

Fortsetzung: Schallpegel und Schallschnelle

$$Z_0 = \frac{\tilde{p}}{\tilde{v}} \text{ für ebene Wellen und Fernfeld einer Kugelwelle}$$

$$\tilde{p} \sim \tilde{v}$$

Anwendung:

Gesucht ist das Verhältnis der Auslenkung der Membran eines Lautsprechers bei den Frequenzen  $f_1 = 100\text{Hz}$  und  $f_2 = 1\text{kHz}$  für den Fall, dass  $\tilde{p}(r_1, f_1) = \tilde{p}(r_1, f_2)$ .

Zusammenhang zwischen Auslenkung  $\xi$  und Schnelle  $v$ ?

$$v = \frac{d\xi}{dt} \text{ mit } \xi = \hat{\xi} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\rightarrow v = \hat{\xi} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) = \hat{v} \cdot \cos(\omega t)$$

➔ Schnelle ist frequenzabhängig,  $\omega \uparrow \rightarrow v \uparrow$

$$\tilde{p}_1 = \tilde{p}_2 \sim v$$

$$\frac{\tilde{p}_1}{\tilde{p}_2} = \frac{\tilde{v}_1}{\tilde{v}_2} = \frac{\hat{\xi}_1 \cdot \omega_1}{\hat{\xi}_2 \cdot \omega_2} = 1$$

$$\Rightarrow \frac{\hat{\xi}_1 \cdot f_1}{\hat{\xi}_2 \cdot f_2} \Leftrightarrow \frac{f_2}{f_1} = \frac{\hat{\xi}_1}{\hat{\xi}_2}$$

$$\text{Im Beispiel: } f_1 = 100\text{Hz}, f_2 = 10\text{kHz} \rightarrow \frac{\hat{\xi}_1}{\hat{\xi}_2} = \frac{10000}{100} = 100$$

$$\hat{\xi}_1 (f_1 = 100\text{Hz}) = 100 \cdot \hat{\xi}_2 (f_2 = 10\text{kHz})$$

### Schallwellen

Die ebene Schallwelle:

Wellengleichung:

- Schallteilchen erfahren eine Beschleunigung (NEWTONsches Gesetz)
- Volumenänderung durch unterschiedlichen Druck

Vereinfachung:

- zunächst nur Bewegung in x-Richtung
- Lösung ist nicht einfach zu berechnen, man muss sich eine passende herausuchen

Hinweis:  $\Delta$  = Laplace Operator

Nur hinlaufende Welle wird betrachtet, mit  $\varphi_1 = 0$

$$p(x, t) = \hat{p} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\omega}{c} \cdot x\right) = \hat{p} \cdot \cos(\omega t - kx) \text{ mit } k = \frac{2\pi}{\lambda} (\text{Kreiswellenzahl})$$

genauso verhält sich

$$v(x, t) = \hat{v} \cdot \cos(\omega t - kx).$$

Beide Gleichungen sind durch  $Z_0$  verknüpft.

$p(x, t)$  = Momentanwert des Druckes zur Zeit t am Ort x

Betrachtung:

- $x = x_1$  (bestimmter Ort  $\rightarrow kx$  wie eine Phase)
- Druck ändert sich Cosinusförmig
- der Ort verschiebt immer nur die Phase der Cosinus-förmigen Schwingung der Welle

Die Kugelschallwelle:

- Schalldruck und Schallschnelle verhalten sich unterschiedlich

Betrachtung der Amplituden

$\hat{p} = \frac{\omega \cdot \xi}{r} \cdot C \sim \frac{1}{r}$	<p>Betrag von <math>\hat{v}</math></p> $ \hat{v}  = \sqrt{\frac{k^2}{r^2} + \frac{1}{r^4}} \cdot C = \sqrt{\frac{k^2}{r^2} \left(1 + \frac{1}{r^2 \cdot k^2}\right)}$ $ \hat{v}  = C \cdot \frac{k}{r} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{r^2 \cdot k^2}}$
---	--

Fallunterscheidung:

1. Fall:

$$k \cdot r \gg 1 \rightarrow |\hat{v}| \rightarrow \frac{k}{r} \cdot C \sim \frac{1}{r}$$

$$k \cdot r \gg \frac{2\pi \cdot r}{\lambda} \gg 1 \rightarrow 2\pi \cdot r \gg \lambda$$

Wenn die Wellenlänge viel kleiner ist als der 6x der Abstand (ungefähr), dann ist die Amplitude proportional zu  $\frac{1}{r}$ . („Fernfeld“).

2. Fall:

$$k \cdot r \ll 1 \rightarrow |\hat{v}| \rightarrow C \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{1}{k \cdot r} \sim \frac{1}{r^2}$$

$$k \cdot r \ll 1 \rightarrow 2\pi \cdot r \ll \lambda$$

(„Nahfeld“)

Versuch:

- Vorführung des Nachbesprechungseffektes
- bei relativ kleinem Abstand (unruhige Sprecherposition) verändert sich auch das Klangbild/ die Klangfarbe
- bei Mikrofonen, deren Ausgangsspannung proportional ist zur Schallschnelle
- ➔ dynamische Mikrofone (im Gegensatz zu Kondensatormikrofonen);
- ➔ Druckgradientenempfänger
- ➔ verallgemeinert: bei allen gerichteten Mikrofonen (Daumenregel, kann kompensiert sein/ werden)

### Gestörte Schallausbreitung

- Beugung von Wellen (Wdh.)
- Reflexion an einer Wand:
  - o Raum kann akustisch größer oder kleiner gemacht werden (→ early reflections)
  - o je früher die erste Reflexion kommt, desto kleiner wird der Raum wahrgenommen
  - o je später → Verwischungseffekt und Echo

Spiegelschallquellenmethode:

- Es werden Spiegelschallquellen gezeichnet, um so den Reflexionspunkt im Raum zu ermitteln
- daraus ergeben sich Reflektogramme, die zeigen, zu welcher Zeit ein Schallsignal den Hörer von wo aus erreicht (Bsp.: Direktschall, Boden, Rückwand, etc.)

Fälle:

- 1)  $\Delta t < 10ms$  : Direktschall wird verstärkt
- 2)  $(10ms < \Delta t < 30ms$  : Gesetz der ersten Wellenfront)
- 3)  $\Delta t > 30ms$  : Verwischung („schlechte Akustik“, undeutliches Spektrum)
- 4)  $\Delta t \geq 100ms$  : Echo

es handelt sich bei allen Werten um Richtwerte!!

Anwendung der Spiegelschallquellenmethode auf den Seminarraum 207

Breite: 6m, Höhe: 2,8m, Länge: 10m, Höhe der SQ: 1,6m