Self-Audiometry via the “Hearpieces”

Jan Heeren[1], Kamil Adiloğlu[1], Kirsten C. Wagener[1]

[1]Hörzentrum Oldenburg gGmbH und Cluster of Excellence Hearing4all, Oldenburg

Schlüsselwörter: Pure-Tone Audiometry, Automated Audiometry, Hearpiece, Remote Audiometry

Zusammenfassung

Die Corona-Pandemie hat zu einer Welle von Internet-basierten Tele-Studien in der Hörforschung geführt, z.B. auf Grundlage des Remote-Hearing-Lab [1]. Hiermit können Probanden von sich zu Hause aus an Hörexperimenten teilnehmen, welche von Versuchsleiter*Innen aus einem Institut fernbetreut werden. Auf diesem Wege ist auch eine Hörgeräte-Anpassung möglich, wenn das dafür erforderliche Luftleitungs-Audiogramm gemessen werden kann. Die Messung eines solchen ohne Anwesenheit einer Fachkraft birgt jedoch das Risiko einer falschen Handhabung der Audiometrie-Kopfhörer, unentdeckter Beeinträchtigungen (Perforation des Trommelfells, Cerumen obturans) sowie Messfehler durch Umgebungsgeräusche. In dieser Studie wurde ein Selbst-Audiometrie-Ansatz basierend auf den Hearpieces [2] und einer Automated-Pure-Tone-Audiometrie-App [3] getestet. Ziel der Studie war insbesondere, Kriterien für eine valide Messung von Hörschwellen abzuleiten. Folgende Faktoren wurden untersucht: 1. die akustische Ankopplung nach dem selbstständigen Einsetzen der Hearpieces, 2. der Einfluss eines Umgebungsstörgeräusches, 3. die Nutzung der inneren und äußeren Mikrofone der Hearpieces zur Kontrolle von Schalldruckpegeln, 4. der Nutzen zusätzlicher Over-Ear-Kopfhörer als Umgebungsschalldämpfer, 5. die Probandengruppe und 6. die Retest-Reliabilität. Elf Normalhörende und 24 Versuchspersonen mit Hörbeeinträchtigungen nahmen an der Studie teil. Die Ergebnisse zeigen, dass Ankopplungslecks sowohl nach dem selbständigen Einsetzen, als auch nach dem Einsetzen durch Fachkräfte auftreten. Diese sind jedoch mittels der Gehörgangsmikrofone der Hearpieces detektierbar. Weißes Rauschen bei 65 dB SPL als Umgebungsstörgeräusch hatte einen Einfluss von bis zu 35 dB auf die gemessenen Hörschwellen Durch die Nutzung der Kopfhörer als Umgebungsschalldämpfer wurde dieser Einfluss auf 5 dB reduziert. Ein Problem stellt die generische Passform der Hearpieces dar, welche in dieser Studie nur 74% der Teilnehmer passte. Nur 66% der Teilnehmer konnten die Hearpieces selbstständig einzusetzen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wenn eine Versuchsperson die Hürde des selbständigen Einsetzens genommen hat, können mit dem Hearpiece-APTA sinnvolle Hörschwellen gemessen werden. Nicht-valide Messkonditionen lassen mittels der Hearpiece-Mikrofone detektieren.

1 Einleitung

In Zeiten von Kontaktbeschränkungen und Home Office entstand für die audiologische Forschung ein Bedarf, aus der Ferne audiometrieren zu können, um z.B. Hörgeräteanpassungen durchführen zu können oder Probanden zu kategorisieren. Hierfür kommen generell zwei Ansätze in Frage: die durch eine Fachkraft durchgeführte Audiometrie als Remote-Variante oder die Selbstaudiometrie, bei der eine Fachkraft maximal beratend tätig ist. In beiden Fällen müssen Lösungen für folgende Probleme gefunden werden: 1. Wie wird der korrekte Sitz der Kopfhörer sichergestellt, 2. wie lässt sich die Otoskopie aus der klassischen Prozedur umgehen und 3. lässt es sich in der jeweiligen akustischen Umgebung der Versuchspersonen valide messen?

Das Hearpiece [2] bietet als Im-Ohr-Hörer durch sein gehörgangsseitiges und sein außenseitiges Mikrofon die Möglichkeit, die Schalldruckpegel an diesen zwei Stellen zu messen. So lässt sich die akustische Umgebung direkt überwachen, sowie der nominell dargebotene Schalldruck im Gehörgang mit dem tatsächlichen Schalldruck vergleichen. Letzteres kann zur Detektion von Lecks in der geschlossenen Ankopplung der Hörer genutzt werden, da diese zu einer erhöhten Schallabsorption bei tiefen Frequenzen führen [4].

In dieser Studie wurden die Hearpieces als Audiometrie-Ohrhörer in Verbindung mit einer App [3] basierend auf dem Selbstaudiometrie-Ansatz APTA (Automated Pure-Tone Audiometry [5]) evaluiert. Hierzu wurde das selbstständige Einsetzen der Hearpieces durch die Versuchspersonen (VP), die Retest-Reliabilität der Hörschwellen, die Detektion von Ankopplungslecks, sowie der Einfluss von Umgebungsrauschen auf die gemessenen Hörschwellen untersucht.

2 Methode

2.1 Versuchspersonen

An der Studie nahmen insgesamt 35 Versuchspersonen mit unterschiedlichen Hörprofilen teil. In Tabelle 1 ist eine kategoriale Zuordnung nach Bisgaard-Profilen sowie Alter und Geschlecht angegeben.

Tabelle 1: Versuchspersonen nach Hörprofil

Hörprofil	**Anzahl VPs (Geschlecht)**	**Alter in Jahren (Mittelwert)**
Junge NH	9 (5 w, 4 m)	19-27 (22,1)
Ältere NH	2 (2 w)	59-64 (61,5)
N2	6 (3 w, 3 m)	66-74 (71,5)
N3	7 (4 w, 3 m)	71-84 (76,9)
N4	6 (2 w, 4m)	47-81 (71,6)
S1	1 (1 m)	67 (67)
S2	4 (1 w, 3 m)	68-79 (73,8)
Gesamt	**35 (17 w, 18 m)**	**19-84 (59,2)**

2.2 Aufbau

Die Messungen wurden in einer Hörkabine im Haus des Hörens, Marie-Curie-Straße 2, Oldenburg, durchgeführt. Das Verfahren wurde gemäß Bisitz und Silzle [5] aufgesetzt. Hierzu wurde in Matlab 2021 eine WebApp programmiert [3], die zur Audio-Ausgabe und -Aufnahme die Software-Plattform Open Master Hearing Aid [6] nutzt. Die Bedienung erfolgte durch die Versuchspersonen über einen Touchscreen. Die Darbietung der Stimuli sowie die Aufnahmen der Mikrofonsignale erfolgte über Hearpieces [2], welche über ein RME Fireface UC mit dem Messrechner verbunden waren. Zur Kalibrierung der Hearpiece-Hörer und der darin verbauten Mikrofone wurden diese in einen KEMAR-Kunstkopf eingesetzt und die Schalldruckpegel der Messstimuli mit denen eines Sennheiser HDA200 abgeglichen, welcher zuvor an einem 2 ccm-Koppler kalibriert wurde. In den Störgeräuschkonditionen wurde während der Messung ein weißes Rauschen bei 65 dB SPL (an Kopfposition) über einen Lautsprecher des Typs Genelec 8030 dargeboten, der rechts neben dem Touchscreen in 50 cm Entfernung zur Kopfposition der Versuchspersonen aufgestellt war. Die Referenzaudiogramme wurden mit einem MADSEN Astera gemessen.

2.3 Prozedur und Konditionen

Das individuelle Tonschwellenaudiogramm wurde in folgenden Konditionen gemessen (Reihenfolge wie angegeben):

1. Selbst-Einsetzen der Hearpieces, Selbstmessung in Ruhe (Test)
2. Selbst-Einsetzen der Hearpieces, Selbstmessung in Ruhe (Retest)
3. Einsetzen der Hearpieces durch Fachkraft, Selbstmessung in Ruhe
4. Einsetzen durch Fachkraft, Selbstmessung im Störgeräusch

5. Einsetzen durch Fachkraft, Selbstmessung im Störgeräusch mit zusätzlichem Over-Ear-Kopfhörer als Umgebungsschalldämpfer

6. Messung Referenzaudiogramm durch Fachkraft über Sennheiser HDA200-Audiometriekopfhörer

Zum Selbst-Einsetzen der Hearpieces gehörte die selbständige Wahl geeigneter Ohrpassstücke sowie das Aufstecken derer auf die Hearpieces. Die Konditionen 4 und 5 wurden aus Zeitgründen nur bei einem Teil der Versuchspersonen (N=24) gemessen. Die gesamte Prozedur wurde innerhalb eines Termins von ca. 2 h durchgeführt.

2.4 Detektion von Lecks in der geschlossenen Ankopplung

Groon et al. [4] haben den Einfluss von Lecks in der geschlossenen Ankopplung von Ohr-Sonden auf die Gehörgangsakustik untersucht. Sie sind zu dem Ergebnis gekommen, dass der Absorptionsgrad für tiefe Frequenzen (125 und 250 Hz) ein gutes Maß zur Detektion solcher Lecks ist. Demnach kann ein Vergleich des Ist-Schalldrucks im Gehörgang zum nominellen Schalldruck (gemäß Kalibrierung) als Kriterium zur Detektion solcher Lecks und somit zum Ausschluss von Messdaten verwendet werden. Auf Grundlage der hier gemessenen Daten wurde ein Schwellwert von 10 dB Abweichung gewählt, um Messdaten auszuschließen (Ankopplungskriterium). Dies begründet sich dadurch, dass die beobachteten Beträge der Differenzen neben dem Häufungspunkt um 0dB einen weiteren um 20 dB aufweisen, welcher gemäß Groon et al. [4] als fehlerhafte Ankopplung interpretiert werden kann. Darüber hinaus ist der gewählte Schwellwert sinnvoll bezüglich der Genauigkeit von Audiometrieverfahren.

3 Ergebnisse

In Tabelle 2 ist dargestellt, wie viele VPs pro Gruppe welche Anforderung einer validen Audiometrie bezogen auf die Besonderheiten der Hearpieces und APTA erfüllt. Hierbei wurde beobachtet, dass die Hearpieces in 26% der Ohren nicht passten und weitere 8% das selbstständige Einsetzen nicht bewerkstelligen konnten. Zudem zeigten einige Hörgeschädigte große Unsicherheiten im Umgang mit der Selbstaudiometrie APTA, insbesondere die Gruppe N4. Weiterhin erfüllen die Audiogramme von 66% der Ohren das Ankopplungskriterium nicht. Bei 2 VPs wurde jeweils auf einem Ohr Cerum obturans festgestellt.

Tabelle 2: Erfüllung von Anforderungen nach Hörprofil (bei einer VP nicht durchführbar, da Hearpieces nicht einsetzbar)*

Gruppe	**Hearpieces passen ins Ohr**	**Erfolgreich selbstständig eingesetzt**	**APTA erfolgreich durchgeführt**	**Ankopplung dicht**	**Cerumen obturans**
Junge NH	67% (6 VPs)	78% (7 VPs) *	89% (8 VPs) *	56% (10 Ohren)	0% (0 Ohren)
Ältere	100% (2 VPs)	50% (1 VP)	100% (2VPs)	50% (2 Ohren)	0% (0 Ohren)
N2	67% (4 VPs)	50% (3 VPs)	67% (4 VPs)	33% (4 Ohren)	17% (2 Ohren)
N3	57% (4 VPs)	71% (5 VPs)	100% (7 VPs)	29% (4 Ohren)	0% (0 Ohren)
N4	83% (5 VPs)	83% (5 VPs)	67% (4 VPs)	17% (2 Ohren)	0% (0 Ohren)
S1	100% (1 VP)	0% (0 VPs)	100% (1 VP)	50% (1 Ohr)	0% (0 Ohren)
S2	100% (4 VPs)	50% (2 VPs)	100% (4 VPs)	13% (1 Ohr)	0% (0 Ohren)
Gesamt	**74% (26 VPs)**	**66% (23 VPs)**	**86% (30 VPs)**	**34% (24 Ohren)**	**3% (2 Ohren)**

Abbildung 1 zeigt die Differenzen der gemessenen Audiogramme zischen den Testkonditionen und damit den Einfluss der untersuchten Parameter auf die individuellen Hörschwellen. Im Vergleich von Hearpiece-APTA und Referenzaudiogramm für alle Ohren (Plot oben links) zeigen sich Abweichungen von bis zu 35 dB, insbesondere bei 125 Hz und 250 Hz. Betrachtet man nur Audiogramme, die das

Ankopplungskriterium erfüllen (Plot oben rechts), sind 92% der Abweichungen im Betrag kleiner oder gleich 10 dB (79% bis 5 dB). Der Vergleich des selbstständigen Einsetzens mit dem durch eine Fachkraft (Plot Mitte links) weist genau wie der Test-Retest-Vergleich (Plot Mitte rechts) ebenfalls 92% Abweichungen mit Beträgen kleiner oder gleich 10 dB auf. Der Einfluss des Störgeräusches (Plot unten links) zeigt sich hauptsächlich bei 500 Hz und den benachbarten Frequenzen und beträgt bis zu 45 dB. Die Verwendung eines Dämpfungskopfhörers (Plot unten rechts) senkte diesen Wert auf 15 dB ab.

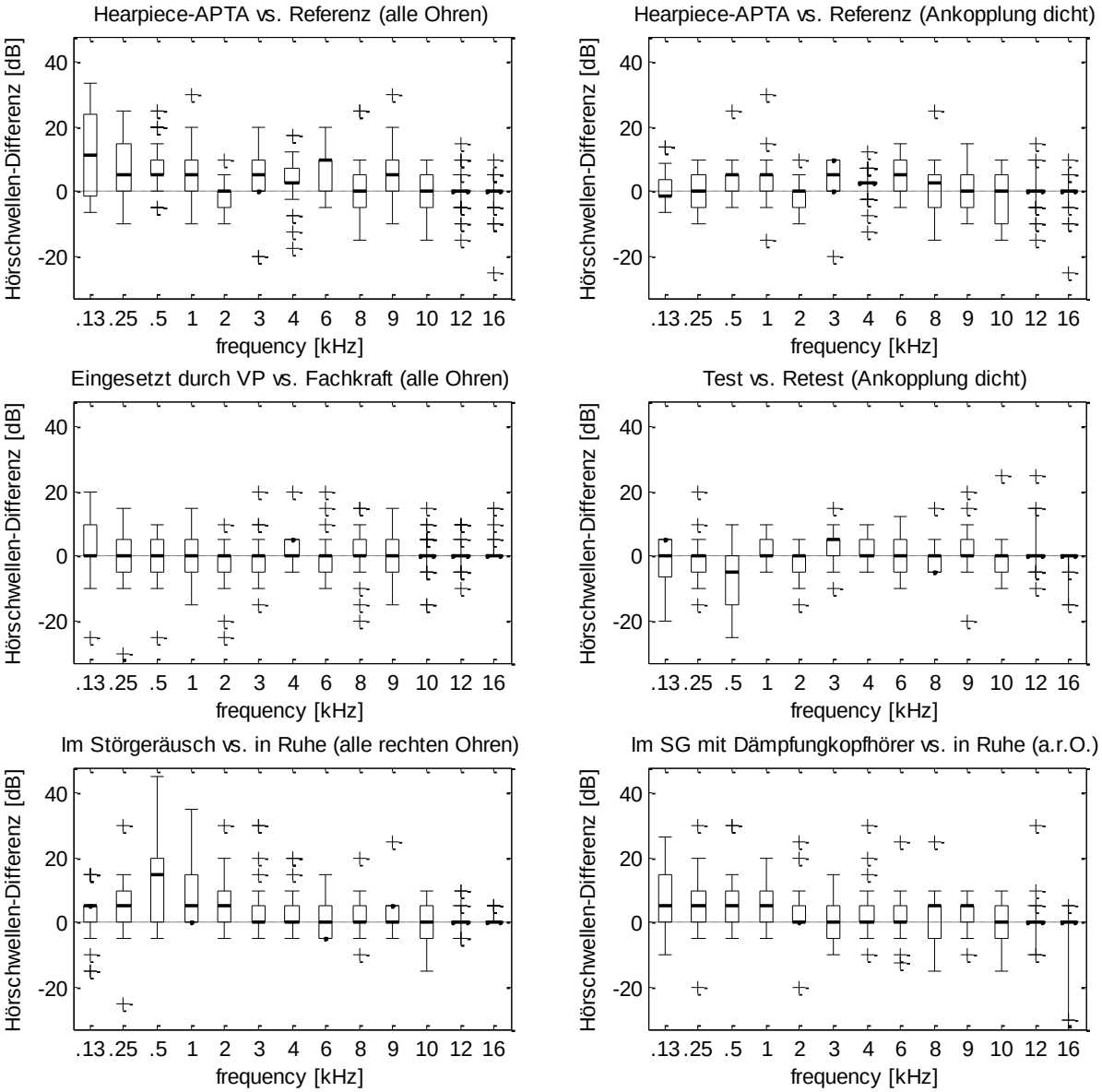

Abbildung 1: Boxplots (Mediane und Quartile) der Differenzen zwischen den gemessenen Hörschwellen für je zwei Messkonditionen; es sind entweder die Daten aller Ohren (für Messungen im Störgeräusch Aufbau-bedingt nur rechts) oder nur Daten enthalten, die das Ankopplungskriterium erfüllen.

4 Diskussion und Fazit

Anders als bei Denk et al. [2] ließen sich die Hearpieces nur in 74% statt 90% der getesteten Ohren problemlos einsetzen. Bei den übrigen 26% drückten diese entweder schmerzhaft oder hatten keinen Halt. Diese Quote ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass in dieser Studie die VPs die Hearpieces bis zu 2,5 h tragen mussten und zudem größtenteils ältere VPs teilgenommen haben, die wesentlich

offener artikulieren, wenn es ihnen unangenehm wird und sie abbrechen möchten, als dies bei jungen Studenten der Fall ist. Das selbstständige Einsetzen wurde von den jungen Normalhörenden sowie von den erfahrenen Hörgeräteträgern am besten umgesetzt, wohingegen Ältere ohne oder mit wenig Hörgeräterfahrung einige Probleme zeigten.

Die Genauigkeit der Messung liegt nach Anwendung des Ankopplungskriteriums bei 5-10 dB und damit nahe der Retest-Reliabilität nach Bisitz und Silzle [5], die auf Daten von jungen Normalhörenden basiert. Ohne Anwendung des Ankopplungskriteriums ist das Verfahren wesentlich ungenauer (Abweichungen bis zu 35 dB). Das Einsetzen der Hearpieces durch eine Fachkraft hat keinen Vorteil gegenüber dem selbstständigen Einsetzen gezeigt. Es wird empfohlen, zukünftig einen Ankopplungcheck vor der Messung durchzuführen, bei dem sichergestellt wird, dass das oben beschriebene Kriterium bzgl. akustischer Lecks von vornherein erfüllt ist.

Der Einfluss des Störgeräusches auf die Audiogramme von bis zu 45 dB bei 500 Hz verlangt, dass während der Messung Umgebungsschalle mit über 35 dB SPL bei Test-Frequenzen von 250-1000 Hz vermieden werden müssen. Eine Pegelüberbewachung durch die Außenmikrofone der Hearpieces kann eingesetzt werden, um Darbietungen, die in lauten Momenten stattfanden, aus der Wertung auszuschließen. Bei der Verwendung von Dämpfungkopfhörern können Umgebungsgeräusche bis ca. 55 dB SPL toleriert werden, was die Zahl der akzeptablen Umgebungen deutlich erhöhen kann.

Als offener Punkt bleibt, wie mit durch Otoskopie feststellbaren Beeinträchtigungen umgegangen werden kann. Cerumen obturans ist ohne Vorkenntnisse über die individuelle Hörschwelle nicht verlässlich mittels akustischer Daten detektierbar, da es zu einer nahezu linearen Erhöhung der Hörschwelle um bis zu 15 dB führt [8]. Auch eine Perforation des Trommelfells kann nicht eindeutig durch die Hörschwellenmessung detektiert werden, da sie zu einer Hörschwelle von mindestens 30 dB HL für Frequenzen unterhalb von 1 kHz sowie einer Stufe von -20 dB von 4 kHz auf 8 kHz führt [7], welche jedoch bei gleichzeitigem Hochton-Abfall hierdurch maskiert sein kann. Liegen bereits individuelle Messungen älteren Datums vor, kann eine Hearpiece-APTA-Kurve bezüglich ihrer Plausibität interpretiert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Selbstaudiometrie per APTA mit Hearpieces unter Einbeziehung der aufgestellten Kriterien sinnvolle Daten liefert. Die entscheidende Hürde dabei ist das selbstständige Einsetzen der Hearpieces mit Erfüllung des Ankopplungskriteriums. Es empfiehlt sich, den Ankopplungsprozess durch eine Software zu unterstützen, die z.B. Ampel-basiert mögliche akustische Lecks anzeigt (Nachjustieren bis Anzeige grün).

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC 2177/1 - Projektnummer 390895286 und Projektnummer 352015383 – SFB 1330 C4.

5 Literatur

[1] Schulte M, Vormann M, Kaya M, Heeren J, Latzel M. Remote hearing system evaluations in the time of Covid-19. Phonak Field Study News. 2020 Nov. Available from: https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/PH_FSN_remote_hearing_system_evaulations_Covid_210x297_EN_V1.00.pdf

[2] Denk F, Lettau M, Schepker H, Doclo S, Roden R, Blau M, Bach JH, Wellmann J, Kollmeier B. A one-size-fits-all earpiece with multiple microphones and drivers for hearing device research. In Audio Engineering Society Conference: 2019 AES INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEADPHONE TECHNOLOGY. Audio Engineering Society. 2019 Aug.

[3] Luengen M, Garrelfs C, Adiloğlu K, Krueger M, Cauchi B, Markert U, Typlt M, Kinkel M, Schultz C. Connected Hearing Devices and Audiologists: The User-Centered Development of Digital Service Innovations. Frontiers in Digital Health, 2021 Sep. 3:739370. doi: 10.3389/fdgth.2021.739370

[4] Groon KA, Rasetshwane DM, Kopun JG, Gorga MP, Neely ST. Air-leak effects on ear-canal acoustic absorbance. Ear and hearing, 2015. 36(1): 155-163.

[5] Bisitz T, Silzle A. Automated pure-tone Audiometry Software Tool with extended frequency range. In Audio Engineering Society Convention 130. Audio Engineering Society. 2011 May.

[6] Kayser H, Herzke T, Maanen P, Zimmermann M, Grimm G, Hohmann V. Open community platform for hearing aid algorithm research: open Master Hearing Aid (openMHA). SoftwareX. 2022. Volume 17, 100953. ISSN 2352-7110. DOI: 10.1016/j.softx.2021.100953.

[7] Nahata V, Patil CY, Patil RK, Gattani G, Disawal A, Roy A. Tympanic membrane perforation: Its correlation with hearing loss and frequency affected-An analytical study. Indian Journal of Otology, 2014 Jan. 20(1): 10-15.

[8] Hydri AS, Siddiqui F. Hearing loss due to different types of impacted cerumen. Ann Otolaryngol Rhinol. 2016. 3(2), 1087.