Dämpfung von Luftschall unter Verwendung von Knochenschall

Wimmer Richard

Amt für Rüstung und Wehrtechnik Abteilung Optronik und physikalische Messtechnik
E-Mail: richard.wimmer@bmlv.gv.at

Einleitung

In diesem Projekt wird untersucht, ob Luftschallsignale durch Anregung des Schädelknochens gedämpft werden können, das heißt ob Active Noise Cancelling über unterschiedliche Übertragungswege möglich ist. Durch das phasengedrehte Emittieren des Signals eines Knochenschallkopfhörers soll eine Dämpfung eines Luftschallstimulus erreicht werden.

Moderne Hörgeräte bilden die Grundlage für die angestellten Untersuchungen. Knochenschallkopfhörer finden in der heutigen Zeit immer mehr Anwendung bei verschiedensten Konsumentengruppen, so werden im Sport oder bei militärischen Anwendungen Knochenschallkopfhörer häufig verwendet. Der Vorteil besteht darin, dass der Anwender die akustische Geräuschumgebung während der Verwendung der Knochenschallkopfhörer noch wahrnehmen kann. Herkömmliche Knochenschallkopfhörer nutzen als Einleitungspunkt der Vibrationen mit Masse das Felsenbein.

Ein speziell auf die Zielsetzung des Hörversuchs entwickelter Versuchsplan wurde erstellt. Um eventuelle Umgebungseinflüsse wie Reflexionen zu minimieren, wurden alle Versuche in einem reflexionsarmen Raum durchgeführt.

Grundlagen

Vor allem im Bereich der Hörgeräteakustik ist die Knochenschallleitung von Bedeutung, da auch bei einer Schädigung oder bei erheblichem Funktionsverlust im Mittelohr noch immer eine Einleitung von Vibrationen möglich ist, um Anregungen im Innenohr zu erzielen. Dabei wird die Funktion der Gehörknöchelchen verstärkt ersetzt, und die gehörgeschädigte Person erlangt wieder einen Teil seines Hörvermögens.

Im militärischen Bereich ist Sprachverständlichkeit auch bei impulshaltigem, lautem, breitspektralem Lärm das wesentliche Kriterium. Dabei wird schon bei der Abnahme des Sprachsignals auf Beschleunigungssensoren gesetzt, die sich im Bereich des Kehlkopfes befinden. Da im militärischen Bereich aufgrund der hohen Schalldruckpegel das Mittelohr besonders vor einer Schädigung geschützt werden muss und auch meist bereits ein Gehörschutz verwendet wird, kann die gewöhnliche Luftschallleitung für die Übertragung von Signalen nicht zufriedenstellend genutzt werden. Die einzige Möglichkeit qualitativ ausreichende Signalwiedergabe zu gewährleisten ist die Knochenschallleitung. Dabei kommen Systeme zu Anwendung, die das Sprachsignal mittels Vibrationen am Felsenbein emittieren.

Das in diesem Projekt gewählte Thema ist ein wesentlicher Teil des sogenannten Active Noise Canceling (ANC) oder im deutschen Raum auch als Antischall bezeichnet. Diese Technik wird bereits angewandt, um ungünstige akustische Effekte mit Hilfe von aktiven akustischen Komponenten zu kompensieren. Für gewöhnlich werden die Komponenten dafür eingesetzt, um Luftschall mit Luftschall zu dämpfen. Im Rahmen der Hörversuche des Projekts soll Luftschall mit Knochenschallemittern gedämpft werden, um die durch den Probanden empfundene Lautheit zu reduzieren.

Bei Probandenversuchen müssen eine Vielzahl an unterschiedlichen Parametern sowie die Zielsetzung klar definiert sein, um eine möglichst valide Aussage und einen Ausblick auf weiterführende Versuchsreihen geben zu können. Das im Projekt angewandte Verfahren ist ein angepasstes Magnitude- Estimation Verfahren, um die empfundene Lautheitsreduktion verifizieren zu können.

Durchführung

Der Hörversuch muss mit höchstmöglicher Effizienz durchgeführt werden und die Hypothesen sehr präzise festgelegt sein. Schon bei der Auswahl der Probanden muss genaues Augenmerk auf die akustischen Fähigkeiten dieser gelegt werden. Festzuhalten ist, dass sich die Probandengruppe in der Stärke von 34 Personen auf einen Personenkreis bezieht, der akustisch ungeübt ist.

Um eine mögliche Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden, wurde mit den einzelnen Probanden vorgestaffelt ein Hörschwellenaudiogramm durchgeführt. Aufgrund des doch sehr engen Zeitrahmens, der zur Verfügung gestanden ist, wurde nicht das volle Hörvermögen über den kompletten Frequenzbereich untersucht, sondern die Frequenzen 250 Hz und 500 Hz für die Beurteilung des Hörvermögens herangezogen.

Bei der Versuchsplanung wurden zwei unterschiedliche Schallübertragungswege betrachtet. Der Stimulus wurde einerseits über einen handelsüblichen bei der AUVA vorhandenen aktiven Lautsprecher und andererseits über einen Knochenschallkopfhörer wiedergegeben. Wesentlich dabei ist, dass bei der Wiedergabe des Stimulus und dem eingespielten Körperschallstimulus der Körperschallemitter einen Teil seines Signals an die Luft abgibt.[1] Dieser Anteil wurde allerdings durch Minimierung der wiedergegeben Pegel auf das notwendige Maß reduziert.

Es wurden 34 Personen als Probandengruppe herangezogen, wobei sich diese sowohl hinsichtlich der Altersgruppe als auch dem Geschlecht unterschieden haben. Der

[1] vgl. Gelfand S.A. Essentials of Audiology, 4. Auflage, 2004 S. 109ff

Versuchsablauf wurde bei allen Probanden einheitlich durchgeführt. Die Ein- und Unterweisung erfolgte in schriftlicher Form und offene Fragen wurden durch den Versuchsleiter geklärt.

Der Hörversuch begann mit der „Kalibrierung“ des Probanden. Die beiden Stimuli mit den Frequenzen 250 Hz und 350 Hz wurden dem Probanden präsentiert, und dieser hatte ungefähr eine Minute Zeit sich diese einzuprägen. Dabei wurde eine Phasenlage gewählt, die für den Probanden binaural in derselben Lautheit wahrgenommen wurde. Die Wiedergabe erfolgte dabei sowohl mit dem Knochenschallkopfhörer als auch über den Lautsprecher. Im Anschluss wurde den Probanden, der halb so laut wahrgenommene Stimulus präsentiert, um eine nachvollziehbare Bewertung zu gewährleisten.

Den Probanden stand für jeden Bewertungsvorgang ein individueller Zeitraum zur Verfügung. Durch ein Signal nach Abschluss der Bewertung, wurde der nächste Versuch gestartet. Nach Abschluss des ersten Durchgangs mit einem Stimulus der Frequenz 250 Hz folgte ein weiterer Durchgang mit einem Stimulus der Frequenz 350 Hz. Weder der Versuchsaufbau noch der Ablauf wurden während der Versuche geändert.

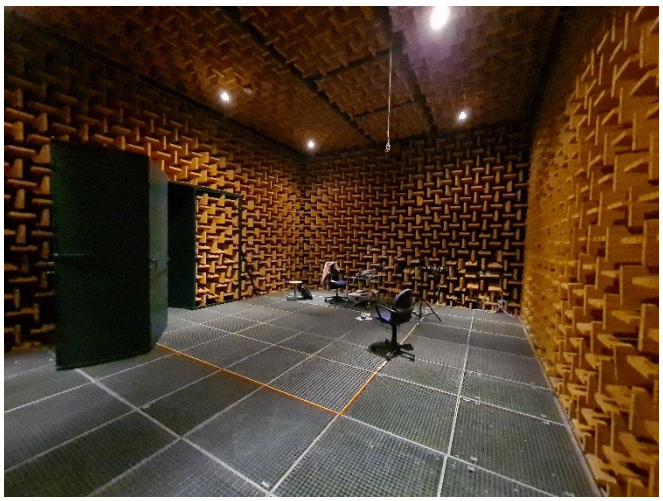

Abbildung 1: Abbildung des reflexionsarmen Raums der AUVA mit Versuchsaufbau.

Die Hörversuche wurden mit einem aktiven Lautsprecher und einem Knochenschall-Bluetoothkopfhörer unter idealen Freifeldbedingungen durchgeführt.

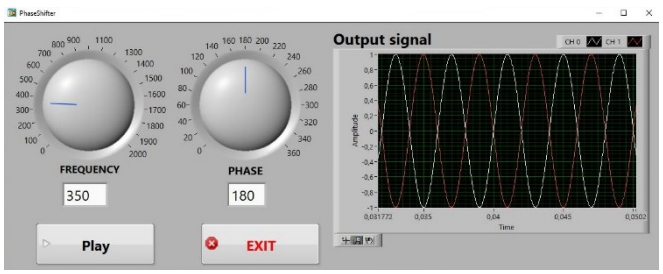

Abbildung 2: Softwaretool Phase- Shifter zur Steuerung des Versuchsablaufes und Phasenverschiebung der Ausgaskanäle

Zur Steuerung des Hörversuchs wurde ein Softwaretool im Rahmen einer Kooperation mit Fa. Laaber entwickelt.
Mit diesem Softwaretool ist es möglich in Echtzeit zwei Ausgabekanäle hinsichtlich der Phase gegeneinander zu verschieben.

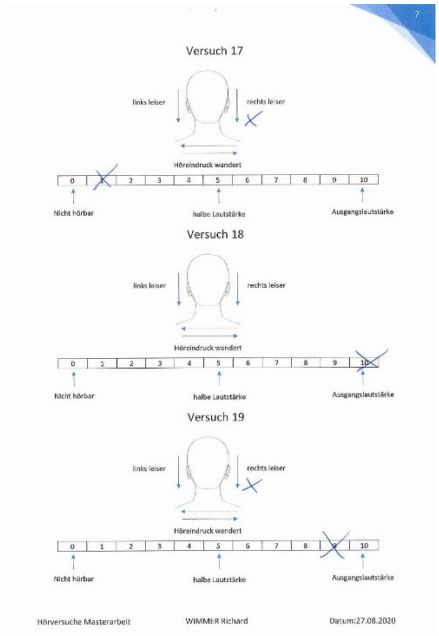

Abbildung 3: Ausgefülltes Versuchsprotokoll eines Probanden während der Hörversuche

Das in Abb.3 dargestellte Versuchsprotokoll zeigt drei bereits bewertete Versuche. Die Skala für die Bewertung erstreckt sich von 0- 10. Zehn stellt dabei den Ausgangsstimulus dar. Der Zahlenwert fünf ist durch die halbe Lautheit definiert. Wesentlich ist, dass dieser Wert einen um 10 dB verringerten Schalldruckpegel aufweist. Der Zahlenwert 0 stellt dabei eine komplette Auslöschung des Signals dar. Da im Rahmen der Versuche festgestellt wurde, dass zwischen dem linken und dem rechten Ohr ein doch markanter Unterschied der Lautheit auftreten kann, wurde eine entsprechende Bewertungsmöglichkeit implementiert.

Die Vorversuche zeigten auch, dass bei machen Probanden der Höreindruck zwischen den Ohren „wanderte“. Die beiden Pfeile unterhalb des skizzierten Kopfes bieten daher die Möglichkeit diese Situation zu bewerten. Im Rahmen der Unterweisung wurde auch festgehalten, dass bei diesem Bewertungskriterium zu beurteilen ist, auf welcher Seite der Höreindruck leiser wird. Außerdem wurde bei den Vorversuchen festgestellt, dass die Bewertungsmöglichkeit „lauter“ nicht zielführend ist. In Abb. 4 sind die Ergebnisse der Vor- u. Hauptversuche gegenübergestellt.

Ergebnisse

Für die Interpretation der Ergebnisse des Hauptversuchs wurden die statistischen Instrumente Modalwert und der Median verwendet.

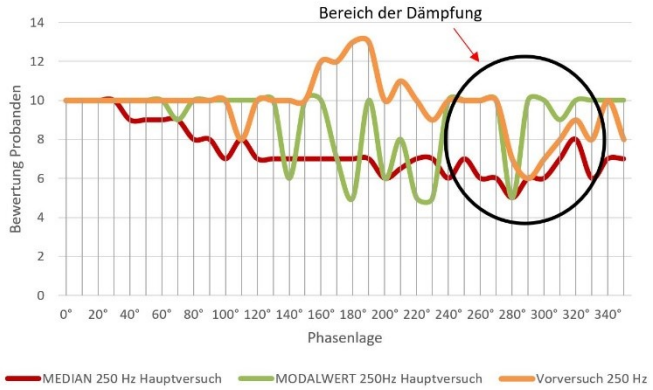

Abbildung 4: Vergleich der Ergebnisse aus Hauptversuch und Vorversuch bei 250 Hz

Bei einer Frequenz von 250 Hz liegt übereinstimmend das Minimum der Dämpfung bei einer Phasenlage von 280°, weitere kleinere Nebenminima liegen bei einer Phasenlage von 240°, von 200° und 100°, wobei im Bereich von 100° und 320° eine Lautheitsreduktion messbar ist. Werden der Medianwert, der Modalwert und die Vorversuche in die Auswertung mit einbezogen, so ist bei einer Phasenlage von 280° der Effekt am deutlichsten.

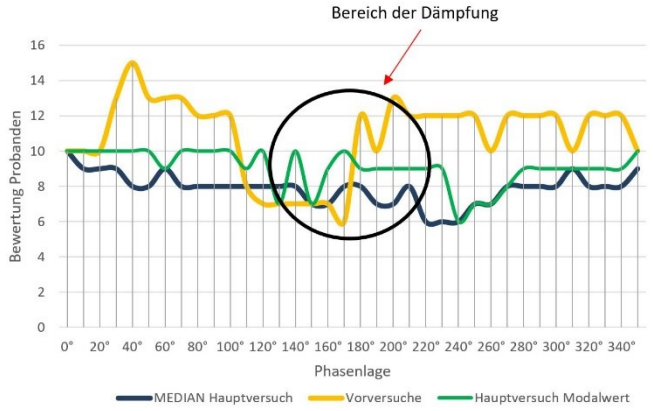

Abbildung 5: Vergleich der Ergebnisse aus Hauptversuch und Vorversuch bei 350 Hz

Bei 350 Hz ist das Minimum bei einer Phasenlage von 230° sehr ausgeprägt. Weitere Nebenminima sind bei einer Phasenlage von 150° und 190° erkennbar. Werden der Medianwert, der Modalwert und die Vorversuche in die Auswertung mit einbezogen, so ist bei einer Phasenlage von 150° der Effekt am deutlichsten.

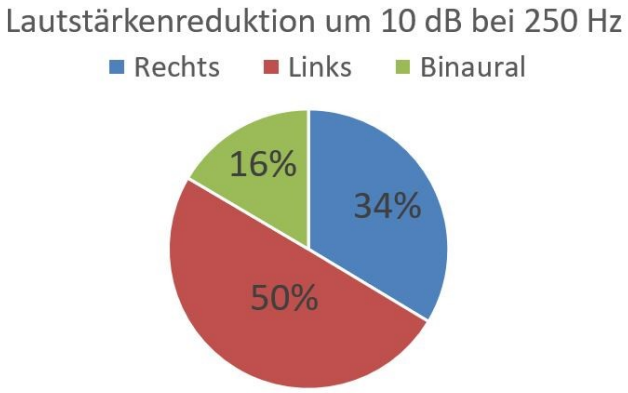

Abbildung 6: Lautstärkereduktion um 10 dB bei 250 Hz

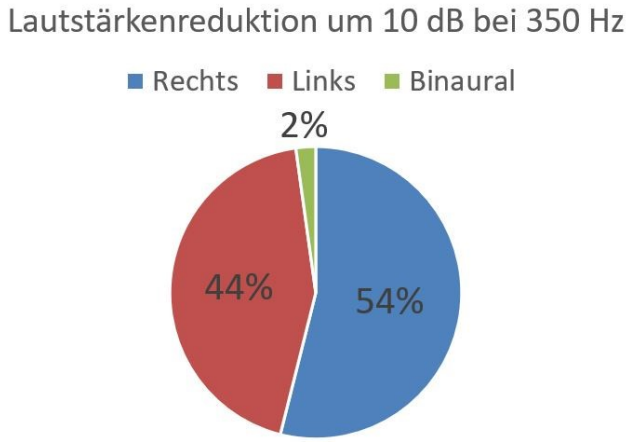

Abbildung 7: Lautstärkereduktion um 10 dB bei 350 Hz

Zusammenfassung

Die Versuchsreihen zeigten deutlich, dass eine Lautheitsreduktion über den Knochenschall erreicht wird. Die subjektive Auslöschung des Luftschallstimulus an einem Ohr des Probanden wurde bei 250 Hz 43-mal erreicht. Bei 350 Hz wurde die Auslöschung 93-mal durch Probanden wahrgenommen.

Somit ist auch eine Abhängigkeit der Lautheitsreduktion von der verwendeten Frequenz statistisch signifikant. Die Lautheitsreduktion ist bei höheren Frequenzen deutlicher. Die Dämpfung bei beiden Frequenzen ermittelt aus den Medianwerten der Minima liegt im Bereich von 8 bis 10 dB. Die Untersuchungsergebnisse zeigen somit eine Frequenzabhängigkeit der Lautheitsreduktion durch die Phasenlage des Knochenschalls, ein Effekt, der vom komplexen Aufbau des Innenohrs auch zu erwarten war.

Das ausgewählte Verfahren für den Hörversuch, Magnitude-Estimation Verfahren, ist für die Art von Hörversuch geeignet und liefert auch die Grundlage für weiterführende Untersuchungen. Es wird betont, dass bei 100 Prozent der Probanden eine Wirkung erzielt wurde.

Literatur

GELFAND, STANLEY, A.: Essentials of Audiology, 4. Auflage, Thieme Verlag. New York, 2016