Studie zur akustischen Ankopplung

Okklusions- und Ankopplungseffekte für verschiedene Otoplastik-Designs

Thomas Hieke, Malte Roberz, Hendrik Husstedt, Florian Denk

In der modernen Hörsystemversorgung findet eine immer schneller werdende technische Entwicklung statt. Ein wichtiger Aspekt hat sich bisher allerdings verhältnismäßig wenig verändert oder weiterentwickelt: die akustische Ankopplung. In einer Studie wurden daher verschiedene Otoplastik-Designs bezüglich ihrer akustischen Eigenschaften und deren Auswirkungen untersucht.

Unabhängig der Bauform wie In-dem-Ohr (IdO), Hinter-dem-Ohr (HdO) und HdO mit Ex-Hörern bleiben grob unterteilt zwei Möglichkeiten der Ankopplung an das Ohr: zum einen die Pauschallösung, wie z. B. Schirmchen (auch Domes oder Oliven genannt), die nur in seltenen Fällen den Anforderungen einer Hörsystemanpassung gerecht werden können (Voogdt 2013), zum anderen die maßgefertigte Individual-Otoplastik, die im Hinblick auf Passgenauigkeit, Tragekomfort und Halt, aber auch bei der Anpassbarkeit, Stabilität und Präzision der akustischen Ankoppeleigenschaften deutliche Vorteile aufweist (Bayer 2020). Die Ankopplung des Hörsystems an das Ohr ist deshalb so wichtig, weil wesentliche Übertragungseigenschaften, wie die Übertragungsbandbreite des Hörers, die Rückkoppelneigung, der Anteil an direktem und verarbeitetem Schall oder die Wahrnehmung der eigenen Stimme, maßgeblich dadurch beeinflusst werden. Insbesondere eine unnatürliche Wahrnehmung der eigenen Stimme kann zu verminderter Tragebereitschaft oder gar einer totalen Ablehnung des Hörsystems führen (McCormack und Fortnum 2013).

Ein Grund für die charakteristische Veränderung in der Wahrnehmung der eigenen Stimme durch Otoplastiken beruht auf dem bereits 1932 von Georg von Bekesy erklärten Okklusionseffekt. Dessen Ursprung liegt in der Übertragung von hauptsächlich tieffrequenten Anteilen des körpereigenen Schalls in den Gehörgang. So werden beim Sprechen Schwingungen über den Unterkiefer und dessen Gelenkkopf an den knorpeligen Teil des Gehörgangs übertragen. Die schwingenden Gehörgangswände des knorpeligen Teils geben diese Schallkomponente akustisch weiter an das Gehörgangsrestvolumen und so an das Trommelfell. Dieser Vorgang findet unabhängig von einer Okklusion des Gehörgangs immer statt. Allerdings ist im Fall eines okkludierten Gehörgangs eine Ausbreitung der Schallanteile durch die Gehörgangsöffnung nach außen nicht mehr möglich. Dadurch kommt es zu Reflexionen am okkludierenden Objekt und einem tieffrequenten Pegelanstieg von bis zu 30 dB vor dem Trommelfell gegenüber dem offenen Ohr. Das flach verlaufende Maximum des Okklusionseffekts wird typischerweise bei Frequenzen zwischen 80 und 500 Hz erreicht.

Dieser tieffrequente Pegelanstieg im okkludierten Gehörgang wird als objektiver Okklusionseffekt bezeichnet und lässt sich anhand von In-situ-Messungen ermitteln. Der subjektive Okklusionseffekt beschreibt dagegen die veränderte Wahrnehmung von körpereigenem Schall, wie z. B. der eigenen Stimme, die oftmals perzeptiv als unnatürlich laut oder dröhnend beschrieben wird. Zur Ermittlung des subjektiven Okklusionseffekts wird deshalb oft die Bewertung durch den Hörsystemträger herangezogen, insbesondere in Bezug auf den natürlichen Klang der eigenen Stimme mit offenem Ohr. Allerdings ist die Korrelation zum objektiven Okklusionseffekt laut Literatur nur schwach bis mäßig vorhanden, weshalb sich Letzterer anscheinend nur bedingt für Rückschlüsse auf die daraus resultierende Wahrnehmung eignet (Kiessling et al. 2005).

Maßnahmen zur Reduktion des Okklusionseffekts

Die typische Lösung zur Reduktion des Okklusionseffekts ist eine teilweise Öffnung des Gehörgangs durch Belüftungsbohrungen (auch Vents genannt) bis hin zu offenen Versorgungen. Sie verlaufen bekanntermaßen innerhalb des Otoplastik-Zapfens parallel zum Schallkanal und stellen eine Öffnung des Gehörgangsrestvolumens dar. Über diesen Kanal können dann körpereigene Schallanteile aus dem Gehörgang abgeleitet werden, was eine Verringerung des Okklusionseffekts bewirkt. Hierbei gilt die akustische Masse der Ventilationsbohrung als entscheidendes Maß für die Öffnungswirkung. Die akustische Masse lässt sich anhand des Durchmessers bzw. der Querschnittsfläche und der Länge des Vents berechnen:

$$M = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

M – akustische Masse in kg/m^3
ρ – Luftdichte in kg/m^3
l – Länge des Vents in m
A – Querschnittsfläche des Vents in m^3

Die Wirkung eines Vents ist um so höher, je geringer die akustische Masse ausfällt. Nach der oben genannten Formel ist eine Minimierung der akustischen Masse durch eine Reduzierung der Ventlänge oder der Vergrößerung des Ventdurchmes-

sers möglich. Dementsprechend führt eine Vergrößerung des Durchmessers oder eine Verkürzung der Länge zu einer Verringerung der akustischen Masse und damit zu einer effektiveren Reduktion des Okklusionseffekts. Im Extremfall von offenen Schirmchen sind die Vents, also die Öffnungen im Schirmchen, so kurz, dass sie wie ein offener Gehörgang wirken (Kiessling et al. 2005).

Ventilationsbohrungen begünstigen jedoch auch eine Übertragung von verstärktem Schall nach außen sowie eine gesteigerte Durchleitung von Direktschall von außen nach innen. Die Verwendung von Vents führt somit unweigerlich zu einer Verringerung der maximal möglichen Verstärkung, einem gesteigerten Rückkopplungsrisiko und einer verminderten Wirkung sämtlicher Features, die nicht die Verstärkung in den hohen Frequenzen betreffen (Kuk et al. 2006). Damit stellt der Einsatz von Vents bzw. offenen Versorgungen immer einen Kompromiss zwischen Tragekomfort und Leistung des Hörsystems dar.

Eine andere Möglichkeit zur Verringerung des Okklusionseffekts, die in ihren Grundsätzen teilweise schon sehr lange bekannt ist, sind spezielle Designs von Otoplastiken. Allgemein lässt sich sagen, dass der Okklusionseffekt umso größer ist, je weiter lateral die Dichtzone liegt (Stenfelt und Reinfeldt 2007). Mittels sehr langer Zapfen, die eine Abdichtung bis in den knöchernen Teil des Gehörgangs erreichen, kann dagegen der empfundene Okklusionseffekt praktisch ganz verhindert werden (Killion 1988). Der Grund für dieses Verhalten ist, dass der schallabgebende, knorpelige Gehörgangsteil durch längere Zapfen zunehmend vom Restgehörgang isoliert und so der Knochenschalleintrag unterbunden wird. Dies ist in Abbildung 1 links dargestellt. Eine tiefe Abdichtung, unter Umständen bis in den knöchernen Bereich, ist allerdings nur mit langen und nahezu unbearbeiteten Zapfen möglich. Wird der Zapfen in der medialen Zone aus Gründen des Tragekomforts konisch bearbeitet, verschiebt sich die Dichtzone weit in den lateralen Bereich (Abbildung 1 Mitte). So gehen die Vorteile des langen Zapfens hinsichtlich des Okklusionseffekts verloren und der Okklusionseffekt ist ähnlich zu dem eines kurzen Zapfens (Abbildung 1 links).

Weitere Designentwürfe, wie von Erich Bayer 2002 gezeigt, schlagen markante Aussparungen des Zapfens im Bereich des Kiefergelenkköpfchens vor, um den Schalleintrag aus diesem anscheinend besonders kritischen Bereich in den Restgehörgang zu minimieren. Diese und verwandte Modifikationen werden gern in der Praxis eingesetzt, allerdings fehlen bisher belastbare Studien, die die gewünschte Wirkung belegen. Außerdem blieb bisher bei der Beschreibung von den genannten Möglichkeiten für die Gestaltung des Zapfens zur Reduktion des Okklusionseffekts der Einfluss auf die weiteren Ankopplungseffekte weitgehend unbeachtet.

Um den Einfluss von Zapfendesign und Ventilationsbohrungen auf den Okklusionseffekt und weitere Ankopplungseffekte umfassend zu evaluieren, wurde am Deutschen Hörgeräte Institut für verschiedene Otoplastik-Designs mit jeweils unterschiedlichen Ventkonfigurationen eine In-situ-Studie durchgeführt. Diese Studie wurde von der KIND Hörstiftung finanziell unterstützt und erfolgte im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Technischen Hochschule Lübeck.

Anhand der Studie sollte geklärt werden, ob die akustische Masse der Belüftungsbohrung ausreicht, um den Okklusionseffekt und sämtliche Ankopplungseffekte hinreichend zu erklären, oder ob das Design des Zapfens hier in der Tat eine wesentliche weitere Rolle spielt. Die zweite Fragestellung war, ob und in welchem Ausmaß eine Verringerung des Okklusionseffekts durch spezielle Zapfendesigns möglich ist, ohne dabei die weiteren Eigenschaften der akustischen Ankopplung nachteilig zu beeinflussen. Eine ausführlichere Darstellung der Studie ist im „International Journal of Audiology“ zu finden (Denk et al. 2022).

Methoden

Für insgesamt zehn Probanden wurden 13 verschiedene Otoplastik-Paare in sechs Designs mit jeweils unterschiedlichen Ventkonfigurationen gefertigt (mindestens eine geschlossene und eine belüftete Version). In Abbildung 2 sind alle Designs mit Belüftungsbohrung für einen Probanden dargestellt. Neben der Bohrung für einen Schallschlauch (oben) und Belüftungsbohrungen (unten) wurde eine weitere Bohrung für einen Sondenschlauch eingebracht (mittig), um Leckagen bei den In-situ-Messungen zu vermeiden. Obwohl die Otoplastiken hier für Standardschläuche gefertigt wurden, lassen sich die

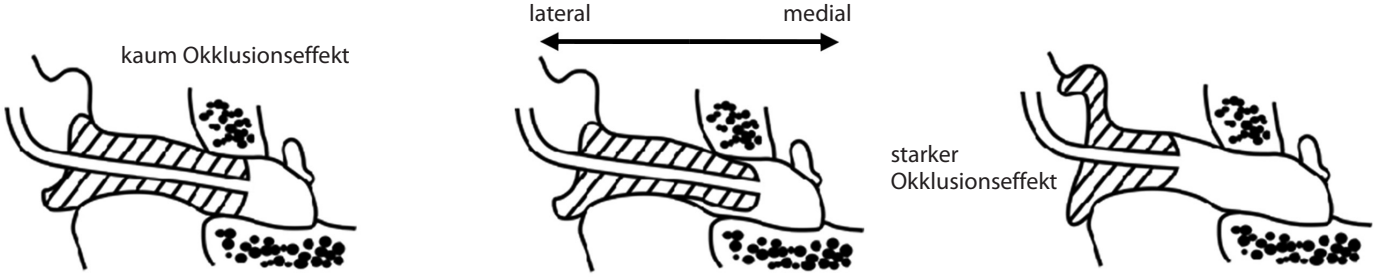

Abbildung 1: Vergleich zwischen Otoplastiken mit langem Zapfen (links), langem konischem Zapfen (mittig) und kurzem Zapfen (rechts)

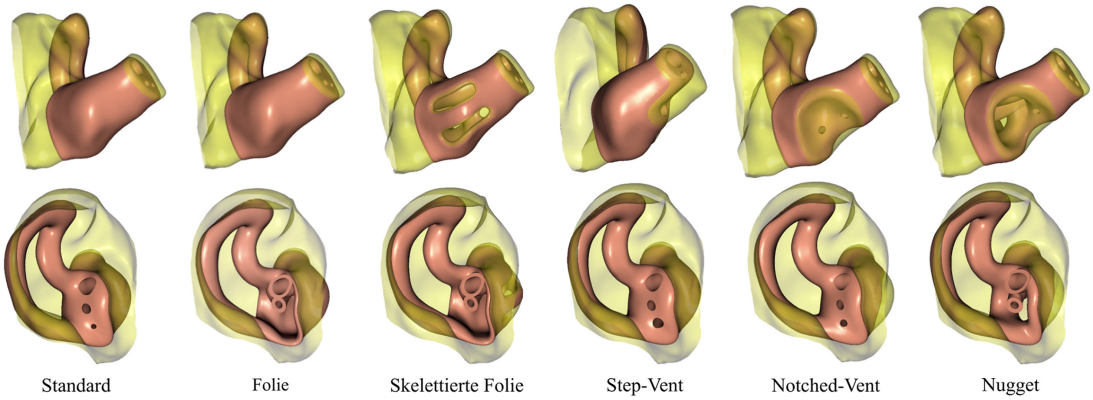

Abbildung 2: In der Studie verwendete Designs jeweils mit einer Ausführung der Ventilationsbohrung. In gelber Schattierung ist die ursprüngliche Abformung dargestellt. (modifiziert aus Denk et al. 2022)

Ergebnisse auch auf Halte-Otoplastiken für Ex-Hörer oder Im-Ohr-Hörgeräte übertragen.

Ausgegangen wurde von einer Standard-Ring-Otoplastik mit Zapfen bis in den zweiten Gehörgangsknick, von der mittels Secret Ear Designer virtuell Material abgetragen wurde, um die anderen Designs zu erstellen. Die Folien-Otoplastik wurde durch Aushöhlen des Zapfens bis auf eine 1,3 mm dicke Außenschicht erstellt. Die skelettierte Folie enthält zudem längliche Schlitze entlang der Gehörgangswand. Für die Step-Vent-Otoplastik wurde der Zapfen im medialen unteren Teil so abgetragen, dass der Vent um ein Drittel seiner Länge verkürzt wurde. Für die Notched-Vent-Otoplastik (nach Bayer 2002) wurde eine Aussparung im Bereich des Kiefergelenkköpfchens vorgenommen, sodass der Vent in zwei Teile geteilt wird, die jeweils einem Drittel der ursprünglichen Länge entsprechen. Die Position des Kiefergelenkköpfchens wurde dabei durch Vergleich zweier Ohrabformungen identifiziert, wobei der Mund der Probanden einmal geöffnet und einmal geschlossen war. Das Nugget-Design stellt eine weitere Modifikation des Notched-Vent-Designs dar, wobei der Zapfen lateral von der Aussparung ausgehöhlt wurde und so nur noch der innere Teil des Zapfens als abdichtendes Element erhalten bleibt. Die 3D-Modelle der Otoplastiken sind auf Anfrage von den Autoren erhältlich.

An den Probanden wurden In-situ-Messungen in einem wie in Abbildung 3 dargestellten Aufbau durchgeführt. Die Wiedergabebandbreite ließ sich anhand der Übertragungsfunktion von Hörsystemhörer zu Trommelfell bei jeweiliger Otoplastik bestimmen, die Direktschalldämmung mit der Übertragungsfunktion von einem Lautsprecher zum Trommelfell und die Rückkopplungsneigung mit der Übertragungsfunktion vom Hörsystemhörer zum Hörsystemmikrofon. Zur Ermittlung des subjektiven Okklusionseffekts wurden die Probanden angewiesen, einen Text vorzulesen und dabei die Wahrnehmung der eigenen Stimme auf einer Skala von eins bis zehn zu beurteilen. Als Referenz für einen maximalen Okklusionseffekt diente den Probanden hierbei ein Standardgehörschutz, den sie vor der eigentlichen Messung einsetzten. Die Otoplastiken waren an ausgeschaltete HdO-Hörgeräte angekoppelt, an denen Mikrofone und Hörer für Messungen verkabelt waren.

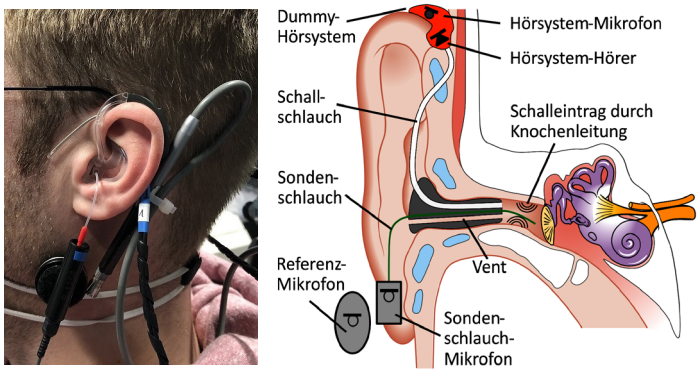

Abbildung 3: Messaufbau am Probandenohr

Ergebnisse

In Abbildung 4 sind die gesammelten Daten dargestellt, pro Otoplastik jeweils gemittelt über alle Probanden. Im oberen linken Bereich der Abbildung ist der subjektive Okklusionseffekt auf einer Skala von eins bis zehn zu sehen, zusammen mit der einzelnen Standardabweichung. Hierbei ist bereits ein deutlicher Effekt von Ventilationsbohrungen zu erkennen, da die geschlossene Variante der Designs im Durchschnitt um ungefähr zwei Punkte erhöht ist verglichen mit dem gleichen Design mit Ventilationsbohrung. Der maximale subjektive Okklusionseffekt wurde mit der geschlossenen Standard-Otoplastik, das Minimum mit dem skelettierten Foliendesign mit Vent erreicht.

Beim Vergleich der speziellen Designs zum Standarddesign wird ein signifikanter Einfluss auf den subjektiven Okklusionseffekt deutlich. Beispielsweise wurde bei der Verwendung des skelettierten Foliendesigns und der Nugget-Otoplastik bereits in geschlossener Ausführung ein geringerer subjektiver Okklusionseffekt erzielt als bei der Verwendung eines Standarddesigns mit 1 mm Vent. Ebenfalls interessant erscheint der Vergleich zwischen dem Step-Vent- und Standarddesign. Hier zeigt sich bei gleichem Durchmesser der Ventilationsbohrung (2 mm) ein geringerer Okklusionseffekt mit Standarddesigns, obwohl hier durch den längeren Vent die akustische Masse um 50 % höher liegt als beim Step-Vent-Design und bessere Ankopplungseigenschaften zu beobachten sind.

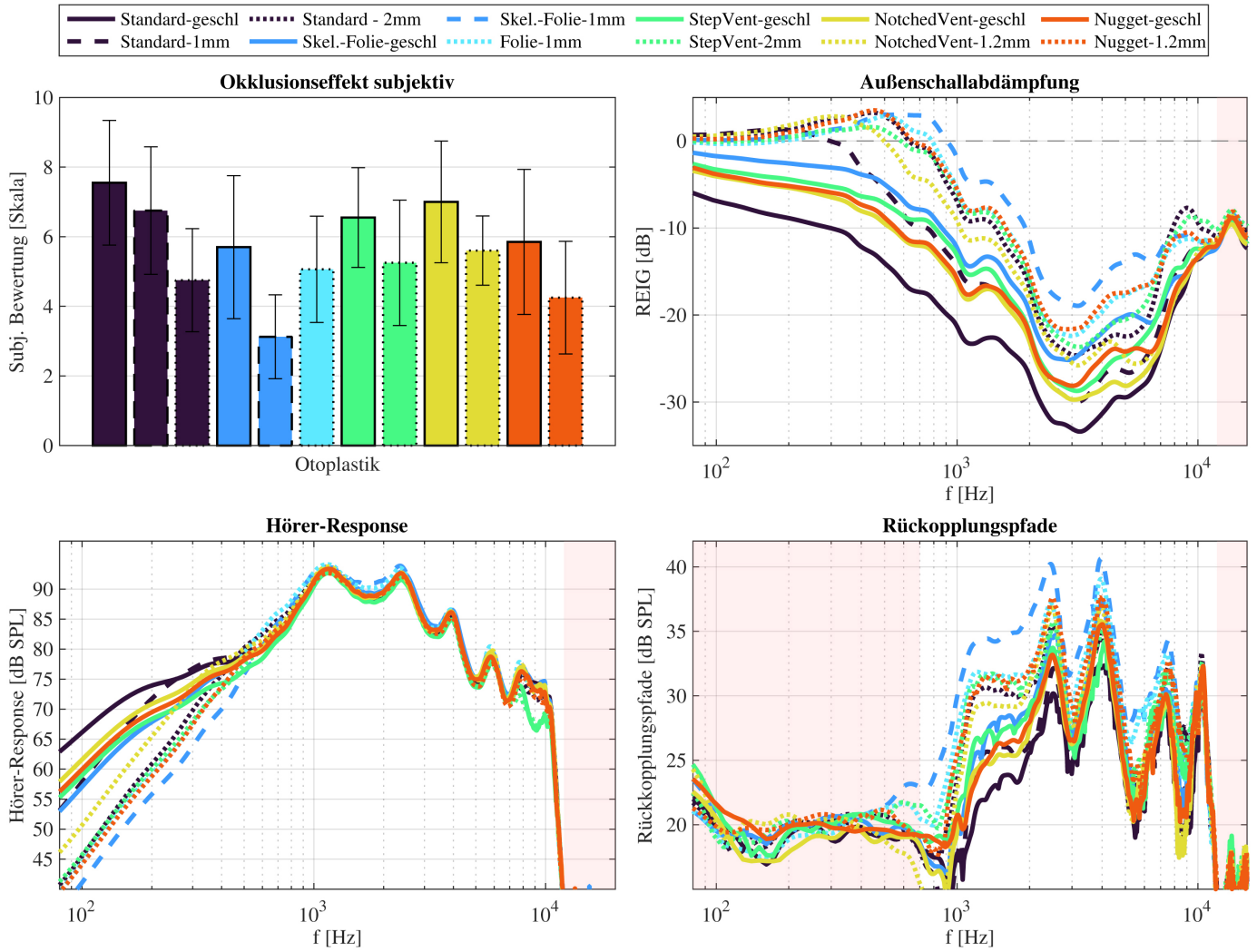

Abbildung 4: Subjektiver Okklusionseffekt, Direktschalldämpfung, Wiedergabebandbreite und Rückkopplungsneigung. Die Mittelung erfolgte je Design über alle Probandenmessungen (n = 20); durchgezogene Linien kennzeichnen geschlossene Otoplastik-Designs, gestrichelte und gepunktete Linien kennzeichnen Otoplastik-Designs mit Ventilationsbohrung. Rote Bereiche kennzeichnen Frequenzen, bei denen kein ausreichender Signal-Rausch-Abstand vorlag.

(modifiziert aus Denk et al. 2022)

Im oberen rechten Bereich von Abbildung 4 sind die ermittelten Daten der Direktschalldämpfung mit den verschiedenen Designs abgebildet. Erneut ist ein großer Einfluss der Ventilationsbohrungen zu erkennen, da sämtliche Designs mit Vent eine deutlich geringere Direktschalldämpfung aufweisen als die jeweilige geschlossene Variante. Eine weitere Besonderheit von Vents zeigt sich bei der Betrachtung des Bereichs zwischen 200 und 700 Hz. In diesem Bereich wird durch die Verwendung von Designs mit Ventilationsbohrung sogar eine Verstärkung des externen Schalls erreicht. Dieser Effekt ist auf die Helmholtzresonanz der Ventilationsbohrung zurückzuführen. Die maximale Dämpfung wird durch die geschlossene Standard-Otoplastik, die minimale durch die skelettierte Folie mit Vent erreicht.

Der untere linke Bereich der Abbildung 4 zeigt die Daten der Wiedergabebandbreite des Hörsystems vor dem Trommelfell. Die Unterschiede der erhobenen Daten sind oberhalb von 1 kHz relativ gering. Im Frequenzbereich unterhalb von 500 Hz weisen die dargestellten Übertragungsfunktionen die größte Differenz zueinander auf. Dabei zeigen sämtliche Designs mit offener Ventkonfiguration ähnlich verlaufende Übertragungsfunktionen bis auf die Designs Notched Vent und Standard 1 mm, die sich mit höheren Pegeln im Frequenzbereich unter 500 Hz deutlich von den anderen Designs mit offener Ventkonfiguration unterscheiden. Die maximalen Pegel werden durch das geschlossene Standarddesign, die minimalen Pegel durch das skelettierte Foliendesign erreicht.

Im unteren rechten Bereich von Abbildung 4 sind die ermittelten Daten der Rückkopplungsneigung dargestellt. Hierbei zeigen die Übertragungsfunktionen einen sehr ähnlichen Verlauf mit lokalen Maxima bei ca. 2,5 und 4 kHz. Weiterhin zeigen die Daten eine grundsätzlich höhere Rückkopplungsneigung bei der Verwendung von Ventilationsbohrungen gegenüber den geschlossenen Designvarianten.

In Abbildung 5 wurden die ermittelten Metriken für jedes Otoplastik-Design weiter zusammengefasst und auf einer Skala von eins bis zehn aufgetragen, wobei eins für den schlech-

testen und zehn für den besten Wert der jeweiligen Metrik steht. Somit kann eine einfache Gegenüberstellung zwischen den wesentlichen Merkmalen der Ankopplungseigenschaften (Wiedergabebandbreite, Direktschalldämmung und Rückkopplungsneigung) und des jeweiligen subjektiven Okklusionseffekts erfolgen. Die Addition beider Werte, die über den Balken angegeben sind, kann als Gesamtbewertung der Otoplastik gesehen werden.

Abbildung 5 verdeutlicht anschaulich den Kompromiss zwischen Natürlichkeit der eigenen Stimme und den Ankopplungseigenschaften einer Otoplastik. So wurden bei der Verwendung des geschlossenen Standarddesigns die besten Ankopplungseigenschaften erreicht, die dann allerdings zu der im Mittel schlechtesten Wahrnehmung der eigenen Stimme führten. Andererseits führte die Verwendung des skelettierten Foliendesigns mit Vent zur besten Wahrnehmung der eigenen Stimme, jedoch gleichzeitig auch zu den schlechtesten Ankopplungseigenschaften. Die meisten anderen Designs liegen in beiden Metriken dazwischen, was durch eine fortschreitende Öffnung des Gehörgangs begründet ist. Diese wird einerseits durch Ventilationsbohrungen, andererseits weniger klar definiert durch teilweise Abtragung von Dichtzonen erreicht (z. B. Nugget oder skelettierte Folie). Wenn eine Öffnung des Gehörgangs die eigene Stimme und die Ankopplungseigenschaften in allen Fällen gleichermaßen beeinflussen würde, müsste für alle Designs eine Gesamtbewertungszahl um elf (wie in den o. g. Extremfällen) herauskommen. Designs, die von dieser Zahl nach unten abweichen, sind also als suboptimal zu sehen.

Als suboptimal sind nach diesem Kriterium vor allem Folie und Step-Vent zu nennen. Gerade das unvorteilhafte Verhalten des Step-Vents lässt sich gut mit der oben erwähnten Lage der Dichtzone erklären, die beim Step-Vent durch die mediale Aussparung weiter lateral gesetzt ist als bei den anderen Designs. Somit wird der Okklusionseffekt erhöht, ohne dass sich durch diese Maßnahme die Ankopplungseigenschaften verbessern können. Das ebenfalls unvorteilhafte Verhalten der Folien-Otoplastik ist weniger eindeutig zu erklären, könnte aber durch eine schlechte Isolation der Gehörgangswände durch die geringe Masse des Zapfens bedingt sein.

Auch das Notched-Vent-Design erzielte keine bessere Gesamtbewertung als das Standarddesign. Mit anderen Worten: Die Aussparung im Bereich des Kiefergelenkköpfchens zeigte keinen Effekt, der über eine Änderung der akustischen Masse durch die effektive Verkürzung des Vents hinausgeht. Dies haben auch tiefergehende Korrelationsanalysen gezeigt, die hier nicht weiter ausgeführt sind. Ein Vorteil dieses Designelements hinsichtlich des Okklusionseffekts und der Ankopplung gegenüber einem vollen Zapfen kann also nicht bestätigt werden, allerdings auch kein entscheidender Nachteil. Mögliche nichtakustische Vorteile durch eine gesteigerte Bewegungsfreiheit oder eine geringere Beeinflussung der akustischen Übertragungseigenschaften bei Kaubewegungen wurden dagegen in dieser Studie nicht erfasst.

Gesamtbewertungszahlen über elf wurden nur mit dem Nugget-Design und der skelettierten Folie erreicht, jeweils mit und ohne Belüftungsbohrungen. Die insgesamt beste Gesamtbewertungszahl wurde vom geschlossenen Nugget-Design erzielt. Beide Designs erzielen eine Abdichtung lediglich im medialen Teil des Zapfens, während weiter außen durch den Gehörgang erzeugter Okklusionsschall zumindest teilweise nach außen abgeleitet wird. Einen ähnlichen Gedanken hat auch Hans-Rainer Kurz mit seiner 2013 vorgestellten Rüssel-Otoplastik BlackBeauty verfolgt. Diese Hybrid-Otoplastik ist eine Kombination aus konventioneller Otoplastik mit großzügiger Aussparung im lateralen Bereich und Schaumstoffschirmchen am medialen Ende, was eine sehr tiefe Abdichtung sogar im knöchernen Teil des Gehörgangs ermöglicht. Dieses Design konnte leider nicht in die aktuelle Studie aufgenommen werden; allerdings lassen die aktuellen Ergebnisse im Hinblick auf den Okklusionseffekt und die weiteren Ankopplungseigenschaften ähnliche oder sogar noch größere Erfolge mit noch

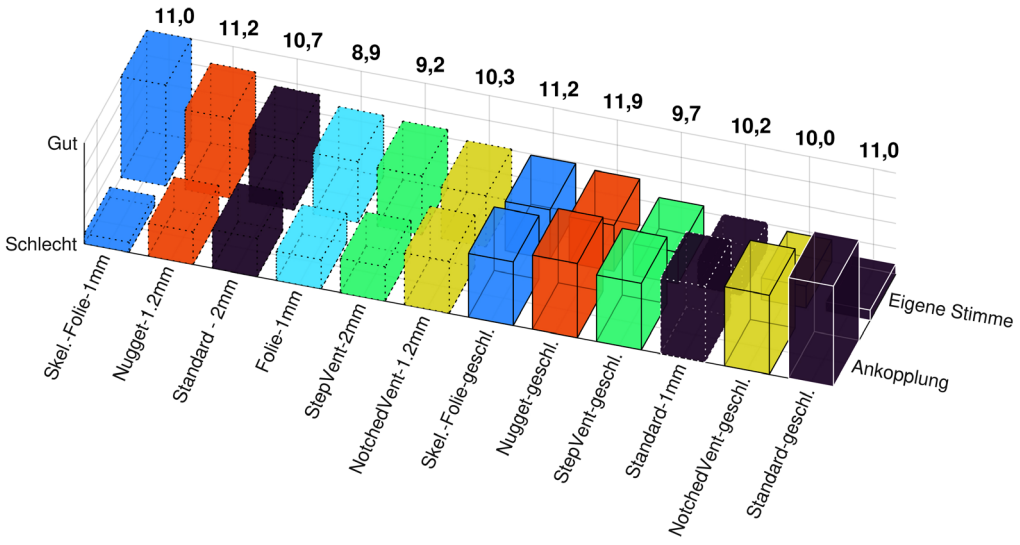

Abbildung 5: Vergleich der Ankopplungseigenschaften (vordere Reihe) und Natürlichkeit der eigenen Stimme für jedes Otoplastik-Design auf einer linearen Skala von eins (schlechtestes im Datensatz) bis zehn (bestes im Datensatz). Hohe Balken deuten auf eine bessere Bewertung hin. Die Zahlen über der Säulengruppe zeigen die Summe aus den beiden einzelnen erreichten Punktzahlen als Gesamtbewertungszahl. Die Otoplastik-Designs sind nach abnehmender Qualität der eigenen Stimme sortiert. (modifiziert aus Denk et al. 2022)

tiefer abdichtenden Hybrid-Otoplastiken vermuten. Bei rein aus hartem Material gefertigten Otoplastiken mit diesem Prinzip ist zu bedenken, dass aufgrund der teilweise abgetragenen Dichtzonen keine allzu geschlossene Ankopplung möglich ist.

Fazit

Die Öffnung des Gehörgangs durch Ventilationsbohrungen oder andere Faktoren, wie eine teilweise Abtragung der Dichtzone, ist der stärkste Einflussfaktor sowohl für den Okklusionseffekt als auch die Ankopplungsqualität des Hörsystems. Eine Öffnung des Gehörgangs führt im Allgemeinen zu einer deutlich verbesserten Wahrnehmung der eigenen Stimme. Bei gleicher akustischer Masse der Belüftung zeigt sich ein geringerer Okklusionseffekt, wenn die Dichtzone der Otoplastik näher in Richtung Trommelfell liegt. Daher sollte die Dichtzone der Otoplastik so tief im Gehörgang liegen wie möglich, und insbesondere im medialen Teil des Zapfens sollte auf eine gute Abdichtung geachtet werden. Ventverkürzungen und weitere Aussparungen im Gehörgang sollten daher durch Abtragen von Material von der lateralen, nicht der medialen Seite aus erfolgen. Weitere Modifikationen des Zapfens wie eine Aussparung im Bereich des Kiefergelenkköpfchens scheinen darüber hinaus keine nennenswerten Auswirkungen auf den Okklusionseffekt oder die Ankopplungseigenschaften zu haben.

Literatur

Bayer E (2002) Otoplastik für Hinter-dem-Ohr(HdO)-Hörgeräte. Europ. Pat. 1 224 839 B1 (Straubing)

Bayer E (2020) Smarte Otoplastiken für smarte Hörsysteme. Online-Vortrag. Digitaler EUHA-Kongress 2020, https://www.euha.tv/digitaler-euha-kongress-2020/ (Stand: 31.05.2022)

Denk F et al. (2022) Occlusion and coupling effects with different earmold designs – all a matter of opening the ear canal? International Journal of Audiology, https://doi.org/10.1080/14992027.2022.2039966 (Stand: 31.05.2022)

McCormack A, Fortnum H (2013) Why do people fitted with hearing aids not wear them? International Journal of Audiology 52(5), 360–368. DOI: 10.3109/14992027.2013.769066 (Stand: 31.05.2022)

Kiessling J et al. (2005) Occlusion Effect of Earmolds with Different Venting Systems. Journal of the American Academy of Audiology 16(4), 237. DOI: 10.3766/jaaa.16.4.5. (Stand: 31.05.2022)

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

Kuk F, Keenan D (2006) How Do Vents Affect Hearing Aid Performance?. Hearing Review 13(2), 34, 36, 38, 40, 42

Stenfelt S, Reinfeldt S (2007) A model of the occlusion effect with bone-conducted stimulation. International Journal of Audiology 56(10), 595–608

von Békésy G (1932) Zur Theorie des Hörens bei der Schallaufnahme durch Knochenleitung. Annalen der Physik 405(1), 111–136

Voogdt U (2013) Otoplastik: Die individuelle Otoplastik zur Hörgeräteversorgung und als persönlicher Gehörschutz im Lärm, 4., überarbeitete Auflage. Median-Verlag, Heidelberg

Fotos: .....



Die Autoren

Thomas Hieke schloss seine Berufsausbildung zum Hörgeräteakustiker bei pro optik M. Wödl in Mössingen ab und studierte im Anschluss Hörakustik an der Technischen Hochschule Lübeck. Seine Abschlussarbeit über das Thema „Okklusions- und Ankopplungseffekte für verschiedene Otoplastik-Designs“ schrieb er am Deutschen Hörgeräte Institut (DHI). Derzeit absolviert Hieke ein Praktikum im Bereich Forschung und Entwicklung bei der Sonova AG in Stäfa.



Malte Roberz unterrichtet als Hörakustikermeister seit 2009 an der Akademie für Hörakustik Auszubildende, Meisterschüler und Fortbildungsteilnehmer in allen Themen rund um maßgefertigte Ohrpassstücke. Zusätzlich leitet er den Fachbereich Otoplastik und ist seit 2018 als stellvertretender Abteilungsleiter Bildungsmanagement auch in der strategischen Entwicklung der Akademie involviert.



Dr. techn. Hendrik Husstedt erlangte 2007 den Dipl.-Ing. (BA) in Elektrotechnik an der Berufsakademie Stuttgart und 2009 den Dipl.-Ing. in Informationstechnik an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Österreich. Zudem promovierte er 2012 im Bereich Mechatronik an der Alpen-Adria-Universität. Parallel arbeitete Husstedt von 2004 bis 2007 bei der Infineon Technologies AG in München, von 2007 bis 2009 am Kompetenzzentrum Automobil- und Industrieelektronik in Villach und von 2009 bis 2012 am Institut für Angewandte Mechatronik in Klagenfurt. Nach seiner Promotion wechselte Husstedt an die Technische Universität Wien, wo er von 2012 bis 2014 als Postdoc am Institut für Mechanik und Mechatronik forschte und lehrte. Seit 2014 ist Husstedt beim Deutschen Hörgeräte Institut in Lübeck tätig, wo er 2015 zum Geschäftsführer berufen wurde. In dieser Funktion leitet er den akkreditierten Prüfbetrieb und forscht im Bereich der Hörakustik. Zudem ist Husstedt aktives Mitglied in nationalen und internationalen Normungsgremien und Fachausschüssen, hält als externer Dozent an der Universität zu Lübeck und der Technischen Hochschule Lübeck Vorlesungen und betreut studentische Arbeiten.



Dr. rer. nat. Florian Denk ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Hörgeräte Institut (DHI). Zuvor studierte er Engineering Physics und Physik an der Universität Oldenburg und wurde dort 2019 promoviert. Seine Forschung hat die Verbesserung von Hörsystemen zum Ziel, wobei er sich mit Fragestellungen aus der Akustik, Messtechnik, Schallwahrnehmung und Signalverarbeitung befasst. Florian Denk lehrt als externer Dozent an der Universität zu Lübeck und der Technischen Hochschule Lübeck und betreut dort studentische Arbeiten.