

## Reflexionsfaktor

Ist das Verhältnis aus dem Druck des eintreffenden und reflektierten Schalls an einem Materialübergang.

$$r = \frac{\tilde{p}_r}{\tilde{p}_e}$$

$$1 = r^2 \cdot \alpha$$

$\alpha = \text{Adsorptionsgrad (Schallschluckgrad)}$

$$= \delta \cdot \tau \quad (\delta = \text{dissipativer Anteil}, \tau = \text{transmittierter Anteil})$$

$$r^2 = \rho(\text{Reflexionsgrad}) \left( \rho = \frac{J_r}{J_e} \right)$$

r kann man mit Hilfe der Schallkennimpedanz der verschiedenen Materialien errechnen.

$$r = \frac{\tilde{p}_r}{\tilde{p}_e} = \frac{Z_{02} - Z_{01}}{Z_{02} + Z_{01}} \quad (Z_0 = \rho \cdot c)$$

➔ Bei gleichen Medien ist der r null, d.h. z.B. bei verschiedenen Luftschichten gibt es keine Reflexion.

Fallunterscheidung:

1. Fall  $Z_{02} \gg Z_{01}$  (Luftschall → Wand oder Wasser)

$$\Rightarrow r \rightarrow 0$$

2. Fall  $Z_{01} \gg Z_{02}$  (Wand, Wasser → Luft)

$$\Rightarrow r \rightarrow -1, |r| \rightarrow 1 \text{ (das Minus kennzeichnet den Phasenunterschied)}$$

Luft → feste Körper:  $\tilde{p} \rightarrow \text{max.}, v \rightarrow 0$

Wasser → Luft:  $\tilde{p} \rightarrow 0, v \rightarrow \text{max.}$

## Schalldämmung

- Zwei oder Dreifach Verglasung
- Raum in Raum Bauweise
- Problem: Schall drängt durch Studiowände zum Nachbarn

Raum in Raum:

- Raum wird durch Federn und schwimmenden Estrich von den Wänden getrennt
- verschiedene Schichten erreichen größere Dämmung des Schalls
- es darf keine Verbindung zwischen Estrich und Wand geben → sonst erfüllt jener seinen Zweck nicht

Stehende Wellen in Räumen:

- Gangunterschied:  $\frac{\lambda}{4}$
- entstehen, wenn die Raumbreite ein Vielfaches der Wellenlänge ist
- $\tilde{p}_{\max} = 2 \cdot \hat{p}$
- ➔ Bewegungsenergie wird vollständig umgesetzt in potentielle Energie, daher  $\tilde{p}_{\max} = 2 \cdot \hat{p}$

Eigenfrequenzen des Raumes (Formel siehe Skript)

für  $n_y, n_z = 0$

$$\Rightarrow f_r = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\frac{n_x^2}{l_x^2}} = \frac{c}{2} \cdot \frac{n_x}{l_x} = n \cdot \frac{c}{2 \cdot l}$$

Herleitung:

Vielfache von

$$\frac{\lambda}{2} \rightarrow n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow l = n \cdot \frac{c}{2 \cdot f}$$

Aufgabe:

Bestimmen Sie die drei tiefsten hörbaren Eigenfrequenzen des Wohnzimmers mit den Maßen

$$l_x = 3m, l_y = 5m, l_z = 2,2m.$$

$n_x$	$n_y$	$n_z$	$f_r$
0	1	0	34Hz
1	0	0	57Hz
0	0	1	78Hz
1	1	0	67Hz
0	2	0	63Hz

Daten für einen akustisch gut ausgeglichenen Raum:

$$l_x = 3m, l_y = 5m, l_z = 2m$$

$n_x$	$n_y$	$n_z$	$f_r$
0	1	0	8Hz
1	0	0	11Hz
1	1	0	14Hz
0	2	0	16Hz

- ➔ Phasenabsorber: Luft muss sich durch das Material arbeiten
- ➔ man mittelt im Normalfall den Schalladsorptionsgrad → statistische Betrachtung
  - Untersuchung des Raumes auf verschiedene Adsorbtiionsgrade

## Äquivalente Adsorptionsfläche

$$A = A_{\text{äqui}} = \sum_i S_i \cdot \alpha_i \quad (S = \text{Fläche des Raumes})$$

$$[A] = m^2$$

Beispiel:

$$A = 0,4 \cdot 100m^2 = 40m^2$$

→ verhält sich wie  $40m^2$  mit  $\alpha = 1$  und  $60m^2$  mit  $\alpha = 0$

→ heißt auch „offene Fensterfläche“

Aufgabe:

$$V = 3800m^3, S = 1500m^2 \quad \text{gesucht: } A_{500}$$

$$S_1 = 800m^2 \text{ leere Wand}$$

$$S_2 = 300m^2 \text{ Teppich}$$

$$S_3 = 200m^2 \text{ Vorhänge}$$

$$S_4 = 200m^2 \text{ Resonanzabsorber}$$

Lösung (siehe Skript für Frequenz/Adsorptionsgrad Kurven):

$$A_1 = 0,015 \cdot 800m^2 = 12m^2$$

$$A_2 = 0,2 \cdot 300m^2 = 60m^2$$

$$A_3 = 0,3 \cdot 200m^2 = 60m^2$$

$$A_4 = 0,9 \cdot 200m^2 = 180m^2$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 312m^2$$

→ - 60dB wurden durch Tests mit einem Orchester, dass plötzlich aufhörte zu spielen als Wert für die Stille ermittelt (heute wären es vermutlich -40dB)

→ daraus entstand der Bezugswert für die Messung von Räumen

mittlerer Schalladsorptionsgrad

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S} \quad \text{für das obere Beispiel ergibt sich } \bar{\alpha} = \frac{312m^2}{1500m^2} = 0,208$$

## Nachhallzeit (frequenzabhängig!!)

- proportional zum Volumen, umgekehrt proportional zur äquivalenten Adsorptionsfläche

Für das Beispiel ergibt sich (Formel siehe Skript, Sabine-Formel)

$$T_{N500} = \frac{0,163 \left( \frac{s}{m} \right) \cdot 3800m^3}{312m^2} = 1,99s \approx 2s$$

→ d.h. der Schallpegel fällt nach Abschalten der Schallquelle in 2sek um 60dB.

→ ein Studio sollte ungefähr eine Nachhallzeit von 0,3 Sekunden haben

→ es gibt 2 Formeln zur Berechnung der Nachhallzeit:

○ Sabine (für  $f < 4kHz$  und  $\bar{\alpha} < 0,2$ )

○ Eyring (für  $\bar{\alpha} > 0,2$ )

Aufgabe: Die Nachhallzeit  $T_{N500}$  soll auf 1s verringert werden. Dazu sollen auf der freien Wandfläche Akustikplatten angebracht werden.

$$T_N \downarrow \text{ wenn } A \uparrow$$

Berechnung der äquivalenten Adsorptionsfläche für 1s:

$$1s = \frac{0,163 \cdot 3800m^3}{S_{neu}} \Rightarrow S_{neu} = 619,4m^2$$

Berechnung der benötigten Maße für die Akustikplatten:

$$A_{neu} = 200m^2 \cdot 0,9 + 200m^2 \cdot 0,3 + 300m^2 \cdot 0,2 + (800 - S_x) \cdot 0,01 + S_x \cdot 0,4$$

$$319,4 = 8 - 0,01 \cdot S_x + 0,4 \cdot S_x$$

$$311,4 = 0,39 \cdot S_x$$

$$798,5m^2 = S_x$$

Es müssten also  $798,5m^2$  von den  $800m^2$ , welche zur Verfügung stehen, mit Akustikplatten behängt werden, um eine Nachhallzeit von 1s zu erreichen.