

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

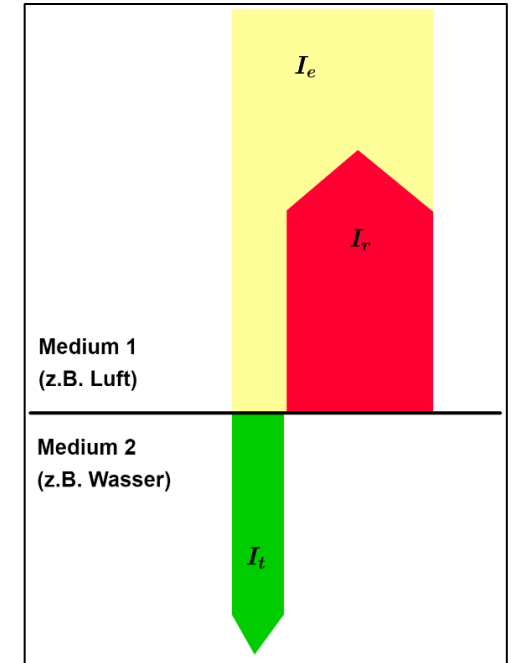
.....

$I_e$ : ..... 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

.....

.....

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

Impedanzen:

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

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

**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.*

**Beispiel:** Übergang Luft - Wasser

.....

⇒ ..... des Schalls wird reflektiert, also nur ..... wird transmittiert

⇒ I sinkt auf ..... ⇒ L sinkt um ..... !

## Aufgabe des Mittelohrs

Medium Außenohr: ..... ; Medium Innenohr: .....

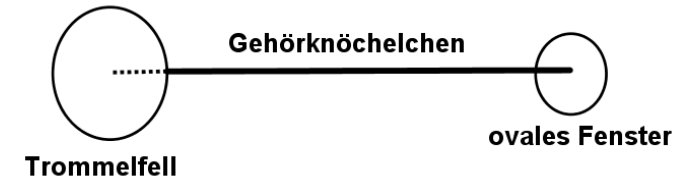
⇒ Ohne Mittelohr würde es eine Grenzfläche ..... geben.

⇒ 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 .....

### (2) Hebelmodell (Gehörknöchelchen als Hebelsystem)



Hebelgesetz:

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

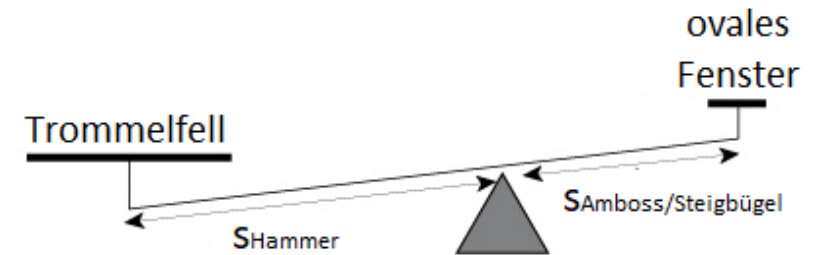
⇒ Kraft- und damit Druckerhöhung um den Faktor 1,3

## Schalldruck und Schallintensität

In der Formelsammlung findest du einen Zusammenhang zwischen dem Schalldruck  $\hat{p}$  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](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MiddleEar_Amplification.jpg), übersetzt]

## Schalldruck und Schallpegel

In der Formelsammlung findest du auch noch eine zweite Formel für den Schallpegel  $L$ . Diese lässt sich über den obigen Zusammenhang wie folgt herleiten:

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{\frac{\hat{p}^2}{2Z}}{\frac{\hat{p}_0^2}{2Z}}\right) = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{\hat{p}^2}{\hat{p}_0^2}\right) = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{\hat{p}}{\hat{p}_0}\right)^2 = 2 \cdot 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{\hat{p}}{\hat{p}_0}\right)$$

$$L = 20 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{\hat{p}}{\hat{p}_0}\right)$$

mit Hörschwelle:  $\hat{p}_0 = 28,3 \text{ } \mu\text{Pa}$