
WhistleBlock Technologie

Der neue Maßstab in der Rückkopplungsauslöschung

Seit Jahrzehnten sind Rückkopplungen, Pfeifen oder Quietschen die häufigsten Beanstandungsgründe von Hörsystemträgern [Kochkin, MarkTrak I-IV]. Der zugrunde liegende physikalische Rückkopplungsmechanismus ist recht einfach: der verstärkte Schall vom Hörer / Lautsprecher «leckt» durch die Belüftung und wird vom Hörsystem aufgenommen und wieder verstärkt. Dies führt zu einer akustischen Instabilität, die schließlich zu dem bekannten und äußerst störenden Pfeifen im Hörsystem führt. In der Vergangenheit war die häufigste Maßnahme, um mit Rückkopplung umzugehen entweder die angewandte Verstärkung zu begrenzen oder das Austreten des verstärkten Schalls vom Hörer durch eine kleine Belüftungsbohrung zu reduzieren. Die Einführung der Digital-Technologie hat die akustische Stabilität moderner Hörsysteme maßgeblich verbessert. Hörakustiker können mit Hilfe moderner Rückkopplungsmanager den

verbleibenden Dynamikbereich des jeweiligen hörgeschädigten Menschen optimal ausnutzen und dabei dennoch größere Belüftungsdurchmesser bei der akustischen Ankopplung verwenden. Dank modernen Rückkopplungsmanagern wurde insbesondere die Einführung der «Offenen Anpassung» von Hörsystemen ermöglicht, was einen deutlich besseren Tragekomfort bietet. Trotz der deutlichen Verbesserungen bei der akustischen Stabilität von Hörsystemen, wird diese Leistung der heutigen Rückkopplungsmanagementsysteme weiterhin dadurch bestimmt, dass die gewonnene rückkopplungsfreie Performance auf Kosten der Klangqualität und effektiv angewandten Verstärkung geht. Ein weiteres Problem moderner Rückkopplungsmanager ist, dass sie Verzerrungen bei natürlichen Signalen, wie Sprache oder Musik, Telefon- oder Türklingeln, verursachen können.

Physikalischer Mechanismus – Herausforderungen an die Rückkopplungsmanagementsysteme

Wie bereits oben erwähnt ist der zugrunde liegende physikalische Rückkopplungsmechanismus recht einfach. Es ist jedoch etwas schwieriger, wenn es um die Parameter geht, die das Auftreten von Rückkopplung beeinflussen. Die Rückkopplungsübertragungsfunktion, die durch den akustischen Rückkopplungsweg zwischen Empfänger und Mikrofon festgelegt wird, ist nicht stabil, sondern ändert sich im Verlauf eines Tages maßgeblich. Die Ursache dafür liegt darin, dass der Hörsystemträger ein Objekt näher an die Hörsysteme heranbewegen (z.B. Telefon), an Wänden oder Objekten entlang laufen oder neben diesen sitzen, sowie einen Hut tragen, reden und gähnen könnte. J. Hellgren (1999, 2000) hat eine systematische Analyse der verschiedenen Parameter durchgeführt, die die Erzeugung von Rückkopplungen beeinflussen. Die wichtigsten Schlussfolgerungen seiner Studien waren:

- Es bestehen große Unterschiede zwischen den spektralen, temporalen und amplitudenspezifischen Eigenschaften für verschiedene Rückkopplungserzeugungsmechanismen.
- Aufgrund der unterschiedlichen Gehörgangs- und Ohrmuschel-anatomien ließen sich verhältnismäßig große Unterschiede zwischen verschiedenen Versuchspersonen beobachten.

- Rückkopplung ist kein Phänomen, das nur bei einer einzigen Frequenz auftritt. Sie hat komplexe, zeitvariable Spektraleigenschaften, kommt jedoch üblicherweise am Häufigsten im Spektralbereich um 1,5–3 kHz vor.
- Insgesamt ist Rückkopplung ein komplexes, hochdynamisches Phänomen, das komplexe und adaptive Techniken zur Einschätzung des Rückkopplungspfades und zur Auslöschung benötigt, um es in den Griff zu bekommen. Neben den dynamischen Änderungen im akustischen Übertragungsweg müssen auch andere Algorithmen, die in den Hörsystemen vorkommen, berücksichtigt werden, wie beispielsweise die dynamischen kompressiven Verstärkungsschemata oder die adaptiven Störgeräusch-Unterdrückungssysteme. Sie ändern die Systemübertragungsfunktion derart, dass dies vom Rückkopplungsmanagementsystem berücksichtigt werden muss. Somit ist für das Rückkopplungsmanagement ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich: Für die optimale Performance muss das System zur Rückkopplungsauslöschung in die restlichen adaptiven Steuerungs- und Signalverarbeitungssysteme der modernen Hörsysteme integriert und äußerst sorgfältig auf diese abgestimmt werden.

Folgen von Rückkopplung auf die Klangqualität

Ein wichtiger Punkt, den es zu bedenken gilt, ist die Auswirkung der akustischen Rückkopplung auf die Klangqualität des Zielsignals. Im Allgemeinen wird angenommen, dass Rückkopplung einem «Pfeifen» ähnelt, vergleichbar mit einem Sinuston. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn das Rückkopplungssignal weit über dem kritischen

Rückkopplungsschwellenwert liegt. Wenn sich das System gerade noch unterhalb der Rückkopplungsgrenze befindet, beginnen sich die Frequenzeigenschaften des Hörsystems zu verändern, was einen deutlichen Einfluss auf die Klangqualität hat: Es treten nun Artefakte und Verzerrungen auf.

Rückkopplungsmanagement

In der Hörerätetechnik wurden verschiedene Ansätze für das Rückkopplungsmanagement eingeführt [Dillon 2001].

Der erfolgreichste Ansatz ist bisher die gegenphasige Rückkopplungsauslöschung.

Gegenphasige Rückkopplungsauslöschung

Heutzutage ermöglichen moderne Mikroprozessoren die Implementierung leistungsstarker Signalverarbeitungs-Strategien für eine effektive Auslöschung von akustischen Rückkopplungen. Die meisten modernen Systeme zur Rückkopplungsauslöschung basieren auf einem «gegenphasigen» Ansatz. Bei diesem Ansatz werden die Schallwellen durch ihre eigene 180-Grad-Gegenphase ausgelöscht. Dies ist die einzige Technologie, die Rückkopplungen ohne Verstärkungsminderung auslöschen kann.

Der Algorithmus umfasst zwei Schritte:

- Einschätzung und Modellierung des Rückkopplungsweges.
- Rückkopplungsauslöschung.

Für die Einschätzung des Rückkopplungsweges wird eine hochauflösende Korrelationsanalyse zwischen dem Eingang und dem Ausgang des Hörsystems durchgeführt. Das Ergebnis der Korrelationsanalyse gibt an, wie viel Schall vom Hörer zurück an das Mikrofon gelangt. Um eine Auslöschung zu erreichen, wird ein phaseninvertiertes Signal mit demselben Frequenzinhalt wie das Rückkopplungssignal erzeugt. Durch Überlagerung der beiden Signale wird das Rückkopplungssignal wirksam und ohne Verstärkungsverlust ausgelöscht. Rückkopplungsmanagementsysteme sollten jedoch nur aktiv werden wenn sie gebraucht werden und auch nur dort wo es notwendig ist. Zwar unterdrücken viele Algorithmen Rückkopplungen wirksam, sie können jedoch auch Artefakte erzeugen, wenn der Mechanismus zur Einschätzung des Rückkopplungsweges andere Töne fälschlicherweise als Rückkopplung identifiziert. Dies wird vom Ausmaß der gegenphasigen Rückkopplungsauslöschung beeinflusst. Da in einigen Hörsituationen das Auftreten von Rückkopplung wahrscheinlicher ist, als in anderen, müssen herkömmliche Systeme

zur Rückkopplungsauslöschung wirksame Methoden zur Gewährleistung des richtigen Gleichgewichts zwischen Rückkopplungsunterdrückung, Klangqualität und wirksamer Verstärkung des Hörsystems bieten. Das wichtigste Designkriterium für ein herkömmliches Rückkopplungsmanagementsystem besteht darin, das optimale Gleichgewicht zwischen diesen drei Performancegrößen zu finden. In unterschiedlichen Hörumgebungen sollten verschiedene optimierte Einstellungen angewendet werden, um die optimale Performance für das gesamte Hörsystem zu erreichen. So kann beispielsweise beim Telefonieren der Rückkopplungsunterdrückung eine höhere Priorität eingeräumt werden, da die Wahrscheinlichkeit von Rückkopplungen in dieser Situation größer ist. Wenn andererseits das Musikprogramm aktiviert ist und somit die Wahrscheinlichkeit für Rückkopplung niedrig ist, sorgt die adaptive gegenphasige Rückkopplungsauslöschung durch eine Reduktion der Rückkopplungsunterdrückung für eine optimale Klangqualität. Moderne Rückkopplungsmanagementsysteme können Rückkopplungen verringern, die meisten identifizieren jedoch natürlich vorkommende tonale oder korrelierte Signalkomponenten («Phasenkopplung») als Rückkopplungen und erzeugen somit störende Artefakte. Dies hat nicht nur Auswirkungen auf die Klangqualität der Hörsysteme, sondern begrenzt zudem die anwendbare Verstärkung im System. Vorhandene Systeme könnten parametrisiert werden, um Rückkopplungen wirksamer und schneller zu verringern, wenn Hörsystemträger mehr Artefakte und somit eine deutlich schlechtere Klangqualität tolerieren könnten. Um diese Grenzen der Systemperformance zu überwinden, ist es notwendig, Rückkopplungen präzise zu identifizieren und von anderen tonalen Signalkomponenten zu unterscheiden.

WhistleBlock Technologie – revolutionäre Rückkopplungsidentifizierung und -auslöschung

Die WhistleBlock Technologie ist ein großer Schritt nach vorn, was die gegenphasige Rückkopplungsauslöschung angeht, da sie eine sehr viel wirksamere und präzisere Rückkopplungsunterdrückung ermöglicht. Sie profitiert von einem hochmodernen Rückkopplungsidentifizierungs- und Kennzeichnungsmodul. Dieses Modul ist in der Lage sofort zwischen einer echten Rückkopplung und natürlich vorkommenden Tönen, wie beispielsweise Musik, zu unterscheiden. Abbildung 1 zeigt den Kompromiss zwischen der Performance von Rückkopplungsauslöschungssystemen in punkto zusätzlicher stabiler Verstärkung und Klangqualität. Bei den vorhandenen Systemen zur Rückkopplungsauslöschung führt eine stärkere Rückkopplungsunterdrückung zu einer schlechteren Klangqualität. Das System zur Rückkopplungsauslöschung mit WhistleBlock Technologie muss keine Kompromisse eingehen. Es wird eine höhere, stabile Verstärkung bei gleichbleibender Klangqualität erreicht. Eine präzise Identifizierung von Klängen, die wieder in das System gelangen, als echtes Feedback ermöglicht eine präzise Rückkopplungsauslöschungsstrategie, wodurch Rückkopplungen blockiert werden, ohne dass dies die Sprachverständlichkeit oder die Klangqualität beeinträchtigt (siehe Abbildung 2). Durch die Unterscheidung der Rückkopplungskomponenten von anderen korrelierten tonalen Komponenten im Signal lassen sich

deutlich aggressivere Verfahren zur Rückkopplungsauslöschung anwenden, ohne dass dabei unerwünschte Artefakte erzeugt werden.

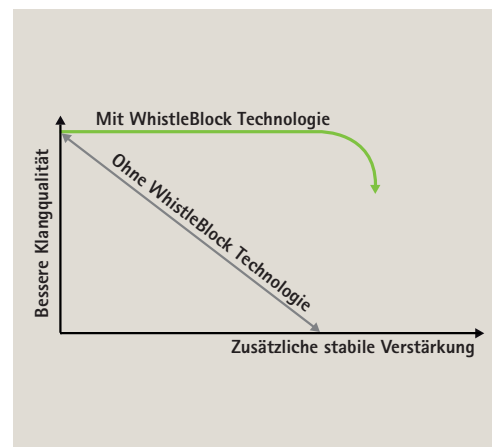


Abbildung 1: Qualitative Darstellung des Kompromisses zwischen Klangqualität und zusätzlicher stabiler Verstärkung bei existierenden Systemen zur Rückkopplungsauslöschung. Dank der WhistleBlock Technologie wird eine deutlich höhere Verstärkung erreicht, ohne dass dabei die Klangqualität beeinträchtigt wird.

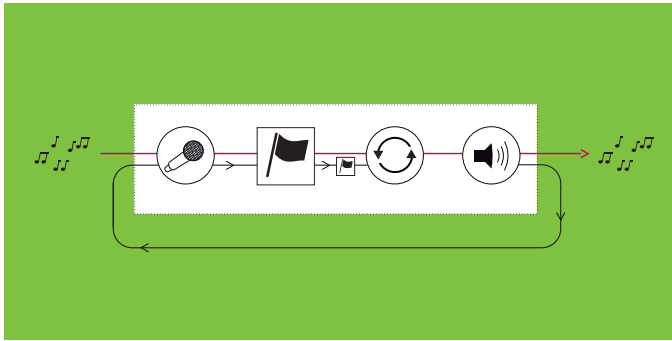


Abbildung 2:

Die WhistleBlock Technologie profitiert von einem hochmodernen Rückkopplungsidentifizierungs- und -kennzeichnungsmodul. Diese Technologie kann sofort zwischen einer echten Rückkopplung und natürlich vorkommenden Sinustönen, wie beispielsweise Musik, unterscheiden. Eine präzise Identifizierung von Klängen, die wieder in das System gelangen, als echte Rückkopplung ermöglicht eine präzise Rückkopplungsauslöschungsstrategie, welche die Korrelation zwischen Eingangs- und Ausgangssignal eliminiert und so Rückkopplungen blockiert, ohne die Sprachverständlichkeit oder die Klangqualität zu beeinträchtigen.

Beurteilung der Leistungsfähigkeit der WhistleBlock Technologie

Zur Beurteilung der Leistung eines Rückkopplungsmanagementsystems müssen mehrere verschiedene Aspekte und Qualitätsmerkmale berücksichtigt werden. Freed und Soli (2006) und Merks et al. (2006) empfehlen: (I) zusätzliche stabile Verstärkung / effektive Verstärkung, (II) angewendete effektive Verstärkung, (III) Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit des Systems zur Rückkopplungserkennung, (IV) Klangqualität.

Die Leistung eines Rückkopplungsmanagementsystems lässt sich durch die Beantwortung folgender Fragen beurteilen:

- Wie wirksam wird Rückkopplung unterdrückt?
- Wie wirksam reduziert der Algorithmus Artefakte, die entstehen wenn die Verstärkung nahe an der Rückkopplungsschwelle liegt?
- Opfert der Algorithmus in einem Frequenzband Verstärkung?
- Wie robust ist der Algorithmus bei tonalen Eingangssignalen?

Um diese Fragen zu beantworten und die Leistung von Rückkopplungsmanagementsystemen zu beurteilen, ist es notwendig einen reproduzierbaren und realitätsnahen Testaufbau zu verwenden. Dieser lässt sich mithilfe eines künstlichen Kopfes in einer schallisolierten Kiste und der Verwendung eines linearen Motors zur

Abbildung 3:

Testaufbau zur Beurteilung der Leistung von Rückkopplungsmanagementsystemen unter realistischen Bedingungen.



Positionierung eines Objektes in einem reproduzierbaren Abstand zum Ohr und dem Hörgerät erreichen (Abbildung 3). Dies ermöglicht eine realistische und reproduzierbare Simulation verschiedener Rückkopplungsbedingungen. Mit diesem Testaufbau wurde die Performance der neuen WhistleBlock Technologie mit anderen im Handel erhältlichen Produkten im Hinblick auf folgende Aspekte verglichen:

- Zusätzliche stabile Verstärkung. Diese Messung zeigt den Gewinn an nutzbarer Verstärkung.
- Klangqualität: Anzahl der auftretenden Artefakte.
- Robustheit in Bezug auf die Unterscheidung echter Rückkopplungsgeräusche von tonalen Signalkomponenten.

Zusätzliche stabile Verstärkung

Abbildung 4 zeigt die zusätzliche stabile Verstärkung, die für fünf verschiedene Geräte unter Verwendung der oben beschriebenen Testkonfiguration gemessen wurde. Die Hörsysteme wurden miteinander abgeglichen, um dieselbe Verstärkung zu liefern. Es ist klar ersichtlich, dass das neue Rückkopplungsmanagementsystem eine deutlich bessere stabile Verstärkung liefert. Besonders in dem Frequenzbereich, der für Rückkopplungen am anfälligsten ist – zwischen 1,5 und 3 kHz – bietet diese neue Technologie am meisten zusätzliche stabile Verstärkung.

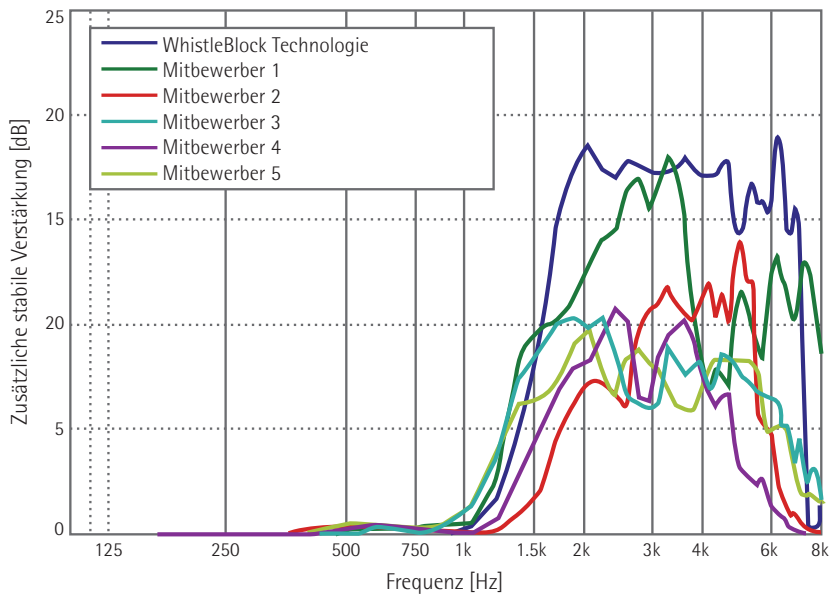


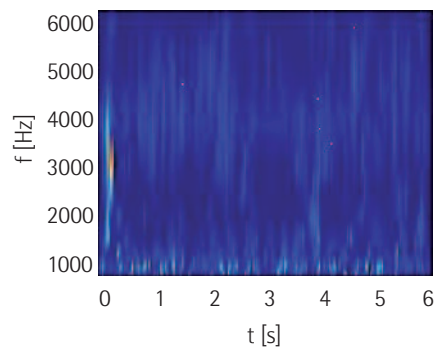
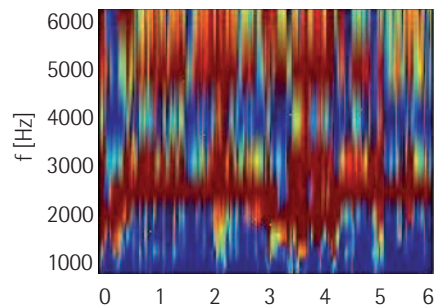
Abbildung 4: Zusätzliche stabile Verstärkung für verschiedene Hörsysteme. Die WhistleBlock Technologie, die in den Produktreihen Exélia und Naída verfügbar ist, bietet bei weitem die beste zusätzliche stabile Verstärkung, insbesondere im besonders kritischen Frequenzbereich zwischen 1,5 und 3 kHz.

Klangqualität

Abbildung 5 vergleicht die Anzahl der Artefakte, d.h. die Klangqualität, eines Hörsystems mit WhistleBlock Technologie mit einem Mitbewerbergerät, das ein anderes modernes System zur Rückkopplungsauslöschung verwendet. Die linken Diagramme zeigen die Ergebnisse des Geräts mit WhistleBlock Technologie. Es wurden zwei Spektrogrammsätze der verstärkten Ausgangssignale gemessen: der erste ohne Gegenstand nahe am Ohr, der zweite mit einem festen Gegenstand ca. 2 cm von der Ohrmuschel entfernt. Die obere Zeile

zeigt die Ergebnisse mit deaktivierten Rückkopplungsmanagementsystemen, die untere Zeile zeigt die Ergebnisse mit aktivierten Rückkopplungsmanagementsystemen. Die roten Bereiche in den Diagrammen zeigen das Auftreten von Rückkopplungskomponenten oder Artefakten. Mit der WhistleBlock Technologie treten kaum Artefakte auf, während bei einem beliebigen Mitbewerbersystem noch immer deutliche Artefakte auftreten.

WhistleBlock Technologie



Mitbewerberprodukt

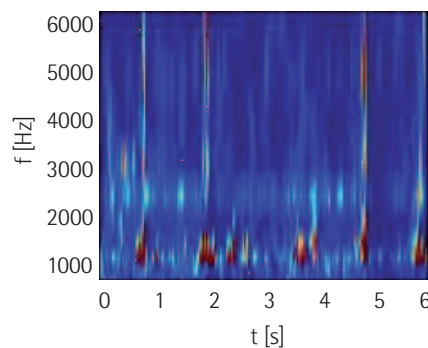
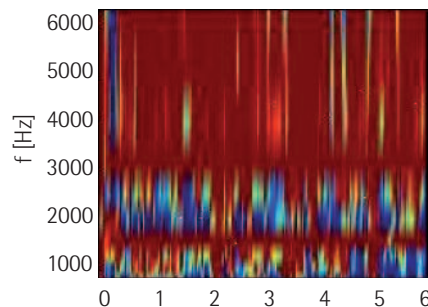


Abbildung 5: Vergleich des Vorhandenseins von Artefakten, d.h. der Klangqualität, bei zwei verschiedenen Systemen zur Rückkopplungsauslöschung: die linken Diagramme stellen die WhistleBlock Technologie dar. Obere Zeile: Rückkopplungsmanagement deaktiviert. Untere Zeile: Rückkopplungsmanagement aktiviert.

Rot = Rückkopplung
Blau = keine Rückkopplung

Entrainment

Der letzte Parameter, der noch zu besprechen ist, ist Entrainment. Bei diesem Phänomen werden unangenehme Artefakte erzeugt, wenn das System zur Rückkopplungsauslöschung stark korrelierte Töne als Rückkopplung identifiziert und ein gegenphasiges Signal erzeugt. Abbildung 6 vergleicht die Artefakte von zwei Geräten – ein Mal mit WhistleBlock Technologie, ein Mal ohne – die durch Entrainment erzeugt wurden. Ein Klingelton wurde durch ein Hörsystem wiedergegeben, wobei das entsprechende System zur Rück-

kopplungsunterdrückung aktiviert war. Das Mitbewerbersystem zur Rückkopplungsauslöschung (unteres Fenster) erzeugt Modulationsartefakte, was zu Seitenbändern um die Spektralen Maxima herum führt. Bei Verwendung der WhistleBlock Technologie (oberes Fenster) traten keine Entrainment-Artefakte auf. Die WhistleBlock Technologie kann tonale Eingangssignale korrekt identifizieren und unternimmt keine störenden Gegenmaßnahmen.

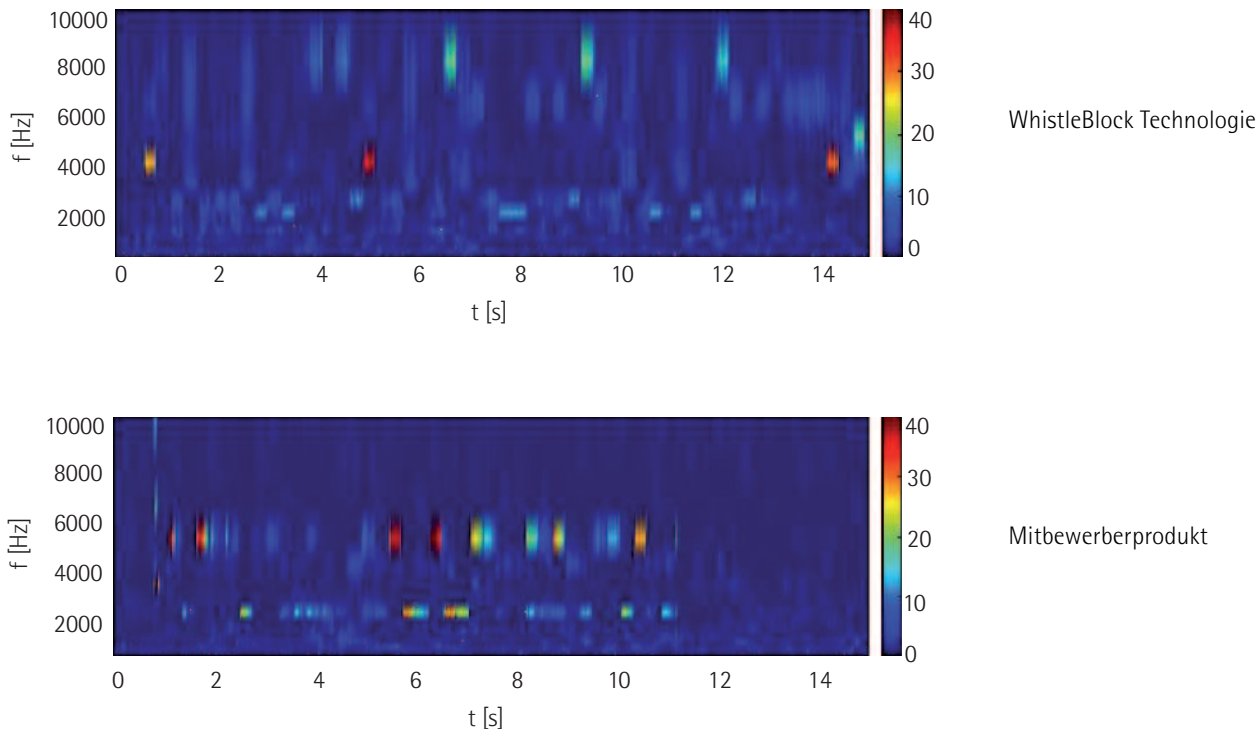


Abbildung 6: Spektrogramm, das die Anzahl der Artefakte bei Produkten mit und ohne WhistleBlock Technologie anzeigt. Ein Klingelton wird wiedergegeben und das Ausgangssignal des Hörsystems wird aufgezeichnet. Die obere Grafik zeigt die Messergebnisse eines Systems mit WhistleBlock Technologie. Die gelben und roten Bereiche zeigen das Vorhandensein von Artefakten an, die zu einer schlechten Klangqualität führen. Es ist klar erkennbar, dass die WhistleBlock Technologie zu deutlich weniger Rückkopplungsartefakten führt.

Zusammenfassung

Die WhistleBlock Technologie, jetzt erhältlich in Exélia und Naida Produkten, führt zu einer optimalen Leistung für eine Vielzahl unterschiedlicher Hörsystemfamilien und -stile. Die WhistleBlock Technologie erzielt signifikante Verbesserungen für eine zusätzliche stabile Verstärkung, eine verbesserte Klangqualität und weniger Entrainmenteffekte im Vergleich zu den Rückkopplungsunterdrückungssystemen anderer Mitbewerber.

Die WhistleBlock Technologie erreicht eine unvergleichliche Verbesserung in einem der Bereiche, in dem es die meisten Beanstandungen von Hörsystemträgern gibt – der wirksamen Rückkopplungsauslöschung ohne Erzeugung störender Artefakte.

Quellenangaben

Kochkin, MarkTrak I-IV.

Dillon, H. (2001) "Hearing Aids", Boomerang Press.

Freed, D.; Soli, S. (2006) "An Objective Procedure for the Evaluation of Adaptive Anti-Feedback Algorithms in Hearing Aids", Ear and Hearing.

Hellgren, J.; Lunner, T.; Arlinger, S. (1999) "Variations in the Feedback of Hearing Aids", J. Acoust. Soc. Am. 106, 2821-2834.

Merks, I.; Bannerjee, S.; Trine, T. (2006) "Assessing the Effectiveness of Feedback Cancellers in Hearing Aids", Hearing Review 4/2006.