

Untersuchungen zur Messung von Gehörgangsimpedanzen bei Kleinkindern

Janina Fels¹, Mads Jakob Herring Jensen², Martin Rung²

¹ *Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Germany,*

E-Mail: Janina.Fels@akustik.rwth-aachen.de

² *Audiological Research, Widex A/S, 3540 Lyngø, Denmark*

Einleitung

Für die Messung und Entwicklung von Hörgeräten werden so genannte Kuppler verwendet. Kinder – oder Babykuppler gibt es jedoch zurzeit noch nicht. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich Gehörgangsimpedanzen von Kindern besonders in den ersten 6 Lebensjahren verändern und hier stark von Erwachsenenaten abweichen.

Die wichtigste Altersgruppe sind jedoch die Kleinkinder, die jünger als 2-3 Jahre sind. Hier weichen die Gehörgangsimpedanzen extrem von standardisierten Daten ab – eine Anpassung von Hörgeräten erfolgt aber oft schon im Alter von 6 Monaten.

Ein besonderes Problem in dieser Altersgruppe stellt jedoch die In-Situ Messung von Gehörgangsimpedanzen dar. Durch den kleinen Gehörgangseingang sind besonders kleine Messsonden notwendig. Durch die Verwendung von sehr kleinen Sonden treten jedoch messtechnische Probleme auf.

Eine Simulation basierend auf Gehörgangsgeometrien wäre zwar möglich, jedoch fehlt das Wissen über die genauen Randbedingungen wie zum Beispiel die Trommelfellimpedanz bei Kleinkindern.

Messverfahren

Das Messverfahren zur Bestimmung der Gehörgangsimpedanzen basiert auf dem Verfahren der kalibrierten Quelle und wurde von Ludwig and Hudde [1] eingeführt. In [2] wurde diese Methode erstmals an Kindern angewendet. Der Sondeninnendurchmesser bei diesen Untersuchungen lag bei einem Innendurchmesser von 3.5 mm und einem Außendurchmesser von 5 mm. Mit dieser Sonde war es möglich, Gehörgangsimpedanzen von Kindern ab einem Alter von ca. 2 ½ Jahren zu bestimmen.

Mit Hilfe von bekannten Abschlussimpedanzen (Zylinderstücke mit schallhartem Abschluss) werden die inneren Sondenparameter bestimmt. Da das Messmikrofon seitlich am Sondenröhrchen angebracht ist, muss das gemessene Ergebnis mit Hilfe der Leitungstransformation an die gewünschte Ebene (Sondenspitze) transformiert werden. Diese Transformation wurde in [2] verlustfrei durchgeführt.

Vergleicht man die verlustfrei durchgeführten Transformationen mit der analytischen Lösung anhand eines definierten Probevolumens (Zylinderstück), so sind Abweichungen an der genauen Position der ersten Resonanz und in der Güte zu erkennen. Diese Abweichungen vergrößern sich jedoch enorm, wenn der Sondeninnendurchmesser verkleinert wird.

Verluste

Verluste durch Wärmeleitung, Viskosität, Dichte und Temperatur beeinflussen die Messung Sondenröhrchen stark. Die Ergebnisse der verlustfreien Transformation der Messergebnisse mit einer Sonde mit dem Innendurchmesser von 2,5 mm weichen erheblich von der analytischen Zielfunktion ab (siehe Abbildung 1, rote Kurve).

Mit Hilfe eines Transmission Line Modells (Leitungsmodell) können nun die Einflüsse der Verluste auf die Messung studiert werden.

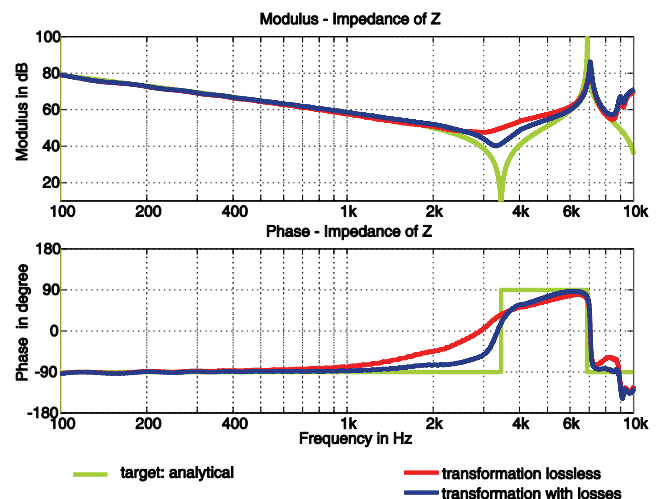


Abbildung 1: Impedanz des Probevolumens gemessen mit einer Sonde mit einem Innendurchmesser von 2,5 mm mit verlustfreier Transformation (rot) und Transformation mit Verlusten (blau) berücksichtigt.

Die Verluste durch Viskosität, Dichte und Schallgeschwindigkeit können nach [3] temperaturabhängig modelliert werden. Es zeigt sich, dass gerade die korrekte Schallgeschwindigkeit bei der Transformation des Ergebnisses an der Mikrofonenebene zur Sondenspitze einen großen Einfluss hat. Die korrekte Schallgeschwindigkeit in einer Sonde, die an einen menschlichen Gehörgang angekoppelt wird, ist in der Realität jedoch nur sehr schwierig zu bestimmen. Es tritt dabei auch ein großer Temperaturgradient auf (von Sondenspitze am Ohr bis zur Mikrofonposition).

Abbildung 2 zeigt die durch das Transmission Line Modell berechneten Werte an der Mikrofonposition (rot gestrichelt) und die transformierte Lösung an die Sondenspitze für unterschiedliche Sondeninnendurchmesser ($\varnothing = 1-7$ mm). Hier zeigt sich genau das gleiche Verhalten, wie in der Messung. Je kleiner das Sondenröhrchen ist, desto ungenauer bzw. verlustbehafteter ist auch die Transformation.

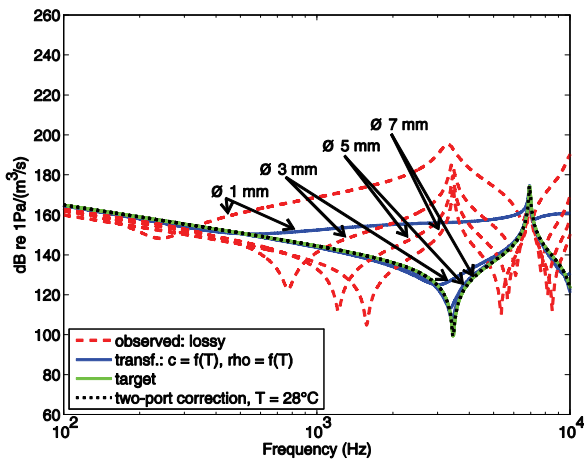


Abbildung 2: Berechnete Impedanzen an der Mikrofonposition und transformierte Impedanzen (an die Sondenspitze) anhand des Transmission Line Modells für unterschiedliche Sondendurchmesser.

Werden die Ausbreitungskonstante und der Wellenwiderstand nach [4] für kleine Röhren (<3mm Durchmesser) bestimmt, so kann die Berechnung der Transformation unter Berücksichtigung von Verlusten durch Temperatur und Verlusteffekten an den Rohrwänden erfolgen.

Die Ergebnisse der Transformation mit Verlusten ist in Abbildung 1 in blau dargestellt. Es ergibt sich eine bessere Übereinstimmung mit der analytischen Lösung – die Güte der analytischen Lösung ist jedoch viel höher, da hier völlig ohne Verluste gerechnet wurde. Mit einem Sondennendurchmesser von $\geq 2,5$ mm können zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden.

Die Ankopplung an einen Gehörgang von Kleinkindern (ca. 6 Monate) erfordert jedoch einen noch kleineren Sondendurchmesser.

Hier zeigen jedoch andere messtechnische Probleme und Nichtlinearitäten, die Mikrofonposition versucht sein könnten. Ob diese Nichtlinearitäten durch Strömungsabriss an Kanten oder Verwirbelungen entstehen, müssen künftige Untersuchungen zeigen.

Messposition

Wird nicht innerhalb des Sondentröhrchens, sondern an der Sondenspitze direkt der Schalldruck gemessen, so könnten Fehler, die durch die Transformation und seitliche Messung entstehen vermieden werden.

Mit einer Finiten-Elemente-Simulation, die auch die Verluste innerhalb des kleinen Röhrens berücksichtigt, wurde die Messung mit einem dünnen Sondentröhrchen zu einem größeren Querschnitt (Gehörgang) simuliert.

Es zeigt sich, dass die Messung an der Sondenspitze sehr fehleranfällig ist. Besonders ist die genaue Position des Sondenmikrofons am Querschnittsprung zu beachten.

Um eine fehlerfreie Messung durchzuführen, muss das Sondenmikrofon weiter in den Gehörgang positioniert werden, da sonst das Abstrahlverhalten an der Querschnittsänderung das Messergebnis verfälscht.

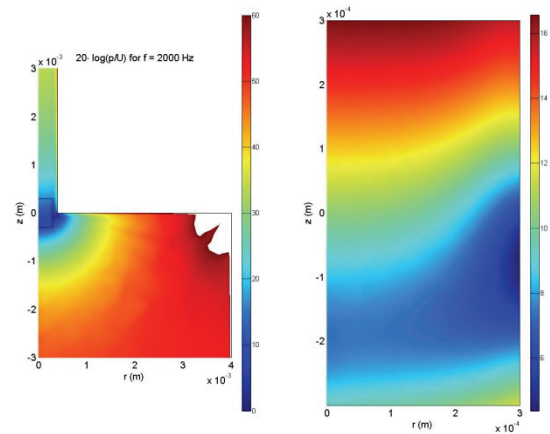


Abbildung 3: Verlauf der Impedanz am Querschnittsprung für ein sehr dünnes Sondentröhrchen ($\varnothing = 0,8$ mm auf $\varnothing = 8$ mm) für 2 kHz. Die Abbildung rechts zeigt den vergrößerten Bereich direkt am Sprung.

Diese Anordnung ist in der Praxis jedoch recht aufwändig, zumal 2 Röhren ineinander auch wieder Grenzen an die Miniaturisierung der Anordnung stellen. Ferner ist die Kalibrierung einer solchen Sonde sehr fehleranfällig. Die Kalibrierstücke müssen sehr dicht an die Messsonde angekoppelt werden, um eine gute Messgenauigkeit erzielen zu können.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Messung mit einer Impedanzsonde, deren Abmessungen an das kindliche Gehör angepasst sind, wird durch Verluste z.B. durch Wärmeleitung beeinflusst. Wenn diese Verluste in der Weiterverarbeitung richtig berücksichtigt werden, können zufriedenstellende Ergebnisse mit einem Sondennendurchmesser von 2,5 mm erzielt werden. Bei noch kleineren Abmessungen kommt es jedoch zu weiteren Messfehlern, die noch geklärt werden müssen.

Durch eine Simulation unter der Berücksichtigung von Verlusten, wurde ein anderer Aufbau der Sonde (Messung direkt an der Sondenspitze) simuliert. Auch hier zeigen sich jedoch Unsicherheiten, die stark von der genauen Positionierung des Sondenmikrofons abhängen.

Literatur

- [1] A. Ludwig and H. Hudde, "Akustische Impedanzmessungen am Ohr durch Otoplastiken," in *Fortschritte der Akustik - DAGA 1995*, Saarbrücken, 1995, pp. 223–226.
- [2] J. Fels, L. Feickert, and J. Paprotny, "Untersuchungen zu Gehörgangsimpedanzen bei Kindern und Erwachsenen," in *Fortschritte der Akustik - DAGA 2007*, Stuttgart, Germany, 2007.
- [3] A. H. Benade, "On the propagation of sound waves in a cylindrical conduit," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 44, no. 2, pp. 616–623, 1968. [Online]. Available: <http://link.aip.org/link/?JAS/44/616/1>
- [4] A. Iberall, "Attenuation of oscillatory pressures in instrument lines," *Journal of Research, National Bureau of Standards*, vol. 45, pp. 85–108, 1950.