

Doz. Dr. Heinrich Manz
 Nikolai Artmann, dipl. Ing. TUM
 Markus Ettlin, dipl. Arch. ETH
 Lubos Krajci, Dr. dipl. Ing. TU
 Katrin Leuenberger, dipl. Arch. ETH
 Andreas Rubin, dipl. Arch. EPFL
 Stephan Rutz, dipl. Arch. ETH

A

R

C

H

Lösung 01

Bauakustik I: Grundbegriffe

Online: Fr 30.05.08

Lösung zu Aufgabe 1

- a) Der (musikalische) Intervallbegriff Oktave bedeutet physikalisch ein Frequenzverhältnis zweier Töne:
 Frequenz hoher Ton / Frequenz tiefer Ton = $f_o / f_u = 2$
 n Oktaven entsprechen somit einem Frequenzverhältnis $f_o / f_u = 2^n$
 Mit den Grenzfrequenzen unserer Aufgabenstellung muss daher gelten:
 $20'000 \text{ Hz} / 20 \text{ Hz} = 1000 = 2^n$.

Daraus folgt für die Anzahl Oktaven:

$$n = \frac{\log 1000}{\log 2} = 9.96 \approx 10 \text{ Oktaven}$$

- b) Analog gilt für die Anzahl der Verdoppelungsschritte n im Druckbereich:

$$\frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{8 \text{ Pa}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}} = 4 \cdot 10^5 = 2^n \quad \text{woraus: } n = \frac{\log(4 \cdot 10^5)}{\log 2} = 18.6 \text{ Verdoppelungsschritte}$$

- c) Aus a) und b) folgt: Die "Dynamik" bezüglich Druckamplitude ist viel grösser!

Lösung zu Aufgabe 2

- a) $\Delta L = 30 \text{ dB}$, die Vervielfachung der Schallintensität ist folglich $x = 10^{0.1 \cdot 30} = 1000$

Ausführlicher:

Ist I_A die Anfangsintensität, I_E die vergrößerte Schallintensität, so gilt per Definition:

$$\Delta L = 30 \text{ dB} = L_E - L_A = 10 \log(I_E) - 10 \log(I_A) = 10 \log(I_E/I_A), \text{ also } \log(I_E/I_A) = 3$$

$$\text{also } I_E/I_A = 10^3 = 1000, \text{ d.h. } I_E = 1000 \cdot I_A$$

- b) $\Delta L = L_A - L_E = 86 \text{ dB} - 43 \text{ dB} = 43 \text{ dB}$ und $x = 10^{0.1 \cdot 43} = 19'953$

$$\text{oder } \Delta L = 10 \log(I_A/I_E), \text{ also } \log(I_A/I_E) = 43/10 = 4.3, \text{ also } I_A/I_E = 10^{4.3} = 19'953$$

Die Schallintensität hat um den Faktor 19'953 abgenommen!

Die Schallintensität ist proportional zum Schalldruck im Quadrat. Der (mittlere) Schalldruck hat also nur um den Faktor $\sqrt{19'953} = 141$ abgenommen.

Alternative Lösungsmethode:

$$\Delta L = 20 \log(p_A/p_E), \text{ also } \log(p_A/p_E) = 43/20 = 2.15, \text{ oder } p_A/p_E = 10^{2.15} = 141$$

Lösung zu Aufgabe 3

Für die Beziehung zwischen Schallgeschwindigkeit c , Frequenz f und Wellenlänge λ gilt: $\lambda_i = c/f_i$

$$\text{a) } c_{\text{Luft}} = 341 \text{ m/s} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{341 \text{ m/s}}{50 \text{ Hz}} = 6.82 \text{ m}, \lambda_2 = \frac{341 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} = 0.34 \text{ m}, \lambda_3 = \frac{341 \text{ m/s}}{80'000 \text{ Hz}} = 0.0043 \text{ m}$$

$$\text{b) } c_{\text{Beton}} = 3750 \text{ m/s} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{3750 \text{ m/s}}{50 \text{ Hz}} = 75.00 \text{ m}, \lambda_2 = \frac{3750 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} = 3.75 \text{ m}, \lambda_3 = \frac{3750 \text{ m/s}}{80'000 \text{ Hz}} = 0.0469 \text{ m}$$

$$\text{c) } c_{\text{Glas}} = 5300 \text{ m/s} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{5300 \text{ m/s}}{50 \text{ Hz}} = 106.00 \text{ m}, \lambda_2 = \frac{5300 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} = 5.30 \text{ m}, \lambda_3 = \frac{5300 \text{ m/s}}{80'000 \text{ Hz}} = 0.0663 \text{ m}$$

$$\text{d) } c_{\text{Holz}} = 4250 \text{ m/s} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4250 \text{ m/s}}{50 \text{ Hz}} = 85.00 \text{ m}, \lambda_2 = \frac{4250 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} = 4.25 \text{ m}, \lambda_3 = \frac{4250 \text{ m/s}}{80'000 \text{ Hz}} = 0.0531 \text{ m}$$

Lösung zu Aufgabe 4

a) Wand:

$$L_{\text{Wand}} = 45 \text{ dB} = 10 \log(I_{\text{Wand}}/I_{\text{ref}}), \text{ also } (I_{\text{Wand}}/I_{\text{ref}}) = 10^{4.5} \text{ oder } I_{\text{Wand}} = 10^{4.5} \cdot I_{\text{ref}}$$

$$\text{Schalleistung: } P_{\text{Wand}} = I_{\text{Wand}} \cdot A_{\text{Wand}} = 10^{4.5} \cdot 14.3 \text{ m}^2 \cdot I_{\text{ref}} = 4.522 \cdot 10^5 \cdot I_{\text{ref}}$$

Türe:

$$L_{\text{Türe}} = 65 \text{ dB} = 10 \log(I_{\text{Türe}}/I_{\text{ref}}), \text{ also } (I_{\text{Türe}}/I_{\text{ref}}) = 10^{6.5} \text{ oder } I_{\text{Türe}} = 10^{6.5} \cdot I_{\text{ref}}$$

$$\text{Schalleistung: } P_{\text{Türe}} = I_{\text{Türe}} \cdot A_{\text{Türe}} = 10^{6.5} \cdot 1.6 \text{ m}^2 \cdot I_{\text{ref}} = 5.060 \cdot 10^6 \cdot I_{\text{ref}}$$

Totale Schalleistung:

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{Wand}} + P_{\text{Türe}} = (4.522 \cdot 10^5 + 5.060 \cdot 10^6) \cdot I_{\text{ref}} = 5.512 \cdot 10^6 \cdot I_{\text{ref}}$$

Resultierende Intensität:

$$I_{\text{res}} = P_{\text{tot}} / (A_{\text{Wand}} + A_{\text{Türe}}) = (5.512 \cdot 10^6 / 15.9) \cdot I_{\text{ref}} = 3.467 \cdot 10^5 \cdot I_{\text{ref}}$$

Resultierender Schallpegel:

$$L_{\text{res}} = 10 \log(I_{\text{res}}/I_{\text{ref}}) = 10 \log(3.467 \cdot 10^5) = 55.4 \text{ dB}$$

Alternativer Lösungsweg (BTII S. 30):

$$L_{\text{res}} = 10 \log \left(\frac{A_1 \cdot 10^{\left(\frac{L_1}{10}\right)} + A_2 \cdot 10^{\left(\frac{L_2}{10}\right)} + \dots}{A_1 + A_2 + \dots} \right) = 10 \log \left(\frac{14.3 \cdot 10^{\left(\frac{45}{10}\right)} + 1.6 \cdot 10^{\left(\frac{65}{10}\right)}}{14.3 + 1.6} \right) = 55.4 \text{ dB}$$

b) Forderung resultierender Schallpegel:

$$L_{res} = 10 \log(I_{res}/I_{ref}) = 50 \text{ dB}, \text{ also } (I_{res}/I_{ref}) = 10^5 \text{ und } I_{res} = 10^5 \cdot I_{ref}$$

$$\Rightarrow P_{tot} = I_{res} \cdot (A_{Wand} + A_{Türe}) = 10^5 \cdot I_{ref} \cdot 15.9 = 1.59 \cdot 10^6 \cdot I_{ref}$$

Schalleistung Türe:

$$P_{Türe} = P_{tot} - P_{Wand} = (1.59 \cdot 10^6 - 4.522 \cdot 10^5) \cdot I_{ref} = 1.138 \cdot 10^6 \cdot I_{ref}$$

Schallintensität Türe:

$$I_{Türe} = P_{Türe} / A_{Türe} = (1.138 \cdot 10^6 / 1.6) \cdot I_{ref} = 7.11 \cdot 10^5 \cdot I_{ref}$$

Maximaler Pegel des abgestrahlten Schalles:

$$L_{Türe} = 10 \log(I_{Türe} / I_{ref}) = 10 \log(7.11 \cdot 10^5) = 58.5 \text{ dB}$$

Alternativer Lösungsweg (BTII S. 30):

$$L_{res} = 50 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{A_1 \cdot 10^{\left(\frac{L_1}{10}\right)} + A_2 \cdot 10^{\left(\frac{L_2}{10}\right)}}{A_1 + A_2} \right) \rightarrow A_1 \cdot 10^{\left(\frac{L_1}{10}\right)} + A_2 \cdot 10^{\left(\frac{L_2}{10}\right)} = (A_1 + A_2) \cdot 10^5$$

$$L_2 = 10 \log \left(\frac{(A_1 + A_2) \cdot 10^5 - A_1 \cdot 10^{\left(\frac{L_1}{10}\right)}}{A_2} \right) = 10 \log \left(\frac{15.9 \cdot 10^5 - 14.3 \cdot 10^{\left(\frac{45}{10}\right)}}{1.6} \right) = 58.5 \text{ dB}$$