

## Instrumente/Obertöne

- Residualton, Residuum
- Spektrale Einschwingverhalten
- Obertöne sind nicht immer Harmonische (Bsp. Klavier, Glocken, Schlagzeug)  
→ je dichter die Spektrallinien zusammen liegen, desto mehr geht der Klang in Richtung Schlagzeug und Rauschen

## **Signalübertragung**

- Tontechnik: „Zwischen Aufnahme durch ein Mikrofon und Wiedergabe durch einen Lautsprecher“
- Wandlungsstellen:
  - o Mikrofon → Betriebsübertragungsfaktor  $B = \dots \frac{mV}{Pa}$
  - o Lautsprecher → Kennschallpegel  $L = \dots \frac{dB}{W \cdot m}$

Formeln:

$$L_{\tilde{p}} = 20 \cdot \lg \left( \frac{\tilde{p}}{\tilde{p}_0} \right), \tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa, 0dB \dots 120dB$$

$$J = \frac{P \cdot \gamma}{S_{Kugel}} = \frac{P \cdot \gamma}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \Rightarrow L_J = 10 \cdot \lg \left( \frac{J}{J_0} \right) \text{ in } dB, J_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

$$\Rightarrow \tilde{p} = \sqrt{Z_0 \cdot J}$$

Im Fernfeld/ebene Welle:

$$L_J = L_{\tilde{p}} \Rightarrow J_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}, J_0 = \frac{\tilde{p}_0^2}{Z_0}$$

$$\Rightarrow \text{nur wenn } p, v \text{ in Phase} \Rightarrow J = \tilde{p} \cdot v, Z_0 = \frac{\tilde{p}}{v}$$

## Nennimpedanz

$$P_{el} = U \cdot I = \frac{U^2}{Z} \Rightarrow U = \sqrt{P_{el} \cdot Z_n}$$

$L_{\tilde{p}}$  soll 86dB sein

$$\rightarrow P' = 4 \cdot 1W = 4W$$

$$U = \sqrt{P_{el} \cdot Z_n} = \sqrt{4W \cdot 4\Omega} = 4V \quad (Z_n = 4\Omega)$$

Erklärung:

$$L_k = 80 \frac{dB}{m \cdot W} \text{ bedeutet } P_{el} = 1W \rightarrow 80dB \text{ bei } r = 1m$$

$$86dB \rightarrow \Delta L = 6dB \hat{=} \text{Faktor } \frac{P_2}{P_1} = 4$$

$$\rightarrow P'_{el} = 4 \cdot 1W \rightarrow 86dB \text{ bei } r = 1m$$

Beispiel 2:

$$L_k = 80 \frac{dB}{m \cdot W}, \text{ gesucht ist } P_{el} \text{ so, dass in 3m Entfernung } L_p = 82dB$$

Rechnung:

$$\tilde{p} \sim \frac{1}{r} \rightarrow \frac{\tilde{p}_{3m}}{\tilde{p}_{1m}} = 3 \hat{=} \Delta L = 20 \cdot \lg(3) = 10dB$$

In einem Meter Abstand beträgt der Schalldruckpegel also 10dB mehr als in drei Metern Entfernung, er beträgt 92dB.

$$\Delta L = 92dB - 80dB = 12dB \hat{=} \frac{P_{ak2}}{P_{ak1}} = 16(4^2) \rightarrow P_{el2} = 16 \cdot 1W = 16W$$

$$\Rightarrow U = \sqrt{P_{el} \cdot Z_n} = \sqrt{16W \cdot 4\Omega} = 8V$$

### Pegel

Spannungspegel in dBu:

$$L_u = 20 \cdot \lg \left( \frac{\tilde{u}}{\tilde{u}_{ref}} \right) \text{ in dBu, } \tilde{u}_{ref} = 0,775V$$

- Entwicklung des Wertes durch ARD zu Beginn des Rundfunks  $\rightarrow$  Normen innerhalb der ARD wurden ausgeweitet und standardmäßig verwendet
- Referenzwert von 0,775V: Kopfhörer mit  $600\Omega$  Impedanz bei 1mW Leistung
- Fall 775mV  $\rightarrow 20 \cdot \lg \left( \frac{775mV}{775mV} \right) = 0dBu$
- Spannungswert für Gerätekommunikation  $\rightarrow$  Arbeitspunkt der Studiogeräte
- Funkhausnormpegel = +6dBu  $\hat{=} 1,55V$  (Auslegungsspannung für alle Geräte, Line-Pegel)
- Line-Pegel (U.S.A.): +4dBu  $\hat{=} 1,33V$  (Effektivwert bei Vollaussteuerung)
- Semiprof./Consumer: -10dBV  $\hat{=} 0,316V \Rightarrow \tilde{u}_{ref} = 1V$ 
  - $\rightarrow$  beim Consumergerät geringerer SNR  $\rightarrow$  Dynamik soll aber im Studio komplett vorhanden sein

### Lineare Systeme

- Superpositionsprinzip: Signale, die gemeinsam durch das System geschickt werden, kommen auch gemeinsam wieder heraus

Beispiel:

$$x_1 \longrightarrow y_1$$

$$x_2 \longrightarrow y_2$$

$$x_1 + x_2 \longrightarrow y_1 + y_2$$

- lineare Systeme werden größtenteils in der Tontechnik eingesetzt
  - $\rightarrow$  Bauteile in den Geräten (Bsp. Transistoren) werden im nahezu linearen Teil ihrer Kennlinie betrieben, sind allerdings von Natur aus nichtlinear
- Beispiele für nichtlineare Geräte: Verzerrungseffekte (Distortion, Fuzz)
- Messgröße für nicht-lineare Verzerrungen: Klirrfaktor

- Zeitinvarianz: Eine Verzögerung des Signals hat auch eine Verzögerung in der Systemantwort zur Folge → Die Antwort verschiebt sich um die gleiche Zeit wie das Signal

Beispiel:

$$a(t) \longrightarrow b(t)$$

$$a(t-t_0) \longrightarrow b(t-t_0)$$

- Kausalität: Die Antwort des Systems beginnt erst nach dem Beginn des Eingangssignals

### Filter

- Filter erster Ordnung: RC/RL-Hochpass, RC/RL-Tiefpass

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$\underline{u_C} = \underline{u_R}$$

- werden in einfachen Klangstellern eingesetzt → Schaltungsanalyse von Kuhschwanzfiltern
- relative Pegel in den meisten Diagrammen (Bsp. +20dB entspricht komplettem Durchgang)

- Filter zweiter Ordnung: Bsp.  $(R \parallel C) + L, (R \parallel L) + C$

- Amplitudenfrequenzgang mit 12dB pro Oktave (Frequenzverdopplung), Phasendrehung um 180°

digitale Pegel:

- 6dBu Line Pegel → 18dBu (EBU-Broadcast) → 12dB Headroom  
→ Empfehlung: 20dB Headroom für alle Aufnahmen

### Verbindungen/Leitungen

- symmetrische vs. unsymmetrische Leitungen
- unsymmetrische Leitung:
  - o 2 Leiter plus Schirm (üblich bei z.B. Cinch-Steckern (Sprich: Zinsch))
  - o Schirm mit zweiter Leitung (0V) verbunden
  - o bei kleinen Störsignalen wird das Störsignal abgeschirmt, bei größeren bleibt es auf der Leitung

$$u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \rightarrow \varphi_s = 0V$$

$$u_{ab} + \varphi_{Stör} = \varphi_a + \varphi_{Stör} \Rightarrow \varphi_a + \varphi_{Stör} - 0V (Masse)$$

$$\Rightarrow \varphi_a + \varphi_{Stör}$$

- symmetrische Leitung:
  - o drei Leiter plus Schirm
  - o Störungspotenzial auf beiden Leitungen wird ausgeglichen und fällt weg
  - o für z.B. Keyboards muss man DI-Boxen zum Symmetrieren einsetzen

$$u_{ges} = \varphi_a - \varphi_b$$

$$= \varphi_a + \varphi_{Stör} - (\varphi_b + \varphi_{Stör})$$

$$= \varphi_a - \varphi_b = u_{ges}$$

- Insertbuchse am Mischpult: Steckt man den Stecker hinein, wird auf einer Leitung das Signal zum Gerät geführt, auf der andern wird das Ausgangssignal des Gerätes zurück ins Mischpult geleitet → der Kanal wird getrennt und umgeleitet

### Übertragungsqualität

- Dynamik(SNR): Abstand zwischen Rauschen und nicht-linearen Verzerrungen
- Röhrenverstärker verzerren das Signal nicht sofort, was es komprimiert klingen lässt (zum Teil als Effekt eingesetzt)
- Quantisierungsfehler = digitales Rauschen
  - ➔ zu geringe Amplitude = Signal versinkt im Rauschen
- Empfehlungen für den Rundfunk:
  - o komprimierte Musik (Pop) ➔ Sprache um 6dB lauter, sonst knallt die Musik
  - o Klassische Musik ➔ Sprache um 6dB leiser ➔ hohe Musikdynamik

### Übersteuerungsverhalten

- Vergleich Magnetband vs. A/D Wandler
  - o Magnetband bis ca. -10dB Aussteuerung konstant, danach fast linearer Anstieg des Klirrfaktors
  - o A/D Wandler wird gegen 0dB Aussteuerung immer geringer im Klirrfaktor, steigt dann aber sofort schlagartig an
  - o je kleiner die Amplitude, desto größer der Quantisierungsfehler ➔ bezieht sich auf nichtlineare Verzerrungen

### VU-Meter

- Aussteuerungsanzeige zur Kontrolle der Pegel
- haben keine 1:1 Spannungsskala ➔ in den meisten Fällen wird 6dBu auf VU-Meter als 0dB markiert

### Kompander im Tonbandgerät (Dynamikerweiterung):

- Kompressor und Expander in einem
- Arbeitsschritte:
  - o Kompressor kompensiert das Signal ➔ laute Stellen werden heruntergezogen
  - o Signal wird auf Band aufgenommen ➔ Rauschen kommt hinzu
  - o Expander erhöht die Dynamik ➔ laute Stellen werden hochgeregelt, leise Passagen bleiben leise (Rauschentfernung steigt an)