

Alle Landlebewesen, also auch wir Menschen, besitzen ein Mittelohr. Dies ist nötig, da sonst zwei verschiedene Medien aufeinandertreffen würden (Außenohr: Luft, Innenohr: wässrige Flüssigkeit). Dies würde die Schallübertragung massiv behindern.

2.6 Mittelohr

Schall an Grenzflächen

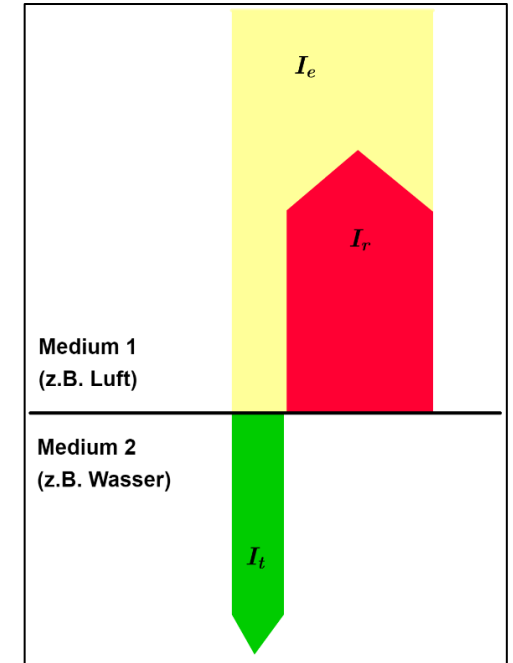
Trifft eine Schallwelle auf eine Grenzfläche zu einem anderen Medium (z. B. Luft – Wasser), dann wird ein Teil der Welle und der andere Teil

I_e : Intensität

I_r : Intensität

I_t : Intensität

(Die transmittierte Schallintensität I_t ist derjenige Teil der Schallintensität, der im Wasser noch zu hören ist.)



Impedanz

Impedanzen:

$$Z_{Luft} = 414 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

$$Z_{Wasser} = 1,48 \cdot 10^6 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

(Diese gibt an, wie stark sich ein Medium der Anregung einer Schallwelle widersetzt.)

Impedanz:

Transmittierte Schallintensität

An der Grenze zwischen Medium 1 und Medium 2 gilt:



Je größer der Impedanzunterschied zweier Medien ist, desto größer ist der reflektierte Anteil und umso geringer ist der transmittierte Anteil.

Berechne die Auswirkungen für den Übergang zwischen Luft und Wasser.

Beispiel: Übergang Luft - Wasser

Anwendungen in der Medizin:

Die **Sonographie** (Ultraschalluntersuchung) nutzt auch die Impedanz. Es wird Ultraschall ausgesendet, der an Gewebegrenzen teils reflektiert und transmittiert wird. Über die Anteile und Laufzeiten des reflektierten Schalls entsteht das Ultraschallbild.

Bei der **Dopplersonographie** wird zusätzlich die Wellenlängenänderung über den Dopplereffekt gemessen. Damit lässt sich z.B. die Blutfließgeschwindigkeit an Herzgefäßen messen.

.....

⇒ des Schalls wird reflektiert, also nur wird transmittiert

⇒ I sinkt auf ⇒ L sinkt um !

Aufgabe des Mittelohrs

Medium Außenohr: ; Medium Innenohr:

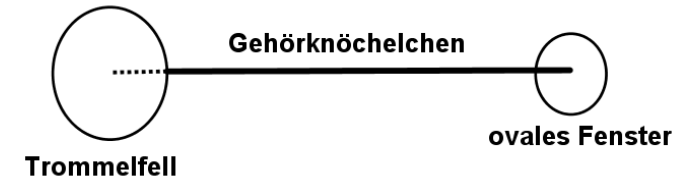
⇒ Ohne Mittelohr würde es eine Grenzfläche geben.

⇒ Absenkung des Schallpegels um

Die Aufgabe des Mittelohres besteht darin, diesen Effekt möglichst gering zu halten. Dies funktioniert mit den folgenden zwei Mechanismen.

(1) „Schubstangenmodell“

Betrachtet man die Gehörknöchelchen als starre Stange, dann ist die Kraft F_T , die auf das Trommelfell wirkt, genauso groß wie die Kraft F_F auf das ovale Fenster.



Beim Menschen gilt durchschnittlich: $A_T = 55 \text{ mm}^2$; $A_F = 3,2 \text{ mm}^2$

⇒ Druckerhöhung um den Faktor

Das Hebelgesetz kennst du bereits von der „goldenen Regel der Mechanik“ (9. Klasse). Diese besagt, dass bei jedem Kraftwandler (schiefe Ebene, Flaschenzug, Hebel) das Produkt aus Kraft und Weg konstant ist.

(2) Hebelmodell (Gehörknöchelchen als Hebelsystem)



Hebelgesetz:

Hammer $\triangleq$; Amboss mit Steigbügel $\triangleq$

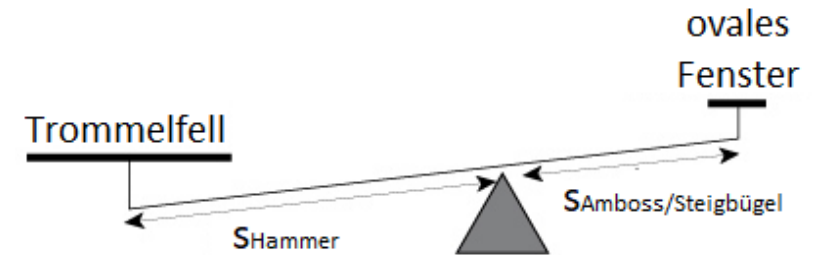
⇒ Kraft- und damit Druckerhöhung um den Faktor 1,3

Schalldruck und Schallintensität

In der Formelsammlung findest du einen Zusammenhang zwischen dem Schalldruck p und der Schallintensität I . Dabei ist die Schallintensität proportional zum Quadrat des Schalldrucks. Es gilt:



Einfluss des Mittelohrs in Zahlen



[Thomas.haslwanter; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MiddleEar_Amplification.jpg, übersetzt]

Schalldruck und Schallpegel

Die Formel für den Schallpegel L lässt sich nun auch in Abhängigkeit vom Schalldruck p schreiben. Diese lässt sich über den obigen Zusammenhang wie folgt herleiten:

Logarithmusrechenregel:

$$\lg(u^v) = v \cdot \lg(u)$$

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p^2}{\frac{2Z}{p_0^2}}\right) = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 2 \cdot 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

Diese Formel für L ist in der Formelsammlung leider sehr ungünstig dargestellt.

$$L = 20 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

mit Hörschwelle: $p_0 = 28,3 \text{ } \mu\text{Pa}$