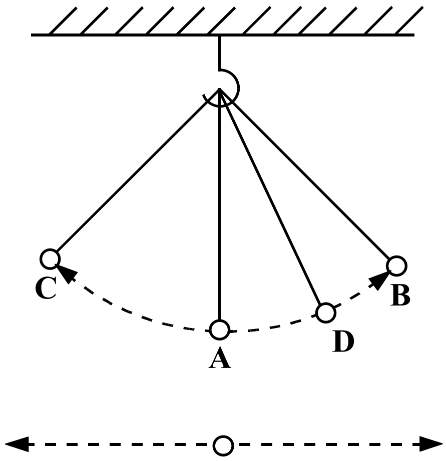
1 Grundlagen Audio

1.1 Schall

1.1.1 Schwingung



A: Ruhelage, nur kinetische Energie

B: Umkehrpunkt, nur potenzielle Energie

C: Umkehrpunkt, nur potenzielle Energie

D: Potenzielle und kinetische Energie

Abb. 1

Bei maximaler Auslenkung herrschen ein Druckmaximum und ein Geschwindigkeitsminimum. In der Ruhelage herrschen ein Geschwindigkeitsmaximum und ein Druckminimum. Die Schallschnelle ist die Geschwindigkeit des schwingenden Teilchens. Die Schallgeschwindigkeit dagegen die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle.

Der Schalldruck p wird in Pa (1Pa = 10 µBar). Er ist der Druck der auf eine Fläche wirkt.

$$p = \frac{F}{A} \text{ in } \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$$

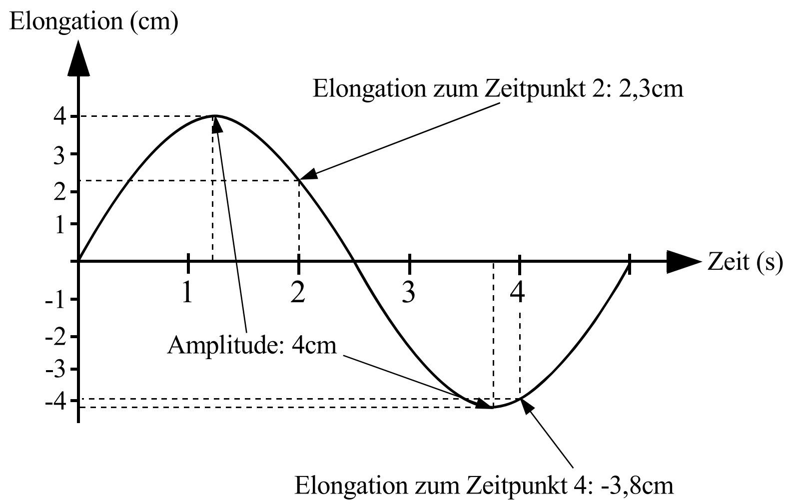


Abb. 2

Y-Achse

- Schalldruck p(pa)
- Elektrische Spannung U(V)
- Bandfluss Φ (nWb/m)

  → entspricht der Lautstärke

X-Achse

- Zeit t(s)
- Periodendauer T(s)
- Frequenz f(Hz)

$$T = \frac{1}{f}$$

→ Tonhöhe(Tonheit)

Der Effektivwert ist der Mittelwert. Er wird meistens beim Schalldruck verwendet. Bei Sinustönen berechnet sich der Effektivwert mit Amplitudenwert$/\sqrt{2}$. Er wird meistens bei Wechselgrößen benutzt

1.1.2 Konstruktion einer Sinuskurve aus einer Kreisdrehung

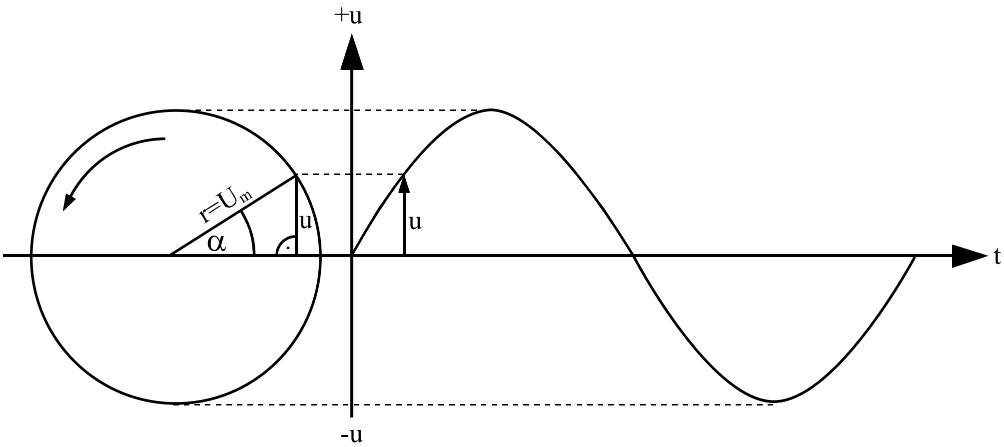


Abb. 3

$$\sin(\alpha) = \frac{u}{U_m}$$

1 Umlauf = T // Strecke: $s = 2\pi r$

→ Umlaufgeschwindigkeit

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

→ Zusammenhang zwischen α und t:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$\frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T}$$

Einheit: $\frac{v}{r} = \frac{\text{m/s}}{\text{m}} = \frac{1}{\text{s}}$

→ gleiche Einheit wie die Frequenz

1.1.3 Winkelgeschwindigkeit(Kreisfrequenz) ω

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\boxed{\omega = 2\pi f}$$

ω A Winkeländerung pro Zeit

$$\alpha = \omega t$$

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

$$\alpha = 2\pi ft$$

$$\sin\alpha = \frac{\mathrm{u}}{\mathrm{U_m}}$$

$$u = U_m \sin(\omega \mathrm{t})$$

Beispiel:

$$U_m = 310{,}8\mathrm{V}$$

$$f = 50\mathrm{Hz}$$

$$t = 5\mathrm{ms}$$

$$u = ?$$

$$u = U_m \sin(2\pi ft)$$

$$u = 310{,}8\mathrm{V}\sin(\frac{2\pi \cdot 50\mathrm{Hz} \cdot 0{,}005\mathrm{s} \cdot 180}{\pi}) = 310{,}8\mathrm{V}$$

1.1.4 Winkel im Bogenmaß

Ein Bogenmaß von 2π entspricht genau dem Umfang des Einheitskreises(r=1) und damit einem Winkel von 360°.

$$\mathrm{Winkel_{Grad}} = \frac{\mathrm{Winkel_{Bogenmaß}} \cdot 180}{\pi}$$

1.1.5 Phasenwinkel φ

Überlagerung zweier Sinusschwingungen gleicher Frequenz und Amplitude

- Δφ=0° → Amplitudenverdoppelung → +6dB

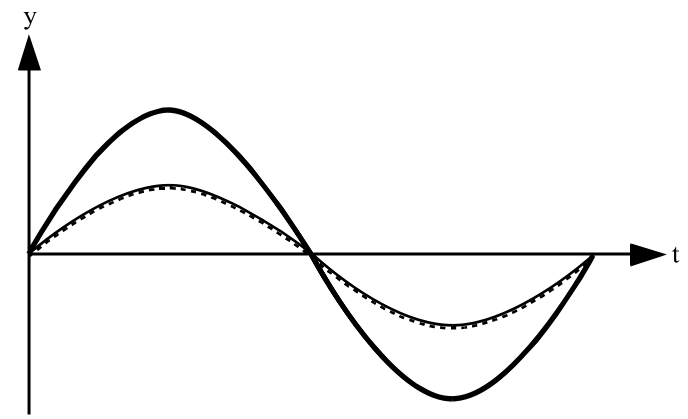


Abb. 4

- Δφ=180° → totale Auslöschung → -∞dB

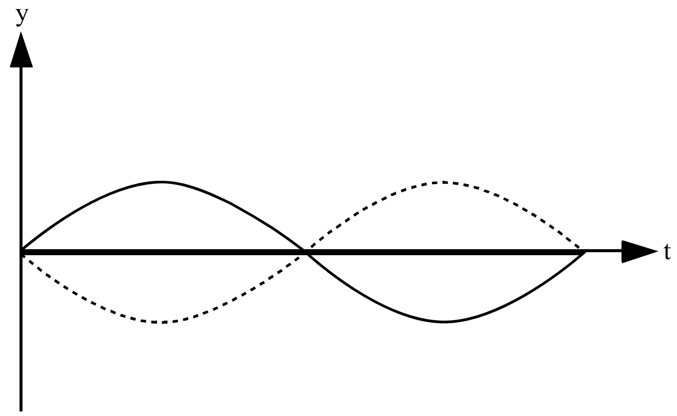


Abb. 5

$$\boxed{A_r = 2A\cos\frac{\Delta\varphi}{2}}$$

Δφ=90°	→ Ar=1,41A	→ +3dB
Δφ=120°	→ Ar=A	→ ±0dB
Δφ=150°	→ Ar=0,52A	→ -6dB

1.1.6 Monokompatibilität

Die Monokompatibilität ist eine Anforderung an stereofone Tonaufzeichnungen, ohne nennenswerte Klangeinbußen auch in Mono abspielbar zu sein.

- Öffentlicher Rundfunk
- Autoradioempfang

1.1.7 Korrelationsgradmesser

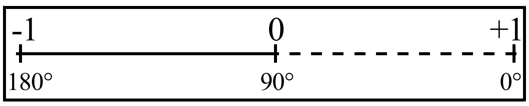


Abb. 6

1.1.8 Definition verschiedener Schwingungsformen

Ton: Sinusförmige Schallschwingung(im Hörbereich)

Klang: Hörschall aus Grund und Obertönen
→ Harmonischer Klang: Obertöne sind ganz zahlige Vielfache des Grundtons
→ Geräusch: Obertöne sind statistisch verteilt

Lärm

1.2 Welle

1.2.1 Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit *c* in m/s ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle. Sie beträgt in Luft 343,8m/s, bei 20°C. Bei einer Erwärmung um 1°C erhöht sich die Schallgeschwindigkeit um 0,6m/s.

Material	Schallgeschwindigkeit
Glas	ca. 5500 m/s
Stahl	ca. 5000 m/s
Holz	ca. 2500 m/s
Wasser	ca. 1500 m/s
Weichgummi	ca. 80 m/s

Umso höher die Elastizität eines Stoffes desto höher ist die Schallgeschwindigkeit.

1.2.2 Laufzeit des Schalls t(s)

$$\boxed{t = \frac{d}{c}}$$

d: Weg den der Schall zurücklegt
c: Schallgeschwindigkeit
t: Zeit

Beispiel 1:

d=150m
Temperatur=15°C

$$\Rightarrow t = \frac{150\text{m}}{343{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}} - 5 \cdot 0{,}6\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 440\text{ms}$$

Beispiel 2:

d=1m
Temperatur=20°C

$$\Rightarrow t = \frac{1\text{m}}{343{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3\text{ms}$$

Die Echogrenze liegt bei ungefähr 50ms.

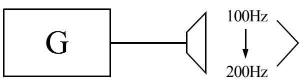
1.2.3 Wellenlänge λ(m)

Die Wellenlänge ist der unmittelbare Abstand zweier mit gleicher Phase Schwingender Teilchen.

$$\boxed{\lambda = \frac{c}{f}}$$

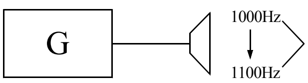
λ bei 20Hz: 17m
λ bei 20kHz: 17cm

1.2.4 Tonhöhe und Klangfarbe



Δf=100Hz 2:1

Abb. 7

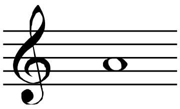


Δf=100Hz 1,1:1

Abb. 8

Das Tonhöhenempfinden ist von dem Frequenzverhältnis abhängig (→ Logarithmisch).

1.2.5 Kammerton a



a’

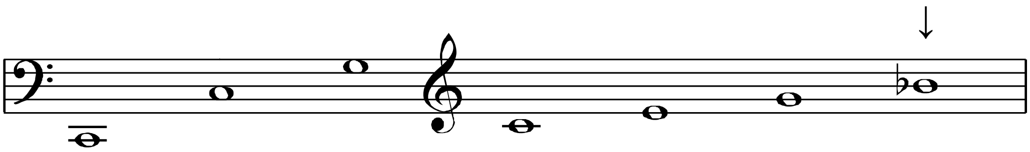
Abb. 9

Temperierte Stimmung:

1 Halbtonschritt: 1,06:1 ($\sqrt[12]{2}$)

z.B. b’: 466Hz (bei a’=440Hz)

1.2.6 Obertonreihe



1. 2. 3. 4. 5. 6. 7.

Abb. 10

1-2: C-C = Oktave
2-3: C-G = Quinte
3-4: G-C = Quarte
4-5: C-E = große Terz
5-6: E-G = kleine Terz
6-7: G-B = kleine Terz(kleiner als vorherige Terz)

Grundton = 100Hz = 1.Harmonische
1.Oberton = 200Hz = 2.Harmonische
2.Oberton = 300Hz = 3.Harmonische

1.2.7 Verzerrung

Eingangssignal ≠ Ausgangssignal

- Lineare Verzerrungen
  Dem Signal wird nichts hinzugefügt.
- Nicht-lineare Verzerrungen
  Dem Signal werden Komponenten hinzugefügt die im Eingangssignal nicht vorhanden sind. → Klirrverzerrungen

1.2.8 Klirrfaktor

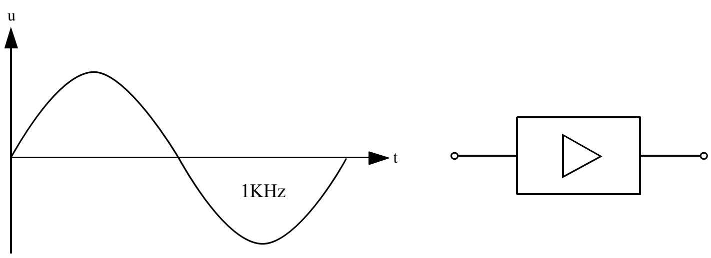


Abb. 11

z.B. THD = 1%
(Total Harmonic Distortion)
Ab 3% bei Musik hörbar

z.B. K_3 = 3%
K = Klirrfaktor
$_3$ = 3.Harmonische

1.2.9 Harmonisches Klangspektrum

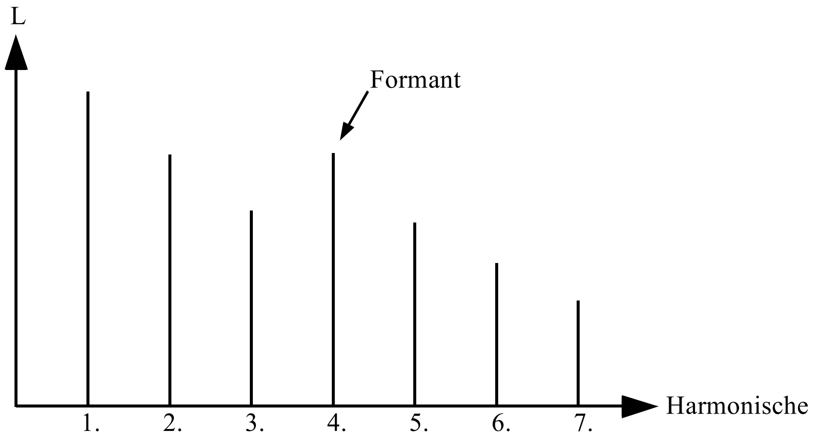


Abb. 12

L = Level(Pegel)

Das Harmonische Klangspektrum zeigt die Pegel der Harmonischen. Die Geräuschkomponenten eines Klangs werden bei dieser Betrachtung ignoriert.

1.2.10 Formanten

Formanten sind im Klangspektrum hervortretende Frequenzbereiche. Welche Harmonischen im Formantbereich liegen, hängt vom Grundton ab.

1.2.11 ADSR-Hüllkurve

A = Attack (Einschwingphase) → Geräuschanteile
D = Decay (Abklingphase)
S = Sustain (quasistationäre Klangphase) → Formanten
R = Release (Ausklingphase)

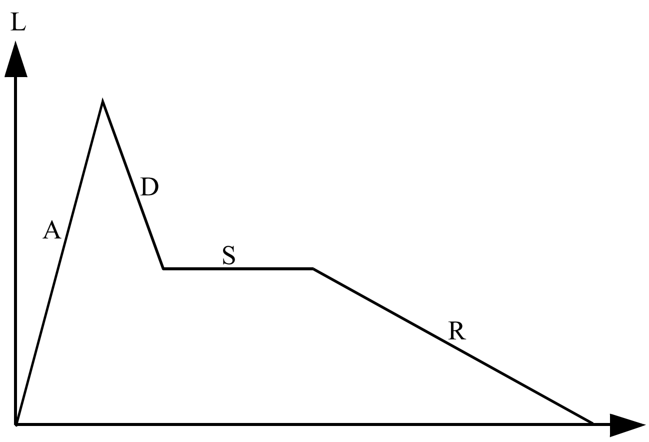


Abb. 13

1.2.12 Resonanz

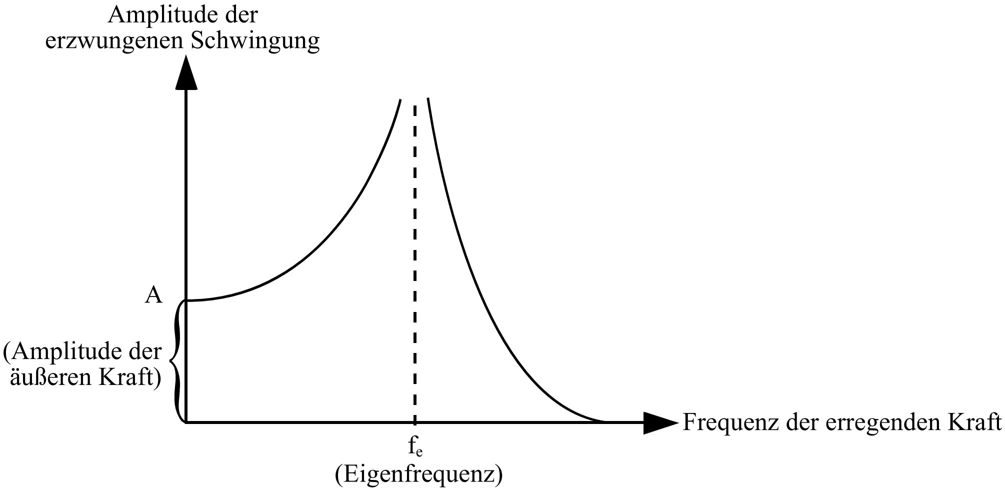


Abb. 14

$f_a = f_e$(theoretisch bei fehlender Dämpfung)

1.3 Pegel

Der Pegel ist ein logarithmiertes Verhältnis.

1.3.1 Leistungspegel

P_1	P_2
Marshall	Marshall
50W	100W

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{100W}{50W} = 2$$

$$\log_{10}\frac{P_2}{P_1} = \log_{10} 2 = 0,3$$

$$\log_{10}\frac{P_2}{P_1}\text{Bel} = \log_{10} 2 = 0,3\text{Bel}$$

$$10 \cdot \log_{10}\frac{P_2}{P_1}\text{deziBel} = \log_{10} 2 = 3\text{dBel}$$

$$\boxed{\mathrm{L_p} = 10\lg\frac{P_2}{P_1}dB}$$

1.3.2 Spannungspegel

$$P = U \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$ (P und U verhalten sich quadratisch)

$$\mathrm{L_P} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \mathrm{dB}$$

$$\Rightarrow \mathrm{L_U} = 10 \cdot \lg \frac{\left(\frac{U^2}{\cancel{R}}\right)_2}{\left(\frac{U^2}{\cancel{R}}\right)_1} \mathrm{dB} \Big| \mathrm{R_1} = \mathrm{R_2}$$

$$L_U = 10 \cdot \lg \frac{{U_2}^2}{{U_1}^2} \mathrm{dB}$$

$$\boxed{L_U = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \mathrm{dB}}$$

Relativer Pegel

Beim relativen Pegel müssen der Ist- und der Bezugswert bekannt sein bzw. ermittelt werden. (→ Marshall Amp)

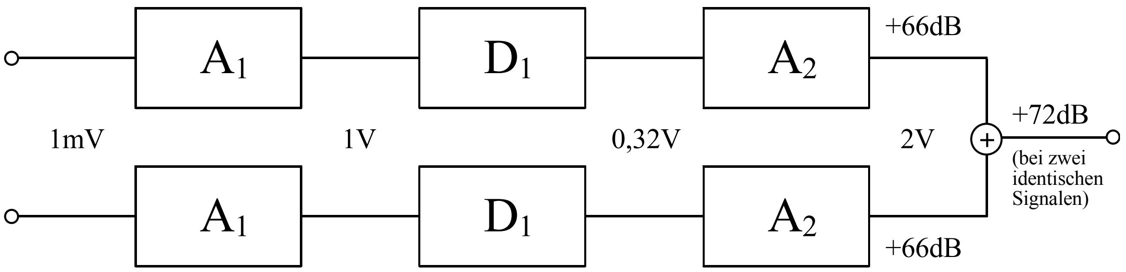


Abb. 15

$$L_{U(\mathrm{A_1})} = 20 \lg \frac{1V}{0,001V} \mathrm{dB} \; \mathrm{P} L_U = +60 \mathrm{dBr}$$

$$L_{U(\mathrm{D_2})} = 20 \lg \frac{0,32V}{1V} \mathrm{dB} \; \mathrm{P} L_U = -10 \mathrm{dBr}$$

$$L_{U(A_2)} = 20 \lg \frac{2V}{0,32V} \mathrm{dB} \; \mathrm{P} L_U = +16 \mathrm{dBr}$$

$$L_{U(Ges)} = 20 \lg \frac{2V}{0,001V} \mathrm{dB} \; \mathrm{P} L_U = +66 \mathrm{dBr}$$

Absoluter Pegel

Bei einem absoluten Pegel ist der Bezugswert definiert

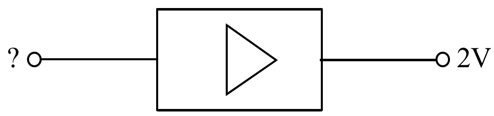


Abb. 16

$$L_{U(abs)} = 20 \lg \frac{2V}{1V} \mathrm{dBV} \; \mathrm{P} L_U = +6 \mathrm{dBV}$$

dBm: 1mW (üblicherweise an 600Ω)
dBu: 0,775V
dBV: 1V
dBSPL: 2·10-5Pa

1.3.3 Norminalpegel

Der Norminalpegel ist der Pegel bei dem ein Gerät auf der Anzeige 0dB anzeigt.

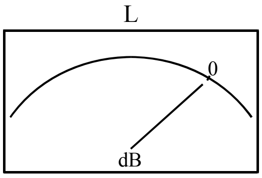


Abb. 17

+4dBu(Studiopegel): 1,23V
-10dBV(Homerecordingpegel): 0,32V
+6dBu(Rundfunkpegel, Funkhausnormpegel): 1,55V

Beispiel:

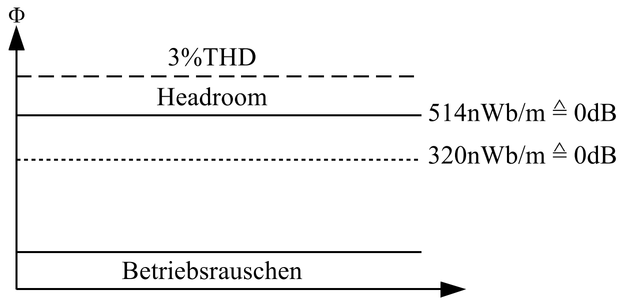


Abb. 18

1.3.4 Zusammenfassung: Warum rechnet man mit Pegel

- Große Zahlenbereiche werden verkleinert
- Das Gehörempfinden verläuft logarithmisch
- Pegel ist dimensionslos → gilt für Spannung und Leistung
- Pegel können einfach addiert werden