
Dinge mit dB

Florian "Florob" Zeitz

2024-08-21

Outline

1. Grundlagen
2. Verhältnisse
3. Analoge Einheiten
4. Digitale Einheiten

Grundlagen

Bel

Bel (B) beschreibt ein Verhältnis zweier Leistungsgrößen:

$$L_P = \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{ B}$$

Bei linearen Systemen funktionieren auch Quadrate von Effektivwerten der Feldgrößen.
Zum Beispiel bei elektrischer Leistung/Spannung: $P \sim U^2$ da $P = UI = \frac{U^2}{R}$.

$$P \sim F^2 \Rightarrow \log \frac{P_1}{P_2} = \log \frac{F_1^2}{F_2^2} = \log \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 = 2 \log \frac{F_1}{F_2}$$

$$L_F = 2 \log_{10} \frac{F_1}{F_2} \text{ B}$$

Dezibel

- Dezibel (dB) sind $\frac{1}{10}$ B
- “dezi” ist das einzig gebräuchliche SI-Präfix: kein mB oder kB
- Auch reine Bel werden nicht verwendet

Für Leistungsgrößen:

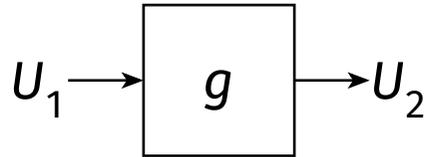
$$L_P = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{ dB}$$

Für Feldgrößen:

$$L_F = 20 \log_{10} \frac{F_1}{F_2} \text{ dB}$$

Dezibel als Verhältnis

- Dezibel eignen sich gut um Verstärkungen oder Dämpfungen anzugeben
- Verstärkungen sind stets positiv, Dämpfungen stets negativ



$$L_g = \begin{cases} < 0 & \text{if } U_1 > U_2 \text{ (} g < 1 \text{)} \\ 0 & \text{if } U_1 = U_2 \text{ (} g = 1 \text{)} \\ > 0 & \text{if } U_1 < U_2 \text{ (} g > 1 \text{)} \end{cases}$$

$$\text{Verdopplung: } L_{g=2} = 20 \log_{10} 2 \text{ dB} \approx 6 \text{ dB}$$

$$\text{Halbierung: } L_{g=\frac{1}{2}} = 20 \log_{10} \frac{1}{2} \text{ dB} \approx -6 \text{ dB}$$

Dezibel als absoluter Wert

- Dezibel werden oft als absoluter Wert verwendet: "Ein Gewehrschuss ist 140 dB laut"
- Dazu wird ein Referenzwert x_{ref} als Nenner verwendet
- Der SI Standard verwendet Dezibel als Einheit, der Referenzwert ist Teil des Formelzeichens:

$$L_x(\text{re } x_{\text{ref}}) = L_{x/x_{\text{ref}}} = 20 \log \frac{x}{x_{\text{ref}}} \text{ dB}$$

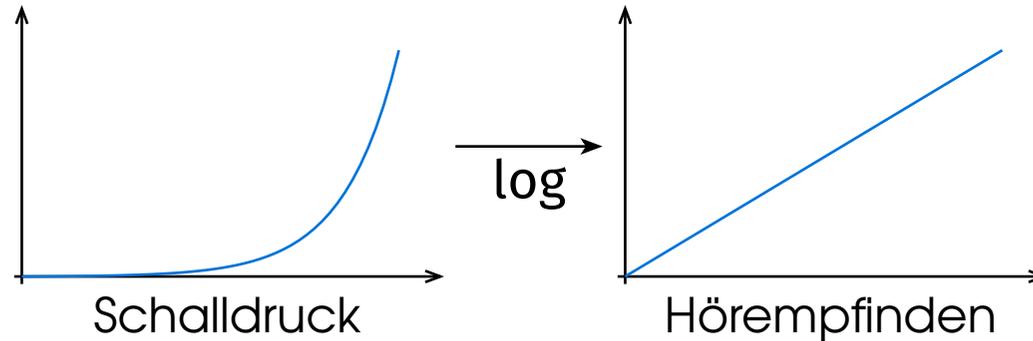
$$\text{z.B. } L_U(\text{re } 1\text{V}) = L_{U/1\text{V}} = 20 \log \frac{U}{1\text{V}} \text{ dB}$$

- Üblicher ist es den Referenzwert an die Einheit anzuhängen:

$$U = 20 \log \frac{U}{1\text{V}} \text{ dBV}$$

Wat sull dä Quatsch?

- Das menschliche Gehör empfindet Lautstärke (etwa) logarithmisch:



- Logarithmische Skalen “fühlen sich richtig an”
- Kompakte Darstellung von Werten über mehrere Größenordnungen
- Einfache Umrechnung zwischen Dezibel basierten Einheiten
- Einfachere Berechnung, denn $\log(p_1 \times p_2) = \log(p_1) + \log(p_2)$
 - Verstärkung um Faktor 1.28 dann um Faktor 1.17: $1.28 \times 1.17 = 1.4976$
 - Verstärkung um 2.15 dB dann um 1.37 dB: $2.15 \text{ dB} + 1.37 \text{ dB} = 3.53 \text{ dB}$

Verhältnisse

Signal-Rausch-Verhältnis

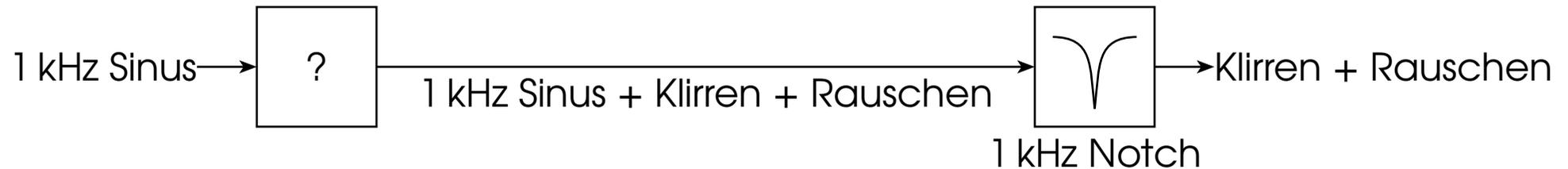
- Abstand zwischen Nutzsignal und Grundrauschen eines Systems

$$\begin{aligned}\text{SNR} &= 10 \log_{10} \frac{P_{\text{Signal}}}{P_{\text{Rauschen}}} \text{ dB} \\ &= 20 \log \frac{u_{\text{eff,Signal}}}{u_{\text{eff,Rauschen}}} \text{ dB}\end{aligned}$$

- Bei aktuellen AD/DA Wandlern > 110 dB, größer = besser
- Oft werden verschiedene Frequenzen basierend auf der vom menschlichen Gehör wahrgenommen Lautstärke gewichtet
 - Am häufigsten finden sich A-bewertete (A-weighted) Werte
 - Die Einheit ist dann dB(A) oder dBA

Klirrfaktor

- Auch Oberschwingungs- oder Verzerrungsgehalt (engl. "total harmonic distortion (THD)")
- Maß für die Verzerrung eines Systems, sprich die Veränderung der Eingangsfrequenzen
- Häufiger findet sich "total harmonic distortion plus noise (THD+N)", da leichter messbar:



$$\text{THD+N} = \frac{\text{Klirren + Rauschen}}{1 \text{ kHz Sinus + Klirren + Rauschen}}$$

- Bei aktuellen Wandlern < -100 dB, kleiner = besser
- Oft auch in Prozent angegeben: 0.001% \equiv -100 dB

Analoge Einheiten

Spannungen

- dBV: Spannungspegel relativ zu 1 V
- dBu: "decibel unloaded",
Spannungspegel relativ zu $\sqrt{600\Omega \times 1 \text{ mW}} \approx 0.7746 \text{ V}$
- Oft also maximaler Eingangs-/Ausgangspegel

 = Bezugswert	dBu	V	dBV
Studiopegel (ARD)	+6	1.550	+3.78
Studio Linepegel (USA)	+4	1.228	+1.78
Normpegel 1 V	+2.22	1	+0
Normpegel 1 u	0	0.7746	-2.22
Heimelektronik Linepegel	-7.78	0.316	-10

Schalldruckpegel

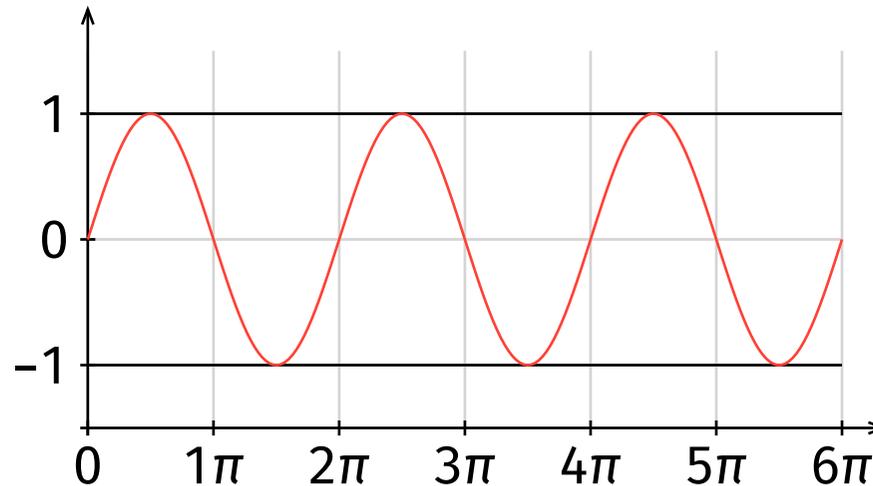
- dB SPL: engl. "Sound Pressure Level (SPL)"
- Effektivwert des gemessenen Schalldrucks relativ zum Referenzpegel $20 \mu\text{Pa}$
- Auch in A-bewerteter Variante, leider auch dB(A)

Schallquelle	Messort	dB SPL
Gewehrschuss	1 m	140
Gehörschaden bei kurzzeitiger Einwirkung	am Ohr	120
Diskotheek	1 m	100
Gehörschaden bei langzeitiger Einwirkung	am Ohr	85
Pkw	10 m	60–80
Hörschwelle bei 2 kHz	am Ohr	0

Digitale Einheiten

Full Scale

- Bezeichnet das gesamte Spektrum der für Sample verwendeten digitalen Werte
- 16-bit Samples können Werte von -32768 bis 32767 repräsentieren
- Fließkomma-Samples verwenden per Konvention Werte von -1.0 bis 1.0
 - Größtmögliche Präzision (gesamte Mantisse für Nachkommastellen)
 - Werte außerhalb clippen bei DA-Wandlung



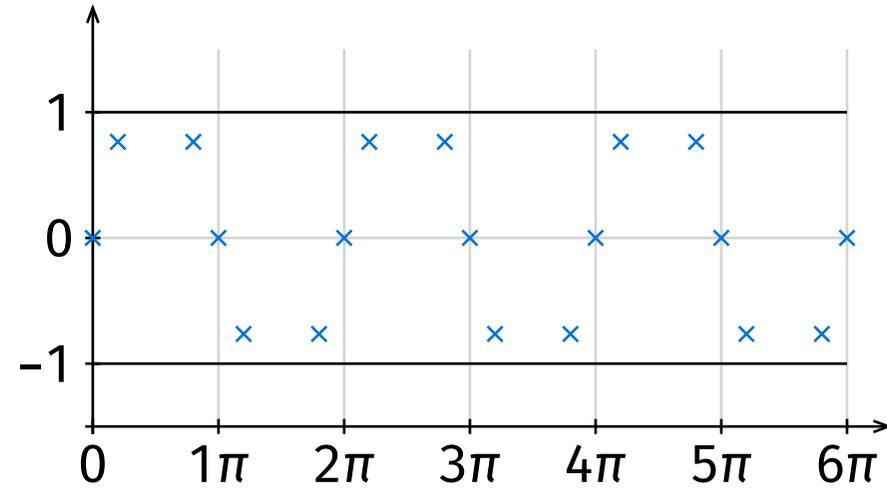
dBFS

- “Decibels relative to Full Scale”
- Berechnet wie Feldgrößen: $20 \log_{10} \frac{\text{sample}}{\text{FS}}$
- Spitzenwerte (Peak-Meter)
 - Maximal 0 dBFS, sonst nur negative Werte
 - Fließkomma-Samples im ungültigen Bereich führen zu “ungültigen” Pegeln > 0 dBFS
- Effektivwerte (RMS-Meter)
 - Zwei Festlegungen:
 1. 0 dBFS: Sinus mit maximaler Amplitude
 2. 0 dBFS: Rechteckschwingung mit maximaler Amplitude
 - Mathematisch ist die 2. Festlegung “korrekt”
 - Die 1. Festlegung ist gängiger und von AES17 spezifiziert
 - In 1. hat eine Rechteckschwingung mit maximaler Amplitude +3 dBFS

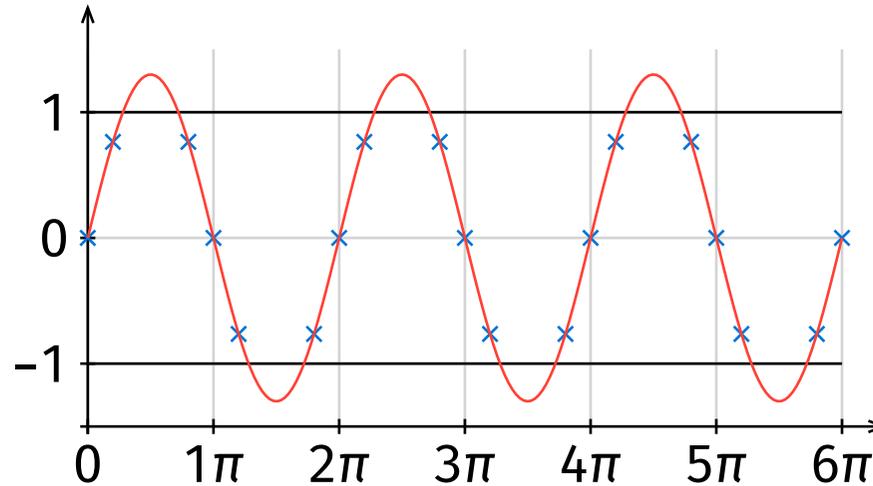
dBFS zu dBu

- Eine feste Umrechnungsvorschrift existiert nicht
- Aus manchen Normen lassen sich solche ableiten, gelten aber selten für Geräte am Markt
- Umrechnung bestimmt der Referenzpegel des Ein-/Ausgangs, dieser liegt dann bei 0 dBFS
- z.B. Referenzpegel von +19 dBu: $-13 \text{ dBFS} \equiv +6 \text{ dBu}$

True Peak



True Peak



- Sample mit ≤ 0 dBFS Peak können eine clippende Funktion darstellen
- Die DA Wandlung übersteuert in diesem Fall
- Um dies zu verhindern gibt es True Peak Meter
- Im Prinzip dBFS Meter die Werte zwischen Samplen berücksichtigen
- Die Einheit ist in diesem Fall dBTP

Lautheit

- Maß für die empfundene Lautstärke
- Gemessen in **LUFS**, "Loudness Units relative to Full Scale"
- Spezifiziert in EBU R128
- K-bewertet
- "Programme" sollen ein Lautheitsziel erreichen, dies ermöglicht einheitliche Lautheit bei nacheinander abgespielten Programmen
- Ardour unterstützt Lautheitsnormalisierung beim Export

Platform/Standard	LUFS
Amazon, Spotify, Tidal, YouTube	-14
Apple Music	-16
EBU R128	-23