

HAWK - HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFT UND KUNST

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen in Hildesheim

Vorlesungsskripte zur Bauphysik Bachelorstudium

Schallschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck des Schallschutzes	3
2	Physikalische Grundlagen, Begriffe	3
2.1	Schwingungen und Wellen.....	3
2.2	Ausbreitung und Geschwindigkeit des Schalls.....	3
2.3	Frequenz (Schwingungszahl) f	4
2.4	Wellenlänge λ	5
2.5	Ton, Klang, Geräusch	6
2.6	Schall, Schallschutz	6
2.7	Schalldruck, Schalldruckpegel	7
2.8	Lautstärke	8
2.9	Addition mehrerer Schallpegel	9
3	Grundlagen zum Luftschallschutz.....	10
3.1	Allgemeines	10
3.2	Schalldämm-Maß R , R'	10
3.3	Bewertetes Schalldämm-Maß R_w und R'_{w}	12
3.4	Subjektive Wirkung der Schalldämmung.....	13
3.5	Abschätzung des Schallpegels im leisen Raum.....	13
3.6	Zusammenwirken von Flächenanteilen mit unterschiedlicher Schalldämmung ($R'_{w, res}$)	14
3.7	Grenzfrequenz, biegesteife Bauteile, biegeeweiche Schalen.....	15
3.8	Resonanzfrequenz zweischaliger Bauteile.....	16
4	Grundlagen zum Trittschallschutz.....	18
4.1	Allgemeines	18
4.2	Norm-Trittschallpegel L_n	18
4.3	Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$	18
4.4	Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von Deckenauflagen	19
4.5	Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$	20
4.6	Normtrittschallpegel von Massivdecken	21
5	Anforderungen an den Schallschutz	21
5.1	Vorbemerkung	21
5.2	Anforderungen an den Schallschutz im Inneren von Gebäuden	22
5.2.1	Allgemeines	22
5.2.2	Mindestanforderungen an die Luftschalldämmung in Wohngebäuden.....	23
5.2.3	Mindestanforderungen an die Trittschalldämmung in Wohngebäuden	23
5.3	Anforderungen an den Schallschutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen und Betrieben 24	
5.4	Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm	24
5.4.1	Grundlagen	24
5.4.2	Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen	25
5.4.3	Schallschutz gegen Fluglärm	26
6	Nachweis des geforderten Schallschutzes	26
6.1	Nachweis ohne bauakustische Messungen	26
6.2	Luftschalldämmung von schweren Außenbauteilen	27
6.2.1	Rechenwerte $R'_{w,R}$	27
6.2.2	Ermittlung von m'	28
6.3	Luftschalldämmung von leichten Außenbauteilen mit biegeweichen Schalen.....	29

6.3.1	Allgemeines Verhalten	29
6.3.2	Rechenwerte $R'_{w,R}$	30
6.4	Luftschalldämmung von Fenstern	31
6.5	Luftschalldämmung von Innenbauteilen	33
6.5.1	Allgemeines	33
6.5.2	Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Massivbauart	34
6.5.3	Luftschalldämmung von zweischaligen Gebäudetrennwänden	37
6.6	Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Holz- und Skelettbauart	38
6.6.1	Allgemeines	38
6.6.2	Nachweis	38
6.6.3	Rechenwerte	40
6.7	Trittschallschutz von Decken	42
6.7.1	Nachweis	42
6.7.2	Rechenwerte	44
6.8	Schutz vor Körperschall aus haustechnischen Anlagen	45

1 Zweck des Schallschutzes

Der Schallschutz in Gebäuden hat große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen, ist also ein Teil des Umweltschutzes. Besonders wichtig ist der Schallschutz im Wohnungsbau, weil die Wohnung dem Menschen sowohl zur Entspannung und zum Ausruhen dient als auch den eigenen häuslichen Bereich gegenüber dem Nachbarn abschirmen soll. Auch in Schulen, Krankenanstalten, Beherbergungsstätten und Bürobauten ist der Schallschutz von Bedeutung, um eine zweckentsprechende Nutzung der Räume zu ermöglichen.

Allerdings darf nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen werden; der dafür erforderliche bauliche Schallschutz wäre heute in den meisten Fällen nicht mehr bezahlbar. Die Notwendigkeit gegenseitiger Rücksichtnahme durch Vermeidung unnötigen Lärms bleibt daher bestehen.

2 Physikalische Grundlagen, Begriffe

2.1 Schwingungen und Wellen

Eine Schwingung ist eine periodische Bewegung eines Systems um seine Gleichgewichtslage. Den einfachsten Schwingungsverlauf stellt eine harmonische Schwingung oder auch Sinus-Schwingung dar.

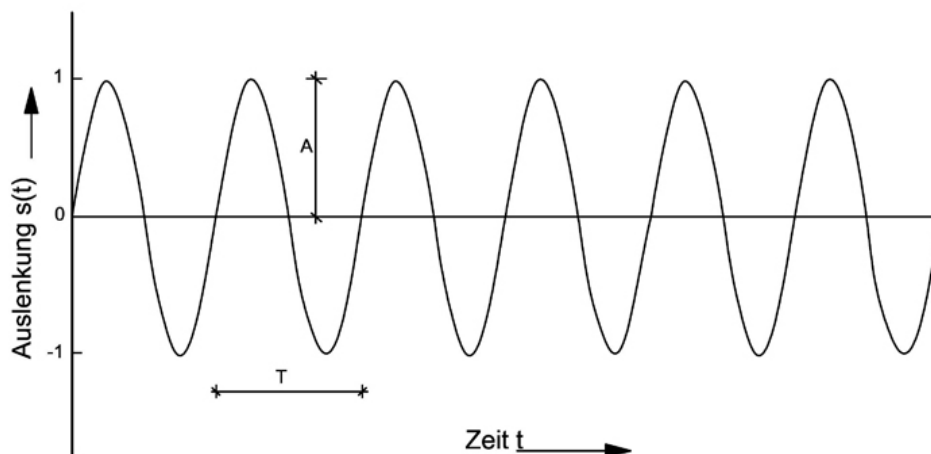


Bild 2-1 Harmonische Schwingung

Sich wellenförmig ausbreitende Schwingungen in elastischen, gasförmigen, flüssigen und festen Medien werden als Schall verstanden.

2.2 Ausbreitung und Geschwindigkeit des Schalls

Schall breitet sich in der Luft kugelförmig aus. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c einer Schallwelle hängt von den elastischen Eigenschaften des leitenden Stoffes ab; je elastischer der Stoff, desto kleiner ist c . Mit der Ausbreitung der Welle ist stets auch eine Dämpfung verbunden, die eine weitere Materialeigenschaft darstellt.

Stoff	Ausbreitungsgeschwindigkeit c [m/s]
Luft (bei 15 °C)	340
Stahl	5000
Gummi	40

Tab. 2-1 Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in verschiedenen Medien

2.3 Frequenz (Schwingungszahl) f

Die Anzahl der Schwingungen je Sekunde beschreibt die Frequenz

$$f = 1 / s \text{ [Hz]} \quad (2-1)$$

Mit zunehmender Frequenz nimmt die Tonhöhe zu. Eine Verdoppelung der Frequenz entspricht einer Oktave. Der tiefste Baßton auf dem Klavier hat etwa 30 Hz, der höchste über 4000 Hz (Kammerton a hat 440 Hz).

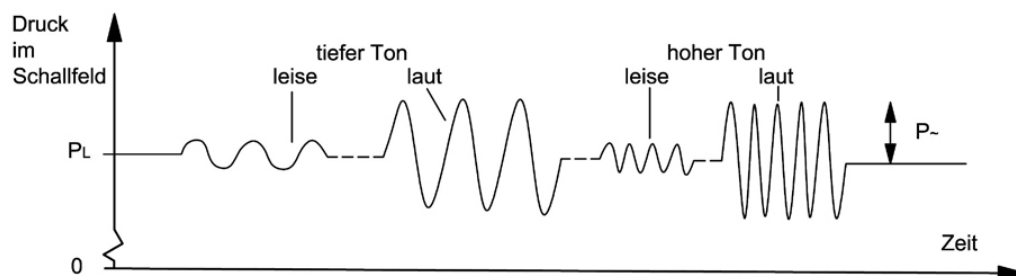


Bild 2-2 Unterschiedliche Töne, schematische Darstellung des Drucks in Abhängigkeit von der Zeit

Der menschliche Hörbereich umfasst etwa 16 Hz bis 16000 Hz. In der Bauakustik betrachtet man dagegen vorwiegend nur einen Bereich von 6 Oktaven mit den Frequenzen 125-250-500-1000-2000-4000Hz.

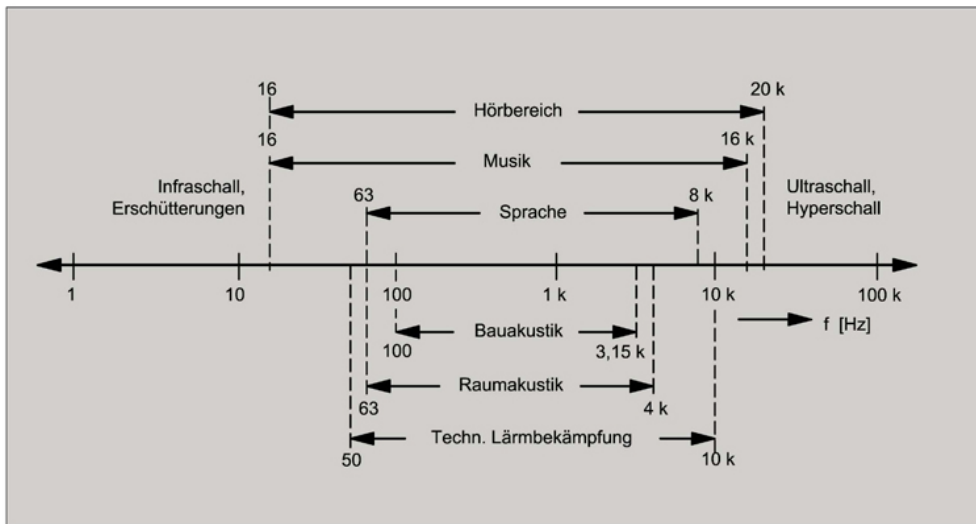


Bild 2-3 Frequenzbereiche der Akustik

2.4 Wellenlänge λ

Die Wellenlänge λ ergibt sich aus der Schallgeschwindigkeit c und der Frequenz f zu

$$\lambda = c/f \text{ [m]} \quad (2-2)$$

mit

λ Wellenlänge in m

c Schallgeschwindigkeit in m/s

f Frequenz in 1/s

Mit $c = 340$ m/s für die Luft ergeben sich für den bauakustischen Bereich 100 Hz ... 3200 Hz Wellenlängen λ zwischen etwa 10 cm und 3,4 m. So ergeben sich für folgende Messfrequenzen die dazugehörigen Wellenlängen λ :

Frequenz f [Hz]	Wellenlänge λ [m]
125	2,7
500	0,7
1000	0,34

Tab. 2-1 Wellenlängen verschiedener Frequenzen

Im Gegensatz zu den Wellenlängen des Lichts und der Wärme, die mikroskopisch klein sind, sind die Wellenlängen des Schalls in der Regel größer als die Dicken der Bauteile. Deshalb ist es beim Schallschutz - im Gegensatz zum Wärmeschutz - nicht möglich, die Dämmung der einzelnen Schichten eines Bauteils zu addieren! Auch Biegewellen in Bauteilen können beträchtliche Wellenlängen aufweisen (z.B. bei 100 Hz im Mauerwerk ca. 24 m). Die Wellenlängen solcher Biegewellen werden um so kleiner, je dünner und damit biegeweicher die plattenförmigen Bauteile werden.

Übungskript Beispiel 5-1

2.5 Ton, Klang, Geräusch

Eine Schallschwingung in Form eines sinusförmigen Verlaufs ohne weitere Nebenschwingung kennzeichnet einen Ton (Bsp. Stimmgabel). Durch die Überlagerung mehrerer einfacher Töne, deren Frequenzen in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen (Grundwelle und Oberwellen) entsteht ein Klang. Ein Geräusch ist aus vielen Teiltönen zusammengesetzt, deren Frequenzen nicht in einfachen Zahlenverhältnissen zueinander stehen. Ein Geräusch kann durch Filter zerlegt werden, z.B. in Frequenzbereiche von der Breite einer Oktave (Oktavfilter-Analyse) oder Drittel-Oktave (Terz) (Terzfilter-Analyse).

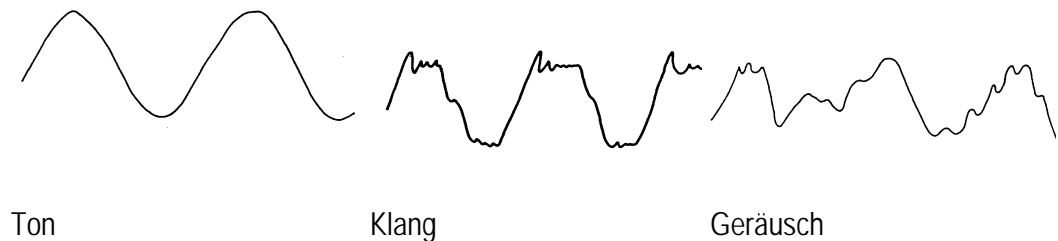


Bild 2-4 Einfacher oder reiner Ton, Klang, Geräusch

2.6 Schall, Schallschutz

Man unterscheidet:

- Luftschall: in Luft sich ausbreitender Schall
- Körperschall: in festen Stoffen sich ausbreitender Schall
- Trittschall: Schall, der beim Begehen und bei ähnlicher Anregung einer Decke als Körperschall entsteht und teilweise als Luftschall abgestrahlt wird.

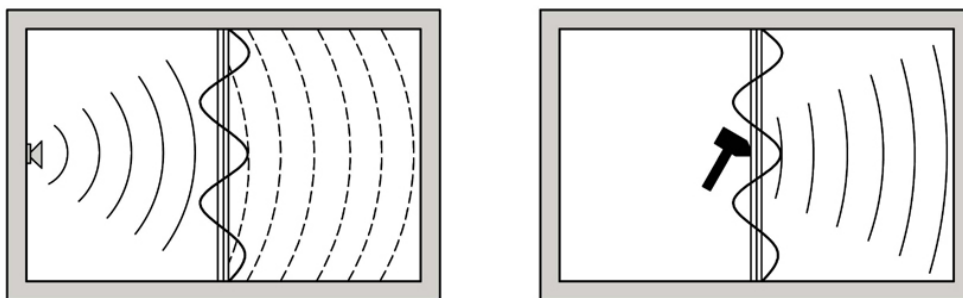


Bild 2-5 Luftschall- und Körperschallanregung

Unter Schallschutz versteht man :

- Maßnahmen gegen die Schallentstehung
- Maßnahmen, die die Schallübertragung von einer Schallquelle zum Hörer mindern. Dabei können sich Schallquellen und Hörer
 - a) in verschiedenen Räumen (Schallschutz hauptsächlich durch Schalldämmung) oder

b) im selben Raum befinden (Schallschutz durch Schallabsorption)

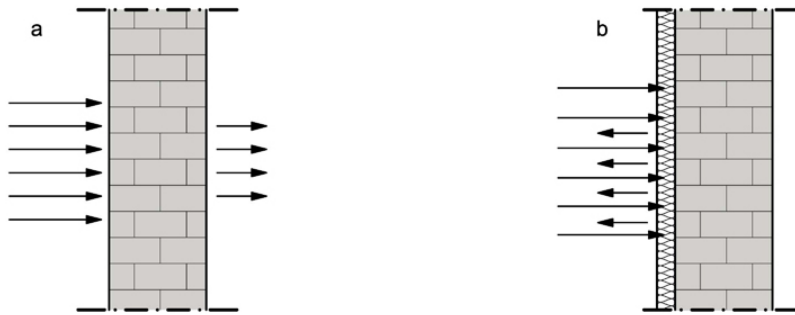


Bild 2-6 Schalldämmung (a) und Schallabsorption (Schallschluckung) (b)

2.7 Schalldruck, Schalldruckpegel

Der Schalldruck kann durch den Wechseldruck (Druckschwankung) gekennzeichnet werden, der sich dem atmosphärischen Druck der Luft ($1 \text{ atm} = 1,033 \text{ bar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \approx 100 \text{ kPa}$) überlagert. Er wird mit Mikrofonen gemessen. Gegenüber dem atmosphärischen Druck sind die auftretenden Schalldrücke von geringer Größe und liegen bei etwa $20 \text{ } \mu\text{Pa}$ (Hörschwelle) bis etwa 60 Pa (Schmerzgrenze).

Da sich die Empfindlichkeitsstufen des Gehörs nicht an absoluten sondern relativen Schalldruckänderungen orientieren, ist es in der Akustik üblich, nicht mit Schalldrücken p sondern mit daraus abgeleiteten Größen, den Schalldruckpegeln L_p zu arbeiten.

$$L_p = 20 \cdot \lg(p / p_0) \text{ [dB]} \quad (2-3)$$

mit

L_p Schalldruckpegel

p vorhandener Schalldruck

p_0 Bezugs-Schalldruck, international festgelegt ($2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ bzw. $20 \text{ } \mu\text{Pa}$)

Die Einheit des Schalldruckpegels ist 1 Dezibel = 1 dB (aus "dezi" (1/10 der Einheit Bel) und "Bel" (nach dem Erfinder des elektromagnetischen Telefons, Graham Bell)). Die Schalldruckpegel des Hörbereichs liegen zwischen 0 dB (Hörschwelle) und 130 dB (Schmerzgrenze). Schalldruckpegeländerungen von 1 dB sind gerade wahrnehmbare Größen. Das Dezibel an sich ist keine Größe, wie es z. B. Meter als Einheit der Länge oder Newton als Einheit der Masse sind. Dies wird aus der Definition für 1 Dezibel ersichtlich:

$$1 \text{ dB} = 10 \cdot \lg (x/x_0)$$

Verbal lautet diese Definition: „Ein Dezibel ist der zehnfache dekadische Logarithmus des Verhältnisses einer Größe x zur Basisgröße x_0 .“ Erst durch die Kenntnis der Basisgröße erhält also ein Dezibel eine Bedeutung. „20 dB“ bedeutet für sich betrachtet lediglich, dass die gemessene Größe „ x “ 100-mal so groß ist wie die Relativgröße „ x_0 “. Wenn „ x_0 “ bekannt ist, dann kann man auch eine Aussage über den gemessenen Wert „ x “ machen. Angewandt auf die Messung von Schalldrücken verwendet man i. A. den kleinsten messbaren bzw. hörbaren Wert als Bezugsgröße „ x_0 “. Ein Wert von 0 dB bedeutet also nicht, dass „nichts“ gemessen wurde, sondern dass Messgröße und der Bezugswert gleich groß sind. Das Verhältnis dieser beiden Größen beträgt 1 und der Logarithmus von 1 ist 0! Werte von 10 dB, 20 dB, ..., 60 dB oder z. B. 130 dB stehen also stellvertretend für Größenverhältnisse von 10-fach, 100-fach, ... 1-Million-fach oder 10^{13} -fach!

2.8 Lautstärke

Da das menschliche Ohr zwei Töne mit demselben Schalldruckpegel, aber unterschiedlicher Frequenz, als verschieden laut empfinden kann, hat man neben dem physikalischen Maß des Schalldruckpegels noch das subjektive Maß der Lautstärke eingeführt, die das Lautstärkeempfinden des menschlichen Ohrs kennzeichnen soll; Angaben in phon (keine physikalische Einheit). Definitionsgemäß ist der Lautstärkepegel eines 1000 Hz-Tones zahlenmäßig gleich groß wie der Schallpegel in dB. Der Bereich der Lautstärke zwischen der Hörschwelle und der Schmerzschwelle ist derzeit in 130 Phon unterteilt. Wie Bild 2-11 zeigt, ist das Ohr für tiefe Töne, vor allem bei kleinen Lautstärken, weniger empfindlich als für mittlere und hohe Frequenzen.

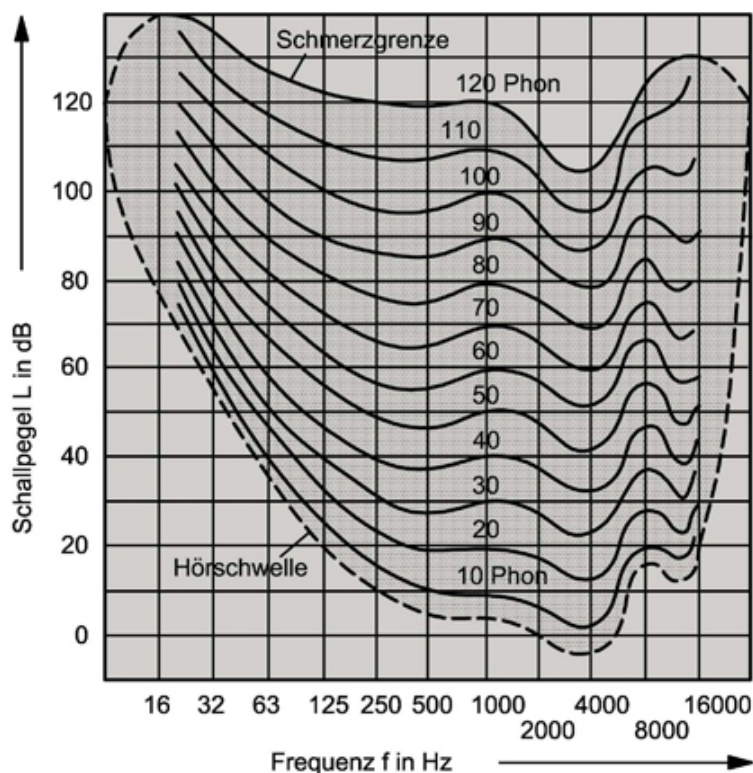


Bild 2-7 Hörfläche mit Kurven gleicher Lautstärkepegel für reine Töne

Um in der Praxis das menschliche Hörempfinden nachzubilden, wurde der sogenannte A-Schalldruckpegel (Einheit dB(A)) eingeführt, bei dem die verschiedenen Frequenzanteile eines Geräusches nach der sogenannten A-Frequenzbewertungskurve unterschiedlich bewertet werden. Neben der Bewertungskurve A wurden für mittlere Lautstärkepegel die Kurve B und für hohe Lautstärkepegel die Kurve C eingeführt. Die Schalldruckpegelkorrekturwerte sind für ausgewählte Frequenzen in Tabelle 2-2 dargestellt.

Frequenz Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Pegelkorrektur dB	- 16.1	- 8.6	- 3.2	0	1.2	1.0

Tab. 2-2 Schalldruckpegelkorrekturwerte für Frequenzbewertungskurve A (DIN EN 60651)

Eine Übersicht der A-Schalldruckpegel verschiedener Lärmquellen zeigt Tabelle 2-3.

Lärmquelle	A-Schalldruckpegel dB(A)
Verkehrslärm in lauter Straße	70 - 80 dB(A)
sehr laute Sprache	70 dB(A)
normale Sprache	60 dB(A)
ruhiger Raum, tagsüber	25 - 30 dB(A)
ruhiger Raum, nachts (abseits vom Verkehr)	10 - 20 dB(A)

Tab. 2-3 Richtwerte für den A-Schallpegel verschiedener Geräusche

Die Lautstärke-Skala ist zum Lautstärkeempfinden allerdings nicht streng linear proportional. So wird ein Geräusch, dessen Schallpegel um 10 dB(A) von 60 dB(A) auf 70 dB(A) erhöht wird, als doppelt so laut empfunden wie das ursprüngliche Geräusch. Bei leisen Geräuschen - z.B. Durchhören von Sprache oder Musik durch Wände oder Decken - und einem geringen Grundgeräuschpegel im Raum genügen wesentlich geringere Steigerungen des Schallpegels für das Gefühl der Verdoppelung.

2.9 Addition mehrerer Schallpegel

Treten zugleich mehrere Schallquellen mit verschiedenen Schallpegeln L_j auf, so gilt für den Gesamtpegel

$$L_{\text{ges}} = 10 \lg \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \text{ dB} \quad (2-4)$$

bei n gleichen Schallpegeln L_i gilt

$$L_{\text{ges}} = L_i + 10 \lg n \text{ dB} \quad (2-5)$$

Aus Gleichung (2-5) bzw. (2-6) geht hervor, dass sich der Schallpegel bei der Addition von 2 gleichen Pegeln um +3dB und bei 4 gleichen Pegeln um etwa +6dB erhöht.

Übungsskript Beispiel 5-2

3 Grundlagen zum Luftschallschutz

3.1 Allgemeines

Wird in einem Raum Luftschall erzeugt, dann werden die trennenden Bauteile zu benachbarten Räumen durch die periodisch auftretenden Über- und Unterdrücke der Schallwellen in Biegeschwingungen senkrecht zur Bauteilebene versetzt. Dadurch werden die Luftteilchen im Nachbarraum ebenfalls zu Schwingungen angeregt, womit auch dort Luftschall entsteht.

3.2 Schalldämm-Maß R , R'

Der Schallschutz zwischen zwei Räumen ergibt sich aus der Differenz der gemessenen Schalldruckpegelwerte $L_1 - L_2$ zwischen dem "lauten" Raum (Senderraum) und dem "leisen" Raum (Empfangsraum). Dieser Unterschied hängt in erster Linie vom Schalldämm-Maß (R) des trennenden Bauteils ab, das die Luftschalldämmung von Bauteilen kennzeichnet, aber auch davon, wie groß die Schallabsorption im Empfangsraum (durch Begrenzungsflächen und Gegenstände) und wie groß die Fläche des trennenden Bauteils ist.

Definition R :

Das Schalldämmmaß einer baulichen Konstruktion ist der 10-fache logarithmische Kehrwert des Schalltransmissionsgrades. $R = 10 \lg W_1/W_2$

W_1/W_2 Schall-Transmissionsgrad: Verhältnis der Schallenergie vor und hinter der baulichen Konstruktion

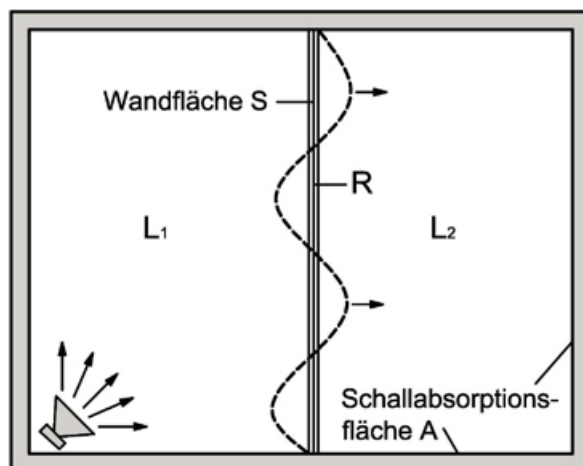


Bild 3-1 Messung der Luftschalldämmung zwischen zwei Räumen

Es ergibt sich definitionsgemäß:

$$L_1 - L_2 = R' - 10 \lg(S/A) \text{ dB} \quad (3-1)$$

mit

L_1 Schalldruckpegel im Senderraum [dB]

L_2 Schalldruckpegel im Empfangsraum [dB]

R' Schalldämm-Maß des trennenden Bauteils [dB], unter Berücksichtigung der flankierenden Bauteile

S Fläche der Trennwand [m²]

A Äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes [m²];

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i + A_L$$

α Schallabsorptionsgrad der Oberfläche, Verhältnis der absorbierten, d.h. nicht reflektierten, zur auftreffenden Energie. Bei vollständiger Reflexion ist $\alpha = 0$, bei vollständiger Absorption ist $\alpha = 1$.

S_i gesamte Oberflächen des Empfangsraumes einschl. Personen und Gegenständen [m²]

A_L äquivalente Schallabsorptionsfläche der Luft [m²]

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraums wird bei Messungen durch die Nachhallzeit bestimmt. Sie errechnet sich aus:

$$A = 0,163 \cdot V/T \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-2)$$

mit

V Volumen des Empfangsraumes (m³)

T Nachhallzeit (s)

Die Nachhallzeit T kennzeichnend das Schallschluckvermögen des Raumes. Es ist die Zeitspanne, während der der Schallpegel nach Beenden einer Schallsendung um 60 dB abfällt.

In einem kahlen Empfangsraum ist die Schallpegeldifferenz und damit die empfundene Dämmung kleiner als in einem möblierten Raum, auch wenn das gleiche trennende Bauteil verwendet wurde. Für $A = S$ ergibt sich R' direkt aus $R' = L_1 - L_2$

Aus der Schalldruckpegeldifferenz lässt sich das Schalldämm-Maß R , das die Luftschalldämmung von Bauteilen kennzeichnet bestimmen:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A) \text{ dB} \quad (3-3)$$

R' ist von der Frequenz abhängig und wird bei einer Messung für die einzelnen Frequenzbereiche getrennt ermittelt. In Bezug auf die Schallübertragung wird unterschieden in:

- R "Labor-Schalldämm-Maß" bei ausschließlicher Übertragung durch das zu prüfende trennende Bauteil (Übertragungsweg D_d)

- R' unter Berücksichtigung der zusätzlichen Flankenübertragung im Prüfstand oder am Bau (Übertragungsweg D_f, F_d, F_f). Der Großbuchstabe kennzeichnet die Eintrittsfläche der Kleinbuchstabe die Austrittsfläche, D bzw. d beschreibt das direkte Trennelement, F bzw. f kennzeichnet das flankierende Bauteil).

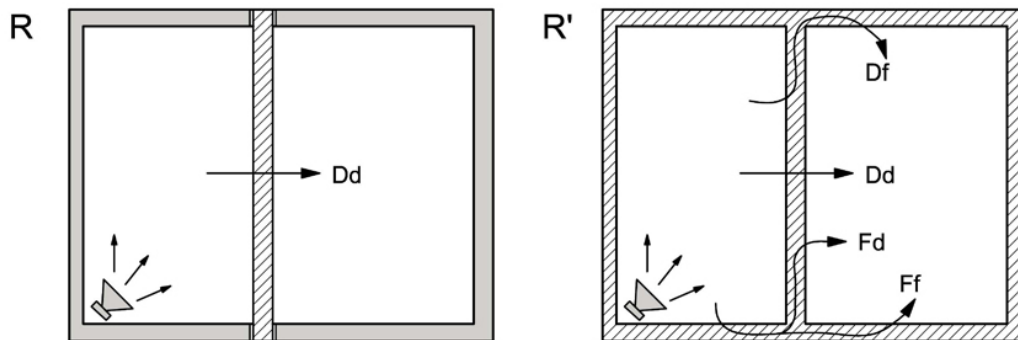


Bild 3-2 Unterschied zwischen Schalldämm-Maß R (ohne) und R' (mit Flankenübertragung) und Kurzbezeichnung der Schallübertragungswege

R' ist (bei Vernachlässigung von $10 \lg(S/A)$) das Verhältnis der auf ein Bauteil auftreffenden Schallenergie P_1 zu der auf seiner Rückseite in den Nachbarraum abgegebenen Energie P_2 in folgender Beziehung:

$$R' = 10 \lg(P_1/P_2) \text{ dB}$$

Ein Schalldämm-Maß $R' = 30 \text{ dB}$ bedeutet, dass das Verhältnis $P_2/P_1 = 1/1000$ beträgt; wegen der großen Empfindlichkeit des menschlichen Ohres wird dieses Verhältnis und damit die Dämmung als sehr schlecht empfunden. $R' = 50 \text{ dB}$ bedeutet $P_2/P_1 = 1/100\,000$.

Für die praktische Anwendung ist der gemessene, frequenzabhängige Verlauf von R, R' unzweckmäßig. Deshalb werden in der Baupraxis nur die Einzahl - Angaben R_w , R'_w verwendet.

Übungsskript Beispiel 5-3

3.3 Bewertetes Schalldämm-Maß R_w und R'_w

Die Kurve des gemessenen Schalldämm-Maßes R bzw. R' wird mit dem Verlauf einer Bezugskurve verglichen, die vereinfachend den idealen Verlauf (nicht die ideale Größe) der Schalldämmung eines Bauteils unter Berücksichtigung der geringeren Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für tiefe Frequenzen darstellt (Bild 3-3). Diese Bezugskurve wird nun so weit in Richtung der Ordinate um ganze dB parallel verschoben, bis die mittlere Unterschreitung der Bezugskurve durch die Meßkurve nicht mehr als 2 dB beträgt; Überschreitungen dürfen dabei nicht berücksichtigt werden. Aus der Verschiebung der Bezugskurve ergibt sich das bewertete Schalldämm-Maß R_w bzw. R'_w des Bauteils, wobei der Wert bei der Frequenz $f = 500 \text{ Hz}$ abzulesen ist. Die Lage der Bezugskurve bei 500 Hz entspricht 52 dB.

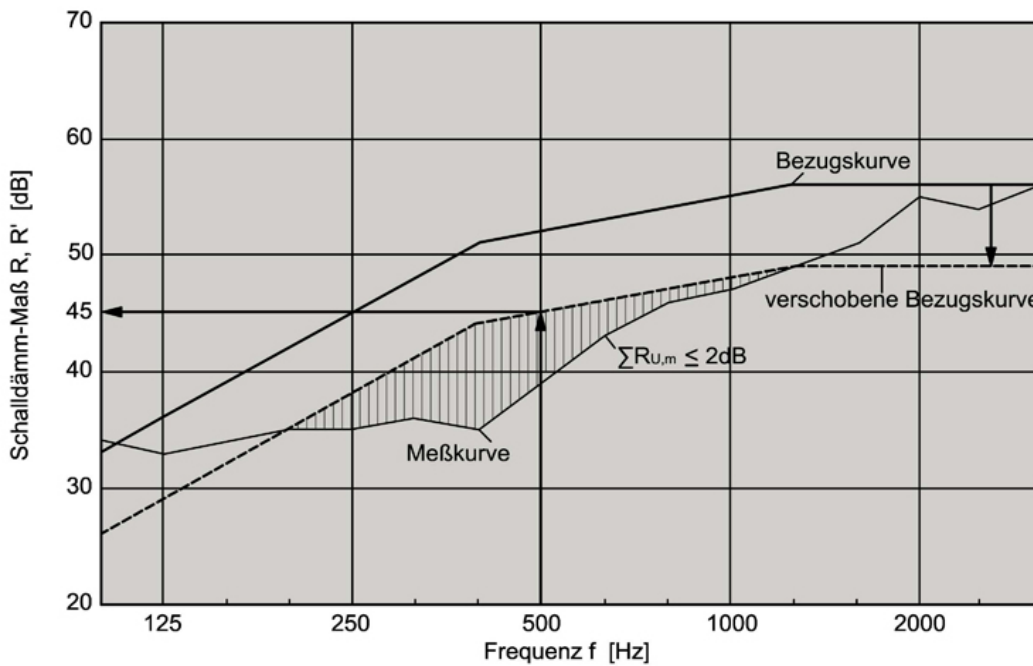


Bild 3-3 Ermittlung des bewerteten Schalldämm- Maßes R, R'_w

3.4 Subjektive Wirkung der Schalldämmung

Wie stark Geräusche aus dem lauten Raum noch im leisen Raum verständlich sind, hängt nicht nur von der Schalldämmung zwischen den beiden Räumen ab (R'_w), sondern auch von der Größe des Grundgeräuschpegels im leisen Raum (vgl. Tabelle 3-1). Die Schalldämmung von Bauteilen sollte daher in ruhiger Umgebung besonders gut sein.

R'_w in dB bei Grundgeräuschpegel		Normale Sprache ist durch das Bauteil hindurch
20 dB(A)	30 dB(A)	
67	57	nicht zu hören
57	47	zu hören, jedoch nicht zu verstehen
52	42	teilweise zu verstehen
42	32	gut zu verstehen

Tab. 3-1 Durchhören von Sprache (nach Gösele)

3.5 Abschätzung des Schallpegels im leisen Raum

Bei der Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen (R_w, R'_w) wird von den einzelnen Frequenzbereichen ausgegangen, die entsprechend der frequenzabhängigen Empfindlichkeit des menschlichen Ohres unterschied-

lich eingehen. Ähnlich ist die Vorgehensweise bei der "Bewertung" von Geräuschen mit der Einzahlangabe des Lautstärkepegels (Schallpegel) in dB(A), wobei aus demselben Grund die einzelnen Frequenzbereiche ebenfalls mit unterschiedlichem Gewicht eingehen.

Wegen dieser qualitativ gleichartigen Behandlung der Schallpegel und der Schalldämmung folgt in grober Annäherung :

$$L_i \approx L_a - R'_w \quad (3-4)$$

mit

L_a	Schallpegel im lauten Raum [dB(A)]
L_i	Schallpegel im leisen Raum [dB(A)]
R'_w	Bewertetes Schalldämm-Maß des Bauteils [dB]

Beispiel: Trennwand zwischen 2 Wohnungen mit $R'_w = 52$ dB; im "lauten" Raum $L_a = 80$ dB(A), im "leisen" Raum $L_i \approx 80 - 52 = 28$ dB.

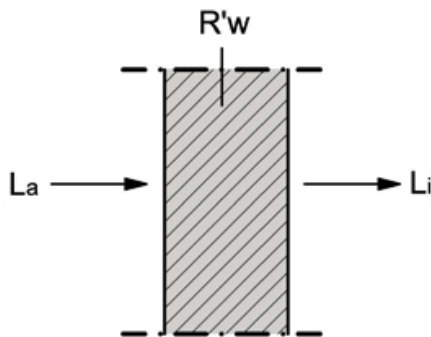


Bild 3-4 Trennendes Bauteil

Anmerkung: Die Mindestanforderungen der DIN 4109 an die Bauteile sind derart konzipiert, dass im "leisen" Raum in aller Regel ein Schallpegel L_i von etwa 30 dB(A) bis 40 dB(A) eingehalten wird, wenn der Schallpegel L_a im "lauten" Raum oder im Freien den Annahmen der Norm entspricht.

3.6 Zusammenwirken von Flächenanteilen mit unterschiedlicher Schalldämmung ($R'_{w\text{res}}$)

Werden z.B. Fenster oder Türen in Wände eingebaut, dann ergibt sich aus der energetischen Addition aller beteiligten Einzelübertragungen das resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w\text{res}}$ aus:

$$R'_{w\text{res}} = -10 * \lg \left(\frac{1}{A_{\text{ges}}} \left(A_1 * 10^{-\frac{R'_{w1}}{10}} + A_2 * 10^{-\frac{R'_{w2}}{10}} + \dots + A_n * 10^{-\frac{R'_{wn}}{10}} \right) \right) \quad [\text{dB}] \quad (3-5)$$

mit

A_1 bis A_n Flächen der einzelnen Elemente des Bauteils

$A_{\text{ges}} = \sum_1^n A_n$ Summe der Einzelflächen

R'_{w1} bis R'_{wn} bewertete Schalldämm-Maße (R'_w bzw. R_w) der einzelnen Elemente des Bauteils

Der Wert $R'_{w\text{res}}$ liegt dabei immer zwischen dem kleinsten und größten Einzelwert R'_{wn} .

Übungsskript Beispiel 5-4

3.7 Grenzfrequenz, biegesteife Bauteile, biegeweiche Schalen

Die Luftschalldämmung einschaliger, homogener, dichter Bauteile hängt in erster Linie von ihrer flächenbezogenen Masse m' ab (vgl. Bild 3-5). Die Schalldämmung einschaliger Bauteile ist also um so besser, je größer m' ist.

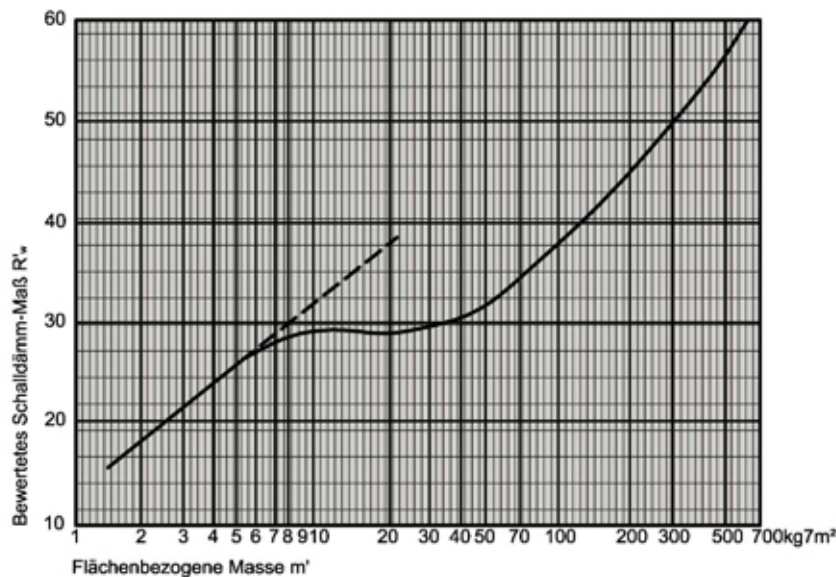


Bild 3-5 Bewertetes Schalldämm- Maß R'_w von einschaligen Wänden und Decken in Abhängigkeit von ihrer flächenbezogenen Masse m'

Gestrichelt eingezeichnete Gerade gilt für Platten von besonders geringer Biegesteifigkeit, z.B. Stahl- oder Bleiblech, Gummiplatten

Daneben wird die Schalldämmung - vor allem bei dünnen Bauteilen - auch noch von der Biegesteifigkeit beeinflusst.

3.8 Resonanzfrequenz zweischaliger Bauteile

Zweischalige Bauteile, bei denen die beiden Schalen über eine Dämmschicht oder eine Luftschicht miteinander verbunden (gekoppelt) sind, stellen ein Masse-Feder-System dar. Zweischalige Bauteile sind z. B. Metallständerwände, biegesteife Wände mit einer Vorsatzschale oder schwimmende Estriche auf Massivdecken.

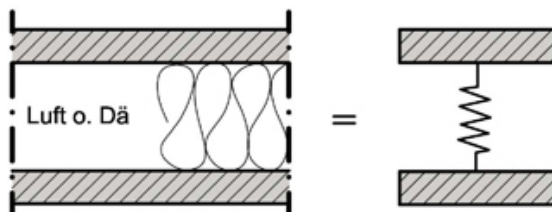


Bild 3-6 Zweischaliges Bauteil als Masse- Feder- System (schematisch)

Das Schwingungssystem eines zweischaligen Bauteils besitzt eine Resonanzfrequenz f_0 (Eigenfrequenz), bei der sich für die Massen unter Einwirkung eines Wechseldruckes die größte Schwingungsamplitude ergibt. Bei solchen Systemen sind 3 Frequenzbereiche zu unterscheiden :

- $f < f_0$ beide Massen schwingen, als wenn sie starr gekoppelt wären (Dämmwirkung wie für gleich schweres, einschaliges Bauteil)
- $f \approx f_0$ Amplituden sind größer als die Anregung (starke Verschlechterung der Dämmwirkung)
- $f > f_0$ Amplituden werden kleiner als die Anregung (immer stärkere Verbesserung der Dämmwirkung).

Vorsatzschalen bewirken also nur dann eine Verbesserung gegenüber dem einschaligen Bauteil, wenn die Resonanzfrequenz f_0 des zweischaligen Systems möglichst tief, d.h. an der unteren Grenze des uns interessierenden Frequenzbereiches (100 Hz) oder darunter liegt. Für einige Konstruktionen sind die Gleichungen für die Abschätzung von f_0 im folgenden Bild (Bild 4-9) angegeben.

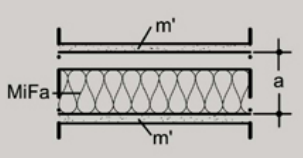
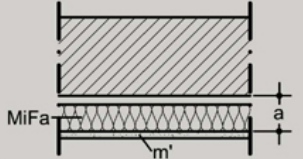
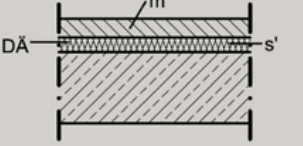
Aufbau	$f_0 =$	Bauteile (Beispiele)
	$\frac{85}{\sqrt{m' \cdot a}}$	Wand aus 2 biegeweichen Schalen
	$\frac{60}{\sqrt{m' \cdot a}}$	Biegesteife Wand mit Vorsatzschale
	$160 \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}}$	Wand mit Vorsatzschale, beide mit DÄ vollflächig starr verbunden. Massivdecke mit schwimmendem Estrich

Bild 3-7 Eigenfrequenz f_0 zweischaliger Bauteile

m' : Masse der biegeweichen Schale (kg/m^2), a : Abstand der Schalen (m)
 s' : dynamische Steifigkeit der Dämmschicht (MN/m^3),
 MiFa: mineralischer Faserdämmstoff

Wie aus Bild 3-9 ersichtlich ist, ist die Lage der Resonanzfrequenz für massive Bauteile mit starr verbundenen Vorsatzschalen, wie schwimmenden Estrichen oder massiven Wänden mit einem Wärmedämmverbundsystem abhängig von der Größe der dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht. Als dynamische Steifigkeit wird der Widerstand einer Feder gegen eine Wechselkrafteinwirkung bezeichnet. Je geringer die dynamische Steifigkeit ist, desto größer ist sein Federungsvermögen. Die dynamische Steifigkeit sollte möglichst gering gewählt werden, damit die Resonanzfrequenz außerhalb des bauakustisch relevanten Bereichs liegt (Bild 3-10).

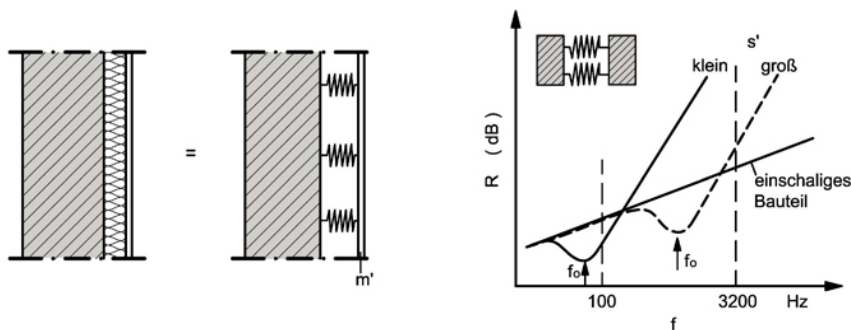


Bild 3-8 Einfluss der Steifigkeit s' des Dämmstoffs oder der Luftschicht zwischen den beiden Schalen eines Bauteils auf die Schalldämmung R

4 Grundlagen zum Trittschallschutz

4.1 Allgemeines

Decken werden durch Körperschallanregungen, wie zum Beispiel Begehen oder Stühlerücken, in Biegeschwingungen versetzt. Die Schwingungen werden auf angrenzende Bauteile übertragen, so dass die Schallübertragung auch in weiter entfernte Räume stattfinden kann. Die Dämmung dieser Geräusche wird als Trittschalldämmung bezeichnet. Als kennzeichnende Größe wird der Norm-Trittschallpegel L_n verwendet.

4.2 Norm-Trittschallpegel L_n

Zur Bestimmung des Norm-Trittschallpegels wird die Decke durch ein genormtes Hammerwerk angeregt. Gemessen wird zunächst der Trittschallpegel L_T im zu beurteilenden, zumeist darunter liegenden Raum, und zwar getrennt für die einzelnen Frequenzbereiche (Terzen). Dieser Schallpegel wird von der Schallabsorption im Empfangsraum, d.h. von dessen Ausstattung beeinflusst. Daher wird für die Bewertung der Trittschalldämmung einer Decke der Norm-Trittschallpegel L_n herangezogen, das ist derjenige Pegel, der im Empfangsraum vorhanden wäre, wenn in diesem $A = A_0$ wäre, wobei die Bezugs-Schallabsorptionsfläche A_0 zu 10 m^2 angenommen wird (mäßig möblierter Raum). Es ist:

$$L_n = L_T + 10 \cdot \lg(A/A_0) \text{ dB} \quad (4-1)$$

mit

L_n	Norm-Trittschallpegel [dB]
L_T	gemessener Trittschallpegel im Empfangsraum [dB]
A	äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes (m^2)
A_0	Bezugs-Absorptionsfläche (10 m^2)

4.3 Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$

Die Messkurve für L_n (L'_n bei Messung mit Nebenwegen) von Decken in fertigem Zustand wird mit einer vorgegebenen Bezugskurve B_V verglichen (Bild 5-1). Diese Bezugskurve berücksichtigt, dass das menschliche Ohr für hohe Frequenzen empfindlicher ist als für tiefe. Die Parallelverschiebung der Bezugskurve in ganzen dB kennzeichnet den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ der gemessenen Decke, wobei die Überschreitung der verschobenen Bezugskurve B_V durch die Messkurve M im Mittel nicht größer sein darf als 2 dB (Unterschreitungen werden nicht berücksichtigt). Die Verschiebung der Bezugskurve zu niedrigeren Pegelwerten ist positiv, zu höheren Pegelwerten negativ. Früher wurde für diese Größe das Trittschallschutzmaß TSM verwendet. Diese Größen stehen in folgender Beziehung zueinander

$$\text{TSM} = 63 \text{ dB} - L_{n,w} \quad (4-2)$$

Bei der Bewertung von Messergebnissen für die Trittschalldämmung liegen entgegengesetzte Verhältnisse zur Luftschalldämmung vor. Während beim Luftschall (R_w, R'_w) von Dämm - Maßen (R') ausgegangen wird (je größer die gemessenen Werte, desto besser die Schalldämmung, eine Verschiebung der Bezugskurve nach unten bedeutet ein schlechteres Dämm-Maß (Bild 3-3)), wird beim Trittschall ($L_{n,w}, L'_{n,w}$) von Schallpegeln im Empfangsraum ausgegangen. Je größer die dort gemessenen Werte, desto schlechter die Schalldämmung und eine Verschiebung der Bezugskurve nach unten bedeutet ein besseres Dämm-Maß. Der Wert der verschobenen Bezugskurve bei $f = 500 \text{ Hz}$ gibt den Einzahlwert des bewerteten Norm-Trittschallpegels an (Bild 4-1).

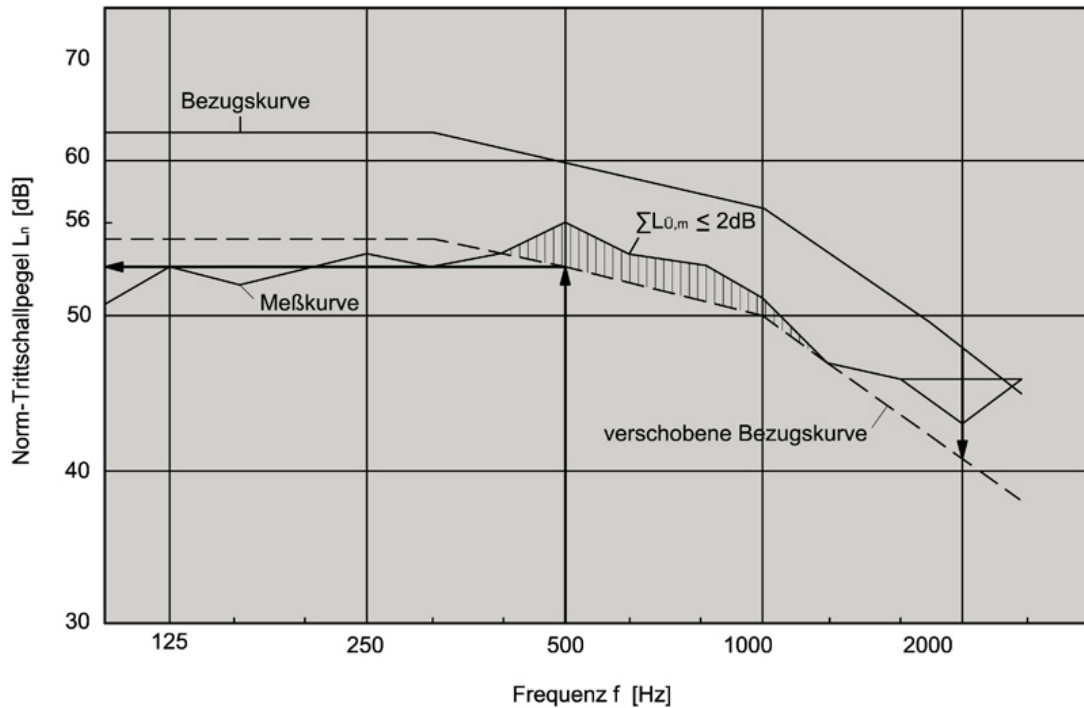


Bild 4-1 Ermittlung des Norm-Trittschallpegels einer Decke

4.4 Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von Deckenauflagen

Wird eine Deckenauflage, wie beispielsweise ein schwimmender Estrich oder ein Gehbelag, auf eine Rohdecke aufgebracht, so verringert sich im Allgemeinen der Trittschallpegel der Konstruktion. Die trittschallmindernde Wirkung einer Deckenauflage ergibt sich aus der Differenz des Norm-Trittschallpegels einer Decke ohne und mit Deckenauflage in Abhängigkeit der Frequenz:

$$\Delta L_n = L_{n,0} - L_{n,1} \quad [\text{dB}] \quad (4-3)$$

mit

ΔL_n Trittschallminderung je Terz

$L_{n,0}$ Norm-Trittschallpegel der Decke ohne Fußboden (Rohdecke)

$L_{n,1}$ Norm-Trittschallpegel der Decke mit Fußboden (Fertigdecke)

Da die Verbesserungswirkung der Deckenauflage in gewissem Grad von der Art der Rohdecke abhängt, wird die trittschallmindernde Wirkung einer Deckenauflage im Laboratorium auf einer einheitlichen Norm-Rohdecke (Stahlbetondecke, $d = 140 \pm 20$ mm) gemessen. Die so gewonnenen Trittschallminderungen werden in Abhängigkeit der Frequenz von den idealisierten Norm-Trittschallpegeln einer Bezugsdecke $L_{n,r,0}$ abgezogen. Der bewertete Norm-Trittschallpegel der Bezugsdecke beträgt $L_{n,r,0,w} = 78$ dB. Die **bewertete Trittschallminderung ΔL_w** ergibt sich aus der Differenz der bewerteten Norm-Trittschallpegel der Bezugskurve ($L_{n,r,0,w}$) und der neu gewonnenen Trittschallkurve einer fiktiven wohnfertigen Decke ($L_{n,r,w}$):

$$\Delta L_w = L_{n,r,0,w} - L_{n,r,w} = 78 - L_{n,r,w} \quad [\text{dB}] \quad (4-4)$$

Früher wurde die Trittschallminderung als Trittschallverbesserungsmaß VM gekennzeichnet.

4.5 Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$

Da in der Praxis immer wieder interessiert, welche Rohdecke und welche Deckenauflage (z.B. schwimmender Estrich) zu verwenden sind, um einen vorgegebenen zulässigen Norm-Trittschallpegel einzuhalten, ist für die Beurteilung der Rohdecke neben dem Trittschallverbesserungsmaß der Deckenauflage der äquivalente bewertete Normtrittschallpegel der Rohdecke entscheidend. Dieser kennzeichnet die Trittschalldämmung einer Rohdecke unter Berücksichtigung ihrer mit einer üblichen Deckenauflage (einem schwimmendem Estrich mittlerer Qualität) zu erwartenden Eignung als Fertigdecke.

Der äquivalente Norm-Trittschallpegel wird aus dem Norm-Trittschallpegel der Rohdecke berechnet, indem zunächst von den gemessenen $L_{n,0}$ -Werten bestimmte Trittschallminderungen ΔL_r einer Bezugsdeckenauflage subtrahiert werden. Anschließend wird der bewertete Norm-Trittschallpegel dieser gedachten Deckenkonstruktion $L_{n,1,w}$ gebildet und die bewertete Trittschallminderung einer Bezugsdeckenauflage von $\Delta L_{r,w} = 19$ dB addiert.

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Deckenart	Flächenbezogene Masse ¹⁾ der Massivdecke ohne Auflage kg/m ²	$L_{n,w,eq,R}^{(2)}$ (TSM _{eq,R} ⁽²⁾) dB	
			ohne Unterdecke	ohne Unterdecke ³⁾ ⁴⁾
1	Massivdecken nach Tabelle 11	135	86 (-23)	75 (-12)
2		160	85 (-22)	74 (-11)
3		190	84 (-21)	74 (-11)
4		225	82 (-19)	73 (-10)
5		270	79 (-16)	73 (-10)
6		320	77 (-14)	72 (-9)
7		380	74 (-11)	71 (-8)
8		450	71 (-8)	69 (-6)
9		530	69 (-6)	67 (-4)

¹⁾ Flächenbezogene Masse einschließlich eines etwaigen Verbundestrichs oder Estrichs auf Trennschicht und eines unmittelbar aufgetragenen Putzes.
²⁾ Zwischenwerte sind gradlinig zu interpolieren und auf ganze dB zu runden.
³⁾ Biegeweihe Unterdecke nach Tabelle 11, Zeilen 7 und 8, oder akustisch gleichwertige Ausführungen.
⁴⁾ Bei Verwendung von schwimmenden Estrichen mit mineralischen Bindemitteln sind die Tabellenwerte für $L_{n,w,eq,R}$ um 2 dB zu erhöhen (beim (TSM_{eq,R} um 2 dB abzumindern) (z.B. Zeile 1, Spalte 4: 75 + 2 = 77 dB (-12 - 2 = 14 dB)).

Tab. 4-1 Äquivalenter bewerteter Norm - Trittschallpegel $L_{n,w,eq,R}$ (äquivalentes Trittschallschutzmaß TSM_{eq,R}) von Massivdecken in Gebäuden in Massivbauart ohne/mit biegeweiher Unterdecke (Rechenwerte)

4.6 Normtrittschallpegel von Massivdecken

Der Normtrittschallpegel der Gesamtkonstruktion (Rohdecke + Deckenauflage) ergibt sich zu

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w \text{ dB} \quad (4-5)$$

Werden zwei Deckenauflagen gleichzeitig aufgebracht, wie zum Beispiel ein schwimmender Estrich und ein Teppichboden, dann ist als ΔL_w nur der höhere Wert, entweder des schwimmenden Bodens oder des weichfedernden Bodenbelags zu berücksichtigen.

Für den Nachweis nach DIN 4109 dürfen weichfedernde Bodenbeläge aufgrund der möglichen Austauschbarkeit und des Verschleiß nicht angerechnet werden.

5 Anforderungen an den Schallschutz

5.1 Vorbemerkung

Nachfolgend wird nur der allgemeine Hochbau und auch dieser nur auszugsweise behandelt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Schutz

- im Gebäudeinnern (Luft- und Trittschallschutz von Innenbauteilen) und
- gegen Außenlärm (Luftschallschutz von Außenbauteilen).

Die Anforderungen sind in DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise - (Ausgabe 1989) festgelegt. Insgesamt gilt es jedoch zu unterscheiden zwischen bauordnungs- (öffentlich-) rechtlichen und privatrechtlichen Anforderungen:

öffentlich-rechtlich	privatrechtlich
Mindestanforderungen	3 Schallschutzstufen
DIN 4109: Schallschutz im Hochbau Anforderungen und Nachweise	VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für die Planung und Beurteilung
bauaufsichtlich eingeführt (Landesbauordnungen)	müssen im Einzelfall vertraglich vereinbart werden
Schutzziel: "Schutz von Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragungen"	Schutzziel, - Wahrung Privatsphäre, Intimität - Verwirklichung der persönl. Entfaltung - friedliche Nachbarschaft ermöglichen
"Aufgrund der festgelegten Anforderungen kann nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen werden"	"gewisse Rücksichtnahme auf den Nachbarn und gelegentliche Nachsicht ihm gegenüber" "... nur mit ungewöhnlich hohem technischen Auf-

<p>„... Notwendigkeit gegenseitiger Rücksichtnahme.“</p> <p>„... keine ungewöhnlich starken Geräusche verursacht werden.“</p>	<p>wand möglich, laut feiernden Nachbarn nicht mehr zu hören"</p>
	<p>Einfluss nicht akustischer Faktoren auf Lärmwirkungen wird hervorgehoben.</p> <p>"Soziales Klima von Bedeutung für Belästigungs-Empfindlichkeit"</p>

5.2 Anforderungen an den Schallschutz im Inneren von Gebäuden

5.2.1 Allgemeines

Durch Mindestanforderungen zwischen fremden Wohn- oder Arbeitsbereichen soll der Mensch in Aufenthaltsräumen vor unzumutbarer Luft- und Trittschallübertragung (Sprache, Musik, Gehen, Stühlerücken, Haushaltsgeräte u. dgl.) geschützt werden.

Angegeben werden Grenzwerte für die Schalldämmung der betreffenden Bauteile (z.B. Wand, Decke, Tür), ausgedrückt durch das

- bewertete Schalldämm-Maß R'_w (dB) - bei Türen R_w - für die Luftschalldämmung
 - bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ (dB) für den Trittschallpegel von Decken,
- die nicht unter- bzw. überschritten werden dürfen.

Die Mindestanforderungen sind so bemessen, dass Menschen in Aufenthaltsräumen bei vertretbarem baulichem Aufwand vor Belästigungen durch Schallübertragungen geschützt werden, wenn in den benachbarten Räumen keine ungewöhnlich starken Geräusche verursacht werden (Annahme: etwa $L_{Raum} \leq 75$ dB(A)). Es kann jedoch nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen werden.

Die für ein trennendes Bauteil geforderten Werte sind von diesem Bauteil im Zusammenwirken mit den flankierenden Bauteilen einzuhalten; die Angaben beziehen sich also nicht auf das trennende Bauteil allein, sondern auf die resultierende Schalldämmung zwischen den beiden Räumen. Der Einfluss flankierender Teile auf die Schalldämmung kann erheblich sein und die Schalldämmung des eigentlichen trennenden Bauteils u.U. entscheidend verschlechtern.

Neben den verbindlichen Mindestanforderungen gibt es noch

- Richtwerte für den Schallschutz innerhalb des eigenen Wohn- oder Arbeitsbereichs sowie andere Normen und Vorschriften (TA Lärm, Bundesimmissionsschutzgesetz, Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, VDI 4100, Verordnung über Arbeitsstätten ...) und
- Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz zwischen fremden Bereichen oder innerhalb des eigenen Bereiches,

die in DIN 4109 Beiblatt 2 lediglich empfohlen werden. Die Anwendung dieser Werte ist freigestellt und bedarf der Vereinbarung, z.B. zwischen Bauherr und Entwurfsverfasser.

5.2.2 Mindestanforderungen an die Luftschalldämmung in Wohngebäuden

Nachstehend aus DIN 4109 einige Angaben für die Mindestanforderungen R'_w zwischen fremden Räumen.

Bauteil	Anforderung erf. R'_w [dB]
Wohnungstrennwand	53 dB
Treppenraumwand	52 dB
Haustrennwand von Einfamilien- Reihenhäusern	57 dB
Wohnungstrenndecken	54 dB
Wohnungstrenndecken bei Gebäuden mit nicht mehr als 2 Wohnungen	52 dB
Decken über Kellern	52 dB
Decken unter nutzbaren Dachräumen	53 dB
Decken unter nutzbaren Dachräumen bei Gebäuden mit nicht mehr als 2 Wohnungen	52 dB

Tab. 5-1 **Erforderliche Luftschalldämmung zum Schutz gegen Übertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich**

5.2.3 Mindestanforderungen an die Trittschalldämmung in Wohngebäuden

Nachstehend aus DIN 4109 einige Mindestwerte für den zulässigen Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ zwischen fremden Räumen.

Bauteil	Anforderung zul. $L'_{n,w}$ [dB]
Wohnungstrenndecken	53 dB ¹⁾
Kellerdecken	53 dB ²⁾
Decken unter nutzbaren Dachräumen, Terrassen ...	53 dB ³⁾
¹⁾ In Gebäuden mit nur 2 Wohnungen dürfen weichfedernde Gehbelege angerechnet werden; ansonsten dürfen sie nicht in Rechnung gestellt werden, da sie infolge Verschleiß oder wegen besonderer Wünsche der Bewohner ausgetauscht werden können. ²⁾ Anforderungen nur bezüglich Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume. ³⁾ In Gebäuden mit nur 2 Wohnungen zul. $L'_{n,w} = 63$ dB.	

Tab. 5-2 **Zulässige Trittschallpegel zum Schutz gegen Übertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich**

5.3 Anforderungen an den Schallschutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen und Betrieben

In der Änderung A1 zur DIN 4109 sind neue Grenzwerte für die zulässigen Schalldruckpegel in schutzbedürftigen Räumen von Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Gewerbebetrieben genannt. Die Änderung trägt dem gestiegenen Komfortniveau der Verbraucher Rechnung und senkt den für Wasserinstallationen zulässigen Wert um 5 dB. Einige Werte sind in nachstehender Tabelle wiedergegeben:

Geräuschquelle	Art der schutzbedürftigen Räume	
	Wohn- und Schlafräume	Unterrichts- und Arbeitsräume
	Kennzeichnender Schalldruckpegel dB(A)	
Wasserinstallationen (Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen gemeinsam)	$\leq 30^{a,b}$	$\leq 35^a$
Sonstige haustechnische Anlagen	$\leq 30^c$	$\leq 35^c$
Betriebe tags (6 bis 22 Uhr)	≤ 35	$\leq 35^c$
Betriebe nachts (22 bis 6 Uhr)	≤ 25	$\leq 35^c$

^a Einzelne, kurzzeitige Spitzen, die beim betätigen der Armaturen und Geräte ... entstehen, sind zur Zeit nicht zu berücksichtigen.

^b Werkvertragliche Voraussetzungen zur Erfüllung des zulässigen Installationsschalldruckpegels:

- Schallschutznachweise müssen vorliegen
- Bauleitung ist zu benennen und hat Installation abzunehmen

^c Bei Lüftungstechnischen Anlagen sind um 5 dB höhere Werte zulässig, sofern es sich um Dauergeräusche ohne auffällige Einzeltöne handelt.

Tab. 5-3 Zulässige Schallpegel zum Schutz gegen Übertragung von Geräuschen aus Haustechnischen Anlagen

5.4 Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm

5.4.1 Grundlagen

Ziel ist der Schutz des Menschen in Aufenthaltsräumen vor Außenlärm (z.B. infolge Straßen-, Schienen-, Wasser- und Flugverkehr). Die baulichen Maßnahmen (Außenwände, Dächer, Fenster) sollen in den Aufenthaltsräumen zumutbare Schallpegel gewährleisten (etwa $L_i \leq 25 \dots 40$ dB(A)). Sie sind abhängig davon, welcher Schallpegel vor dem Gebäude auftritt.

Für die Beurteilung und Klassifizierung des vor dem Gebäude auftretenden bzw. zu erwartenden Außenlärms sind die "maßgeblichen Außenlärmpegel" mit den zugehörigen Lärmpegelbereichen (vgl. Tabelle 6-4) zu verwenden, aus denen sich dann die jeweils erforderliche Luftschalldämmung der Außenbauteile ergibt.

Der maßgebliche Außenlärmpegel kann z.B. für den Straßenverkehr, sofern keine anderen Festlegungen bestehen (z.B. gesetzliche Vorschriften, Lärmkarten), aus einem Nomogramm nach DIN 4109 ermittelt werden (sog. Mittelungspegel), in dem die maßgebenden Einflussgrößen berücksichtigt sind (Verkehrsbelastung in

Kfz/Tag, Entfernung des Gebäudes von der Straßenmitte, Art der Straße, Art der Bebauung, Neigung der Straße, Entfernung von lichtsignalgeregelter Kreuzung). Der maßgebliche Außenlärmpegel darf für die von der maßgeblichen Lärmquelle (z.B. Straßenseite) abgewandten Gebäudeseiten bei offener Bebauung um 5 dB(A), bei geschlossener Bebauung (z.B. Reihenhäuser) um 10 dB(A) gemindert werden.

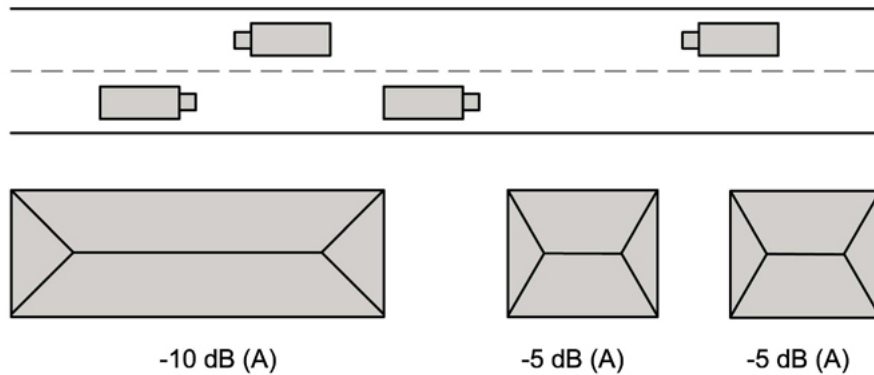


Bild 5-1 Abminderungsfaktoren für den maßgeblichen Außenlärmpegel

maßgeblicher Außenlärmpegel L_a (dB(A))	≤ 55	56..60	61..65	66..70	71..75	76..80	> 80
Lärmpegelbereich	I	II	III	IV	V	VI	VII

Tab. 5-4 Lärmpegelbereiche in Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel

5.4.2 Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen

In DIN 4109 sind die erforderlichen Schalldämm-Maße R'_w der Außenbauteile (Wand, Dach, Fenster) in Abhängigkeit vom vorliegenden Lärmpegelbereich für die 3 verschiedenen Gebäudearten

- Krankenanstalten u. dgl.
- Wohngebäude
- Bürogebäude

festgelegt. Tabelle 5-3 enthält auszugswise die Angaben für die Außenbauteile von Aufenthaltsräumen in Wohngebäuden (ausgenommen Küchen, Bäder). Bei zusammengesetzten Bauteilen, z.B. Außenwand + Fenster, gelten die Anforderungen für das resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w, res.}$.

Lärmpegelbereich	I	II	III	IV	V	VI	VII
erf $R'_{w,res}$ des Außenbauteils (dB)	30	30	35	40	45	50	1)
1) Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten gesondert festzulegen							

Tab. 5-5 erf R'_w für Außenbauteile von Wohngebäuden

Die Werte nach Tabelle 6-5 sind in Abhängigkeit vom Verhältnis A_{W+F}/A_G zu korrigieren (A_{W+F} : gesamte Außenfläche des Raumes, A_G : Grundfläche des Raumes); Korrekturwerte (von + 5 dB bis - 3 dB) siehe DIN 4109 Tabelle 9; für Wohngebäude mit üblicher Raumhöhe von etwa $h = 2,50$ m und Raumtiefen von mindestens etwa 4,5 m darf ohne Nachweis der Korrekturwert - 2 dB verwendet werden. Mit dieser Korrektur soll die im Verhältnis zum Raumvolumen unterschiedlich immitierte Schallenergie berücksichtigt werden.

5.4.3 Schallschutz gegen Fluglärm

Das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (1971) sowie nachgeschaltete Verordnungen sollen den Schutz in der Umgebung von Verkehrsflughäfen sowie von militärischen Flugplätzen regeln. Der Lärmschutzbereich wird an Hand des äquivalenten Dauerschallpegels L_{eq} in 2 Schutzzonen unterteilt:

- Schutzzone 1 ($L_{eq} \geq 75$ dB(A)): Wohnungen üblicher Nutzung dürfen nicht errichtet werden; für Außenbauteile von Aufenthaltsräumen $R'_w \geq 50$ dB;
- Schutzzone 2 ($L_{eq} \geq 67$ bis 75 dB(A)): $R'_w \geq 45$ dB.

Über die Schutzzonen nach dem Fluglärmschutzgesetz hinaus existieren in einigen Bundesländern weitere Fluglärmzonen, in denen in Abhängigkeit von L_{eq} bewertete Schalldämm-Maße R'_w zwischen 35 dB und 50 dB gefordert werden.

6 Nachweis des geforderten Schallschutzes

Haben Bauteile Anforderungen zu erfüllen, so ist der Nachweis ihrer Eignung auf zweierlei Art möglich:

- a) mit bauakustischen Messungen
- b) ohne bauakustische Messungen.

6.1 Nachweis ohne bauakustische Messungen

Bauakustische Prüfungen sind nicht erforderlich, wenn die Bauteile aufgrund der Angaben in DIN 4109 Beiblatt 1 beurteilt werden können.

Die dort angegebenen Rechenwerte, z.B. $R'_{w,R}$ für die Luftschalldämmung, $L'_{n,w,R}$ für den Trittschallpegel, können mit den erforderlichen Werten - ohne jeden Abzug - direkt verglichen werden.

Es ist einzuhalten:

$$R'_{w,R} \geq \text{erf } R'_w$$

$$L'_{n,w,R} \leq \text{zul. } L'_{n,w}$$

6.2 Luftschalldämmung von schweren Außenbauteilen

6.2.1 Rechenwerte $R'_{w,R}$

Für einschalige, biegesteife Außenwände und schwere Flachdächer dürfen in Abhängigkeit von ihrer flächenbezogenen Masse m' ohne weiteren Nachweis die bewerteten Schalldämm-Maße $R'_{w,R}$ (Rechenwerte, Index R für "Rechenwert") nach Tabelle 6-1 verwendet werden (Sicherheitsabschlag von etwa 1 dB bis 2 dB gegenüber Bild 4-5).

m' (kg/m ²)	85	95	115	135	160	190	230	270	320	380	450	530
$R'_{w,R}$ (dB)	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56

Tab. 6-1 Rechenwerte $R'_{w,R}$ (300) des bewerteten Schalldämm-Maßes einschaliger biegesteifer Bauteile in Abhängigkeit von ihrer flächenbezogenen Masse m' für flankierende Bauteile mit $m'_{Lm} \approx 300$ kg/m² (Auszug aus DIN 4109 Beiblatt 1)

Anmerkungen zu Tabelle 6-1 (vgl. Bild 6-1):

- 1) Die Tabelle gilt für einschalige, biegesteife Außenwände und Flachdächer (Bild a).
- 2) Die Tabelle gilt nicht für Außenwände mit innen- oder außenseitigem Wärmedämmverbundsystem. In solchen Fällen kann sich die Schalldämmung gegenüber der rohen Wand erheblich verschlechtern, wenn Dämmplatten hoher dynamischer Steifigkeit (z.B. Holzwolle-Leichtbauplatten oder Hartschaumplatten) vollflächig oder punktwise angesetzt oder anbetoniert und z.B. durch Putz, Bauplatten oder Fliesen abgedeckt werden (Bild b). Für solche Bauteile ist der Nachweis mit bauakustischen Messungen erforderlich.
- 3) Verbesserung der Schalldämmung gegenüber der rohen Wand durch Anordnung biegeweicher Vorsatzschalen (Bild c). Siehe Tabelle 6-2.
- 4) Bei Außenwänden mit leichten Vorhangschalen nach DIN 18 516 oder schweren Vorhangfassaden nach DIN 18 515 wird nur die Masse der Wand berücksichtigt (Bild d).
- 5) Bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschichten ≥ 4 cm (Bild e) dürfen die Massen der beiden Schalen addiert und der damit aus Tabelle 6-1 abgelesene Wert für $R'_{w,R}$ um 5 dB erhöht werden, wenn die Trennfuge durchgehend ausgebildet und/oder mit einem mineralischen Dämmstoff dicht gestoßen und vollflächig gefüllt wird. (siehe auch Gebäudetrennwände 6.5.3)
- 6) gilt nicht bei Mauerwerk aus Leichthochlochziegel
- 7) gilt nicht bei beidseitigem Sicht-Mauerwerk, mindestens eine Seite muss verputzt/gespachtelt sein, daher ist die Tabelle für Fachwerkkonstruktionen auch nur eine grobe Orientierung

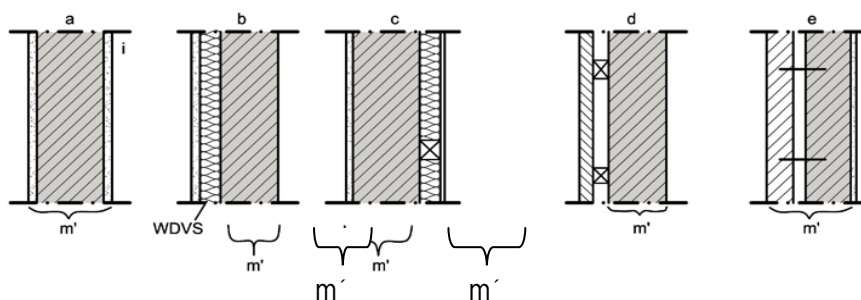


Bild 6-1 Biegesteife Massivbauteile (Beispiele)

- biegesteife Wand
- mit außenliegendem Wärmedämmverbundsystem WDVS
- mit innenliegender biegeweicher Vorsatzschale
- mit äußerer Vorhangschale
- zweischaliges Mauerwerk, durch Drahtanker miteinander verbunden

Werden einschalige, biegesteife Wände mit biegeweichen Vorsatzschalen nach DIN 4109 Beiblatt 1 versehen (Auszug siehe Bild 6-2), so ergibt sich eine wesentliche Verbesserung der Rechenwerte $R'_{w,R}$ für die Wand gegenüber den Werten nach Tabelle 6-1 (vgl. Tabelle 6-2).

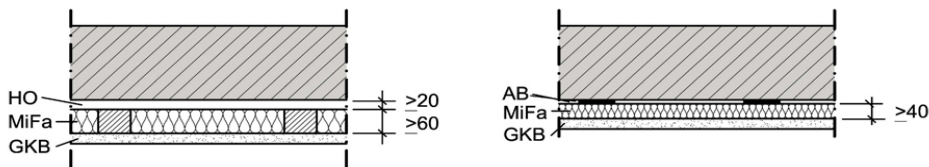


Bild 6-2 Geeignete biegeweiche Vorsatzschalen für die Verbesserung einschaliger biegesteifer Wände (Auszug aus DIN 4109 Beiblatt 1) HO Hohlraum, MiFa mineralischer Faserdämmstoff, GKB Gipskarton-Bauplatte, AB Ansatzbinder (punkt- oder streifenförmig)

m' (kg/m ²)	100	200	250	300	400	500
$R'_{w,R}$ (dB)	49 (36)	50 (44)	52 (47)	54 (49)	56 (52)	58 (55)

Tab. 6-2 $R'_{w,R}$ für einschalige biegesteife Wände mit biegeweicher Vorsatzschale in Abhängigkeit von der Masse m' der biegesteifen Wand (in () die Werte nach Tabelle 6-1 für Wände ohne Vorsatzschale)

6.2.2 Ermittlung von m'

Grundgleichung:

$$m' = \rho_w \cdot d$$

Da $R'_{w,R}$ mit wachsendem m' größer wird, sind für den Nachweis des Schallschutzes - im Gegensatz zur statischen Bemessung der Bauteile - bei der Ermittlung von m' die unteren Rohdichtegrenzen für die Baustoffe einzusetzen. Beispiele aus DIN 4109 Beiblatt 1:

- Stahlbeton aus Normalbeton $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$
- Porenbeton $\rho > 1000 \text{ kg/m}^3$: rechn $\rho = \rho - 100 \text{ kg/m}^3$
 $\rho \leq 1000 \text{ kg/m}^3$: rechn $\rho = \rho - 50 \text{ kg/m}^3$
- Rohdichte gemauerter Wände ρ_w
 in Abhängigkeit von der Steinrohichte ρ_N und der Mörtelart

$$\text{mit } \rho_w = \rho_N - ((\rho_N - K)/10)$$

ρ_W	Wandrohdichte [kg/m^3]
ρ_N	Nennrohdichte der Steine oder Platten [kg/m^3]
K	Konstante mit $K = 1000$ für Normalmörtel und Steinrohdichte $400 \leq \rho_N \leq 2200 \text{ kg/m}^3$ $K = 500$ für Leichtmörtel ($\rho_{M0} \leq 1000 \text{ kg/m}^3$) und Steinrohdichte $400 \leq \rho_N \leq 2200 \text{ kg/m}^3$

Berücksichtigt werden z.B. Putze, Verbundestriche, Estriche auf Trennlage etc. Nicht berücksichtigt werden Vorsatzschalen, Bekleidungen, WDVS sowie schwimmende Estriche.

DIN 4109 Beiblatt 1 enthält eine Vielzahl von Ausführungsvarianten für Mauerwerk, für die - ohne Ermittlung von m' - der Rechenwert $R'_{w,R}$ in Abhängigkeit von der Wandkonstruktion, Steinrohdichteklasse, Mörtelart, Wanddicke sofort abgelesen werden kann.

Übungsskript Beispiel 5-8

6.3 Luftschalldämmung von leichten Außenbauteilen mit biegeweichen Schalen

6.3.1 Allgemeines Verhalten

Typische Vertreter von Bauteilen mit biegeweichen Schalen sind Wände in Holzbauart (Holzrippen mit ein- oder beiderseitiger Beplankung aus Holzwerkstoffen oder Gipsbauplatten) oder in Ständerbauart (z.B. Blechprofil-Ständer mit beiderseitiger Bekleidung) (vgl. Bild 7-3).



Bild 6-3 Beispiele für Wände mit biegeweichen Schalen (zweischalige Einfachwände)

Die Schallübertragung erfolgt bei solchen Bauteilen unabhängig voneinander über 2 Wege (Bild 6-4).

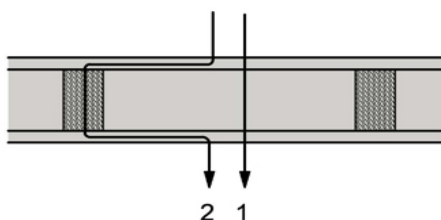


Bild 6-4 Schallübertragungen bei Bauteilen mit biegeweichen Schalen

Übertragung über den Lufthohlraum (Weg 1)

Die Schallübertragung über den Lufthohlraum erfolgt wie in Kapitel 3.8 beschrieben für ein zweischaliges Bau-

teil. Unterhalb der Resonanzfrequenz f_0 verhält sich die Schalldämmung wie für ein einschaliges Bauteil gleicher Masse und oberhalb der Resonanzfrequenz tritt eine starke Verbesserung ein. Bei f_0 tritt dagegen eine ausgeprägte Verschlechterung der Schalldämmung auf.

Die Eigenfrequenz errechnet sich näherungsweise, wenn der Hohlraum mit einer schallschluckenden Einlage versehen ist, aus

$$f_0 = 85 / \sqrt{m' \cdot a} \quad [\text{Hz}] \quad (6-1)$$

mit

f_0 Eigenfrequenz

m' Masse der einzelnen biegeweichen Schale in kg/m^2

a lichter Schalenabstand in m

Übertragung über die Rippen (Weg 2)

Die große Schalldämmung des Gefachbereiches wird durch die Schallübertragung über die Rippen, wenn sie beide Schalen miteinander verbinden, wesentlich verschlechtert und zwar um so mehr, je steifer die Verbindung Rippe - Schale ist (Bild 6-5) oder je kleiner der Rippenabstand ist.

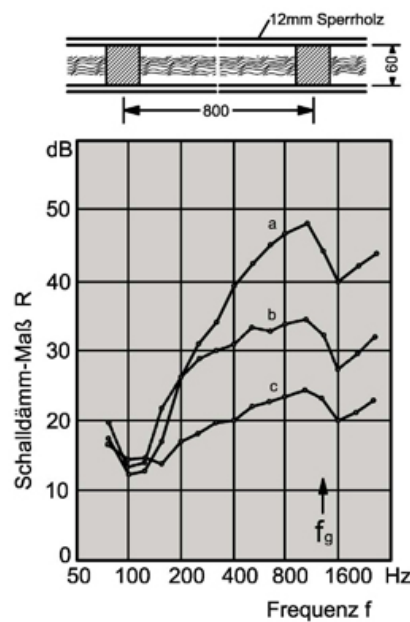


Bild 6-5 Wirkung von Schallbrücken auf die Schalldämmung einer doppelschaligen Wand (nach Gösele)
- a beide Schalen völlig getrennt, b beide Schalen durch Rippen verbunden, c eine Schale allein

6.3.2 Rechenwerte $R'_{w,R}$

DIN 4109 Beiblatt 1 enthält Ausführungsbeispiele für Außenwände und Dächer in Holzbauart mit den zugehörigen Rechenwerten $R'_{w,R}$ zwischen 35 dB und 52 dB. Anforderungen an flankierende Bauteile - wie bei Innenbauteilen in Holzbauart - bestehen hier nicht, da der Einfluss flankierender Bauteile auf die Schalldämmung von Außenbauteilen vernachlässigbar klein ist. Beispiele siehe Bild 6-6.

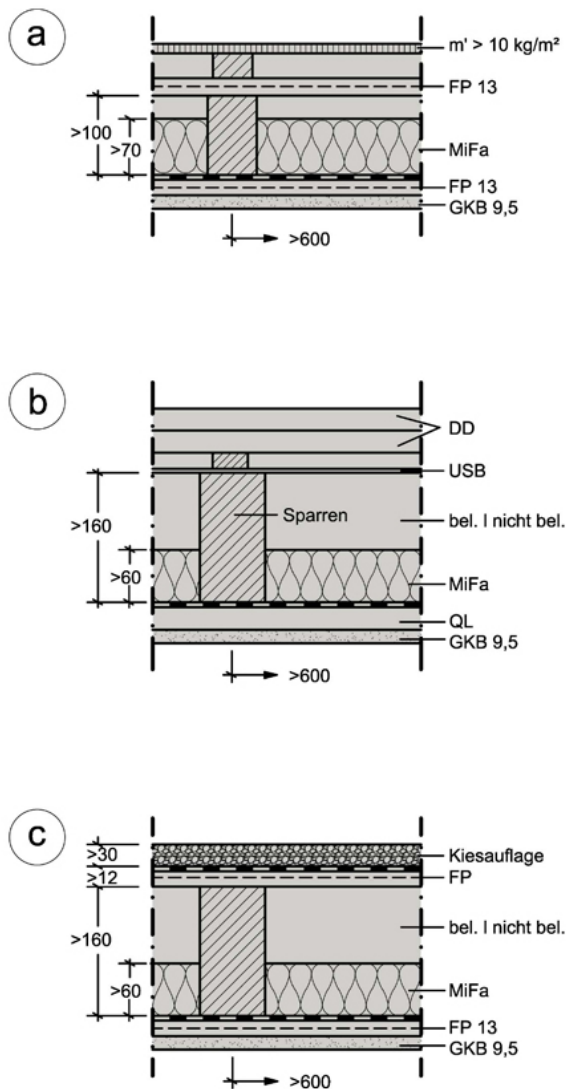


Bild 6-6 Beispiele für Rechenwerte R'_R von Außenbauteilen

- a Außenwand in Holzbauart mit $R'_{w,R} = 42 \text{ dB}$;
 FP 13: 13mm Spanplatte; GKB 9,5: 9,5mm Gipskarton-Bauplatte DIN 18 180;
 MiFa: mineralischer Faserdämmstoff, $\Xi \geq 5 \text{ kN}\cdot\text{s/m}^4$
- b geneigtes Dach mit $R'_{w,R} = 45 \text{ dB}$;
 DD Dachdeckung, USB Unterspannbahn, QL Querlattung
- c Flachdach in Holzbauart mit $R'_{w,R} = 50 \text{ dB}$;

6.4 Luftschalldämmung von Fenstern

In der alten DIN 4109 Beiblatt 1 waren die Rechenwerte $R_{w,R}$ für die häufigsten Konstruktionsarten genannt, die ohne weiteren Nachweis verwendet werden dürfen, wenn die vorgegebenen Randbedingungen eingehalten sind. Berücksichtigt sind folgende Fensterarten:

- Einfachfenster
- Verbundfenster
- Kastenfenster

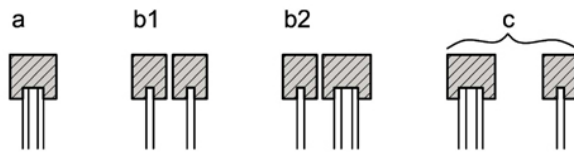


Bild 6-7 In DIN 4109 Beiblatt 1 berücksichtigte Fensterarten

- a) Einfachfenster mit Isolierverglasung
- b) Verbundfenster, b1 mit Einfachscheiben, b2 mit Einfach- und Isolierglasscheibe,
- c) Kastenfenster (mit 2 Einfachscheiben oder 1 Isolierglas- und 1 Einfachscheibe)

Zu den wichtigsten Randbedingungen gehören (von wenigen Ausnahmen für $R_{w,R} = 25$ dB und 30 dB abgesehen):

- a) Umlaufende Falzdichtungen, weichfedernd, dauerelastisch alterungsbeständig, auswechselbar
- b) genügende Anzahl von Verriegelungsstellen (Schließdruck)
- c) abgedichtete Fugen zwischen Fensterrahmen und Außenwand.

Die angegebenen Rechenwerte schwanken zwischen $R_{w,R} = 25$ dB und $R_{w,R} = 45$ dB (spezielle Verbund- und Kastenfenster mit besonderen Anforderungen an Gesamtglasdicken und Scheibenzwischenraum). Für das derzeit allgemein übliche Fenster im Wohnungsbau - Einfachfenster mit Isolierverglasung bestehend aus 4 mm Glas, 12 mm Scheibenzwischenraum, 4 mm Glas mit $R_{w,R, \text{Verglasung}} = 32$ dB für die Verglasung allein - darf $R_{w,R} = 32$ dB eingesetzt werden. Daraus ist ersichtlich, dass das Fenster schallschutztechnisch die schwache Stelle in der Gebäudehülle darstellt.

Die Rechenwerte gelten für Fenster bis 3 m² Glasfläche. Bei größeren Flächen sind die Rechenwerte um 2 dB abzumindern.

Ferner waren in DIN 4109 Beiblatt 1 auch Rechenwerte $R_{w,R}$ für vorgegebene Konstruktionen von Rollladenkästen genannt ($R_{w,R} = 25$ dB bis 40 dB).

Heute wird die Schalldämmung von Fenster aus Prüfstandsmessung von unterschiedlicher Verglasungs-/Rahmenkombinationen ermittelt und in die Berechnungen eingeführt.

6.5 Luftschalldämmung von Innenbauteilen

6.5.1 Allgemeines

In DIN 4109 sind die Anforderungen an das bewertete Schalldämm-Maß R'_w zwar für die einzelnen trennenden Bauteile festgelegt, gemeint ist jedoch jeweils die resultierende Schalldämmung zwischen den beiden Räumen, also unter Einbeziehung der Schallübertragung über die flankierenden Bauteile und gegebenenfalls über weitere Nebenwege.

Für den Nachweis der Einhaltung der Anforderungen ist aus physikalischen Gründen zwischen folgenden Bauarten zu unterscheiden:

1. Massivbauart
2. Holzbauart und Skelettbauart

Im Sinne der DIN 4109 liegt die Massivbauart dann vor, wenn trennendes Bauteil (T) und flankierende Bauteile (F) in akustischer Hinsicht biegesteif miteinander verbunden sind, wenn sich also die Bauteile T und F schwingungsmäßig gegenseitig beeinflussen (sog. "Stoßstellendämmung") (Bild 6-8). Daraus ergeben sich für die Schallübertragung 4 unterschiedliche Wege. Eine solche "biegesteife" Anbindung kann z.B. bei Mauerwerk mit Stumpfstoß allein schon durch den Putz gewährleistet sein (Bild 6-9).

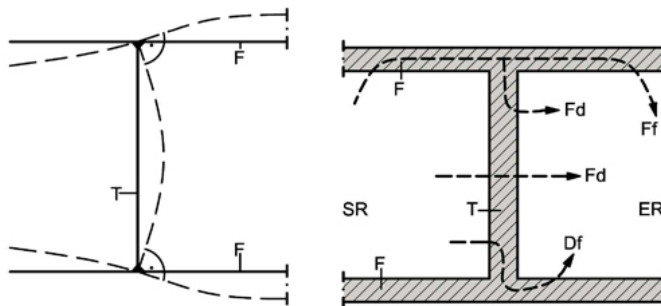


Bild 6-8 Massivbauart

- a) statisches Modell für die "biegesteife" Anbindung des trennenden Bauteils T an die flankierenden Bauteile F und Schwingungsverformungen (schematisch)
- b) 4 Schallübertragungswege (Bezeichnung n. DIN 4109), SR Sende-, ER Empfangsraum

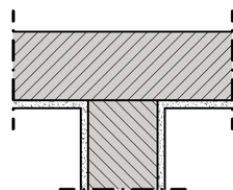


Bild 6-9 Akustisch "biegesteife" Anbindung durch den Putz bei Mauerwerk-Anschluss mit Stumpfstoß (schematisch)

Bei der Holzbauart und der Skelettbauart fehlt diese biegesteife Anbindung, d.h. keine gegenseitige Beeinflussung von T und F, so dass praktisch lediglich 2 Übertragungswege übrigbleiben (Bild 6-10). Die Schallübertragung zwischen den beiden Räumen ist hier unter ansonsten gleichen Bedingungen wegen der fehlenden "Stoßstellendämmung" größer als bei der Massivbauart. Bei der Skelettbauart können durchaus mehrere massive, biegesteife Bauteile an der Schallübertragung zwischen den beiden Räumen beteiligt sein. Ausschlaggebend ist allein, dass zwischen T und F keine "biegesteife" Verbindung vorhanden ist. Bei der Holzbauart liegen dagegen überwiegend Holzbauteile (unter Verwendung biegeweicher Schalen) vor.

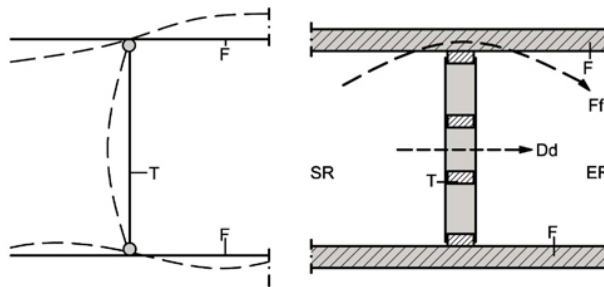


Bild 6-10 Holz- oder Skelettbauart

- statisches Modell für die gelenkige Anbindung T-F und Schwingungsverformung
- nur 2 Schallübertragungswege

6.5.2 Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Massivbauart

Das trennende Bauteil, Trenndecke oder Trennwand, muss die folgende Bedingung einhalten:

$$R'_{w,R} = R'_{w,R}(300) + K_{L1} + K_{L2} \geq \text{erf } R'_w \quad (6-2)$$

mit

$R'_{w,R}$	Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes
$R'_{w,R}(300)$	Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes für das trennende Bauteil bei einer mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile $m'_{Lm} \approx 300 \text{ kg/m}^2$ (Tab. 6.1 - Tab 6.3)
K_{L1}	Korrekturwert für $m'_{Lm} \neq 300 \text{ kg/m}^2$ (Tab 6.4)
K_{L2}	Korrekturwert für flankierende Bauteile mit Vorsatzschale oder aus biegeweichen Schalen (Tab 6.5).

Rechenwert $R'_{w,R}(300)$

Der Rechenwert $R'_{w,R}$ für massive Wände und Rohdecken (ohne schwimmende Deckenauflage, ohne Unterdecke) folgt aus der flächenbezogenen Masse m' (Tabelle 6-1). Angaben für $R'_{w,R}$ von fertigen Decken enthält Tabelle 6-3, und zwar für (Bild 6.11):

- Rohdecke (Werte identisch mit denen der Tabelle 7-1),
- Rohdecke + schwimmende Deckenauflage (z.B. schwimmender Estrich) oder biegeweiche Unterdecke
- Rohdecke + schwimmende Deckenauflage und biegeweiche Unterdecke.

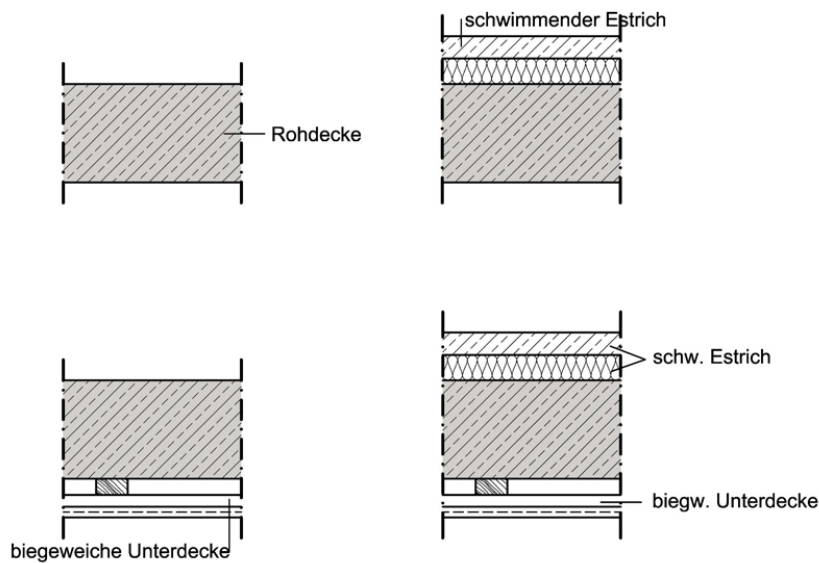


Bild 6-11 Deckenaufbauten

m'_R	Rohdecke	$R'_{wR}(300)$ in dB mit schwimmender Deckenauflage ¹⁾	
	allein	oder biegeweicher Unterdecke	und
150	41	49	52
200	44	51	54
250	47	53	56
300	49	55	58
350	51	56	59
400	53	57	60
450	54	58	61
500	55	59	62

¹⁾ Geeignete Ausführungen in DIN 4109 Beiblatt 1 enthalten

Tab. 6-3 $R'_{wR}(300)$ von Massivdecken in Abhängigkeit von m'_R der Rohdecke für flankierende Bauteile mit $m'_{Lm} \approx 300 \text{ kg/m}^2$

Korrekturwert K_{L1}

Trennende Bauteile	K_{L1} in dB für m'_{Lm}						
	400	350	300	250	200	150	100
Einschalige biegesteife Wände und Decken	0				- 1		
Einschalige biegesteife Wände mit biegeweicher Vorsatzschale, Massivdecke mit schwimmendem Estrich bzw. Holzfußboden oder/und Unterdecke	+ 2	+ 1	0	- 1	- 2	- 3	- 4

Tab. 6-4 K_{L1} in dB für einschalige biegesteife Wände und Massivdecken als trennende Bauteile in Abhängigkeit von der mittleren flächenbezogenen Masse m'_{Lm} der flankierenden Bauteile

Die Ermittlung von m'_{Lm} der flankierenden Bauteile erfolgt über

$$m'_{Lm} = 1/n * \sum_1^n m'_{Li} \quad (6-3)$$

- m'_{Li} die flächenbezogene Masse des i- ten flankierenden Bauteils
- n Anzahl der massiven flankierenden Bauteile ohne Vorsatzschale
Bauteile mit Vorsatzschale (auch Schwimmende Estriche) sind in Gleichung (6-3) nicht zu berücksichtigen.

Korrekturwert K_{L2}

Die günstige Wirkung von Vorsatzschalen auf flankierenden massiven Bauteilen oder von flankierenden biegeweichen Bauteilen auf die Gesamtschalldämmung wird durch den Korrekturwert K_{L2} (Zuschlag) berücksichtigt.

Zu solchen flankierenden Bauteilen gehören:

- a) biegesteifes Bauteil, in beiden Räumen mit biegeweicher Vorsatzschale bzw. Schwimmende Estriche versehen, die im Bereich des trennenden Bauteils unterbrochen ist
- b) biegeweiches Bauteil, im Bereich des trennenden Bauteils unterbrochen.

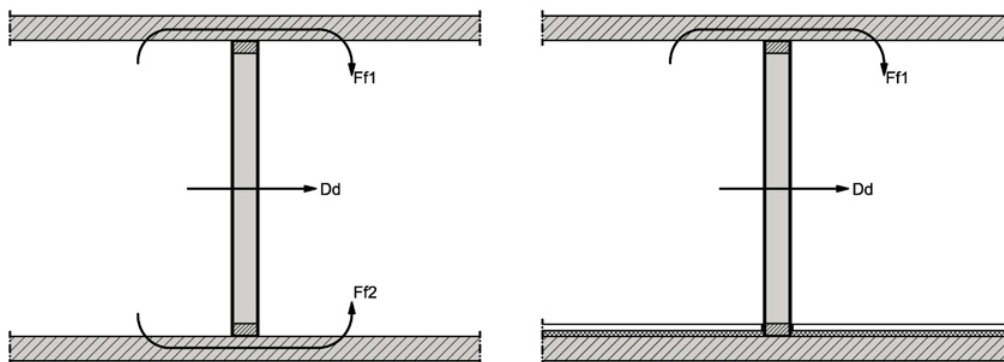


Bild 6-12 Prinzipielle Darstellung zum Einfluss biegeweicher Vorsatzschalen auf die Flankenübertragung, berücksichtigt durch K_{L2} (hier am Beispiel eines schw. Estrichs, Fall a nach obiger Aufzählung)

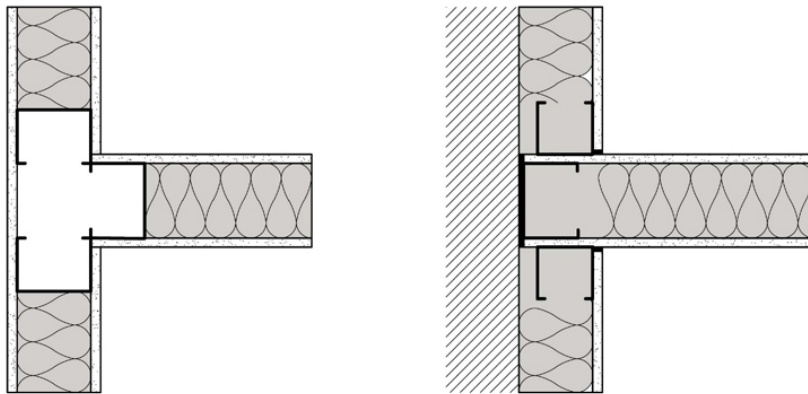


Bild 6-13 Beispiel für die Trennung biegeweicher Bauteile bzw. biegeweicher Vorsatzschalen im Anschlussbereich des trennenden Bauteils (links: Fall b; rechts: Fall a)

Anzahl der flankierenden Bauteile mit Vorsatzschale oder dgl.	K_{L2}
1	+ 1
2	+ 3
3	+ 6

Tab. 6-5 K_{L2} in dB für flankierende Wände mit biegeweichen Vorsatzschalen oder dgl. (gilt nicht für einschalige trennende Bauteile)

Übungsskript Beispiel 5.9

6.5.3 Luftschalldämmung von zweischaligen Gebäudetrennwänden

Bei diesen Wänden verläuft die Trennfuge zwischen den beiden biegesteifen Wandschalen über die gesamte Wandfläche, einschließlich der angrenzenden Außenwände, Decken und des Daches, so dass eine Übertragung in das benachbarte Gebäude über flankierende Bauteile nicht stattfindet (keine Korrekturwerte K_{L1} und K_{L2}). Der Rechenwert R'_{wR} für solche Wände ergibt sich zu

$$R'_{w,R} = R'_{w,R}(m') + 12 \text{ dB} \quad (6-4)$$

mit

$R'_{w,R}(m')$ Summe der beiden Massen m'_1 der Einzelschalen nach Tab. 6-1.

Folgende Voraussetzungen sind dabei zur Gewährleistung einer möglichst tiefen Resonanzfrequenz f_0 einzuhalten:

- $m'_1 \geq 100 \text{ kg/m}^2$ für $a \geq 50 \text{ mm}$
- $m'_1 \geq 150 \text{ kg/m}^2$ für $a \geq 30 \text{ mm}$ Ausfüllen des Hohlraumes mit mineralischen Faserdämmplatten, Typ T
- $m'_1 \geq 200 \text{ kg/m}^2$ und $a \geq 30 \text{ mm}$ ohne Ausfüllung jedoch durchgängiger Hohlraum

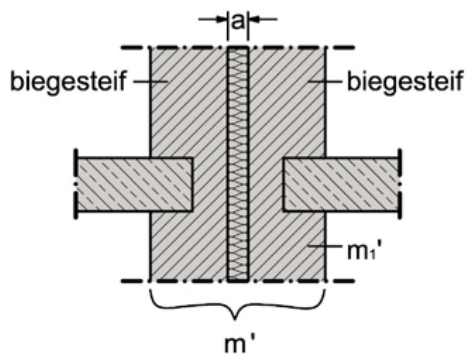


Bild 6-14 **Zweischalige Gebäudetrennwand mit durchgehender Trennfuge**

Dieses Schalldämmmaß gilt unter Annahme, dass mindestens ein Geschoss getrennt ist, bevor eine Körperschallkopplung beispielsweise über das Erdreich stattfindet und gilt somit nicht für das Kellergeschoss. Nicht anzuwenden ist diese Formel bei dem postmodernen Sonderfall: einer durchlaufenden Bodenplatte auf Wärmedämmung. Hierbei wird kaum die Schalldämmung $R'_{w,R}(m')$ auch in höheren Geschossen überschritten.

Übungsskript Beispiel 5-10

6.6 Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Holz- und Skelettbauart

6.6.1 Allgemeines

Bei diesen Bauarten ist es in der Vergangenheit des öfteren dadurch zu bösen Überraschungen gekommen, dass die angestrebte Schalldämmung zwischen 2 Räumen wesentlich unterschritten wurde. Die Ursache lag - wegen mangelnder Kenntnis zu jener Zeit - oft in der Annahme, dass sich im Gebäude die gleiche Schalldämmung einstellen wird wie z.B. für die im massiven Prüfstand gemessene Trennwand. Selbst bei vernünftiger Kombination von trennendem Bauteil und flankierenden Bauteilen kann der Abfall des Gesamtschalldämmmaßes R'_w im Bau gegenüber dem im Prüfstand ohne Nebenwege gemessenen R_w durchaus bis zu 6 dB betragen.

6.6.2 Nachweis

Für die Holz- und Skelettbauart existieren mehrere Nachweismöglichkeiten.

a) Nachweis analog Massivbauart (vgl. 6.5.2)

Einzuhalten ist die Bedingung nach Gleichung (6-2). Für trennende Bauteile unter Verwendung biegeweicher Schalen sind die Angaben für $R'_{w,R}(300)$ den Tabellen 9 und 10 (Wände) sowie 34 (Holzbalkendecken) des Beiblatt 1 zu DIN 4109, für K_{L1} bei flankierenden Massivbauteilen Tabelle 14 des Beiblatt 1 zu DIN 4109 zu entnehmen (vgl. Tabelle 6-6). Die Werte K_{L2} sind mit denen für Massivbauteile identisch (vgl. Tabelle 6-5).

Bei der Ermittlung von K_{L1} ist für die mittlere Masse der flankierenden Bauteile

$$m'_{Lm} = \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m'^{-2,5}_{Li} \right)^{-0,4} \quad (6-5)$$

auszugehen. Damit wird dieser Nachweis für den Anwender undurchsichtig und äußerst umständlich.

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8
	$R'_{w,R}$ der Trennwand bzw. -decke für $m'_{L,Mittel}$ von etwa 300 kg/m ² dB	$K_{L,1}$ in dB für mittlere flächenbezogene Massen $m'_{L,Mittel}$ ¹⁾ in kg/m ²						
		450	400	350	300	250	200	150
1	50	+4	+3	+2	0	-2	-4	-7
2	49	+2	+2	+1	0	-2	-3	-6
3	47	+1	+1	+1	0	-2	-3	-6
4	45	+1	+1	+1	0	-1	-2	-5
5	43	0	0	0	0	-1	-2	-4
6	41	0	0	0	0	-1	-1	-3

¹⁾ $m'_{L,Mittel}$ ist rechnerisch nach Abschnitt 3.2.3 oder mit Hilfe des Diagramms nach Bild 4 zu ermitteln.

Tab. 6-6 Korrekturwerte $K_{L,1}$ für das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ von zweischaligen Wänden aus biegeweichen Schalen als trennende Bauteile bei flankierenden Bauteilen mit der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,Mittel}$

b) Vereinfachter Nachweis

Ausgehend von der energetischen Addition nach c) ergeben sich unter der Annahme, dass die einzelnen übertragenen Schallenergien praktisch nie gleich groß sind, die Bedingungen

$$R_{w,R} \geq \text{erf } R'_w + 5 \text{ dB} \quad (6-6)$$

$$R'_{w,L,Ri} \geq \text{erf } R'_w + 5 \text{ dB} \quad (6-7)$$

Der Nachweis der geforderten Schalldämmung zwischen den beiden Räumen ist nur dann erbracht, wenn jedes der beteiligten Bauteile die Bedingungen (6-6) bzw. (6-7) einhält.

Nachteil dieses Nachweises: Sehr starr, dadurch teilweise unwirtschaftlich.

c) Genauerer Nachweis

Definition von R_w und R_{Lw} (Bild 6-15):

R_w kennzeichnet die Schalldämmung zwischen 2 Räumen bei alleiniger Schallübertragung durch das trennende Bauteil

R_{Lw1} kennzeichnet die Schalldämmung zwischen 2 Räumen bei alleiniger Schallübertragung über das flankierende Bauteil 1.

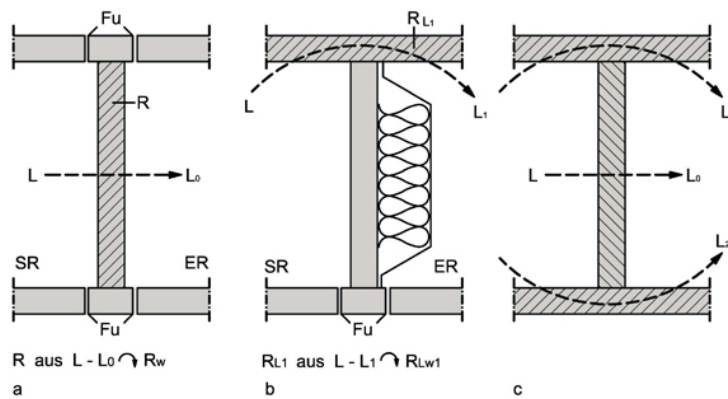


Bild 6-15 a) Alleinige Schallübertragung über trennendes Bauteil, b) über 1 flankierendes Bauteil
c) Gesamtübertragung
Fu umlaufende Fuge, L Schallpegel, R Schalldämm-Maß (frequenzabhängig)

Die resultierende Schalldämmung R'_w zwischen den beiden Räumen ergibt sich aus der Summe aller über die einzelnen Wege übertragenen Schallenergien. Deshalb kann die resultierende Schalldämmung R'_w nie besser sein als das schwächste Glied in der Übertragungskette (R_w bzw. $R_{L,wi}$), zumeist ist sie schlechter (im Gegensatz zum $R'_{w,res}$ für aus mehreren Einzelbereichen unterschiedlicher Dämmung zusammengesetzte Außenbauteile!).

Beim genaueren Nachweis werden die über die einzelnen Wege übertragenen Schallenergien - vereinfachend unter Zugrundelegung der Einzahl-Angaben für R_w und $R_{L,wi}$ - addiert und in das resultierende Schalldämm-Maß R'_w zurückverwandelt:

$$R'_{w,R} = -10 \cdot \lg \left(10^{-R_{w,R}/10} + \sum_{i=1}^n 10^{-R'_{L,w,Ri}/10} \right) \quad (6-8)$$

mit

$R'_{w,R}$ Rechenwert des resultierenden Schalldämm-Maßes

$R_{w,R}$ Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes des trennenden Bauteils ohne Längsleitung über flankierende Bauteile in dB

$R'_{L,w,Ri}$ Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes des i-ten flankierenden Bauteils am Bau in dB.

$R'_{L,w}$ bedeutet das bewertete Schall- Längsdämm- Maß am Bau; es ergibt sich aus dem im Prüfstand gemessenen $R_{L,w}$, korrigiert durch Zusatzglieder, mit denen Abweichungen von der Bezugs- Trennwandfläche und von der Bezugs- Kantenlänge zwischen Trennwand und flankierendem Bauteil erfasst werden. Bei Raumhöhen bis etwa $h = 3$ m und Raumtiefen von etwa 4 m bis 5 m kann $R'_{L,w,Ri} = R_{L,w,Ri}$ angenommen werden.

Vorteile dieses Nachweises: Anschaulich, freizügig, dadurch wirtschaftlich.

6.6.3 Rechenwerte

Trennendes Bauteil

Die in den Gleichungen (6-6) bis (6-8) einzusetzenden Rechenwerte $R_{w,R}$ und $R_{L,w,Ri}$ können für eine Vielzahl von Konstruktionen den Tabellen im Beiblatt 1 der DIN 4109 direkt entnommen werden (Beispiel für $R_{w,R}$ siehe Bild 6-16).

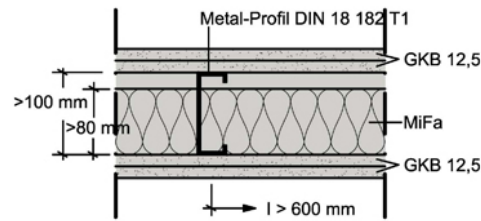


Bild 6-16 Trennwand in Ständerbauart mit $R'_{w,R(300)} = 50$ dB für Nachweis nach a) und $R_{wR} = 56$ dB für Nachweis nach b) und c)

Flankierende Bauteile ($R_{L,W,R}$)

In Bild 6-17 sind die jeweils kleinsten und größten Rechenwerte $R_{L,W,R}$ aufgetragen, wie sie sich nach DIN 4109 Beiblatt 1 bei unterschiedlicher Ausbildung des Anschlusses für Konstruktionen ergeben, bei denen trennendes und flankierendes Bauteil in Holz- oder Skelettbauart unter Verwendung biegeweicher Schalen hergestellt sind.

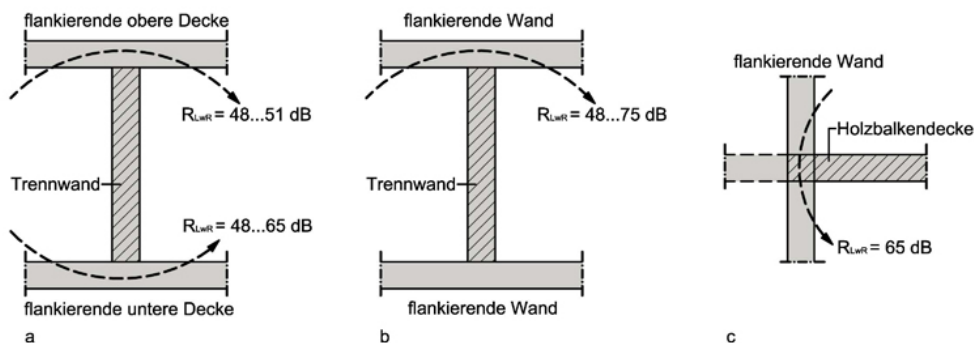


Bild 6-17 Rechenwerte $R_{L,W,R}$ für Konstruktionen in Holz- oder Skelettbauart unter Verwendung biegeweicher Schalen (Grenzwerte für Ausführungsbeispiele nach Beiblatt 1)

Da bei der Holz- oder Skelettbauart flankierende Bauteile durchaus auch in Massivbauart ausgeführt sein können, für die das Rechenverfahren nach 6.6.2 b) oder c) ebenfalls anwendbar ist, enthält Beiblatt 1 auch hierfür entsprechende Angaben in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile (Bild 7-18).

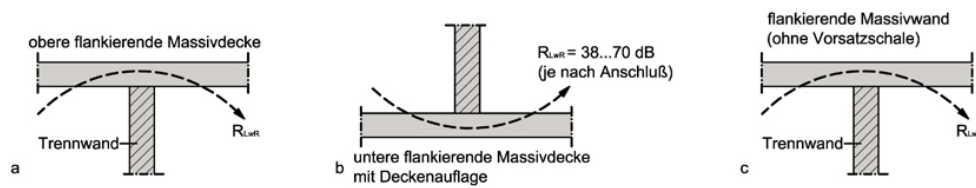


Bild 6-18 Rechenwerte R_{LWR} nach Beiblatt 1 für flankierende Bauteile in Massivbauart von Trennwänden in Holz- oder Skelettbauart (für a und c in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse m'_L der flankierenden Bauteile s. Tab 7-7)

In Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse ergibt sich das Schall-Längsdämm-Maß für massive flankierende Bauteile von Trennwänden in Holz- oder Skelettbauart gemäß Tabelle 6-7:

Bild	m'_L (kg/ m ²)	100	200	300	350	400
a	R_{LWR} (dB)	41	51	56	58	60
c	R_{LWR} (dB)	43	53	58	60	62

Tab. 6-7 Bewertetes Schall-Längsdämm-Maß massiver flankierender Bauteile von Trennwänden

Übungsskript Beispiel 5-11

6.7 Trittschallschutz von Decken

6.7.1 Nachweis

Beim Nachweis des Trittschallschutzes von Decken werden flankierende Bauteile nicht berücksichtigt.

a) Massivbauart

Erforderlicher Nachweis für den Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w,R}$ der Decke:

$$L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_{w,R} - K_T \leq \text{zul. } L'_{n,w} - 2 \text{ dB} \quad (6-9)$$

mit

$L_{n,w,eq,R}$ Rechenwert der Rohdecke

$\Delta L_{w,R}$ Rechenwert für Deckenauflage/Bodenbelag

K_T ggfs. Korrekturwert zur Berücksichtigung der räumlichen Zuordnung zwischen "lautem" und "leisem" Raum (sofern nicht unmittelbar übereinander liegend) (s. Bild 6-19)

Spalte	1	2
Zeile	Lage der schutzbedürftigen Räume (SR)	K_T dB
1	<p>Norm-Hammerwerk nach DIN 52 210 Teil 1</p> <p>unmittelbar unter dem „besonders lauten“ Raum (LR)</p> <p>Mikrofon</p>	0
2	<p>neben oder schräg unter dem „besonders lauten“ Raum (LR)</p>	+ 5
3	<p>wie Zeile 2, jedoch ein Raum dazwischenliegend</p>	+ 10
4	<p>über dem „besonders lauten“ Raum (LR) (Gebäude mit tragenden Wänden)</p>	+ 10
5	<p>über dem „besonders lauten“ Raum (LR) (Skelettbau)</p>	+ 20
6	<p>über dem „besonders lauten“ Kellerraum (LR)</p>	1)
7	<p>neben oder schräg unter dem „besonders lauten“ Raum (LR), jedoch durch Haustrennfuge ($d \geq 50\text{mm}$) getrennt</p>	+ 15

1) Angabe eines K_T -Wertes nicht möglich, es gilt $L'_{n,w,R} = \Delta L_{w,R} - 15\text{ dB}$ ($TSM_R = VM_R + 15\text{ dB}$). $\Delta L_{w,R}$ (VM_R) ist das Trittschallverbesserungsmaß des im Kellerraum verwendeten Fußbodens.

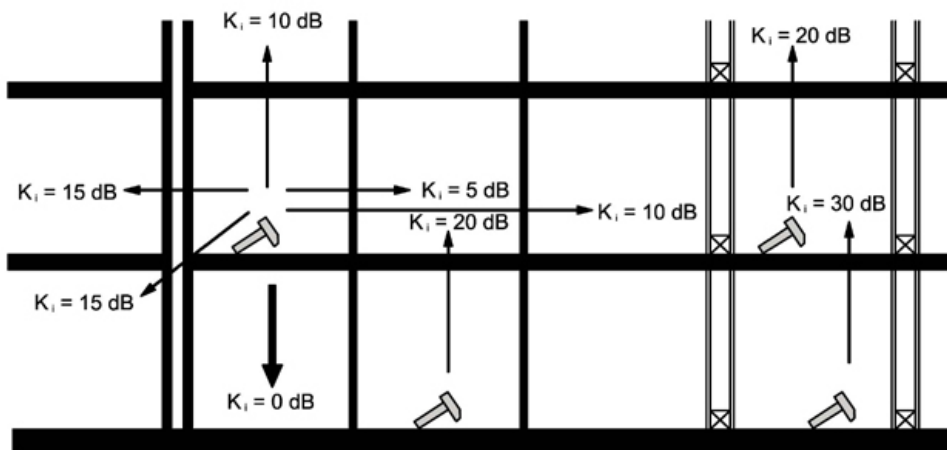


Bild 6-19 Korrekturwert K_T zur Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels für verschiedene räumliche Zuordnung "besonders lauter" Raum (LR) zu schutzbedürftigen Räumen (SR)

b) Holz- und Skelettbauart

Bei Skelettbauten mit Massivdecken erfolgt der Nachweis wie unter a) beschrieben.

Für Holzbalkendecken sind nur die Rechenwerte $L'_{n,w,R}$ für die gesamte Decke nach DIN 4109 Beiblatt 1, je nach Einsatz im Massivbau bzw. im Holzhausbau anwendbar.

6.7.2 Rechenwerte

Für eine Vielzahl von Deckenausführungen sind die erforderlichen Rechenwerte für $L_{n,w,eq,R}$ (Tab. 6-8), $\Delta L_{w,R}$ (Massivdecken) (Tab. 6-9) sowie für $L'_{n,w,R}$ (Holzbalkendecken) DIN 4109 Beiblatt 1 zu entnehmen.

Flächenbezogene Masse der Massivdecke ohne Auflage kg/m ²	L _{n,w,eq,R} in dB	
	ohne	mit
	biegeweiche(r) Unterdecke	
135	86	75
160	85	74
190	84	74
225	82	73
270	79	73
320	77	72
380	74	71
450	71	69
530	69	67

Tab. 6-8 Rechenwerte $L_{n,w,eq,R}$ von Massivdecken in Abhängigkeit von m'_R der Rohdecke

Estriche nach DIN 18560 T2 mit einer flächenbezogenen Masse $m' \geq 70$ kg/m ² auf Dämmschicht mit einer dynamischen Steifigkeit von höchstens s' (MN/m ³)	$\Delta L_{w,R}$ (dB)
50	22 (23)
40	24 (25)
30	26 (27)
20	28 (30)
15	29 (33)
10	30 (34)

Tab. 6-9 Rechenwerte $\Delta L_{w,R}$ von schwimmenden Estrichen auf Dämmschichten in Abhängigkeit von der dynamischen Steifigkeit s' der Dämmschicht; Werte in () mit weichfederndem Gehbelag mit $\Delta L_{w,R} \geq 20$ dB

Wegen der möglichen Austauschbarkeit von weichfedernden Bodenbelägen, die sowohl dem Verschleiß als auch den besonderen Wünschen der Bewohner unterliegen, dürfen diese beim Nachweis der Anforderungen nach DIN 4109 nicht angerechnet werden. Eine Ausnahme bilden die Empfehlungen des erhöhten Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2, hier dürfen weichfedernde Bodenbeläge mit angerechnet werden.

Im Vergleich zu den Verbesserungsmaßen des schwimmenden Estrichs sind nachfolgend einige Verbesserungsmaße für weichfedernde Bodenbeläge auf Rohdecken angegeben:

- PVC-Belag mit genadeltem Jutefilz als Träger $\Delta L_{w,R} = 13$ dB
- Nadelfilz, Dicke ≥ 5 mm $\Delta L_{w,R} = 20$ dB
- Polteppich, Unterseite geschäumt, Normdicke $a_{20} = 8$ mm $\Delta L_{w,R} = 28$ dB

Die Verringerung des Norm-Trittschallpegels einer fertigen Massivdecke durch einen zusätzlichen weichfedernden Gehbelag (z.B. Teppich) guter bauakustischer Qualität liegt maximal bei etwa 4 dB, jedoch sind dieser Ausführung - ebenso wie der Verbesserung von Rohdecken durch solche Beläge - wegen der möglichen Austauschbarkeit durch den Bewohner (anschließender Ersatz durch "harten" Belag möglich) enge Grenzen gesetzt.

Übungsskript Beispiel 5-12

6.8 Schutz vor Körperschall aus haustechnischen Anlagen

Der Schutz vor Schallübertragung aus haustechnischen Anlagen lässt sich nur unter großem rechnerischem Aufwand nachweisen. Es ist daher üblich auf bewährte Konstruktionen zurückzugreifen sowie sich einiger allgemeiner konstruktiver Hinweise zu bedienen.

Ein geringes Störungspotential lässt sich schon durch eine geeignete Grundrissgestaltung erreichen. Ziel ist es dabei, möglichst viele Verzweigungspunkte auf dem Weg des (Körper-) Schalls vom Anregungsort zum Immissionsort zu erreichen. An jeder Verzweigung teilt sich die Schwingungsenergie auf, so dass in der Folge eine geringere Luftschallabstrahlung stattfindet.