

Einführung in die Medizinische Physik

Praktikumsprotokoll: Audiometrie

Sarah Schmetkamp (xxxxxxx)

Jan Lietz (xxxxxxx)

Lukas Küpper(2444460)

05.01.2016

1 Aufbau und Funktion des Ohrs

Das menschliche Gehör kann Töne nur innerhalb eines bestimmten Frequenz- und Schalldruckpegelbereichs wahrnehmen. Die Hörschwelle liegt bei einer Frequenz von 1.000 Hz etwa bei 0 dB – SPL. Die Schmerzgrenze liegt bei etwa 120 dB – SPL. Der Frequenzbereich erstreckt sich von ca. 20 Hz bis ca. 20 000 Hz.

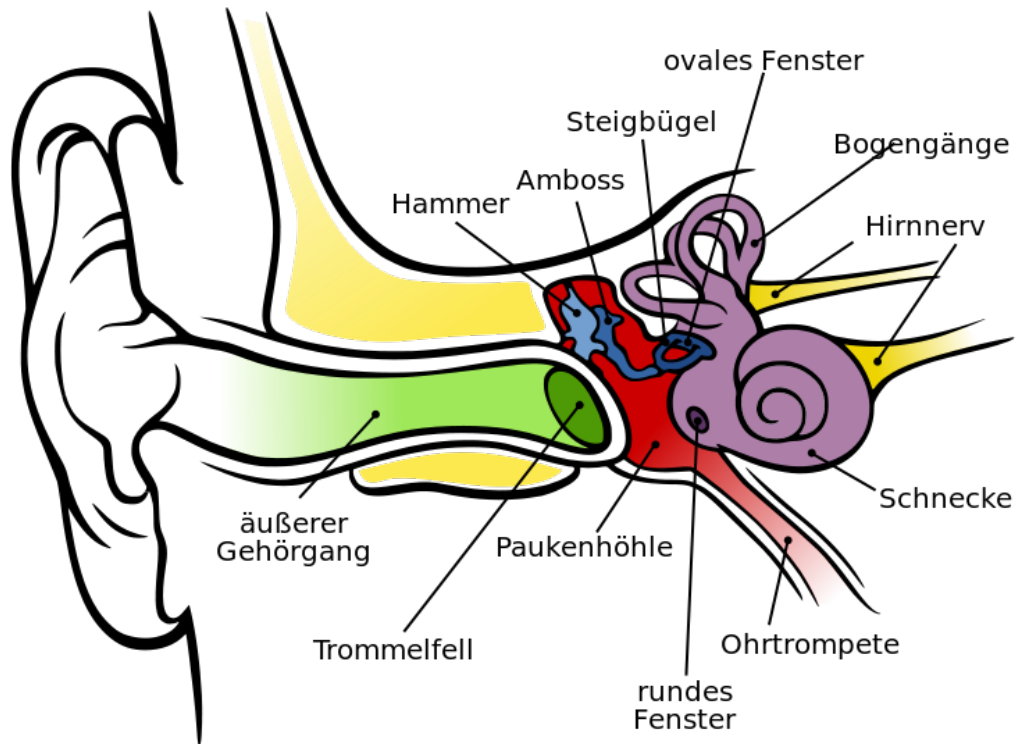


Abbildung 1: Aufbau des Ohrs. Chittka L, Brockmann

Das Ohr lässt sich in die drei Bereiche Außenohr, Mittelohr und Innenohr gliedern.

Das Außenohr besteht aus Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang. Seine Hauptaufgabe ist das Auffangen und Weiterleiten des Schalls zum Trommelfell. Durch die unsymmetrische Form der Ohrmuschel, ist eine Richtungsbestimmung des Schalls möglich. Die Richtungsauflösung geschieht jedoch hauptsächlich über Laufzeit- und Lautstärkeunterschiede zwischen beiden Ohren. Außerdem dient das Außenohr dem Schutz der empfindlichen Bestandteile im Mittel- und Innenohr.

Das Mittelohr wird nach außen vom Trommelfell und nach innen vom ovalen und runden Fenster begrenzt. Die Funktion des Mittelohres besteht in der Impedanzanpassung zwischen dem Schall in Luft (Außenohr) und dem Schall in der Perilymphe (Innenohr). Die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel bilden ein Hebelsystem, dass die

2 Durchführung

Auslenkung vom Trommelfell zum ovalen Fenster überträgt und dabei verstärkt. Durch die unterschiedliche Fläche von Trommelfell und ovalem Fenster und die Hebelwirkung der Gehörknöchelchen ergibt sich eine Druckverstärkung von etwa 26. Die Eustachische Röhre verbindet Mittelohr und Nasenrachenraum. Sie ermöglicht einen Druckausgleich, der durch wechselnden Außendruck nötig wird.

Das Innenohr ist in ein Hohlraumssystem innerhalb des Schläfenbeins eingebettet. Den oberen Teil des Innenohr bildet das Gleichgewichtsorgan (Labyrinth). Es besteht aus drei zueinander senkrecht stehenden Schleifen und dient dem Erkennen von Bewegungsänderungen und der Richtung der Erdschwerkraft. Der untere Teil beinhaltet die Cochlea. Ihre Aufgaben bestehen in der Umwandlung des Drucksignals in elektrische Signale und der Weiterleitung an die Nervenbahnen. Die Cochlea ist durch die Basilarmembran längs in zwei Bereiche geteilt. Haarzellen auf der Basilarmembran werden durch die Bewegung der Lymphe gebogen und lösen dabei Nervenimpulse aus. Durch eine Orstkodierung kann dabei die Frequenz des einlaufenden Schalls ermittelt werden.

Die Techniken zur Untersuchung der Hörfähigkeit werden unter dem Begriff Audiometrie zusammengefasst. Das Ergebnis eines Hörtests, der das Hörvermögen bei verschiedenen Frequenzen untersucht, nennt sich Audiogramm.

2 Durchführung

2.1 Analoges Audiogramm

Im ersten Versuchsteil wird mit einem analogen Audiometer von Oscilla ein Audiogramm erstellt. Der Proband sitzt mit dem Rücken zum Gerät, um möglichst wenig beeinflusst zu werden. Nun werden zunächst für das rechte Ohr und anschließend für das linke Ohr nacheinander 11 voreingestellte Frequenzen zwischen 125 Hz und 8 kHz durch den Kopfhörer wiedergegeben. Sobald der Proband einen Ton hört, signalisiert er dies über einen Drücker. Der Versuchsleiter notiert daraufhin den jeweiligen Wert.

Diese Messung wird für drei Probanden durchgeführt.

2.2 Digitales Audiogramm

Im zweiten Versuchsteil wird das digitale Audiometer Oscilla USB-350B verwendet, um ein Audiogramm zu erstellen. Die Messung erfolgt parallel zum ersten Versuchsteil. Der Computer ermittelt hierbei jedoch die Hörschwelle für die 11 Frequenzen selbstständig nach dem Hughson-Westlake-Test.

2.3 Digitales Audiogramm der Knochenleitung

In diesem Versuchsteil soll die Hörschwelle für Knochenschall bestimmt werden. Der Tongeber wird auf das Schläfenbein am rechten bzw. linken Ohr gesetzt. Zusätzlich trägt der Proband Kopfhörer, die das Ohr abschirmen, den Tongeber jedoch nicht einschließen. Wieder erfolgt die Bestimmung der Hörschwelle manuell für verschiedene Frequenzen.

Die beiden Digitalen Audiogramme werden für den selben Probanden erstellt.

2.4 Ausführliches Audiogramm

Mithilfe eines Funktionsgenerators wird die Hörschwelle für 54 Frequenzen zwischen 80 Hz und 18 kHz zunächst für das rechte und anschließend für das linke Ohr ermittelt.

2.5 Ausführliches Audiogramm mit Störquelle

Es erfolgt eine Messung der Hörschwelle für ? Frequenzen zwischen 80 Hz und 18 kHz. Hierbei wird jedoch ein Rauschen als Störsignal mit einem zweiten Funktionsgenerator erzeugt und ebenfalls in den Kopfhörer gespielt. Die Erstellung des Audiogramms erfolgt zunächst mit einem Ströruschen von dB und dann mit dB.

3 Auswertung der Audiogramme

Die Auswertung und die Darstellung der durchgeführten Audiogramme erfolgt mit Python und den Paketen Numpy, Scipy und Matplotlib.

3.1 Analoges Audiogramm

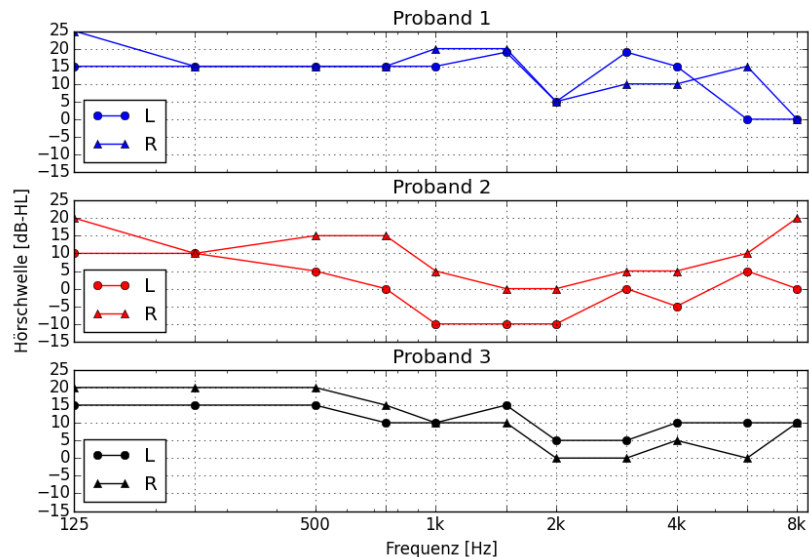


Abbildung 2: Analoge Audiogramme der drei Probanden.

In Abb. 2 sind die aufgenommenen Audiogramme der drei Probanden dargestellt. Die Genauigkeit der Werte lässt sich hierbei auf ± 2.5 dB – HL abschätzen, da das Gerät nur eine Lautstärke-Variation in 5 dB – HL-Schritten zulässt. Man kann erkennen, dass alle drei Probanden über den gesamten Frequenzbereich im normalen Bereich liegen. Proband 1 zeigt über den gesamten getesteten Frequenzbereich relativ konstant im Bereich um 10 dB – HL und damit etwas unter dem Durchschnitt. Proband 2 hingegen liegt beim linken Ohr auf einem großen Frequenzbereich unter 0 dB – HL und damit besser als der Durchschnitt. Auf dem rechten Ohr ist die Tonwahrnehmung über fast den gesamten Frequenzbereich schlechter. Dies könnte dadurch zu Stande gekommen sein, dass die verwendeten Kopfhörer scheinbar einen Defekt am rechten Hörer haben, wie sich im dritten Versuchsteil herausgestellt hat. Dagegen spricht allerdings, dass sich diese Systematik nicht so stark bei den anderen beiden Probanden feststellen lässt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Proband 2 das beste Gehör hat und alle Probanden eine gesunde Tonwahrnehmung im getesteten Frequenzbereich haben.

3 Auswertung der Audiogramme

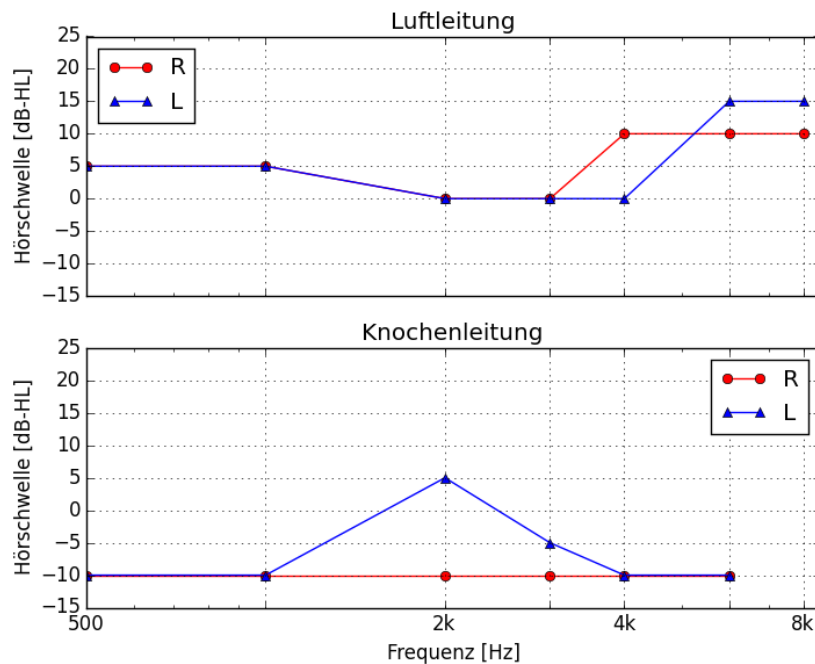


Abbildung 3: Digital aufgezeichnete Audiogramme für Luftleitung und Knochenleitung

3.2 Digitales Audiogramm

In Abb. 3 sind die automatisch aufgenommenen Audiogramme für das rechte und linke Ohr und die manuell aufgenommenen Audiogramme der Knochenleitung von Proband 3 dargestellt. Die automatische Aufnahme der Audiogramme der Luftleitung erfolgt nach dem Hughson-Westlake Test. Hierbei wird die Lautstärke der Testtöne mehrmals bei einer fixen Frequenz variiert, um eine höhere Sicherheit bei der Bestimmung der Hörschwelle des Probanden zu erreichen. Obwohl auch dieses Gerät nur eine Lautstärke-Variation von 5 dB – HL ermöglicht, lässt sich eine Diskrepanz zwischen dem im ersten Versuchsteil aufgenommenen Audiogramm und dem digital aufgenommenen Audiogramm erkennen. Proband 3 zeigt in dem getesteten Frequenzbereich keinen signifikanten Unterschied zwischen linkem und rechtem Ohr und die Werte für die Hörschwelle liegen näher an der Normschwelle von 0 dB – HL. Nur im hochfrequenten Bereich gibt es eine leichte Abweichung nach oben.

3.2.1 Knochenleitung

Bei der Bestimmung der Knochenleitung ist anzumerken, dass das Gerät eine minimale Lautstärke-Einstellung von –10 dB – HL ermöglicht. Dementsprechend kann für das rechte Ohr auf dem gesamten Frequenzbereich nur eine obere Grenze der Hörschwelle

3 Auswertung der Audiogramme

angegeben werden. Lediglich bei 2 kHz und 3 kHz beim Audiogramm des linken Ohres musste die Lautstärke erhöht werden, damit der Proband den Ton wahrnehmen konnte. Ebenfalls ist anzumerken, dass die maximal einzustellende Tonfrequenz beim Knochenleitungsaudiogramm 6 kHz ist.

3.3 Ausführliches Audiogramm

Zur Aufnahme des detaillierten Audiogramms von Proband 2 wird ein Frequenzgenerator benutzt, der ein Sinus-Signal mit variabler Spannungsamplitude ausgibt. Dieser Generator wird über ein Mischpult an die im ersten Versuchsteil verwendeten Kopfhörer angeschlossen. Um ein aussagekräftiges Audiogramm aufzunehmen, muss zunächst das vom Frequenzgenerator ausgegebene Signal in ein auf die Schallintensität bezogenes Signal umgerechnet werden. Der Frequenzgenerator gibt die Signalintensität in der Einheit dB V aus. Es ist anzumerken, dass im Gegensatz zur Konvention, 20 dB – V einer Verdopplung der Signalintensität am Frequenzgenerator entspricht. Dementsprechend muss zunächst, um die übliche Skalierung der Schallintensität zu erreichen, der Signalwert halbiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass das Headset eine lineare Übersetzung von eingehendem Spannungssignal in ausgehendes Schallsignal unabhängig von der anregenden Frequenz vollbringt. Für diesen Fall erfolgt die Umrechnung durch einen konstanten Offset. Diesen Offset erhält man durch den Vergleich des detaillierten Audiogramms mit dem im ersten Versuchsteil aufgenommenen Audiogramms. Zur Ermittlung des Offsets wird der Referenzwert bei 1 kHz verwendet, da für diese Frequenz ebenfalls der Wert in dB-SPL dem Wert in dB-HL entspricht. Es wird der Wert des linken Ohres von Proband 2 im ersten Versuch als Offset c_{off} zwischen dB-SPL und dB-V angenommen.

$$I[\text{dB-SPL}] = I[\text{dB-V}] + c_{off} \quad \text{mit } c_{off} = 34 \text{ dB} \quad (1)$$

Dieser Offset wird auf die dB-V Kurve addiert, um die dB-SPL Kurve zu erhalten.

Um aus dieser Kurve das Audiogramm in der Einheit dB-HL zu erhalten muss die Kurve noch auf die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs normiert werden. Für diese Normierung wird die Isophonie-Kurve der Hörschwelle aus der ISO-Norm ISO 226:2003 (Abb. 4) verwendet. Die Punktdichte dieser Kurve ist zu niedrig, um für alle im Audiogramm getesteten Frequenzen einen eigenen Anpassungswert zu liefern. Um dennoch eine Umrechnung zwischen dB-SPL in dB-HL zu ermöglichen, wird zwischen den Werten der Isophonie-Kurve interpoliert. Es wird eine im Logarithmus der Frequenz lineare Interpolation verwendet, sodass sich für eine Frequenz f_x , die sich zwischen zwei Frequenzpunkten f_i und f_{i+1} befindet, eine Korrektur $\Delta I_{HL}(f_x)$ ergibt:

$$\begin{aligned} \Delta I_{HL}(f_x) &= m \cdot \ln f_x + n \\ \text{mit } m &= \frac{\Delta I_{HL}(f_{i+1}) - \Delta I_{HL}(f_i)}{\ln f_{i+1} - \ln f_i} \\ \text{und } n &= \Delta I_{HL}(f_i) - m \cdot \ln f_i \end{aligned}$$

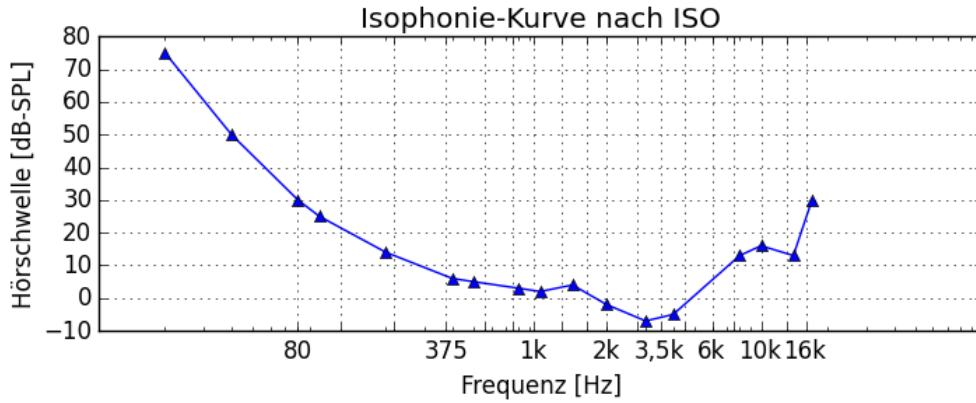


Abbildung 4: Isophonie Kurve für die Hörschwelle. Daten entnommen aus ISO 226:2003

Es ergibt sich also insgesamt für das Audiogramm in Einheiten von dB-HL:

$$I[\text{dB-HL}](f_x) = I[\text{dB-V}](f_x) + \Delta I_{HL}(f_x) + c_{off} \quad (2)$$

Das Ergebnis dieser Umwandlung ist in Abb. 5 zu sehen. Man kann erkennen, dass über einen breiten Frequenzbereich zwischen ca. $400 \text{ Hz} < f < 6 \text{ kHz}$, die Hörschwelle nahezu konstant bei $0 \text{ dB} - \text{HL}$ liegt. Zwischen 2 kHz und 4 kHz sinkt die Hörschwelle sogar auf $-10 \text{ dB} - \text{HL}$ ab. Dies stimmt für das linke Ohr mit den Ergebnissen des Audiogramms aus dem ersten Versuchsteil überein. Es lässt sich allerdings keine systematische Abweichung zwischen linkem und rechtem Ohr erkennen, was für einen Defekt im rechten Kopfhörer sprechen würde, da in diesem Versuch für beide Ohren der linke Kopfhörer verwendet wurde. In den Frequenzbereich $f < 400 \text{ Hz}$ und $f > 6 \text{ kHz}$ ist ein Anstieg der Hörschwelle zu verzeichnen.

3.3.1 Einfluss von Störquelle

Zum Abschluss dieser Versuchsreihe wird der Einfluss einer Störquelle auf die Hörschwelle des Probanden untersucht. Es wird über einen zweiten Funktionsgenerator ein *White-Noise* mit einer Intensität von $15 \text{ dB} - \text{SPL}$ (bzw. $30 \text{ dB} - \text{SPL}$) auf das Tonsignal gegeben und erneut ein Audiogramm aufgezeichnet, das ebenfalls nach Eq. 2 umgewandelt wird. Es wurden allerdings weniger Test-Frequenzen als im vorherigen Versuchsteil verwendet und es wurde nur das linke Ohr getestet. Das Ergebnis ist in Abb. 6 zu sehen. Bei geringem Rauscheinfluss von nur $15 \text{ dB} - \text{SPL}$ verändert sich das Audiogramm von Proband 2 nur minimal, sodass sich die Hörschwelle kaum verändert. Für das lautere Rauschen von $30 \text{ dB} - \text{SPL}$ ist allerdings zu erkennen, dass eine höhere Signallautstärke vonnöten ist, um das eigentliche Signal vom Rauschen zu trennen und den Ton wahr zu nehmen. Die Audiogrammkurve verschiebt sich also nach oben.

3 Auswertung der Audiogramme

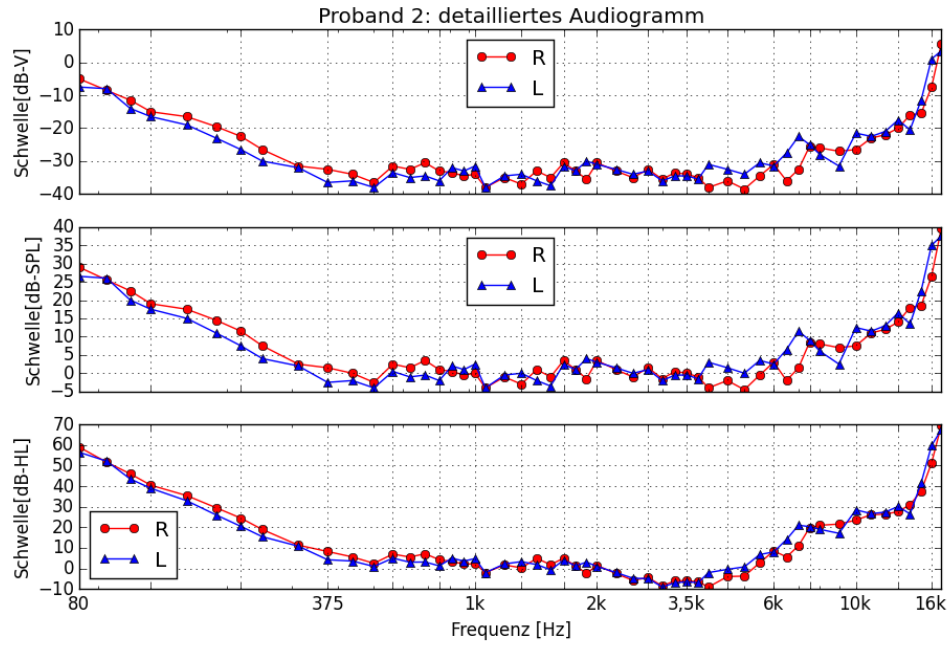


Abbildung 5: Detaillierte Auflösung der Hörschwelle von Proband 2 in Abhängigkeit der Tonfrequenz in verschiedenen Einheitendarstellungen. Gezeigt sind zunächst die Signaldaten des Frequenzgenerators (in Einheiten von [dB-V], $10 \text{ dB} - V \hat{=} \text{Signalverdoppelung}$) und darunter die Signaldaten umgewandelt in [dB-SPL] und [dB-HL] (nach Eq. 2)

4 Fazit

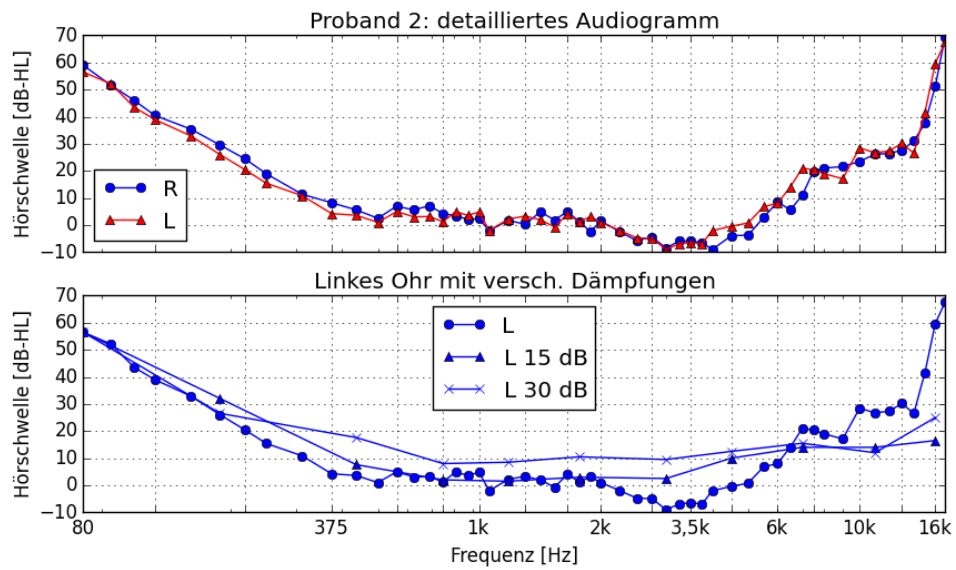


Abbildung 6: Audiogramm mit Störgeräuschen verschiedener Schallintensität.

4 Fazit

In dieser Versuchsreihe im Rahmen des Praktikums zur Einführung der medizinischen Physik wurden Audiogramme von verschiedenen Probanden mit verschiedenen Messaufbauten aufgenommen und daraufhin erfolgreich miteinander verglichen. Es konnten bekannte Ergebnisse im Rahmen der zur Verfügung gestellten Aufbauten rekonstruiert werden und der Einfluss von Rauschen auf die Hörwahrnehmung untersucht werden.