

Subjektiver Vergleich individueller Entzerrungsfunktionen für Hörgeräte mit geschlossenen Otoplastiken

Tobias Sankowsky, Eugen Rasumow, Matthias Blau und Karsten Plotz

Institut für Hörtechnik und Audiologie, Jade Hochschule, D-26121 Oldenburg, Email: Tobias.Sankowsky@fh-oldenburg.de

Einleitung

In der Hörgeräteanpassung ist die Kenntnis des Schalldrucks am Trommelfell von entscheidender Bedeutung. In der allgemeinen Praxis haben sich verschiedene Methoden zur Bestimmung dieses Schalldruckes etabliert. Häufig werden Kupppler/Ohrsimulatoren oder andere mittlere Gehörgangmodelle verwendet, die aber keine individuellen Streuungen berücksichtigen können. Teilweise werden auch Insitumessungen oder Insituaudiometrierverfahren angewendet, wobei die Durchführung beider Methoden von der Kooperation des Patienten, und die der zweiten zusätzlich vom Vorhandensein dieses Hörgerätefeatures abhängt. Es werden aber auch immer wieder neue Ansätze gesucht, um diese entscheidende Größe zu bestimmen [1, 2]. Die Relevanz einer möglichst genauen Kenntnis des Schalldruckes am Trommelfell nach rein objektiven Gesichtspunkten steht außer Frage (eingengter Dynamikbereich des Gehörs, Gefahren von Über- oder Unterversorgung bei Kleinkindern), jedoch ist auch die subjektive Beurteilung von verschiedenen Methoden der Bestimmung des Schalldruckes am Trommelfell von Interesse. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit ein Vergleich zwischen einer entzerrten Darbietung über Hörgeräte-Dummies und der Freifeldsituation durchgeführt.

Bestimmung des Schalldruckes am Trommelfell

Für den subjektiven Vergleich wurde die Gehörgangsübertragungsfunktion des Schalldruckes am Trommelfell, bezogen auf die Spannung am Hörgeräte-receiver, $\underline{H}_{GG} = \hat{p}_{TF}/\hat{u}_{Rec}$, nach verschiedenen Methoden bestimmt. Unterstriche geben komplexe Größen an und grundsätzlich wird von frequenzabhängigen Größen ausgegangen.

Die verschiedenen Methoden sind:

1. Messung der Übertragungsfunktion am Trommelfell, wobei der Schlauch des Sondenmikrofons durch die geschlossene Otoplastik geführt und unmittelbar vor dem Trommelfell platziert wurde.
2. Vorhersage nach einem individuellen Gehörgangsmodell, basierend auf einer Impedanzmessung mit einem unabhängigen Quellenmodell nach [2].
3. Vorhersage nach einem individuellen Gehörgangsmodell¹, basierend auf einer Schalldruckmessung im Gehörgang nach [1] mit einem unabhängigen Quellenmodell nach [2].

¹Für das Gehörgangsmodell konnte aufgrund des begrenzten Übertragungsbereiches des Receivers nur eine Nullstelle identifiziert werden.

4. Vorhersage nach einem individuellen Gehörgangsmodell¹ und einem Quellenmodell, basierend auf einer Schalldruckmessung im Gehörgang nach [1].

5. Vorhersage durch ein Ohrsimulatormodell nach [3] mit unabhängigen Quellenmodell nach [2].

Der Schalldruck am Trommelfell wurde für einen für Hörgeräte relevanten Frequenzbereich von 100 Hz...10 kHz vorhergesagt.

Testaufbau

Für 10 normalhörende Versuchspersonen wurden nach verschiedenen Methoden Entzerrungsfunktionen für Hörgeräte mit geschlossenen Otoplastiken bestimmt, die in einem subjektiven Vergleich gegenüber einer Freifeldbeschallung beurteilt wurden. Als Hörgeräte wurden HdO-Hörgerätedummies verwendet, bei denen das Signal ohne Verwendung des Hörgerätemikrofons über den Receiver abgespielt wurde.

Die Entzerrungsfunktionen wurden berechnet nach

$$\underline{EQ} = \frac{\underline{H}_{FF}}{\underline{H}_{CG}}, \quad (1)$$

wobei $\underline{H}_{FF} = \hat{p}_{TF}/\hat{u}_{LS}$ die Freifeldübertragungsfunktion des Schalldrucks am Trommelfell, bezogen auf die Spannung am Lautsprecher war. Es wurde jeweils eine individuell gemessene Freifeldübertragungsfunktion $\underline{H}_{FF,i}$ als auch eine mittlere $\underline{H}_{FF,m}$ nach [4] verwendet.

Der Test wurde in einer Hörkabine durchgeführt. Die Versuchsperson saß während des Tests in 1,5 m Entfernung vom Lautsprecher (Typ 6301B, Fostex Company). Als Testsignal wurde eine Gesangsaufnahme verwendet (Tom's Diner von Suzanne Vega). Bei einem ersten Testlauf stellte sich heraus, dass durch das wiederholte Einsetzen der Otoplastiken der Grad der Abdichtung des Gehörgangs durch die Otoplastik nicht gut reproduziert werden konnte. Das hatte eine deutliche Schwankung der Lautheit zufolge. Aus diesem Grund wurde das Testsignal bei 500 Hz mit einem Butterworth-Filter 2. Ordnung hochpassgefiltert. Die entzerrten Signale wurde randomisiert dargeboten.

Die Aufgabe der Versuchsperson war es, die Darbietung über die Hörgeräte auf einer kontinuierlichen Skala von 1...5 gegenüber der Freifelddarbietung zu beurteilen nach der Fragestellung: „Wie groß ist der Unterschied im Vergleich zur Darbietung über den Lautsprecher?“ Hierbei entsprachen die Stufen 1 - kein Unterschied, 3 - geringerer Unterschied und 5 - großer Unterschied.

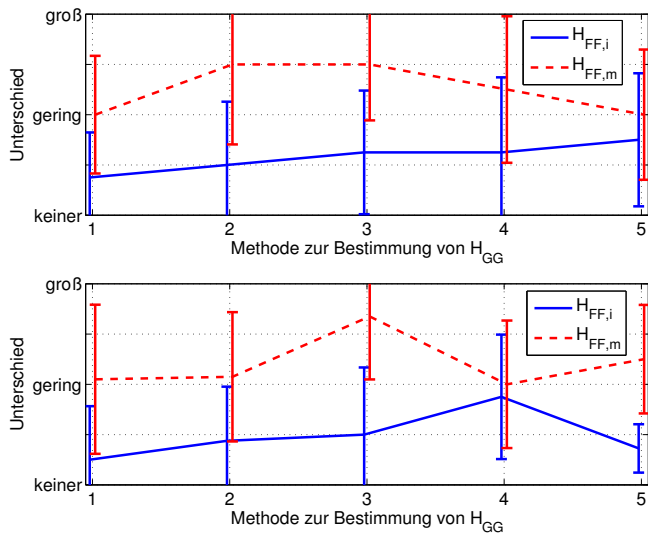


Abbildung 1: Skalierungswerte für den Unterschied zur Freifeldbeschallung, dargestellt als Mittelwerte mit Standardabweichungen über alle Versuchspersonen **oben** für die erste Skalierung und **unten** für die Wiederholung.

Ergebnisse

Die Skalierung wurde von jeder Versuchsperson zweimal durchgeführt. Abb. 1 zeigt die über alle Versuchspersonen gemittelten Skalierungswerte der Entzerrungsfunktionen inklusive der Standardabweichungen, oben für die erste Skalierung und unten für die Wiederholung. Es zeigt sich, dass die individuell gemessene \underline{H}_{FF} tendenziell einer Freifeldbeschallung näher kommt, als eine mittlere \underline{H}_{FF} . Die unterschiedlichen Methoden der Bestimmung der Gehörgangsübertragungsfunktion \underline{H}_{GG} zwischen Receiverspannung und Trommelfellschalldruck zeigen einen wesentlich geringeren Einfluss auf die subjektive Bewertung.

Zur objektiven Bewertung kann die mit dem Sonden-schlauch gemessene Gehörgangsübertragungsfunktion ($\underline{H}_{GG,1}$) als Referenz herangezogen werden, wohl wissend, dass auch diese Übertragungsfunktion durch Positionierungsunsicherheiten Fehler aufweisen kann. Abb. 2 zeigt die Quantile $Q_{0.1}$ und $Q_{0.9}$ der Pegeldifferenzen aller Vorhersagen (20 Ohren) für die verschiedenen Methoden.

Mit Ausnahme der Methode 3, durch die der Schalldruck im gesamten Frequenzbereich etwas überschätzt wird, können alle Methoden den Schalldruck unterhalb von 4 kHz relativ gut vorhersagen. Bei höheren Frequenzen unterscheiden sich die Methoden jedoch. Methode 2 zeigt hier einen Trend, den Schalldruck mit steigender Frequenz zu überschätzen, wobei der Abstand der Quantile bei 8 kHz weniger als 7 dB beträgt. Methode 3 zeigt einen ähnlichen Trend allerdings mit einem Quantilabstand von etwa 12 dB bei 8 kHz. Methode 4 führt zu einem mit der Frequenz steigenden Fehler bei einem Quantilabstand von 16 dB bei 8 kHz und Methode 5 zeigt ebenfalls einen mit der Frequenz steigenden Fehler mit einem Quantilabstand von 13 dB bei 8 kHz.

Zusammenfassung und Ausblick

Um mit Hörgeräten mit geschlossenen Otoplastiken den Eindruck einer Freifeldbeschallung zu erzielen, werden

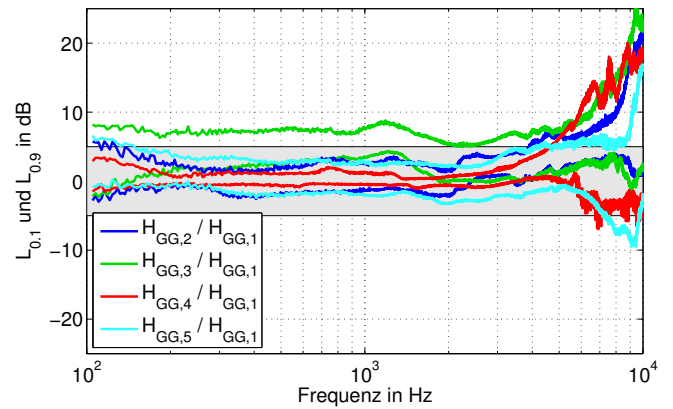


Abbildung 2: Quantile $Q_{0.1}$ und $Q_{0.9}$ der Pegeldifferenzen für die verschiedenen Vorhersagemethoden für H_{GG} relativ zur Sonden-schlauchmessung ($H_{GG,1}$).

möglichst individuelle Freifeldübertragungsfunktionen (\underline{H}_{FF}) benötigt. Für eine Anwendung mit Einsteckhörern müsste weitergehend untersucht werden, welche Teile der \underline{H}_{FF} (HRTF bis zum Eingang des Gehörgangs, Übertragungsfunktion des offenen Gehörgangs bis zum Trommelfell, siehe [5]) individuell bekannt sein und welche durch mittlere Modelle angenähert werden müssen.

Die Methode der Bestimmung der Übertragungsfunktion von der Receiverspannung zum Schalldruck am Trommelfell zeigte nur einen geringen Einfluss auf die subjektive Bewertung durch normalhörende Versuchspersonen. Für Hörgeschädigte könnte dies jedoch eine größere Relevanz haben, beispielsweise aufgrund eines eingeschränkten Dynamikbereiches des Gehörs oder aufgrund einer größeren Streuung der individuellen Gehörganganatomie.

Bei weitergehenden Untersuchungen wäre deshalb darauf zu achten, dass möglichst eine große Bandbreite anatomischer Variabilität der Gehörgänge abgedeckt würde.

Danksagung

Diese Untersuchung wurde von der Audiologieinitiative Niedersachsen gefördert.

Literatur

- [1] Schmidt, S. und Hudde, H.: Messung von Isophonen mit Bezug auf den Schalldruck am Trommelfell. DAGA 2008 (2008)
- [2] Blau, M.; Sankowsky, T.; Roeske, P.; Mojallal, H.; Teschner, M. und Thiele, C.: Prediction of the sound pressure at the ear drum in occluded human cadaver ears. Zur Veröffentlichung angenommen in Acta Acustica united with Acustica (2010)
- [3] IEC 60318-4: Electroacoustics - Simulators of Human Head and Ear - Part 4: Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by ear inserts. (2007)
- [4] Blau, M.; Sankowsky, T.; Stirnemann, A.; Oberdanner, H. und Schmidt, N.: Acoustics of Open Fittings. Acoustics 2008, Paris (2008)
- [5] Hammershøi, D. und Møller, H.: Sound transmission to and within the human ear canal. Journal of the Acoustical Society of America 100 (1996), 408–427