

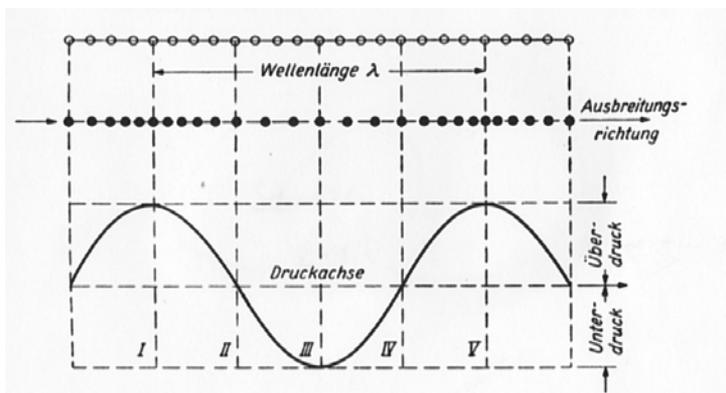
***Vorlesung***  
**„Bauphysikalische Grundlagen“**  
**- Schall -**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

**Physikalische Grundlagen**

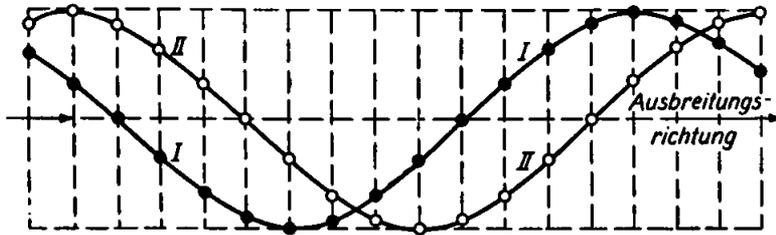
# Wellenarten

## Längs-, Longitudinal- oder Druckwellen



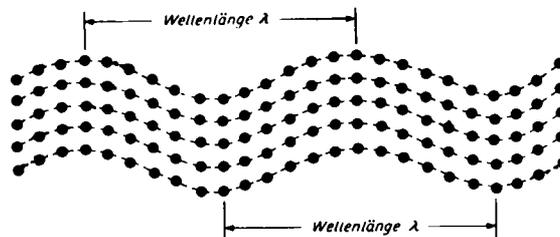
Die Teilchen des Stoffes, in dem sich die Welle ausbreitet, bewegen sich in Wellenfortpflanzungsrichtung. Die Teilchen nähern und entfernen sich abwechselnd voneinander. Wo die Teilchen sehr dicht aneinander sind, entsteht Überdruck, wo sie auseinandergerückt sind, Unterdruck gegenüber dem Ausgangszustand.

## Quer-, Transversal- oder Schubwellen

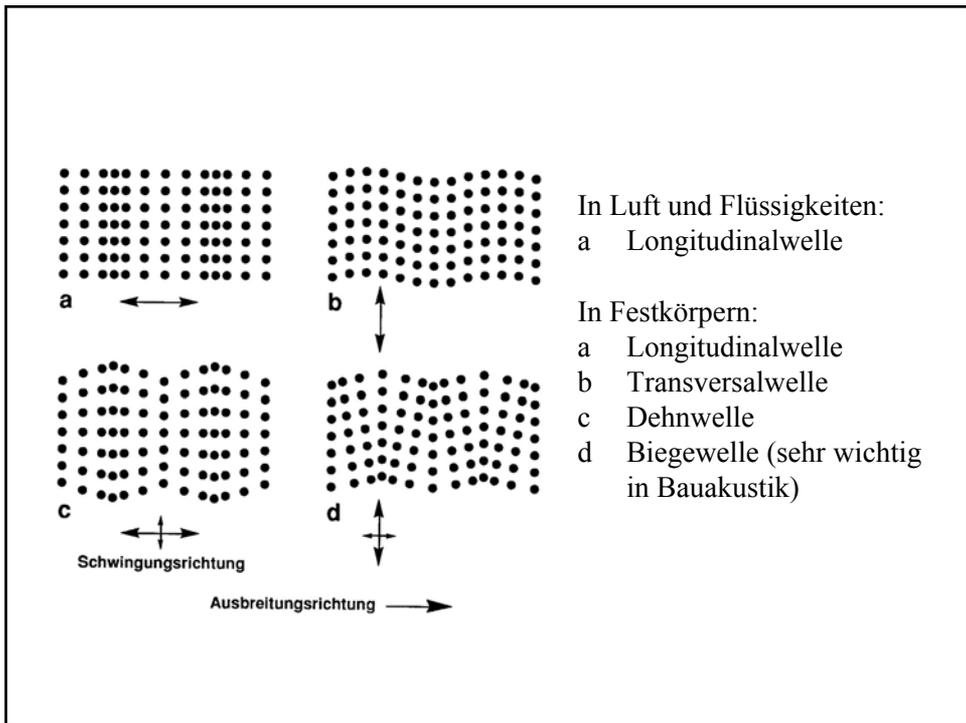


Die Teilchen des Stoffes, in dem sich die Welle ausbreitet, bewegen sich senkrecht zur Wellenfortpflanzungsrichtung. Jedes Teilchen nimmt sein Nachbarpartikel durch Schubkraftübertragung mit. (In Luft und im Inneren von Wasser nicht möglich!)

## BiegeWellen



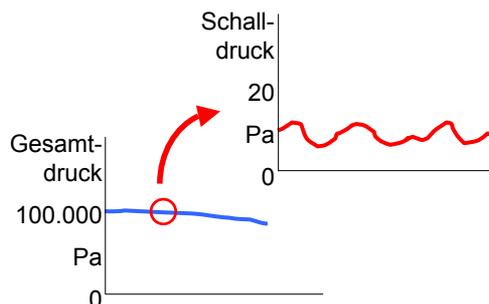
Plattenförmige Bauelemente, wie Wände oder Decken, die erregt werden, können als Ganzes schwingen, wobei eine Verformung auftritt.



Schallgrößen sind den statischen Größen überlagert

Statischer Druck ca. 100.000 Pa  
Schalldruck (Unterhaltung) ca. 0,02 Pa

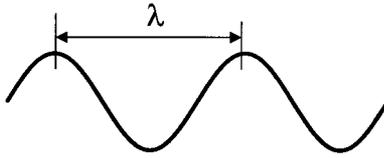
(1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>)



# Schallausbreitung

<b>Stoff (Ausbreitungs- medium)</b>	<b>Schallausbreitungs- geschwindigkeit c [m/s]</b>
Gummi	40
Kork	500
Wasser	1450
Holz	3000
Beton	4000
Stahl	5000
Glas	5200
Luft	$c = 331,7 + 0,6 \cdot \theta$ [m/s] $\theta = 0 \text{ }^\circ\text{C}: c = 331,7 \text{ m/s}$ $\theta = 15 \text{ }^\circ\text{C}: c = 340,6 \text{ m/s}$

## Wellenlänge $\lambda$ :



Wellenlänge  $\lambda$  heißt der Abstand zweier benachbarter Punkte gleichen Schwingungszustandes (Phase).

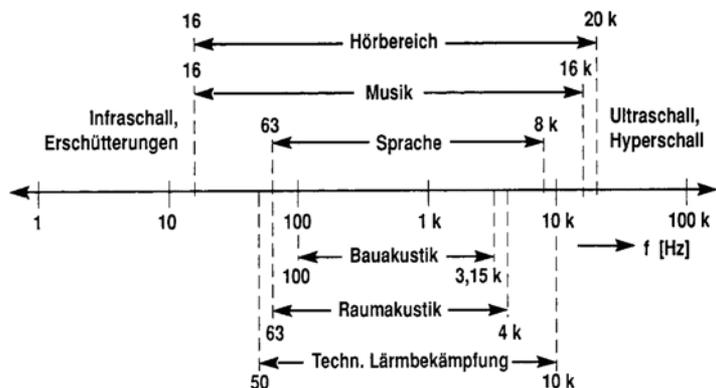
## Frequenz $f$ :

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Die Frequenz  $f$  beschreibt die Anzahl der Wellen je Zeiteinheit.

$f$  [Hz] 1 Schwingung je Sekunde = 1 Hertz = 1 Hz  
 $c$  [m/s] Schallausbreitungsgeschwindigkeit  
 $\lambda$  [m] Wellenlänge

## Wichtige Frequenzbereiche der Akustik



# Ton, Klang, Geräusch

## Ton

Töne sind Schallwellen mit bestimmten Frequenzen.

Je höher die Frequenz desto höher der Ton.

Eine Verdoppelung der Frequenz ist ein Oktavschritt.

Oktave:  $f_2 = 2 \cdot f_1$

Terz:  $f_2 = 2^{1/3} \cdot f_1$

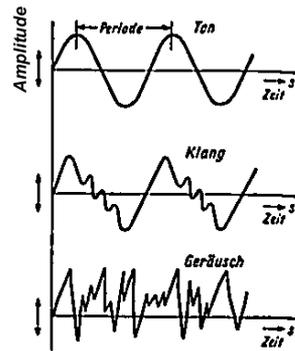
## Klang

Als Klang bezeichnet man die Überlagerung mehrerer Töne, deren Frequenzen in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen (Grund- und Oberschwingungen).

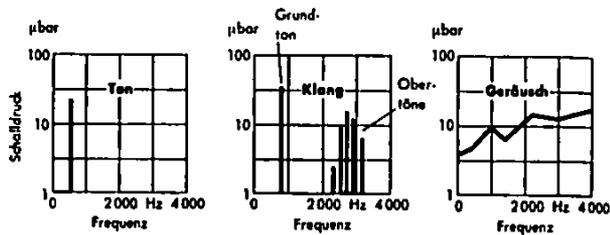
## Geräusch

Ein Geräusch setzt sich aus vielen Teiltönen zusammen, deren Frequenzen in keinem bestimmten Verhältnis zueinander stehen.

# Schwingungen bei Tönen, Klängen und Geräuschen



## Tonspektren verschiedener Schalle



# Schalltechnische Größen

## Schallkennimpedanz (Wellenwiderstand, Schallhärte)

$$\frac{p}{v} = \rho \cdot c$$

- p Schalldruck [Pa]
- v Schallschnelle (Geschwindigkeit mit der sich die Teilchen im Stoff um ihre Ruhelage bewegen) [m/s]
- $\rho$  Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]
- c Schallausbreitungsgeschwindigkeit (beschreibt die Ausbreitung der Druckwelle von Teilchen zu Teilchen) [m/s]

## Schallintensität

$$I = p \cdot v = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$$

- 👉 Schallintensität (Schallenergie, die durch eine Flächeneinheit strömt) [W/cm<sup>2</sup>]

Gerade noch hörbare Schallintensität  $I_0$  (bei 1000 Hz):

$$I_0 = 10^{-16} \text{ W/cm}^2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Entspricht einem Schwelldruck  $p_0$ :

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ mbar} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

## Schallpegel (Schallintensität-, Schalldruckpegel)

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \quad [\text{Bel}] \quad \text{oder}$$

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad \text{oder}$$

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad \begin{array}{l} \text{wegen } I/I_0 = (p/p_0)^2 \\ \text{und } \lg x^2 = 2 \cdot \lg x \end{array}$$

Das menschliche Ohr verarbeitet Schallreizsignale logarithmisch und die im täglichen Leben auftretenden Schalldrücke können sich bis zu 5 Zehnerpotenzen unterscheiden.

Daher wird eine logarithmische Kenngröße, der Schallpegel  $L$ , verwendet.

## Schallpegel (Schallintensität-, Schalldruckpegel)

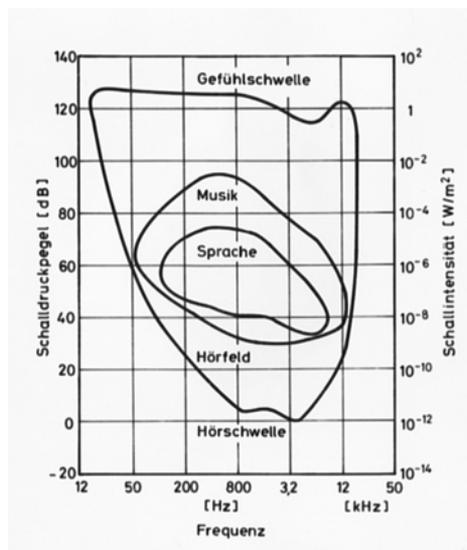
$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad \rightarrow \quad 10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0} \quad \rightarrow \quad I = 10^{\frac{L}{10}} \cdot I_0$$

→ z.B.  **$L = 80 \text{ dB}$**  bedeutet,  
dass die Schallintensität das  **$10^8$** -fache der  
gerade noch hörbaren Intensität  **$I_0$**  beträgt!

## Schalldruck und Schallpegel verschiedener Quellen

Schallquelle	Schalldruck in $\text{N/m}^2$	Schalldruckpegel in dB
Hörschwelle	0,000 020	0
Luftzug	0,000 063	10
Blättersäuseln	0,000 20	20
Ruhiges Wohnen, Weckerticken	0,000 66	30
Leise Unterhaltung	0,002 0	40
Ruhige Wohnstraße	0,006 3	50
Lautere Unterhaltung	0,020	60
Gaststube	0,063	70
Laute Radiomusik	0,20	80
Lastkraftwagen, 3 m	0,63	90
Webereien	2,0	100
Presslufthammer, 3m	6,3	110
Presslufthammer, 1m, Schmerzschwelle	20	120

## Schallintensitäten und Schallpegel im Hörbereich



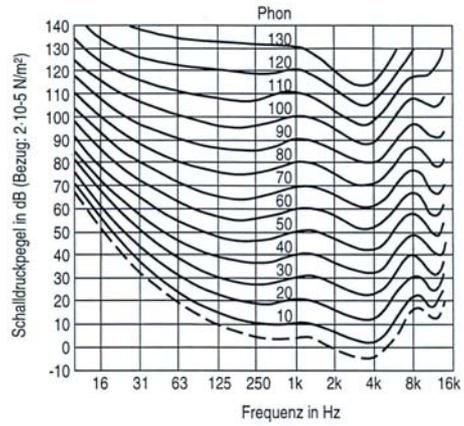
## Lautstärke

Das menschliche Ohr empfindet Töne gleichen Schallpegels bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich laut.

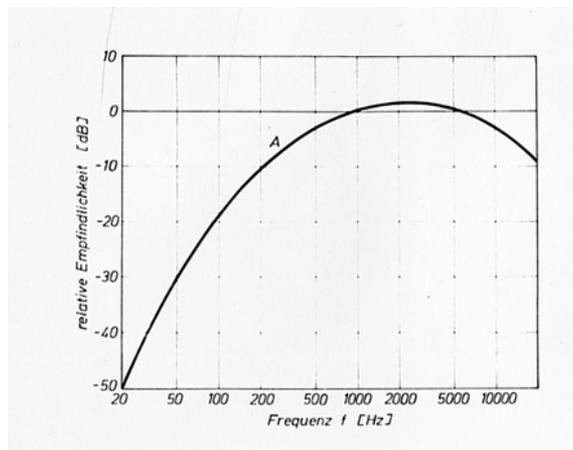
Zur Kennzeichnung der Lautstärke dient die Einheit Phon  
(Phon = dB bei 1000 Hz).

Beispiel:

Ein Ton von 1000 Hz mit einem Schallpegel von 20 dB wird genauso laut empfunden wie ein Ton von 31 Hz mit einem Schallpegel von 44 dB.

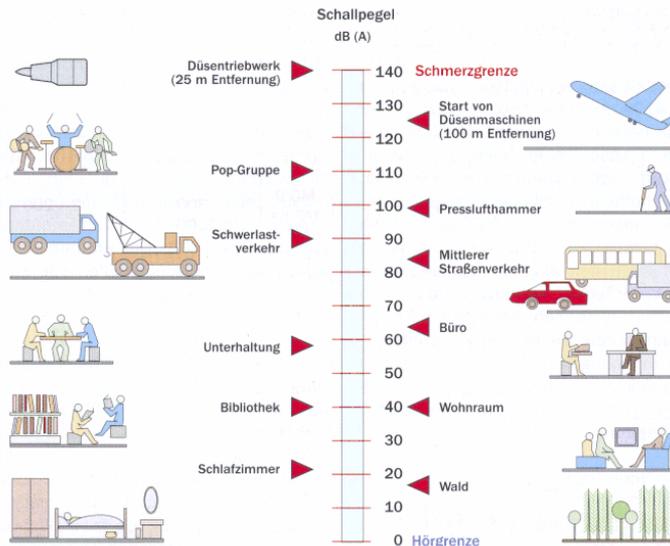


## Frequenzbewertung



Beispiel: Ein **100 Hz-Ton** mit **70 dB** entspricht **51 dB (A)**

## Richtwerte für A-Schallpegel verschiedener Geräusche



## Schallschutz im Hochbau



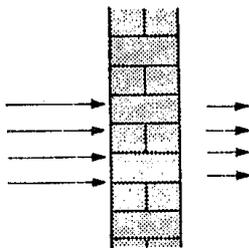
## Der Geräuschpegel in einem Raum hängt ab von

- dem im Raum erzeugten Schall sowie dessen Reflexion an den Raumumschließungsflächen
- der Luftschallübertragung aus Nachbarräumen und aus der Gebäudeumgebung
- Körperschallübertragung aus Nachbarräumen, Übertragung von Trittschall- und Installationsgeräuschen

# Schallabsorption

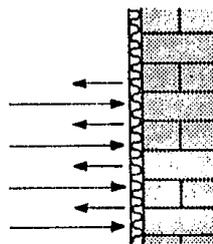
## Unterschied Schalldämmung / Schallabsorption

**Luftschalldämmung**



Wieviel Schall gelangt  
in den Nachbarraum?

**Schallabsorption  
(Schalldämpfung)**



Wieviel Schall wird in den  
eigenen Raum zurückgeworfen ?

## Schallabsorptionsgrad

$$\alpha = \frac{\text{nicht wieder reflektierte Schallenergie}}{\text{auftreffende Schallenergie}}$$

$$\alpha = 1 - \rho$$

$\alpha$  Schallabsorptionsgrad [-]

$\rho$  Schallreflexionsgrad [-]

$\alpha = 0$ : völlige Reflexion

$\alpha = 1$ : völlige Absorption

z.B.  $\alpha_{\text{Beton}} = 0,02$  bei 1000 Hz

## Schallabsorptionsgrade verschiedener Verkleidungen

lfd. Nr.	Verkleidung	Schallabsorptionsgrad $\alpha_s$ bei den Frequenzen					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1	25 mm Asbestspritzputz	0,2	0,3	0,5	0,6	0,75	0,7
2	25 mm Zementspritzputz mit Vermiculitezusatz	0,05	0,1	0,2	0,55	0,6	0,55
3	8 mm Schaumstoff-Topete	0,03	0,1	0,25	0,5	0,7	0,9
4	Bimsbeton, unverputzt	0,15	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
5	115 mm Hochlochziegel, unverputzt, Löcher dem Raum zu offen, Mineralwolle im 50 mm Hohlraum hinter Ziegeln	0,15	0,65	0,45	0,45	0,4	0,7
6	25 mm Holzwalte-Leichtbauplatten, unverputzt unmittelbar an Wand 24 mm vor Wand, im Hohlraum Mineralwolle	0,05	0,1	0,5	0,75	0,6	0,7
7	50 mm Mineralfaserplatten (100 kg/m <sup>3</sup> )	0,15	0,7	0,65	0,5	0,75	0,7
8	20 mm Mineralfaserplatten mit Farbe in Flockenstruktur an Oberfläche	0,3	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0
9	16 mm Mineralfaserplatten, 375 kg/m <sup>3</sup> , raumseitig mit Farbschicht, Oberfläche mit feinen Öffnungen versehen, 200 mm Deckenabstand	0,02	0,15	0,5	0,85	1,0	0,95
10	Blechkassetten, gelocht, mit 20 mm Mineralfaserfilz, aufgelegt, 300 mm Deckenabstand	0,4	0,45	0,6	0,65	0,85	0,85
11	Gipskartonplatten, gelocht, Mineralfaser-Auflage 100 mm Deckenabstand	0,3	0,7	0,7	0,9	0,95	0,95
12	Holzriemen mit 15 mm breiten, offenen Fugen, 20 mm Mineralfaser-Auflage bei 30 mm Deckenabstand bei 200 mm Deckenabstand	0,3	0,7	1,0	0,8	0,65	0,6
13	Plüsch-Bespannung, gefaltet, 0,42 kg/m <sup>2</sup> 50 mm Abstand von Wand	0,1	0,25	0,8	0,7	0,3	0,4
14	7 mm Teppichboden	0,4	0,7	0,5	0,4	0,35	0,3
		0,15	0,45	0,95	0,9	1,0	1,0
		0	0,05	0,1	0,3	0,5	0,6

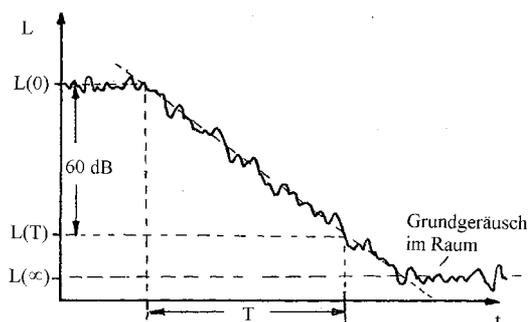
## Schallabsorptionsgrade von Personen und Gestühl

Publikums- und Gestühlfläche	Oktavband-Mittenfrequenz $f_m$ [Hz]					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
	Schallabsorptionsgrad $\alpha$					
Publikum auf Holzgestühl	0,40	0,60	0,75	0,80	0,85	0,80
Publikum auf Polstergestühl	0,60	0,75	0,80	0,85	0,90	0,85
Holzgestühl unbesetzt	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Polstergestühl unbesetzt	0,45	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80
<b>Personen</b>	<b>äquivalente Schallabsorptionsfläche A je Person [m<sup>2</sup>]</b>					
> 2 m <sup>2</sup> je Person (Musiker)	0,45	0,65	0,85	1,00	1,10	1,10
ca. 0,65 m <sup>2</sup> je Person (Publikum)	0,30	0,45	0,60	0,65	0,75	0,75
< 0,5 m <sup>2</sup> je Person (Chor)	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60	0,60

## Nachhallzeit

Lässt man eine Schallquelle im Raum einige Zeit eingeschaltete und schaltet sie dann ab, so klingt das Schallfeld nach dem Abschalten mehr oder weniger schnell ab, es entsteht ein Nachhall.

**Nachhallzeit T:** Zeit, in der der Schallpegel L im Raum um 60 dB abgefallen ist.



## Nachhallzeit

$$T = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$$

- T Nachhallzeit [s]  
V Raumvolumen [m<sup>3</sup>]  
A Absorptionsfläche [m<sup>2</sup>]  
 $A = A_1 \cdot \alpha_1 + A_2 \cdot \alpha_2 + A_3 \cdot \alpha_3 + \dots$

## Pegelsenkung durch Absorption

$$\Delta L = 10 \lg \cdot \frac{A_{\text{vorher}}}{A_{\text{nachher}}}$$

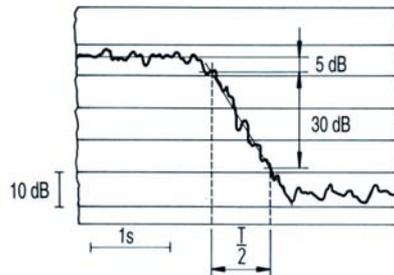
## Anforderungen an die Nachhallzeit

Raumvolumen	< 250 m <sup>3</sup>	< 500 m <sup>3</sup>	≤ 250 m <sup>3</sup>
Unterrichtsräume (gem. ASL)	0,8 - 1,0 s	0,9 - 1,1 s	1,0 - 1,2 s
Musikräume (gem. ASL)	1,2 - 1,3 s	1,3 - 1,4 s	1,4 - 1,5 s
Sporthallen (gem. DIN 18 032)		1,8 s	

## Empfehlung für Großraumbüros

$$T \leq 0,5$$

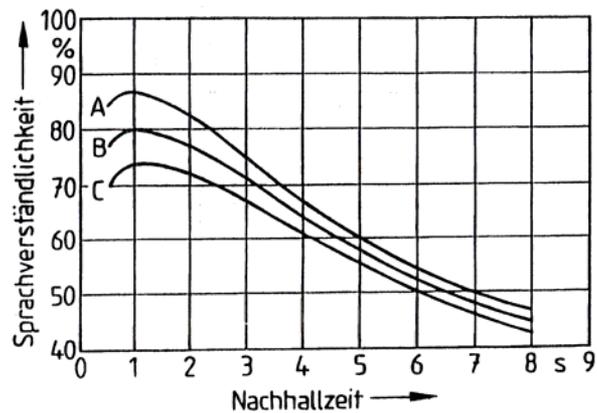
## Messung der Nachhallzeit



Messung des Schallpegelabfalls von 30 dB (oder 20 dB) und Verdopplung (oder Verdreifachung) der gemessenen Zeit.

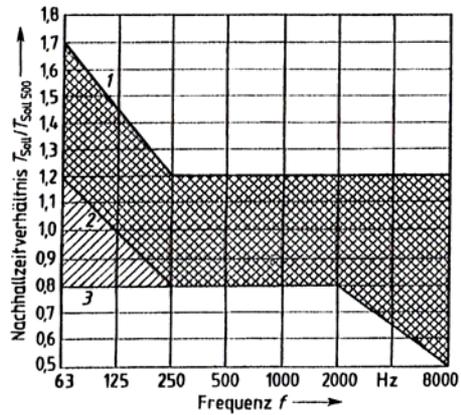
Messung und Rechnung erfolgen in Terz- und Oktavbändern.

## Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von der Nachhallzeit und dem Raumvolumen



- A Raumvolumen 700 m<sup>3</sup>
- B Raumvolumen 11000 m<sup>3</sup>
- C Raumvolumen 45000 m<sup>3</sup>

## Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz

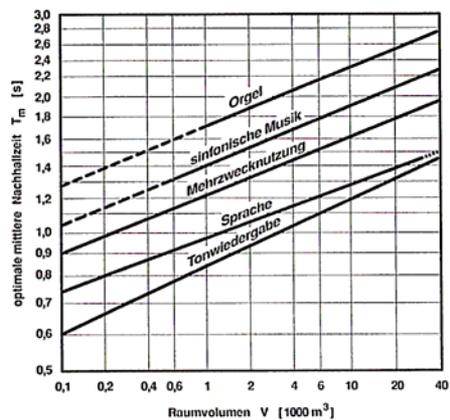


Toleranzbereiche für die Sollwerte der Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz.

Bereich 1 - 2: Musik

Bereich 2 - 3: Sprache

## Optimale Nachhallzeit für verschiedene Raumfunktionen



Optimale mittlere Nachhallzeit bei 500 bis 1000 Hz in Abhängigkeit vom Raumvolumen.

# Raumakustik

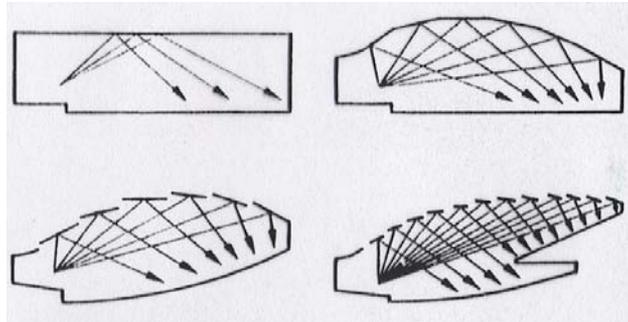
## Direkter / reflektierter Schall

Zwei Schallereignisse werden getrennt wahrgenommen bei einem Zeitunterschied von mehr als **0,05 s**.

Bei einer Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft von etwa 340 m/s entspricht das einem Laufwegunterschied von **17 m** zwischen **direktem** und **reflektiertem Schall**. Ist der Unterschied größer als 17 m wird die Reflexion als störendes Echo wahrgenommen.

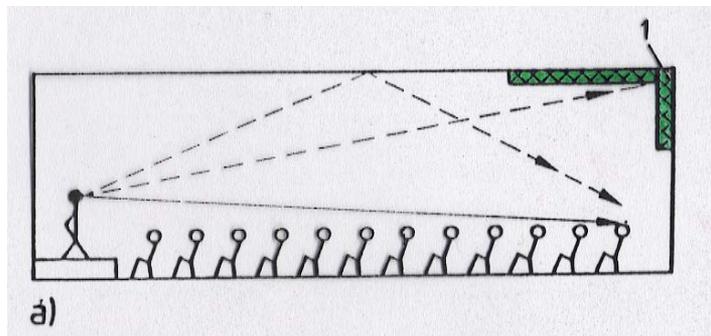
Nach diesem Kriterium können Reflektoren und Absorptionsflächen richtig angeordnet werden bzw. entsprechende Deckenformen entwickelt werden.

## Direkter / reflektierter Schall



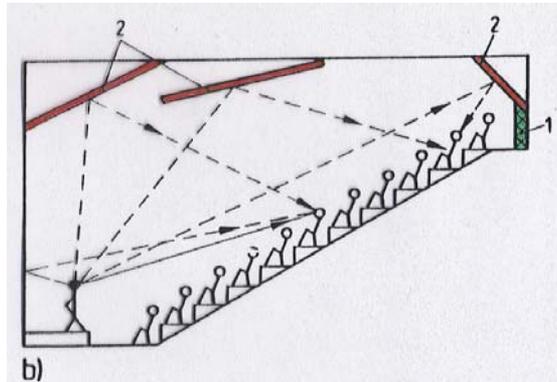
Deckenform zur Begünstigung kurzzeitiger Reflexionen in den hinteren Publikumsbereich.

## Direkter / reflektierter Schall



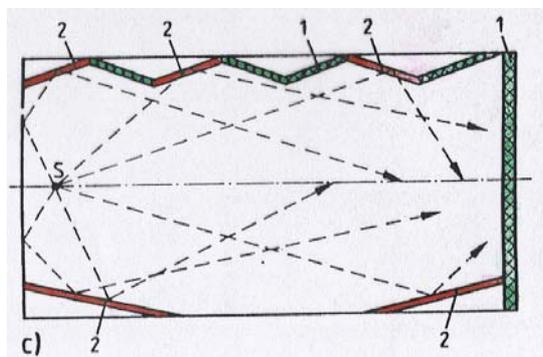
Klassenzimmer u.ä.: An Rückwand und Deckenfries absorbierend, Decken-Mittelbereich reflektierend.

## Direkter / reflektierter Schall



Nützliche Decken- und Stirnwandreflexionen bei hohen Räumen in Verbindung mit ansteigendem Gestühl.

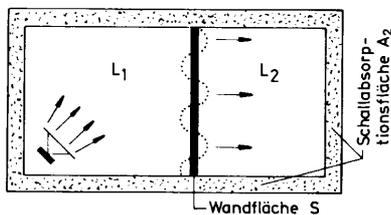
## Direkter / reflektierter Schall



Deutlichkeitserhöhende Wandreflexionen.

# Luftschallübertragung

## Schallpegeldifferenz / Luftschalldämm-Maß R



Luftschallübertragung tritt auf, wenn in zwei aneinandergrenzenden Räumen unterschiedliche Schallpegel vorhanden sind

Die Schallpegeldifferenz wird als Schalldämmung empfunden.

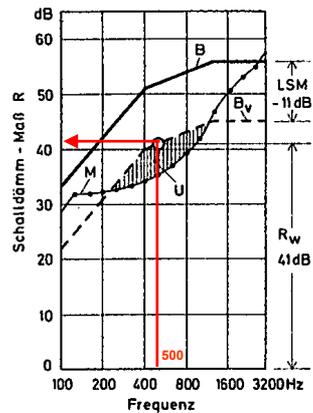
$$L_1 - L_2 = R - 10 \lg \frac{S}{A_2}$$

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A_2}$$

- $L_1$  Schallpegel im Senderaum [dB]
- $L_2$  Schallpegel im Empfangsraum [dB]
- $S$  Fläche der Trennwand [ $m^2$ ]
- $A_2$  Absorptionsfläche des Empfangsraums [ $m^2$ ]
- $R$  Luftschalldämm-Maß [dB]

## Bewertetes Schalldämm-Maß $R_w$

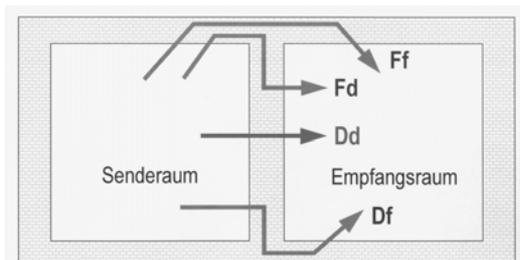
- B Bewertungskurve nach Norm
- $B_v$  Verschobene Bewertungskurve
- M Messkurve
- U Zulässige Unterschreitung von M gegenüber  $B_v$  (2 dB im Mittel oder 32 dB in Summe)
- $R_w$  bewertetes Schalldämm-Maß [dB]
- LSM Luftschallschutzmaß, früher statt  $R_w$  verwendet ( $R_w = LSM + 52$  dB)



Das Schalldämm-Maß  $R$  hängt von der Frequenz ab. Man bildet aus den durch Messung bestimmten Werten für verschiedene Frequenzen einen Mittelwert. Dafür wird eine Bezugskurve  $B$  so verschoben, bis die Unterschreitung  $U$  der verschobenen Bezugskurve  $B_v$  durch die Messkurve  $M$  im Mittel maximal 2 dB bzw. in der Summe maximal 32 dB beträgt. Die Größe von  $B_v$  bei 500 Hz ist das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$ .

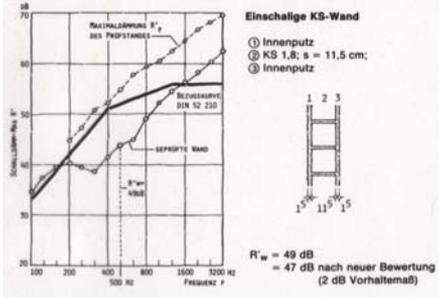
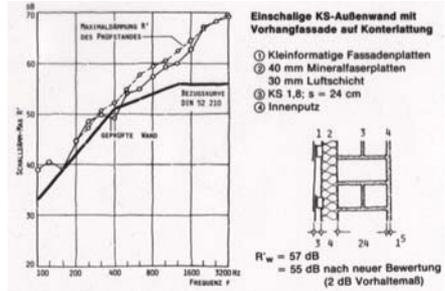
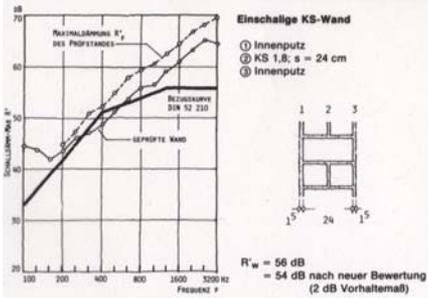
## Bauschalldämm-Maß $R'$

Bei Messungen am Bau unter Berücksichtigung der Flankenübertragung wird das Schalldämm-Maß als **Bauschalldämm-Maß  $R'$**  bezeichnet. Effekte, die durch die Einbausituation des Bauteils entstehen, sind darin also mit berücksichtigt.



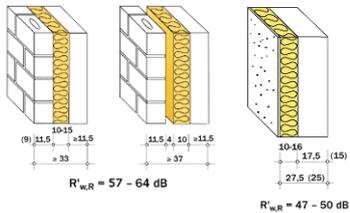
- Dd Direkter Weg
- Ff, Df, Fd Flankenwege

# Bauschalldämm-Maß $R'$ - Beispiele

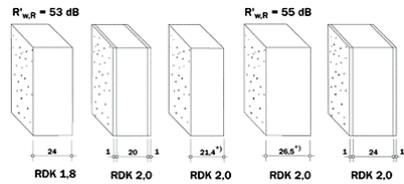


## Bewertetes Bauschalldämm-Maß $R'_{w,R}$ von verschiedenen KS-Wänden

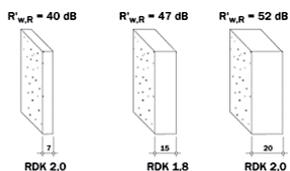
**Außenwände:**



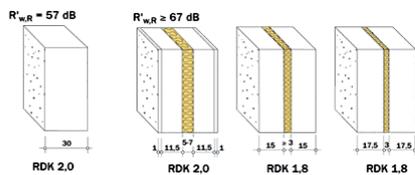
**Wohnungstrennwände:**



**Innenwände:**



**Haustrennwände:**



## Resultierendes Schalldämm-Maß

Für ein Bauteil bestehend aus n Elementen mit unterschiedlicher Schalldämmung:

$$R_{w,res} = -10 \lg \left[ \frac{1}{S_{ges}} \left( S_1 \cdot 10^{\frac{-R_{w,1}}{10}} + S_2 \cdot 10^{\frac{-R_{w,2}}{10}} + \dots + S_n \cdot 10^{\frac{-R_{w,n}}{10}} \right) \right]$$

$S_{ges}$  Fläche des gesamten Bauteils [m<sup>2</sup>]  
 $S_1$  bis  $S_n$  Flächen der einzelnen Elemente des Bauteils [m<sup>2</sup>]  
 $R_{w,1}$  bis  $R_{w,n}$  bewertete Schalldämm-Maße der einzelnen Elemente des Bauteils [dB]

## Resultierendes Schalldämm-Maß

Für ein Bauteil aus nur 2 Elementen mit unterschiedlicher Schalldämmung (z.B. Wand mit Fenster):

$$R_{w,res} = R_{w,1} - 10 \lg \left[ 1 + \frac{S_2}{S_{ges}} \left( 10^{\frac{R_{w,1}-R_{w,2}}{10}} - 1 \right) \right]$$

$S_{ges} = S_1 + S_2$  Fläche der Wand mit Fenster [m<sup>2</sup>]  
 $S_1$  Flächen der Wand [m<sup>2</sup>]  
 $S_2$  Flächen des Fensters [m<sup>2</sup>]  
 $R_{w,1}$  bewertete Schalldämm-Maß der Wand allein [dB]  
 $R_{w,2}$  bewertete Schalldämm-Maß des Fensters [dB]

## Resultierendes Schalldämm-Maß - Beispiel

Wand mit Fenster:           Wand:                    $S_1 = 12 \text{ m}^2$ ;  $R_{w,1} = 50 \text{ dB}$   
                                   Fenster:                $S_2 = 4 \text{ m}^2$ ;    $R_{w,2} = 40 \text{ dB}$

$$\begin{aligned}
 R_{w,\text{res}} &= 50 - 10 \lg \left[ 1 + \frac{4}{16} \left( 10^{\frac{50-40}{10}} - 1 \right) \right] \\
 &= 50 - 10 \lg (1 + 0,25 \cdot 9) \\
 &= 50 - 10 \lg 3,25 \\
 &= 50 - 5,1 \\
 &\approx 45 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Die „Schwachstelle“ (hier das Fenster) beeinflusst das resultierende Schalldämm-Maß maßgeblich!

## Bewertetes Schalldämm-Maß und das Durchhören von Sprache

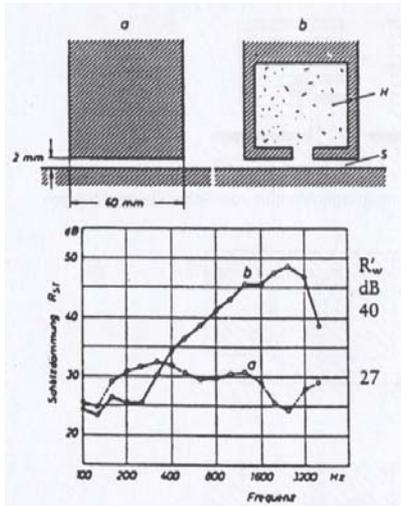
Sprachverständlichkeit	erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß $R_w$ [dB]	
	Grundgeräusch 20 dB(A)	Grundgeräusch 30 dB(A)
nicht zu hören	67	57
zu hören, jedoch nicht zu verstehen	57	47
teilweise zu verstehen	52	42
gut zu verstehen	42	32

## Einschalige Wände und Decken

### **Einfluss von Undichtheiten - verputzte / unverputzte Trennwände -**

Wandmaterial	$R_w$ [dB]	
	unverputzt	verputzt
240 mm Hochlochziegel	50	53
250 mm Schüttnbeton	11	53
240 mm Hohlblocksteine aus Bimsbeton	16	49
200 mm Porenbetonplatten, geschosshoch	45	47

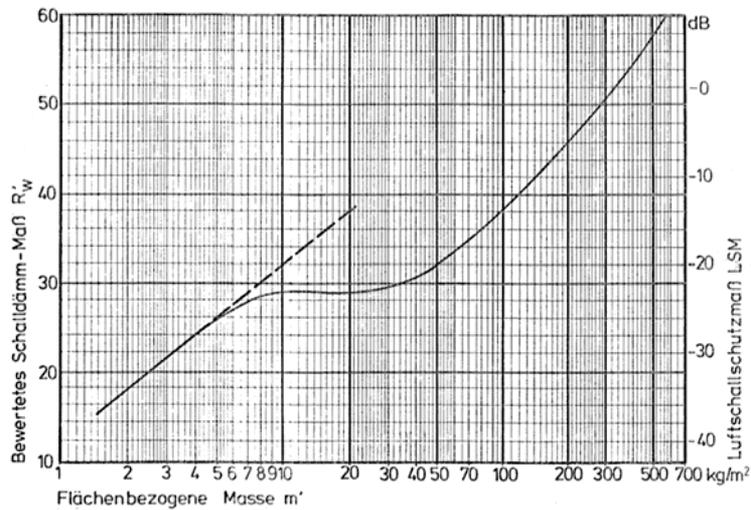
## Einfluss von Undichtheiten - offene Fugen bei Trennwänden -



Bedeutung eines angekoppelten Hohlraumes H (mit Mineralwollefüllung) für die Schalldämmung eines Schlitzes S.

a: ohne Hohlraum  
n: mit Hohlraum

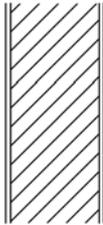
## Einfluss der Masse



## Einfluss der Masse - Beispiel

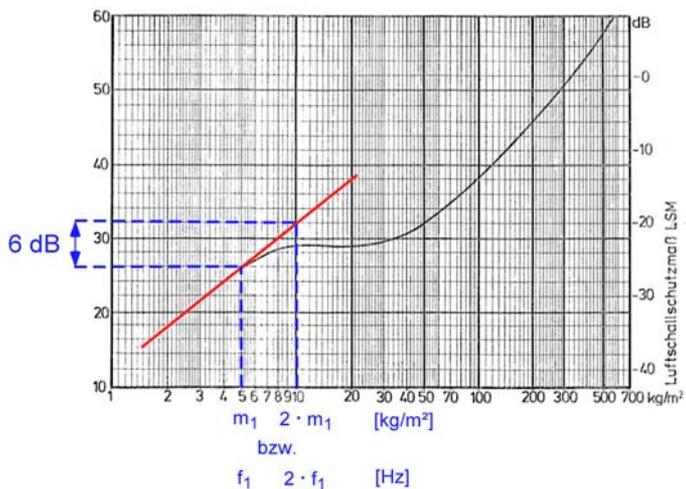
	A	B
Rohdichte:	800 kg/m <sup>3</sup>	2400 kg/m <sup>3</sup>
flächenbezogene Masse:	150 kg/m <sup>2</sup>	340 kg/m <sup>2</sup>
bewertetes Schalldämm-Maß $R'_w$ :	43 dB	52 dB
Wärmedurchlasswiderstand $1/\lambda$ :	0,41 Km <sup>2</sup> /W	0,08 Km <sup>2</sup> /W

A	B
	
± 12 cm ±	± 12 cm ±
Porenbeton	Normalbeton

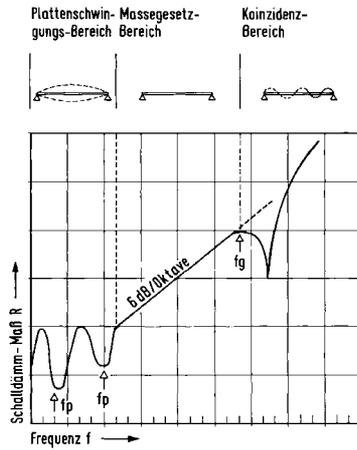
Beispiel für den Einfluss der Rohdichte: Das leichtere Material ergibt bei zwei gleich dicken Wänden die geringere Schalldämmung und die höhere Wärmedämmung.

## Einfluss der Masse, Einfluss der Frequenz



In dem Bereich, für den das Bergersche Massengesetz gilt, ergibt sowohl eine Frequenzverdopplung (Erhöhung um eine Oktave) als auch die Verdopplung der flächenbezogenen Masse des Bauteils eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes um 6 dB.

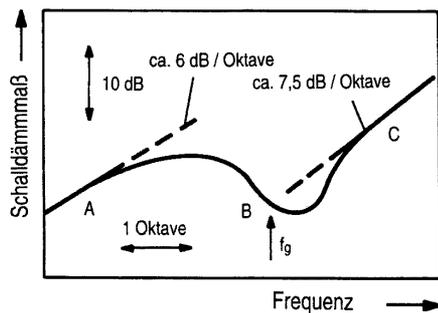
## Einfluss der Masse



Das Massengesetz gilt nur in einem eingeschränkten Frequenzgebiet zwischen den Eigenschwingungen der Bauteile (Platteneigenfrequenzen  $f_p$ ) und den Auswirkungen der Koinzidenz oder Spuranpassung (Grenzfrequenz  $f_g$ ).

## Grenzfrequenz (Koinzidenzfrequenz)

Das Minimum der Schalldämmung liegt knapp oberhalb der sog. Grenzfrequenz (Koinzidenzfrequenz)  $f_g$  oder  $f_{gr}$ .



### Bereiche

- A  $f < f_g$   
Masseeinfluss
- B  $f = f_g$   
Koinzidenzeinbruch  
(Spuranpassungseffekt)
- C  $f > f_g$   
Masse- und  
Dämpfungseinfluss

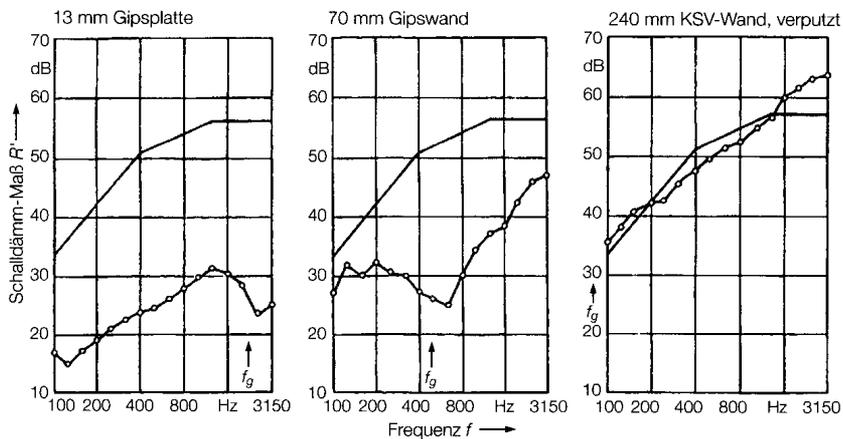
$f_g$  Koinzidenzgrenzfrequenz

## Grenzfrequenz (Koinzidenzfrequenz)

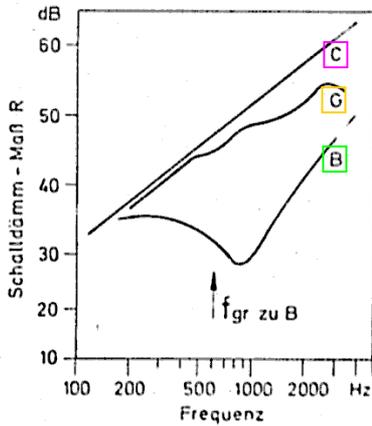
$$f_{gr} = \frac{c^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{m'}{B}} = 6,4 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad [\text{Hz}]$$

- c Schallgeschwindigkeit der Luft [m/s]
- m' flächenbezogene Masse der Platte [kg/m<sup>2</sup>]
- B Biegesteifigkeit der Platte [Nm]
- d Dicke der Platte [m]
- ρ Rohdichte des Materials [kg/m<sup>3</sup>]
- E Elastizitätsmodul [N/m<sup>2</sup>]

## Grenzfrequenz - Messwerte (Beispiele)



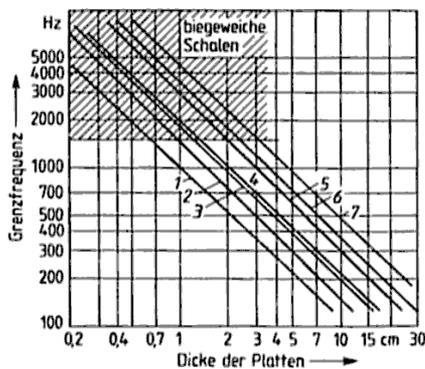
## Einfluss der Biegesteifigkeit



Ungünstiger Einfluss der Biegesteifigkeit auf die Schalldämmung dünner Wände:

- G Gummipolster (m<sup>l</sup> = 55 kg/m<sup>2</sup>)
- B Betonplatte (m<sup>l</sup> = 55 kg/m<sup>2</sup>)
- C rechnerischer Verlauf für gleichschwere Platte mit vernachlässigbarer Biegesteifigkeit

## Einfluss der Biegesteifigkeit



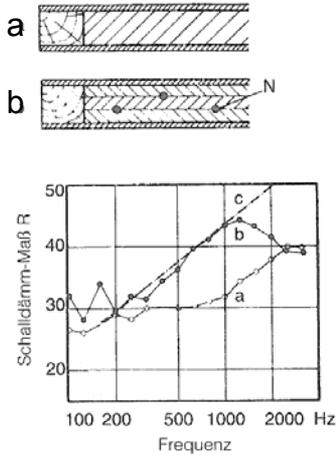
Grenzfrequenzen für Platten aus verschiedenen Baustoffen, abhängig von ihrer Dicke:

- 1 Glas
- 2 Schwerbeton
- 3 Sperrholz
- 4 Vollziegel
- 5 Gips
- 6 Hartfaserplatten
- 7 Porenbeton

Platten, deren Grenzfrequenz über etwa 1500 Hz liegt, werden als biegeweich bezeichnet.

Anzustreben sind Grenzfrequenzen entweder **unter 100 Hz** oder **über 1500 Hz**.

## Einfluss der Masse und Biegesteifigkeit

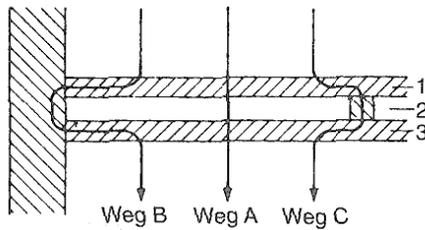


Verbesserung der Schalldämmung einer Platte durch die Füllung des Hohlraumes mit lose eingelegten Holzspanplatten, die nur über einzelne Nägel N miteinander verbunden sind:

- a massive Holzspanplatte  
 $m^l = 29 \text{ kg/m}^2$   
 $R_w = 34 \text{ dB}$
- b mehrere lose Holzspanplatten  
 $m^l = 27 \text{ kg/m}^2$   
 $R_w = 40 \text{ dB}$
- c theoretisch für vernachlässigbar geringe Biegesteifigkeit

## Zweischalige Wände und Decken

## Übertragungswege



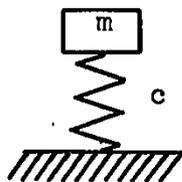
- 1,2 Wandschalen
- 3 Luft- oder Dämmschicht

Die Trennung der Schalen bei zweischaligen Wänden oder Decken kann meist nicht vollkommen ausgeführt werden (Ausnahme: schwimmender Estrich) und es ergeben sich zusätzliche Übertragungswege. Die stärkste Übertragung entscheidet über den Schallschutz.

## Schallübertragung über die Luftschicht (Weg A)

Bei diesem Übertragungsweg liegt ein „Masse-Feder-Masse“-Schwingungssystem vor.

Jedes Schwingungssystem besitzt eine Eigenfrequenz  $f_0$ .



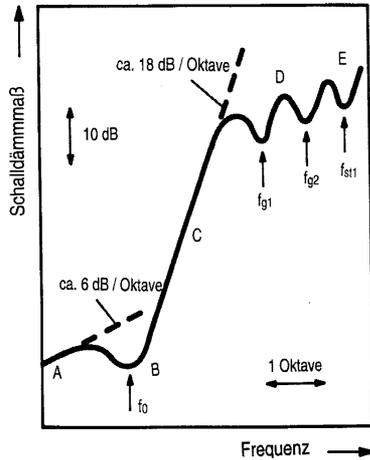
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}}$$

c Federkonstante [N/m]

Die Stärke des Anstoßes der Masse  $m$  bestimmt den Schwingungsauslag (Amplitude) hat aber keinen Einfluss auf  $f_0$ . (Vgl. auch Zeitpendel, bei dem die Pendellänge Auskunft über die Eigenfrequenz gibt.)

Stimmen Eigenfrequenz und Frequenz der Erregung überein, spricht man von **Resonanz**. Die stärkste Übertragung tritt im Bereich der Resonanzfrequenz  $f_R$  auf.

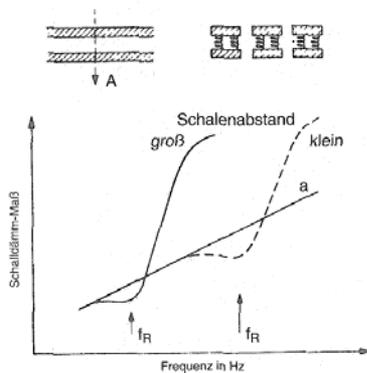
## Resonanzfrequenz



### Bereiche

- A  $f < f_0$   
Masseeinfluss
- B  $f = f_0$   
Resonanzeinbruch
- C  $f > f_0$   
Entkoppelte Schalen
- D  $f = f_{g1}, f = f_{g2}$   
Koinzidenzeinbrüche der beiden Schalen
- E  $f = f_{st1}, f_{st2}$  usw.  
Einbrüche durch stehende Wellen

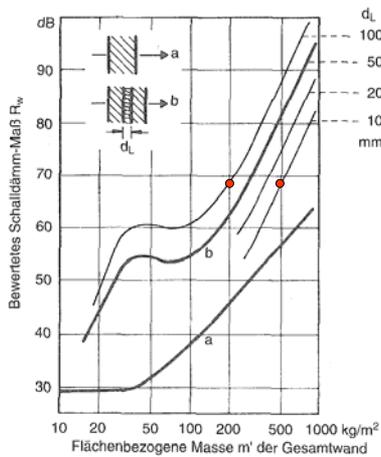
## Resonanzfrequenz in Abhängigkeit vom Schalenabstand



a Schalldämmung einer gleich schweren einschaligen Wand

Der Luftabstand zwischen den Wandschalen einer Doppelwand muss genügend groß sein, sonst ist er akustisch unwirksam!

## Schalldämm-Maß von doppelschaligen Wänden



- b  $R_w$  von doppelschaligen Wänden abhängig von  $m'$  der Gesamtwand und dem Schalenabstand  $d_L$
- a  $R_w$  von einschaligen Wänden abhängig von  $m'$

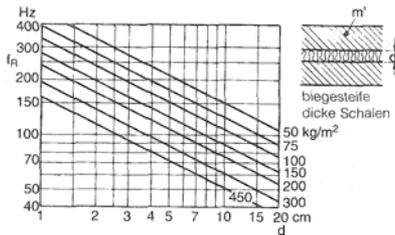
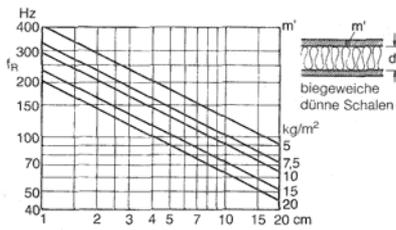
- Beispiel: 300 kg/m² an flächenbezogener Masse können gespart werden, wenn der Schalenabstand von 1 cm auf 10 cm heraufgesetzt wird!

## Resonanzfrequenz

	Resonanzfrequenz $f_R$ in Hz		
	zwei gleiche Schalen		leichte (biegeweiche) Vorsatzschale vor schwerem Bauteil
zwischen den Schalen	Schalen biegeweich $m'$	Schalen biegesteif $m'$	$m'$
Luftschicht mit schallschluckender Einlage, z. B. Fasermatten	$\approx \frac{900}{\sqrt{m' d}}$ Hz	$\approx \frac{3400}{\sqrt{m' d}}$ Hz	$\approx \frac{650}{\sqrt{m' d}}$ Hz
Dämmschicht mit beiden Schalen vollflächig verbunden	$= 270 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$ Hz	$\approx 900 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$ Hz	$= 190 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$ Hz
$f_R$ : Resonanzfrequenz in Hz $m'$ : flächenbezogene Masse der Vorsatzschale bzw. der Einzelschale in kg/m² $d$ : Schalenabstand in cm $s'$ : dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in MN/m³			

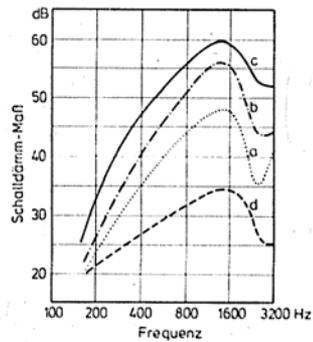
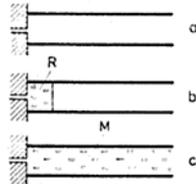
Die Resonanzfrequenz ist umso niedriger, je schwerer die Schalen und je größer der Luftabstand bzw. je geringer die Steifigkeit der Dämmschicht ist. Die Resonanzfrequenz sollte möglichst kleiner gleich 100 Hz sein!

## Einfluss von Biegesteifigkeit und Schalenabstand



Resonanzfrequenz  $f_R$  von doppelschaligen Wänden mit (etwa) gleichdicken Schalen, abhängig vom Schalenabstand  $d$ .

## Einfluss der Hohraumdämpfung



Beispiel: 12,5 mm Gipskartonplatte in 50 mm Abstand.

- a Hohlraum leer
  - b mit Randdämpfung R
  - c Hohlraum mit Mineralwolle M
  - d zum Vergleich einfache Gipskartonschale
- (Messung in einem Prüfstand ohne Schall-Nebenwege)

## Berechnung des Schalldämm-Maßes von doppelschaligen Wänden

Das Schalldämm-Maß ergibt sich in guter Näherung aus:

$$R = R_1 + R_2 + 20 \lg \frac{4 \pi f \cdot d}{c} \quad \text{für } c/4d < f < f_R$$

$$R = R_1 + R_2 + 6 \text{ dB} \quad \text{für } f > c/4d$$

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> Schalldämm-Maß der ersten bzw. zweiten Schale  
f Frequenz  
c Schallgeschwindigkeit in Luft (340 m/s)  
d Schalenabstand

## Voraussetzung für die Wirksamkeit von Doppelschaligen Wänden u.ä. ist:

- $f_R$  möglichst 100 Hz oder darunter
- Hohlraum zumindest teilweise mit porösem Material (meist Mineralwolle) gefüllt, damit Quer-Resonanzen im Lufthohlraum unterdrückt werden
- Möglichst keine festen Verbindungen zwischen den Wandschalen (keine Körperschallbrücken)

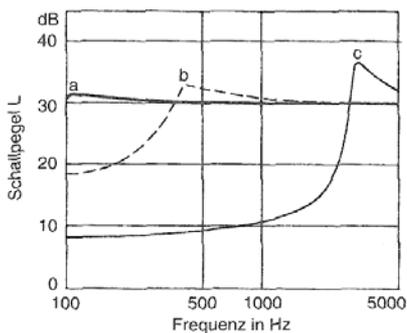
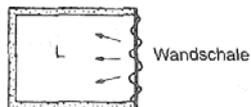
Wenn diese Bedingungen eingehalten sind, ist mit einer Verbesserung gegenüber einer gleichschweren Einfachwand von etwa 15 - 20 dB zu rechnen. Bei leerem Hohlraum ist die Schalldämmung um 10 - 15 dB geringer. Die Füllung muss mit Mineralwolle erfolgen (hoher Strömungswiderstand). Hartschaumplatten sind hier akustisch schädlich.

## Schallübertragung über die Randeinspannung (Weg B)

Die Schallübertragung über die Randeinspannung wird klein durch folgende Maßnahmen:

- Verwendung von Schalen mit hoher Materialdämpfung, z.B. Platten mit Hohlräumen, die mit Sand gefüllt sind.
- Körperschallisolierung an den Einspannstellen. Keine feste Verbindung, 0,5 bis 1 cm dicke Mineralfaserstreifen einlegen (negativ bezüglich Weg A)
- Verwendung biegeweicher Schalen

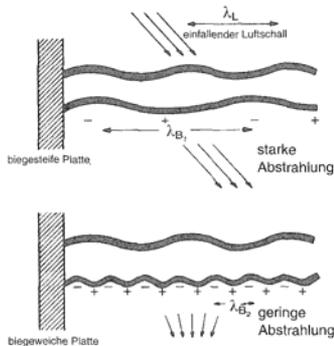
## Abstrahlverhalten von verschiedenen Wandschalen



Die Schalen sind zu gleich großen, freien Biegeschwingungen angeregt; aufgetragen ist der abgestrahlte Luftschallpegel (Relativwerte).

- a 12 cm Normalbeton (fgr = 120 Hz)
  - b 7 cm Gipsplatte (fgr = 400 Hz)
  - c 1 cm Gipsplatte (fgr = 3000 Hz)
- (Rechnung für 3 m · 3 m große Wand)

## Wirkungsweise von biegeweichen Schalen bei Doppelwänden



Der über die Randeinspannung (Weg B) oder auch über Verbindungen zwischen den Schalen (Weg C) übertragene Körperschall regt bei biegeweichen Schalen kürzere Biegelwellen ( $\lambda_{B2}$ ) an, die zu einer geringeren Schallabstrahlung führen als die größeren Biegelwellenänderungen ( $\lambda_{B1}$ ) bei steifen Schalen.

Die auftretenden Über- (+) und Unterdruckzonen (-) in der Luft vor den Schalen liegen bei biegeweichen Schalen so nahe beieinander, dass sich ihre Wirkung auf den Raum nahezu aufhebt (akustischer Kurzschluss). Auf dem abnormalen Abstrahlverhalten von Platten unterhalb ihrer Grenzfrequenz beruht die große Bedeutung biegeweicher Schalen für den Schallschutz im Hochbau.

## Schallübertragung über die Verbindungen (Weg C)

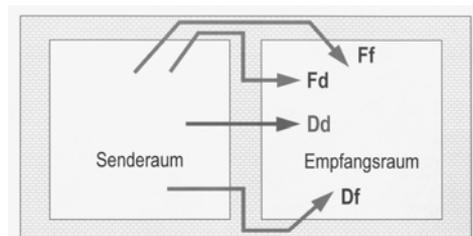
Derartige Verbindungen werden als Schallbrücken bezeichnet. Sie führen bei biegesteifen - nicht bei biegeweichen - Platten dazu, dass der Schallschutz einer zweischaligen Konstruktion schlechter ist als der einer gleichschweren einschaligen Konstruktion.

# Flankenübertragung

## Flankenübertragung - Definition

**Flankenübertragung** beinhaltet die Schallübertragung längs angrenzender Bauteile

**Nebenwegeübertragung** beinhaltet sowohl Flankenübertragung als auch Luftschallübertragung über Schächte und Undichtigkeiten an den Randanschlüssen



Dd            Direkter Weg  
Ff, Df, Fd   Flankenwege

## **Flankenübertragung wird beeinflusst durch**

- Masse, Biegesteifigkeit und innere Dämpfung der angrenzenden Bauteile
- Ausbildung der Stoßstellen

Durch die Flankenübertragung wird das Schalldämm-Maß  $R$  der Trenndecke oder Trennwand zum Schalldämm-Maß  $R'$  vermindert.

$R$       Messwert im Labor

$R'$       Messwert im Bau

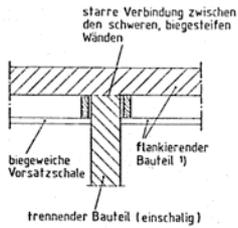
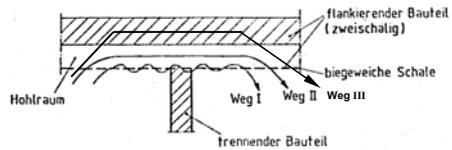
## **Anschlüsse trennender an flankierende Bauteile**

Es ist zu beachten, dass

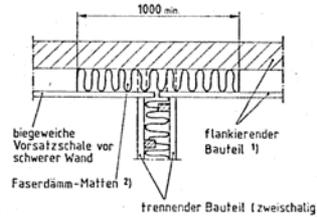
- Anschlüsse dicht sind
- Biegesteife, schwere Bauteile an den Anschlussstellen fest (biegesteif) miteinander verbunden sind (z.B. bei Mauerwerk durch Verzahnung)
- Beim Anschluss trennender an flankierende Bauteile mit biegeweicher Schale sind alternativ folgende Maßnahmen zu treffen:

## Anschlüsse an flankierende Bauteile mit biegeweicher Schale

Übertragungswege  
Weg I ist dominant!  
Weg III spielt im Vergleich  
praktisch keine Rolle.

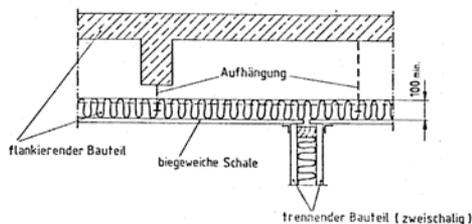


Verminderung der Schallübertragung  
über die Wege I und II durch  
Abschottung



Verminderung der Schallübertragung  
über Weg II durch Abschottung durch  
schallschluckende Einlagen im Hohlraum

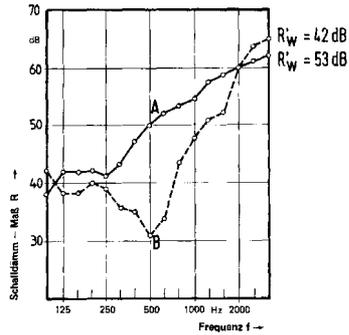
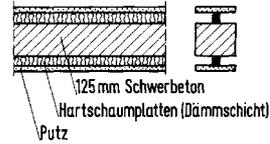
## Anschlüsse an flankierende Bauteile mit biegeweicher Schale



Verminderung der Schallübertragung über den Weg II bei  
untergehängten Decken durch eine durchgehende  
Schicht aus Faserdämm-Matten

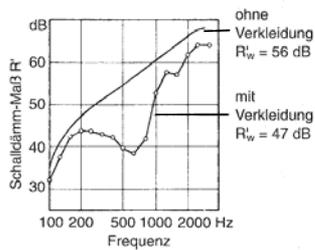
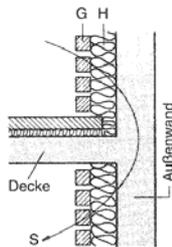
## Verschlechterung der Luftschalldämmung durch zu steife Dämmplatten

Die zur Verbesserung der Wärmedämmung häufig benutzten relativ steifen Hartschaumplatten machen eine einschalige Wand bzw. Decke zu einem zweischaligen System, dessen Resonanzfrequenz mitten im hörbaren Bereich liegt. Dadurch wird die Luftschalldämmung des Bauteils selbst verschlechtert und dessen Schalllängsleitung erhöht.

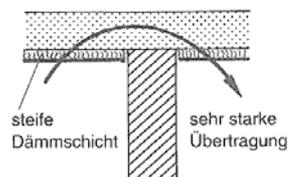


- a ohne Dämmplatten  
b mit Dämmplatten

## Verschlechterung der Luftschalldämmung durch zu steife Dämmplatten - Beispiel Innendämmung

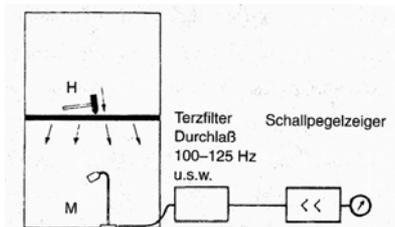


Außenwand 240 mm Mauerwerk, innenseitig mit 12,5 mm Gipskartonplatten G auf 30 mm Hartschaumplatten H verkleidet.



# Trittschallübertragung

## Trittschallübertragung - Kennzeichnung



Prinzip der Messanordnung zur Bestimmung des Norm-Trittschallpegels von Decken.

Für die Kennzeichnung der Trittschallanregung und -übertragung bei Decken ist ein gesondertes Verfahren eingeführt worden. Dabei wird ein genormtes Trittschallhammerwerk auf der zu prüfenden Decke betrieben. Gemessen wird der im Raum unter der Decke auftretende Schallpegel L jeweils im Frequenzbereich einer Terz (Terz =  $1/3$  Oktave; Oktave = Frequenzverdopplung).

## Norm-Trittschallpegel $L_n$

$$L_n = L + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad [\text{dB}]$$

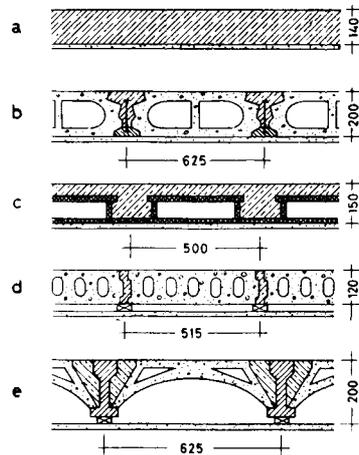
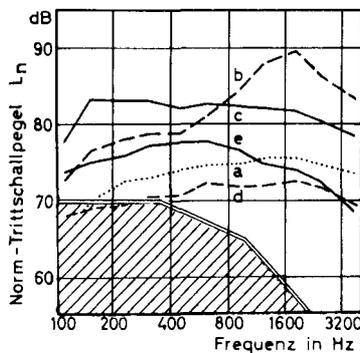
- $L$  gemessener Schallpegel [dB]  
 $A$  Schallabsorptionsfläche des Messraums [ $\text{m}^2$ ]  
 $A_0$  genormte Schallabsorptionsfläche (Bezugsfläche)  $A_0 = 10 \text{ m}^2$

Der gemessene Schallpegel  $L$  wird auf eine genormte Schallabsorptionsfläche  $A_0$  des Messraums bezogen, damit das Ergebnis unabhängig von der Ausstattung (vorhandene Absorptionsfläche) des Messraums ist.

$L_n$  ist abhängig von der Frequenz.

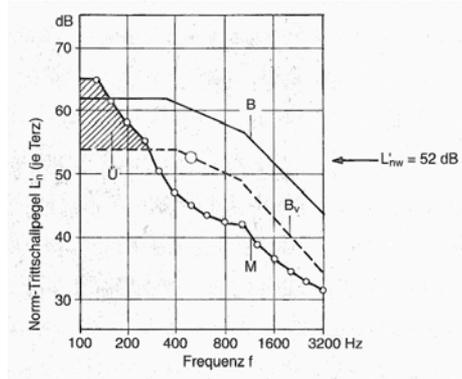
$L'_n$  ist die Bezeichnung, wenn die Flankenübertragung berücksichtigt wird.

## Norm-Trittschallpegel $L_n$



## Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$

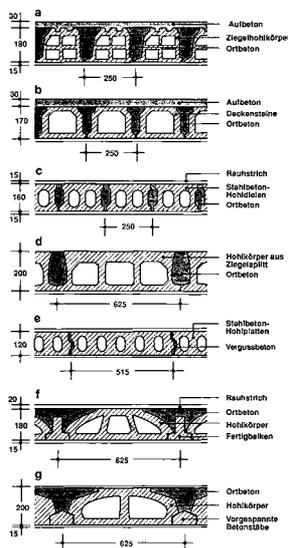
- M Messkurve
- B Bewertungskurve
- $B_V$  verschobene Bewertungskurve
- Ü mittlere Überschreitung (maximal 2 dB)



Der Norm-Trittschallpegel hängt von der Frequenz ab. Man bildet aus den durch Messung bestimmten Werten für verschiedene Frequenzen einen Mittelwert. Dafür wird eine Bezugskurve B so verschoben, bis die Überschreitung der verschobenen Bezugskurve  $B_V$  durch die Messkurve M im Mittel maximal 2 dB beträgt. Die Größe von  $B_V$  bei 500 Hz ist der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$ .

Weitere Bezeichnung: Trittschallschutzmaß TSM  $TSM = 63 \text{ dB} - L'_{n,w}$

## Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$



- |   |   |                        |                            |
|---|---|------------------------|----------------------------|
| a | Stahlsteindecke<br>$m' = 300 \text{ kg/m}^2$                        | $R'_w = 49 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 86 \text{ dB}$ |
| b | Stahlsteindecke<br>$m' = 400 \text{ kg/m}^2$                        | $R'_w = 53 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 87 \text{ dB}$ |
| c | Stahlbeton-Hohldeleendecke<br>$m' = 185 \text{ kg/m}^2$             | $R'_w = 49 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 88 \text{ dB}$ |
| d | Ziegelsplitt-Hohlkörperdecke<br>$m' = 260 \text{ kg/m}^2$           | $R'_w = 49 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 86 \text{ dB}$ |
| e | Stahlbeton-Hohlplattendecke<br>$m' = 160 \text{ kg/m}^2$            | $R'_w = 48 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 87 \text{ dB}$ |
| f | Stahlbeton-Balkendecke mit Füllkörpern<br>$m' = 360 \text{ kg/m}^2$ | $R'_w = 49 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 82 \text{ dB}$ |
| g | Stahlbeton-Balkendecke mit Füllkörpern<br>$m' = 250 \text{ kg/m}^2$ | $R'_w = 46 \text{ dB}$ | $L'_{n,w} = 91 \text{ dB}$ |

## Kennzeichnung der Trittschalldämmung von Rohdecken

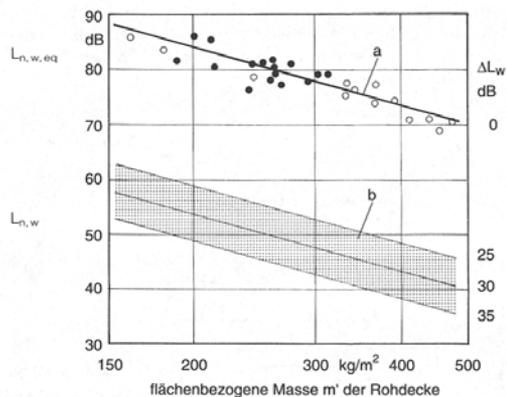
$$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L \quad [\text{dB}]$$

$$\text{TSM} = \text{TSM}_{eq} + \text{VM} \quad [\text{dB}]$$

$L_{n,w,eq}$	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel
$\text{TSM}_{eq}$	äquivalentes Trittschallschutzmaß
$\Delta L = \text{VM}$	Trittschallminderung, Verbesserungsmaß

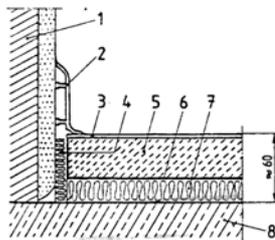
Zur Kennzeichnung der Trittschalldämmung von Rohdecken wird der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel (bzw. das äquivalente Trittschallschutzmaß) verwendet, welcher das Verhalten einer Rohdecke zusammen mit einem trittschalldämmenden Fußboden beschreibt (weil eine Decke als Rohdecke einen - verglichen mit anderen - guten Trittschallschutz haben kann, sich jedoch nur schwer verbessern läßt).

## Einfluss der flächenbezogenen Masse



Abhängigkeit des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L_{n,w,eq}$  von einschaligen, massiven Rohdecken der verschiedensten Art (Meßpunkte) von ihrer flächenbezogenen Masse (Gerade a). Ergänzend sind die rechnerischen  $L_{n,w}$ -Werte für verschiedene schwere Decken (Bereich b) mit Fußböden mit einem Trittschall-Verbesserungsmaß  $\Delta L_w = 25, 30$  und  $35$  dB angegeben  
 ○ Stahlbetonplattendecken ● Hohlkörperdecken

## Maßnahmen zur Verringerung des Trittschallpegels - schwimmende Estriche -

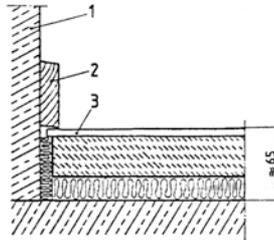


- 1 Mauerwerk oder Beton verputzt
- 2 Sockelleiste mit Weichlippe
- 3 Bodenbelag (z. B. PVC oder Linoleum)
- 4 Randstreifen
- 5 Estrich
- 6 Bitumenpappe oder Polyäthylenfolie
- 7 Dämmstoffschicht
- 8 Massivdecke

Beispiele für Wandanschlüsse bei schwimmenden Estrichen

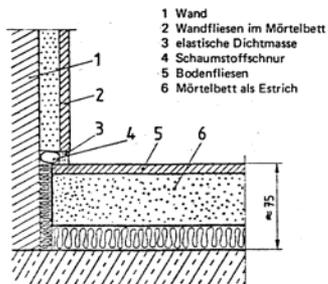
Ausführung links: bei Wandputz und Verbundbelägen

Ausführung rechts: ohne Wandputz mit Verbund- oder textilen Bodenbelägen



- 1 Betonwand oder Sichtmauerwerk
- 2 Sockelleiste (Holz oder PVC)
- 3 Verbund- oder textiler Bodenbelag

## Maßnahmen zur Verringerung des Trittschallpegels - schwimmende Estriche -

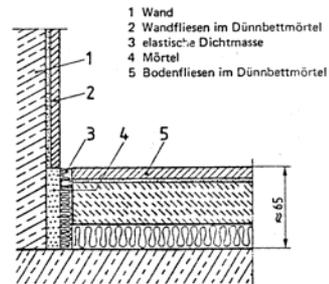


- 1 Wand
- 2 Wandfliesen im Mörtelbett
- 3 elastische Dichtmasse
- 4 Schaumstoffschnur
- 5 Bodenfliesen
- 6 Mörtelbett als Estrich

Beispiele für Wandanschlüsse bei keramischen Belägen auf schwimmenden Estrichen

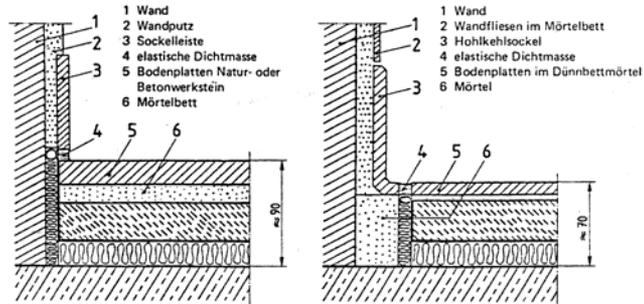
Ausführung links: im normalen Mörtelbett mit waagerechter Trennfuge

Ausführung rechts: im Dünnbettverfahren mit senkrechter Trennfuge



- 1 Wand
- 2 Wandfliesen im Dünnbettmörtel
- 3 elastische Dichtmasse
- 4 Mörtel
- 5 Bodenfliesen im Dünnbettmörtel

## Maßnahmen zur Verringerung des Trittschallpegels - schwimmende Estriche -



Beispiele für Wandanschlüsse mit Sockelausbildung bei schwimmenden Estrichen  
Ausführung links: mit geradem Sockel bei Natur- oder Betonwerksteinbelag  
Ausführung rechts: mit Hohlkehlsockel und keramischem Bodenbelag

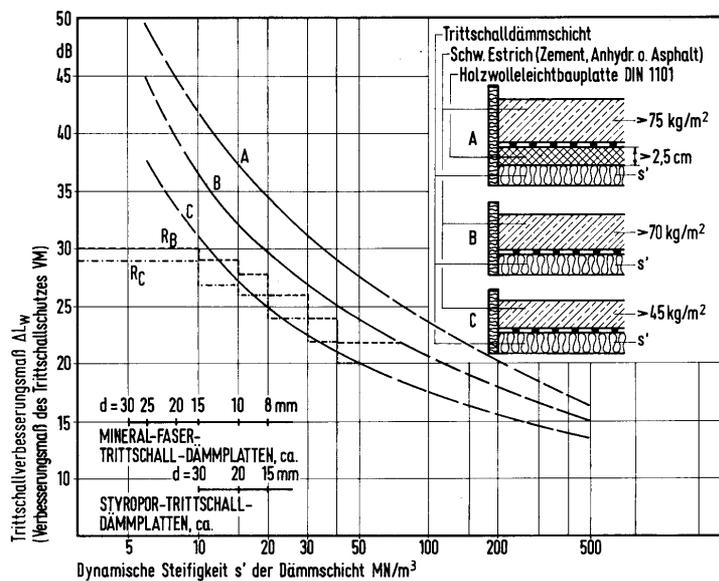
## Maßnahmen zur Verringerung des Trittschallpegels - schwimmende Estriche -

1	Schwimmende Estriche		
1.1	Estriche mit einem Flächengewicht $\geq 45 \text{ kg/m}^2$ <sup>1)</sup> <sup>2)</sup> auf Dämmschichten aus Dämmstoffen nach DIN 18 164 Teil 2 <sup>3)</sup> (Folgeausgabe z. Z. noch Entwurf) oder DIN 18 165 Teil 2 mit einer dynamischen Steifigkeit $s'$ von höchstens		
		50 MN/m <sup>3</sup>	20
		40 MN/m <sup>3</sup>	22
		30 MN/m <sup>3</sup>	24
		20 MN/m <sup>3</sup>	26
		15 MN/m <sup>3</sup>	29
10 MN/m <sup>3</sup>	32		
1.2	Estriche mit einem Flächengewicht von $\geq 75 \text{ kg/m}^2$ <sup>1)</sup> auf Dämmschichten aus Dämmstoffen nach DIN 18 164 Teil 2 <sup>3)</sup> (Folgeausgabe z. Z. noch Entwurf) oder DIN 18 165 Teil 2 mit einer dynamischen Steifigkeit $s'$ von höchstens		
		50 MN/m <sup>3</sup>	23
		40 MN/m <sup>3</sup>	25
		30 MN/m <sup>3</sup>	27
		20 MN/m <sup>3</sup>	30
		15 MN/m <sup>3</sup>	33
10 MN/m <sup>3</sup>	37		
1.3	Estriche mit einem Flächengewicht von $\geq 75 \text{ kg/m}^2$ auf $\geq 25 \text{ mm}$ dicken Holz- wolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101 (Folgeausgabe z. Z. noch Entwurf). Darunter Dämmschichten aus Dämmstoffen nach DIN 18 165 Teil 2 mit einer dynamischen Steifigkeit $s'$ von höchstens		
		50 MN/m <sup>3</sup>	27
		40 MN/m <sup>3</sup>	30
		30 MN/m <sup>3</sup>	33
		20 MN/m <sup>3</sup>	35
		15 MN/m <sup>3</sup>	37
10 MN/m <sup>3</sup>	40		

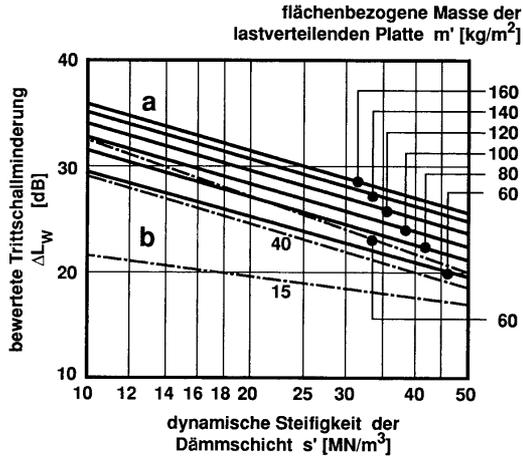
## Dynamische Steifigkeit

Spalte 1		2	3	4
Zelle	Material	Dynamischer Elastizitätsmodul $E_{dyn}$ in $kN/m^2$	Dicke d in cm	Dynamische Steife $s'$ in $MN/m^3$
1	Luft (in porösen Dämmschichten)	113	0,5	22,6
1.1			1,0	11,3
1.2			1,5	7,5
1.3			2,0	5,7
1.4			2,5	4,5
1.5			3,0	3,8
2	Mineralfaser-Trittschall-dämmplatten nach DIN 18165, T.2, Tabelle 5	140 bis 210	1,0 bis 4,0	
2.1	Steifigkeitsgruppe 90			90
2.2	" 70	140 bis 210		70
2.3	" 50			50
2.4	" 40			40
2.5	" 30			30
2.6	" 20			20
2.7	" 15			15
2.8	" 10			10
3	Schaumstoff-Trittschall-dämmplatten nach DIN 18164 (Auswahl)			
3.1	Steifigkeitsgruppe 40			40
3.2	" 20			20
3.3	" 10			10
5	Gummilagen			
5.1	Mafund mit Luft	60		
5.2	Mafund massiv	1100		
5.3	Gummischrotbahnen	40 bis 400		
6	Baustoffe			
6.1	Sand	~10000	2,5	400
6.2	"		5,0	200
6.3	"		7,5	130
6.4	Holzwolleleichtbauplatten nach DIN 1101	~6000	2,5	200
6.5	"		5,0	100
6.6	Styropor W, PS 20	1200	2,0	60
6.7	"		4,0	30
6.8	"		6,0	20
6.9	"		8,0	17
7.0	Hanfchubenschüttung		0,8	160
7.1	"		1,6	80

## Schwimmende Estriche - dynamische Steifigkeit



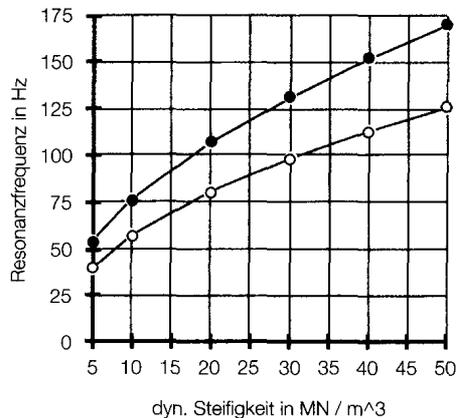
## Schwimmende Estriche - dynamische Steifigkeit



Bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$  schwimmender Estriche in Abhängigkeit von der dynamischen Steifigkeit  $s'$  der Dämmschicht

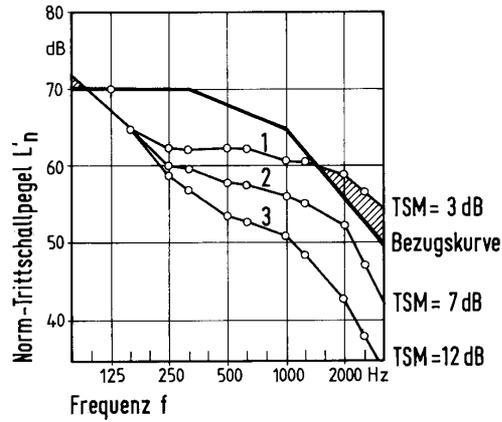
- a (ausgezogene Kurven):  
Estriche aus Zement und Calciumsulfat
- b (strichpunktierte Kurven):  
Gußasphalt- und Trockenestriche

## Resonanzfrequenz von schwimmenden Estrichen abhängig von der dynamischen Steifigkeit



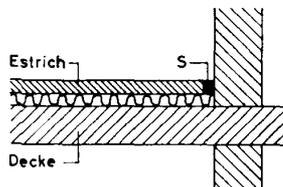
- $m'$  Estrich = 100 kg / m<sup>2</sup>
- $m'$  Estrich = 50 kg / m<sup>2</sup>

## Schwimmende Estriche - Schallbrücken

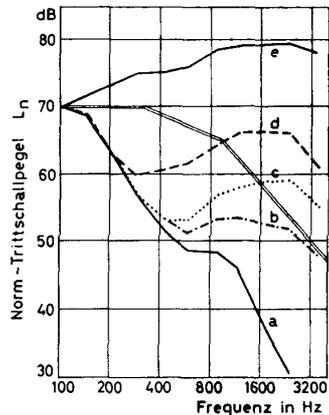


Verschlechterung des Trittschallschutzes einer Decke mit schwimmendem Estrich, wenn dieser Mörtelbrücken aufweist [7]. Kurve 1: Randstreifen rundum durch Spachtel überbrückt; Kurve 2: Randstreifen an 3 Wänden freigelegt; Kurve 3: Randstreifen rundum freigelegt

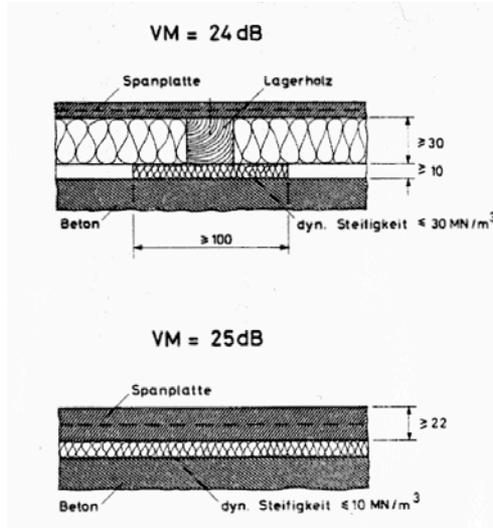
## Schwimmende Estriche - Schallbrücken



	TSM (dB)
a: ohne Schallbrücke	+ 11
b: Schallbrücke 0,1 m lang	+ 7
c: Schallbrücke 0,5 m lang	+ 3
d: Schallbrücke 2,5 m lang	- 3
e: Decke ohne schwimmenden Estrich	- 17



## Maßnahmen zur Verringerung des Trittschallpegels - Holzbelag auf Dämmschicht -

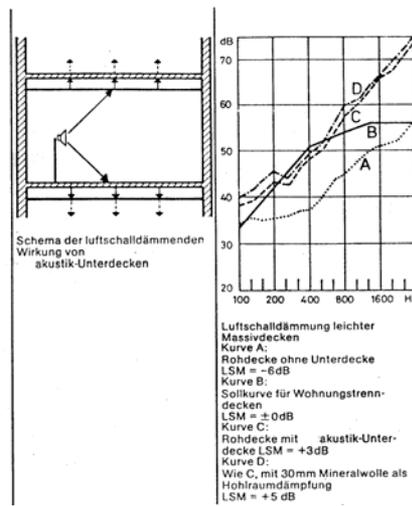


## Maßnahmen zur Verringerung des Trittschallpegels - Verschiedene Deckenauflagen -

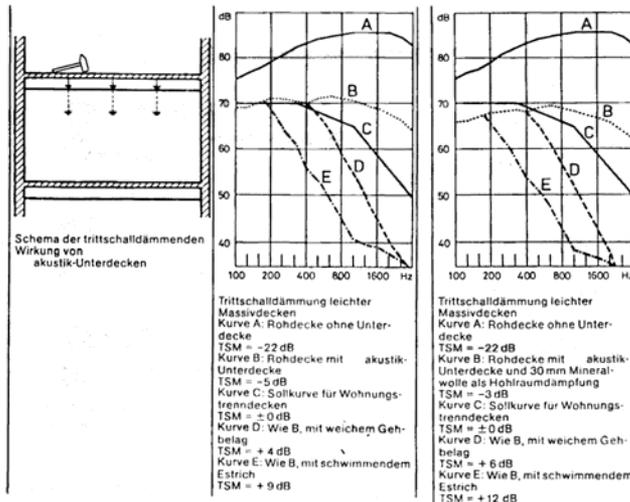
- Spalte	a	b
Zelle	Deckenauflagen, weichfedernde Bodenbeläge <sup>1)</sup>	VM <sup>1)</sup> dB
1	Linoleum-Verbundbelag nach DIN 18 173	14 <sup>2)</sup>
2	PVC-Beläge	
2.1	PVC-Beläge mit genadeltm Jutefilz als Träger nach DIN 16 952 Teil 1	13 <sup>2)</sup>
2.2	PVC-Beläge mit Korkmörtel als Träger nach DIN 16 952 Teil 2	16 <sup>2)</sup>
2.3	PVC-Beläge mit Unterschicht aus PVC-Schaumstoff nach DIN 16 952 Teil 3	16 <sup>2)</sup>
2.4	PVC-Beläge mit Synthefaser-Vliesstoff als Träger nach DIN 16 952 Teil 4	13 <sup>2)</sup>
3	Textile Bodenbeläge	
3.1	Nadelvlies unbeschichtet <sup>3)</sup> , Dicke $\geq 4 \text{ mm}$	15
3.2	Polteppiche <sup>3)</sup>	
3.2.1	Schnittpel (Veleurst)	
3.2.1.1	mit einfachem Rücken	20
3.2.1.2	mit Schaumbeschichtung Dicke $\geq 2 \text{ mm}$	23
3.2.1.3	verspannt, auf textiler Unterlage Dicke $\geq 6 \text{ mm}$	28
3.2.2	Schlingenpel	
3.2.2.1	mit einfachem Rücken	17
3.2.2.2	mit Schaumbeschichtung Dicke $\geq 2 \text{ mm}$	20
3.2.2.3	verspannt, auf textiler Unterlage Dicke $\geq 6 \text{ mm}$	26

<sup>1)</sup> Es ist vorgesehen, in Tabelle 3 nur solche Stoffe aufzunehmen, für die bis zur Herausgabe der Norm DIN 4109 Teil 3 in entsprechenden Normen u. a. Angaben über die Kennzeichnung und Güteüberwachung enthalten sind.  
<sup>2)</sup> Die Bodenbeläge müssen durch Hinweis auf die jeweilige Norm gekennzeichnet sein. Das maßgebliche Verbesserungsmaß VM muß auf dem Erzeugnis angegeben sein.  
<sup>3)</sup> Die in den Zeilen 1 und 2 angegebenen Werte sind Mindestwerte aus den entsprechenden Normen DIN 18 173 und DIN 16 952 Teil 1 bis Teil 4; sie gelten nur für aufgelebte Bodenbeläge.  
<sup>4)</sup> Entsprechende Normen sind in Vorbereitung.

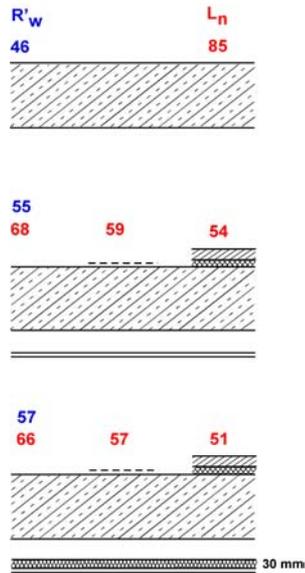
## Einfluss biegeweicher Unterdecken an Massivdecken



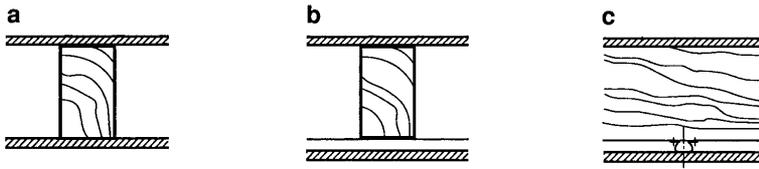
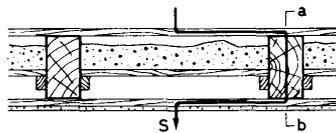
## Einfluss biegeweicher Unterdecken an Massivdecken



## Einfluss mehrerer Maßnahmen gleichzeitig

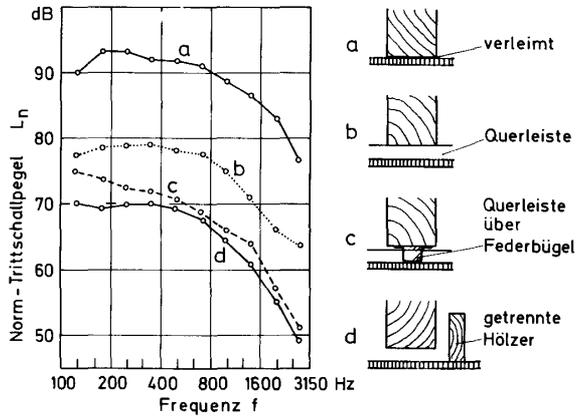


## Holzbalkendecken

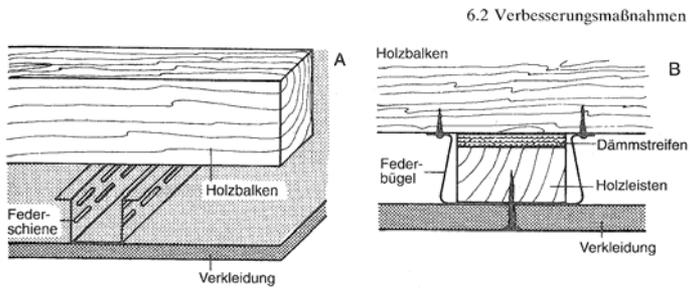


Einfluß der Art der Befestigung einer Deckenverkleidung (Gipskarton-, oder Spanplatten) auf die Trittschalldämmung von Holzbalkendecken  
 a direkt verleimt, genagelt oder verschraubt  $L_{n,w} = 85$  dB; b über Querlatung  $L_{n,w} = 72$  dB; c über Metall-Feder-schienen oder Federbügel und Querlatung  $L_{n,w} = 65$  dB

## Holzbalkendecken

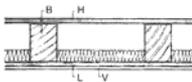
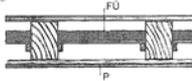
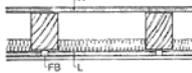
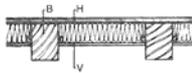


## Holzbalkendecken



Federnde Befestigung der unteren Deckenverkleidung bei Holzbalkendecken  
 A: Federschienen  
 B: Holzleisten mit Federbügeln

## Holzbalkendecken

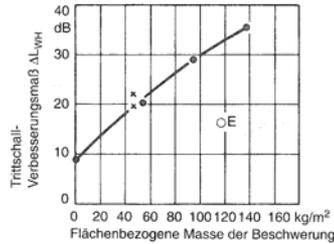
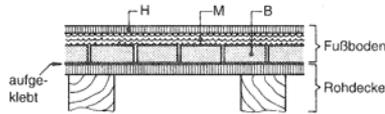
Lfd. Nr.	Deckenausführung	$f_{m, \text{mitt}}$ [dB]
1	16 mm Holzspanplatten H auf Holzbalken. Balken unterseitig sichtbar 	82
2	Holzspanplatten H, unterseitig 12,5 mm Gipskartonplatten, über Holzleisten L unmittelbar an Balken befestigt 	69
3	„Alte“ Holzbalkendecke mit Füllung, unterseitig Lattung mit Putz auf Putzträger 	66-70
4	Holzspanplatten H, unterseitig 12,5 mm Gipskartonplatten oder 16 mm Holzspanplatten; Befestigung über Federbügel FB bzw. Federschienen 	62-65
5	Holzspanplatten H, Verkleidung aus Gipskartonplatten V, zwischen den Balken Mineralwolle 	71

## Holzbalkendecken

Trittschall-Verbesserungsmaß  $VM_n$  von Fußbodenaufbauten auf Holzbalkendecken

lfd. Nr.	Fußbodenaufbau	$VM_n$ dB
1	Trockenestriche (aus Gipskarton- oder Holzspanplatten auf Hartschaumplatten)	4-6
2	Holzspanplatten auf 30/25 mm Mineralfaserplatten	9
3	Holzspanplatten auf Leisten, mit Mineralfaserplatten u. 30 mm Sand	22
4	Holzspanplatten auf 30/25 mm Mineralfaserplatten und Beschwerungsplatten	
	50 kg/m <sup>2</sup>	20
	100 kg/m <sup>2</sup>	30
	150 kg/m <sup>2</sup>	35
5	Schwimmender Zementestrich auf 30/25 mm Mineralfaserplatten	16

# Holzbalkendecken



- × Sandschüttung
- Betonsteine bzw. -platten
- Zum Vergleich: E: Schwimmender Zementestrich
- H: Holzspanplatten
- M: Mineralfaserplatten
- B: Betonsteine bzw. -platten

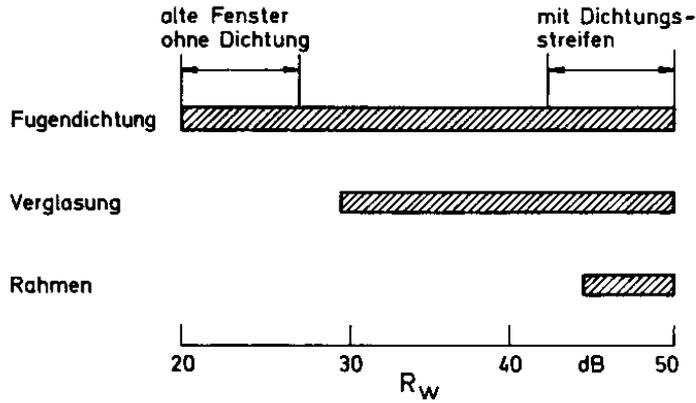
Trittschallverbesserungsmaß  $VM_H$  bzw.  $\Delta L_{wH}$  von schwimmend verlegten Holzspanplatten-Belägen, abhängig von der flächenbezogenen Masse einer Beschwerung B durch Sand (zwischen Leisten) oder durch Betonplatten o.a.

# Holzbalkendecken

lfd. Nr.	Deckenausführung	flächenbezogene Masse [kg/m²]	bewertetes Schalldämm-Maß $R_{c,w}$ [dB]	bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ [dB]
1	alte Holzbalkendecke mit Schlackenfüllung	160	49	66 bis 70
2	Normalausführung (5 cm Sandschüttung), jedoch Putzschale über Leisten befestigt, die ihrerseits über Blechbügel an den Balken angebracht sind	160	54	53
3	unterseitige Verkleidung aus 2 Lagen 12,5 mm Gipskartonplatten G über Federbügel F befestigt; Mineralwolle M im Deckenhohlraum mit Teppichboden (VM = 25 dB)	90	56	55 49
4	unterseitige Verkleidung aus Gipskartonplatten G über Federbügel F befestigt; schwimmender Zementestrich Z auf 30/25 mm Mineralfaserplatten D ohne Gebblag mit Teppichboden ( $\Delta L_{n,w} = 25$ dB)	185	59	50 44
5	unterseitige Verkleidung mit Federbügeln, 25 mm Holzspanplatten H auf 30/25 Mineralfaserplatten D 40 mm Betonplatten B	185	60	37**)

\*)  $R_c$  gültig für Holzbauteile  
\*\*) Ohne Übertragung über Wände

## Fenster und Türen



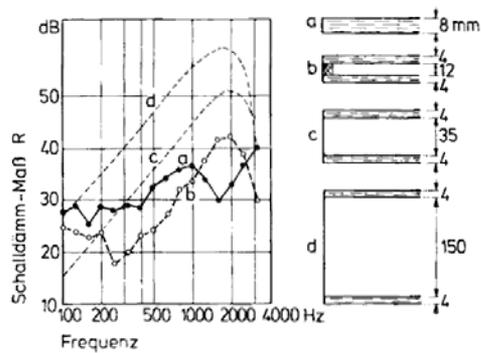
Schalldämmwerte der Einzelelemente von Einfach- und Verbundfenstern. Die Dämmwerte der Elemente bewegen sich, je nach Ausführung, in dem dargestellten Wertebereich.

## Fenster und Türen

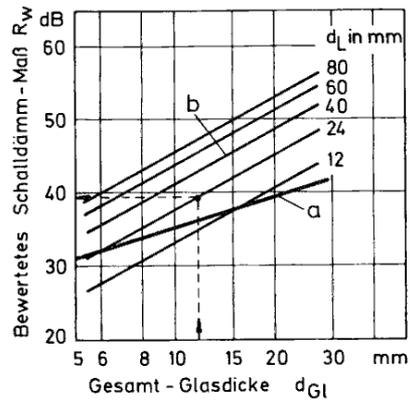
Schalldämm-Maß  $R$  von gleichschweren Verglasungen in Abhängigkeit von der Frequenz.

a, b: unmittelbare Meßwerte eingetragen  
c, d: aus Meßwerten gemittelter Verlauf (wegen Übersichtlichkeit der Darstellung).

- a: Einzelscheibe
- b: Isolierglasscheibe, Scheibenabstand 12 mm
- c: Doppelscheibe (entspr. Verbundfenster), Scheibenabstand 35 mm
- d: Doppelscheibe (entspr. Kastenfenster), Scheibenabstand 150 mm.



## Fenster und Türen



Das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  von Doppelscheiben, abhängig von der Gesamt-Glasdicke  $d_{Gl}$  und dem Luftabstand  $d_L$  zwischen den Scheiben (Geradenschar b), zum Vergleich: Einfachscheiben (Gerade a). Bei dem Diagramm ist nur die Schallübertragung über die Luftschicht erfasst.

## Fenster und Türen

Erreichbare Werte des bewerteten Schalldämm-Maßes  $R_w$  von betriebsfertigen Fenstern  
(gemessen im Laboratorium)

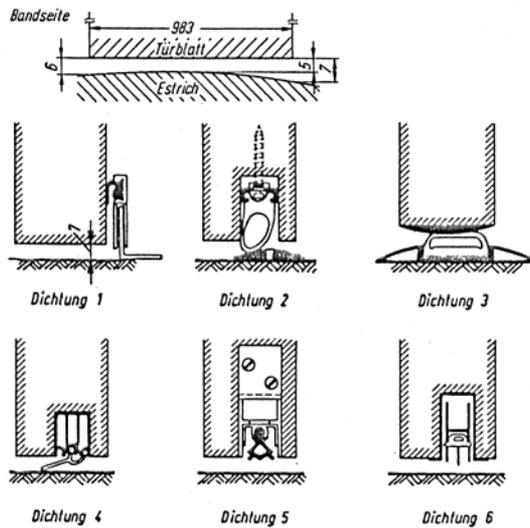
Fensterart	$R_w$ in (dB)
alte Fenster, ohne Dichtung in den Fälzen	20–28
<i>Einfachfenster</i> normales Isolierglas mit schweren Isolierglasscheiben mit hochschalldämmenden Isolierglas-Verbundscheiben	32–34 38–40 44–47
<i>Verbundfenster</i> Normalausführung hochschalldämmende Ausführung	37–40 bis 45
<i>Kastenfenster</i> je nach Verglasung und Rahmen	50–60

## Fenster und Türen

**Bewertetes Schalldämm-Maß von Türen**

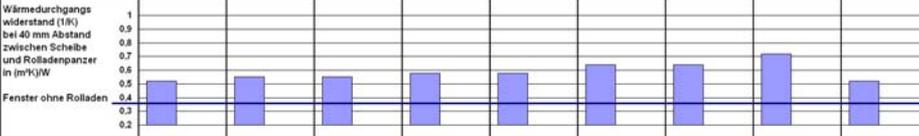
lfd. Nr.	Türausführungen	bewertetes Schalldämm-Maß dB
1	einfache, leichte Zimmertüren, ohne besondere Dichtungsmaßnahmen	17–25
2	schwer ausgeführte Zimmertüren mit zusätzlichen Falzdichtungen	25–32
3	schalldämmende Türen, Spezialausführungen	32–40
4	hochschalldämmende Türen (doppelschalige Stahlblechtüren für Rundfunk u. ä.)	40–50
5	zwei einfache Einzeltüren, hintereinander geschaltet	40

## Fenster und Türen



Darstellung der verwendeten Bodendichtungen

# Fenster und Türen

System-Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9 Vorbausystem
Form der Rolladenstäbe									
Werkstoff der Rolladenstäbe	Aluminium	Kunststoff, aluminiumverstärkt	Aluminium ausgeschäumt mit Kunststoffummantelung	Aluminium	Aluminium ausgeschäumt mit Kunststoffbeschichtung	Kunststoff	Holz	Kunststoff ausgeschäumt	Kunststoff
Bauform der Rolladenstäbe	einwandig, rollgeformt	doppelwandig	doppelwandig, rollgeformt	doppelwandig, stranggepresst	doppelwandig, rollgeformt	doppelwandig	Profil nach DIN 18076	doppelwandig	doppelwandig
Dicke der Rolladenstäbe in mm	0,45	8	9	14,5	15	14	14	14,5	8
Deckbreite der Rolladenstäbe in mm	35	30	38	50	50	55	47	56	40
Dichtungsmaßnahmen an den Führungsschienen	Hartgummidichtung	Lippendichtung	Lippendichtung	Hartgummidichtung	Hartgummidichtung	Hartgummidichtung	ohne Dichtung	Hartgummidichtung	Lippendichtung
Wärmedurchgangswiderstand (IR) bei 40 mm Abstand zwischen Scheibe und Rolladenpanzer in (m <sup>2</sup> K)/W									
Schalldämmmaß Rw bei 40 und bei 120 mm Abstand zwischen Scheibe und Rolladenpanzer in dB	