Studienergebnisse

Optimierte Otoplastik-Designs für eine okklusionsarme, geschlossene Ankopplung

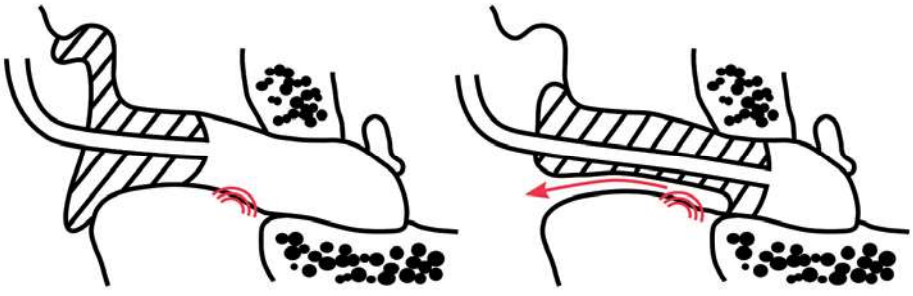
Bei der Wahl der Ankopplung an den Gehörgang steht der Hörakustiker traditionell vor einem Kompromiss zwischen einer guten Hörgeräteleistung mit einer geschlossenen Ankopplung und einem hohen Tragekomfort sowie Natürlichkeit der eigenen Stimme mit einer eher offenen Versorgung. Bei der nachfolgend vorgestellten Studie geht es um eine Evaluation optimierter Otoplastik-Designs, die bei geschlossener Ankopplung Okklusionsfreiheit bieten sollen. Die Ergebnisse sind vielversprechend und zeigen, dass dieser Kompromiss durch geeignete Otoplastik-Designs zumindest abgemindert werden kann.

Ein echter Dauerbrenner bei der Hörgeräteanpassung ist die Frage der Ankopplung an das Ohr, nicht zuletzt belegt durch die Existenz dieses Sonderteils. Laut Lehrbuch sollen hier zwei gegensätzliche Ziele unter einen Hut gebracht werden: eine möglichst gute Hörgerätefunktionalität auf der einen Seite, welche mit einer möglichst geschlossenen Ankopplung erreicht wird. Geschlossen deshalb, da der Schalldruck am Trommelfell besser vom Hörgerät kontrolliert werden kann und ein breiter Übertragungsbereich zur Verfügung steht (Hieke et al. 2022). Auf der anderen Seite stehen der Tragekomfort und eine natürliche Wahrnehmung der eigenen Stimme, was durch eine Öffnung des Gehörgangs erreicht werden soll. Das Sprechen und andere Aktivitäten wie Kauen oder Gehen erzeugen Vibrationen der Gehörgangswände und auf diese Weise eine Schallquelle innerhalb des Gehörgangs. Diese wird bei geschlossenem Gehörgang in den tiefen Frequenzen verstärkt und verursacht dadurch einen unnatürlichen Klangeindruck für Körpergeräusche wie die eigene Stimme. Das Phänomen dieser messbaren Pegelerhöhung der eigenen Stimme bei tiefen Frequenzen im Gehörgang und eine damit verbundene unnatürliche Wahrnehmung wird als Okklusionseffekt bezeichnet. Ein Öffnen des Gehörgangs lässt Teile dieser Schallkomponenten wie im Fall des unversorgten Ohres abfließen, sodass das Klangbild für Körpergeräusche natürlicher wird. Eine (teilweise) Öffnung des Gehörgangs bewirkt daher neben einem verbesserten Tragekomfort eine natürlichere Wahrnehmung der eigenen Stimme. Ob dies mit Schirmchen oder Otoplastiken erreicht wird, erscheint in diesem vereinfachten Bild zunächst als irrelevant.

Offene Anpassungen, ob mit Schirmchen oder Otoplastiken erzielt, stoßen nicht nur wegen der natürlichen eigenen Stimme oft auf eine hohe Spontanakzeptanz, sondern auch, weil das Hörgerät von den Kunden eher als zusätzliche Unterstützung und nicht als kontrollierend wahrgenommen wird. Dahingegen wird ein offen angepasstes Hörgerät gerade in lauten Umgebungen, in denen typische Erstversorgte über die größten Probleme berichten, prinzipbedingt kaum unterstützen können. Die Wirkung von hoch entwickelten Features verpufft auf dem Weg zum Trommelfell, da zum einen unverarbeiteter Schall in den Gehörgang eintritt und zum anderen der tieffrequente Ausgang des Hörgeräts stark abgeschwächt ist. Um in solchen Situationen Unterstützung zu bieten, führt kein Weg an einer geschlossenen Ankopplung vorbei. Zudem gibt es immer mehr Hinweise darauf, dass für einige Schwerhörende zur Wiederherstellung der Lautheitswahrnehmung bei hohen Pegeln negative Verstärkungen nötig sind (Oetting 2021). Auch solche Fälle sind nur mit geschlossenen Ankopplungen ordentlich zu versorgen.

Prinzip der okklusionsarmen, geschlossenen Otoplastik

Eine genauere Betrachtung der Gehörgangsvibrationen beim Sprechen zeigt einen ganz anderen Weg als eine Öffnung des Gehörgangs auf, um den Okklusionseffekt zu reduzieren. Seit beinahe 100 Jahren ist aus dem Kontext der Knochenleitungsaudiometrie bekannt, dass die Vibrationen des Gehörgangs nur im knorpeligen Teil Schall erzeugen (Békésy 1932). Der Okklusionseffekt lässt sich also auch bei geschlossener Abdichtung auslöschen, indem man diese Schallkomponenten nicht ans Trommelfell gelangen



starke Okklusion kaum Okklusion

Abbildung 1: Prinzip der okklusionsminimierenden Otoplastik

Abbildungen: Deutsches Hörgeräte Institut

lässt. Das erreicht man, indem man eine Abdichtung bis an den knöchernen Gehörgangsteil, also mindestens bis zur zweiten Gehörgangskrümmung, gewährleistet. Weiter außen ist eine Abdichtung nicht nötig. Killion zeigte 1988 (Killion et al. 1988), dass dieser Ansatz tatsächlich funktionieren kann. Dennoch blieb diese Möglichkeit in der Praxis weitgehend unbekannt und ungenutzt. Killion selbst (Killion 2003) führte dies 15 Jahre später auf begrenzte Genauigkeiten bei der Abformung zurück, was auch in seinen Arbeiten dafür sorgte, dass häufig mehrere Versuche nötig waren, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Das alles fand vor Einführung von digitaler Otoplastik-Fertigung und mit ganz anderen Abformmaterialien statt, als sie heute zur Verfügung stehen.

Entwicklung okklusionsarmer Otoplastik-Designs: Deutschland

Seit Anfang der 2000er-Jahre gab es in Deutschland mehrere mitunter parallele Entwicklungen von OtoplastikDesigns, deren Entwicklern die oben beschriebenen Erkenntnisse nicht bekannt waren (Voogdt 2011). Trotzdem mündeten sie in ähnlichen Lösungen, die von den obigen Überlegungen gestützt werden. 2004 tüftelten Michael, auch Mike genannt, Gerl und Bernd Klinker an neuen Otoplastik-Designs mit kurzem Vent. Dazu drehten sie das IROS-Design, auch bekannt als Step-Vent, um. Man kann sich das so vorstellen, als würde man aus einer Voll-Otoplastik den unteren, vorderen Teil des Zapfens nicht mehr medial (innen), sondern lateral (von außen) abfräsen. Der Tragus bleibt so materialfrei, die Abdichtzone rutscht weit nach innen und ist nicht mehr als 3 bis 5 mm lang (siehe Abbildung 1). Vom Zapfen bleibt im äußeren Gehörgangsteil nur ein schmaler Steg, der oben an der Gehörgangswand entlanggeführt wird, siehe Abbildung 1. Zu Beginn ging es Mike Gerl und Bernd Klinker in diesem Zusammenhang gar nicht um eine Reduktion des Okklusionseffekts, sondern um die Möglichkeit einer möglichst offenen Versorgung durch die Verkürzung des Vents. Über die Jahre fiel aber auf, dass ein Vent mit diesem Design gar nicht nötig ist, um den Okklusionseffekt stark zu reduzieren (Saile 2010). Der heute für dieses Design gängige Name Nugget entstand in Anlehnung an einen Goldfund 2005 im Yukon-Territorium in Kanada.

Ein solch minimales Zapfendesign bringt natürlich besondere Anforderungen an die Stabilisierung mit sich. Gerl und Klinker lösten dies mit einer spangenartigen Halterung im oberen Bereich der Concha. Ob bewusst oder unbewusst, diese Formgebung erinnert an die Concha-Line- und Cymba-Line-Designs von Erich Bayer. Erich Bayer beschäftigte sich schon in den 1990er-Jahren mit Otoplastiken, die einen hohen Tragekomfort und die Möglichkeit einer offenen Ankopplung ermöglichten, und meldete diese Designs 1999 bzw. 2000 als Patent an. Auch er entfernte großzügig Material im unteren vorderen Gehörgangsteil, sodass der Tragus materialfrei und der Kiefergelenkkopf frei beweglich war. Für Halt sorgen Spangen, die in der Concha geführt werden. Die Öffnung des Gehörgangs realisierte Erich Bayer dabei nicht über eine definierte Belüftungsbohrung, sondern indem ein Spalt zwischen Zapfen und unterer Gehörgangswand offen blieb.

Aufbauend auf den Entwürfen seines Freundes Erich Bayer erweiterte 2002 Hans-Rainer Kurz, vielen als Mozart bekannt, diese Designelemente um eine Abdichtzone im inneren Teil des Gehörgangs. Diese Otoplastiken nannte er zunächst wegen der Ähnlichkeit zu einer Schweineschnauze aufgrund der beiden Bohrungen „Rüssel-SE“ und später „Naturklang“. Sie waren mit Belüftungsbohrungen ausgestattet. Heute ist diese Variante als Concha-Line P bzw. Cymba-Line P bekannt. Dabei markiert das „P“ die „Power“-Version der sonst offenen Otoplastik-Designs. Später entwickelte Kurz seine Designs weiter und legte die Dichtzone noch weiter nach innen in den knöchernen Teil des Gehörgangs und setzte hier Schirmchen und Schaumstoff ein, um eine Abdichtung zu erzielen (Kurz 2013). Das Ergebnis war die Black Beauty, die als Hybrid-Otoplastik eine Besonderheit darstellte und dem einen oder anderen noch geläufig sein dürfte.

Verschiedene Wege führten demzufolge zum selben Designmerkmal, das in Abbildung 1 rechts dargestellt ist: Die Dichtzone sollte weit innen liegen, sodass keine offene Fläche des knorpeligen Gehörgangsteils akustisch mit dem Trommelfell verbunden ist und Okklusionsschall nicht ans Trommelfell gelangen kann. Großzügige Aussparungen im Bereich des Kiefergelenkköpfchens sorgen für einen hohen Tragekomfort und verhindern ein Verrutschen der Otoplastik bei Kieferbewegungen. Zudem kann der durch Gehörgangsvibrationen entstandene Schall nach außen abfließen, ohne dass die Otoplastik selbst in Schwingung versetzt wird und doch Okklusionsschall zum Trommelfell transportieren könnte. Innerhalb dieses Artikels wird für ein solches Design im Einklang mit der allgemeinen Nutzung der Name Nugget verwendet.

Messungen

Ziel der vorliegenden Studie war es, durch objektive Messergebnisse zu evaluieren, ob solche optimierten Otoplastiken in der Tat ganz ohne Öffnung des Gehörgangs eine okklusionsreduzierende Wirkung entfalten können. Dazu wurden an 14 normalhörenden Probanden In-situ-Messungen mit eigens angefertigten Otoplastiken durchgeführt. Diese Otoplastiken wurden an einen Hinter-dem-Ohr(HdO)-Hörgerätedummy angeschlossen, ein Gerät mit Mikrofonen und Hörern, aber ohne Prozessor, siehe Abbildung 2. So konnten die Mikrofoneingänge und der Hörgerätehörer für Messungen von Übertragungsfunktionen am Ohr genutzt werden, die mit normalen Hörgeräten nicht zugänglich sind. Eine an den Sondenschlauch angepasste Bohrung erlaubte ein Durchführen des Sondenschlauches ohne Erzeugung von zusätzlichen Leckagen durch die Messung.

Untersucht wurden insgesamt sieben Otoplastik-Designs, die allesamt keine

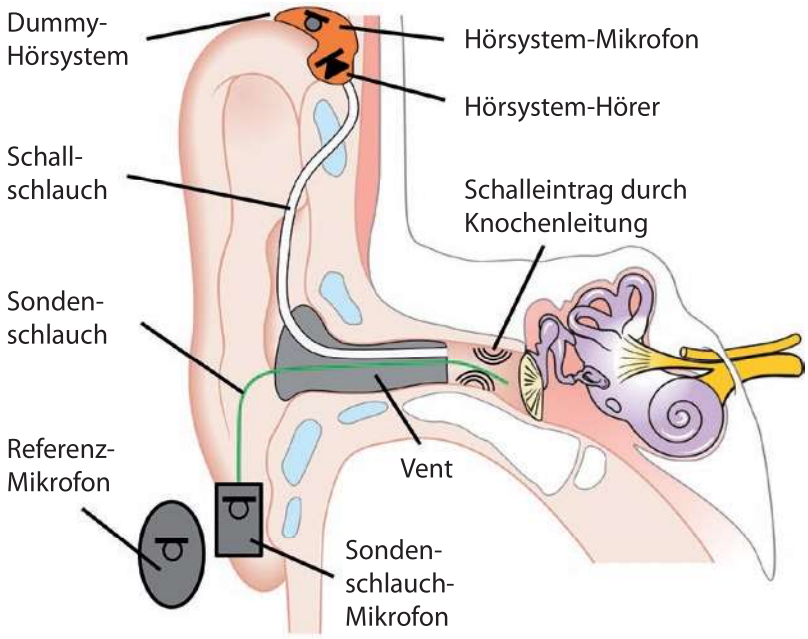


Abbildung 2: Schematischer Messaufbau im Probandenohr

Belüftungsbohrung enthielten. Die Designs für eine Versuchsperson sind in Abbildung 3 dargestellt. Als Referenz diente eine Voll-Otoplastik mit Ringhalterung, mit einer Zapfenlänge von bis etwas über die erste Gehörgangskrümmung: Standard, kurz. Bei allen übrigen Otoplastiken war die Zapfenlänge bis über die zweite Gehörgangskrümmung hinaus gewählt, was nach den Überlegungen oben den Okklusionseffekt trotz geschlossener Ankopplung deutlich reduzieren sollte. Einerseits wurde eine Voll-Otoplastik mit längerem Zapfen gefertigt: Standard, lang. Andererseits wurden für das Nugget-Design ausgehend von einer etwa 4 mm breiten Dichtzone innerhalb der zweiten Gehörgangskrümmung großzügige Aussparungen im unteren, vorderen Bereich des Gehörgangs weiter außen vorgenommen. Die Haltung wurde über eine Spange in der Helix und Cymba erreicht. Der Tragus blieb materialfrei. Für dieses Design wurde der Einfluss von Fertigungstoleranzen untersucht, indem der Zapfen kontrolliert mit einem positiven und negativen Offset von 0,2 mm, also bewusst etwas zu groß oder zu klein, gefertigt wurde: Nugget +0,2, Nugget – 0,2.

Zum Vergleich: Oft werden bei Standard-Designs bewusste „Wachoffsets“ von 0,3 mm eingesetzt, um einen festen Sitz zu erreichen. In einer weiteren Variation, dem Nugget-Ring, wurde eine zusätzliche Haltezone durch eine Ringhalterung am Tragus realisiert. Für die Hybrid-Otoplastik in Anlehnung an die Black Beauty nach Hans-Rainer Kurz wurde ausgehend von einer ringförmigen Halterung in der Concha der Zapfen auf einen Rüssel reduziert, der keinen Kontakt mehr zum Gehörgang hat. An dessen Ende wurde ein kurzer Schaumstoffstöpsel befestigt, der beim Einsetzen zusammengedrückt wurde und sich plastisch an die individuelle Gehörgangsform anpassen konnte.

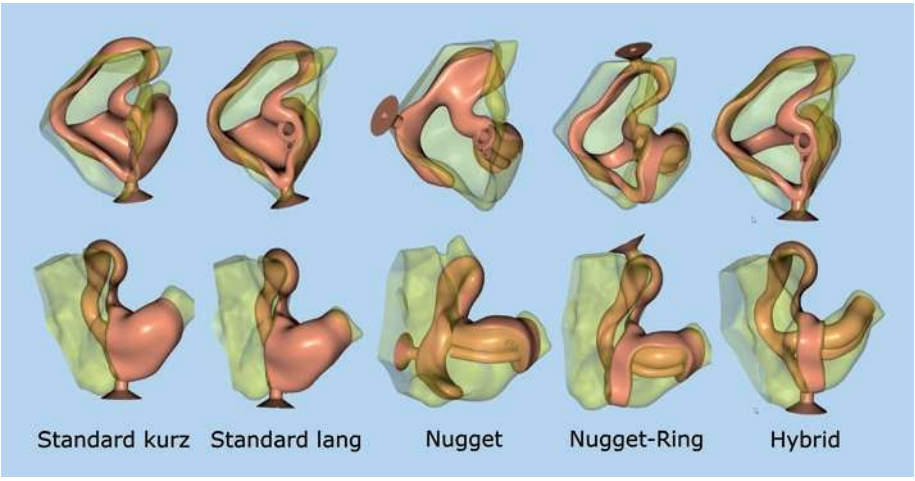


Abbildung 3: Verwendete Otoplastik-Designs mit schattiertem Originalohrabdruck

Alle Otoplastiken wurden auf Basis desselben Abdrucks angefertigt, der mit weicher Abformmasse (Detax Junior DIC) bis hinter die zweite Gehörgangskrümmung genommen wurde. Der Kiefer war dabei in entspannter, geschlossener Haltung. Der Abdruck wurde noch am Tag der Anfertigung digitalisiert und digital an das Otoplastik-Labor übermittelt. Als Material wurde ein hartes Lichtpolymer gewählt.

Von näherem Interesse für die folgende Auswertung ist die Übertragungsfunktion des Hörgerätehörers am Trommelfell als Maß für die Geschlossenheit der Ankopplung (Hieke et al. 2022) sowie der objektiv gemessene Okklusionseffekt für die eigene Stimme. Dieser ist letztlich der Insertion Gain bei passivem Hörgerät für eine Vokalisation der Probanden. Hier werden Ergebnisse für ein lang gezogenes „I“ gezeigt, das bekanntermaßen den stärksten Okklusionseffekt erzeugt (Killion et al. 1988). Bei dieser Messung bekam der Proband Echtzeitfeedback über den aktuellen Pegel und hielt diesen Pegel innerhalb von ±2 dB konstant. Bei Berechnung des Insertion Gains wurde jede einzelne Aufnahme auf das Referenzmikrofon bezogen, damit etwa Unterschiede in der Tonhöhe nicht den Insertion Gain beeinflussten.

Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt den Mittelwert der Übertragungsfunktionen des Hörgerätehörers pro Otoplastik über alle 28 Ohren, also den Pegel, der dort bei konstanter Spannung am Hörer vorliegt. Bei mehr als 1 kHz sind kaum Unterschiede zwischen

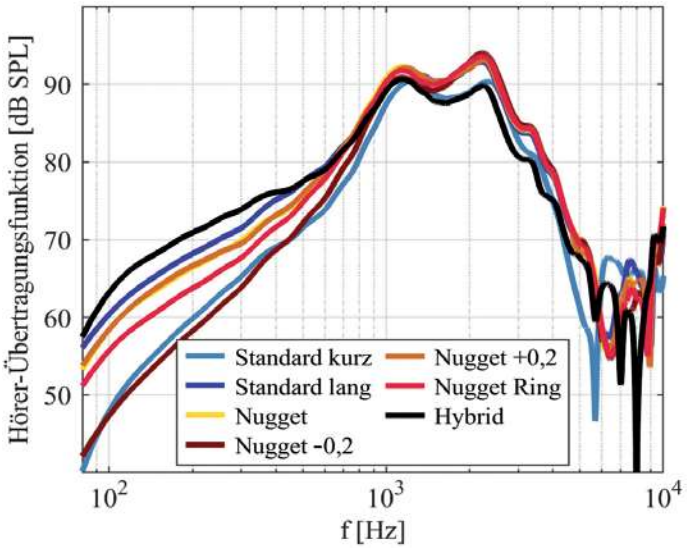


Abbildung 4: Hörgeräteübertragungsfunktionen ans Trommelfell (Mittelwerte über alle Ohren)

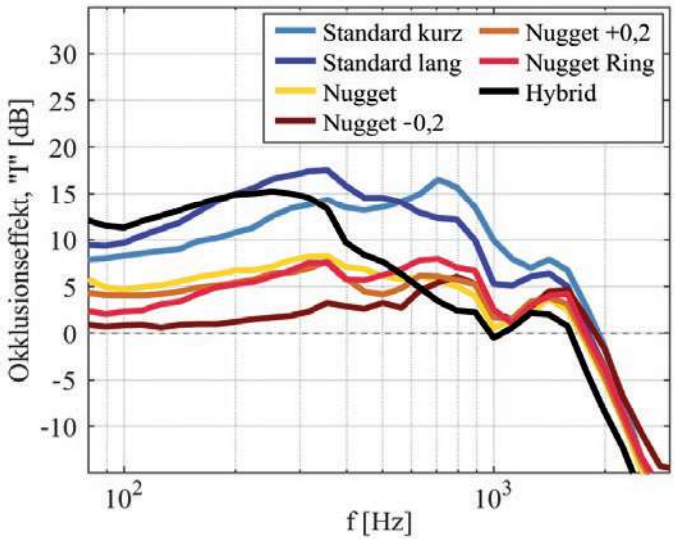


Abbildung 5: Okklusionseffekt für ein langgezogenes „I", Mittelwert über alle Ohren

den Otoplastiken zur erkennen. Die einzigen Ausnahmen sind die Referenz-Otoplastik mit kürzerem Zapfen als die übrigen Design sowie die Hybrid-Otoplastik. Beides ist durch einen leicht anderen Abdichtungspunkt zu erklären.

Bei Frequenzen unter 1 kHz gibt der Pegel Rückschluss auf die erreichte Dichtigkeit. Der höchste Pegel, also die dichteste Ankopplung, wurde mit der Hybrid-Otoplastik erreicht. Der Schaumstoffstöpsel innerhalb der zweiten Gehörgangskrümmung sorgt daher für eine sehr dichte Ankopplung, die sich auch mit Voll-Otoplastiken so nicht erreichen lässt. Etwas offener, aber vergleichbar sind die Standard-Otoplastik mit langem Zapfen und die Nugget-Otoplastik. Für die Nugget-Otoplastik führt ein positiver Offset (Nugget +0,2) zu einem quasi gleichen Ergebnis wie kein Offset, ein negativer Offset führt zu einer deutlich schlechteren Ankopplung. Bei den Standard-Otoplastiken führt der kürzere Zapfen (Standardlänge) zu einer deutlich schlechteren Abdichtung.

Die zugehörigen Okklusionseffekte für alle Otoplastik-Designs sind in Abbildung 5 dargestellt. Im Allgemeinen ist in einem Frequenzbereich bis etwa 1,5 kHz eine Pegelerhöhung zu beobachten, bei höheren Frequenzen bewirken die passiven Ohrstücke eine Pegelabschwächung. Über nahezu den gesamten Frequenzbereich wird der größte Okklusionseffekt mit den Standard-Otoplastiken beobachtet. Eine Verlängerung des Otoplastik-Zapfens bis ans innere Ende der zweiten Gehörgangskrümmung hat für verschiedene Frequenzen einen unterschiedlichen Effekt: Dieser wird für Frequenzen unterhalb von 500 Hz konsistent im Vergleich zu einer geschlosseneren Ankopplung mit dieser Otoplastik erhöht, aber für niedrige Frequenzen abgeschwächt. Im Gegensatz dazu wird mit dem Nugget-Design der Okklusionseffekt gegenüber dem Standard-Design mit langem Zapfen um 5 bis 10 dB abgeschwächt, wohlgemerkt bei gleicher Ankopplung. Mit den Offsets im Nugget-Design ist diese Erniedrigung mitunter noch stärker, allerdings auch bei einer schlechteren Abdichtung, siehe oben. Durch die Ringhalterung erhöht sich beim Nugget-Design der Okklusionseffekt oberhalb von 500 Hz. Interessant ist das frequenzabhängige Verhalten des Okklusionseffekts bei der Hybrid-Otoplastik. Während bei tiefen Frequenzen bis etwa 300 Hz ein sehr starker Okklusionseffekt betrachtet wird, fällt dieser zu hohen Frequenzen stark ab und ist ab 400 Hz sehr vergleichbar mit dem Okklusionseffekt bei dem Nugget-Design.

Um das Wechselspiel von Abdichtung und Okklusionseffekt mit den hier untersuchten Otoplastik-Designs explizit zu beleuchten, zeigt Abbildung 6 den verrechneten Effekt der effektiven Dichtigkeit, d. h. der Reduktion der Übertragungsfunktion bei 100 Hz gegenüber Standard-Otoplastik in lang, und der Okklusionsreduktion, d. h. Reduktion des Okklusionseffekts bei 750 Hz gegenüber

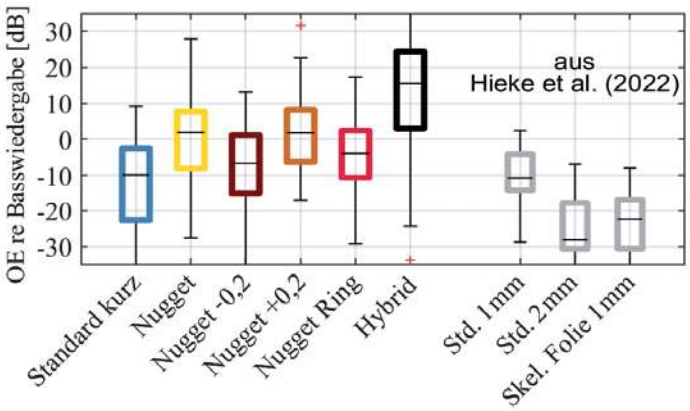


Abbildung 6: Verhältnis von Okklusionsreduktion und Basswiedergabe, Änderung zu kurzer Standard-Otoplastik. Boxplots zeigen die Verteilung über die einzelnen Ohren mit Median (horizontale Linie), 25 – 75 % Perzentilbereich

Standard, lang. Ein positiver Wert gibt dabei an, dass die Reduktion des Okklusionseffekts größer war als die der Basswiedergabe. Auch wenn der exakte Wert dieses Maßes in dB wohl nicht sinnvoll interpretierbar ist, werden hier Otoplastik-Designs, die den Okklusionseffekt ohne eine effektive Öffnung des Gehörgangs realisieren, einen höheren Wert erzielen.

Das in diesem Maß beste Ergebnis wird von der Hybrid-Otoplastik erzielt, die wie oben beschrieben bei sehr geschlossener Ankopplung einen niedrigen Okklusionseffekt ab 500 Hz zeigt. Würde man niedrigere Frequenzen zur Bewertung des Okklusionseffekts heranziehen, würde sich das Ergebnis nach unten verändern. Ein ebenso positives Ergebnis wird für das unmodifizierte Nugget-Design beobachtet. Dabei ändert sich das Ergebnis zwischen dem Nulloffset und einem positiven Offset von 0,2 mm nicht. Ein negativer Offset verschlechtert die Bewertung, genauso wie die Variante Nugget-Ring. Das schlechteste Gesamtergebnis in der aktuellen Studie wurde mit der Standardkurz-Otoplastik realisiert, die im Vergleich zum langen Zapfen einen ähnlichen Okklusionseffekt, aber eine schlechtere Ankopplung erzielt. Zum Vergleich sind Ergebnisse aus einer vorgegangenen Studie mit belüfteten Otoplastik-Designs (Hieke et al. 2022) gezeigt. Diese liegen bei weiter negativen Werten und zeigen deutlich, dass die hier verwendeten Otoplastik-Designs ganz deutlich eine verbesserte Okklusionsreduzierung bieten. Dies gilt auch für die skelettierte Folien-Otoplastik, die oft als okklusionsreduzierende Otoplastik eingesetzt wird. Dies wird aber lediglich durch eine effektive starke Öffnung des Gehörgangs erreicht und nicht durch eine gezielte Bekämpfung der Mechanismen, die Okklusionsschall entstehen lassen.

Schlussfolgerungen

Wie gezeigt wurde, lässt sich der Okklusionseffekt mit dem richtigen Otoplastik-Design deutlich reduzieren, auch ohne den Gehörgang öffnen zu müssen. Als Designmerkmal entscheidend ist dabei eine sehr tief liegende Abdichtzone bis zum inneren Ende der zweiten Gehörgangskrümmung, wo der knöcherne Gehörgangsteil beginnt. Zudem sollten im weiter außen liegenden Teil des Gehörgangs Aussparungen vorgenommen werden. Insbesondere der Bereich des Kiefergelenkköpfchens, also der vordere untere Teil des Gehörgangs, sollte frei liegen (Bonsel et al. 2020). Die aktuelle Studie zeigt klar die Wichtigkeit dieser Aussparungen: Eine Verlängerung eines Vollzapfens zeigt quasi keine Reduktion des Okklusionseffekts gegenüber einer Standardlänge. Bei weichen Materialien wie bei Gehörschutzstöpseln aus Schaumstoff ist dies so nicht der Fall (Berger und Voix 2018). Eine wahrscheinliche Erklärung ist, dass bei Voll-Otoplastiken aus hartem Material die Otoplastik selbst in Schwingung versetzt wird und so den Okklusionsschall in den Restgehörgang weiterleitet, obwohl die vibrierenden Teile des knorpeligen Gehörgangs eigentlich davon isoliert sind. Für den Tragekomfort sind diese Aussparungen ebenfalls positiv zu bewerten, da eine freie Bewegung des Gehörgangs möglich ist und nicht zuletzt mit weniger Schweißbildung zu rechnen ist.

Die nötigen Aussparungen führen zu einer schmalen Abdichtzone innerhalb der zweiten Gehörgangskrümmung. Insbesondere wenn hartes Material eingesetzt wird, muss hier die anatomische Form des Gehörgangs exakt reproduziert werden, um trotzdem eine gute Abdichtung zu erzielen. Dies heißt zum einen, dass der Ohrabdruck insbesondere in diesem Bereich gut gelingen muss, was unter Umständen etwas Übung und ein passendes Abformmaterial erfordert. Für die vorliegende Studie wurde ein sehr weiches Abformmaterial verwendet. Die Otoplastik sollte dabei offsetfrei oder auch mit leicht positivem Offset produziert werden.

Künftig könnten weiche Materialien innerhalb der schmalen Abdichtzone inte-

Anzeige

ressant sein, um die Abdichtung weiter zu verbessern. In der aktuellen Arbeit wurde dieses Prinzip mit Schaumstoff in der Hybrid-Otoplastik erfolgreich demonstriert. Allerdings ist ein Schaumstoffstöpsel am inneren Ende der Otoplastik wahrscheinlich nicht dauerhaft praktikabel. Eine Alternative wäre hier ein als Guss gefertigtes Silikonelement, das in einen harten Otoplastik-Zapfen, dann mit anderem Material gegossen, übergeht. Ebenso denkbar sind neuartige Ansätze, bei denen eine Nachgiebigkeit nicht durch die Materialeigenschaft, sondern durch die Fertigung einer gitterartigen Struktur eines eigentlich harten Materials erreicht wird. Man kann gespannt sein, welche Innovationen hier in den nächsten Jahren aus der additiven Fertigung kommen.

Durch spezielle Otoplastik-Designs lässt sich der Tragekomfort deutlich verbessern, ohne dabei den Gehörgang öffnen und eine schlechtere Leistungsfähigkeit des Hörgeräts in Kauf nehmen zu müssen. Diese Designs sind eigentlich seit Längerem bekannt und auch auf In-dem-Ohr(IdO)-Systeme übertragbar, aber in der Praxis bisher leider wenig verbreitet. Wie hier gezeigt wurde, ist eine exakte Fertigung für den Erfolg nötig, die nicht ohne einen gelungenen Ohrabdruck erreicht werden kann. Hier kommt es auf die Kernfähigkeiten eines guten Hörakustikers an: Nur mit sauberer handwerklicher Arbeit kann die Leistungsfähigkeit moderner Hörgeräte wirklich am Kundenohr ankommen. Hoffentlich werden die vorliegenden Ergebnisse in Zukunft mehr Hörakustiker motivieren und ermutigen, mehr geschlossene Ankopplungen zu wagen.

Fazit

Durch die Kombination einer Abdichtzone bis über die zweite Gehörgangskrümmung hinaus und Aussparungen weiter außen im Gehörgang, die insbesondere den Bereich des Kiefergelenkköpfchens frei lassen, lässt sich der Okklusionseffekt auch bei geschlossener Ankopplung stark reduzieren. Durch die schmale Abdichtzone tief im Gehörgang ist eine exakte Passform essenziell und wird durch einen Ohrabdruck und einen gut kontrollierten Fertigungsprozess ohne Offset erreicht.

Danksagung

Die Autoren danken Mike Gerl, Erich Bayer, Harald Bonsel, Torsten Saile, Marco Scheinhardt und Malte Roberz, ohne die die vorliegende Studie so nicht hätte gelingen können, sowie der Forschungsgemeinschaft Deutscher Hörakustiker (FDHA) für ihre finanzielle Unterstützung.

Referenzen

Berger EH, Voix J (2018) Chapter 11: Hearing Protection Devices. In: Meineke DK, Berger EH, Neitzel R, Driscoll DP (Hrsg.) The Noise Manual, 6. Aufl. American Industrial Hygiene Association, 54

Bonsel H, Gerl M, Parr M, Bonsel C (2020) Okklusionsfrei und geschlossen: Geht (fast) immer! Hörprofil 2, 2.

Hieke T, Roberz M, Husstedt H, Denk F (2022) Okklusions- und Ankopplungseffekte für verschiedene Otoplastik-Designs. Hörakustik (59)7, 6.

Killion MC (2003) Earmold Acoustics. Seminars in Hearing, 24(4)

Killion MC, Wilber LA, Gudmundsen GI (1988) Zwislocki was Right. Hearing Instruments 39(1), 14–18

Kurz HR (2013) Die „Traumotoplastik" – Eine Vision oder bereits Realität?. Hörakustik (48)11, https://docplayer.org/22463973-Nun-ich-selbst-trage-alle-arten.html (Stand: 07.05.2024)

Oetting DD (2021) Die binaurale breitbandige Lautheitssummation. Hörakustik (56)9

Saile T (2010) Für zufriedene Kunden. Otoplastik Spezial. Hörakustik (45)9, 31–35

Békésy G v (1932) Zur Theorie des Hörens bei der Schallaufnahme durch Knochenleitung. Annalen der Physik 405(1), 111–136 https://doi.org/10.1002/andp.19324050109 (Stand: 07.05.2024)

Voogdt U (2011) Otoplastiken – eine zyklische Wiederkehr der Gedanken. Audio Infos 123(11), 40–44

Dr. Florian Denk, Postdoc,
Dr. Hendrik Husstedt, Geschäftsführer,
Deutsches Hörgeräte Institut GmbH