Nachbildungen des Originals sind. Hörsystemträger können Klangqualität wie folgt beurteilen: Passen die verstärkten Töne zu ihrem Hörbereich? Werden Geräusche verzerrt? In welchem Maß werden unerwünschte Signale wie Hintergrundgeräusche, akustische Rückkopplungen oder Signalverarbeitungsartefakte gehört und als unangenehm empfunden? Auf diese Weise werden auch in den MarkeTrak-Umfragen verschiedene Dimensionen der Hörerzufriedenheit in Klangqualitätsgruppen unterteilt: „bessere Klangqualität“, „weniger Pfeifen und Rauschen“, „mehr leise Töne hörbar“ und „laute Töne weniger unangenehm“.

ReSound weiß um die Bedeutung der Klangqualität und wendet deshalb eine Klangverarbeitungsstrategie an, dank der Hörgeräteträger ein ausgezeichnetes Sprachverstehen, eine bessere Wahrnehmung ihrer Hörumgebungen und eine satte, dynamische und detailreiche Klangqualität erhalten. Surround Sound by ReSound nutzt hochentwickelte Technologien, die das digitalisierte Signal modellieren, filtern, ausgleichen und stabilisieren, bevor es dem Hörer zugeführt wird. ReSound LiNX weitet diese Strategie auf die Elektronikwelt aus und ist das erste Hörsystem mit einer Direktverbindung zu iPhone, iPad und iPod touch für Telefongespräche und Streaming in Stereoqualität. In dieser Publikation behandeln wir einige Elemente, die in hohem Maße zur Klangqualität beitragen, und weisen nach, dass die Kombination der Surround-Sound-by-ReSound-Technologien zu einer den meisten anderen Hörgeräten überlegenen wahrgenommenen Klangqualität führt.



ReSound LiNX überträgt Audiosignale direkt vom iPhone, iPad und iPod touch.

## MESSUNG DER KLANGQUALITÄT

Praktisch alle Hörsystemhersteller versprechen für ihre Hörgeräte hervorragende Klangqualität. Diese Behauptung kann nur schwer widerlegt werden, da es nur wenige Methoden zur unvoreingenommenen Bewertung der Klangqualität von Hörsystemen gibt. Zum einen ist Klangqualität eine Frage der Wahrnehmung. Obwohl bestimmte objektive Messungen physikalischer Eigenschaften wie Verzerrung in gewisser Weise mit der Beurteilung der Klangqualität zusammenhängen, sind sie nur wenig aussagekräftig. Erschwerend kommt hinzu, dass variierende Dimensionen der Klangqualität, z. B. Klarheit oder Natürlichkeit, in ihrer Wichtigkeit von Patienten unterschiedlich gewichtet werden. Zu guter Letzt erschwert die eingeschränkte Leistung des auditiven Gedächtnisses Hörsystemträgern die faire Bewertung feiner Details im Vergleich verschiedener Hörsysteme.

ReSound hat gemeinsam mit einem externen Labor\* versucht, die Klangqualitätsvorteile von Surround Sound by ReSound zu quantifizieren, indem es erfahrene Hörsystemnutzer um eine Beurteilung der Klangqualität verschiedener aktueller hochmoderner Hörsysteme gebeten hat. Die Methodik, die an anderer Stelle näher beschrieben wird<sup>3</sup>, unterschied sich in zweierlei Hinsicht von anderen Methoden zur Bewertung der Klangqualität. 1. Die achtzehn mittelgradig schwerhörigen Teilnehmer waren in der Lage, uneingeschränkte, direkte Vergleiche der Reize anzustellen, die durch jedes der getesteten Hörgeräte aufgezeichnet und ihnen über Kopfhörer präsentiert wurden. Dadurch waren nicht nur die Einschränkungen des auditiven Gedächtnisses geringer, die Teilnehmer wussten auch nichts über die jeweiligen Hörgeräte und konnten sie nicht anhand anderer Eigenschaften wie Marke, Aussehen oder Passform bewerten. 2. Die Teilnehmer nutzten Schieberegler auf einer visuellen durchgehenden Skala, um den Testhörgeräten von „gefällt mir am besten“ zu „gefällt mir am wenigsten“ eine Rangfolge zuzuweisen. Dadurch waren sie gezwungen, die gesamte Skala zu nutzen, was eine bessere Unterscheidung der Impulse ermöglicht als die gleichzeitige Bewertung mehrerer Proben. Eine weitere einzigartige Eigenschaft dieser

Evaluierung war der Einsatz von Teilnehmern, die sich durch die Teilnahme an verschiedenen Diskriminationstests<sup>4</sup> für die Evaluierung qualifiziert hatten.

Es wurden sieben Klangszenerarien vorgestellt und evaluiert. Die roten Datenpunkte in Abbildung 1 zeigen die Präferenzen insgesamt, d. h. die durchschnittlichen Bewertungen aller achtzehn Teilnehmer und Klangszenerarien. Die schwarzen Datenpunkte zeigen Ergebnisse einer früheren Studie unter Verwendung der gleichen Methodik und die vorherigen Highend-Produkte der verglichenen Hersteller zum Vergleich. Die Klangqualität der ReSound-Produkte wurde im Vergleich mit zwei Generationen von Hörsystemen durchweg als sehr gut bewertet.

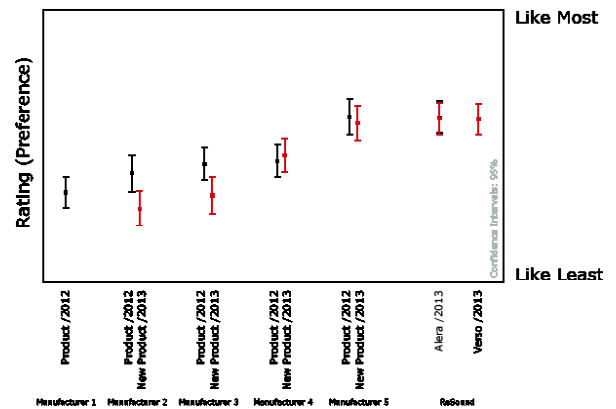


Abbildung 1. ReSound-Hörsysteme erhielten dank Surround Sound by ReSound, das in allen ReSound-Produkten zum Einsatz kommt, innerhalb von Produktgenerationen in puncto Klangqualität Spitzenbewertungen.

## SCHWERPUNKT AUF NATÜRLICHEM HÖRERLEBNIS

Warum wird ReSound-Technologie für Klangqualität bevorzugt? 1. Die ReSound-Klangverarbeitungsphilosophie berücksichtigt natürliche Hörprozesse. Da Hören eine Gehirnleistung ist, richten sich die Entwicklungsbestrebungen auf das Nachahmen des natürlichen Hörvermögens, um die bestmöglichen Signale an das Gehirn zu übertragen. Für meisten potenziellen Hörgeräteträger besteht die Schwierigkeit darin, Klang über ein geschädigtes Sinnesorgan, die Hörschnecke, in ein intaktes auditives Verarbeitungssystem im Gehirn zu leiten. Daraus folgt, dass Hörsysteme versuchen müssen, dem hörgeschädigten Ohr die Funktionen des „gesunden Ohrs“ wiederzugeben. Geräusche werden über die raffinierten, komplexen auditiven Verarbeitungssysteme von Hörsystemträgern übertragen. Die Anpassung des Geräts an jedes Ohr sendet ein separates und unterschiedliches Signal an das Gehirn, das das Hörzentrum zu einem verschmolzenen Hörbild verarbeitet. Dieses Hörbild ist das, was der Hörsystemträger hört.

\* DELTA Senselab, Dänemark

2. Moderne Hörsysteme nutzen andere Verarbeitungsstrategien, um das Hörerlebnis durch die Reduzierung der Nebenwirkungen des Tragens von Hörgeräten, z. B. Rückkopplung und Verstärkung unerwünschter Geräusche, zu verbessern. Die Klangverarbeitungsstrategie Surround Sound by ReSound umfasst Technologien, die das gesunde Hörvermögen nachahmen, z. B. Warp-Kompressionssystem, und binaurales Hören unterstützen, z. B. Binaural Directionality™, nutzt aber auch Technologien, die das Tragen von Hörgeräten zum Vergnügen machen. Dazu gehören Technologien wie die Störgeräuschunterdrückung NoiseTracker™ II und Rückkopplungsunterdrückung DFS Ultra™ II. Es ist wichtig, dass diese Funktionen transparent sind, um die beste Klangqualität zu ermöglichen. Mit anderen Worten: Sie müssen unbemerkt vom Hörer bestimmte Ziele erreichen. Obwohl es kontraintuitiv erscheint, dass Klangverarbeitungsfunktionen keine Aufmerksamkeit auf sich ziehen sollten, liefert diese Strategie das natürlichste Hörerlebnis.

ReSound stellt auch sicher, dass die Klangqualität Teil der gesamten Erfahrung des Hörers ist, inklusive gestreamter Töne. Dazu gehören Wireless-Verbindungen sowie das Streaming von Audiosignalen von ReSound Unite™-Geräten mittels 2,4 GHz-Technologie. ReSound LiNX überträgt Audiosignale in Stereoqualität dank Apples Audiostreaming-Technologie direkt vom iPhone, iPad und iPod touch.

#### **WARP: DIE GRUNDLAGE DER KLANGQUALITÄT**

Die Hauptfunktion von Hörsystemen besteht in der Geräuschverstärkung. Deshalb ist der wichtigste Aspekt bei jeder Klangverarbeitung das Kompressionssystem. Die restliche Klangverarbeitung kann noch so gut sein, wenn das Kompressionssystem den Hörer im Stich lässt. ReSound ist führend im Ausgleichen von Hörschäden und setzte als erster Hersteller die Wide Dynamic Range Compression und als einziger Hersteller für die Verstärkung ein präzises Modell von Hörschnecken-Frequenzanalysen durch Frequenztransformation (Frequency Warping) ein. Während bei den meisten digitalen Techniken für Frequenzanalysen eine konstante Bandbreite mit einheitlichen Abständen der Bänder herauskommt, teilt das System von ReSound die Frequenzen in 17 sich überlappende Frequenzbänder auf, die der Bark-Skala entsprechen<sup>5</sup>. Die Bark-Skala ist eine akustische Skala für die wahrgenommene Tonhöhe<sup>6</sup>. Mit geringen Verarbeitungsverzögerungen und einer fast unmessbaren Verzerrung bildet dieses System die Grundlage für die überragende Klangqualität von Surround Sound by ReSound.

Das ReSound-Kompressionssystem soll seit jeher das zerrissene komprimierende nichtlineare Verhalten ausgleichen, das durch einen Schaden der Hörschnecke verursacht wird.

Um dies zu erreichen, wurden ähnliche Kompressionsparameter verwendet wie bei der Hörschneckenkompression. Dazu gehören niedrige Knickpunkte der Kompression, Kompressionsverhältnisse zwischen 1:1 und 3:1, schnelle syllabische Attack- und Release-Zeiten<sup>7,8</sup>. Hintergrund dieser Kompression ist die Theorie, dass sich das Sprachverständnis verbessert, da mehr vom Sprachsignal hörbar gemacht wird. Jedoch ist es trotz umfassender Forschungsarbeiten zur Kompression in Hörgeräten (siehe Kates<sup>9</sup> für eine Übersicht) nicht gelungen, einen Konsens über optimale Kompressionsparameter zur Versorgung eines hörgeschädigten Patienten zu erzielen. Einige Forscher haben die Nutzung einer langsamen Kompression befürwortet, die die lineare Amplifikation nachahmt, mit der Begründung, dass eine Kompression, wie sie ReSound erzielt, zu weniger spektralen und temporalen Kontrasten des Signals führt<sup>10</sup>. Im Allgemeinen gilt, dass eine schnelle Kompression die Sprachverständlichkeit maximiert, während eine langsame Kompression die akustische Integrität des Originalsignals und dadurch die Klangqualität besser bewahrt.

Wie in dieser Publikation bereits nachgewiesen, erhalten die ReSound-Hörgeräte Top-Bewertungen für die Klangqualität. Wie ist das angesichts der schnellen Kompression möglich, ein Grundprinzip, das nicht als optimal für die Klangqualität angesehen wird? Mit dem neuen WARP-Kompressionssystem ging eine wichtige Entwicklung einher: die Einführung adaptiver Zeitkonstanten. Durch die clevere Überwachung der Eingangspegelschwankungen ist der WARP-Kompressor in der Lage, Zeitkonstanten anzuwenden, die sich an das Umgebungsgeräusch anpassen. Dadurch entsteht ein Gleichgewicht zwischen der Aufrechterhaltung der Hörbarkeit in Sprachumgebungen und der Optimierung der Klangqualität in Umgebungen mit weniger schwankenden Geräuschpegeln.

Die Geräusche, die in ein Hörsystem gelangen, unterliegen starken Schwankungen im Hinblick auf den Inhalt und Pegel der Frequenz, da sich Sprachgeräusche innerhalb von Millisekunden ändern können. Die zeitverschiedene Verstärkung eines schnell reagierenden WDRC-Systems kann auf diese Veränderungen eingehen. Jedoch können diese Verstärkungsschwankungen unter bestimmten Hörbedingungen unerwünschte hörbare Effekte verursachen, z. B. wenn das eingehende Signal aus einem recht konstanten Störgeräusch besteht. Im Allgemeinen gilt: Je schnell-

ler die Verstärkung mit der Zeit variiert, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass hörbare Artefakte erzeugt werden. Eine Lösung hierfür wäre die Verwendung größerer Zeitkonstanten. Wenn die Attack-Zeiten oder Release-Zeiten lang sind, berechnet der Kompressor vor der Verarbeitung einen Durchschnittswert des Hintergrundgeräuschpegels. Das führt zu sich langsamer verändernden Verstärkungen, die Modulationseffekte sind vernachlässigbar. Diese langsame Reaktion würde jedoch die Fähigkeit des Systems behindern, die Verstärkung für plötzliche Anstiege des Eingangssignalpegels schnell zu reduzieren oder die Verstärkung für plötzliche Abstiege schnell zu erhöhen. Die Folge können Impulsgeräusche sowie eine reduzierte Hörbarkeit leiser Sprachtöne sein.

Die WARP-Kompressorlösung für dieses Problem ist die Nutzung adaptiver Zeitkonstanten. Dadurch verlangsamen sich die Reaktionen auf Schwankungen in sich langsam verändernden Geräuschumgebungen und es wird eine schnelle Reaktion auf die wichtigen Änderungen in der Lautstärke des Sprachsignals möglich. Diese ReSound-Methode passt die Attack-Zeiten an das Verhalten des Eingangssignals an<sup>11</sup>. Kleine Schwankungen des Signals sorgen für langsame Attack-Zeiten und dadurch geringere Verstärkungsschwankungen und daraus folgende Verzerrungen. Starke Anstiege des Geräuschpegels führen zu schnelleren Attack-Zeiten und garantieren somit eine schnelle Reaktion auf plötzliche starke Veränderungen des Geräuschpegels.

Messungen des adaptiven Kompressionssystems zeigen die Wirksamkeit. Abbildung 2 zeigt die Kompressorverstärkung in einem Band über einen kurzen Zeitraum für den WARP-Kompressor mit adaptiven und nichtadaptiven Zeitkonstanten mit weißem Rauschen als Eingangssignal. In beiden Fällen gibt es syllabische Zeitkonstanten mit einer Attack-Zeit von 5 ms und Release-Zeit von 70 ms. Die Spanne der Verstärkungsschwankung für das adaptive System ist ungefähr halb so groß wie für das nichtadaptive System. Abbildung 3 zeigt die Kompressorverstärkung für ein Spracheingangssignal mit adaptiven und nichtadaptiven Zeitkonstanten. Die Reaktionen sind nahezu identisch; diese Ergebnisse zeigen, dass das adaptive System ein bestimmtes zeitverändertes Verhalten für Sprache zeigt und dabei die Wahrscheinlichkeit ablenkender Verstärkungsschwankungen als Reaktion auf Signale mit geringeren Schwankungen reduziert.

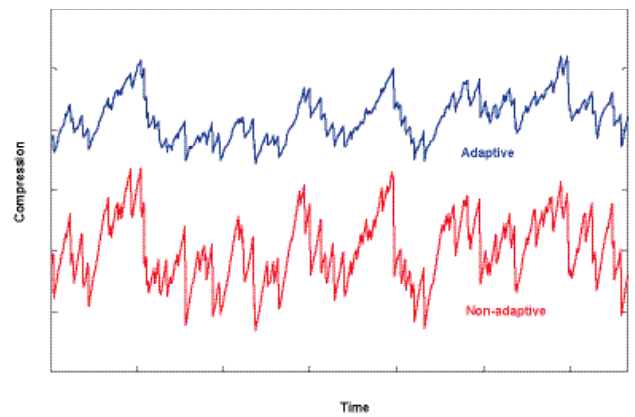


Abbildung 2. Wenn das Eingangssignal ein stetiges weißes Rauschen ist, schwankt die Kompressorverstärkung beim adaptiven System mit der Zeit immer weniger und erzeugt eine ausgeglichene Reaktion als das nichtadaptive System.

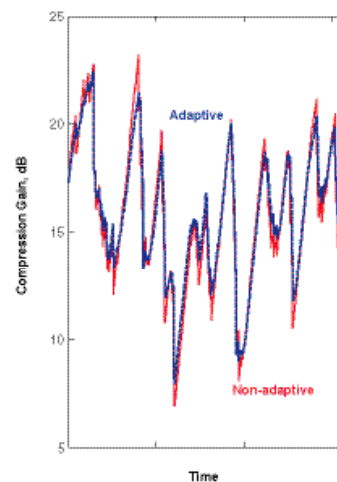


Abbildung 3. Wenn es sich bei dem Eingangssignal um Sprache handelt, sind die WARP-Kompressorverstärkungen für adaptive und nichtadaptive Systeme nahezu identisch.

## VERBESSERUNG DER KLANGQUALITÄT DURCH DIGITALE GERÄUSCHREDUZIERUNG

Neben der WARP-Kompression sind NoiseTracker II und Situations Optimizer™ II die wichtigsten Technologien, die zur nachgewiesenen hervorragenden Klangqualität von ReSound-Hörsystemen beitragen. Vorteile der Geräuschunterdrückung sind angenehmes Hören und Hörkomfort<sup>12</sup>, bessere Klangqualität<sup>13</sup> und geringere kognitive Belastung<sup>14</sup>. Aus der immer umfangreicher werdenden Forschungsliteratur zur Geräuschunterdrückung bei Hörsystemen lassen sich verschiedene Ergebnisse ableiten. Verständlich, denn Geräuschunterdrückungsalgorithmen können merkbare Unterschiede aufweisen. Eine Vergleichsstudie von Bentler<sup>15</sup> zeigte die großen Unterschiede in der Wirksamkeit verschiedener, kommerziell verfügbarer Geräuschunterdrückungssysteme als Reaktion auf Signale. Dennoch sind viele Hörgeräteakustiker der Meinung, dass sich die Geräuschunterdrückungs-

systeme verschiedener Hersteller nicht voneinander unterscheiden. Erst kürzlich wurden die variierenden akustischen Effekte verschiedener Systeme nachgewiesen und auch subjektive Messungen haben gezeigt, dass diese Unterschiede auch zu Unterschieden in der Wahrnehmung führen, zumindest bei normal hörenden Personen<sup>16</sup>. Obwohl sich herausgestellt hat, dass Geräuschunterdrückungssysteme die Geräuschbelastigung reduzieren und Natürlichkeit von Sprache erhalten konnten, wurde dies von den Systemen auf unterschiedliche Weise erreicht. Angenommen, dass diese Ergebnisse auf hörgeschädigte Personen extrapoliert werden können, spielt dies eine bedeutende Rolle bei der Auswahl eines Produkts. Der Effekt des jeweiligen Geräuschunterdrückungssystems sollte bei der Versorgung eine Rolle spielen.

Das NoiseTracker-II-System beruht auf der spektralen Subtraktion<sup>17</sup>, einer der gängigen Methoden zur Verbesserung von Sprachsignalen im Störschall. Die spektrale Subtraktion beruht auf der Subtraktion der Kurzzeitspektren des Störsignals und des Sprachsignals, so dass nur noch der Sprachanteil des Signals übrigbleibt. Der Erfolg dieser Methode hängt davon ab, ob es gelingt, Sprache zu identifizieren und Störgeräusche genau zu charakterisieren. Eine weitere Herausforderung besteht darin, der dynamischen Sprach- und Geräuschkulisse echter Hörumgebungen Rechnung zu tragen. Darüber hinaus ist es für Benutzer von Hörsystemen wichtig, dass nicht alle Geräusche unterdrückt werden und dass die Geräuschmerkmale erhalten bleiben. Würden alle Umgebungsgeräusche unterdrückt oder das Spektrum der Geräuschkulisse verändert, wäre das Klangerlebnis für den Träger sehr unnatürlich. Hintergrundgeräusche müssen in dem Maße hörbar sein, dass der Benutzer sie erkennt und sich in seiner Hörumgebung zurechtfindet. Was wir letztendlich wollen, sind unverzerrte Sprachsignale mit der empfohlenen Verstärkung und unverzerrte Hintergrundgeräusche mit geringerer Verstärkung.

Die Genauigkeit von NoiseTracker II bei der Unterdrückung von Hintergrundgeräuschen wurde durch die Aufnahme von Sprache in einer Menschenmenge bei 0 dB SNR getestet. Diese Umgebung ist für ein Geräuschunterdrückungssystem sehr schwierig. In Abbildung 4 sehen Sie das Spektrogramm des Hintergrundrauschens. Auf der horizontalen Achse wird die Zeit, auf der vertikalen Achse die Frequenz dargestellt. Die stärksten Geräuschpegel werden pink, die schwächsten Pegel blau dargestellt. Abbildung 4 zeigt deutlich, dass das Hintergrundrauschen die meiste Energie an niedrigen Frequenzen, aber auch erhebliche Energie im mittleren Frequenzbereich aufweist. Abbildung 5 zeigt den Unterschied zwischen NoiseTracker II

im ausgeschalteten Zustand und mit der Einstellung „Considerable“. Im Fall, dass die spektrale Subtraktion des Störgeräuschunterdrückungssystems das Geräuschspektrum genau nachvollziehen, schätzen und subtrahieren kann, sollten Abbildung 4 und Abbildung 5 ähnlich ausfallen, was hier der Fall ist. Dies steht in Kontrast zu einem Störgeräuschunterdrückungssystem, das bei einem Highend-Hörgerät eines anderen Herstellers moderat eingestellt ist, wie in Abbildung 6 gezeigt wird. Das Unterdrückungsmuster weicht stark vom Hintergrundgeräuschspektrum ab. An den Stellen mit der meisten Energie im Hintergrundgeräusch wird nur eine leichte Unterdrückung angewendet, aber im Spektrogramm erscheinen diskrete Bänder einer erkennbaren Unterdrückung. Obwohl beide Systeme zu weniger Belästigung durch das Hintergrundgeräusch führen können, erzeugt das NoiseTracker-II-System ein natürlicher klingendes Ergebnis.

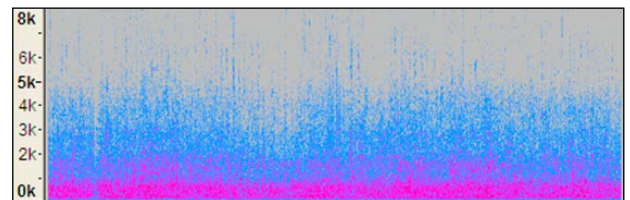


Abbildung 4. Spektrogramm des Hintergrundrauschens.

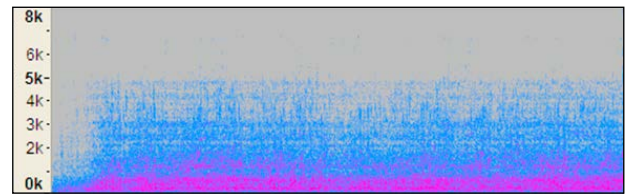


Abbildung 5. Spektrogramm, das den Unterschied zwischen deaktiviertem und aktiviertem NoiseTracker II zeigt. Die Reduzierung entspricht ungefähr dem Hintergrundrauschenspektrum in Abbildung 4.

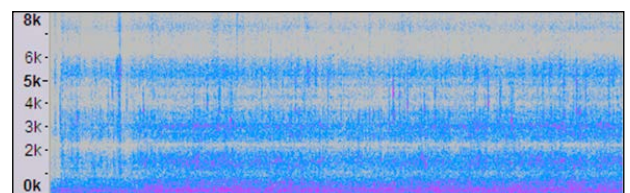


Abbildung 6. Spektrogramm, das den Unterschied zwischen dem Rauschreduzierungssystem eines anderen Herstellers im deaktivierten und aktivierten Zustand unter den gleichen Testbedingungen zeigt. Die Reduzierung weist ein anderes Muster auf als das Spektrogramm des Hintergrundrauschens.

In dem in Abbildung 5 gezeigten Beispiel bestand die Hörumgebung aus Sprache mit vielen im Hintergrund sprechenden Personen. Es handelt sich hierbei zwar um eine typische Hörsituation, aber natürlich nicht um die einzige. Im Laufe eines Tages müssen viele verschiedene Hörsituationen bewältigt werden. Eine aggressive Störgeräuschunterdrückung kann dazu führen, dass ruhige Umgebungen unnatürlich

wiedergegeben werden. Umgekehrt kann eine milde Störgeräuschunterdrückung die Belästigung durch Hintergrundgeräusche in lauterer Umgebungen weniger effektiv reduzieren. Der Situations Optimizer™ II passt das Hörsystem unmerklich an verschiedene Hörsituationen an. Wenngleich eine situationsabhängige Anpassung der Lautstärke und Geräuschreduktion erwünscht ist<sup>18,19</sup>, haben klinische Studien, bei denen es um umgebungsabhängige Veränderungen der Hörsystemeinstellungen ging, ergeben, dass es für die Träger angenehmer ist, wenn sich Veränderungen der Hörsystemeinstellungen in hörtechnisch ähnlichen Umgebungen in kleinen Schritten und graduell vollziehen. Beispielsweise kann sich bei einem Abendessen zu Hause mit Freunden leise Sprache in Sprache-im-Störgeräusch und sogar zu Störgeräusch mit abwechselnder Konversation und Gelächter steigern. In diesem Fall können schnelle starke Änderungen der Hörsystemeinstellungen als drastisch wahrgenommen werden und den Träger ablenken. Das moderne Klassifizierungssystem, das die Einstellungen des Situations Optimizer II lenkt, nutzt sieben Kategorien, die in Abhängigkeit der Präsenz und Pegel von Sprache und Störgeräusch zur Klassifizierung akustischer Umgebungen definiert werden.

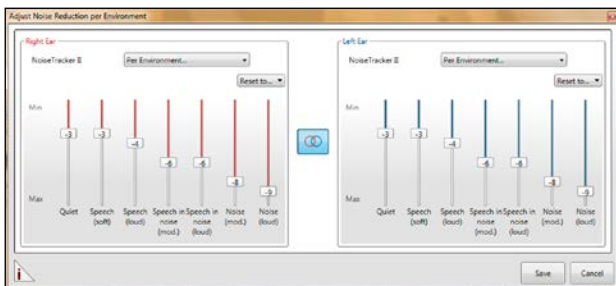


Abbildung 7. Optimierte Pegel von NoiseTracker II werden je nach Umgebungstyp vorgeschrieben und können in Aventa 3 weiter personalisiert werden.

In den vielen Fällen jedoch, in denen die Umgebung nicht eindeutig einer Kategorie zuzuordnen ist oder wenn die Umgebung sich schnell verändert, steuert ein Algorithmus die Lautstärke und passt die Einstellungen von NoiseTracker II so an, dass die lineare Kombination der empfohlenen Einstellungen für die drei wahrscheinlichsten Kategorien kontinuierlich angepasst wird. Da das Hörsystem immer auf verschiedene Kombinationen von Klassifizierungen zugreifen kann, nimmt der Träger die graduellen Veränderungen im Hörgerät, die „im Hintergrund“ ablaufen, positiv als transparente Übergänge wahr.

## SICHERSTELLUNG DER TRANSPARENZ MIT DIREKTIONALITÄTS-MIX

Obwohl sich Direktionalität bei Hörgeräte als Methode zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses für Nutzer bewährt hat, bringt sie auch Nachteile mit sich. Zum einen sind direktionale Mikrofone weniger empfindlich für niedrige Frequenzen, was zu einer Dämpfung der Reaktion führt, die die Hörbarkeit von Tönen in diesem Bereich reduziert. Die Erhöhung einer Verstärkung im niedrigen Frequenzbereich ist eine Möglichkeit, die Hörbarkeit niedriger Frequenzen wiederherzustellen, hat jedoch eine unerwünschte Nebenwirkung: Sie verstärkt das Grundrauschen, sodass es hörbar und für den Träger unangenehm ist. Direktionale Mikrofone können auch Nahfeldsignale verzerren, z. B. Windgeräusche im Mikrofon oder die eigene Stimme des Trägers. Phasenverzerrungen zwischen beidseitigen Versorgungen mit Direktionalität können interaurale Zeitdifferenzen stören, und die Platzierung des Mikrofons hinter dem Ohr führt zu einem Verlust spektraler Informationen, die dadurch die Ortung von Geräuschen erschweren. All diese Faktoren können sich negativ auf die Klangqualität auswirken, insbesondere wenn direktionale Verarbeitung in anderen Verarbeitungssystemen eingebettet ist, die den Mikrofonmodus je nach akustischer Umgebung wechseln.

Um Probleme mit der Klangqualität bei herkömmlicher Fullband-Direktionalität zu umgehen, verwendet ReSound den Direktionalitäts-Mix, einen direkten Verarbeitungsalgorithmus mit geteilten Bändern, bei dem eingehende Signale basierend auf ihrem Frequenzinhalt verarbeitet werden. Niedrige Frequenzen werden omnidirektional verarbeitet und hohe Frequenzen direktional. Durch die geringen Unterschiede bei der Klangqualität der direktionalen und omnidirektionalen Verarbeitung ist ein transparenter Wechsel des Mikrofonmodusses möglich und es können asymmetrische direktionale Anpassstrategien angewendet werden. Groth et al<sup>20</sup> haben herausgefunden, dass die Splitband-Direktionalität im Hinblick auf Klangqualität der Fullband-Direktionalität vorgezogen wird und kaum von einer omnidirektionalen Verarbeitung zu unterscheiden ist. Dieses Ergebnis wurde von Moeller & Jespersen<sup>21</sup> bestätigt, die berichteten, dass Hörer nicht in der Lage waren, Unterschiede in der Klangqualität bei den verschiedenen Direktionalitäts-Mix-Einstellungen auszumachen. Ein weiterer Vorteil der Splitband-Direktionalität in Hörsystemen, bei denen das Mikrofon hinter dem Ohr platziert ist, besteht in den annähernd mit dem offenen Ohr identischen natürlichen Richtungsmustern, die die Fähigkeit zur horizontalen Ortung erhalten.<sup>23</sup>

## ERWEITERUNG DER KLANGQUALITÄT AUF „FERNFELD“-GERÄUSCHQUELLEN

Hörsysteme nutzen zunehmend Wireless-Funktionen, damit andere Klangquellen genutzt werden können. Die digitale 2,4 GHz Wireless-Technologie von ReSound ist für Träger die bequemste Möglichkeit, Audiosignale über ReSound-Wireless-Geräte und ohne am Körper getragenes Streaming-Zubehör von einer Klangquelle zu übertragen. Dieses System erlaubt die direkte Übertragung von Klängen in die Hörsysteme von einer Quelle in bis zu 7 m Entfernung.

In puncto Klangqualität bietet die 2,4 GHz-Technologie viele Vorteile. Zum einen ist es durch ein spezielles Protokoll für die Wireless-Kommunikation und -Streaming möglich, Stereosound mit einer breiten Audiofrequenzbandbreite zu streamen und die Übertragungsverzögerung auf weniger als 20 ms zu reduzieren. Die kurze Verzögerung ist besonders wichtig für Hörgeräteträger, die einen Mix aus Klängen von den Hörsystemmikrofonen und gestreamten Klängen empfangen. Für Menschen mit offener Versorgung spielt auch direkter Klang eine wichtige Rolle. Wenn Geräusche aus verschiedenen Quellen empfangen werden, könnten Timing-Probleme mit daraus resultierender schlechter Klangqualität auftreten. Bei Verzögerungen von über 40 ms oder mehr ist dann ein Echo zu hören. Verzögerungen von über 40 ms sind typisch für die im Wireless-Streaming der meisten anderen Hersteller integrierte offene Bluetooth-Wireless-Technologie.

Ein weiterer Vorteil einer bereits bewährten digitalen Wireless-Technologie im 2,4 GHz-Bereich ist der Umstieg von ReSound auf neue Funktionen in Hörsystemen: direkte Konnektivität zu Verbraucherelektronik. In einer Abhandlung über Wireless-Technologie in Hörsystemen sagt Jespersen<sup>22</sup> voraus, dass die nächste Generation von Hörsystemen „einem Hörgeräteträger erlaubt, Telefongespräche über die Hörgeräte anzunehmen und mit seinen Enkeln auf dem Tablet zu skypen und dabei die Hörgeräte als Headset zu nutzen“. Mit ReSound LiNX wird diese Vorhersage Realität. Dieses Hörsystem nutzt als erstes ein 2,4-GHz-Streaming-Protokoll, das von Apple speziell für Hörsysteme entwickelt wurde. Ähnlich wie das Audio-Streaming von ReSound kann direkt vom iPhone, iPad und iPod touch ein Klangerlebnis in Stereoqualität in die ReSound-LiNX-Hörsysteme gebracht werden. Darüber hinaus können Hörgeräteträger ein direktes Wireless-Signal für Telefongespräche in beiden Hörsystemen nutzen. Dabei handelt es sich nachweislich um die beste Methode zur Optimierung des Hörens beim Telefonieren.<sup>24</sup> Ein weiteres hilfreiches Feature von Apple, „Live Listen“, verwandelt das iPhone in ein Remote-Mikrofon, das die Stimme oder den Klang von Interesse nahe der Quelle erfasst und in kristallklarer Qualität direkt in die Hörsysteme überträgt.

## ÜBERSICHT

Klangqualität spielt auch bei Hörsystemen eine wesentliche Rolle. Es gibt keine bessere Bestätigung der Klangqualität als die Aussage, dass der Klang natürlich ist. ReSound möchte Hörsystemträgern dieses Erlebnis mit der Signalverarbeitung von Surround Sound by ReSound bieten. Eine unabhängige Studie der wahrgenommenen Klangqualität bei Highend-Hörsystemen ergab, sehr gute Bewertungen für die ReSound-Technologie, was die ReSound-Philosophie unterstützt. „Natürliche“ Klangqualität bezieht sich auf das ganzheitliche Erleben des Hörens und der Klangwahrnehmung, einschließlich Klangtreue und Dimensionen wie „Fülle“, „Klarheit“ und „Lautheit“ sowie das Hören und Verarbeiten von Sprache. Der Klang wird als natürlich empfunden, wenn der Zuhörer den kontinuierlichen Strom der Tonsignale aus der Umgebung mühelos trennen und gruppieren kann. Hörsysteme erreichen eine gute Klangqualität, wenn sie spektrale, dynamische und temporale Aspekte des Eingangssignals weitestgehend bewahren, so dass es möglich ist, die physikalischen Attribute durch auditive und kognitive Verarbeitung auf höherer Ebene zu interpretieren und auditive Umgebungen zu rekonstruieren. Darüber hinaus bedeutet natürliche Klangqualität, dass keine merklichen und störenden Artefakte erzeugt werden. Surround Sound by ReSound kombiniert moderne Funktionen, die akustische Informationen erhalten und übertragen und so für ein reichhaltiges, volles Klangerlebnis sorgen, sodass sich Träger in ihrer aktuellen Umgebung zurechtfinden. Die hochwertige Konnektivität mit externen Klangquellen wird durch die digitale 2,4-GHz-Wireless-Technologie von ReSound ergänzt. Und mit ReSound LiNX, das „Made for iPhone“ ist, können Nutzer erstmals leistungseffizientes Stereosound-Streaming in hoher Qualität direkt von ihren Apple-Geräten in ihre Hörsysteme erleben.

## LITERATUR

1. Stuckey B. Taste: Surprising Stories and Science about Why Food Tastes Good. Atria Books, New York, 2013.
2. Kochkin S. MarkeTrack VIII: Customer satisfaction with hearing instruments in the digital age. *The Hearing Journal*. 2005; 58 (9): 30-43.
3. Jespersen C. Sound quality in high end hearing instruments. In preparation.
4. Legarth SV, Simonsen CS, Dyrland O, Bramsloev L, Jespersen C. Establishing and qualifying a hearing impaired expert listening panel. Poster presentation at ICHON, 2012, Lake Tahoe.
5. Smith JO, Abel JS. Bark and ERB bilinear transforms. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*. 1999; 7:697-708.
6. Zwicker E, Flottorp G, Stevens SS. Critical bandwidth in loudness summation. *J Acoust Soc Am*. 1957; 29:548-557.
7. Edwards B, Struck C, Dharan P, & Hou Z. New digital processor for hearing loss compensation based on the auditory system. *The Hearing Journal*, 1998; 51(8): 38-49.
8. Pluvinage V. Rationale and development of the ReSound system. In RE Sandlin, ed. *Understanding Digitally Programmable Hearing Aids*. Allyn & Bacon, Boston, 1994; 19-40.
9. Kates JM. Understanding compression: Modeling the effects of dynamic range compression in hearing aids. *Int J Audiol*. 2010; 49: 395-409.
10. Plomp R. The negative effect of compression in multichannel hearing aids in light of the modulation-transfer function. *J Acoust Soc Am*. 1988; 83: 2322-2327.
11. Kates JM. Dynamic window compressor, GN ReSound Patent Disclosure, 12 December 2003.
12. Bentler R, Wu Y, Kettel J, Hurtig R. Digital noise reduction: outcomes from laboratory and field studies. *Int J Audiol*. 2008; 47:447-460.
13. Ricketts T, Hornsby B. Sound quality measures for speech in noise through a commercial hearing aid implementing "digital noise reduction". *J Acad Am Audiol*. 2005; 16:270-277.
14. Sarampalis A, Kalluri S, Edwards B, Hafter E. Objective measures of listening effort: Effects of background noise and noise reduction. *J Speech Lang Hear Res*. 2009; 52: 1230-1240.
15. Bentler R., Chiou LK. Digital noise reduction: an overview. *Trends in Amplification*. 2006; 10(2): 67-82.
16. Brons I, Houben R, Dreschler W. Perceptual effects of noise reduction with respect to personal preference, speech intelligibility, and listening effort. *Ear Hear*. 2013; 34(1): 29-41.
17. Boll SF. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. *IEEE Trans Acoust Speech Sig Proc* . 1979; 27:113-120.
18. Wagner K. Test of Environmental Learner. Study for GN ReSound. 2007.
19. Zakis JA, Hau J, Blamey PJ. Environmental noise reduction configuration: Effects on preferences, satisfaction, and speech understanding. 2009. *International Journal of Audiology*, 48 (12): 853-867.
20. Groth J, Laureyns M, Piskosz. Double-blind study indicates sound quality preference for Surround Sound Processor. *The Hearing Review*. 2010; 17(3):273-284.
21. Moeller K, Jespersen CT. The effect of band-split directionality of speech recognition and noise perception. *Hearing Review Products*. 2013. <http://www.hearingreview.com/all-news/21682-the-effect-of-bandsplit-directionality-on-speech-recognition-and-noise-perception>.
22. Jespersen CT. A review of wireless hearing aid advantages. *The Hearing Review*. 2012; 19(2); 48-55.
23. Van den Bogaert T, Carette E, Wouters J. Sound source localization using hearing aids with microphones placed behind-the-ear, in-the-canal, and in-the-pinna. *Int J Audiol*. 2011; 50: 164-176.
24. Picou EM, Ricketts TA. Comparison of wireless and acoustic hearing aid-based telephone listening strategies. *Ear & Hearing*. 2011; 32(2): 209-220.