

Offene Anpassung – maßgefertigtes CIC als echte Alternative für ein Mikro-Hörsystem



Die steigende Beliebtheit von Mikro-Hörsystemen ist zumindest teilweise durch die effektive Kombination von Kosmetik und Funktion zu erklären, die eine neue Generation von Hörsystemträgern anspricht. Eine kürzlich durchgeführte Studie von Kochkin (2006) für das «Better Hearing Institute» belegt, dass offen, mit einem dünnen Schallschlauch (Slim Tube), angepasste Hörsysteme die Anzahl der Erstträger um 29% erhöht haben. Das Durchschnittsalter der Erstversorgung wird dadurch um fast ein Jahrzehnt gesenkt. Besonders auf dem US-Markt, der seit mehreren Jahrzehnten von maßgefertigten IO-Hörsystemen beherrscht wurde, haben diese Geräte große Zuwächse bei der Gesamtzahl der HdOs bewirkt, welche nunmehr grob die Hälfte der in den Vereinigten Staaten verkauften Geräte beträgt. Von dieser Anzahl entfallen etwa 20% auf Mini- oder Mikro-Hörsysteme.

Dieser dramatische Zuwachs geht im Wesentlichen auf Kosten der größeren IO-Hörsysteme. Der Anteil der vollständig im Gehörgang getragenen (CIC) Hörsysteme ist hingegen mit 10% aller verkauften Hörsysteme verhältnismäßig stabil geblieben. HdO-Hörsysteme beherrschen die meisten europäischen Märkte. Laut einer deutschen Studie der Akademie für Hörgeräte-Akustik würden aber 80% der Kunden ein unsichtbares CIC-Hörsystem auf Grund der kosmetischen

Vorteile und der Benutzerfreundlichkeit dieser maßgefertigten Hörsysteme vorziehen. Jedoch verlässt der Großteil der Kunden das Fachgeschäft mit einem HdO-Hörsystem. Auch wenn Richtmikrofone aufgrund der geringen Platzverhältnisse nicht in CICs eingebaut werden können, bieten diese Hörsysteme durch Wahrung der Ohrmuscheleffekte zusätzliche Vorteile beim Richtungshören, vergleichbar mit denen beim unversorgten Ohr (Roberts and Schulein, 1997). Früher hatten die CICs bei Hochton-Hörverlusten aufgrund von Rückkopplungen, Okklusion und Verstärkungsbegrenzungen nur mäßigen Erfolg. Neuere technische Innovationen haben sich mit diesen Schwachstellen befasst und lassen heute Hörsystemträgern die Wahl zwischen offen angepassten CIC- oder HdO-Hörsystemen. Mit Exélia CIC Petite wird ein neues akustisch optimiertes Vent (AOV) vorgestellt. Dieses neuartige Belüftungssystem sorgt zusammen mit der WhistleBlock Technologie für eine geringere Okklusion und weniger Rückkopplungen bei gleichzeitig besserer Klangqualität im Vergleich zu anderen auf dem Markt erhältlichen Geräten. Exélia CIC Petite ist somit eine veritable Alternative zu Mikro-Hörsystemen.

Offene Anpassungen

«Offene» Anpassstrategien werden in der Hörsystemanpassung schon seit Jahrzehnten eingesetzt, wobei größere Belüftungen verwendet wurden, um die Okklusion bei Hörsystemträgern mit normalem Hörvermögen im tieffrequenten Bereich zu minimieren. Der Erfolg früherer Systeme wurde aber durch die Schwierigkeit, hohe Frequenzen hörbar zu machen, ohne dass dabei Rückkopplungen auftreten, beeinträchtigt. Die Entwicklung von Systemen mit gegenphasiger Rückkopplungsauslöschung in Echtzeit hat diese Situation nachhaltig verbessert - insbesondere für die aktuelle Generation der Mikro-Hörsysteme, die größere Zusatzbohrungen erlauben sowie über einen größeren Abstand von Mikrofon zum Hörer verfügen als IO-Hörsysteme. Diese technischen Fortschritte sowie die älter werdende BabyBoomer Generation, die heute die ersten Anzeichen einer lärm- und altersbedingten Hörminderung zu spüren bekommt, haben zu einer deutlichen Umsatzsteigerung bei den HdO-

Hörsystemen geführt. Dieses Wachstum ist hauptsächlich dem Mikro-Hörsystem Segment zu verdanken. Eine Studie des BHI (Better Hearing Institute) untersuchte speziell die Gründe für die gestiegene Beliebtheit dieser Hörsysteme. Hörsystemträger und Ärzte gaben gleichermaßen die minimale Okklusion und die geringeren Rückkopplungen als Hauptgründe für die verbesserten Ergebnisse im Gegensatz zu anderen Hörsystemen an (Abbildung 1).

Die Optimierung der Belüftungsparameter, die kontinuierlichen Verbesserungen bei der Rückkopplungsauslöschung und die weitere Miniaturisierung der Hörsystemkomponenten bieten nun die Möglichkeit offener Anpassungen mit kleinen, maßgefertigten Hörsystemen, die von vielen Hörsystemträgern wegen ihrer kosmetischen Eigenschaften, der Benutzerfreundlichkeit und aus Gründen der Leistungsfähigkeit bevorzugt werden.

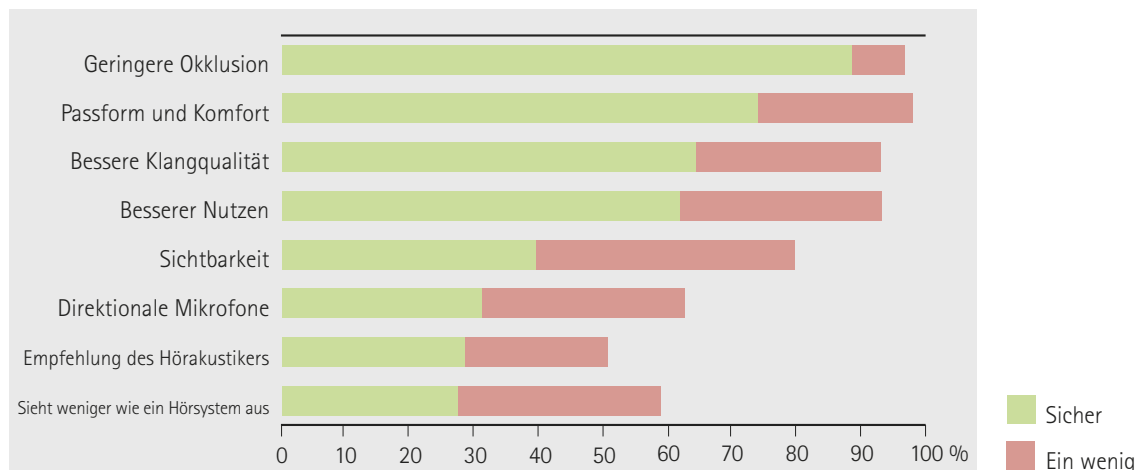


Abbildung 1: Hauptgründe für die offene Anpassung von HdO-Hörsystemen (Kochkin, 2006).

Individualisiertes Vent

Mit dem neuen Exélia CIC Petite führt Phonak das akustisch optimierte Vent (AOV) ein. Das AOV nutzt Daten der Belüftungsmasse, die sich auf die gesamte akustische Kangleistung des Hörsystems auswirken. Eine akustische Masse beschreibt die Wirkung der Belüftung auf das akustische Verhalten des Hörsystems. Die Menge an Schall, die durch die Belüftung austritt, ist nicht nur vom Durchmesser der Belüftungsöffnung, sondern auch von deren Länge und Form abhängig. Dieselbe akustische Masse lässt sich mit sehr unterschiedlichen Maßen erzielen; ein kleiner Belüftungsbereich mit einem kurzen Schlauch kann einem großen Belüftungsbereich mit einem langen Schlauch entsprechen. Akustisch optimierte Belüftungen können nur mittels einer Kombination hochintegrierter digitaler 3D-Hörsystemmodellierungs-, Produktions- und Anpassungssysteme erreicht werden. Zur Berechnung eines «Zielwertes» für die Belüftungsmasse werden eine Fülle von Daten verwendet, einschließlich der audiometrischen Daten des Patienten, der erforderlichen Verstärkung bei hohen und niedrigen Frequenzen, dem Okklusionspotenzial, dem Rückkopplungspotenzial usw. Diese Daten werden von der 3D-Schalen-Modellierungssoftware von Phonak in einer multidimensionalen Berechnung zur Generierung eines ausgewogenen Ziel-Massenwerts verwendet. Dieser Zielwert dient dann zur Modellierung der AOV. Die Gestaltung (z. B. kreisförmig, D-Form, IROS, IROS invertiert, unterbrochene D-Form), der Durchmesser und die Gesamtlänge der Belüftungsöffnung können alle unabhängig

voneinander vom Modellierer verändert werden, um den berechneten Ziel-Massenwert zu erreichen. Es wurden eine Reihe neuer, fortschrittlicher Belüftungsdesigns entwickelt, wie beispielsweise die «invertierte IROS-Belüftung in unterbrochener D-Form», welche die Gesamtgröße der Belüftung mittels eines variierenden Querschnittsbereichs maximiert und die gleichzeitig den verfügbaren Platz in der Schale für die Anordnung der Bauteile optimiert. Dieser Prozess, den Phonak exklusiv bietet, hilft, die kleinstmögliche Hörsystemgröße bei größtmöglicher Belüftung für die jeweilige Hörminderung des Hörsystemträgers zu realisieren.

Die sich ergebende aktuelle akustische Masse lässt sich dann speichern und in den letzten Phasen des Produktionsprozesses auf das Hörsystem übertragen. Der AOV-Wert wird von der Anpassungssoftware zur Optimierung der Belüftungskompensierung in der Anpassungsberechnung verwendet, was Auswirkungen auf den Frequenzgang, die Konfiguration des Systems zur Rückkopplungsauslöschung und andere Feinjustierungsparameter hat, damit eine ideale Einfügungsverstärkung (insertion gain) und eine natürliche Klangqualität erhalten wird. Das Endergebnis all dieser technologischen Fortschritte ist eine echte, maßgefertigte Belüftung, welche das kleinstmögliche Hörsystem mit dem bestmöglichen Vent bietet.

Labor- und Praxisuntersuchung

Es wurde eine Studie unter Labor- und Praxisbedingungen durchgeführt, bei der die Leistungsfähigkeit offener Anpassungen mit Mikro- und CIC-Hörsystemen erforscht und miteinander verglichen wurde. Die folgenden vier Schwerpunkte wurden dabei untersucht:

Okklusionsmanagement

durch die Nutzung des akustisch optimierten Vent (AOV). Üblicherweise bedeutet dies die Verwendung der größtmöglichen Belüftung, aber es spiegelt auch das Zusammenwirken zwischen akustischer Masse der Belüftung, dem vorhandenen Belüftungsöffnungsdurchmesser, der Länge, dem Volumen und die beurteilte Okklusion wider. Kiessling et al. (2005) führten aus, dass die akustische Masse in direkter Beziehung zur von Hörsystemträgern beanstandeten Okklusion stehe. Die Belüftungsmasse ist ein wesentlicher Faktor im Zusammenhang mit Okklusion, es ist jedoch nicht möglich, die Belüftungsgröße ohne kleine Bauteile, die optimale Platzierung und verlässliche Fertigungstechniken für die digitale Schale zu optimieren. Dies wird bei modernen Hörsystemen im Wesentlichen durch digitale Schaltkreise und digitale Schalenherstellung möglich gemacht.

Rückkopplungsvermeidung

Moderne Systeme mit gegenphasiger Rückkopplungsauslöschung bieten eine hohe zusätzliche stabile Verstärkung (ZSV) über den Bereich hinaus, der möglich ist, wenn dieser Algorithmus nicht aktiv ist. Wie bereits oben erwähnt, sollte das Zusammenspiel von Hörbarkeit und ZSV jedoch In-Situ überprüft werden, um die Hörbarkeit von Sprache über den gesamten Dynamikbereich zu gewährleisten.

Hörbarkeit

Frühere offen angepasste Hörsysteme reduzierten das

Rückkopplungspotenzial durch die Verringerung der Hochfrequenz-Verstärkung, was auf der anderen Seite die Verständlichkeit für hochfrequente Reibe- und Zischlaute beeinflusste. Effektive offene Systeme vermeiden Rückkopplungen bei großen Belüftungen, ohne dabei die Hörbarkeit – auch die der hohen Frequenzen – zu beeinträchtigen.

Glatter Frequenzgang

mittels eines entsprechenden «Akustikabgleiches» zwischen dem lokalen Hörsystemverhalten und dem Gehörgang-Restvolumen, der die Auswirkungen von Schlauchresonanzen, von Volumen, Länge und Durchmesser der Belüftung sowie der Impedanz des Ohrs und des Hörsystemhörers widerspiegelt. Hörsysteme, die Resonanzspitzen möglichst klein halten, bieten eine bessere Klangqualität und Sprachverständlichkeit als Systeme, die diese Faktoren nicht berücksichtigen (Davis und Davidson, 1996; van Buuren, Festen and Houtgast, 1996). Bei offen angepassten Geräten kann eine fehlende akustische Optimierung zudem zu erhöhter Rückkopplung führen.

Diese Studie zeigt viele wichtige Fragen auf:

- Lassen sich Okklusion und Rückkopplungsneigung bei CIC-Hörsystemen auf ein vergleichbares Niveau zu Mikro-HdO-Hörsystemen bei typischen Kandidaten für die offene Anpassung senken?
- Ist ein hochmodernes Rückkopplungsmanagement in der Lage, eine effektive Leistung samt Sprachverständlichkeit für variierende Spracheingangspegel zu liefern?
- Bietet die akustische Optimierung der Hörsystemparameter zusammen mit der verbesserten Rückkopplungsauslöschung dem Hörsystemträger Vorteile in punkto Okklusion, In-Situ Frequenzgang, Klangqualität und Sprachverständlichkeit?

Laborbewertung eines neuen Algorithmus zur Rückkopplungsauslöschung

Der Hauptunterschied zwischen früheren und heutigen offen angepassten Hörsystemen liegt in der Unterdrückung von Rückkopplung unter «realen» Bedingungen. Somit sollte die technische Leistungsfähigkeit eines jeden Hörsystems mit Bezugswerten verglichen werden, um den potenziellen Anpasserfolg

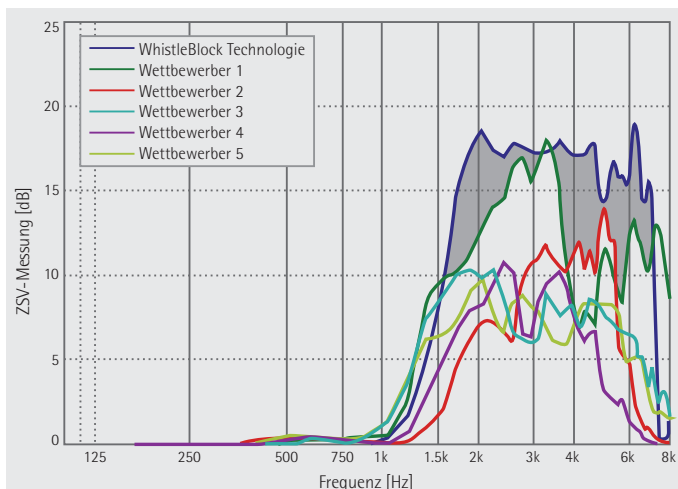


Abbildung 2:

ZSV-Messungen (zusätzliche stabile Verstärkung) als Funktion der Frequenz für sechs verschiedene, auf dem Markt erhältliche, offen anpassbare Hörsysteme.

zu ermitteln. Freed und Soli (2006) sowie Merks et al. (2006) haben eine Methode vorgeschlagen, welche die zusätzliche stabile Verstärkung (ZSV) als Maß für die technische Leistungsfähigkeit nutzt. Dazu wird ein Kunstkopf in einer schallisolierten Box platziert. Über einen Motor kann ein Objekt reproduzierbar und beliebig nahe an das Ohr und das Hörsystem herangeführt werden. Dies ermöglicht eine realistische Simulation verschiedener Rückkopplungsbedingungen. Unter Verwendung dieses Testaufbaus wurde die Leistungsfähigkeit eines neuen Systems zur Rückkopplungsauslöschung (WhistleBlock Technologie von Phonak) hinsichtlich der ZSV mit auf dem Markt erhältlichen Produkten verglichen. Die WhistleBlock Technologie kommt auch in einem neuen, offen angepassten CIC-Hörsystem (Exélia CIC Petite) zum Einsatz. Die ZSV ist die bei aktivierter Rückkopplungsauslöschung mögliche höhere Verstärkung gegenüber der Verstärkung bei abgeschaltetem System. Abbildung 2 stellt die für sechs verschiedene Hörsysteme gemessene ZSV dar. Die Hörsysteme wurden so aufeinander abgestimmt, dass alle dieselbe Verstärkung erzeugen. Abbildung 2 verdeutlicht, dass die WhistleBlock Technologie von Phonak deutlich mehr zusätzliche stabile Verstärkung bietet als Vergleichssysteme zur Rückkopplungsauslöschung, die in offen anpassbaren Hörsystemen verwendet werden. Dies gilt insbesondere für den wichtigen Frequenzbereich zwischen 1500 und 3000 Hz (z. B. 16,7 dB im Gegensatz zu 13,8 dB des Wettbewerbers 1).

Klinische Bewertung des neuen offenen Exélia CIC Petite von Phonak in der Praxis

Probanden

Insgesamt nahmen an der Studie 26 (16 männliche und 10 weibliche) Patienten mit Hörminderung als Probanden teil. Das Durchschnittsalter lag bei 65 Jahren, die Mehrheit der Probanden waren bereits erfahrene Hörsystemträger. Die Probanden entsprachen der Zielgruppe für offene Anpassungen; die durchschnittlichen audiometrischen Schwellenwerte sind in Abbildung 3 dargestellt.

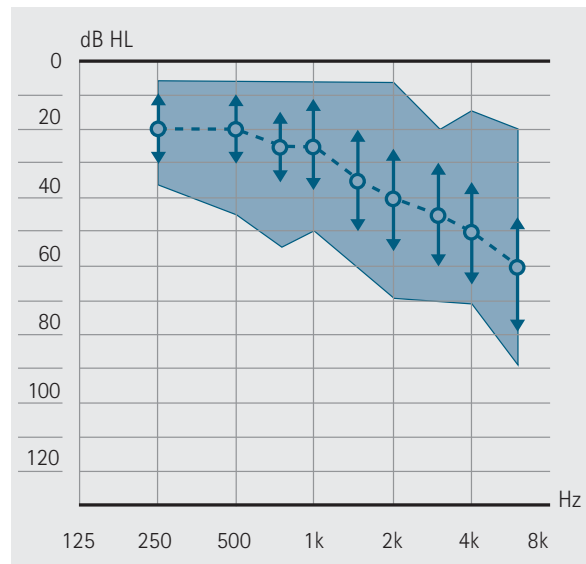
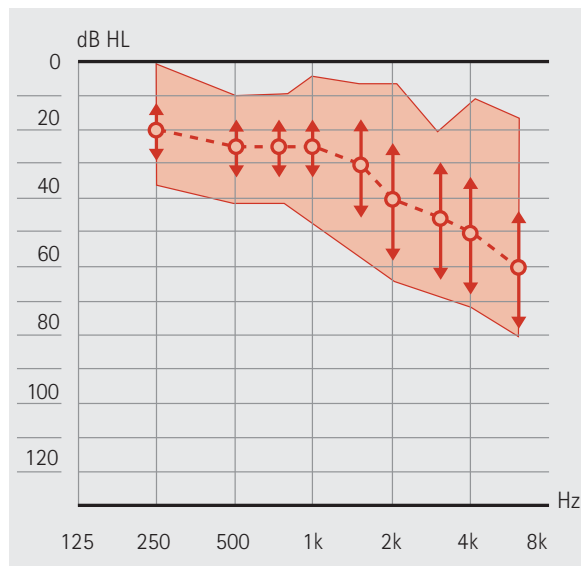


Abbildung 3:

Audiometrische Eigenschaften (Mittelwert, Standardabweichung und der Gesamtbereich) für das rechte (rot) und das linke (blau) Ohr der 26 an der Studie teilgenommenen Probanden.

Hörsysteme

Den Probanden wurden drei verschiedene Hörsysteme, jeweils binaural, angepasst:

1. Exélia CIC Petite mit akustisch optimiertem Vent (AOV)
2. Savia Art CIC mit IROS Belüftung
3. microSavia Art CRT mit offenem SlimTip

Die Hörsysteme wurden anhand der audiometrischen Schwellenwerte eines jeden Probanden in der Software iPGF 2.0 nach der NAL-NL1 Anpassformel programmiert. Nachfolgend wurden Freifeld-Messungen durchgeführt, um die Sprachverständlichkeit für leise (50 dB SPL) und mittlere (65 dB SPL) Sprache eines männlichen Sprechers zu beurteilen und um sicherzustellen, dass laute Töne (85 dB SPL MPO-Schwelle) nicht unangenehm wahrgenommen werden. Der Sprachverständlichkeitsindex (Speech Intelligibility Index, SII) wurde für jedes Hörsystem bei 50 bzw. 65 dB SPL berechnet, um den Grad der Hörbarkeit von Sprache, die jedes System liefert, unter realen Bedingungen beurteilen zu können. Der SII ist eine Weiterentwicklung aus der Artikulationstheorie, welcher in 1/3-Oktavbändern gewichtete Berechnungen der Sprachverständlichkeit verwendet und dabei das Verhältnis zwischen Nutzschall und Störschall, Grad der Hörstörung und der Art, wie die Signale vom Hörgerät in der Versuchseinstellung verstärkt wurden, berücksichtigt. Der SII schließt auch Pegel-Verzerrungseffekte, die bei verstärkten Tönen auftreten können mit ein und ist somit ideal für die Voraussage des Nutzens von Hörsystemen. Der SII hat sich als äußerst stabiles Mittel für die Leistungs-Prognose sowohl für normalhörende

Menschen als auch für Menschen mit Hörminderung in einer Vielzahl von Hörumgebungen erwiesen. Zusätzlich zu den Real-Ear-Messungen beurteilten die Probanden die Effektivität des Systems zur Rückkopplungsauslöschung für jedes der Hörsysteme unter drei Testbedingungen:

- 1) Wenn kein Rückkopplungstest durchgeführt wurde
- 2) Wenn der Rückkopplungstest mit dem Hörsystem an einem 2cm³ Kuppler durchgeführt wurde
- 3) Wenn der Rückkopplungstest In-Situ mithilfe der iPGF Anpassungssoftware durchgeführt wurde

Für jede dieser Bedingungen wurden beide Ohren auf das Auftreten von Rückkopplungen unter «dynamischen» Hörbedingungen getestet, indem die linke oder rechte Hand der Probanden langsam auf einer parallelen Ebene zur Ohrmuschel hin bewegt wurde, angefangen bei 30 cm, so lange, bis eine Rückkopplung auftrat. Der Hand-Ohr-Abstand (in cm), bei dem es zur Rückkopplung kam, wurde binaural für alle drei Hörsysteme aufgezeichnet. Darüber hinaus hörten sich die Probanden für jede Testbedingung zwei Musikpassagen an und beurteilten diese subjektiv gemäß der Klangqualität und dem Auftreten von Artefakten. Schließlich trug jeder der Probanden die Exélia CIC Petite Hörsysteme mit AOV über einen Zeitraum von zwei Wochen, wonach sie einen subjektiven Fragebogen bezüglich des Hörsystemnutzens in punkto Klangqualität, Sprachverständlichkeit, Okklusion und Rückkopplung ausfüllten.

Ergebnisse

Okklusion

Die Probanden trugen die Hörsysteme durchschnittlich 9,5 Stunden am Tag, was einer Gesamttragedauer von 155 Betriebsstunden entsprach. Sie wurden direkt nach der Anpassung eines der drei Hörsysteme mittels eines Fragebogens befragt. Die Probanden bewerteten die Klangqualität und Lautheit der eigenen Stimme mit Exélia CIC Petite im Vergleich zu den Produkten Savia Art CIC und microSavia Art CRT als überlegen. 20 von 26 Probanden beurteilten das Exélia CIC Petite als vergleichbar oder besser als das microSavia Art CRT. Nach einem Testzeitraum von zwei Wochen wurden weitere Daten mittels eines zweiten Fragebogens ermittelt. Es wurde über eine hervorragende subjektive Leistung bezüglich der Sprachverständlichkeit in ruhigen und in geräuschvollen Umgebungen, der Lautheit und Klangqualität der eigenen Stimme sowie der Gesamtzufriedenheit berichtet.

Rückkopplung

Bei allen drei Hörsystemen ergaben sich nach Optimierung des Systems zur Rückkopplungsauslöschung mittels In-Situ-Messung KEINE Rückkopplungen bei statischen Hörbedingungen. Die Ergebnisse des «dynamischen» Rückkopplungstests zeigten einen statistisch signifikanten Vorteil für Exélia CIC Petite gegenüber den Hörsystemen Savia Art CIC und microSavia Art CRT, wie in Abbildung 4 dargestellt. Bei Exélia traten Rückkopplungen erst in einem Abstand von durchschnittlich 0,53 cm auf, wenn die Hand der Probanden in Richtung Ohr geführt wurde. Bei beiden Savia Art Modellen hingegen trat Rückkopplung in einem Abstand von durchschnittlich 1,27 cm auf.

Hörbarkeitsberechnungen

Alle drei in dieser Studie bewerteten Hörsysteme verfügen über Mehrkanal-Kompressions-Systeme und breitbandige Hörer. Es ist also nicht ungewöhnlich, dass der berechnete SII ähnlich ausfiel. Und wie bei allen Hörsystemen mit Wide Dynamic Range Compression (WDRC) kommt es am häufigsten bei leisen Eingangssignalen zu Rückkopplungen. Deshalb deutet die Tatsache, dass der durchschnittlich berechnete SII für Exélia CIC Petite (0,55) größer war als der von Savia Art CRT (0,48), darauf hin, dass die neuartige Rückkopplungsauslöschung eine verbesserte Hörbarkeit bei leisen Tönen bietet (Abbildung 5). Tatsächlich war bei 22 von 26 Probanden der für das Exélia CIC Petite berechnete SII in einer Hörsystem-sprachumgebung von 50 dB SPL größer als bei Savia Art CRT. Die verbesserte Hörbarkeit von leisen Tönen bei vergleichbaren subjektiven Okklusionswerten ist ein Hinweis darauf, dass das akustisch optimierte Vent in Kombination mit der effektiven Rückkopplungsauslöschung ein positives Ergebnis für das Exélia CIC Petite mit AOV liefert.

Glatte Verlauf der Frequenzwiedergabekurve REAR (Real-Ear Aided Response)

Ein von Schultz et al. (1992) modifizierter Frequenzgangs-Quantifizierungsindex (FReSQI) wurde zur Feststellung von Unregelmäßigkeiten im Frequenzgang der Hörsysteme verwendet. Dazu wurde der «Fehler» zwischen der REAR (Real Ear Aided Response) und einem Polynom zweiter Ordnung zwischen den gewählten niederfrequenten und hochfrequenten Grenzen berechnet. Bei dieser Messung lagen die berechneten FReSQI-Werte niedriger, was auf einen glatteren Frequenzgang bei Exélia CIC Petite AOV (15,1) als bei einem der Hörsysteme Savia Art CIC (26,1) oder microSavia Art CRT (25,2) hindeutet.

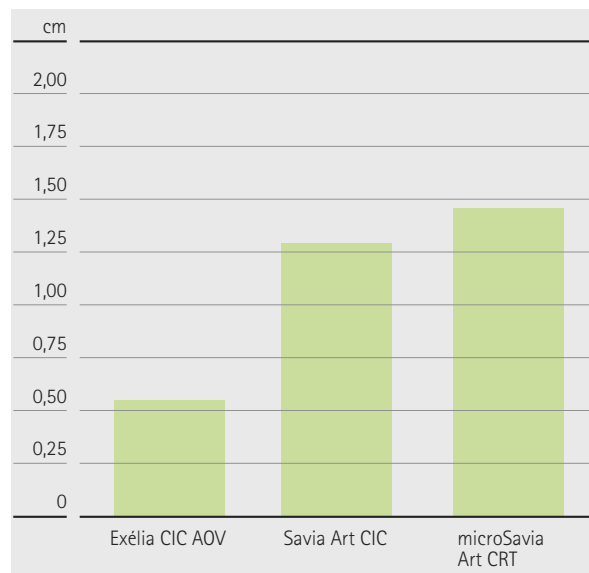
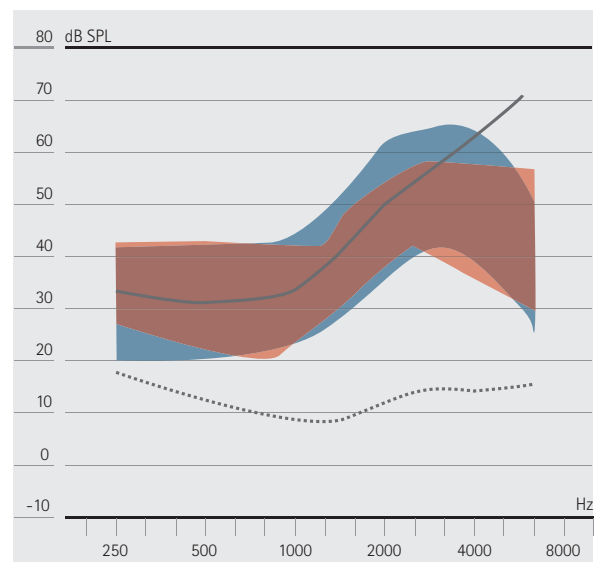


Abbildung 4:

Durchschnittlicher Abstand, bei dem es bei der «dynamischen» Messung zu Rückkopplungen kam, wenn die Probanden ihre Hand auf einer parallelen Ebene in Richtung Ohr bewegten, angefangen bei einem Abstand von ca. 30,48 cm, bis zum Auftreten von Rückkopplungen oder bis die Probanden ihr Ohr berührten.



■ SII=0,55 – Exélia CIC Petite AOV

■ SII=0,48 – Savia Art CRT

— Ziel-DSL

Abbildung 5:

Durchschnittlich verstärkte Sprachbereiche und SII-Berechnungen für Exélia CIC Petite mit AOV (blau) und Savia Art CRT (rot).

Schlussfolgerungen

Die Antworten auf die experimentellen Fragen deuten darauf hin, dass die akustische Optimierung der Belüftungs- und Hörsystemparameter einen glatteren In-Situ-Frequenzgang bieten, der sich in punkto Okklusion, Klangqualität und Sprachverständlichkeit positiv für den Hörsystemträger auswirkt. Darüber hinaus wurden die Okklusion und die gemessene Rückkopplung mit dem Exélia CIC Petite mit AOV im Verhältnis zum Savia Art CRT micro HdO-Hörsystem bei typischen Hörsystemkandidaten für die «offene Anpassung» verringert. Schließlich führte das verbesserte Rückkopplungsmanagement von Exélia zu einer besseren Rückkopplungsauslöschung unter «dynamischen» Hörbedingungen, während gleichzeitig eine verbesserte Hörbarkeit bei leisen Eingangssignalen gewährleistet wird.

Zusammenfassend kann man sagen, dass eine wirkungsvolle Leistung bei offen angepassten Hörsystemen von folgenden Faktoren abhängt:

1. Okklusionsmanagement
2. Verhinderung von Rückkopplungen unter statischen und dynamischen Hörbedingungen
3. Hörbarkeit für leise Sprache und andere Klänge
4. Einem glatten In-Situ-Frequenzgang

Exélia CIC Petite mit akustisch optimierter Belüftung, digitalen Schalenherstellungstechniken und der WhistleBlock Technologie erreicht all diese Ziele und bietet Patienten mit diesem Erfolgsrezept eine veritable Alternative der offenen Anpassung im Vergleich zu Mikro-Hörsystemen.

Referenzen

Davis, L.A. and Davidson, S.A. (1996). *Preference for and Performance With Damped and Undamped Hearing Aids by Listeners With Sensorineural Hearing Loss*. Journal of Speech and Hearing Research Vol. 39, p. 483-493.

Freed, D. and Soli, S. (2006). *An Objective Procedure for Evaluation of Adaptive Antifeedback Algorithms in Hearing Aids*. Ear & Hearing. 27(4): p. 382-398.

Merks, I., Banerjee, S. and Trine, T. (2006). *Assessing the effectiveness of feedback cancellers in hearing aids*. The Hearing Review 13(4): p. 53-57.

Kochkin, S. (2006). *BHI Survey looks at Thin-Tube/Open-Fit BTEs*. The Hearing Review. 13(10).

Roberts, M. and Schulein, R. (1997). *Measurement and intelligibility optimization of directional microphones for use in hearing aid devices*. Paper 4515 (B3) presented 103 AES Convention, New York.

Schultz, T. Y., Davidson, S. A., Davis, L. A., & Krishnamurthy, A. K. (1992). *Quantifying the irregularity of hearing aid responses*. ASHA, 34, 199.

van Buuren, R. A., Festen, J. M. and Houtgast, T. (1996). *Peaks in the frequency response of hearing aids: Evaluation of the effects on speech intelligibility and sound quality*. Journal of Speech and Hearing Research, 39, p. 239-250.

Kiessling, J. et al. (2005). *Occlusion effect of earmolds with different venting systems*. Journal of American Academy of Audiology, 16, p. 237-249.