

## Aufbau des Gehörs, Hörpsychologie

Unterscheidung von Außen-, Mittel-, und Innenohr

### Das Ohr

Ohrmuschel:

- kann nicht sehr weit bewegt werden
- hohe Frequenzen können auf Grund der Form besser geortet werden
- durch Überlagerung von direktem und reflektiertem Schall geschieht eine, je nach Richtung und Frequenz verschiedene Auslöschung → Ortung wird ganz automatisch trainiert
- Wegunterschied zwischen direktem und reflektiertem Schall  $\Delta t = \frac{\Delta x}{c}$

Herleitung:

- aus: Überlagerung von zwei Schwingungen gleicher Frequenz

$$\hat{x}^2 = \hat{x}_1^2 + \hat{x}_2^2 + 2 \cdot \hat{x}_1 + \hat{x}_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Annahme:

$$\hat{x}_1 = \hat{x}_2, \text{ es gilt } \varphi_1 - \varphi_2 = \phi$$

$$\hat{x}^2 = 2\hat{x}_1^2 \cdot 2\hat{x}_1^2 \cdot \cos(\phi) = \hat{x}_1^2 \cdot (2 + 2 \cdot \cos(\phi))$$

$$\hat{x} = \hat{x}_1 \cdot \sqrt{2 + 2 \cdot \cos(\phi)}$$

Formelberechnung:

$$\cos\left(\frac{x}{2}\right) = \sqrt{\frac{1 + \cos(x)}{2}} = \sqrt{\frac{2 + 2 \cdot \cos(x)}{4}}$$

$$2 \cdot \cos\left(\frac{x}{2}\right) = \sqrt{2 + 2 \cdot \cos(x)}$$

einsetzen:

$$\hat{x} = \hat{x}_1 \cdot \left| 2 \cdot \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right|$$

Es gilt:

$$\varphi = \omega \cdot t_0, \quad \phi = \varphi_1 - \varphi_2 = \omega \cdot \Delta t = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t \Rightarrow \hat{x} = 2\hat{x}_1 \cdot \left| \cos(\pi \cdot f \cdot \Delta t) \right|$$

→ Kammfiltereffekt (Kämme der Betragfunktion des Kosinus), auch Notchfilter

Nullstellen der cos-Funktion

bei  $\frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots$

→

$$\pi \cdot f \cdot \Delta t = (2n-1) \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$f = \frac{(2n-1)}{2 \cdot \Delta t}$$

(Nullstellen der Kammfilterfunktion)

Maxima bei:

$$\pi \cdot f \cdot \Delta t = n \cdot \pi$$

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

Beispiel:

$$\Delta t = 0,3ms, \Delta x = 3,4cm, c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$f = (2n-1) \cdot \frac{1}{2 \cdot \Delta t}$$

$$\rightarrow n=1: 5Hz$$

$$\rightarrow n=2: 15Hz$$

für 500Hz:

$$f_n = \frac{1}{2 \cdot \Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_n} = 1ms$$

$$\Delta x = 343 \frac{m}{s} \cdot 10^{-3} s = 34cm$$

für 20kHz:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot 20 \cdot 10^3} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-4} s = 2,5 \cdot 10^{-5} = 25\mu s$$

$$\Delta x = 343 \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{4} \cdot 10^{-4} = 8,57mm$$

1 Sample bei 44100Hz: 23μs

- verschoben um 1 Sample klingt blechern → Kammfiltereffekt
- bei Änderung des  $\Delta t$  mit der Zeit → Phasing, Flanging

Ohrmuschel:

- 10-300μs Auslöschung

Gehörgang:

- ungefähr 2,7-4cm lang, Durchmesser 0,7cm
- beeinflusst den Schall → wirkt wie ein einseitig offenes Rohr → stehende Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

$$- \frac{c}{f} \cdot \frac{1}{4} = l \Rightarrow f = \frac{c}{4 \cdot l} \cdot (2n - 1)$$

$$- f_{res} = 2 - 3 \text{kHz}$$

➔ im Frequenzbereich 2-3kHz ist die Empfindlichkeit besonders hoch!!

Mittelohr:

- wandelt Luftschall in Flüssigkeitsschall

$$- r = \frac{Z_{02} - Z_{01}}{Z_{02} + Z_{01}} \text{ (Unterscheidung Luft/Wasser } \rightarrow 10^4, \text{ es kommt kaum etwas an)}$$

$$- \frac{Z_0 \text{ Wasser}}{Z_0 \text{ Luft}} = 3600 \rightarrow \text{Druckverhältnis } \sqrt{3600} = 60$$

$$- J = p \cdot v \rightarrow Z_0 = \frac{p}{v} \rightarrow J = \frac{\tilde{p}^2}{Z_0} \rightarrow Z_0 \sim \tilde{p}^2 \rightarrow \tilde{p} \sim \sqrt{Z_0}$$

- Trommelfell 30x größer als ovales Fenster

$$- \text{Verhältnis 30:1 Trommelfell/Fenster } \left( \frac{80 \text{mm}^2}{3 \text{mm}^2} = 27 \right)$$

- Verhältnis 1:1,3...1:3 Hebelsystem, wird bei ansteigender Lautstärke angepasst

➔  $1,3 \cdot 27 \dots 3 \cdot 27 = 35 \dots 81$  (60 liegt im Bereich)