

KI010D, Grundlagen Schallausbreitung/-dämpfung in Luft

Zur Berechnung und Bewertung der Ausbreitung und einfachen Dämpfung von Schall

1. Schalldruck p / Schalldruckpegel L_p

Als **Schalldruck p** werden die hörbaren Druckschwankungen am Ort des Beobachters bezeichnet. Sie nehmen mit der Entfernung ab und sind abhängig von der Dämpfung des Raumes. Der Schalldruck wird in Pa angegeben, sein Pegel L_p besitzt die Einheit dB. Er wird mit den üblichen Messgeräten (Bruel + Kjaer, Larson Davis) für das ganze Spektrum oder ausgewählte Frequenzbereiche gemessen.

2. Schalleistung P / Schalleistungspegel L_w

Die **Schalleistung P** beschreibt die von einer Schallquelle abgestrahlte Leistung. Sie kann nicht direkt gemessen werden, sondern wird durch die Schallintensität I [W/m^2] und deren Hüllfläche S [m^2], berechnet. Die Schallintensität wird mit speziellen Messgeräten erfasst.

$$P = I \times S \text{ [W]}$$

Die Schalleistung wird in W angegeben oder als logarithmischer Pegelwert in dB. Eine Schalleistung von 1 W entspricht einem Schalleistungspegel L_w von 120 dB.

3. Zusammenhang zwischen Schalldruckpegel L_p und Schalleistungspegel L_w

Zur Berechnung des Schalldruckpegels L_p in Räumen muss neben dem direkten Schallanteil - beschrieben durch die Lage der Schallquelle im Raum (Richtfaktor Q) und ihrem Abstand zum Messpunkt (d) [m] - auch die akustische Eigenschaft des Raums (indirekter Schallanteil) berücksichtigt werden. Nahe der Quelle überwiegt Direktschall, so dass die akustischen Raumeigenschaften vernachlässigbar sind.

$$L_p = L_w + 10 \times \underbrace{\lg\{Q/(4 \times \pi \times d^2)\}}_{\text{direkter Schallanteil}} + \underbrace{4/A}_{\text{indirekter Schallanteil}} \text{ [dB]} \quad \text{mit: } A = \text{äquivalente Absorptionsfläche [m}^2\text{]}$$

$$\text{mit: } A = 0.163 \times V/T; \quad V = \text{Raumvolumen [m}^3\text{]}$$

T = Nachhallzeit [s], (Zeit in der ein Schalldruckpegel nach beendeter Schallsendung um 60 dB abfällt. Bsp. Büro ~0,35s, Konzertsaal ~1,5 – 3s)

Für den **Richtfaktor Q** gilt:

Richtfaktor	Abstrahlung	Lage der Schallquelle
$Q = 1$	kugelförmig	in Raummitte
$Q = 2$	halbkugelförmig	auf Decke-, Boden- oder Wandmitte
$Q = 4$	viertelkugelförmig	in einer Raumkante
$Q = 8$	achtelkugelförmig	in einer Raumecke

4. Mittelung von Schallpegeln

Muss ein Mittelwert aus mehreren Schallpegeln gebildet werden (z.B. Messwerte), ist eine arithmetische Mittelwertbildung zulässig, wenn die Differenz zwischen Kleinst- und Höchstwert <5 dB.

5. Addition von Schallpegeln

Für die Addition mehrerer ungleicher Schallpegel gilt:

$$L_{\text{total}} = 10 \times \lg(10^{L_1/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \text{ [dB]} \quad \text{mit: } L_1 \dots L_n = \text{zu addierende Schallpegel [dB]}$$

Überschlagsmässig kann folgende Tabelle angewendet werden. Dies gilt sowohl für die Pegel einzelner Schallquellen als auch einzelner Frequenzen einer Schallquelle. Eine Erhöhung des Schallpegels um 10 dB entspricht einer wahrgenommenen Verdopplung der Lautstärke.

Differenz beider Einzelpegel [dB]	Gesamtpegel übertrifft den höheren Pegel um
0 – 1	3 dB
2 – 3	2 dB
4 – 9	1 dB
> 9	0 dB

6. Filter / Bewertete Schallpegel dB (x)

Um Schallmessungen dem menschlichen Gehör anzupassen, wurden verschiedene Filter (A-, B-, C-, D-Filter) entwickelt. Diese korrigieren die Messwerte in einem gewissen Frequenzbereich. Das für die Haustechnik übliche A-Filter schwächt Bässe und Höhen ab und verstärkt den Bereich zwischen 1 und 5 kHz. Die Tabelle in 7. zeigt die wichtigsten Korrekturwerte für den A-Bewertungsfilter.

7. Dämpfung von Schall

Die Wirkung von Schalldämpfern ist stark frequenzabhängig. Tiefe Frequenzen sind schwieriger zu reduzieren. Zur Berechnung der Schallpegelreduzierung durch ein Luftverteilsystem wird die Pegelreduktion je Frequenz von dem Pegel der Schallquelle subtrahiert (sh. Bsp.):

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{ges.} [dB]*
L _{Quelle} [dB]	74	69	60	54	48	45	33	75,4
ΔL _{Verteilkasten} [dB]	-3,7	-5,2	-21,3	-31,5	-22,4	-25,2	-19,4	-33,3
ΔL _{10m CTube 75} [dB]	-4	-6	-4	-2	-3	-10	0	
ΔL _{Dämpfer} [dB]	-16	-29	-43	-45	-47	-42	-31	-50,8
ΔL _A [dB]	-26,1	-16,0	-8,6	-3,2	0	1,2	+ 1,0	- 1,1
L _{red.} [dB]	24,2	12,8	-16,9	-27,7	-24,4	-31	-16,4	24,5

* Addition der Teilpegel zu L_{ges} s. Pkt. 5

8. Bau-Schalldämmmass R'

Mass zur Beschreibung des Schalldurchgangs durch ein Bauteil (z.B. eine Wand):

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \times \lg(S/A) \text{ [dB]} \quad \text{mit: } S = \text{Fläche des Trennbauteils [m}^2\text{]}, (A \text{ sh. Pkt. 3})$$

Frequenzbezogenes Schalldämmmass einer Wand (Bergersches Massengesetz):

[Nur gültig für einschalige Bauweise, diffusem Schallfeld und Frequenzen > 200 Hz;
für < 200 Hz ist für Schalldämmung Biegesteifigkeit der Wand massgeblich]

$$R' = 20 \times \lg(f) + 20 \times \lg(M) - 47 \text{ [dB]} \quad \text{mit: } f = \text{Frequenz [Hz]} \\ M = \text{flächenbezogene Masse [kg/m}^2\text{]}$$

Eine Verdopplung der Frequenz bewirkt eine Erhöhung des Schalldämmmasses um 6 dB, eine Halbierung der flächenbezogenen Masse bewirkt eine Reduzierung um 6 dB.

9. Bau-Schalldämmmass von Bauteilen aus Elementen unterschiedlicher Dämmung

$$R'_w = -10 \times \lg\{(S_1 \times 10^{-R_{w1}/10} + S_2 \times 10^{-R_{w2}/10})/S\} \text{ [dB]} \quad \text{bzw.}$$

$$R'_w = -10 \times \lg\{\sum S_i \times 10^{-(R_{wi}/10)}/S\} \text{ [dB]} \quad \text{für mehr als zwei Teile}$$

Beispiel: Ermittlung des Schalldämmmasses R'_w einer Decke (S = 50 m²) bei einer Reduktion der flächenbezogenen Masse der Decke von M₁ = 510 kg/m² (18cm Beton+4cm Estrich) auf 380 kg/m² in einem Bereich von (S₂ = 2 m²) (z.B. durch eingelegte ComfoTube 90 im Bereich des Verteilkastens):

aus 8. folgt:	für 500Hz	(für 60Hz)
R _{w1} ' = 20 × lg(500 Hz) + 20 × lg(510 kg/m ²) – 47	= 61 dB	(= 42.7 dB)
R _{w2} ' = 20 × lg(500 Hz) + 20 × lg(380 kg/m ²) – 47	= 58.6 dB	(= 40.2 dB)
R' _w = -10 × lg{(49 m ² × 10 ^{-5,7 dB} + 1 m ² × 10 ^{-5,1 dB})/50 m ² }	= 60.9 dB	(= 42.6 dB)

Fazit: Die mittlere Schwächung des Schalldämmmasses der Decke ist vernachlässigbar, jedoch existiert ein Bereich in dem die örtliche Schwächung knapp messbar ist.

10. Mündungsreflexion

Reduktion des Schallpegels am Luftaus-/eintritt (eines Kanalsystems/Ventilators) aufgrund der Reflexion der Schallenergie an den trägeren Luftteilchen der Umgebung

$$\Delta L_w = 10 \times \lg\{1 + (c/4\pi f_m)^2 \cdot 4\pi/(Q \cdot S_{eff})\} + m \cdot \{0,043 \cdot \lg(f_m \cdot S_{eff}^{0,5}) - 0,003\} \text{ [dB]}$$

$$\text{mit: } c = \text{Schallgeschwindigkeit 343 m/s} \quad f_m = \text{Oktavmittelfrequenz [Hz]} \quad Q = \text{sh. Pkt. 3} \\ S_{eff} = \text{Fläche Luftauslass [m}^2\text{]} \quad m = \text{Länge/Höhe des Luftauslasses}$$

Die Mündungsreflexion ist nur bei kleinen Öffnungen und tiefen Frequenzen von Bedeutung.

Beispiel: Ermittlung der Mündungsreflexion ΔL_w für einen Zuluftdurchlass (Gittergrösse: L = 0,26 m; H = 0,16 m, m = L / H = 1,6 und S_{eff} = L * H = 0,042 m²):

Position des Gitters	f _m = 125 Hz	f _m = 250 Hz
mittig in einer Wand (Q = 2)	ΔL _w = 9,2 dB	ΔL _w = 4,6 dB
in einer Raumecke (Q = 8)	ΔL _w = 4,5 dB	ΔL _w = 1,7 dB

05.11.2008/rbo