

Innenohr

- Kochlea (Schnecke)
- 2 Kanäle, die miteinander verbunden sind
- Durchmesser: Am Anfang 1cm, am Ende 0,3cm (ausgerollt betrachtet)
- Impulse werden durch Härchen an das Gehirn weitergegeben
- Basilarmembran wird durch Schallwelle bewegt
- ist an unterschiedlichen Stellen unterschiedlich steif und breit
- reagiert dadurch an verschiedenen Stellen auf verschiedene Frequenzen ($\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$)
- am ovalen Fenster: am engsten und steifsten, $m \uparrow, D \downarrow \rightarrow \omega_0 \uparrow$
- am Apex: am weitesten und nachgiebigsten, $m \downarrow, D \uparrow \rightarrow \omega_0 \downarrow$
- durch Wölbung der Basilarmembran werden die Haarzellen gegen die Deckmembran bewegt
→ die geben Impulse an das Gehirn weiter
- nach dem Maximum der Welle läuft diese nicht weiter, sondern wird auf die andere Seite der Basilarmembran übertragen, wo sie bis zum Apex läuft und dort ausgeglichen wird

Wichtig:

- tiefe Frequenzen mit hoher Amplitude verdecken höhere Frequenzen mit geringerer Amplitude

Schwellwertverschiebung:

- Hörschwelle: Ton gerade wahrgenommen!
- Mithörschwelle: Ton läuft, ein zweiter mit benachbarter Frequenz wird hinzu geschaltet
→ man braucht einen wesentlich höheren Pegel, um den 2. Ton deutlich zu hören

Abtastung & Datenreduktion:

- Abtastfrequenz:

$$f_{abstast} = 44.100Hz \text{ (CD)}$$

$$f_{abstast} \geq 2 \cdot f_{max}$$

$$n = 16Bit \text{ (Quantisierungsstufen)}$$

- SNR: Signal to Noise Ratio: Pegeldifferenz zwischen Signalmaximum und dem mittleren Quantisierungsfehler

$$SNR \approx 6 \cdot n \text{ (n = Anzahl der Bits in dB)}$$

- Anzahl der Bits pro Sekunde:

$$\text{Mono: } 44.100Hz \cdot 16Bit = 705 \frac{kbit}{s}$$

$$\text{Stereo: } 2 \cdot 44.100Hz \cdot 16Bit = 1,4 \frac{Mbit}{s}$$

$$\text{MP3: } 128 \frac{kbit}{s} \dots 320 \frac{kbit}{s}$$

→ Es wird an der Anzahl der Bits gespart

- Einteilung des Signals in Frequenzbänder
 - o höchster Ton wird ermittelt
 - o Mithörschwelle wird ermittelt
- Quantisierungsfehler wird erhöht, dieser wird allerdings durch Mithörschwelle verdeckt und ist somit nur schwer hörbar

- Stereo MP3: $2 \cdot 44.100 \text{ Hz} \cdot 8 \text{ bit} = 705 \frac{\text{kbits}}{\text{s}}$

Zeitverdeckung:

- lauter Knall, danach hört man für eine kurze Zeit nichts
- kurz zuvor bekommt das Ohr bereits den Impuls (Einschwingvorgang)
 - ➔ nach einem Knall kann man auch Daten reduzieren, weil diese ohnehin nicht gehört werden würden

Verdeckung:

- Schwellwert: je lauter der Pegel (in Phon), desto stärker verschiebt sich der Schwellwert nach oben

Schallverarbeitung:

- Interpretation im Gehirn:
 - o Feuerstärke: Lautstärke
 - o Ort des Impulses: Frequenz
- erkennbare Intensität/Druckverhältnisse: $\frac{\tilde{p}_2}{\tilde{p}_1} = 1,05 \Rightarrow \Delta L = 20 \cdot \lg(1,05) = 0,42 \text{ dB}$

Schallrichtung:

- kommt der Schall aus beiden Lautsprechern gleichzeitig, simuliert das Ohr eine Schallquelle mittig vor uns
- stellt man einen Lautsprecher auf eine andere Lautstärke ein, so wird eine zweite Phantomschallquelle

Empfindung von Lautstärke:

- Kurven gleicher Lautstärke
 - o stimmen bei 1KHz mit dem Pegel in dB überein
 - o neuste Fassung: ISO 226 – 2003
 - o Töne auf einer Kurve klingen gleich laut

Aufgabe: In einer originalgetreuen Konzertaufnahme ist der Lautstärkepegel bei 50Hz und bei 1kHz 90Phon. Zum Abhören wird die Schallintensität auf 0,01% des Ausgangswertes reduziert.

Frage: Wie klingt das Signal und was hat sich technisch geändert?

Rechnung:

für 1KHz:

$$90 \text{ Phon} \hat{=} 90 \text{ dB}$$

$$90 \text{ dB} = 10 \cdot \lg \left(\frac{J}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \Rightarrow J = 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$J_2 = J \cdot 10^{-4} = 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$L_2 = 10 \cdot \lg \left(\frac{10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) = 50 \text{ dB} \hat{=} 50 \text{ Phon}$$

für 50Hz:

$$90\text{Phon} \hat{=} 105\text{dB}$$

$$105\text{dB} = 10 \cdot \lg \left(\frac{J}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \Rightarrow J = 0,032 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$J_2 = J \cdot 10^{-4} = 3,16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$L_2 = 10 \cdot \lg \left(\frac{3,16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) = 65\text{dB} \hat{=} 25\text{Phon}$$

→ typischer Abmischpegel: 90Phon

- im professionellen Bereich kann man bestimmte Werte an den Anlagen einstellen, sodass das Signal optimal klingt, obwohl der 90Phon Pegel nicht eingestellt ist

Antwort der Frage:

Bässe viel zu leise (Höhen ebenfalls) im Vergleich zu den mittleren Frequenzen

→ Abhilfe:

1. Loudness Schalter, Boost-Schalter
2. Zwei Steller: einer für Pegel, einer für Loudness

„Gehör richtig“ messen:

- Bewertungsfiler zuschalten
- Angabe in dB(A) oder dB-A oder dBA
- wird häufig zu Marketingzwecken benutzt, weil die Werte wesentlich kleiner sind, als die dB Pegel

Umrechnung Lautheit / Lautstärkepegel:

$$L_s = 40 + 33 \cdot \lg(N)$$

$$N = 2^{\frac{(L_s - 40)}{33}} \quad (N = \text{Lautheit}, L_s = \text{Lautstärkepegel})$$

Beispiel:

$$L_s = 50\text{Phon} \rightarrow N = 2\text{sone}$$

$$L_s = 25\text{Phon} \rightarrow N = 0,35\text{sone}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = 5,714 \approx 6$$

- der Ton ist ungefähr 6x so laut wie bei 50Hz
- Bei 10 Phon Erhöhung ist das Signal doppelt so laut

Laustärkeaddition und Pegeladdition:

Für zwei gleiche Pegel:

- für den Bereich innerhalb einer Frequenzgruppe (Oktave): +3 Phon
- für den Bereich außerhalb einer Frequenzgruppe (Oktave): +10 Phon

	objektiv, ΔL	subjektiv, ΔL_s
innerhalb	+3dB	+ 3 Phon
außerhalb	+3dB	+ 10 Phon

Fragestellung: Wie viele Geigen müssen einen gleichen Ton spielen, damit dieser im Vergleich zur Lautstärke einer Geige um 10 Phon verstärkt wird

Antwort: Ungefähr 10 Geigen

Rechnung:

2 Geigen : +3 Phon

8 Geigen : +9 Phon

16 Geigen : +12 Phon

Unterschiedliche Töne (z.B. beim Stimmen):

2 Geigen : +10 Phon

HA: Welche Lautstärke erzeugen 10 Geigen beim stimmen?

Fall: Zwei Schallquellen mit $L_1 > L_2$

- Berechnung über die Intensitäten, welche addiert werden, um L_{ges} zu berechnen
- wenn L_2 mindestens 6dB kleiner als $L_1 \rightarrow$ Einfluss auf Gesamtpegel vernachlässigbar ($\Delta L \leq 1dB$)