

Hörprofil

Ausgabe 02/2023

ZEITSCHRIFT



EUHA-Kongress 2023

THEMEN

- 10. Tinnitus-Tag der Deutschen Hörakustiker
- Marianne Frickel erneut mit Bundesverdienstkreuz 1. Klasse ausgezeichnet
- Okklusions- und Ankopplungseffekte für verschiedene Otoplastikdesigns

Von: **Thomas Hieke, Malte Roberz, Hendrik Husstedt, Florian Denk für Europäische Union der Hörakustiker e. V. (EUHA)**
 Abbildungen/Foto: **EUHA/Foto Rechnitz, Denk et al.**

Okklusions- und Ankopplungseffekte für verschiedene Otoplastikdesigns



→ Thomas Hieke beim EUHA-Kongress 2022

Thomas Hieke wurde 2022 mit dem ersten Platz des EUHA-Förderpreises ausgezeichnet. Er erhielt diesen Preis für seine Forschungen zum Thema Okklusions- und Ankopplungseffekte für verschiedene Otoplastikdesigns. Im Folgenden stellt er seine Arbeit vor.

Motivation

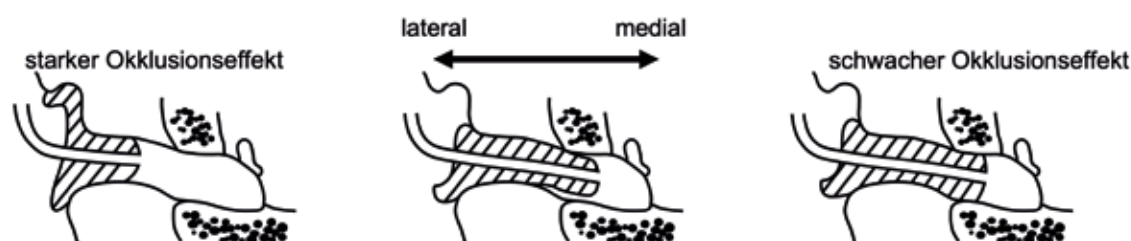
Die moderne Hörsystemversorgung entwickelt sich, analog zu anderen Bereichen der Medizintechnik, immer schneller weiter. Durch Miniaturisierung und Digitalisierung erlebte auch die Hörsystemindustrie einen regelrechten Innovationsschub. Drahtlos vernetzte Hörsysteme mit Internetanbindung, Cloud Computing und Lithium-Ionen-Akku-Technologie sind nur wenige Beispiele dafür, was technologisch bereits umgesetzt wurde (vgl. Popelka & Moore 2016).

Von den genannten Weiterentwicklungen blieb bisher ein essenzieller Teil der Hörsystemversorgungen weitestgehend wenig betroffen: die akustische Ankopplung von HdO-Systemen, die nach wie vor den größten Teil des Markts ausmachen (vgl. Kinkel 2016). Hier bleiben, unabhängig von HdO-

Unterkategorien wie Dünnschlauch oder Ex-Hörer, grob dargestellt zwei Möglichkeiten: einerseits pauschale Formen der Ankopplung ans Ohr, wie beispielsweise Schirmchen (auch Domes oder Olive), die gemäß Fachliteratur eher selten den hohen Anforderungen einer Hörsystemanpassung in puncto Reproduzierbarkeit, Ankopplungseigenschaften und Tragekomfort gerecht werden (vgl. Voogdt 2013), andererseits maßgefertigte Individualotoplastiken, die in Bezug auf die Passgenauigkeit und aufgrund der zusätzlichen Möglichkeiten der Individualisierung oftmals eine bessere Lösung darstellen (vgl. Bayer 2020). Jedoch kommt es trotz technologisch ausgereifter Hörsysteme und maßgefertigter Individualotoplastiken immer noch zu unangenehmen Empfindungen bei Hörsystemträgern, vor allem in Bezug auf die Wahrnehmung der eigenen Stimme. Dies kann zu verringerter Tragebereitschaft oder sogar zu einer Ablehnung durch den Hörsystemträger führen (vgl. McCormack & Fortnum 2013).

Einen möglichen Grund für die veränderte Wahrnehmung der eigenen Stimme, die mehr oder weniger stark

ausgeprägt bei sämtlichen Arten der akustischen Ankopplung auftritt, stellt der bereits 1932 von v. Békésy beschriebene Okklusionseffekt dar. Der Ursprung des Okklusionseffekts liegt dabei in einem Verschluss (Okklusion) des Gehörgangs und der daraus resultierenden Übertragung von überwiegend tieffrequenten Anteilen des körpereigenen Schalls an das Restvolumen des verschlossenen (okkludierten) Gehörgangs. In der Literatur wird davon ausgegangen, dass diese Schallanteile beim Sprechen über den schwingenden Zungenrund per Knochenleitung an den Unterkiefer und dessen Gelenkkopf übertragen werden. Aufgrund der anatomischen Lage des Unterkiefergelenkkopfs erfolgt dann vermutlich die Schallübertragung an den knorpeligen Teil des Gehörgangs. Über diesen werden die tieffrequenten Schallanteile der eigenen Stimme an das Gehörgangsrestvolumen vor dem Trommelfell übertragen (vgl. Voogdt 2013). Aufgrund des verschlossenen Gehörgangs werden die genannten Schallanteile nicht mehr nach außen abgeleitet, was zu Reflexionen am okkludierenden Objekt und somit zu



→ Abb. 1: Vergleich zwischen Otoplastiken mit kurzem Zapfen (links), langem konischen Zapfen (mittig) und langem Zapfen (rechts). Quelle: Denk et al. 2022, S. 227-237

einem tieffrequenten Pegelanstieg von bis zu 30 dB vor dem Trommelfell gegenüber dem offenen Ohr führt (vgl. Hansen 1997). Der Okklusionseffekt zeigt hierbei ein charakteristisch flach verlaufendes Maximum bei Frequenzen zwischen 80 und 500 Hz (vgl. Carle et al. 2002). Gleichzeitig lässt sich eine Absenkung der mittel- und hochfrequenten luftgeleiteten Schallanteile beobachten.

Gegenmaßnahmen

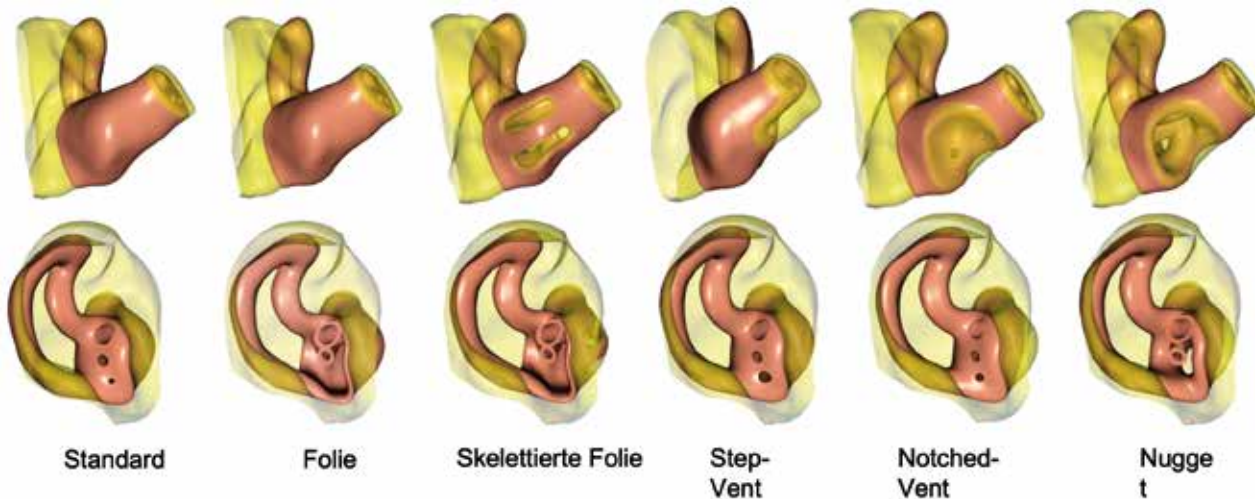
Eine in der Praxis häufig anzutreffende Strategie zur Verringerung des Okklusionseffekts ist die Öffnung des verschlossenen Gehörgangs mittels Belüftungsbohrungen. Diese Ventilationsbohrungen (oder Vents) öffnen das Gehörgangsrestvolumen und leiten daher körpereigene Schallanteile aus dem Gehörgang ab (vgl. Mueller 1996), was zu einem verringerten Okklusionseffekt führt. Zur Evaluation von Belüftungsbohrungen und deren Wirkungsbereich dient deren akustische Masse als entscheidendes Maß für die Transmission von Schall. Anhand des Durchmessers bzw. der Querschnittsfläche und der Länge des

Vents lässt sich die akustische Masse M berechnen:

$$M = \frac{\rho \cdot l}{A} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Je geringer die akustische Masse, desto größer die Wirkung der Belüftungsbohrung. Daraus erschließt sich: Je geringer die akustische Masse von Vents gehalten wird, desto effektiver lassen diese den tieffrequenten körpereigenen Schall passieren. Aufgrund der oben genannten Formel ist eine Minimierung der akustischen Masse durch eine Reduzierung der Ventlänge oder Vergrößerung des Ventdurchmessers möglich. Dementsprechend führt eine Vergrößerung des Bohrungsdurchmessers oder eine Verkürzung der Bohrungslänge zu einer Verringerung der akustischen Masse und damit zu einer effektiveren Reduktion des Okklusionseffekts (vgl. Jespersen & Groth 2004; Kuk et al. 2005). Aus diesem Grund hat sich die akustische Masse als ein wichtiges Maß in der Dimensionierung von Vents und deren Auswirkung auf den Okklusionseffekt erwiesen (vgl. Kießling et al. 2005).

Die Verwendung von Ventilationsbohrungen führt jedoch innerhalb einer gewissen Dimensionierung unweigerlich zu einer Verringerung der maximalen Verstärkungsmöglichkeit, erhöhtem Rückkopplungsrisiko und zu einer vermehrten Interaktion zwischen direktem und verstärktem Schall innerhalb des Gehörgangsrestvolumens (vgl. Kuk et al. 2006). Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung des Okklusionseffekts sind spezielle Designs von Otoplastiken, die meist den Gehörgangszapfen betreffen. So kann mittels großer Zapfenlänge und einem daraus resultierenden veränderten Sitz der Otoplastik eine Abdichtung bis in den knöchernen Teil des Gehörgangs angestrebt werden, was dann zu einer verringerten Übertragung von körpereigenem Schall führen soll (vgl. Zwislocki 1953; Killion 1988). Hierzu ist der Vergleich zwischen verschiedenen Zapfenlängen und der damit einhergehenden Lage der Dichtzonen in Abbildung 1 dargestellt. Dabei zeigt sich bei einem langen und nahezu unbearbeiteten Zapfen eine ausgeprägte mediale Abdichtzone, die vor allem den knorpeligen Teil des



→ Abb. 2: In der Studie verwendete Otoplastikdesigns, jeweils exemplarisch dargestellt in einer Ausführung der Ventilationsbohrung. Quelle: Denk et al. 2022, S. 227-237

Gehörgangs von dessen Restvolumen weitestgehend isolieren und sich damit positiv auf die Schallweiterleitung sowie den daraus resultierenden Okklusionseffekt auswirken soll.

Eine weitere Methode stellen spezielle Formgebungen von Gehörgangszapfen dar. So wurden in einer Studie von Blau et al. (2008) spezielle Oberflächenprofile untersucht, die einen wesentlichen Einfluss auf die resultierenden Abdichtzonen des Zapfens hatten und signifikante Auswirkungen auf den erzeugten Okklusionseffekt zeigten. Weiterhin existieren von Erich Bayer Designentwürfe aus dem Jahr 2002 mit markanten Aussparungen in bestimmten Bereichen des Zapfens, die ebenfalls durch die Verlagerung von Abdichtzonen maßgeblich zur Reduktion des Okklusionseffekts beitragen sollen. Allerdings bleibt bei Beschreibungen der genannten Gestaltungsmöglichkeiten des Zapfens der Einfluss auf weitere Ankopplungseffekte wie die Wiedergabebandbreite des Hörsystems, dessen Rückkopplungsneigung und die Direktschalldämmung weitgehend ungeklärt.

Studie

Um den Einfluss von Zapfendesign und Ventilationsbohrungen auf den

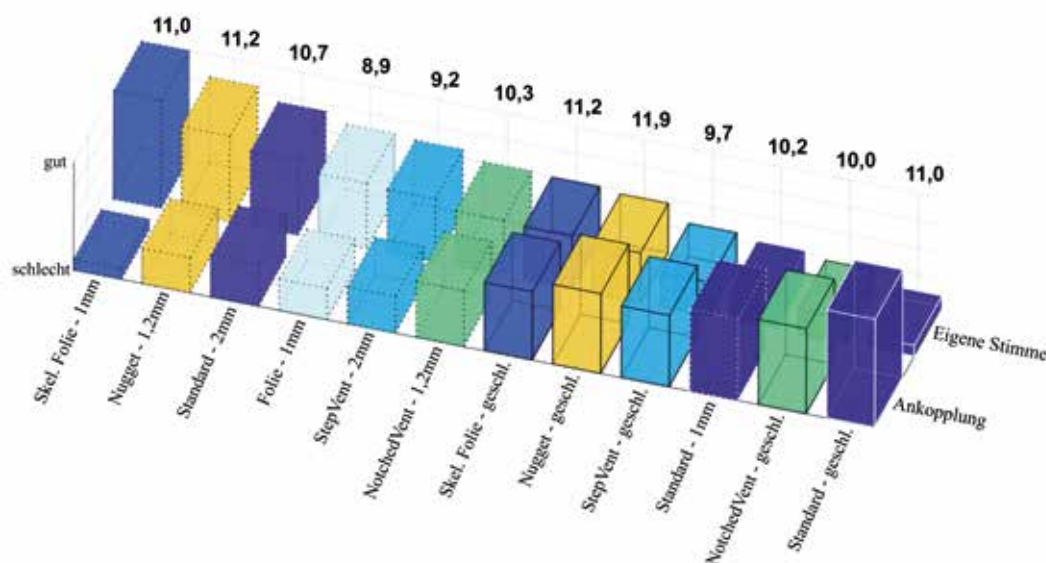
Okklusionseffekt und weitere Ankopplungseffekte wie Wiedergabebandbreite, Direktschalldämmung und Rückkopplungsneigung umfassend zu evaluieren, wurde am Deutschen Hörgeräte Institut für verschiedene Otoplastikdesigns und Ventkonfigurationen eine von der Kind-Hörstiftung geförderte Studie durchgeführt. Teile dieser Studie erfolgten im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Technischen Hochschule Lübeck.

Anhand der Studie sollte geklärt werden, ob und in welchem Ausmaß eine Verringerung des Okklusionseffekts durch spezielle Zapfendesigns möglich ist. Zum einen sollten für verschiedene Designs die Ankopplungseigenschaften und der Okklusionseffekt in Abhängigkeit von der akustischen Masse der Belüftungsbohrung dargestellt, zum anderen die Designs bei gleicher akustischer Masse der Belüftung in Bezug auf Ankopplungseigenschaften und Okklusionseffekt miteinander verglichen werden. Dadurch kann eine mögliche Reduzierung des Okklusionseffekts, die nicht durch eine Belüftung zu erklären ist, genauer untersucht werden. Das Ziel ist es, möglichst geschlossene und okklusionseffektfreie Otoplas-

tikdesigns ausfindig zu machen. Für insgesamt zehn Probanden wurden hierzu binaural 13 verschiedene Otoplastiken in sechs Designs mit jeweils unterschiedlichen Ventkonfigurationen gefertigt. Die verwendeten Otoplastikdesigns sind exemplarisch in Abbildung 2 dargestellt. Zusätzlich wurde in jede Otoplastik eine weitere Bohrung für einen Sondenschlauch eingebracht. Dadurch sollten zusätzliche Lecks vermieden und die später folgenden In-situ-Messungen vereinfacht werden. Nach Anfertigung der Otoplastiken wurden an den Probanden In-situ-Messungen durchgeführt und somit die Übertragungsfunktionen für die jeweiligen Messgrößen ermittelt. Aus den gemittelten Übertragungsfunktionen respektive diversen Maxima und Minima konnten dann Metriken für die jeweiligen Otoplastikdesigns abgeleitet werden.

Ergebnisse

In Abbildung 3 wurden die ermittelten Metriken für jedes Otoplastikdesign mittels Ranking weiter zusammengefasst und auf einer Skala von 1 bis 10 aufgetragen, wobei 1 für den schlechtesten und 10 für den besten Wert der jeweiligen Metrik steht. Somit kann für



→ Abb. 3: Vergleich zwischen Ankopplungseigenschaften (vordere Reihe) und der wahrgenommenen Klangqualität der eigenen Stimme für jedes Otoplastikdesign auf einer Skala von 1 bis 10. Je besser die Bewertung, desto höher die jeweiligen Balken. Über der Säulengruppe ist die Summe aus den beiden einzelnen erreichten Punktzahlen des jeweiligen Designs dargestellt. Innerhalb der Abbildung wurde absteigend nach der Qualität der eigenen Stimme sortiert. Quelle: Denk et al. 2022, S. 227-237

jedes Design eine Gegenüberstellung zwischen den wesentlichen Merkmalen der Ankopplungseigenschaften (Wiedergabebandbreite, Direktschalldämmung, Rückkopplungsneigung) und des jeweiligen subjektiven Okklusionseffekts erfolgen.

Weiterhin verdeutlicht Abbildung 3 den Kompromiss zwischen der Klangqualität der eigenen Stimme und den resultierenden Ankopplungseffekten bzw. deren Auswirkung auf die Übertragungseigenschaften im Rahmen der Hörsystemversorgung. So wurden bei der Verwendung des Standarddesigns hervorragende Ankopplungseigenschaften erreicht, die dann allerdings zu der im Mittel schlechtesten Wahrnehmung der eigenen Stimme führten. Andererseits führte die Verwendung des skelettierten Foliendesigns mit Vent zu der im Mittel besten Wahrnehmung der eigenen Stimme, jedoch gleichzeitig auch im Mittel zu mangelhaften Ankopplungseigenschaften. Ein nicht zu unterschätzender Einfluss auf den Okklusionseffekt wurde in der Studie anhand der jeweiligen Länge und Bearbeitung des Gehörgangszapfens und der daraus hervorgehenden Lage der medialen Dichtzone im Gehörgang beobachtet.

Dies zeigt sich vor allem bei der Betrachtung der Ergebnisse, die mit dem Step-Vent-Design erzielt wurden, da sich bei diesem Design die mediale Dichtzone in Richtung Gehörgangsöffnung verlagert. Beim Vergleich mit dem Standarddesign zeigte sich durch die Verwendung des Step-Vent-Designs ein leicht erhöhter subjektiver Okklusionseffekt bei verschlechterten Ankopplungseigenschaften. Somit wirkte sich diese Modifikation des Gehörgangszapfens innerhalb der Studie eher negativ auf die Reduktion des Okklusionseffekts aus. Dies stellt eine interessante Erkenntnis für die Praxis dar, da die Step-Vent-Modifikation immer noch häufig Anwendung findet. Die größte Summe aus akustischen Ankopplungseigenschaften und der Wahrnehmung der eigenen Stimme wurde im Rahmen der Studie mit dem geschlossenen Nugget-Design erreicht, bei dem analog zum Step-Vent-Design eine Verkürzung der Ventilationsbohrung stattfindet, jedoch weiterhin die innenliegende Dichtzone weitestgehend erhalten bleibt.

Fazit

Ventilationsbohrungen und deren akustische Masse zeigten sich in der

Studie als ausschlaggebender Faktor bzw. als Prädiktor für den subjektiven Okklusionseffekt und die resultierenden Ankopplungseigenschaften der Otoplastik. Allerdings konnte mit speziellen Zapfendesigns eine Reduktion des Okklusionseffekts erreicht werden, ohne dass sich diese in gleichem Maße negativ auf weitere Ankopplungseigenschaften auswirkte wie bei der Verwendung eines Standarddesigns. Hierbei zeigten sich ein tiefstmöglicher Sitz bis in den knöchernen Teil des Gehörgangs und eine Verringerung der akustischen Masse durch Verkürzen der Ventilationsbohrung als wirksam. Dabei sollte jedoch nur im lateralen Bereich des Zapfens Material abgetragen werden, um die mediale Dichtzone beizubehalten. Weiterhin lassen die Ergebnisse im Hinblick auf den Okklusionseffekt und die weiteren Ankopplungseigenschaften ähnliche oder sogar noch größere Erfolge mit Weiterentwicklungen von Otoplastikdesigns vermuten, die in ihrem grundsätzlichen Aufbau dem Nugget-Design entsprechen.

Die ausführlichen Quellenangaben sind bei der EUHA hinterlegt.

Impressum

Herausgeber: HA Verlags GmbH (Mainz)
Geschäftsführerin Isabell Claßen

Redaktionsbeirat: Marianne Frickel, Harald Bonsel

Redaktionsleitung: Jan-Fabio La Malfa

Redaktion: Michael Skwarciak, Sabine Stübe-Kirchhof

Produktionsleitung: Dennis Kraus

Textchef: Tim Kinkel

Art-Direktor: Goran Theophil

Druck: Kössinger AG, Fruehaufstraße 21, 84069 Schierling/Opf.

Produktion: OMNI direkt GmbH, Nobistor 16, 22767 Hamburg

E-Mail: info@hoerprofil.com

Foto Editorial: biha

Cover-Foto: NürnbergMesse / Heiko Stahl



67. Internationaler
EUHA
Kongress & Ausstellung
18.-20. Oktober 2023
Nürnberg

Programm
und Ticket
Shop unter:
www.euha.org

📍 Nürnberg

**67. Internationaler
Hörakustiker-Kongress
18. bis 20. Oktober 2023**

📍 Nuremberg

**67th International
Congress of Hearing Aid Acousticians
18 to 20 October 2023**

Weitere Informationen / Further information:
Website: www.euha.org | Fon: +49.6131.28300 | E-mail: info@euha.org

