



---

# Praktikumsanleitung zum Versuch „Funktionsprüfung des Ohres und Audiometrie“

UNIVERSITÄT LEIPZIG  
MEDIZINISCHE FAKULTÄT  
CARL-LUDWIG-INSTITUT FÜR PHYSIOLOGIE

VERSION 2023

---

## Einführung

### Lernziele

- Ermittlung von Schallleitungsstörungen und Schallempfindungsstörungen mit den Stimmgabelversuchen nach Rinne und Weber
- Durchführung einer Hörschwellenaudiometrie (Luft- und Knochenleitung), Aufbau und Auswertung eines Audiogramms und des Hörfeldes.
- Binaurale Laufzeit- und Pegeldifferenzen beim Richtungshören, sowie monaurale Effekte auf der Außenohroberfläche.
- Überprüfung der Hörbahn mittels akustisch evozierter Potentiale (AEP)

Das Gehörorgan dient der Wahrnehmung von mechanischen Longitudinalschwingungen des uns umgebenden Mediums im Frequenzbereich von 16 bis ca. 20.000 Hz. Diese werden durch den Antransportapparat (Ohrmuschel, äußerer Gehörgang, Mittelohr) aufgenommen und unter Kraftverstärkung auf Grund der unterschiedlichen Flächen von Trommelfell und Stapesfußplatte sowie der Hebellängen in der Gehörknöchelchenkette auf das Innenohr (Perilymphkanäle und Endolymphkanal) übertragen. Durch Dispersionserscheinungen kommt es je nach der Frequenz an unterschiedlichen Stellen zur Energieabgabe an die Basilarmembran (hohe Frequenzen an der Schneckenbasis, tiefe Helikotremawärts) und damit zur Erregung der dort gelagerten Sinneszellen.

## Pegelmaße im Praktikum

### Schalldruckpegel in $\text{dB}_{\text{SPL}}$ („sound pressure level“):

Der Schalldruck ist die Druckamplitude der Longitudinalschwingungen  $p$  und wird in Pascal (Pa) gemessen. Die kleinste Amplitude, die einen Reiz auslöst (Hörschwelle), liegt bei etwa  $11 \mu\text{Pa}$  (im Frequenzbereich von 3500 bis 4000 Hz), die Unbehaglichkeitsschwelle bei ca. 2 Pa. Das logarithmische Pegelmaß  $L$  für die Wahrnehmung von Lautstärkeunterschieden leitet sich aus dem Weberschen Gesetz (siehe Praktikum „Sensorik“) ab und ist gemäß dem Weber-Fechner-Gesetz:

$$L = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

Der Bezugsschalldruck ist  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$  und liegt in der Nähe der Hörschwelle. Als Einheit des Schallpegels dient das „Dezibel“ dB. Zur Unterscheidung von anderen Pegelmaßen („sound intensity level“, SIL) wird die Einheit dB häufig mit der Abkürzung SPL („sound pressure level“) ergänzt, wie  $\text{dB}_{\text{SPL}}$ .

### Hörverlust in $\text{dB}_{\text{HL}}$ („hearing loss“):

Bei der Hörschwellenaudiometrie wird der vom Patienten benötigte Schalldruck ( $p_{\text{Patient}}$ ) bei der jeweiligen Frequenz auf den Schalldruck der Hörschwelle Normalhörender ( $p_{\text{Gesund}}$ ) bezogen:

$$\text{Hörverlust} = 20 \cdot \log \frac{p_{\text{Patient}}}{p_{\text{Gesund}}} = L_{\text{Patient}} - L_{\text{Gesund}}$$

Diese Messung liefert das klinikrelevante Audiogramm in Relativdarstellung mit der Einheit  $\text{dB}_{\text{HL}}$  („hearing loss“). Der Hörverlust ist die Pegeldifferenz aus dem benötigten Pegel des Patienten  $L_{\text{Patient}}$  und dem Median der Pegel der Normalhörenden  $L_{\text{Gesund}}$  bei der vorgegebenen Frequenz unter gleichen Messbedingungen.

	Schalldruckpegel L	Schalldruck p
Bezugspegel (etwa Hörschwelle)	0 $\text{dB}_{\text{SPL}}$	20 $\mu\text{Pa}$
normale Sprache (1 m Abstand)	60 $\text{dB}_{\text{SPL}}$	0.02 Pa
Kettensäge (1 m vom Kopf)	110 $\text{dB}_{\text{SPL}}$	6,3 Pa
Schmerzschwelle (dauerhafte Schädigung der Zilien !)	ca. 130 $\text{dB}_{\text{SPL}}$	ca. 63 Pa
Unbehaglichkeitsschwelle		ca. 2 Pa

**Tabelle 1:** Einige ausgewählte Schalldruckpegel.

**Protokoll:** Berechnen Sie den Pegel der Unbehaglichkeitsschwelle.

## 1 Stimmgabelversuche

Die Stimmgabelversuche sind zur Lokalisation von Hörstörungen geeignet: Unterbrechungen der Luftleitung durch Prozesse im Gehörgang oder im Mittelohr lassen den Rinne'schen Versuch negativ ausfallen und beim Weber'schen Versuch eine Lateralisation auf die kranke Seite eintreten. Beim Vorliegen einer Innenohrstörung dagegen wird der Rinne'sche Versuch positiv ausfallen, während beim Weber'schen Versuch der Ton auf die gesunde Seite lateralisiert wird.

### 1.1 Stimmgabelversuch nach Weber

Eine Stimmgabel wird auf die Scheitelhöhe aufgesetzt und gemessen, wie lange der Proband den Ton hört. Zur Imitation einer gestörter Luftleitung verschließt der Proband den äußeren Gehörgang eines Ohres locker mit einem Finger.

### 1.2 Stimmgabelversuch nach Rinne

Die Stimmgabel wird angeschlagen und auf den Warzenfortsatz der Versuchsperson aufgesetzt. Die Schwingungen gelangen über sog. osseotympanale Leitung an das Mittelohr. Nachdem die Stimmgabel auf diese Weise nicht mehr gehört wird, hält man sie vor das Ohr der Versuchsperson. Wird sie nun wieder gehört, so ist die Luftleitung für diese Frequenz besser als die osseotympanale: Rinne positiv.

Normales Gehör (beide Ohren offen)		
Versuch	rechtes Ohr	linkes Ohr
<b>Weber</b>		
Lateralisierung		
<b>Rinne (positiv/negativ)</b>		
Knochenleitung (s)		
Luftleitung (s)		

Einseitig verschlossenes Gehör (rechts <b>oder</b> links)		
Versuch	Verschlossenes Ohr	offenes Ohr
<b>Weber</b>		
Lateralisierung		
<b>Rinne (positiv/negativ)</b>		
Knochenleitung (s)		
Luftleitung (s)		

**Tabelle 2:** Ergebnis Stimmgabelversuche

### Protokoll:

- Arbeiten Sie den Rinne-Versuch mit offenen Ohren (Normalfall) und mit einseitig verschlossenem Gehörgang (rechtes Ohr) ab.
- Was versteht man unter einer Lateralisierung?
- Was bedeutet Rinne positiv bzw. negativ?

## 2 Richtungshören

Für das Richtungshören werden im ZNS drei Effekte verarbeitet:

1. **Binaurale Laufzeitdifferenz** in Folge der unterschiedlichen Entfernung der Schallquelle von beiden Ohren (Abb. 1).
2. **Binaurale Pegeldifferenz** des an beiden Ohren auftreffenden Schalls. Diese Differenz hängt von der Richtung ab, in der sich die Schallquelle in Bezug auf den Kopf befindet (Abschirmeffekt des Kopfes).
3. **Monaurale Laufzeitdifferenz.** Der auf das Ohr auftreffende Schall erfährt eine Aufspaltung in drei Anteile. Die direkte Schalleitung erfolgt unmittelbar über die Concha auricularae. Daneben erfolgt eine durch die Tunnelkrempe der Helix verzögerte Leitung (Schallumwegleitung). Zusätzlich reflektiert das Außenohr ein Teil des Schalls Die Überlagerung des direkten, des verzögerten und reflektierten Schalls führt zur Dämpfung bestimmter, von der Einfallsrichtung abhängiger Frequenzen.

In den Kreuzungspunkten der linken und rechten Hörbahn (oberer Olivenkomplex) kann eine minimale Laufzeitdifferenz von etwa 10  $\mu$ s durch das gegenläufige Aufeinandertreffen der Reize unterschieden werden. Das entspricht etwa einer Auflösung von 1° in der Horizontalebene.

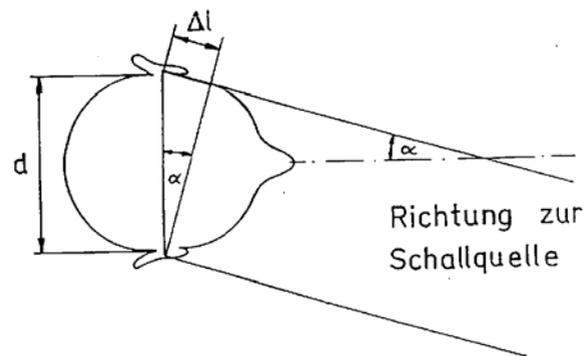
Bei hohen Frequenzen ist der Kopfdurchmesser größer als die Wellenlänge des Schalls. Hier kann das Gehör die Richtung aus der Laufzeitmessung nicht mehr eindeutig bestimmen. Dafür bildet sich der Schallschatten stärker heraus und die **binaurale Pegeldifferenz** liefert die Informationen zum Ort der Schallquelle. Dies ist bei Tönen mit Frequenzen ( $f$ ) **über ca. 1,7 kHz** (bei einem Kopfdurchmesser bzw. Ohrenabstand von 0,2 m;  $c$  ist die Schallgeschwindigkeit) der Fall:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343 \text{ m/s}}{0,2 \text{ m}} \approx 1,7 \text{ kHz}$$

## 2.1 Experiment zur Bedeutung der binauralen Laufzeitdifferenz (Schlauchversuch)

Über die Gabel eines Stethoskops wird ein geschlossener Schlauch an die beiden Ohren eines Probanden angeschlossen. Der Schlauch wird gerade ausgestreckt auf eine Tischplatte gelegt und die Mitte markiert. Von der Mitte ausgehend wird in etwa Zentimeterabständen mit der Fingerkuppe auf den Schlauch geschlagen, bis der Proband den Klopfeschall auf einer Seite lokalisiert. Der Abstand von der Mitte wird gemessen und protokolliert. Danach wird die gleiche Untersuchung von der Mitte nach der anderen Seite des Schlauchs durchgeführt und wiederum derjenige Abstand von der Mitte protokolliert, der ausreicht, um den Ton auf einer Seite zu lokalisieren. Die Summe der protokollierten Abstände von der Mitte  $\Delta l_l + \Delta l_r$  entspricht der mittleren Differenz der Wegstrecken  $\Delta l$  von der Schallquelle, die für eine Lokalisation ausreicht, wenn keine Intensitätsdifferenz vorhanden ist. Die zugehörige Zeitdifferenz errechnet sich aus der Schallgeschwindigkeit  $c = 343\text{m/s}$  (bei  $20^\circ\text{C}$ ) zu:

$$\Delta t = \frac{\Delta l_l + \Delta l_r}{c}$$



**Abbildung 1:** Richtungsheören: Zusammenhang zwischen Winkel und Laufzeit.

$$\Delta l = c \cdot \Delta t \quad \text{und} \quad \Delta l = d \cdot \sin \alpha$$

Nach  $\sin \alpha$  aufgelöst, ergibt sich dann:

$$\sin \alpha = \frac{\Delta l}{d} = \frac{\Delta l_l + \Delta l_r}{d}$$

Die Formel hat nur Gültigkeit für Winkel  $\alpha < \pm 30^\circ$ , bei größeren Winkeln verdeckt der Kopf ein Ohr, damit verlängert sich der Schallweg (der Schall muss um den Kopf laufen).

Der Minimalwert (der sich mit dem einfachen Schlauchversuch nicht erreichen lässt) für die Unterscheidbarkeit der Richtung liegt bei ca.  $10 \mu\text{s}$ . Das entspricht einem Winkel von etwa  $1^\circ$ :

$$\sin \alpha = \frac{343\text{m} \cdot 10 \cdot 10^{-6}\text{s}}{0,2\text{m} \cdot \text{s}} \approx 0,017 \quad \arcsin 0,017 \approx 1^\circ$$

$\alpha$	$\sin \alpha$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$\alpha$	$\sin \alpha$	A	$\sin \alpha$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$\alpha$	$\sin \alpha$
1 °	0.017	16 °	0.276	31 °	0.515	46 °	0.719	61 °	0.875	76 °	0.970
2 °	0.035	17 °	0.292	32 °	0.530	47 °	0.731	62 °	0.883	77 °	0.974
3 °	0.052	18 °	0.309	33 °	0.545	48 °	0.743	63 °	0.891	78 °	0.978
4 °	0.070	19 °	0.326	34 °	0.559	49 °	0.755	64 °	0.899	79 °	0.982
5 °	0.087	20 °	0.342	35 °	0.574	50 °	0.766	65 °	0.906	80 °	0.985
6 °	0.105	21 °	0.358	36 °	0.588	51 °	0.777	66 °	0.914	81 °	0.988
7 °	0.122	22 °	0.375	37 °	0.602	52 °	0.788	67 °	0.921	82 °	0.990
8 °	0.139	23 °	0.391	38 °	0.616	53 °	0.799	68 °	0.927	83 °	0.993
9 °	0.156	24 °	0.407	39 °	0.629	54 °	0.809	69 °	0.934	84 °	0.995
10 °	0.174	25 °	0.423	40 °	0.643	55 °	0.819	70 °	0.940	85 °	0.996
11 °	0.191	26 °	0.438	41 °	0.656	56 °	0.829	71 °	0.946	86 °	0.998
12 °	0.208	27 °	0.454	42 °	0.669	57 °	0.839	72 °	0.951	87 °	0.999
13 °	0.225	28 °	0.469	43 °	0.682	58 °	0.848	73 °	0.956	88 °	0.999
14 °	0.242	29 °	0.485	44 °	0.695	59 °	0.857	74 °	0.961	89 °	1.000
15 °	0.259	30 °	0.500	45 °	0.707	60 °	0.866	75 °	0.966	90 °	1.000

Tabelle 3

**Protokoll:**

- Bestimmen Sie Ihren Kopfdurchmesser d! Berechnen Sie danach die Laufzeitdifferenz  $\Delta t$  und den Winkel  $\alpha$  aus  $\Delta l_l$  und  $\Delta l_r$  (für Sinusberechnung siehe Tab. 3).
- Vergleichen Sie  $\alpha$  mit dem theoretisch erreichbaren Minimalwert.

**2.2 Versuche am Kunstkopf**

Die Tonaufnahme erfolgt mit einem künstlichen Kopf, der in etwa natürliche akustische Eigenschaften besitzt und in dem sich an Stelle der Trommelfelle Mikrophone befinden. Bei der Wiedergabe derartiger Aufnahmen mit Kopfhörern erfolgt eine verblüffend deutliche Ortung der Schallquelle. Dabei wirken alle drei Faktoren des Richtungshörens zusammen.

**2.2.1 Binaurale Laufzeit und Pegeldifferenz in Abhängigkeit vom Winkel in der Horizontalebene**

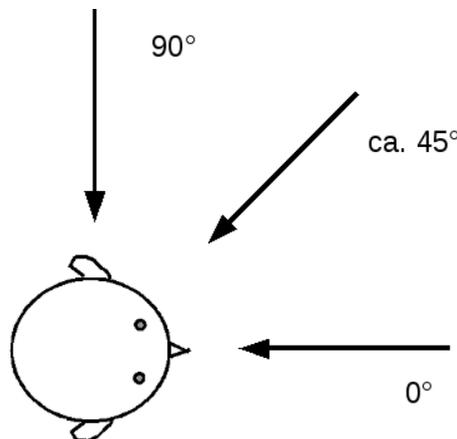


Abbildung 2: Die zu messenden Schallrichtungen beim Kunstkopf

### Protokoll:

- Prüfen Sie die Laufzeit- und Pegeldifferenz bei  $0^\circ$ .
- Stellen Sie einen Winkel von etwa  $45^\circ$  ein. Notieren Sie Laufzeit- und Pegeldifferenz, sowie den genauen Winkel.
- Stellen Sie den Kunstkopf so ein ( $90^\circ$ ), dass Sie die maximale Laufzeit messen können (Abb. 2).
- Tragen Sie alle Werte in die Tab. 4 ein!

Laufzeit- und Pegeldifferenz			
Winkel [ $^\circ$ ]	Laufzeitdifferenz [ms]	Pegeldifferenz [dB]	Amplitudenverhältnis (links zu rechts)

**Tabelle 4:** Laufzeitdifferenz in Abhängigkeit vom Winkel

### 2.2.2 Messung der Pegeldifferenz in Abhängigkeit von der Frequenz

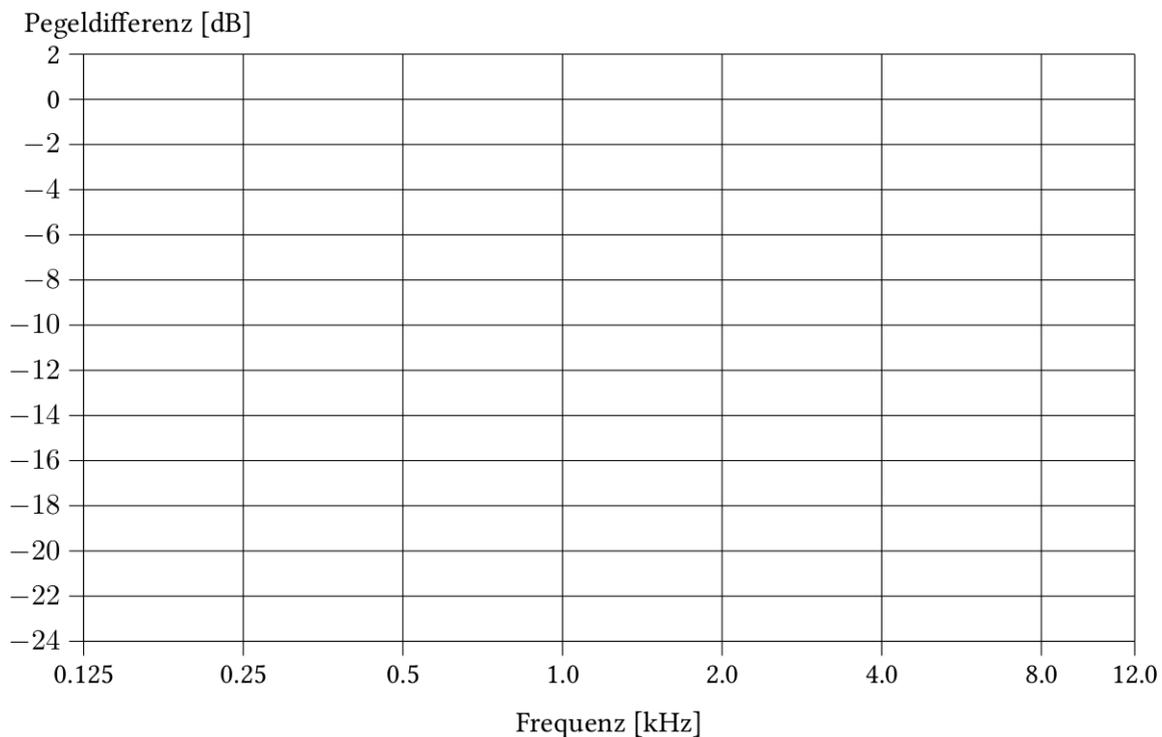
Der Kunstkopf wird in der  $90^\circ$ -Position belassen. Damit ist ein Ohr maximal abgeschattet. Über den Lautsprecher werden Sinustöne verschiedener Frequenz dargeboten.

### Protokoll:

- Prüfen Sie die Pegeldifferenz für die verschiedenen Frequenzen!
- Tragen Sie alle Werte in die Tab. 5 ein!
- Zeichnen Sie die Daten in das Diagramm (Abb. 3) ein. Ist die Herausbildung des Schallschattens erkennbar?

Pegeldifferenz	
Frequenz [Hz]	Pegeldifferenz [dB]
125	
250	
500	
1000	
2000	
4000	
8000	
12000	

**Tabelle 5:** Pegeldifferenz linkes zu rechtes Ohr in Abhängigkeit von der Frequenz. Die Nebengeräusche verfälschen oft das Ergebnis. Oberhalb von etwa 6 kHz beeinflussen zusätzlich monaurale Auslöschungen die Pegeldifferenz.



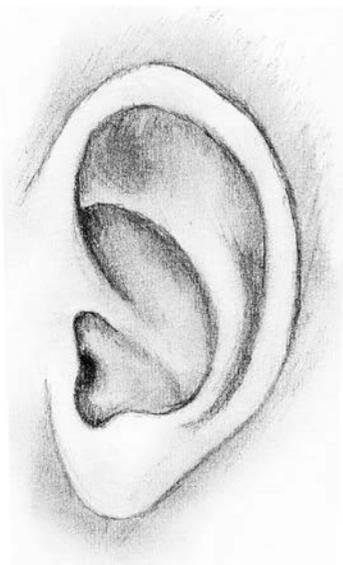
**Abbildung 3:** Pegeldifferenz kontralateral gegen ipsilateral in Abhängigkeit von der Frequenz. Mit zunehmender Frequenz steigt die Wirkung des Schallschattens.

### 2.2.3 Monaurale Laufzeitdifferenz

Durch den direkten Weg des Schalls zum Gehöreingang und den Umweg über die Ohrmuschel kann es zu Auslöschungen oder Verstärkung bestimmter Frequenzen kommen. Um diese Filterwirkung der Ohrmuschel zu messen, werden Nadelimpulse (Klicks) verwendet. Aus der Verformung des Nadelimpulses durch das Ohr können zusätzliche Informationen über die Richtung des Klicks gewonnen werden.

#### Protokoll:

Skizzieren Sie die Schallkomponenten auf der Ohroberfläche bzw. vor dem Gehöreingang, die zur Auslöschung führen können.



### **3 Bestimmung der oberen Hörgrenzen am Computer**

Mittels Kopfhörer werden am Computer die Grenzen des menschlichen Hörvermögens mit reinen Tönen (Sinusschwingungen) demonstriert. Die untere Hörgrenze sollte bei etwa 16Hz liegen (unterhalb dieser Frequenz werden einzelne Druckstöße empfunden, aber keine Töne gehört). Im Gegensatz zur oberen Hörgrenze ist sie kaum altersabhängig. Die im Praktikum verwendeten Kopfhörer sind von den Übertragungseigenschaften nicht geeignet, die untere Hörgrenze wiederzugeben.

#### **Protokoll:**

Zur Bestimmung der oberen Hörgrenze werden überschwellige Töne im Frequenzbereich von 1kHz - 20kHz appliziert. Die jeweilige Frequenz wird angezeigt, so dass jeder Student in der Lage ist, seine individuelle obere Hörgrenze für das rechte und das linke Ohr festzustellen und zu protokollieren.

### **4 Schwellenaudiometrie**

Auf die Registrierplatte des Audiometers wird das Audiogrammformular entsprechend dem zu untersuchenden Ohr aufgelegt. Der Versuchsperson werden die Luftleitungskopfhörer aufgesetzt (rot – rechts, blau -links). Brillen sind bei der Untersuchung abzunehmen. Die Versuchsperson zeigt durch Drücken der Probandentaste an, wenn sie auf dem betreffenden Ohr eine Hörempfindung hat. Die Luftleitung wird durch Betätigen der Luftleitungstaste (dritte Taste von links unterhalb des kleinen Kopfhörers) eingeschaltet. Mit der roten (rechtes Ohr) oder blauen Taste (linkes Ohr) kann jeweils der Testton (Note aktiv) oder Rauschen (Wellenlinie aktiv) ausgewählt werden. Das Rauschen vertäubt das kontralaterale Ohr. Mit Hilfe des Intensitätsstellers kann die Schallstärke des Tones für das zu untersuchende Ohr variiert werden, die Frequenz wird mit dem Frequenzwahlschalter vorgegeben. Man beginnt zweckmäßigerweise mit 1000 Hz und untersucht zunächst die hohen Frequenzen, da die Aufmerksamkeit der Versuchsperson am Beginn der Untersuchung am besten ist und die hohen Frequenzen diagnostisch die größere Bedeutung haben. Man bietet der Versuchsperson zunächst bei mittlerer Schallstärke den jeweiligen Ton an, damit sie weiß, worauf zu achten ist. Dann reduziert man die Schallstärke so, dass die Versuchsperson nichts mehr hört (Loslassen der Taste) und steigert dann allmählich wieder. Durch mehrmaliges Eingrenzen des Schwellenwertes von beiden Seiten wird die genaue Größe ermittelt und in das Diagramm eingetragen. In gleicher Weise ist mit den übrigen Frequenzen zu verfahren.

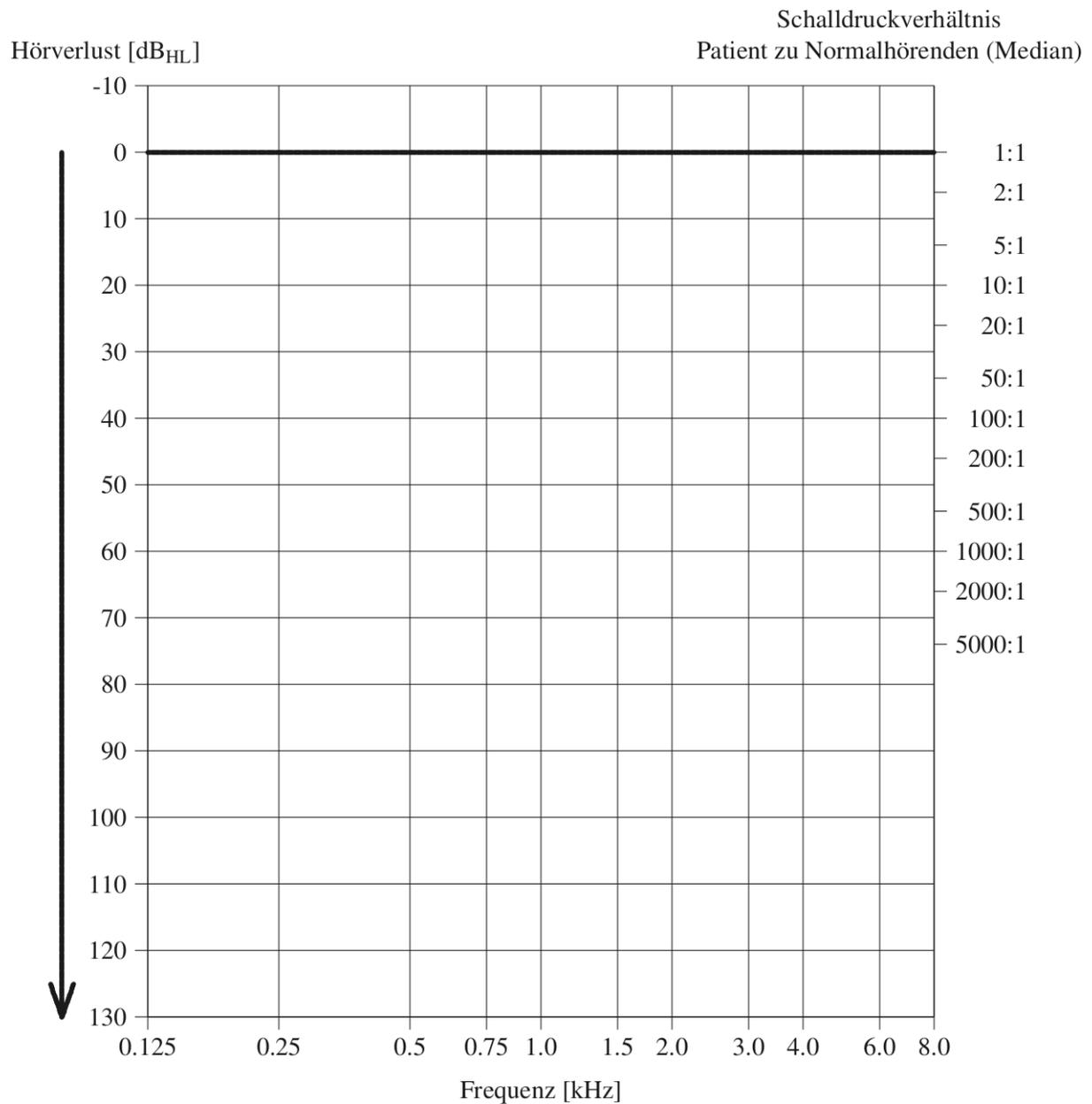
Zur anschließenden Bestimmung der Knochenleitungsschwelle ist der Knochenleitungshörer am Processus mastoideus zu plazieren und der Hörer auf das kontralaterale Ohr zu setzen. Es wird das gleiche Audiogrammformular verwendet und das gleiche Ohr untersucht. Der Betriebsartenwahlschalter wird auf „Knochenleitung“ (rote Taste für das rechte Ohr bzw. blaue Taste für das linke Ohr in der oberen Tastenreihe) geschaltet. Da sich der Schall sehr schnell und wenig gedämpft über den Schädel ausbreitet, muss das kontralaterale Ohr mit einem Rauschen von etwa 20 dB vertäubt werden. Dazu schalten Sie den roten oder blauen Knopf aus der zweiten Tastenreihe auf das Rauschen-Symbol, statt der Note.

**Protokoll:**

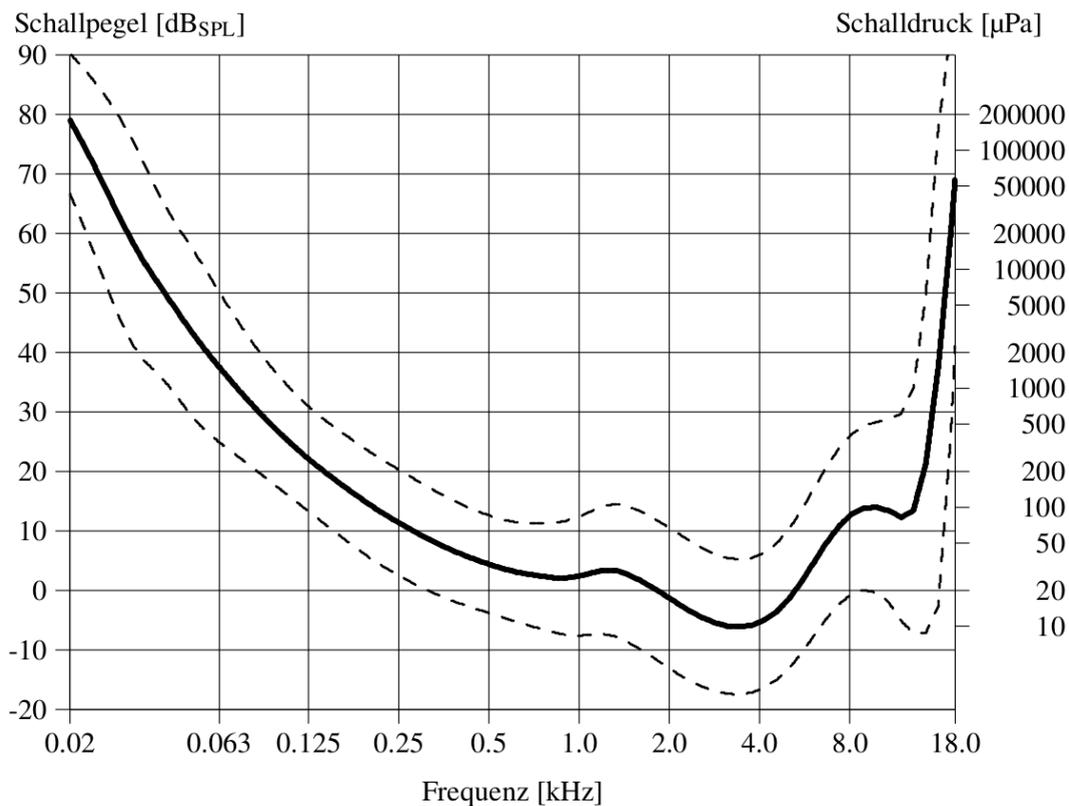
Tragen Sie die gemessenen Werte für die Luft- und Knochenleitung in Tab. 6 ein und zeichnen Sie die Werte für Luft- und Knochenleitung in das Diagramm (Abb. 4) ein.

Frequenz in kHz	Hörverlust Luftleitung in dB(HL)	Hörverlust Knochenleitung in dB(HL)
0,125		
0,250		
0,500		
0,750		
1,000		
1,500		
2,000		
3,000		
4,000		
6,000		
8,000		

**Tabelle 6:** Hörverluste für Luftleitung und Knochenleitung.



**Abbildung 4:** Audiogramm: Bei einem positiven Hörverlust hört der Patient schlechter als ein Normalhörender. Dieser Wert wird von der Nulllinie nach unten (!) abgetragen. Beachten Sie dazu die Achseneinteilung, die Pegelwerte werden nach unten größer.

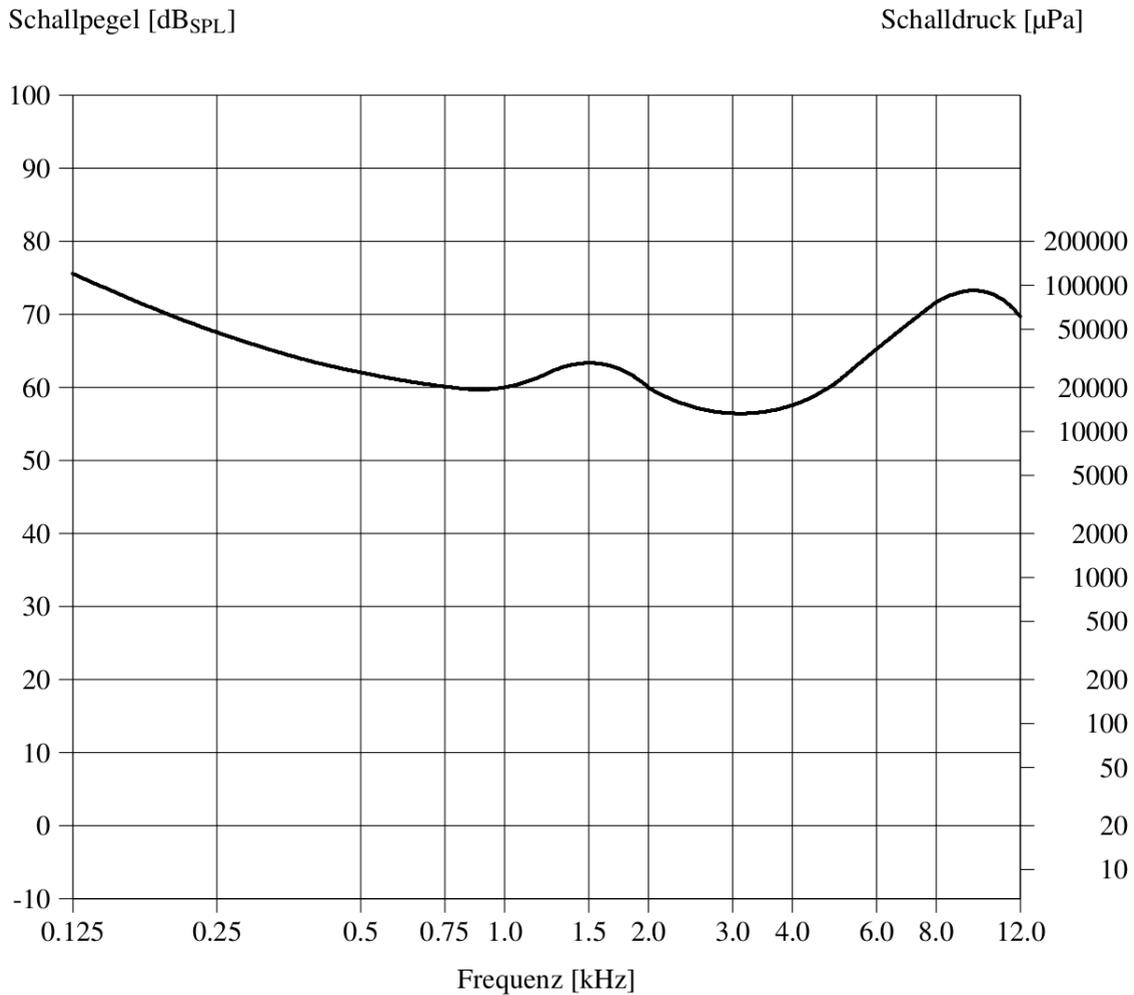


**Abbildung 5:** Hörschwelle (durchgezogene Linie) in Abhängigkeit von der Frequenz. Diese Kurve ergibt sich als Median von vielen Probanden. Die untere gestrichelte Kurve ist das 1%-Perzentil, die obere das 99%- Perzentil. Näherungsweise können die Probandendaten aus der Tabelle 6 (Luftleitung) eingezeichnet werden. Positive Hörverluste werden von der Hörschwellenkurve nach oben abgetragen. Der „Schallpegel“ ist als Schalldruckpegel (SPL) angegeben.

(Datenquelle: Kenji Kurakata1; Tazu Mizunami1 and Kazuma Matsushita: Percentiles of normal hearing-threshold distribution under free-field listening conditions in numerical form; Acoust. Sci. & Tech. 26, 5 (2005))

## Bestimmung einer Isophone

Vom Computer werden ein 1000-Hz-Ton und ein Ton einer anderen Frequenz im Rhythmus 500ms Ton, 200ms Pause, 500ms Ton gegeben. (Die Pause von 200 ms ist erforderlich, um die Entstehung von Überlagerungen beider Töne im Hörorgan zu vermeiden.) Der 1000-Hz-Ton wird auf 60 dB(SPL) eingestellt, der andere Ton wird in seinem Schallpegel so lange verändert, bis er gleichlaut wie der 1000-Hz-Ton gehört wird (gleiche Lautstärke). Diese Messung wird mit allen einstellbaren Frequenzen wiederholt. Die erhaltenen Messpunkte ergeben im Hörfeld die Kurven gleicher Lautstärke (Isophonen) für 60 Phon.



**Abbildung 6:** Vereinfachtes Hörfeld mit einer Isophone von 60 phon (Datenquelle: ISO 226:2003). Der „Schallpegel“ ist als Schalldruckpegel (SPL) angegeben.

## 5 Frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP)

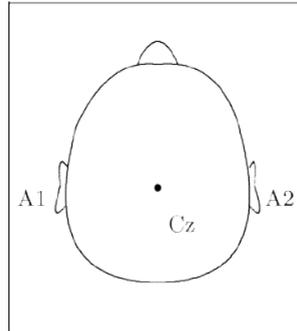
Ein Tonstimulator erzeugt ein akustisches Signal („Klick“), das über Kopfhörer einem Ohr zugeführt wird. Das andere Ohr wird mit einem Rauschsignal „betäubt“. Die Ableitelektroden werden an den Ohrfläpchen (A1 bzw. A2) und am zentralen Punkt (Cz) befestigt (Abb. 7). Die an der Kopfoberfläche gemessenen Amplituden der Reizantwort (ca. 300 nV) wird von einer Vielzahl weiterer Hirnaktivitäten (etwa 3 μV normales EEG) überlagert, die in keinem Zusammenhang zum akustischen Reiz stehen. Somit ergibt sich ein Reizantwort-EEG-Verhältnis von  $300 \text{ nV} / 3 \text{ μV} = 1/10$ . Das EEG zwischen den beiden Elektroden (Cz, A1 bzw. A2) ist also 10mal größer als die Reizantwort. Durch  $n$  Messungen und anschließende Mittelung lässt sich dieses Verhältnis verbessern:

$$\frac{\text{Reizantwort}}{\text{EEG}} \Big|_{\text{nach } n \text{ Messungen}} := \frac{\text{Reizantwort}}{\text{EEG}} \cdot \sqrt{n}$$

Um die FAEP's auswerten zu können, benötigt man ein Reizantwort-EEG-Verhältnis von etwa 4/1 nach  $n$  Messungen. Wie viele Messungen  $n$  muss man durchführen (einfach Gleichung nach  $n$  auflösen)? Führen Sie eine Vergleichsrechnung für die visuell evozierten Potentiale (VEP) durch. Hier liegt die Reizantwort wesentlich höher, bei etwa 15 μV, das normale EEG zwischen den Elektroden (Fz und Oz) bei ca. 30 μV.

**Protokoll:**

Skizzieren Sie den Kurvenverlauf des FAEP's. Bezeichnen Sie die Maxima mit römischen Ziffern. Welche Stelle der Hörbahn lässt sich welchem Maximum zuordnen (Tab. 7)? Warum müssen so viele Messungen durchgeführt werden?



**Abbildung 7:** Die Ableitpositionen der Elektroden (Cz – zentraler Punkt, A1, A2 – Ohrläppchen)

FAEP			
Bezeichnung	Normwert	Wert des Probanden	Möglicher Entstehungsort auf der Hörbahn
I	1,6 ms		
II	2,8 ms		
III	3,9 ms		
IV	5,1 ms		
V	5,7 ms		

**Tabelle 7:** Akustisch evozierte Potentiale