

---

# Bauphysik Schallschutz

---

Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm

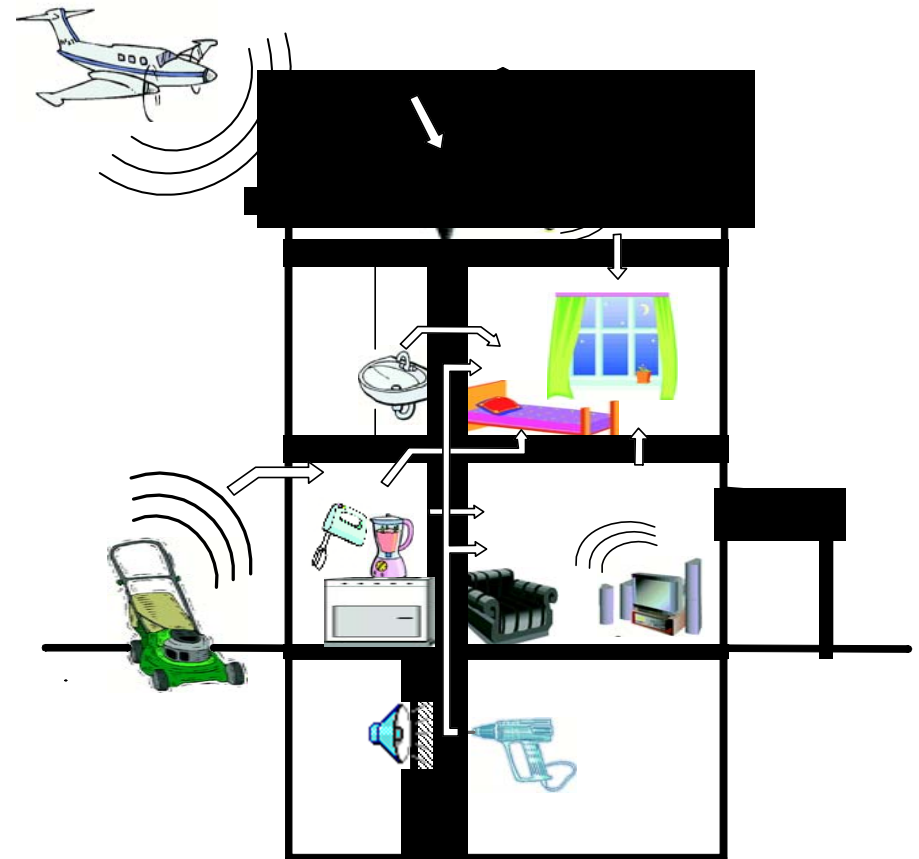
Vorlesungsunterlagen nur für studentische  
Zwecke. Eine Weitergabe oder  
Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
ist nur nach schriftlicher Genehmigung  
durch die Verfasserin erlaubt.

# Schallschutz – Wozu?

---

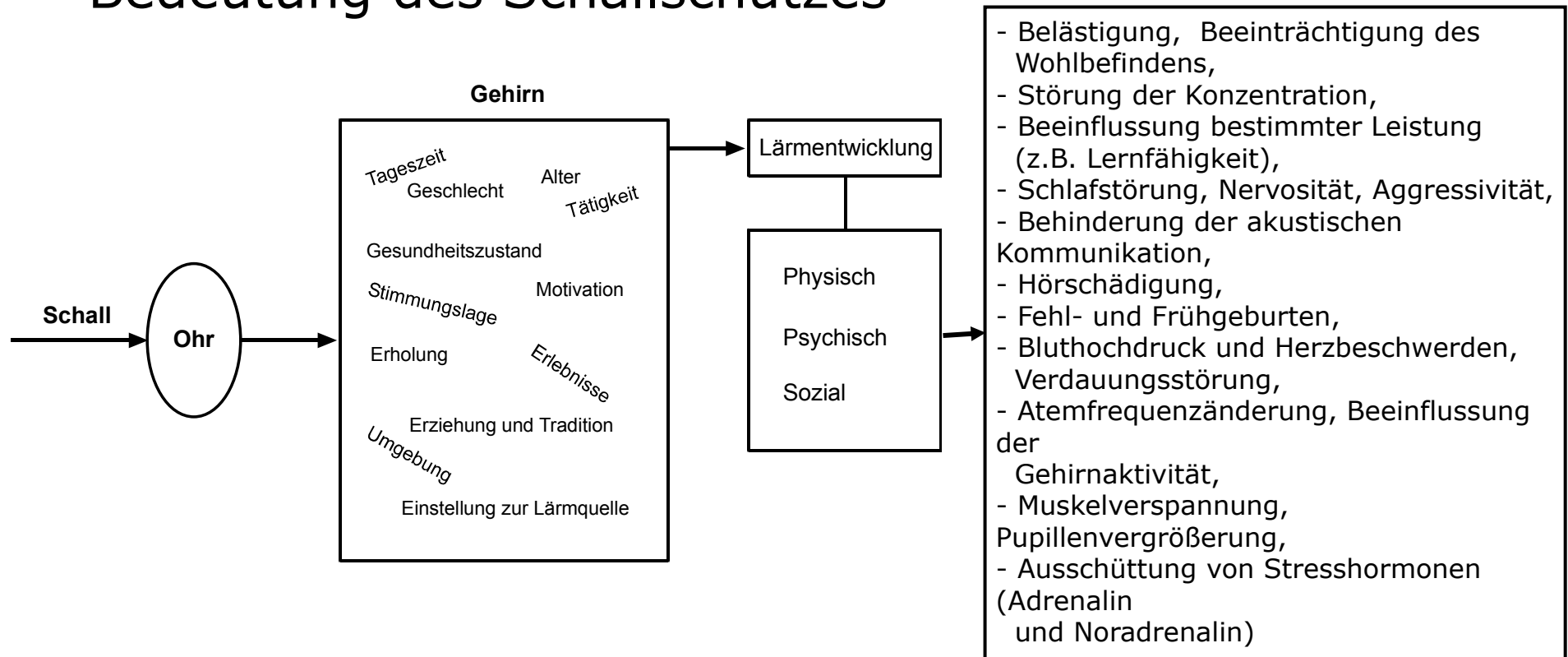
## Quellen des Schalls im Hochbau

- Sprache
- Musik, Radio und Fernseher
- Haushaltsgeräte
- Gehgeräusche (Trittschall)
- Maschinen, Geräte
- Haustechnische Anlagen
- Fallenlassen von Gegenständen
- Armaturen
- Ventile, Pumpen, Brenner
- Klimaanlage

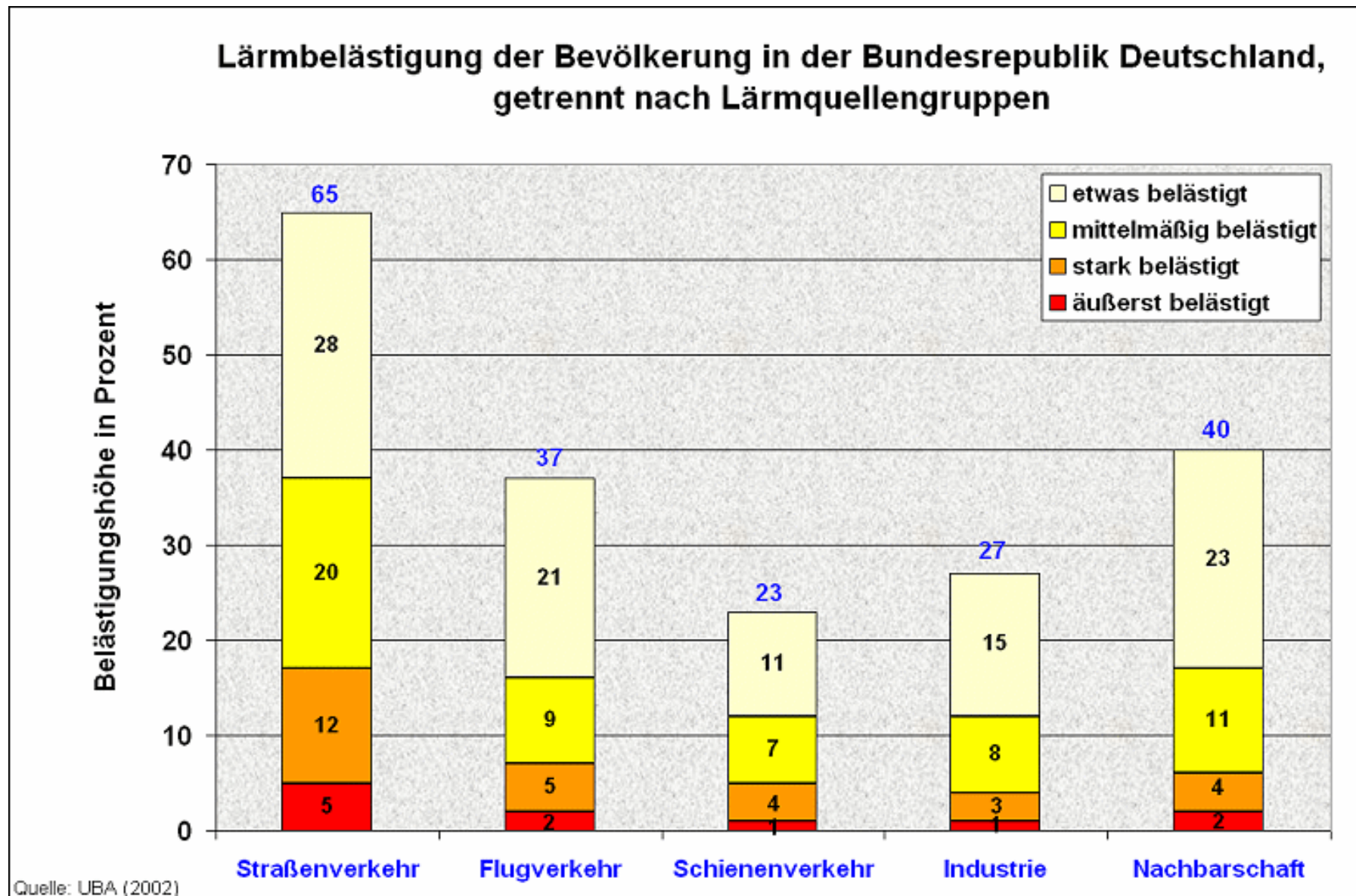


# Menschen fühlen sich durch Lärm belästigt...

## Bedeutung des Schallschutzes



# Menschen fühlen sich durch Lärm belästigt...



# Kostenfaktor Lärm

---

- Minderung des Wohnwertes
- Abhilfemaßnahmen gegen Lärm
- Produktivitätsverluste
- Gesundheitsschäden
- Belästigungen

Bsp. Jährliche Kosten infolge Straßenverkehrslärm  
(UPI, 1991: Daten aus 1989):

Wertminderung ca. 42,5 Mrd. DM

+ Arzneimittel- und Umzugskosten: ca. 2 Mrd. DM

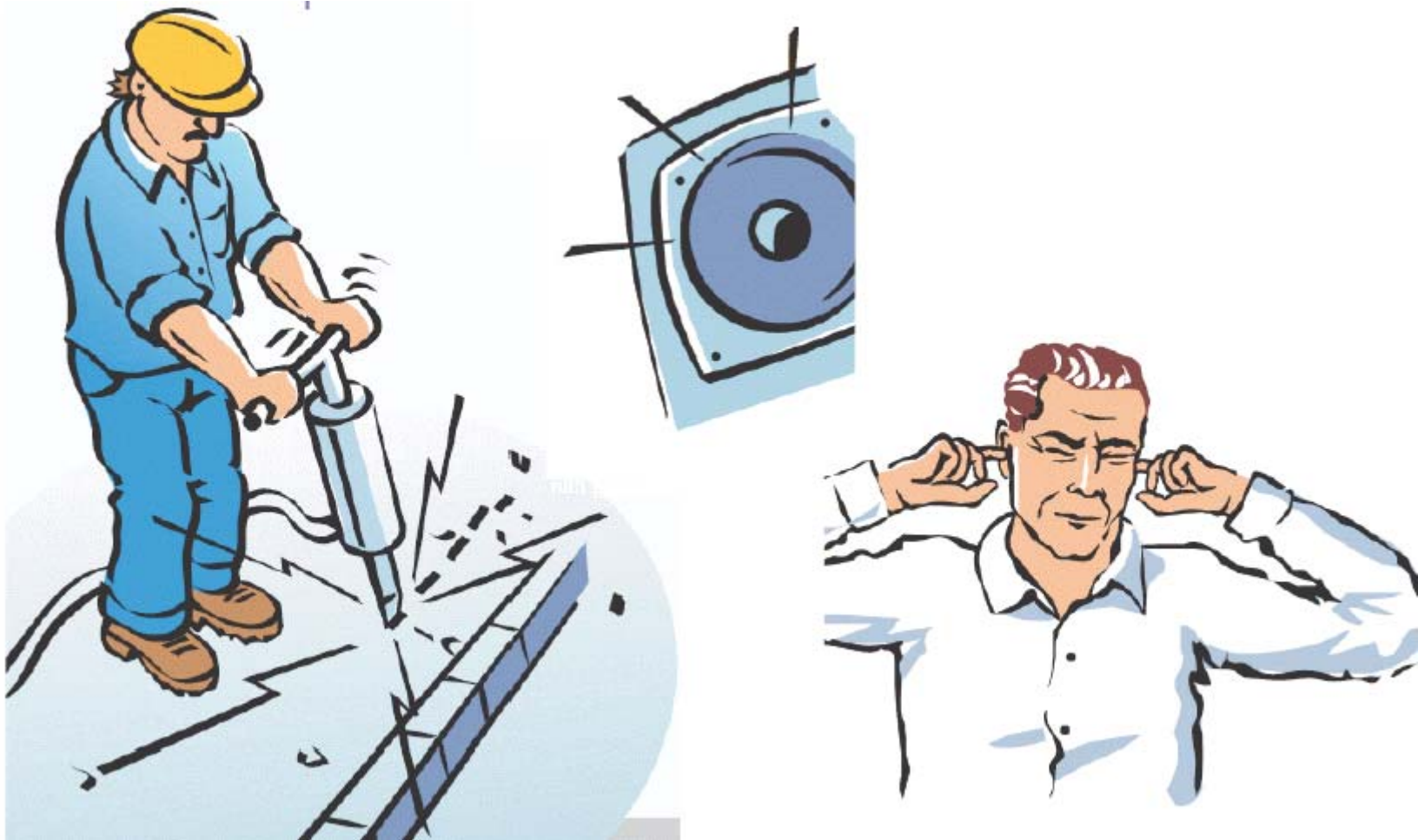
Jährlich Kosten infolge sonstiger Lärmbelästigung:

- Fluglärm 35,4 Mrd. DM
- Schienenverkehrslärm 8,6 Mrd. DM
- Industrielärm 8,3 Mrd. DM
- Sportplatzlärm 4,9 Mrd. DM

$\Sigma$  jährlicher Lärmbelästigung rd. 51 Mrd. Euro  
→ Notwendigkeit, schon bei der Planung auf  
Lärmvermeidung und -minderung zu achten

# Menschen fühlen sich durch Lärm belästigt...

---



→ Aufgabe des Schallschutzes: Schutz der Menschen vor Lärm

# Gesichtspunkte zur Planung und Ausführung

---

- △ Lage und Orientierung (Außenlärm)
- △ Grundrissgestaltung (Lage von Bad, WC und Küche, Aufzugsanlage gegenüber Schlafräumen, von Technikräumen gegenüber Krankenzimmern, Hotelräumen u.ä.)
- △ Bauart (z. B. schwere oder leichte Bauart)
- △ Festlegung der Art der Trennwände, der Trenndecken und der Außenwände (Trenndecken einschl. Fußboden, Außenwände vor allem wegen der Schall -Längsleitung)
- △ Wasserinstallation
- △ Fenster (Verkehrslärm)
- △ technische Ausrüstung (Aufzugsanlage, Müllschlucker, Waschmaschinen, Zentralheizungen usw.)

# Akustische Grundlagen

---

Schall, Schwingung, Schallwelle,

Schallausbreitung, Frequenz, Wellenlänge

Schalldruck, Schallintensität, Schallpegel,

Schallpegelberechnung

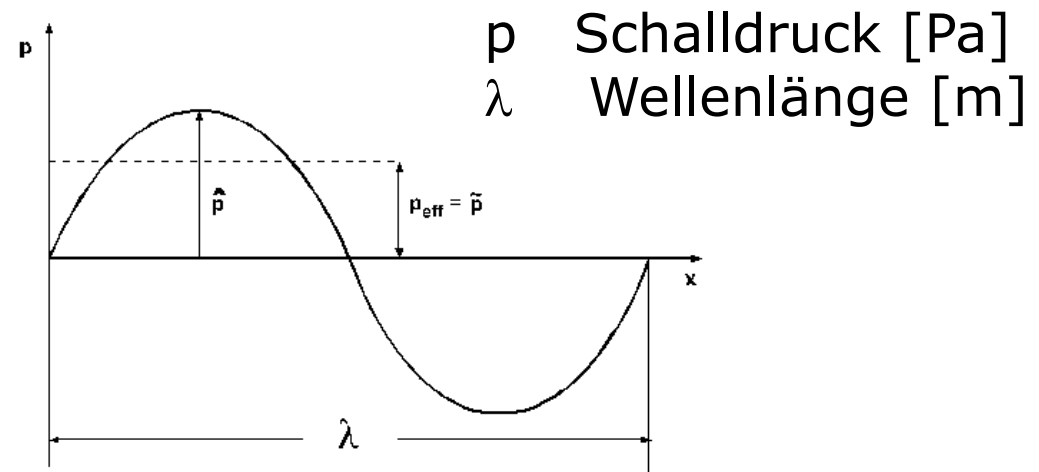
# Grundlagen: Schall und Schwingung

---

## Schall

Mechanische **Schwingungen** in elastischen Medien  
(gasförmig, flüssig, fest)

- Luftschall
- Körperschall
- Fluidschall



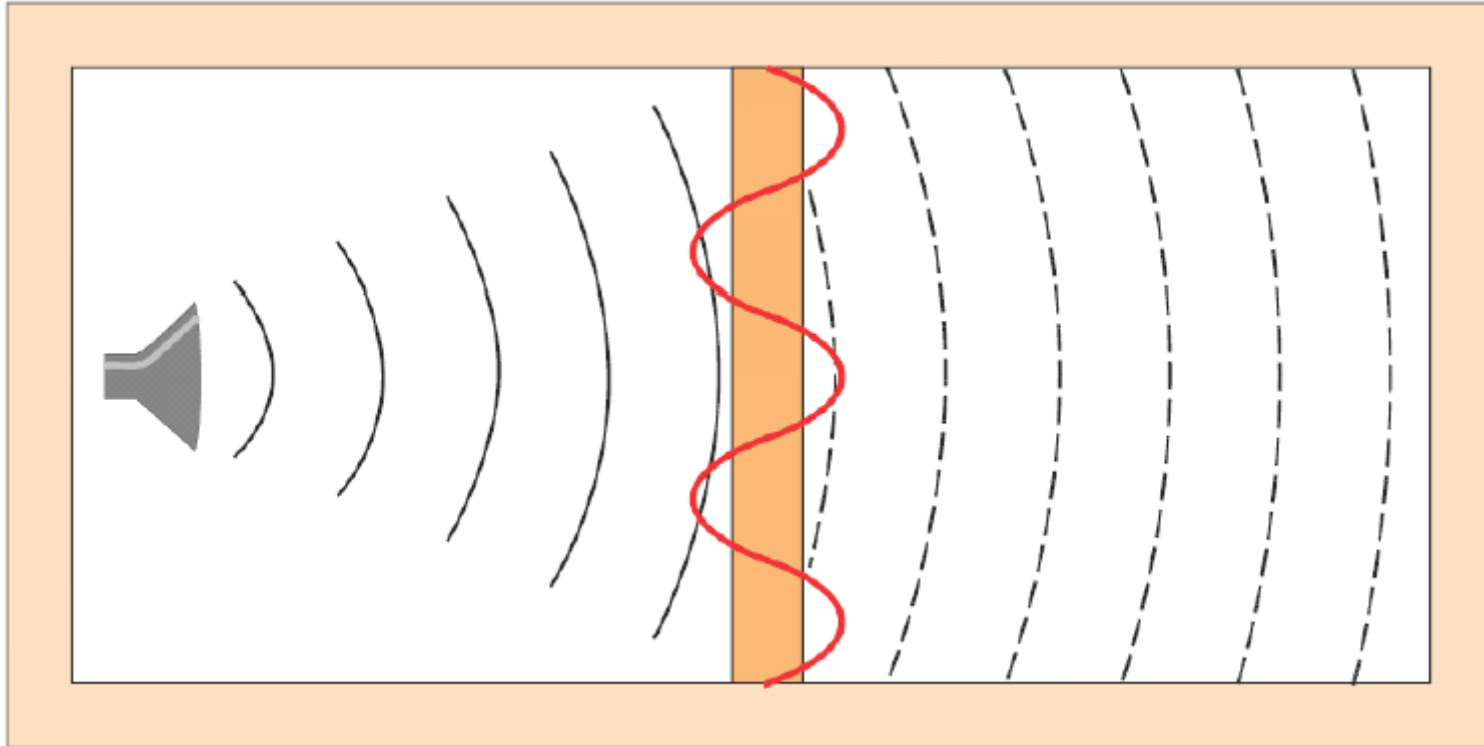
## Schwingung

Bewegung der Masse bzw. der Masseteilchen eines Mediums um eine Ruhelage

# Grundlagen: Schall und Schwingung: Luftschall

---

## Luftschall

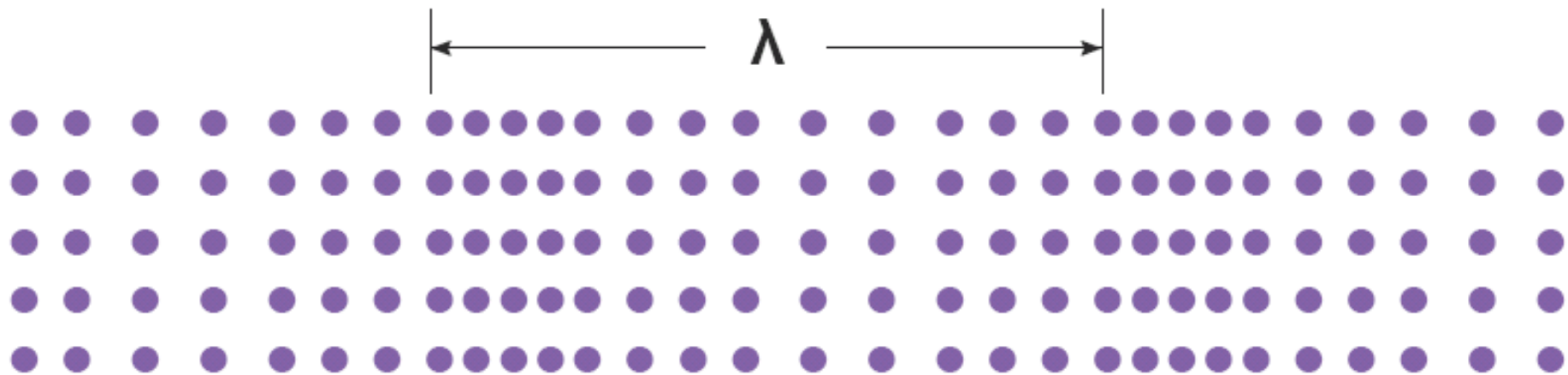


Ausbreitung des Schalls in der Luft durch periodische Kompression des Mediums (Wechsel des Über- und Unterdrucks).

# Grundlagen: Schall und Schwingung: Luftschall

---

Luftschall: Schall der sich in Luft ausbreitet  
(Dichtewellen in einem Gas)

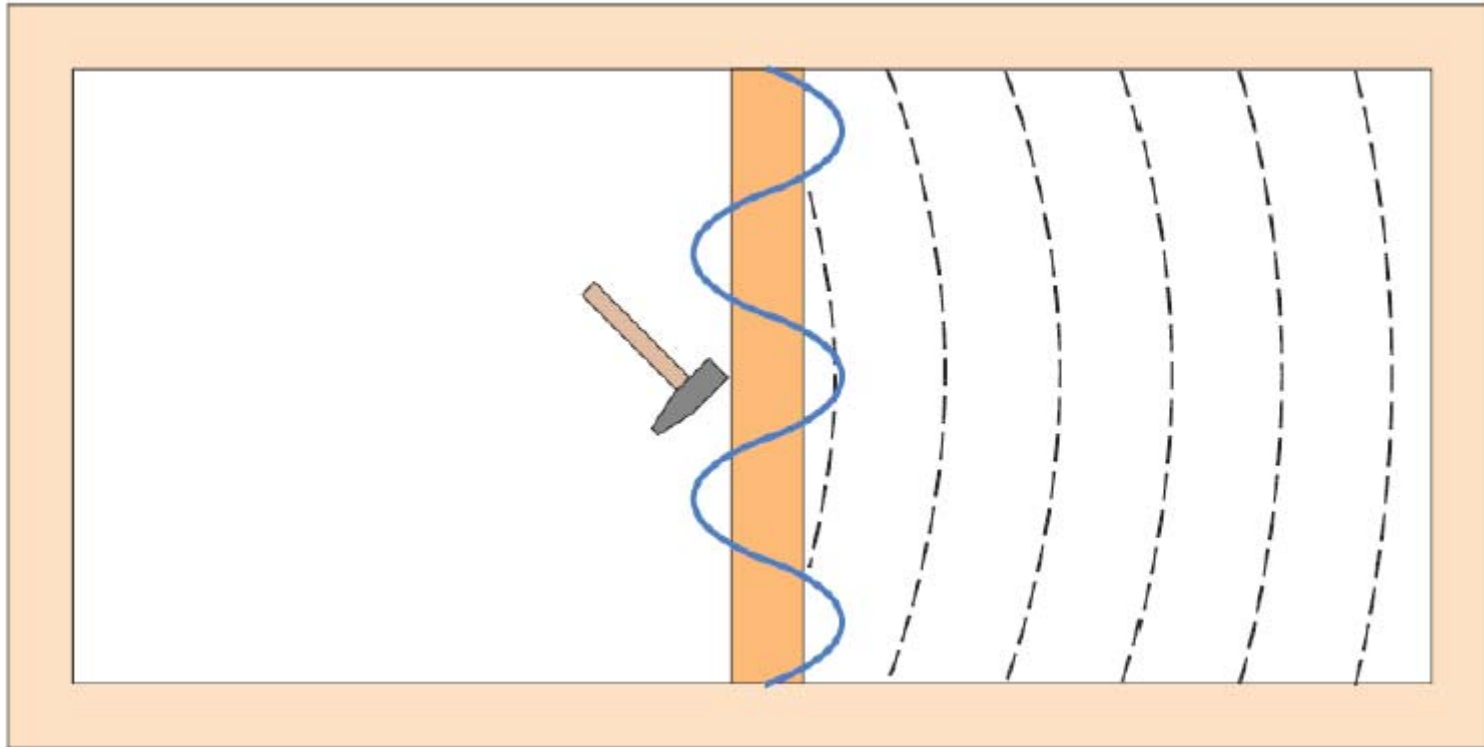


Ausbreitung des Schalls in der Luft durch periodische Kompression des Mediums (Wechsel des Über- und Unterdrucks).

# Grundlagen: Schall und Schwingung: Körperschall

---

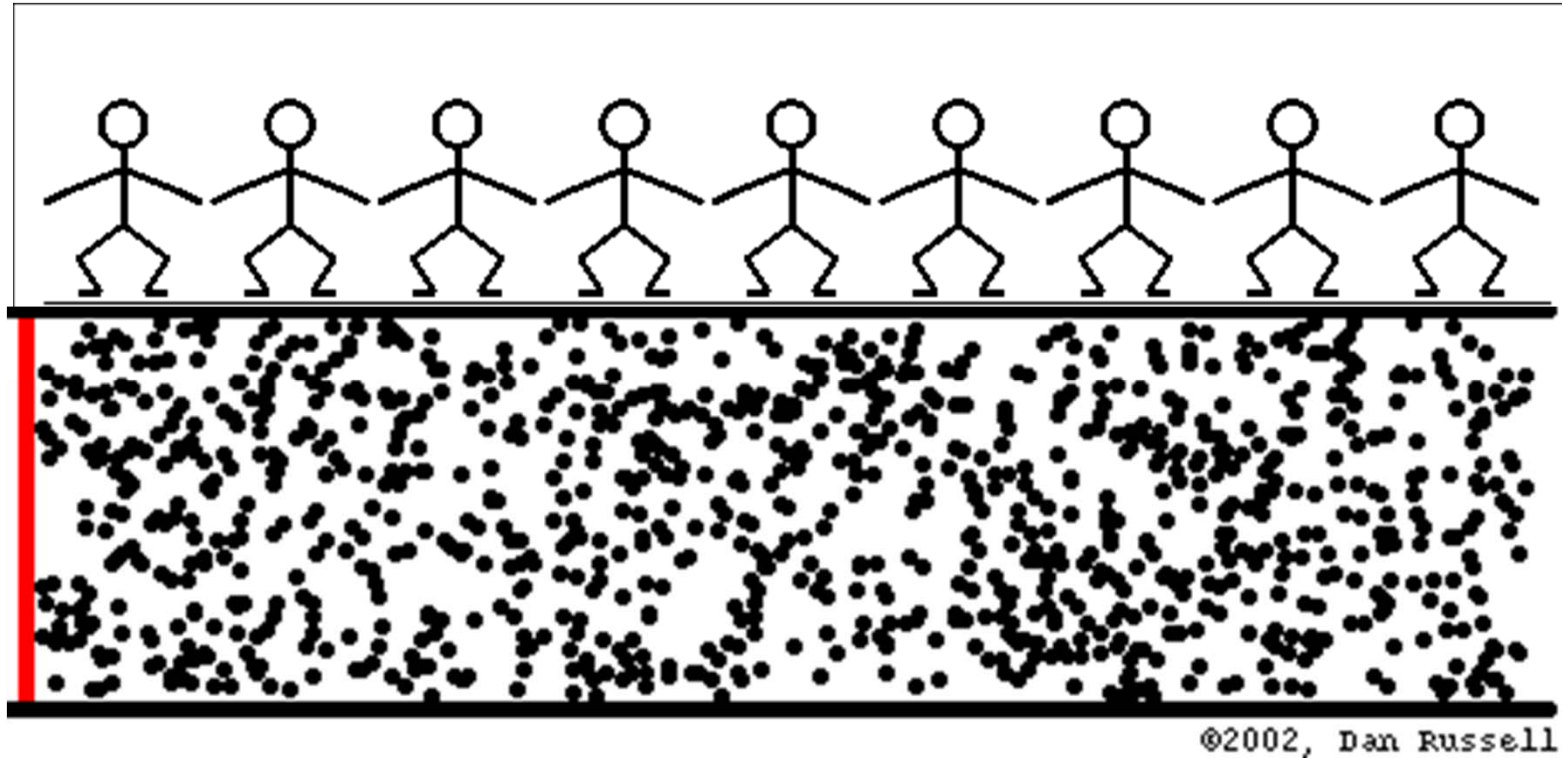
## Körperschall



Ausbreitung des Schalls in Bauteilen oder anderen festen Materialien.

# Grundlagen: Schall und Schwingung: Körperschall

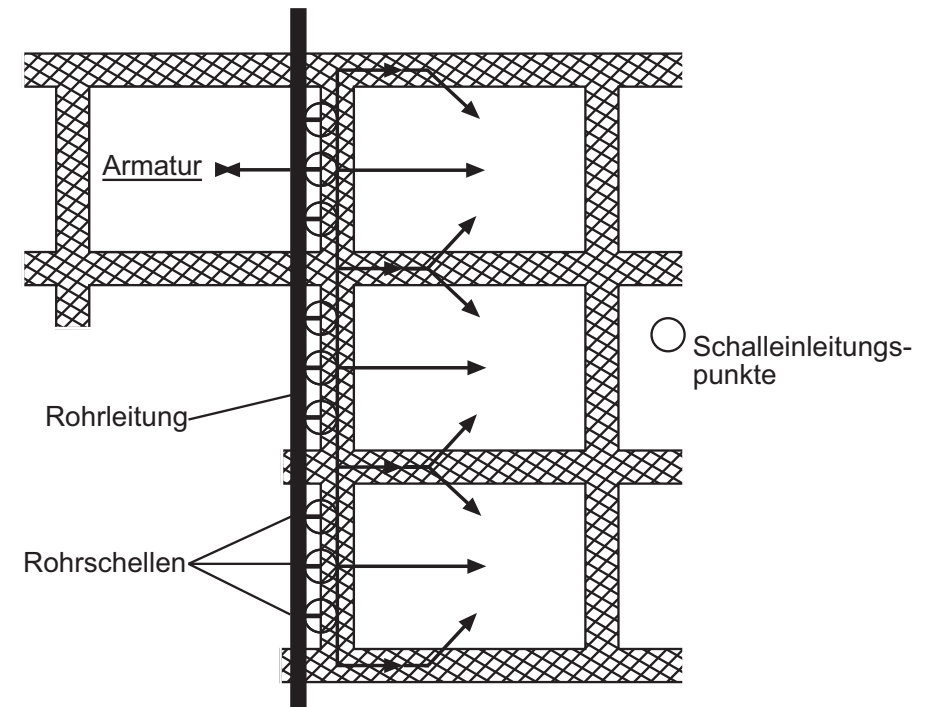
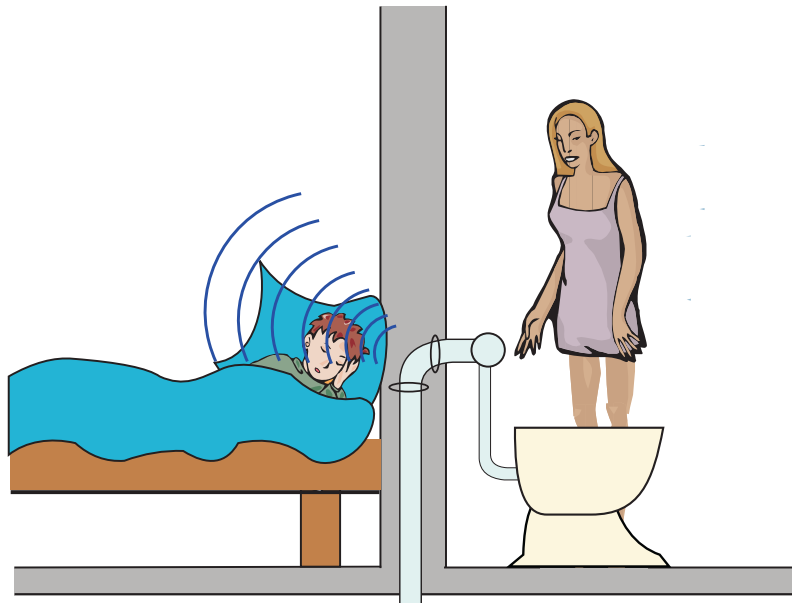
## Trittschall



- Wechselwirkung zwischen Luftschall und Körperschall
- Schall infolge Begehen (o.Ä.) einer Decke: der Körperschall, der z.T. als Luftschall in einem benachbarten Raum abgestrahlt wird.

# Grundlagen: Schall und Schwingung: Körperschall

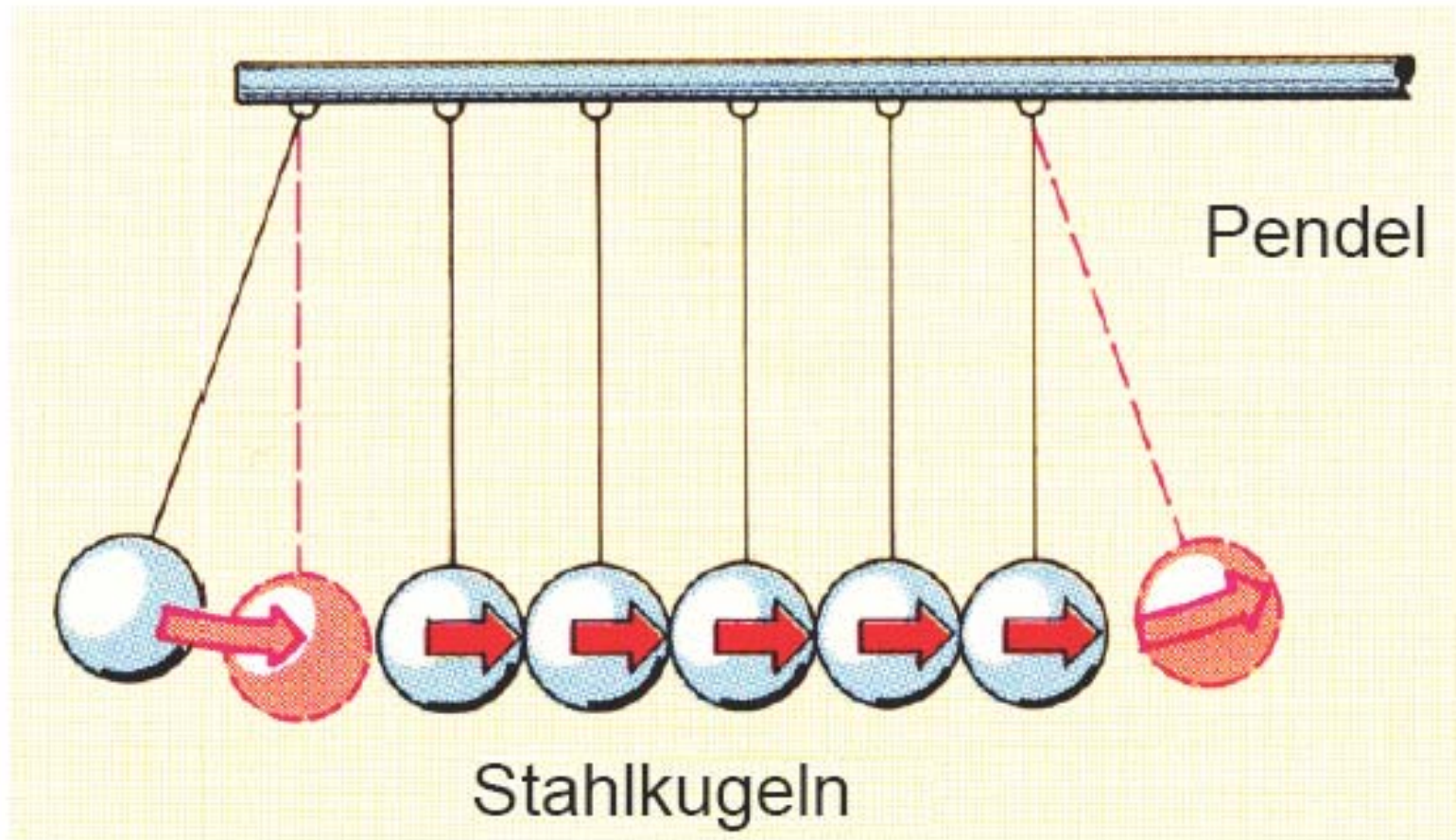
## Fluidschall



Ausbreitung des Schalls in Flüssigkeiten, z. B. Wasser

# Grundlagen: Schallwelle

## Schallausbreitung

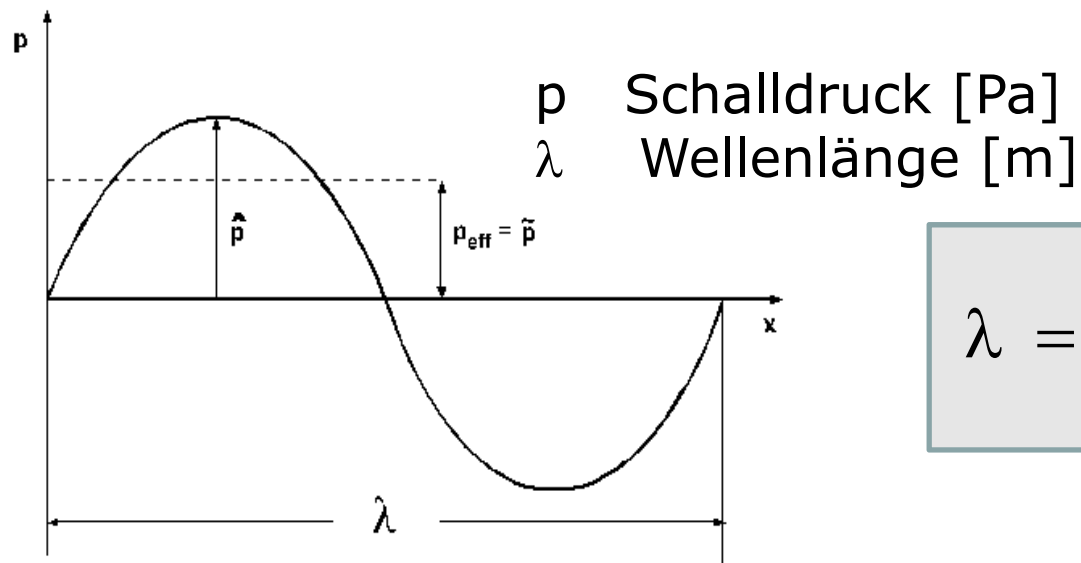


Räumlich und zeitliche Zustandsänderung von Teilchen eines Mediums.

# Grundlagen: Schallwelle

## Wellenlänge $\lambda$

gibt den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Extremwerten ( z. B. jeweils Maxima ) an.



$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad [\text{m}]$$

# Grundlagen: Schallwelle

---

Schallausbreitungsgeschwindigkeit  $c$

$$c = f \cdot \lambda \quad [\text{m/s}]$$

|           | Schallausbreitungsgeschwindigkeit<br>[m/s] |
|-----------|--------------------------------------------|
| Beton     | 3500                                       |
| Kupfer    | 3710                                       |
| Eisen     | 5100                                       |
| Holz      | 3500                                       |
| Glas      | 5000                                       |
| Ziegel    | 3000                                       |
| Aluminium | 5000                                       |

- Die Schallausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  ist stark vom Medium abhängig
- Im Vakuum findet keine Schallausbreitung statt

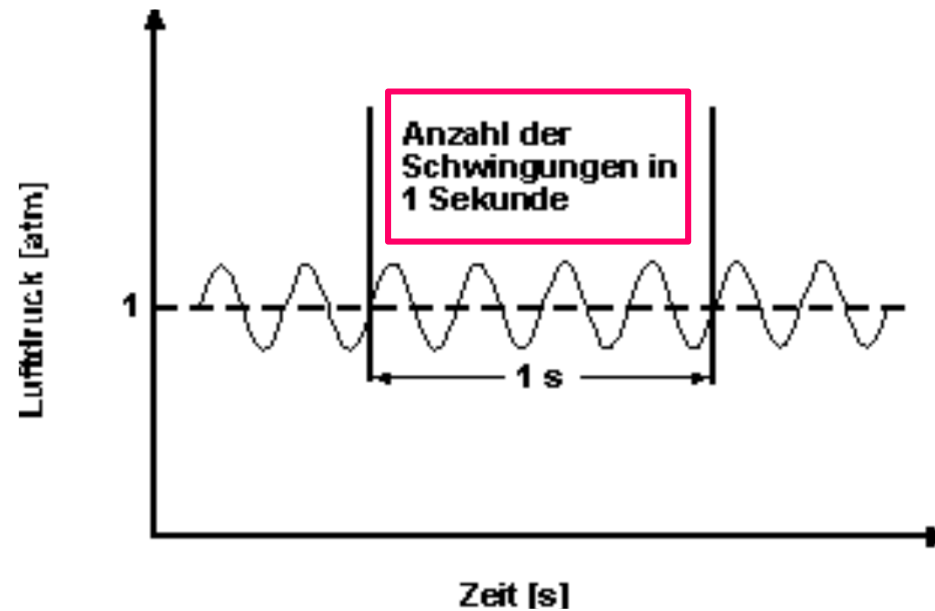
Luft (20°C)

345

[Dr. Krus]

# Grundlagen: Schallwelle

Frequenz  $f$ :



## Frequenz als Maß für die Tonhöhe

- ♪ Schwingungen je Sekunde
- ♪ Einheit: Hertz (Hz)  $\Rightarrow 1\text{ Hz} = 1/\text{s}$
- ♪ Kehrwert = Schwingungsdauer in Sekunden
- ♪ je größer die Frequenz, desto kleiner die Schwingungsdauer (Periode)

# Grundlagen: Schallwelle

---

Schall im üblichen Sprachgebrauch:

**Hörschall:** Schwingungen im hörbaren Bereich des Menschen  
16Hz - 20kHz

**Hörfähigkeit** → altersabhängig

☀ Säuglinge bis 24 000 Hz

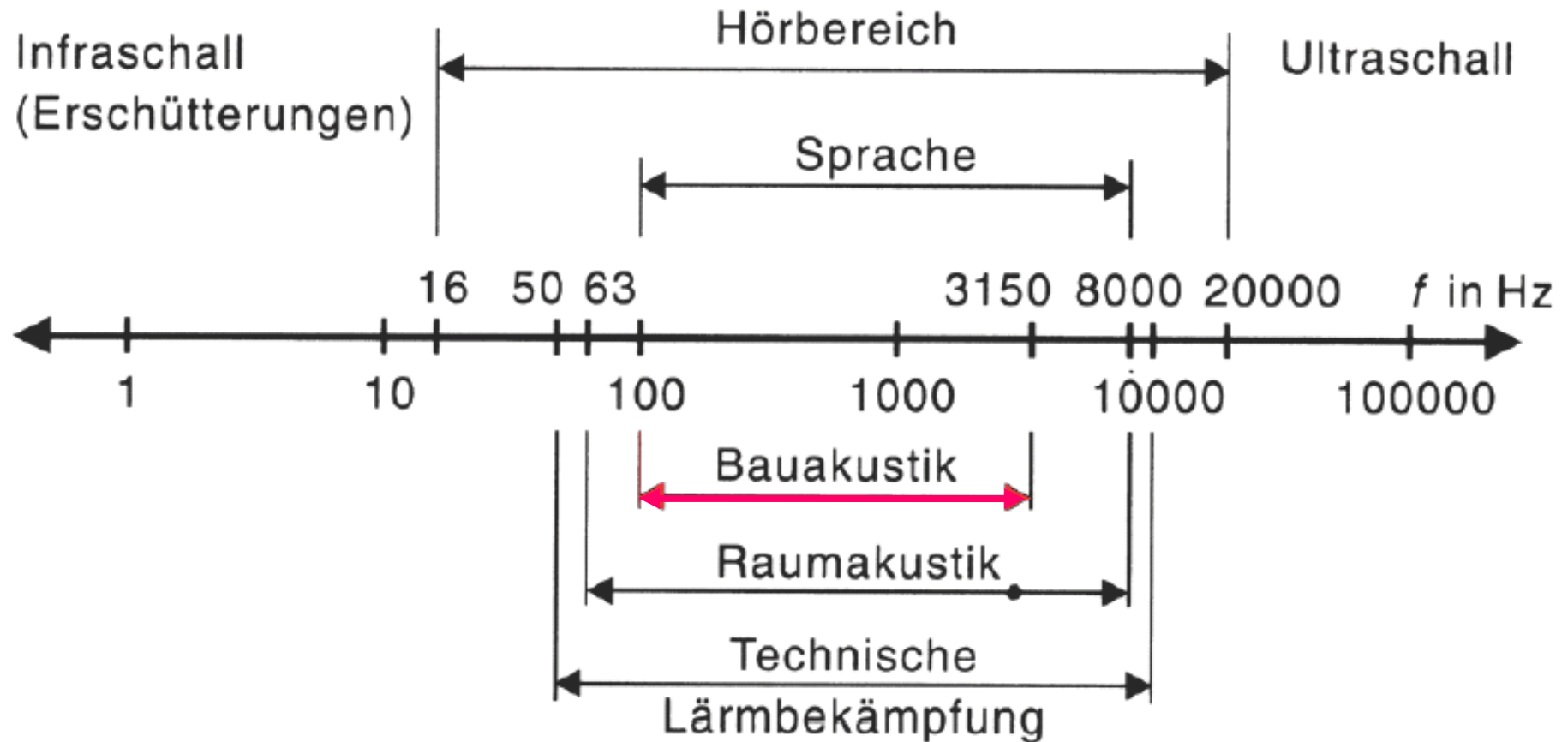
😊 35jährige bis 16 000 Hz

☹ 60jährige bis 5 000 Hz

**Infraschall:** unter 16 Hz  
nicht hörbar, nur als Erschütterung wahrnehmbar  
**Ultraschall:** über 20 kHz

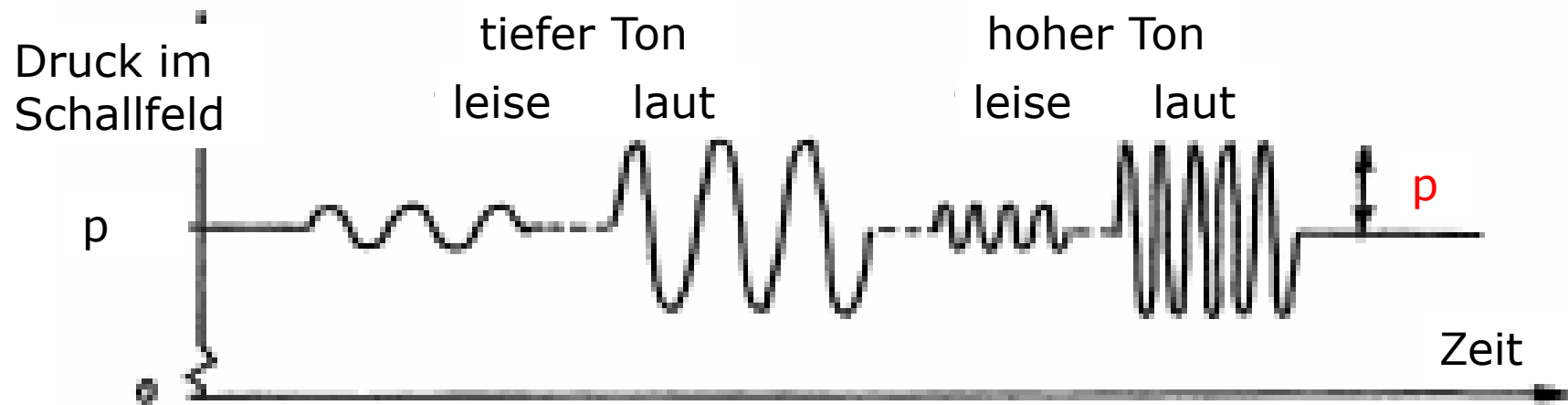
# Grundlagen: Schallwelle

## Frequenz



# Grundlagen: Schalldruck

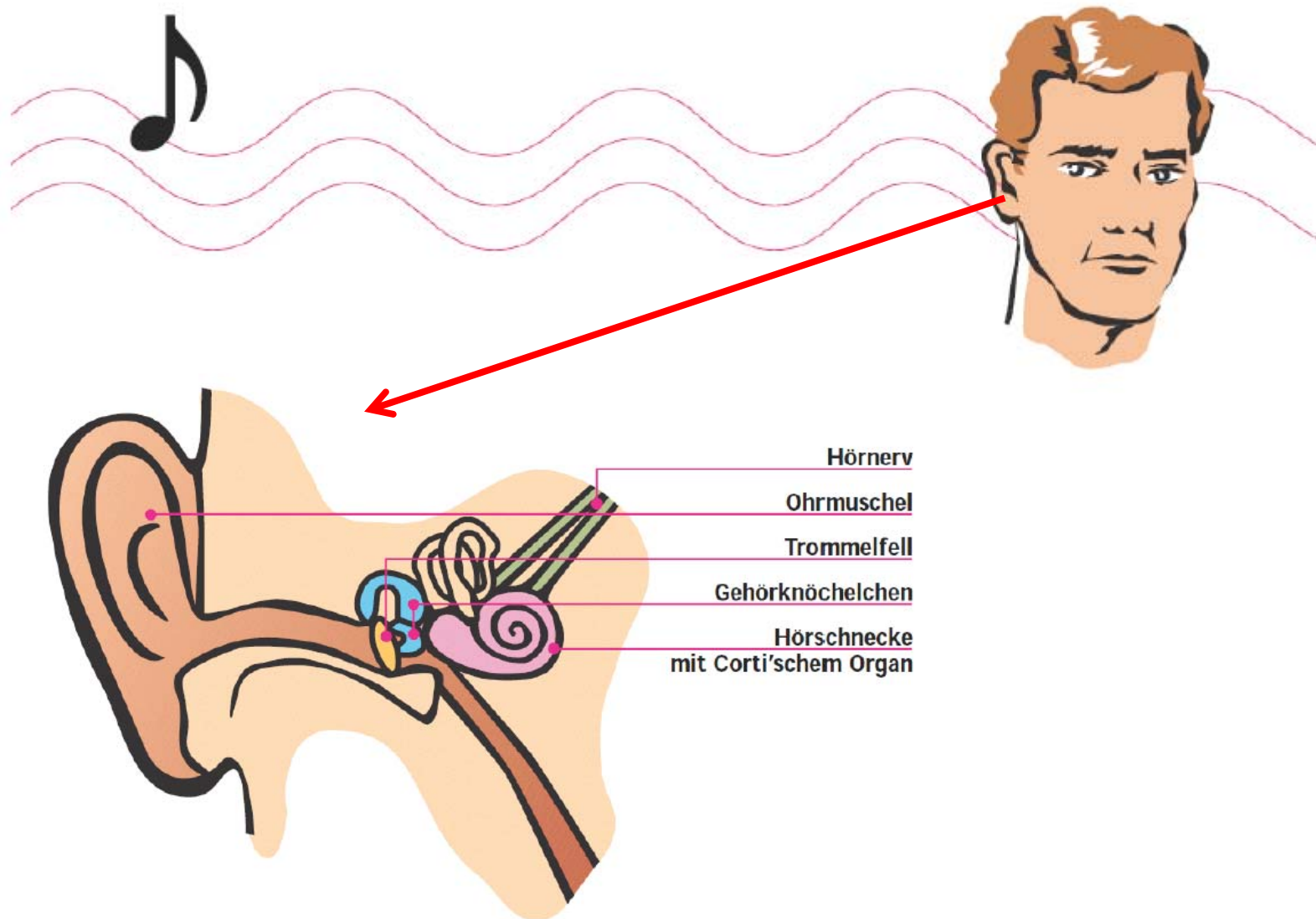
$p$  Schalldruck [Pa]  
 $\lambda$  Wellenlänge [m]



Schalldruck: dynamische (periodische) Druckschwankung  
der umgebenden Luft  
→ Schwingungen des Trommelfells

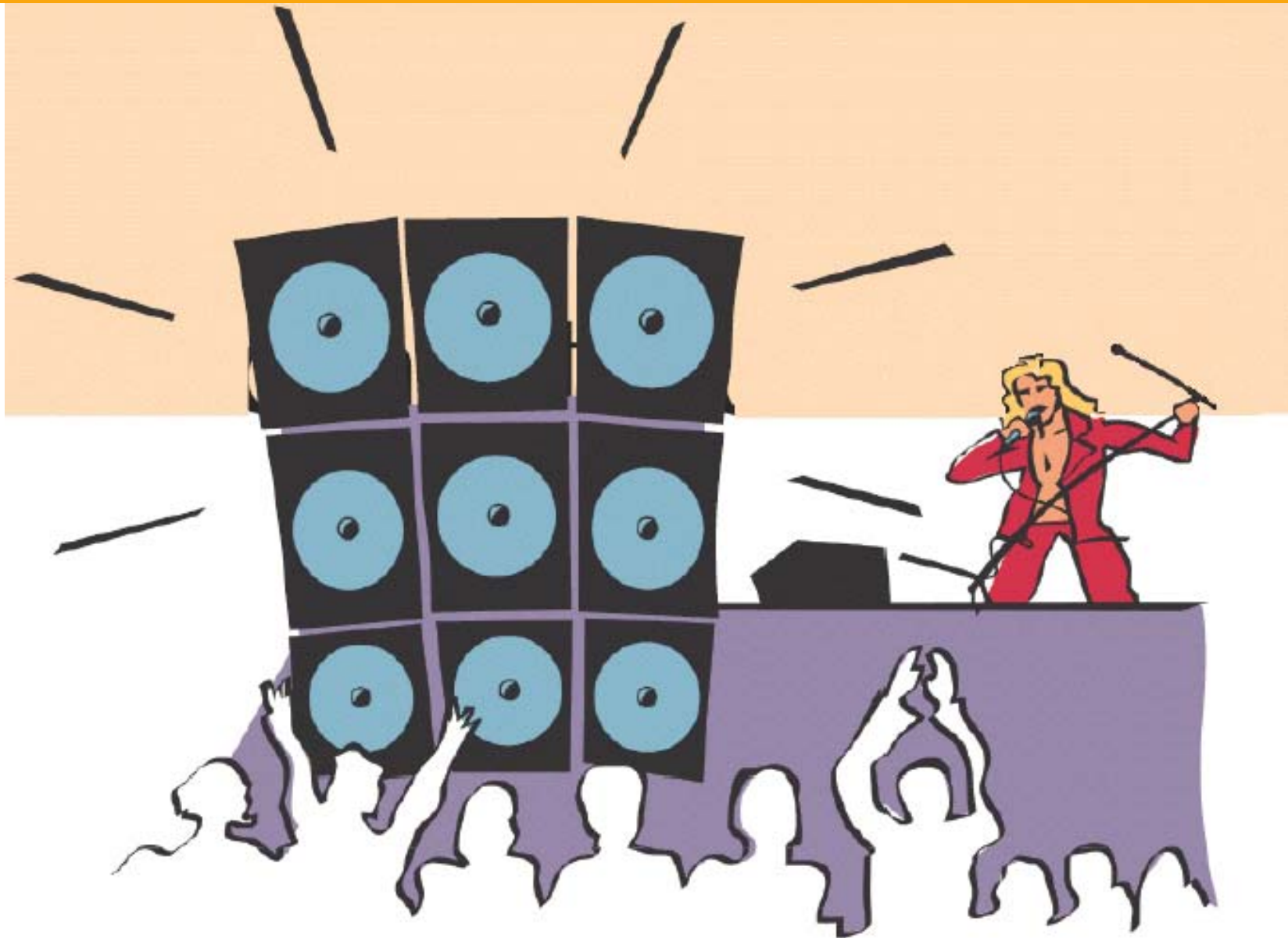
# Das Ohr

---

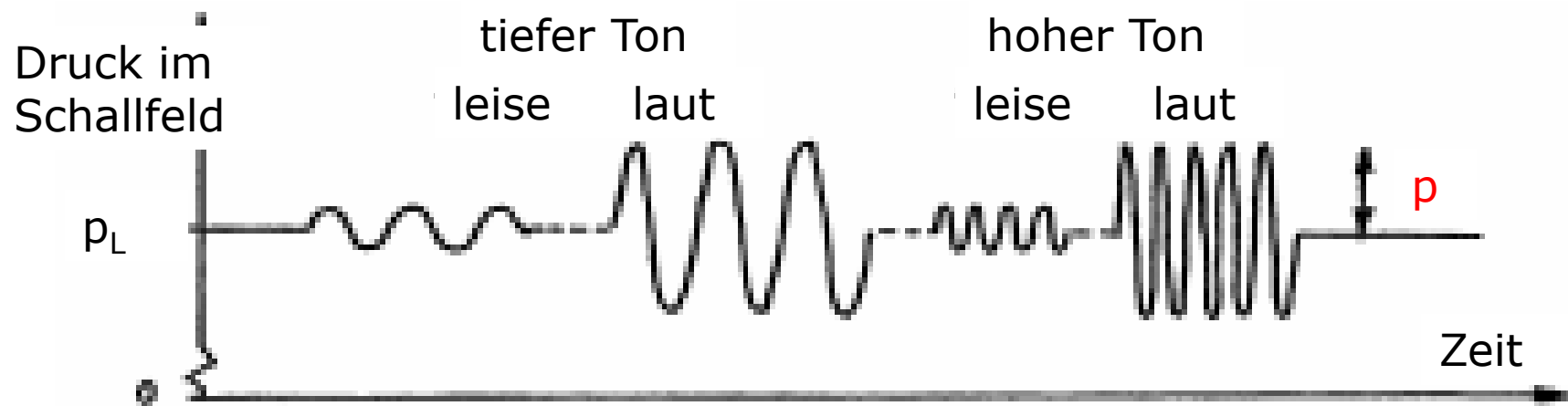


# Grundlagen: Schalldruck und Lautstärke

---



# Grundlagen: Schalldruck



# Grundlagen: Schalldruck

---

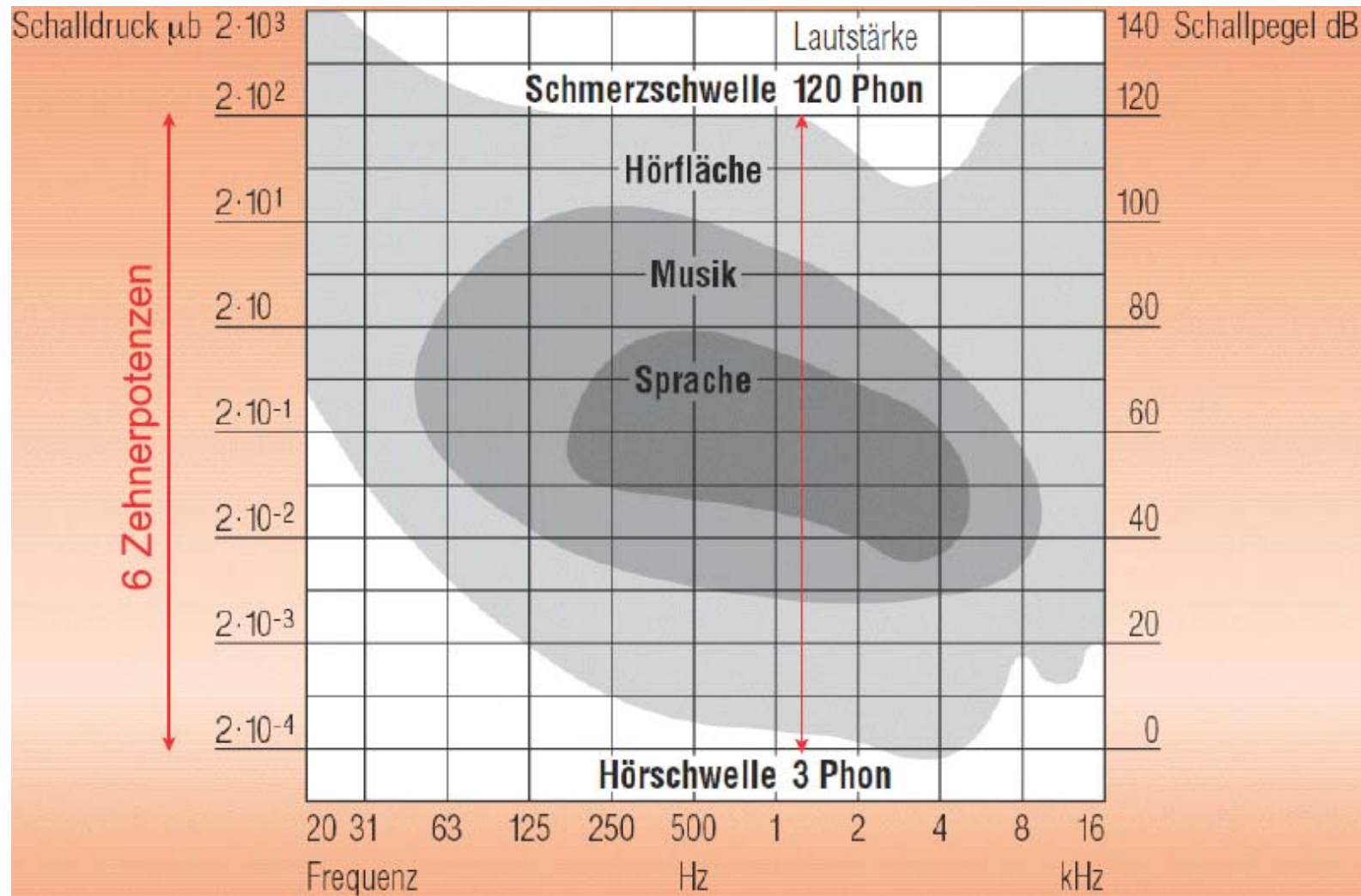
- Der Schalldruck  $p$  dient als Maß für die Lautstärke
- wahrnehmbare Schalldrücke zwischen Hörschwelle  $\approx 2 \cdot 10^{-5}$  Pa (min) und Schmerzgrenze  $\approx 20$  Pa
- die Intensität der vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Schallereignisse unterscheiden sich um mehrere Zehnerpotenzen

→ Logarithmisches Maß = **Schallpegel  $L$**  (*Schalldruckpegel*)

Logarithmus des Verhältnisses des betreffenden Schalldrucks zu einer festen Bezugsgröße ( $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa)

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

# Grundlagen: Schalldruck und Lautstärke



Schallpegel  $\neq$  Lautstärkepegel (Lautheit!!!):

der gleiche Schallpegel wird bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich laut empfunden

[Prof. Schulz]

# Grundlagen: Schallpegel

---

## Schallpegel

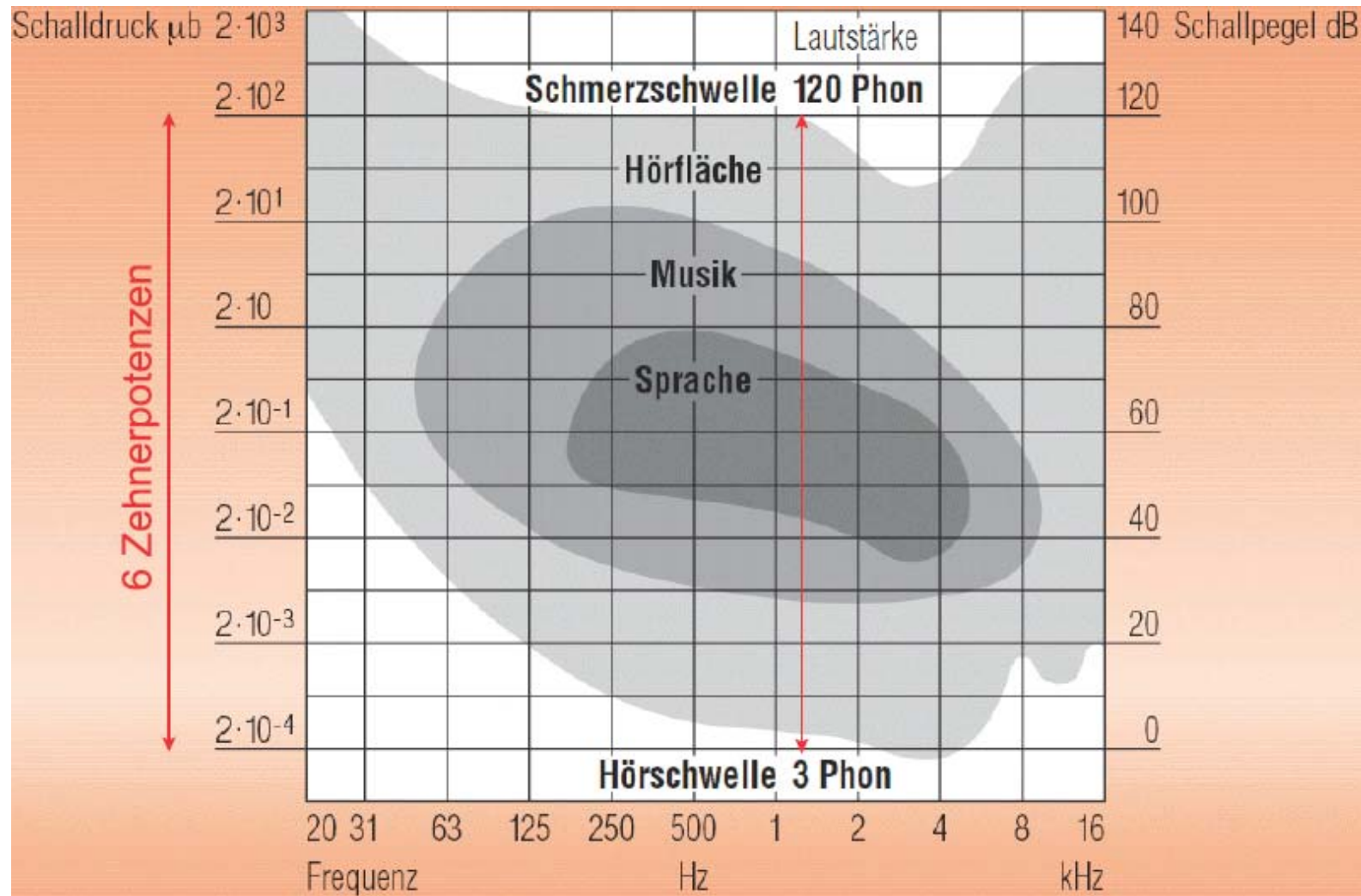
$$L = C \cdot \lg \frac{X}{X_0} \quad [\text{dB}]$$

## Schalldruckpegel

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

# Grundlagen: Schalldruck und Lautstärke

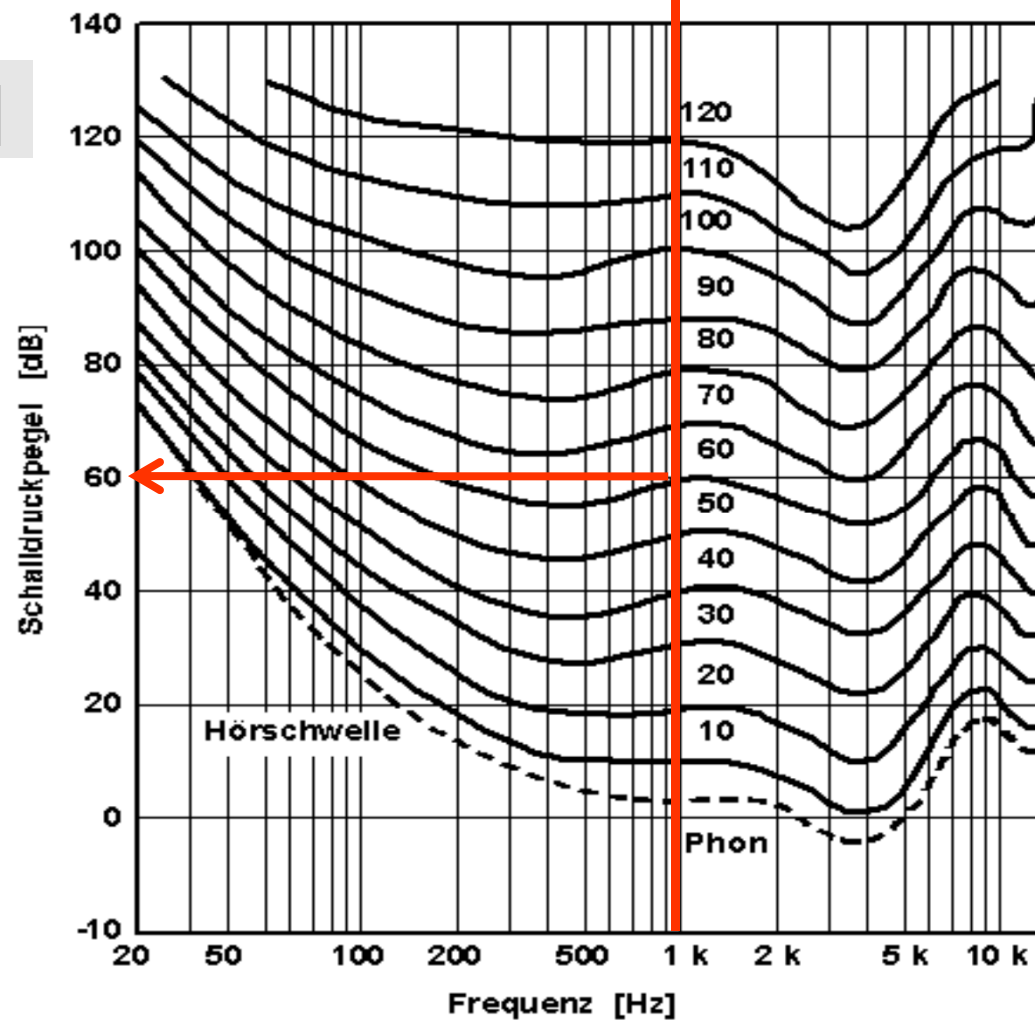


Schallpegel  $\neq$  Lautstärkepegel (Lautheit!!!):

der gleiche Schallpegel wird bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich laut empfunden

# Grundlagen: Schalldruck und Lautstärke

Lautstärke [phon]



Normkurven des Lautstärkepegels in Abhängigkeit von der Frequenz

# Lautstärke

---

- das menschliche Ohr ist für hohe und Tiefe Frequenzen sehr empfindlich
- auch wenn 2 Töne den gleichen Schallpegel  $L$  aufweisen, werden tiefe Töne leiser empfunden als hohe Töne
- Einheit Lautstärke bzw. Lautheit: Empfindungsgrad des menschlichen Gehörs für Töne verschiedener Frequenzen im Vergleich zu einem gleichlauten Ton von 1000 Hz
- Definition: die Lautstärke in [phon] eines 1000 Hz Tones entspricht dem Schallpegel in [dB]
- Eine Erhöhung des Lautstärkepegels  $L$  um 10 dB soll der Empfindung doppelter Lautstärke (Empfindungsgröße des menschlichen Hörempfindens ) entsprechen.

# Lautstärke/Schalldruck/Schallintensität

| Pegel-<br>Änderung                     | Lautstärke<br>Lautheit                        | Spannung<br>Schalldruck                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| +40 dB                                 | 16                                            | 100                                         |
| +30 dB                                 | 8                                             | 31,6                                        |
| +20 dB                                 | 4                                             | 10                                          |
| <b>+10 dB</b>                          | 2,0 = Verdopplung                             | 3,16 = $\sqrt{10}$                          |
| +6 dB                                  | 1,52 fach                                     | 2,0 = Verdopplung                           |
| +3 dB                                  | 1,23 fach                                     | 1,414 fach = $\sqrt{2}$                     |
| ----- ±0 dB -----                      | ----- 1,0 -----                               | ----- 1,0 -----                             |
| -3 dB                                  | 0,816 fach                                    | 0,707 fach                                  |
| -6 dB                                  | 0,660 fach                                    | 0,5 = Halbierung                            |
| <b>-10 dB</b>                          | 0,5 = Halbierung                              | 0,316                                       |
| -20 dB                                 | 0,25                                          | 0,100                                       |
| -30 dB                                 | 0,125                                         | 0,0316                                      |
| -40 dB                                 | 0,0625                                        | 0,0100                                      |
| <b>Log. Größe<br/>dB-<br/>Änderung</b> | <b>Psychogröße<br/>Lautstärke-<br/>faktor</b> | <b>Feldgröße<br/>Amplituden-<br/>faktor</b> |

# Grundlagen: Schallpegelbewertung

Tatsache, dass das menschliche Gehör für hohe und tiefe Frequenzen empfindlicher ist, wird hier berücksichtigt.

Beispiel:

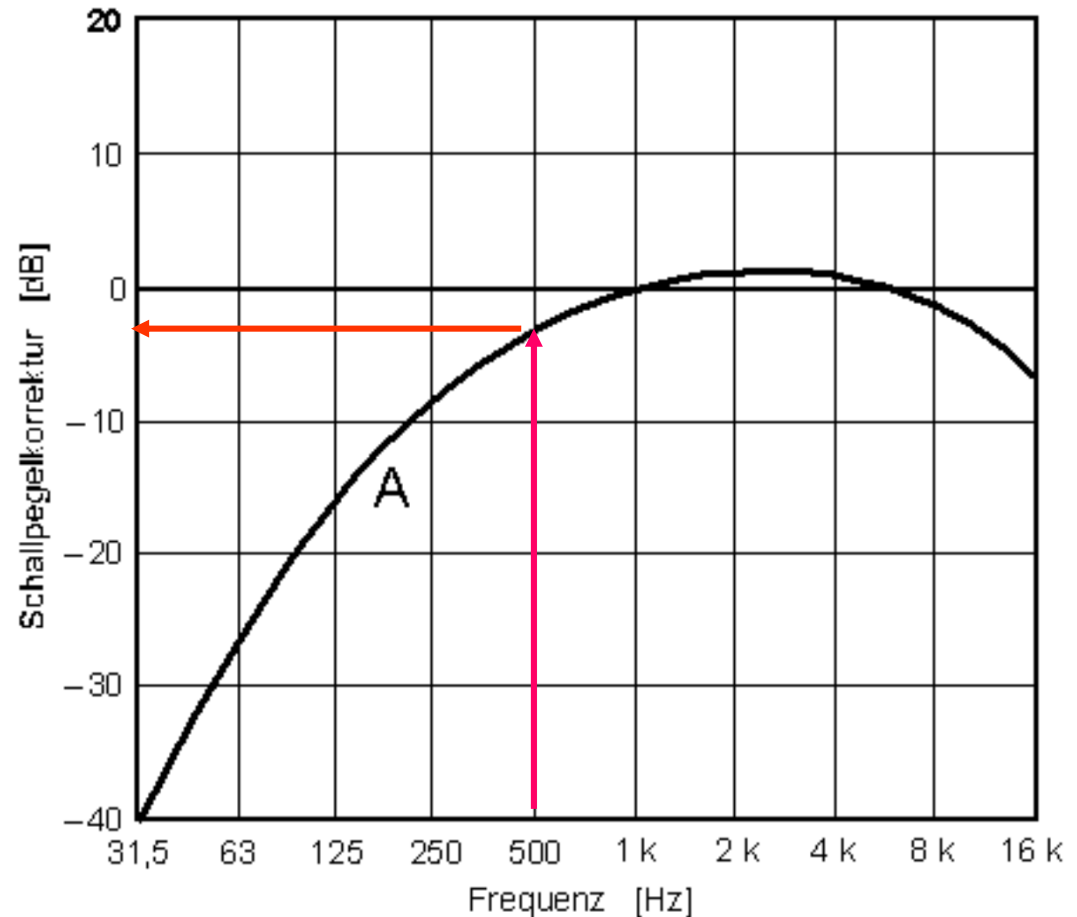
Frequenz = 500 Hz

Gemessen:

$L = 85 \text{ dB}$

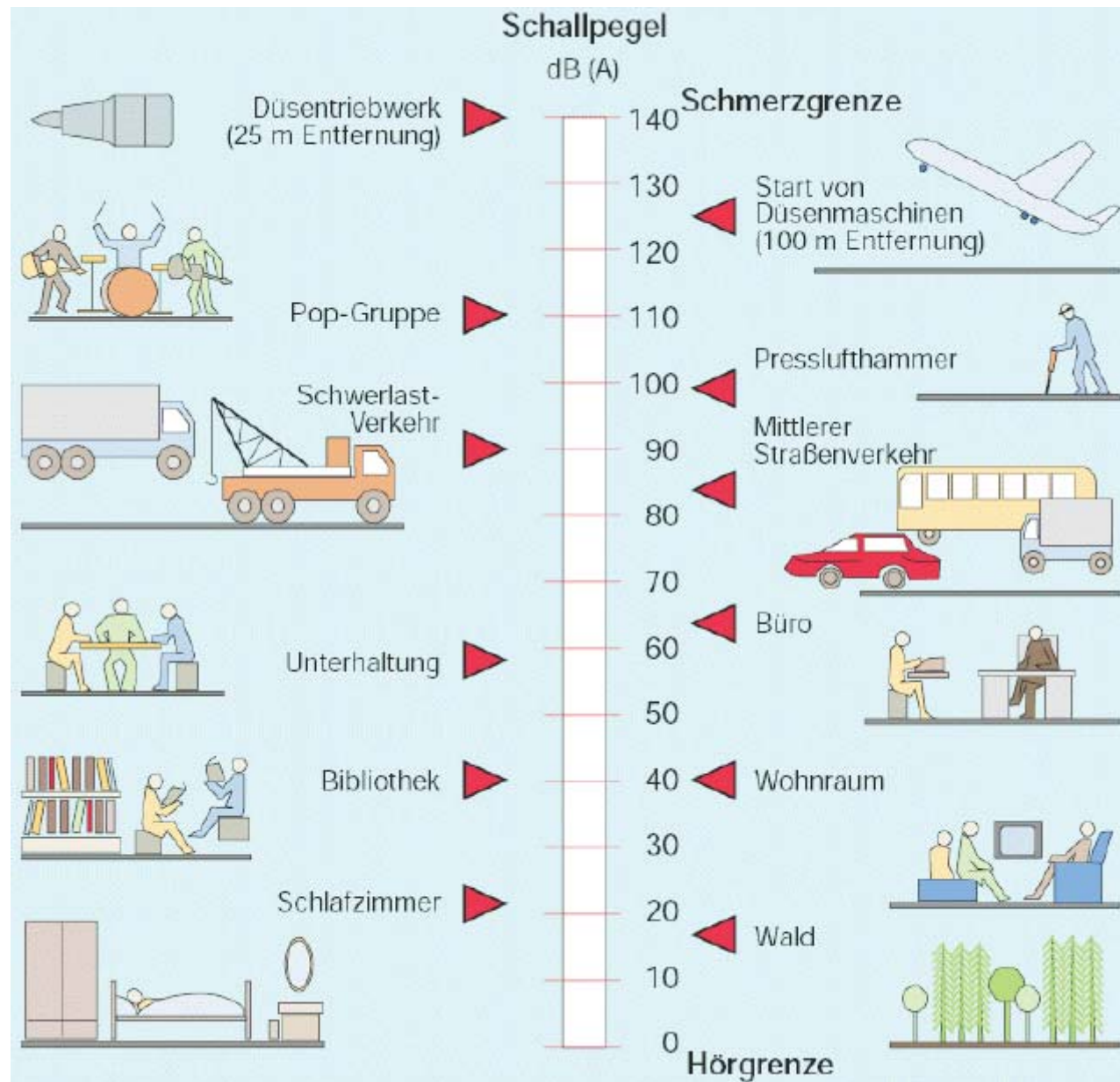
Bewertet:

$L = 85 - 2 = \text{dB(A)}$

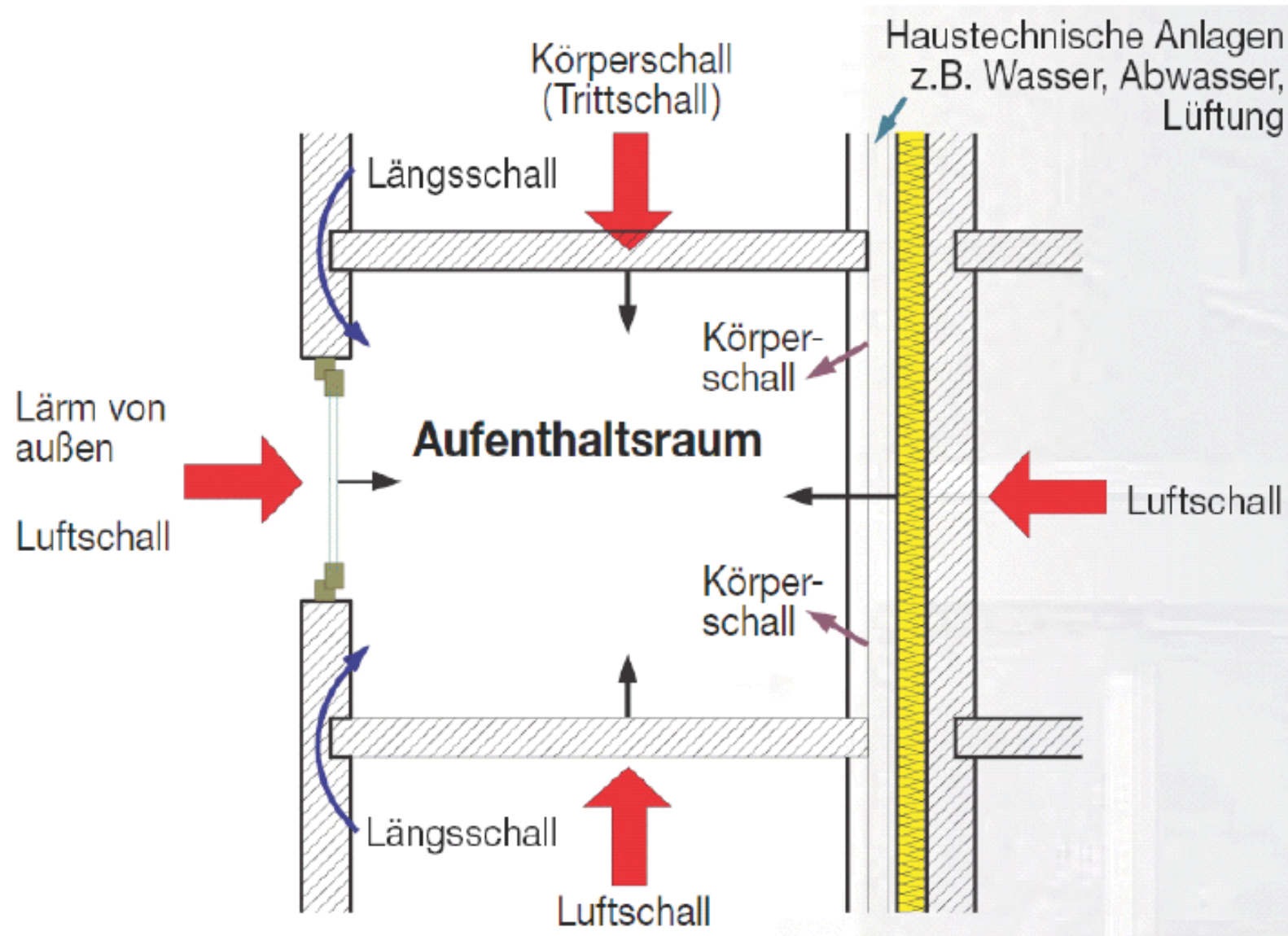


A-Bewertungskurve

# Grundlagen: Schallpegel dB (A)



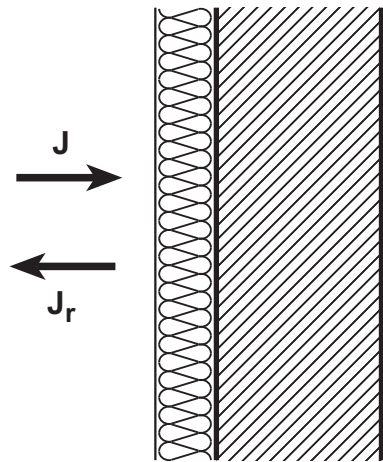
# Schallübertragung



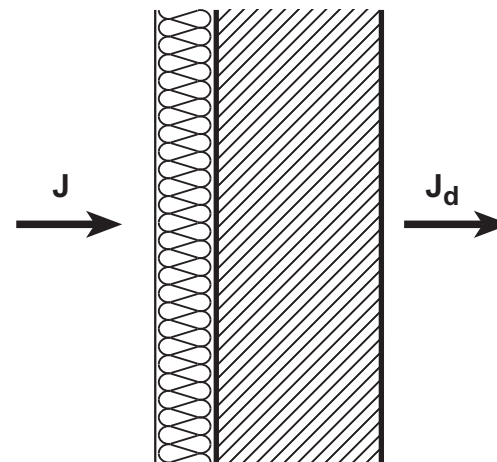
# Schalldämmung und Schalldämpfung

---

Schalldämpfung  
(Absorption)



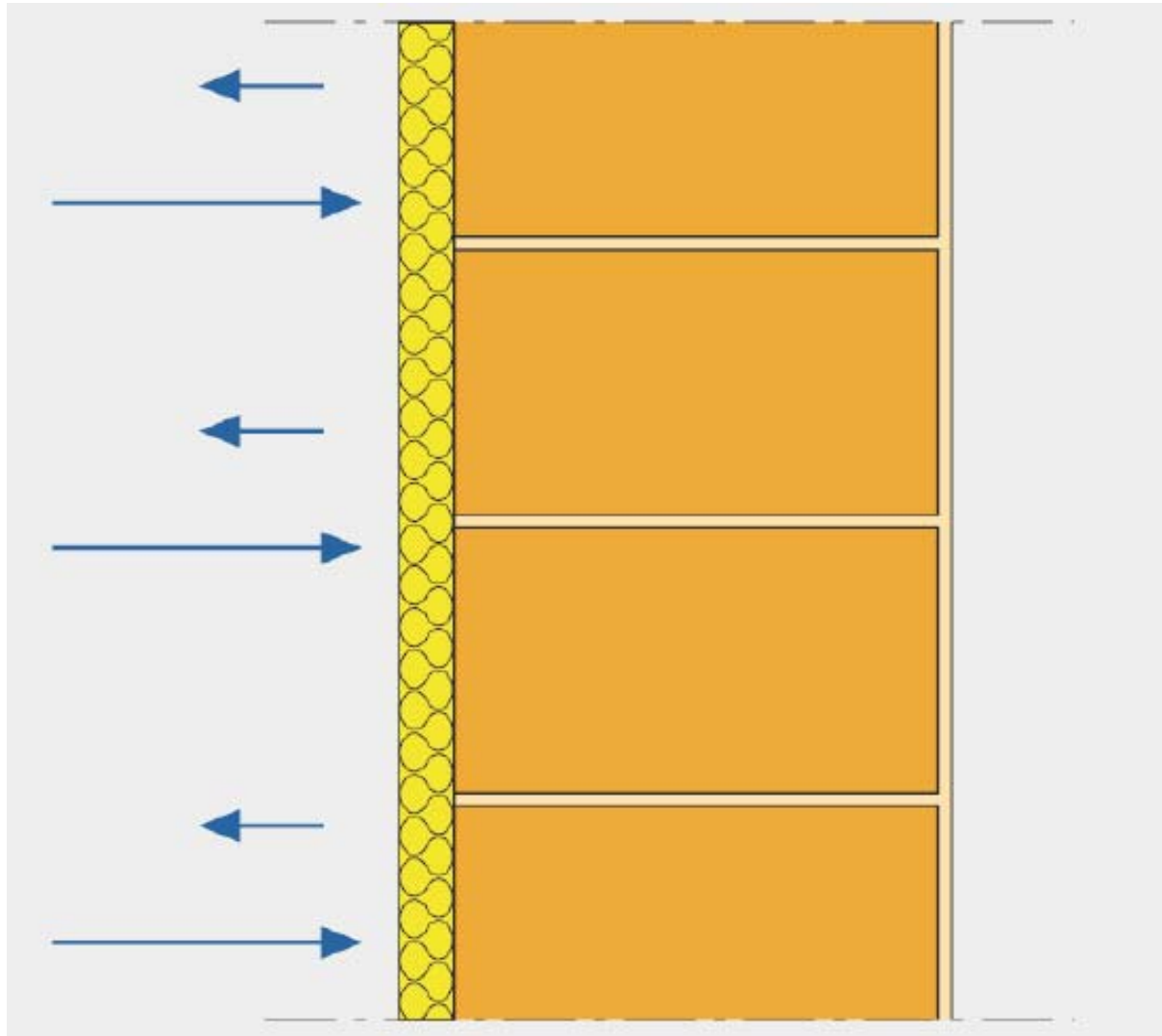
Schalldämmung



Unterschied zwischen Schalldämpfung (Schallabsorption) und Schalldämmung

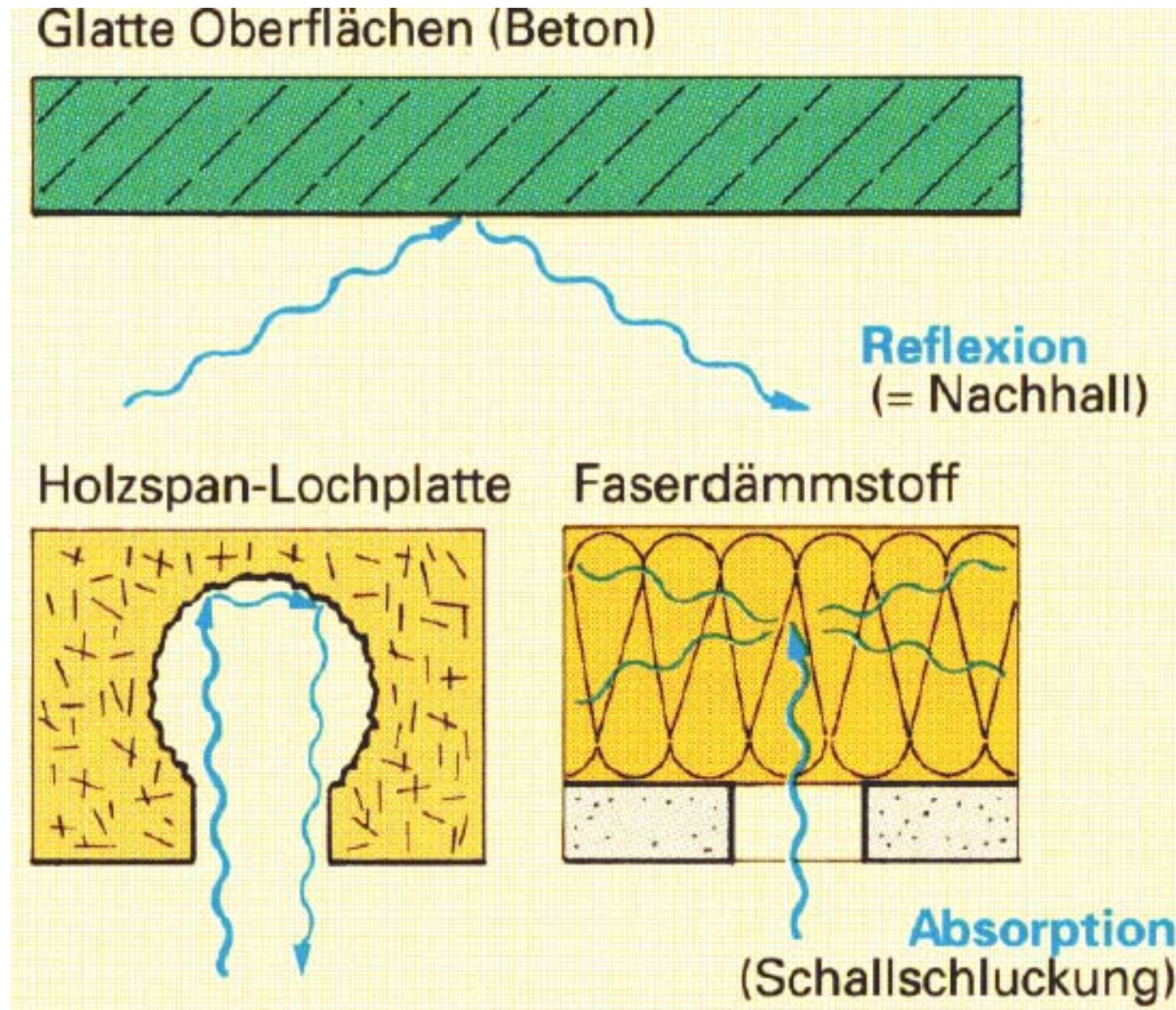
# Schalldämpfung und Schallreflexion

---

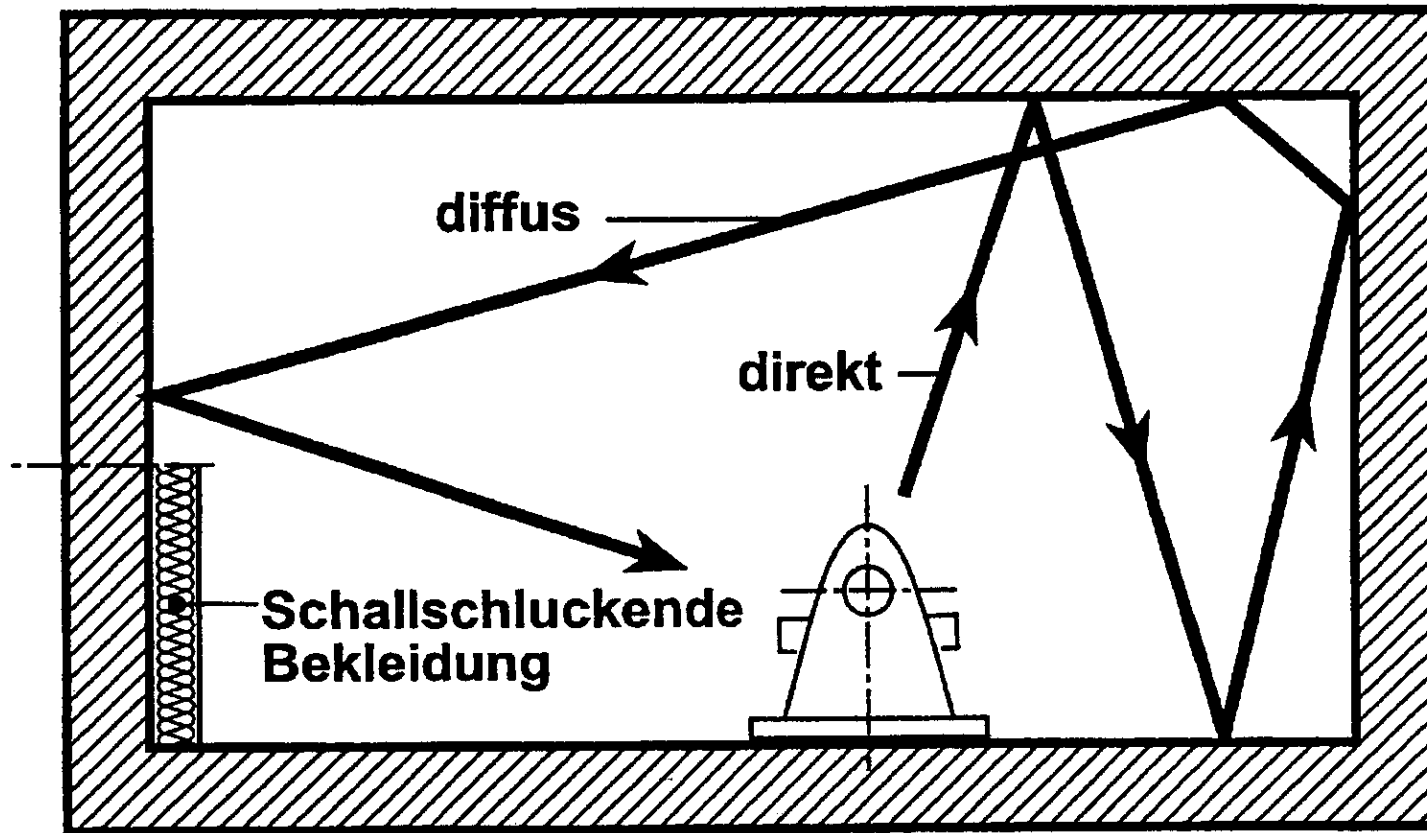


# Schalldämpfung und Schallreflexion

---



# Schalldämpfung und Schallreflexion



Schallabsorption: Schall wird in Wärme umgewandelt  
Schallabsorptionsgrad:  $a = 1 - r$  ( $r$  = Reflektionsgrad)

# Schalldämpfung und Schallreflexion

| lfd. | Material / Konstruktion                                                                                                                             | Schallabsorptionsgrad bei den Frequenzen |           |           |            |            |            |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
|      |                                                                                                                                                     | 125<br>Hz                                | 250<br>Hz | 500<br>Hz | 1000<br>Hz | 2000<br>Hz | 4000<br>Hz |
| 1    | 25 mm Faserspritzputz                                                                                                                               | 0,2                                      | 0,3       | 0,5       | 0,6        | 0,75       | 0,7        |
| 2    | 25 mm Zementspritzputz<br>mit Vermiculitezusatz                                                                                                     | 0,05                                     | 0,1       | 0,2       | 0,55       | 0,6        | 0,55       |
| 3    | 8 mm Schaumstoff-Tapete                                                                                                                             | 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,<br>unverputzt, Löcher zu dem Raum offen, Mineralwolle im 60<br>mm Hohlraum hinter Ziegeln                                    | 0,15                                     | 0,65      | 0,45      | 0,45       | 0,4        | 0,7        |
| 6    | 25 mm Holzwolle-Leichtbauplatten,<br>unverputzt<br>unmittelbar an der Wand                                                                          | 0,05                                     | 0,1       | 0,5       | 0,75       | 0,6        | 0,7        |
|      | 24 mm vor Wand, im Hohlraum Mineralwolle                                                                                                            | 0,15                                     | 0,7       | 0,65      | 0,5        | 0,75       | 0,7        |
| 7    | 50 mm Mineralfaserplatten (100 kg/m <sup>3</sup> )                                                                                                  | 0,3                                      | 0,6       | 1,0       | 1,0        | 1,0        | 1,0        |
| 8    | 20 mm Mineralfaserplatten mit Farbe in Flocken-struktur an<br>Oberfläche                                                                            | 0,02                                     | 0,15      | 0,5       | 0,85       | 1,0        | 0,95       |
| 9    | 16 mm Mineralfaserplatten,<br>375 kg/m <sup>3</sup> , raumseitig mit Farbschicht, Oberfläche mit<br>feinen Öffnungen versehen. 200 mm Deckenabstand | 0,4                                      | 0,45      | 0,6       | 0,65       | 0,85       | 0,85       |
| 10   | Blechkassetten,-geloht, mit 20 mm Mineralfaser filz, aufge-<br>leat.<br>300 mm Deckenabstand                                                        | 0,3                                      | 0,7       | 0,7       | 0,9        | 0,95       | 0,95       |
| 11   | Gipskartonplatten, gelocht, Mineralfaser-Auflage<br>100 mm Deckenabstand                                                                            | 0,3                                      | 0,7       | 1,0       | 0,8        | 0,65       | 0,6        |
| 12   | Holzverkleidung mit 15 mm breiten,<br>offenen Fugen,<br>20 mm Mineralfaser-Auflage<br>bei 30 mm Deckenabstand                                       | 0,1                                      | 0,25      | 0,8       | 0,7        | 0,3        | 0,4        |
|      | bei 200 mm Deckenabstand                                                                                                                            | 0,4                                      | 0,7       | 0,5       | 0,4        | 0,35       | 0,3        |
| 13   | Plüschbespannung, gefaltet,<br>0,42 kg/m <sup>3</sup><br>50 mm Abstand von der Wand                                                                 | 0,15                                     | 0,45      | 0,95      | 0,9        | 1,0        | 1,0        |
| 14   | 7 mm Teppichboden                                                                                                                                   | 0                                        | 0,05      | 0,1       | 0,3        | 0,5        | 0,6        |

# Schalldämpfung und Schallreflexion

---

Alle schallabsorbierenden Flächen eines Raumes können in einer äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$  mit  $a = 1$  zusammengefasst werden:

$$A = \underbrace{\sum a_i s_i}_{\text{Fläche}} + \underbrace{\sum A_j}_{\text{Personen etc.}} + \underbrace{A_L}_{\text{Luftabsorption}}$$

Nachhallzeit  $T$ :

Zeit nach der der Schallpegel um 60 dB abgesunken ist

nach Sabine:

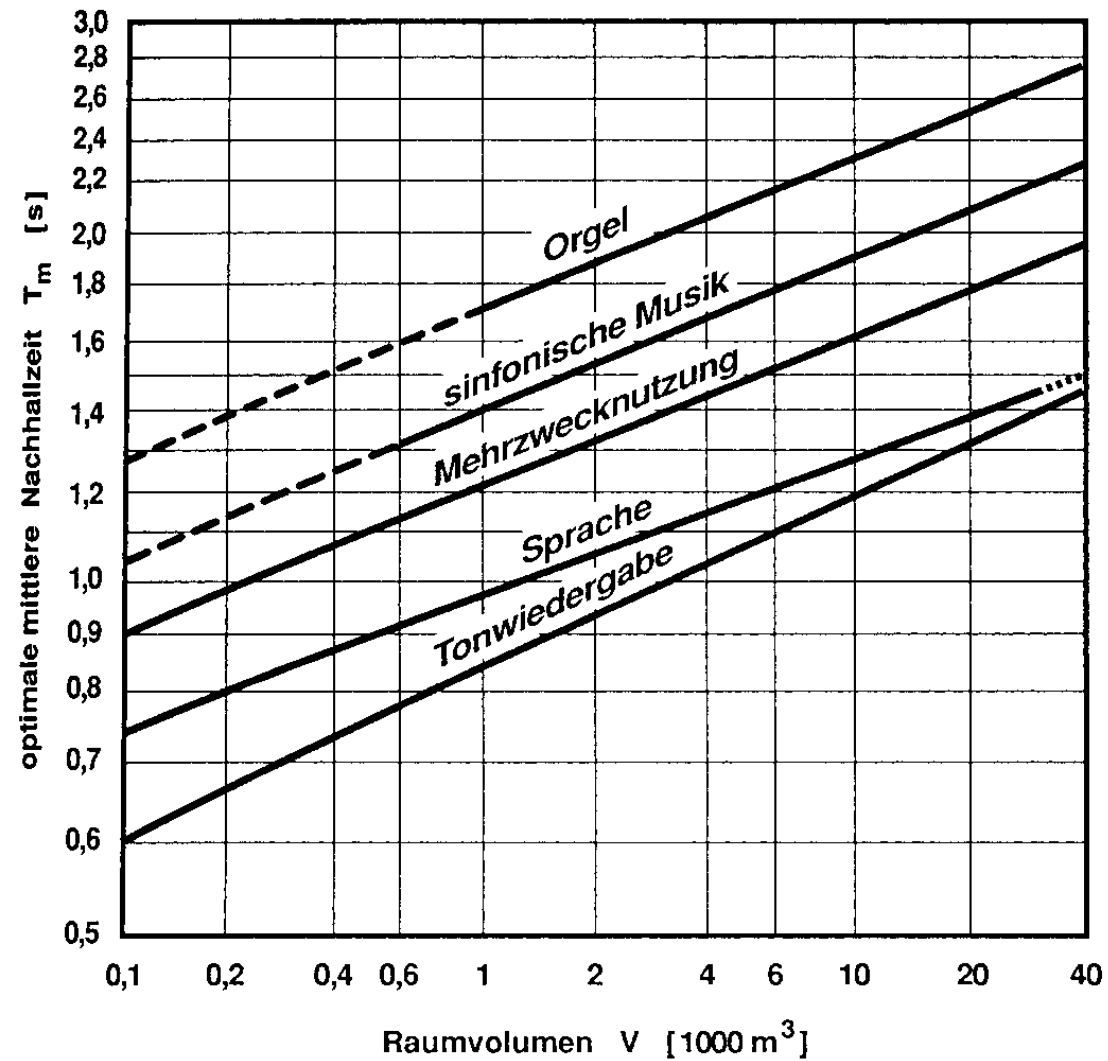
$$T \approx 0,163 V / A \quad [\text{s}]$$

$V$  = Raumvolumen

$A$  = äquivalente Schallabsorptionsfläche

# Nachhallzeiten

## Optimale Nachhallzeiten



# Schalldämmung und Schalldämpfung

---

Dämpfung: Betrachtung auf den Raum in dem sich die Schallquelle befindet ( Raumakustik )

Dämmung: Betrachtung der durch ein Trennteil durchgelassenen Schall-Leistung ( Bauakustik )

**Schalldämm-Maß R [ dB ]**

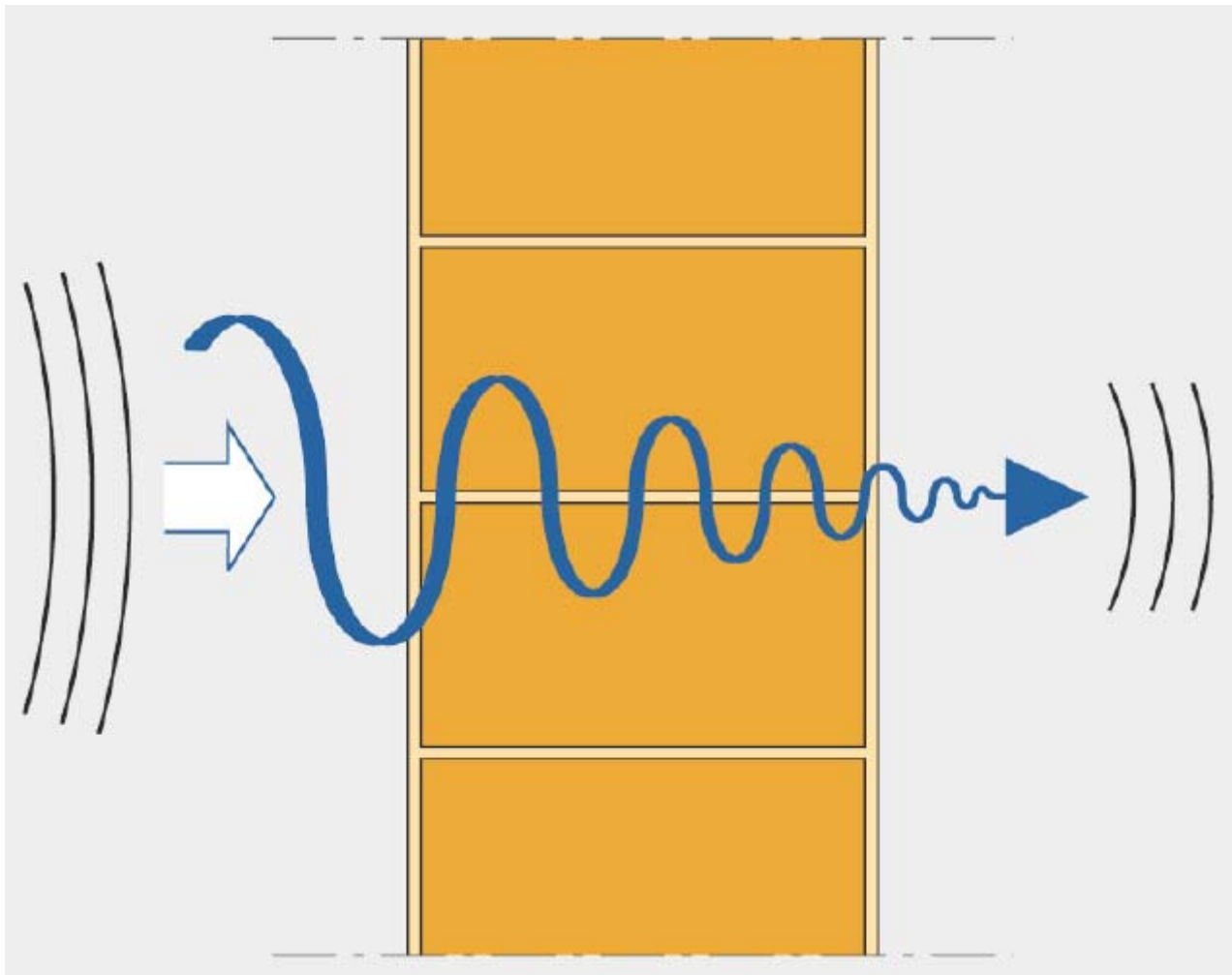
**= Widerstand eines Bauteils gegen den auf demselben auftreffenden Luftschall**

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad \tau = \text{Transmissionsgrad}$$

# Schalldämmung

---

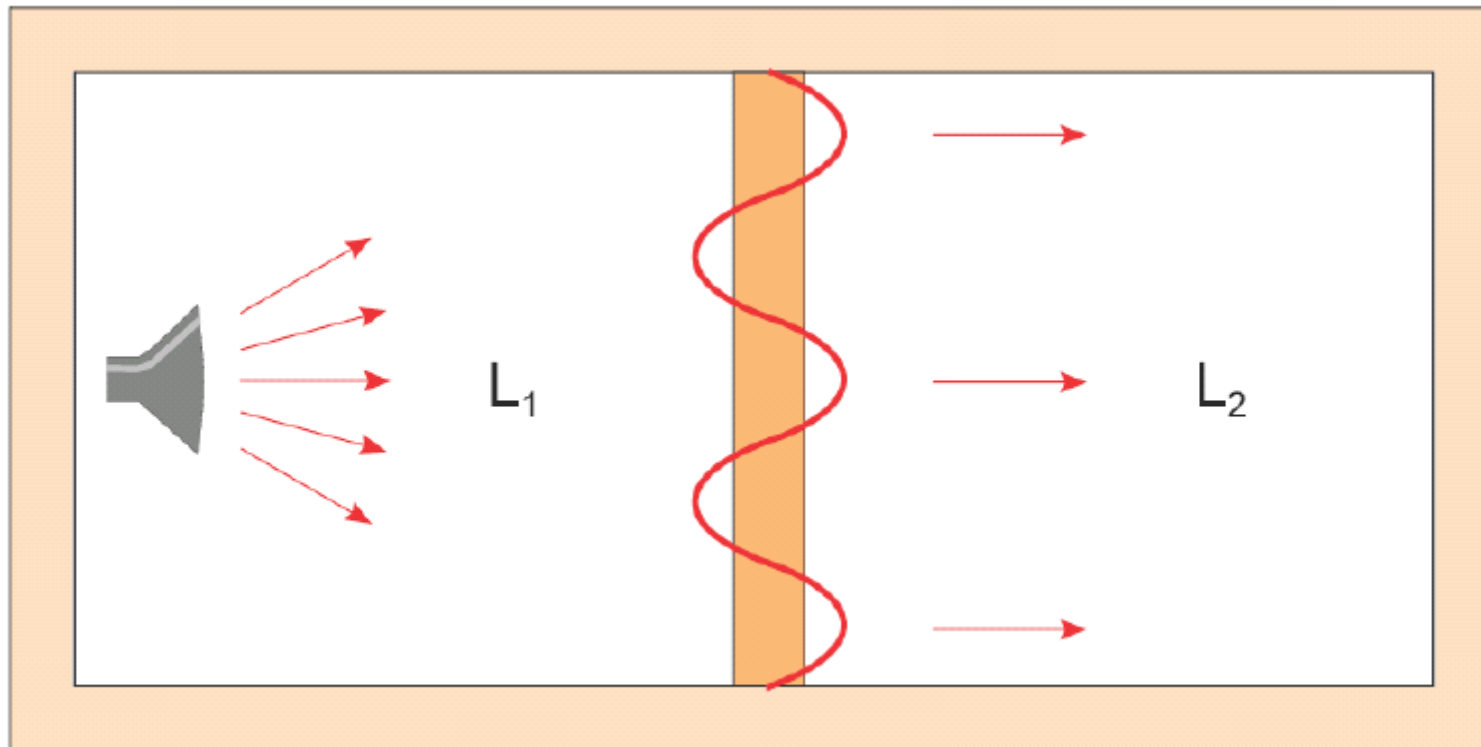
Luftschalldämmung –  
Wieviel Schall gelangt in den Nebenraum?



# Schalldämmung

---

## Luftschalldämmung



# Schallübertragung

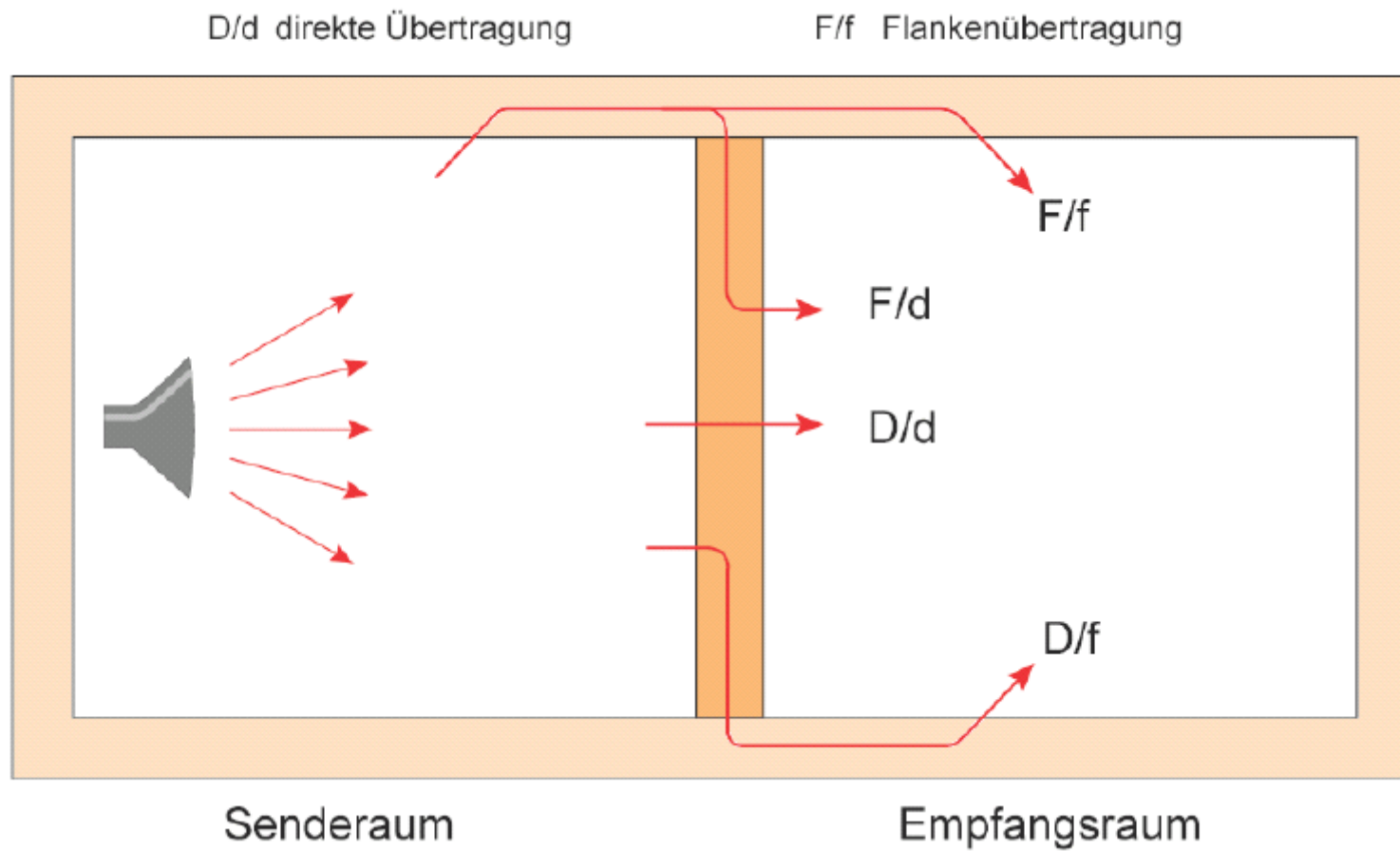
---

## Flankenübertragung



# Schalldämmung

## Schallübertragung zwischen zwei Räumen



# Bewertung der Schalldämmung

---

## Begriffe und Formelzeichen

|                       |                                                                                                |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{dB}$           | Maß der Schalldämmung                                                                          |
| $R_W$                 | bewertetes Schalldämm-Maß in dB ohne Flankenübertragung                                        |
| $R'_W$                | bewertetes Schalldämm-Maß in dB mit Flankenübertragung                                         |
| $R'_{W, \text{res.}}$ | das aus mehreren Schalldämm-Maßen der Teilflächen resultierende bewertete Schalldämm-Maß in dB |
| $L'_{n, W}$           | bewerteter Norm-Trittschallpegel in dB                                                         |

# Bewertung der Schalldämmung

---

## Schallpegeldifferenz und Norm-Schallpegeldifferenz

Schallpegeldifferenz

$$D = L_1 - L_2$$

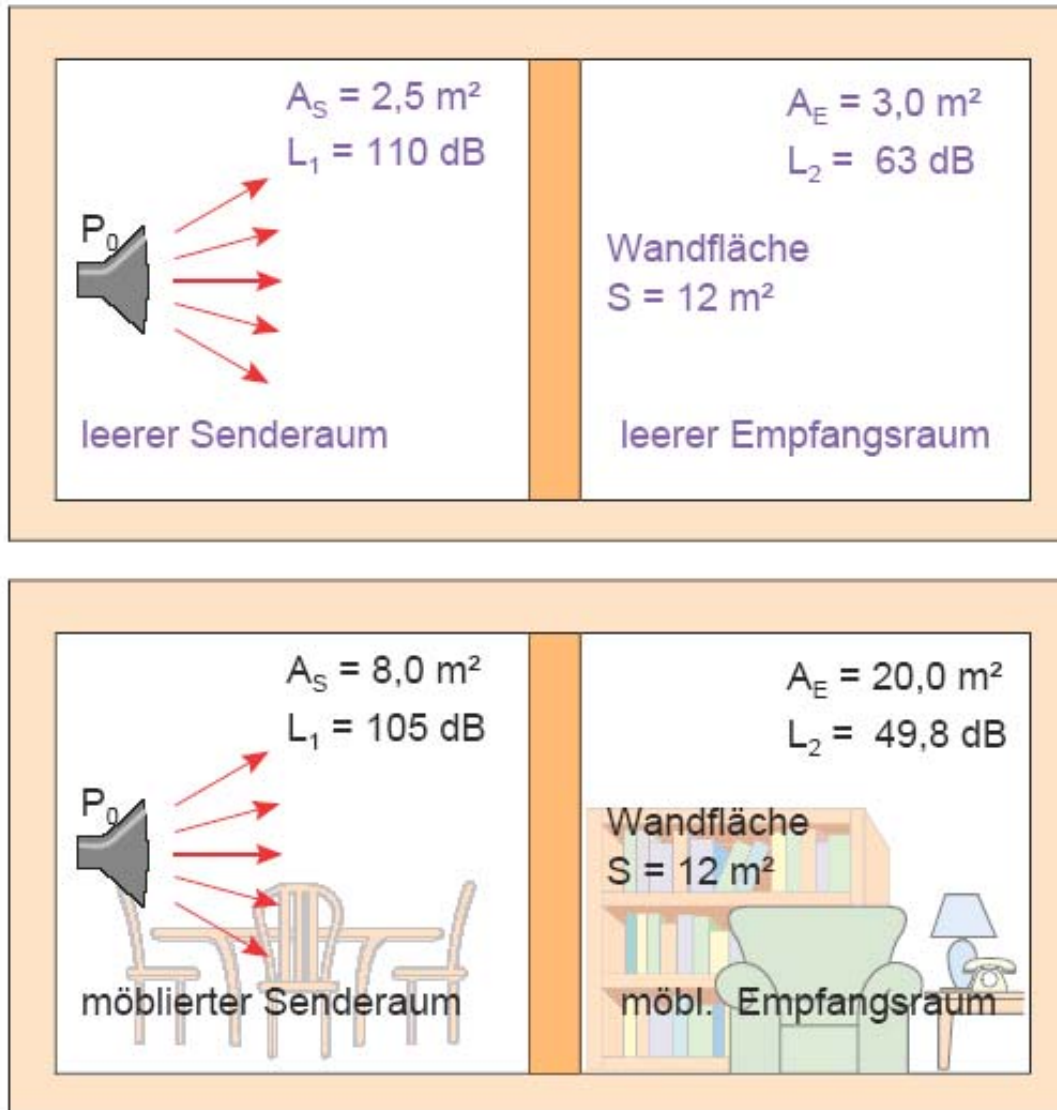
Diese Differenz hängt auch von Begrenzungsflächen und Gegenständen im Empfangsraum ab

Norm-Schallpegeldifferenz

$$D_n = D - 10 \cdot \lg (A/A_0)$$

Hierzu wird die äquivalente Absorptionsfläche  $A$  nach DIN 4109 A.10.4 ermittelt und auf die Bezugsabsorptionsfläche  $A_0$  (i. a.  $10 \text{ m}^2$ ) bezogen.

# Bewertung der Schalldämmung



**D**

Unterschiede zwischen  
Schallpegeldifferenz D  
und Norm-Schallpegel-  
differenz  $D_n$

**$D_n$**

# Bewertung der Schalldämmung

---

## Schalldämm-Maß R

Schalldämm-Maß R

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

bzw.

$$R = D + 10 \cdot \lg (S/A) \quad \text{dB}$$

D = Schallpegeldifferenz

A = äquivalente Absorptionsfläche  
des Empfangsraums

S = Prüffläche des Bauteils

# Bewertung der Schalldämmung

---

## Labor- und Bau-Schalldämm-Maß R

- ♪ **Labor-Schalldämm-Maß R**  
bei Schallübertragung ausschließlich durch das zu prüfende Bauteil
- ♪ **Bau-Schalldämm-Maß R'**  
bei zusätzlicher Schallübertragung über Flanken oder andere Nebenwege

*Die Messungen erfolgen über das bauübliche Frequenzspektrum von 100 Hz bis 3200 Hz im Terzabstand*

# Normen und Richtlinien

---

## DIN 4109-1 Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise

Ausführungsbeispiele für schallschutztechnisch ausreichende Bauteile sowie Hinweise für Planung und Ausführung enthalten Beiblatt 1 und Beiblatt 2 zu DIN 4109.

**DK 699.844**

**November 1989**

|  |                                                                            |                              |
|--|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | <b>Schallschutz im Hochbau</b><br>Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren | Beiblatt 1<br>zu<br>DIN 4109 |
|--|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|

**DK 699.844**

**November 1989**

|  |                                                                                                                                                                                               |                              |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | <b>Schallschutz im Hochbau</b><br>Hinweise für Planung und Ausführung<br>Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz<br>Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich | Beiblatt 2<br>zu<br>DIN 4109 |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|

# Normen und Richtlinien

---

## DIN 4109: Anforderungen

Schallschutz im Wohnungsbau (Geschosshäuser mit Wohnungen und Arbeitsräumen sowie Einfamiliendoppel- und -reihenhäuser)

| Bauteil                   | Anforderung nach DIN 4109 |                 |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|
|                           | erf. $R'_w$               | erf. $L'_{n,w}$ |
| Wohnungstrennwand         | $\geq 53$                 | -               |
| Treppenraum, Flurwand     | $\geq 52$                 | -               |
| Wohnungstrenndecke        | $\geq 54$                 | $\leq 53$       |
| Treppenläufe und -podeste | -                         | $\leq 58$       |
| Haustrennwand             | $\geq 57$                 | -               |
| Außenwände                | je nach Lärmbelastung     |                 |

# Normen und Richtlinien

---

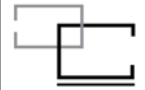
## DIN 4109: Geltungsbereich

### A) Die Norm gilt zum Schutz von Aufenthaltsräumen:

- gegen Geräusche aus fremden Räumen, Z. B. Sprache, Musik, Gehen usw;
- gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen und aus Betreiben im selben Gebäude oder in baulich damit verbundenen Gebäuden;
- gegen Außenlärm  
Verkehrslärm, Lärm aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die baulich mit den Aufenthaltsräumen im Regelfall nicht verbunden sind.

### B) Die Norm gilt nicht zum Schutz von Aufenthaltsräumen:

- gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen im eigenen Wohnbereich;
- in denen infolge ihrer Nutzung ständig oder nahezu ständig stärkere Geräusche des Schallpegels  $L_{AF} = 40 \text{ dB(A)}$  vorhanden sind.
- gegen Fluglärm, soweit er im "Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm" geregelt ist.



## VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen

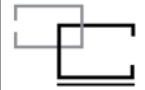
Es werden zwei Fälle unterschieden:

### **Öffentlich-rechtliche Anforderungen**

Schutz vor unzumutbaren Belästigungen und Gesundheitsgefahren, geregelt durch Bauordnungen der Länder, gemäß DIN 4109

### **Zivilrechtliche Ansprüche**

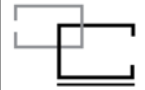
"Ansprüche, die Benutzer von Aufenthaltsräumen zum eigenen Schutz gegenüber von Geräuschen der Nachbarschaft und zur Wahrung der Vertraulichkeit vom eigenen Bereich gegenüber benachbarten Räumen stellen. Hierfür stellt VDI 4100 allgemeine Kriterien für die Planung und Beurteilung auf.



VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen

## Schallschutzstufen

| <b>Qualitätsbegriff für bauliche Bewertung</b> | <b>Schallschutzstufe</b> |
|------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>einfacher Standard</b>                      | <b>SSt I</b>             |
| <b>üblicher Standard</b>                       | <b>SSt II</b>            |
| <b>gehobener Standard</b>                      | <b>SSt III</b>           |
| <b>luxuriöser Standard</b>                     | <b>nicht festgelegt</b>  |



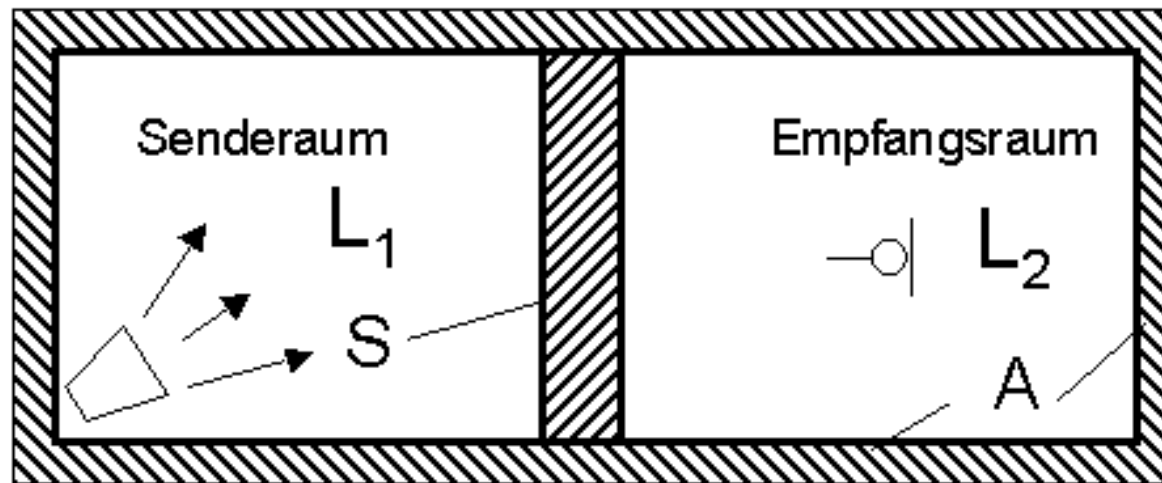
## VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen

Wahrnehmung üblicher Geräusche aus Nachbarwohnungen und Zuordnung zu drei Schallschutzstufen. Abendlicher Grundgeräuschpegel von 20 dB(A) und üblich große Aufenthaltsräume vorausgesetzt

| Art der Geräusch-<br>emission                                     | Schallschutzstufe                                   |                             |                               |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                                                   | SSt I                                               | SSt II                      | SSt III                       |
| Laute Sprache                                                     | verstehbar                                          | im allg. nicht verstehbar   | im allg. nicht verstehbar     |
| Sprache mit angehobener Sprechweise                               | im allg. verstehbar                                 | im allg. nicht verstehbar   | nicht verstehbar              |
| Sprache mit normaler Sprechweise                                  | im allg. nicht verstehbar                           | nicht verstehbar            | nicht hörbar                  |
| Gehgeräusche                                                      | im allg. störend                                    | im allg. nicht mehr störend | nicht störend                 |
| Geräusche aus haustechnischen Anlagen                             | unzumutbare Belästigungen werden im allg. vermieden | gelegentlich störend        | nicht oder nur selten störend |
| Hausmusik, laut eingestellte Rundfunk- und Fernsehgeräte, Parties | deutlich hörbar                                     |                             | im allg. hörbar               |

# Messmethode der Luftschalldämmung

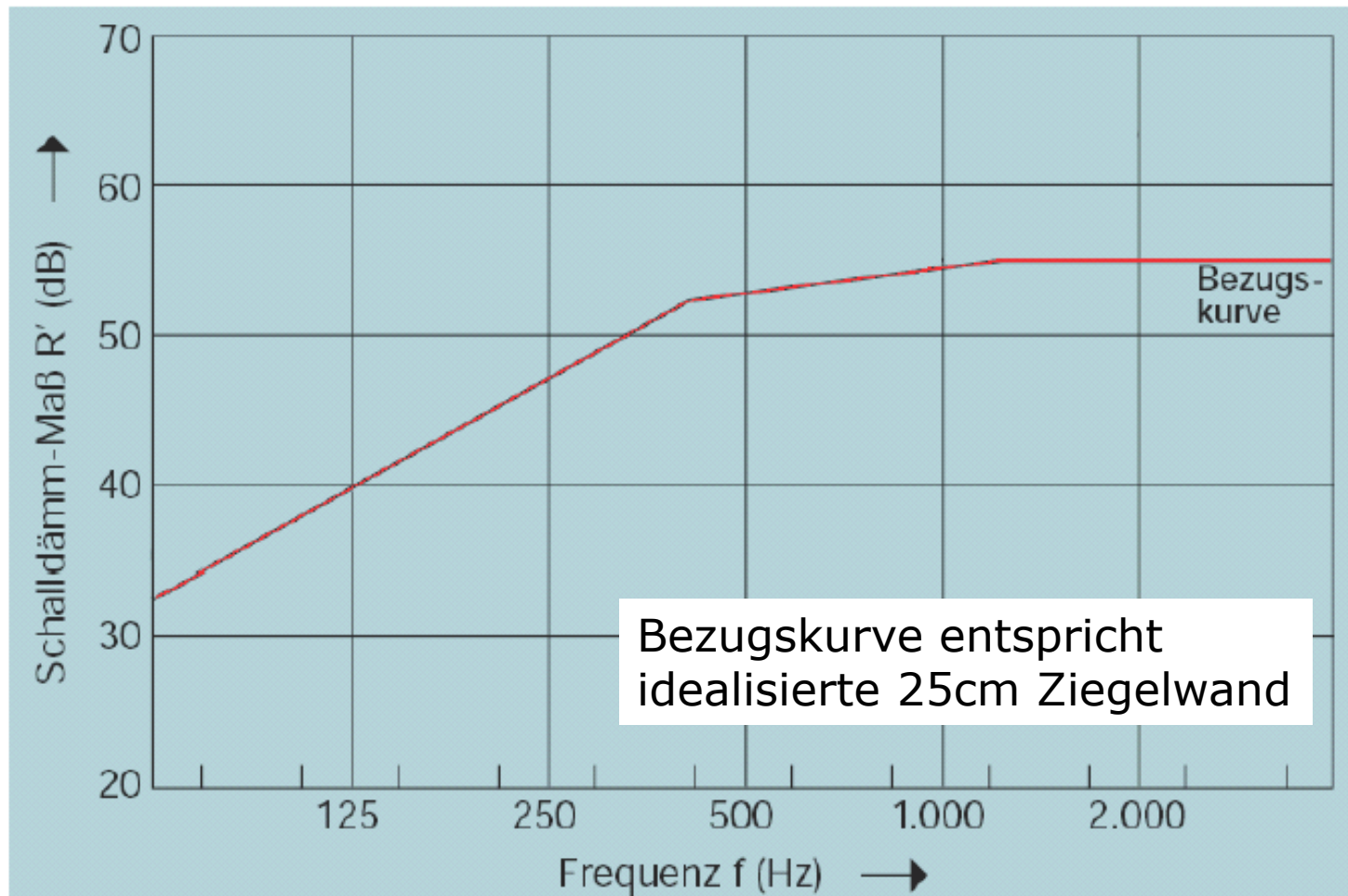
## Messmethode der Luftschalldämmung



$$D = L_1 - L_2 \quad [\text{dB}] \quad \Rightarrow \text{Schalldämm-Maß} \quad R = D + 10 \lg \frac{S}{A_2} \quad [\text{dB}]$$

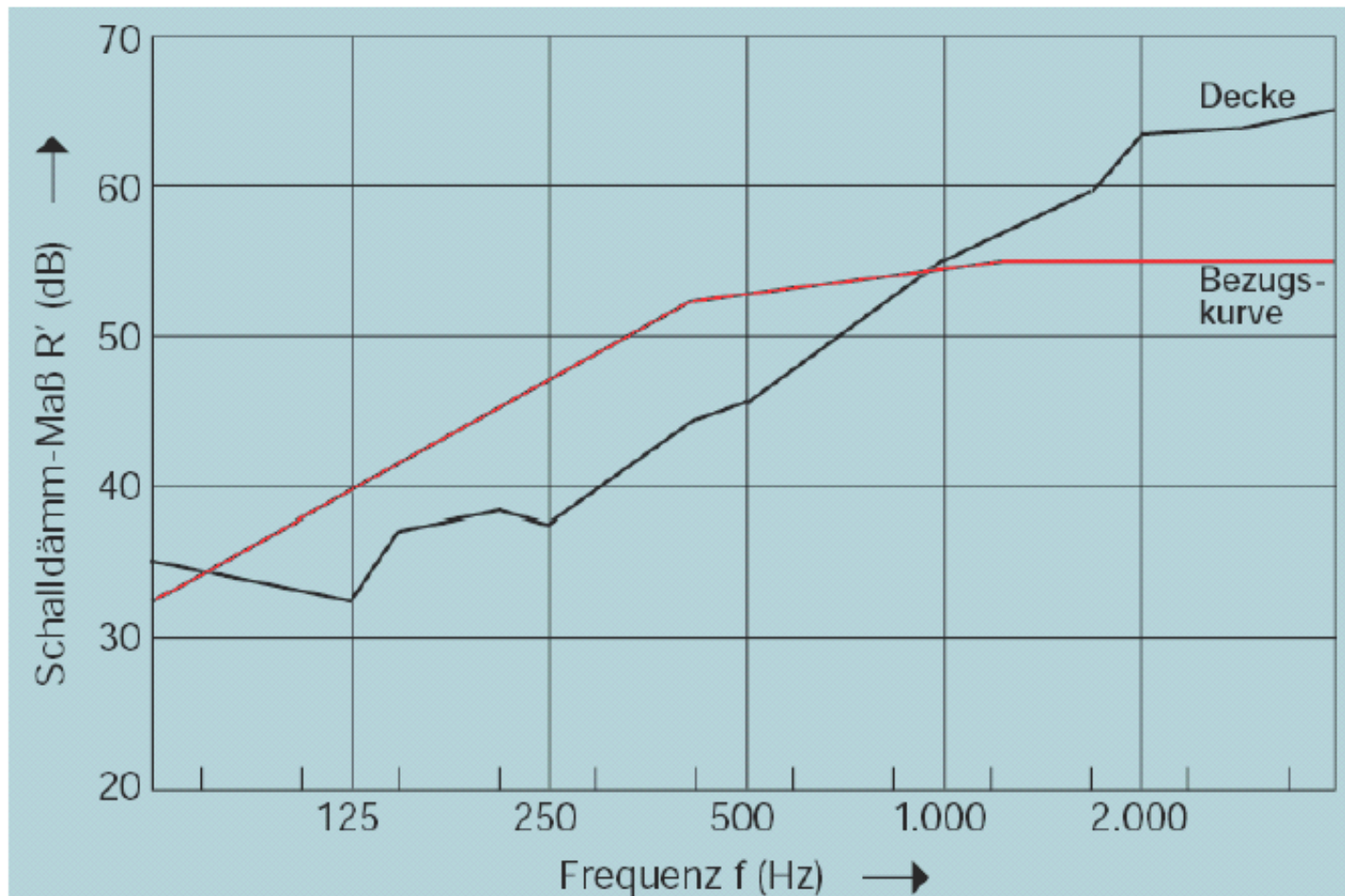
# Messmethode der Luftschalldämmung: Beispiel

Bezugskurve nach Norm zur Ermittlung  
des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$



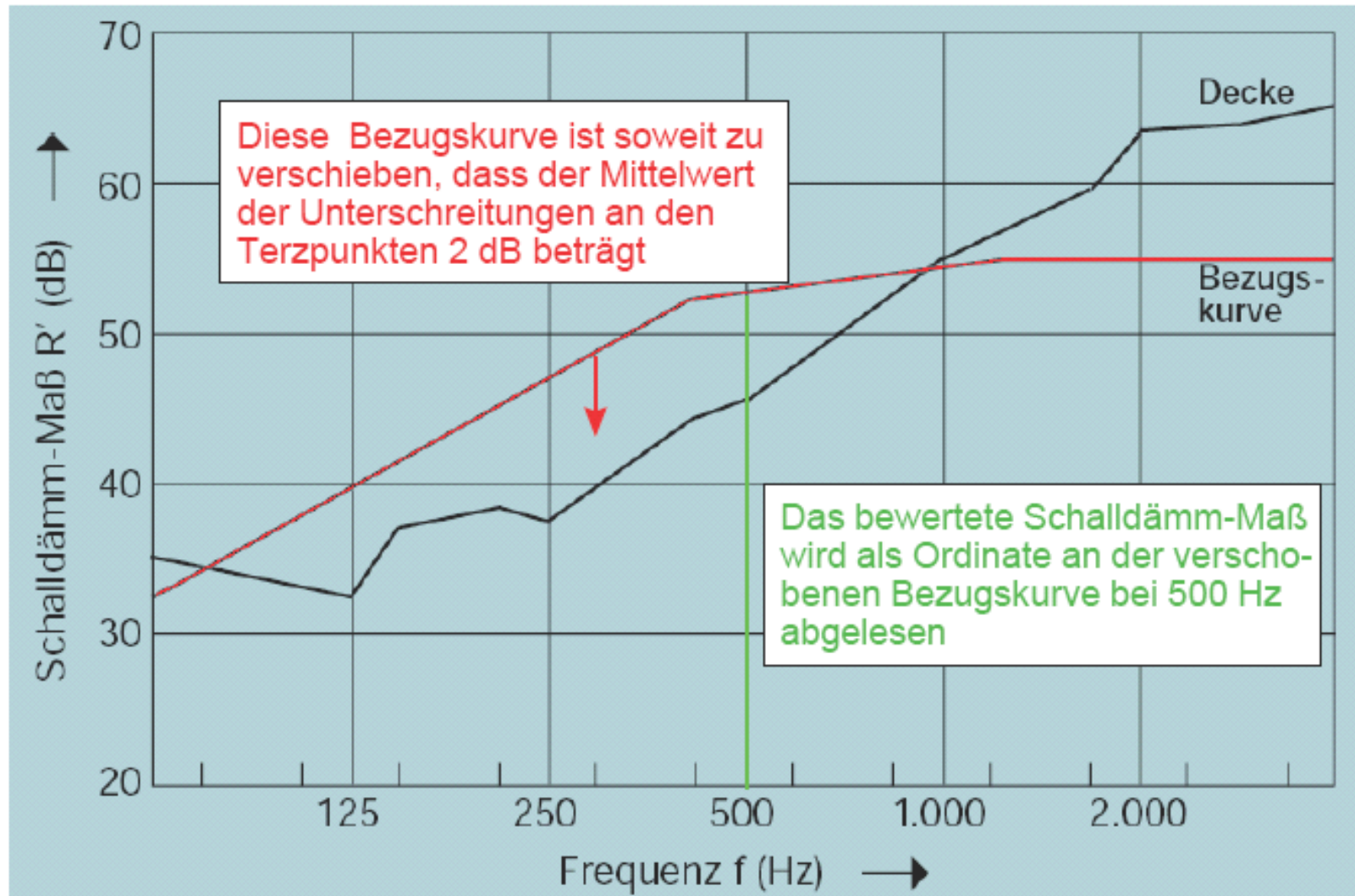
# Messmethode der Luftschalldämmung: Beispiel

Überlagerung von Messergebnis und Bezugskurve nach Norm zur Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$



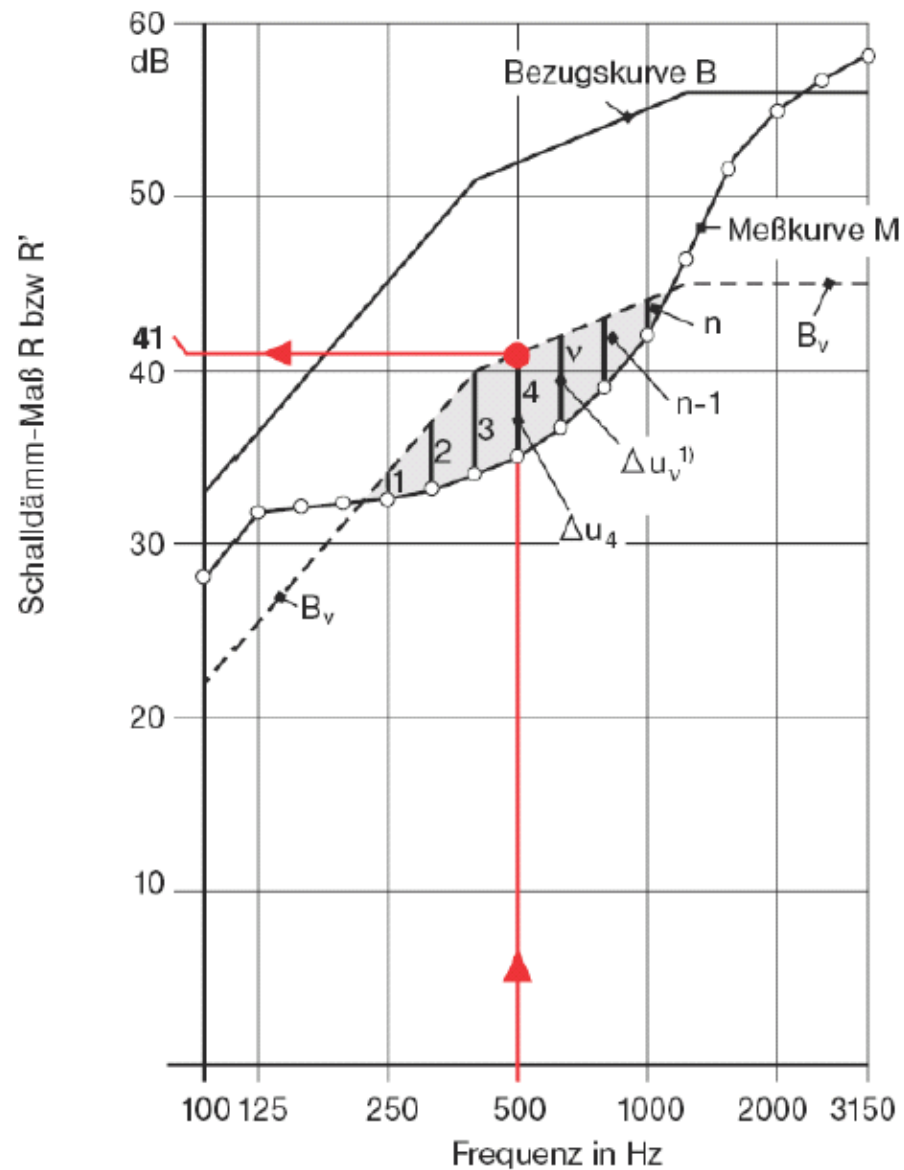
# Bewertung der Schalldämmung

Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$



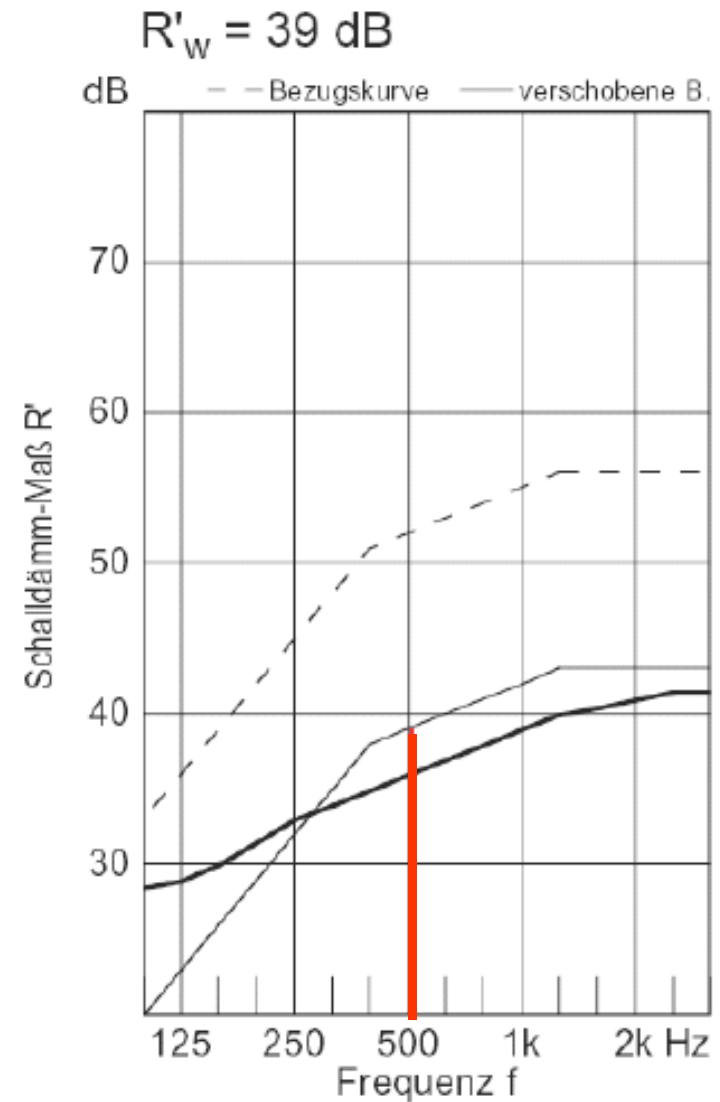
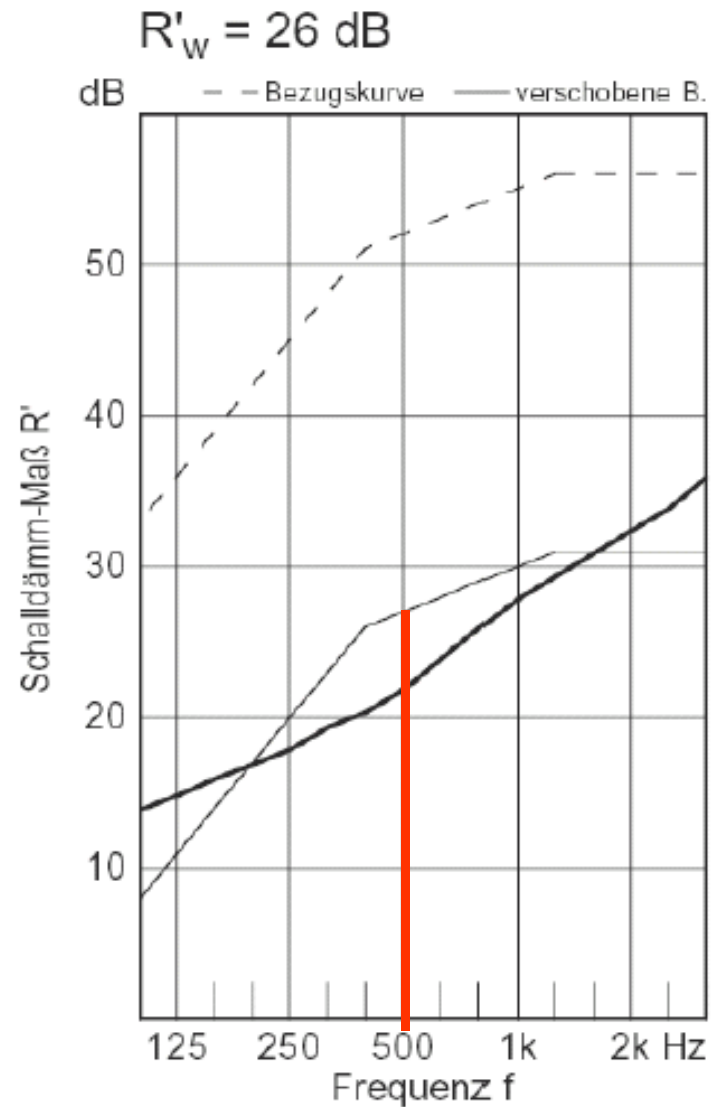
# Bewertung der Schalldämmung

Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$



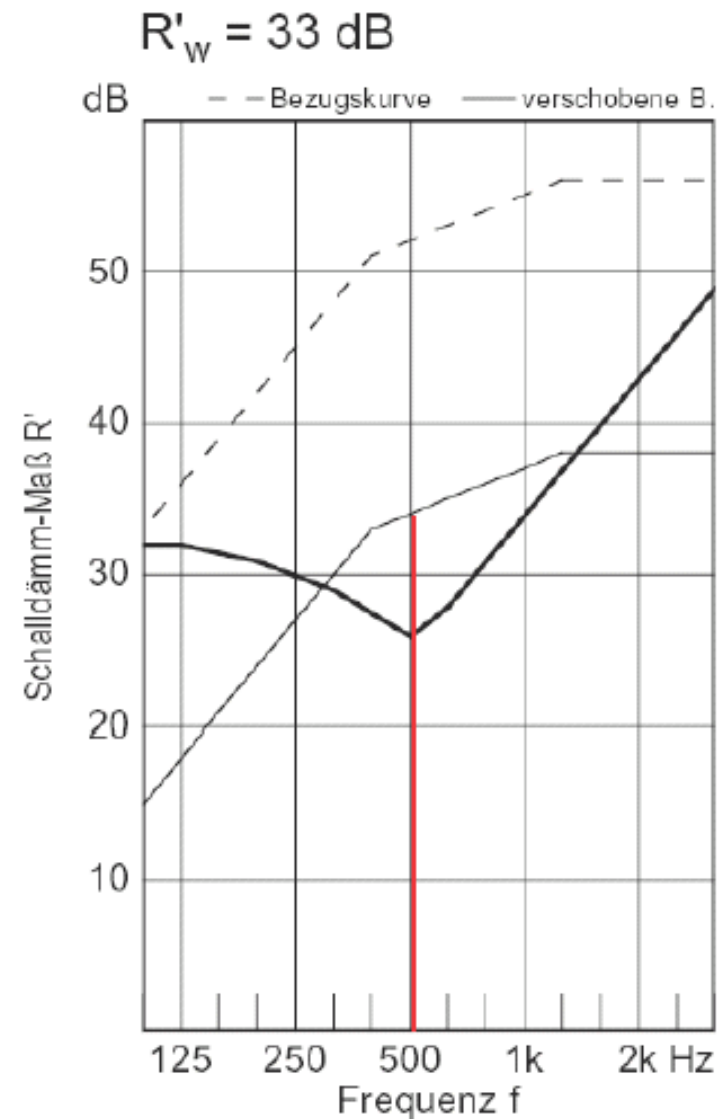
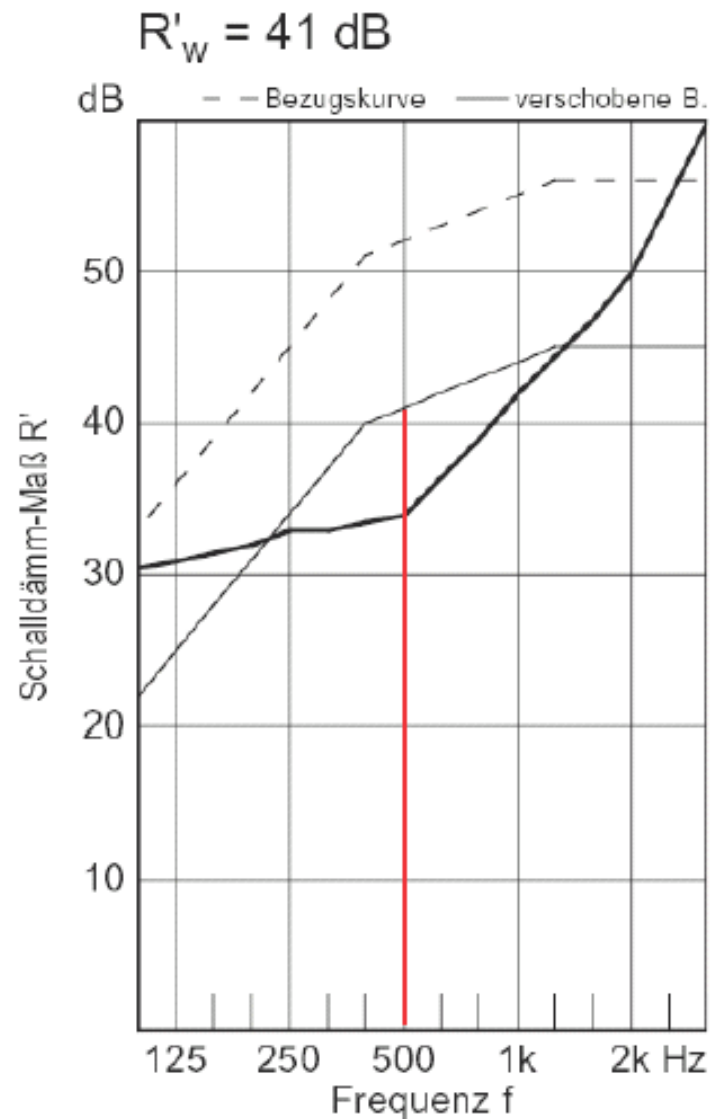
# Bewertung der Schalldämmung

## Auswertebeispiele



# Bewertung der Schalldämmung

## Auswertebeispiele



# Bewertung der Schalldämmung

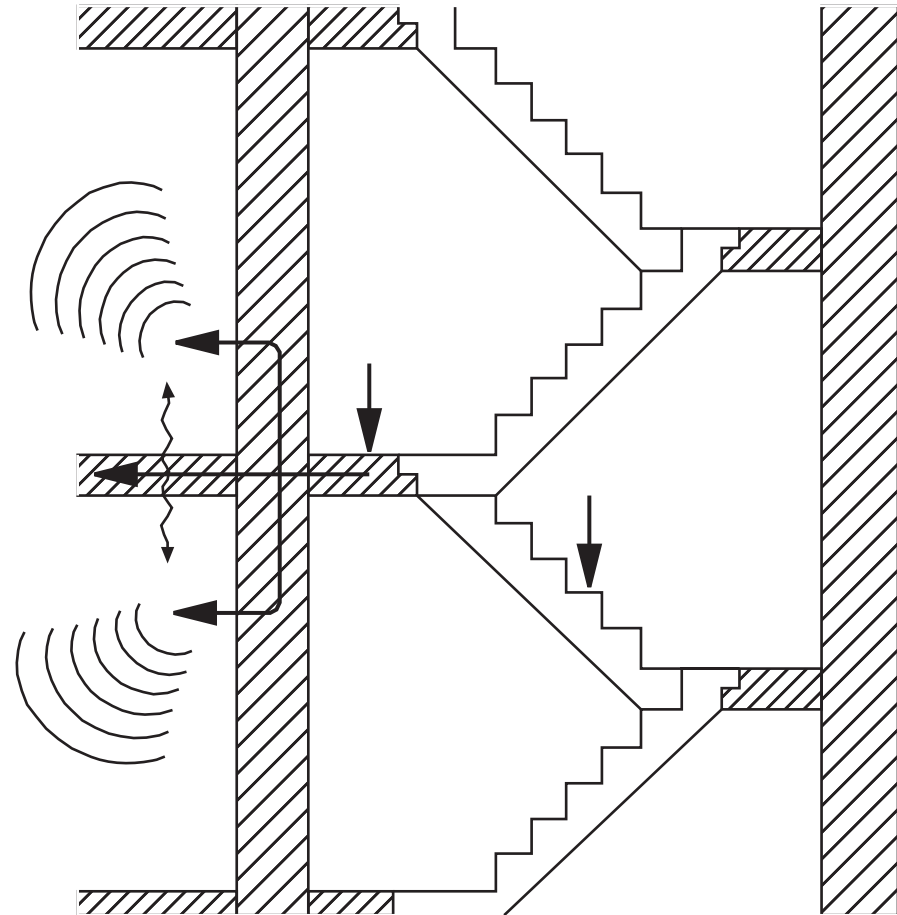
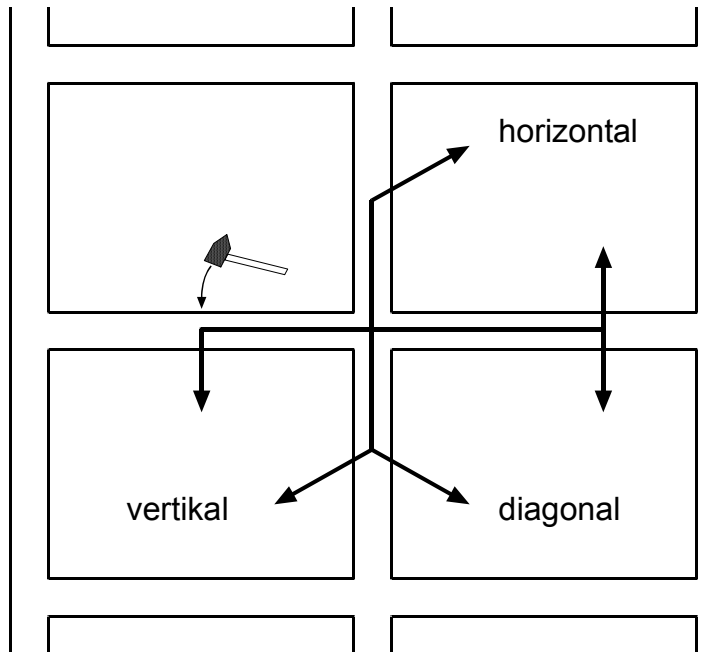
Anforderungen nach DIN 4109

Schallschutz im Wohnungsbau (Geschosshäuser mit Wohnungen und Arbeitsräumen sowie Einfamiliendoppel- und -reihenhäuser)

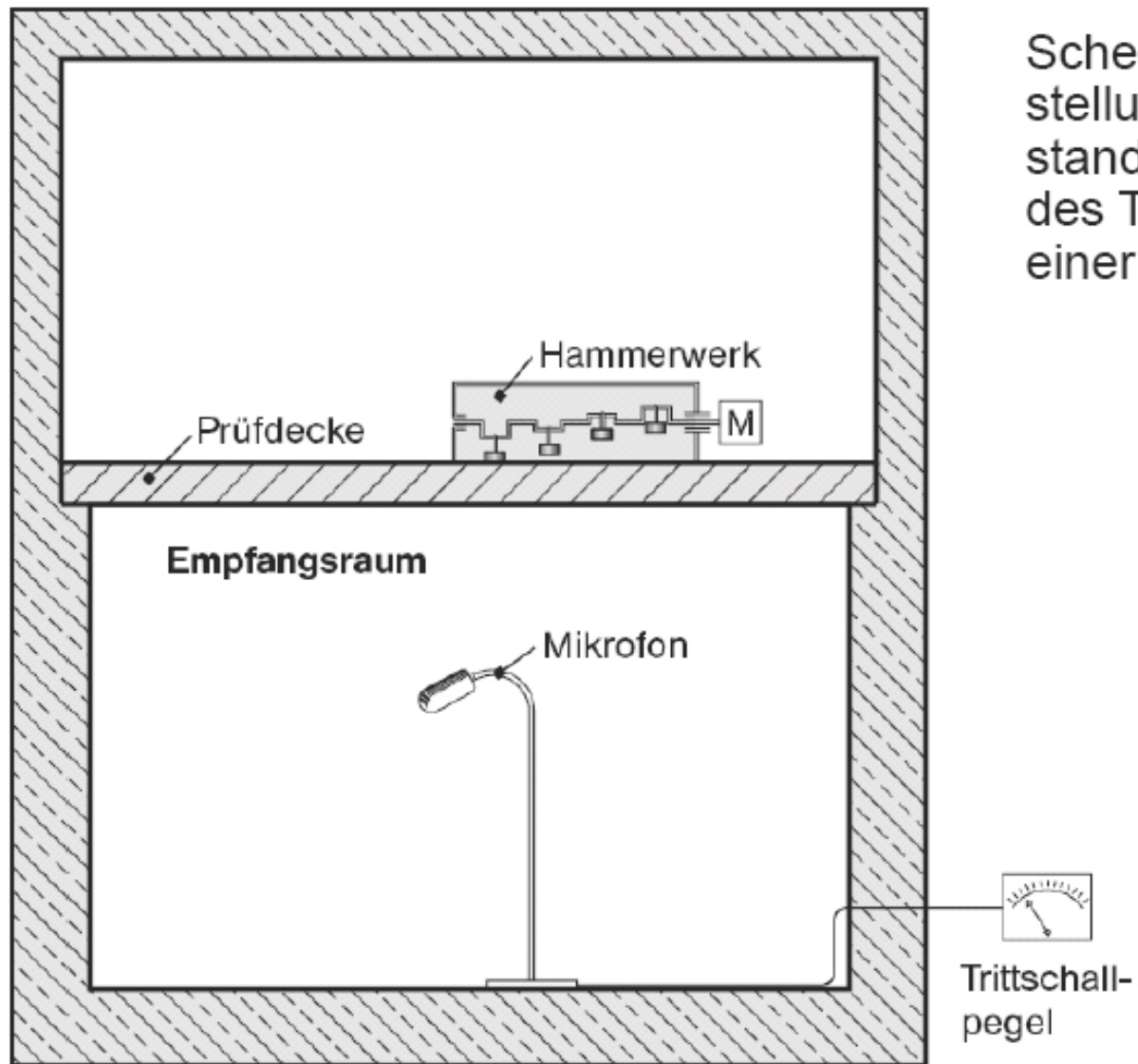
| Bauteil                      | Anforderung nach DIN 4109      |                 | Empfohlen für einen erhöhten Schallschutz nach Bbl. 2 |                 |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
|                              | erf. $R'_w$                    | erf. $L'_{n,w}$ | erf. $R'_w$                                           | erf. $L'_{n,w}$ |
| Wohnungstrennwand            | $\geq 53$                      | -               | $\geq 55$                                             | -               |
| Treppenraum<br>Flurwand      | $\geq 52$                      | -               | $\geq 55$                                             | -               |
| Wohnungstrenndecke           | $\geq 54$                      | $\leq 53$       | $\geq 55$                                             | $\leq 46$       |
| Treppenläufe und<br>-podeste | -                              | $\leq 58$       | -                                                     | $\leq 46$       |
| Haustrennwand                | $\geq 57$                      | -               | $\geq 55$                                             | -               |
| Außenwände                   | abhängig von der Lärmbelastung |                 |                                                       |                 |

# Bewertung der Trittschalldämmung

## Trittschallübertragung



# Bewertung der Trittschalldämmung



# Bewertung der Trittschalldämmung

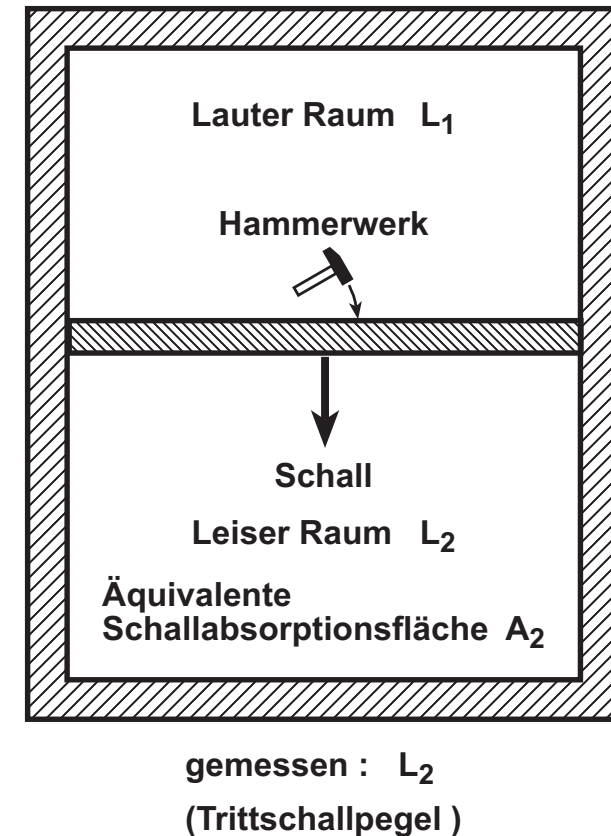
## Messmethode der Trittschalldämmung

$$L_n = L_2 + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad [\text{dB}]$$

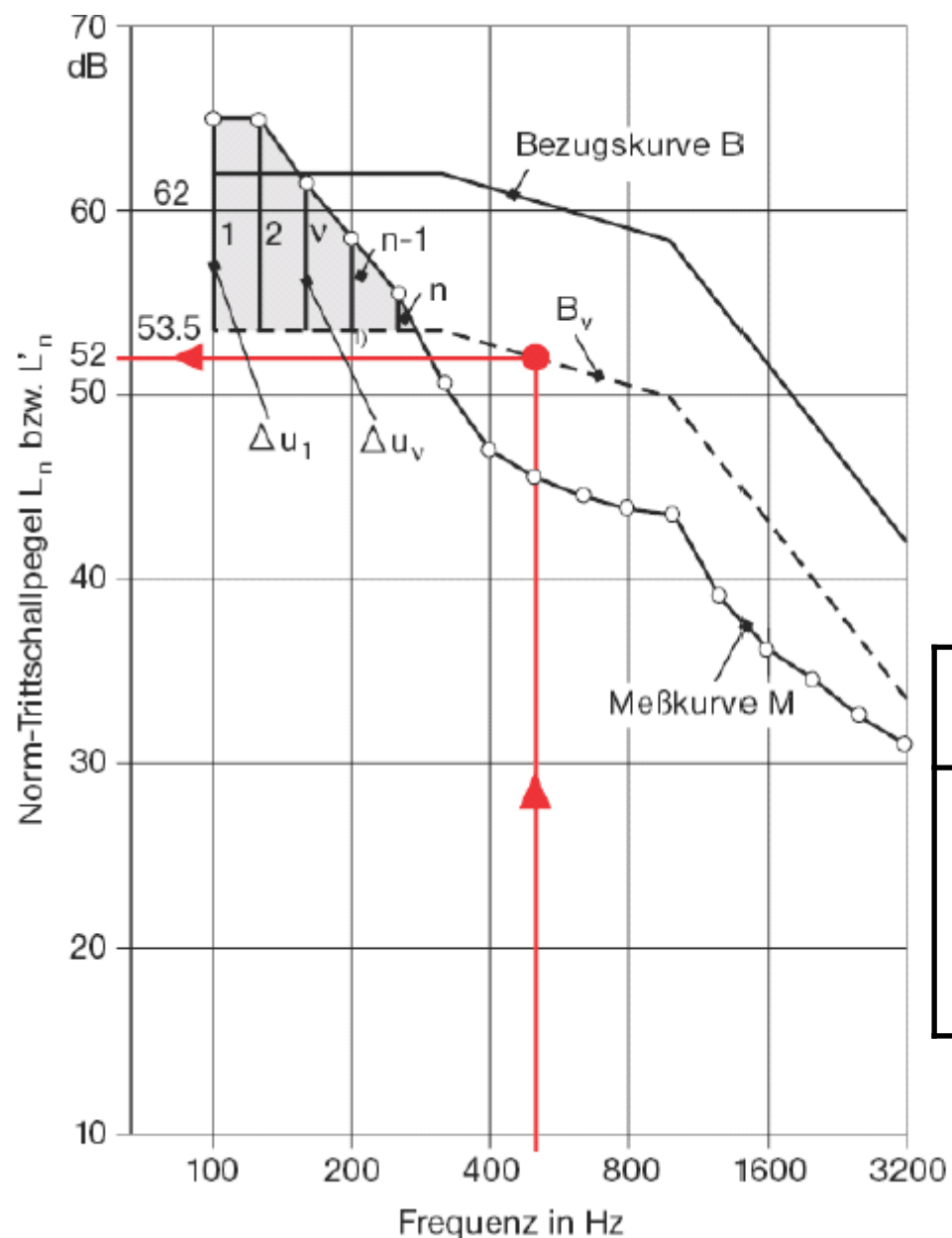
$L_n$ : Norm-Trittschallpegel

= Maß für die zu erwartende Trittschalldämmung

hoher Wert = niedriger Trittschallschutz



# Bewertung der Trittschalldämmung



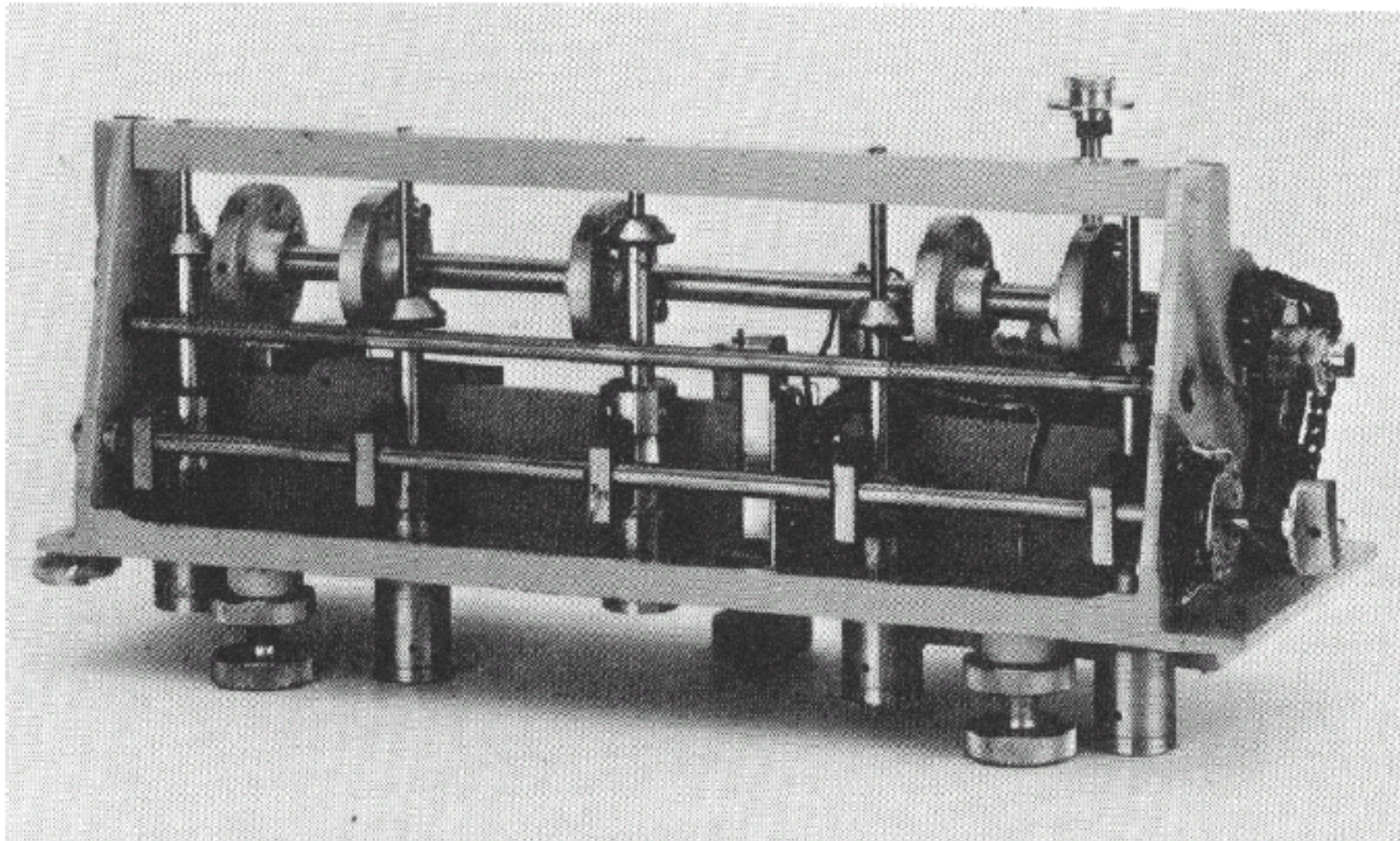
Bestimmung des  
bewerteten Norm-  
Trittschallpegels  
 $L_{n,w}$  bzw.  $L'_{n,w}$

| $L_{n,w}$<br>[dB] | Gehen          | Möbelrücken    |
|-------------------|----------------|----------------|
| 75                | gut hörbar     | gut hörbar     |
| 65                | hörbar         | gut hörbar     |
| 55                | schwach hörbar | hörbar         |
| 45                | unhörbar       | schwach hörbar |

# Bewertung der Trittschalldämmung

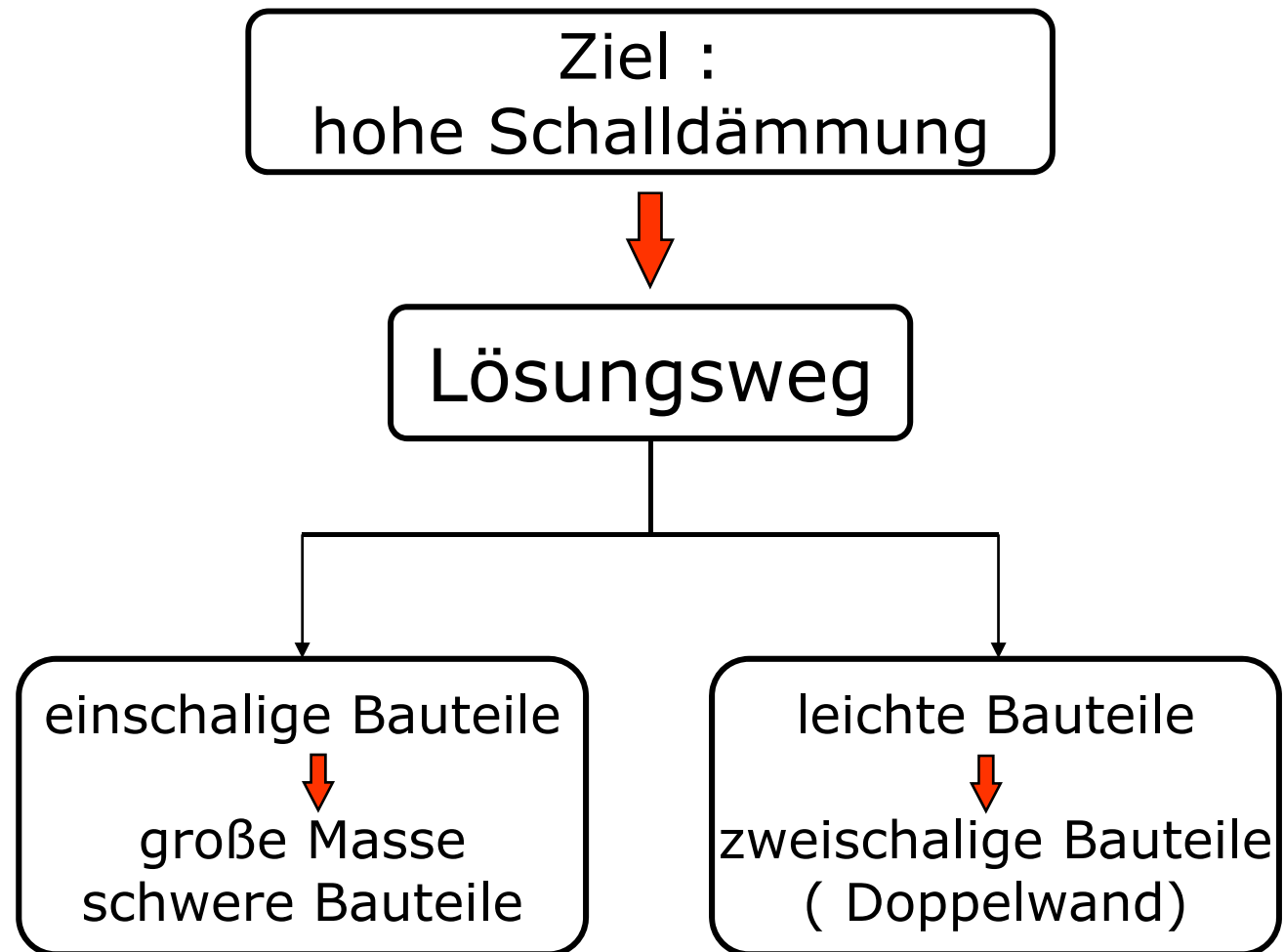
---

## Messgerät



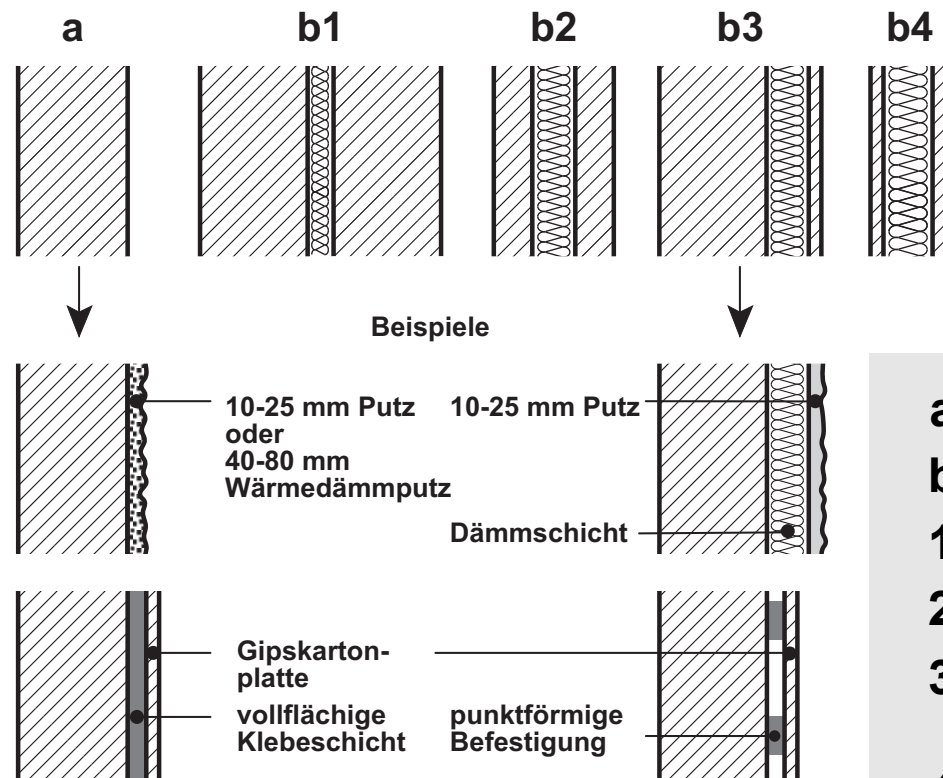
# Luft- und Trittschalldämmung

---



# Luft- und Trittschalldämmung

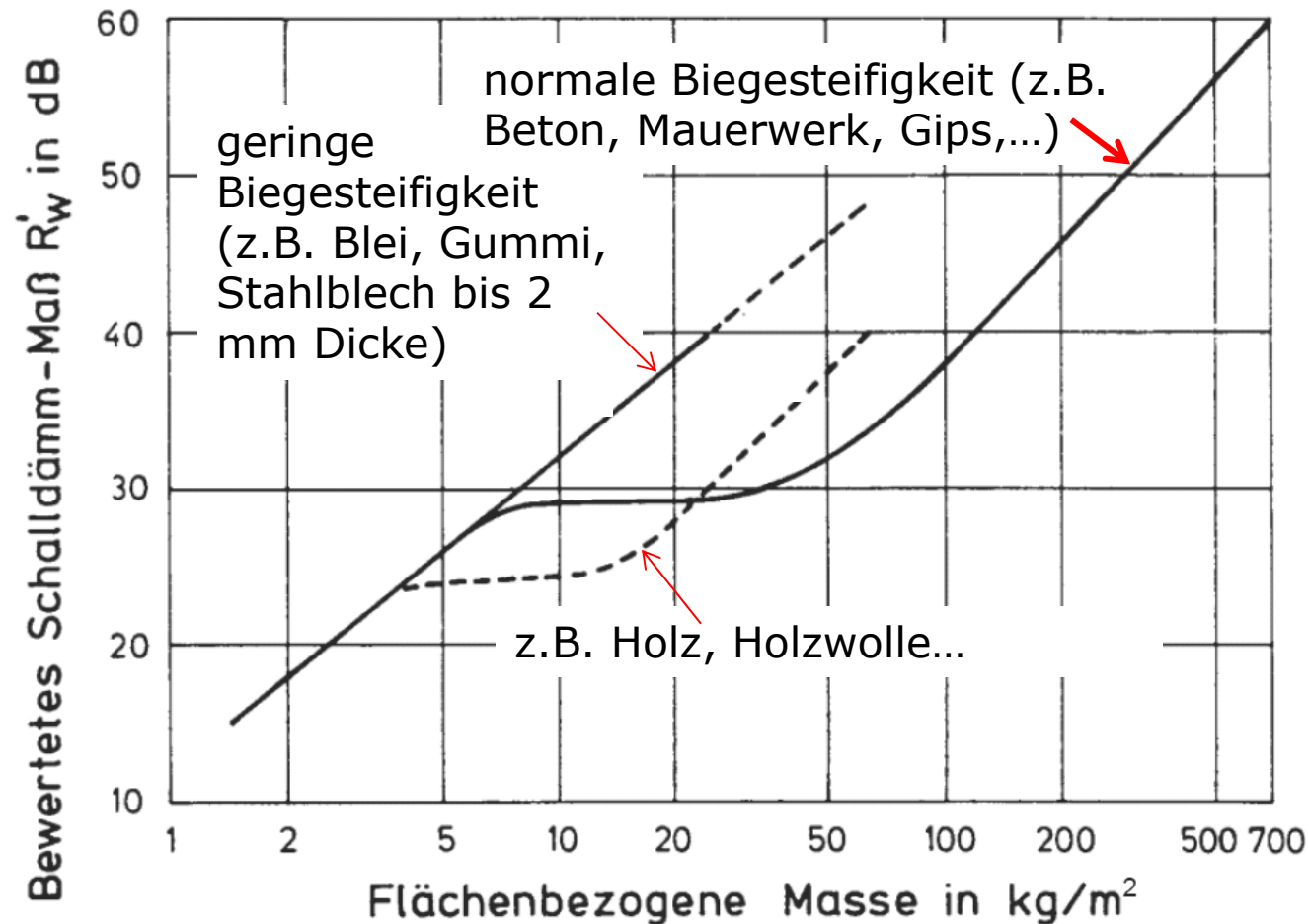
## Akustisch ein- und zweischalige Wandkonstruktionen



- a** einschalige Wände
- b** zweischalige Wände
- 1** schwere biegesteife Schalen
- 2** leichte biegesteife Schalen
- 3** schwere biegesteife Wände mit biegeweichen Vorsatzschalen
- 4** biegeweiche Schalen

# Luft- und Trittschalldämmung

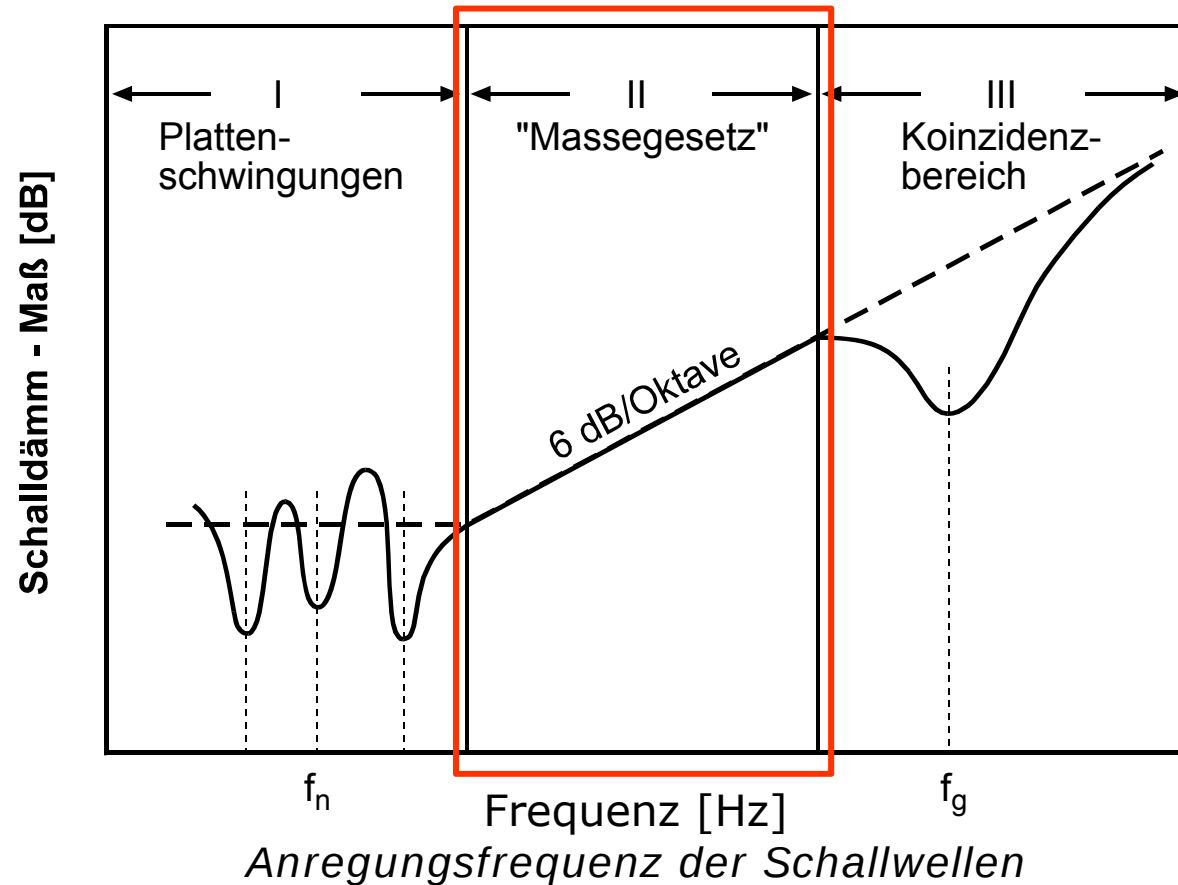
## Einschalige Bauteile



- Die Luftschalldämmung steigt mit der Masse der Bauteile

# Luft- und Trittschalldämmung

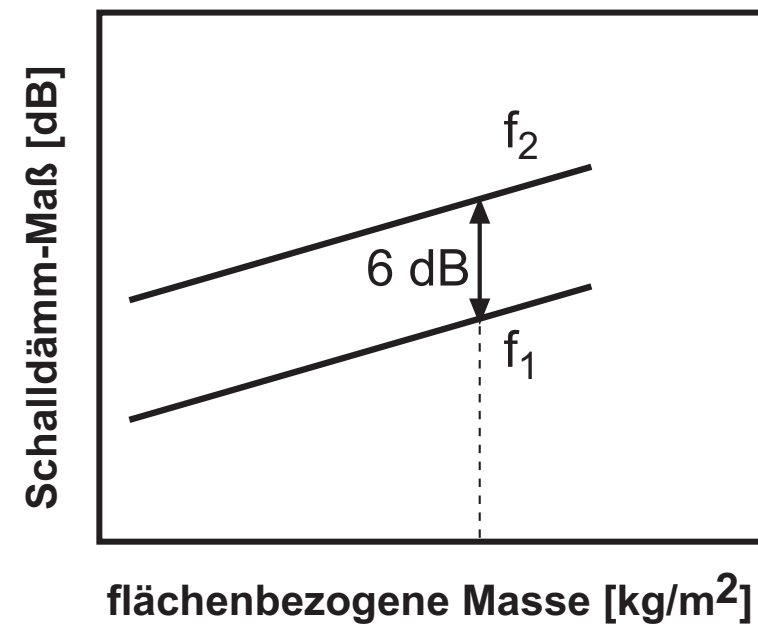
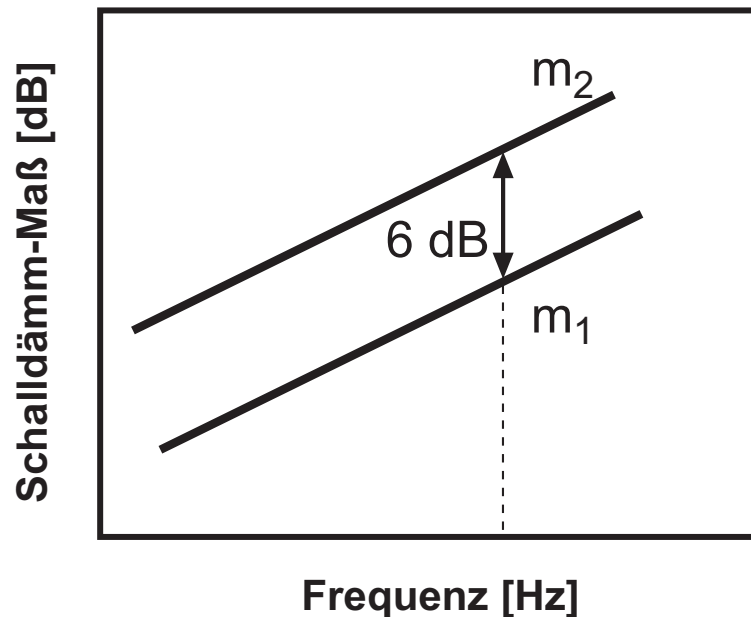
## Einschalige Bauteile



- Zunahme der Luftschalldämmung mit der Frequenz

# Luft- und Trittschalldämmung

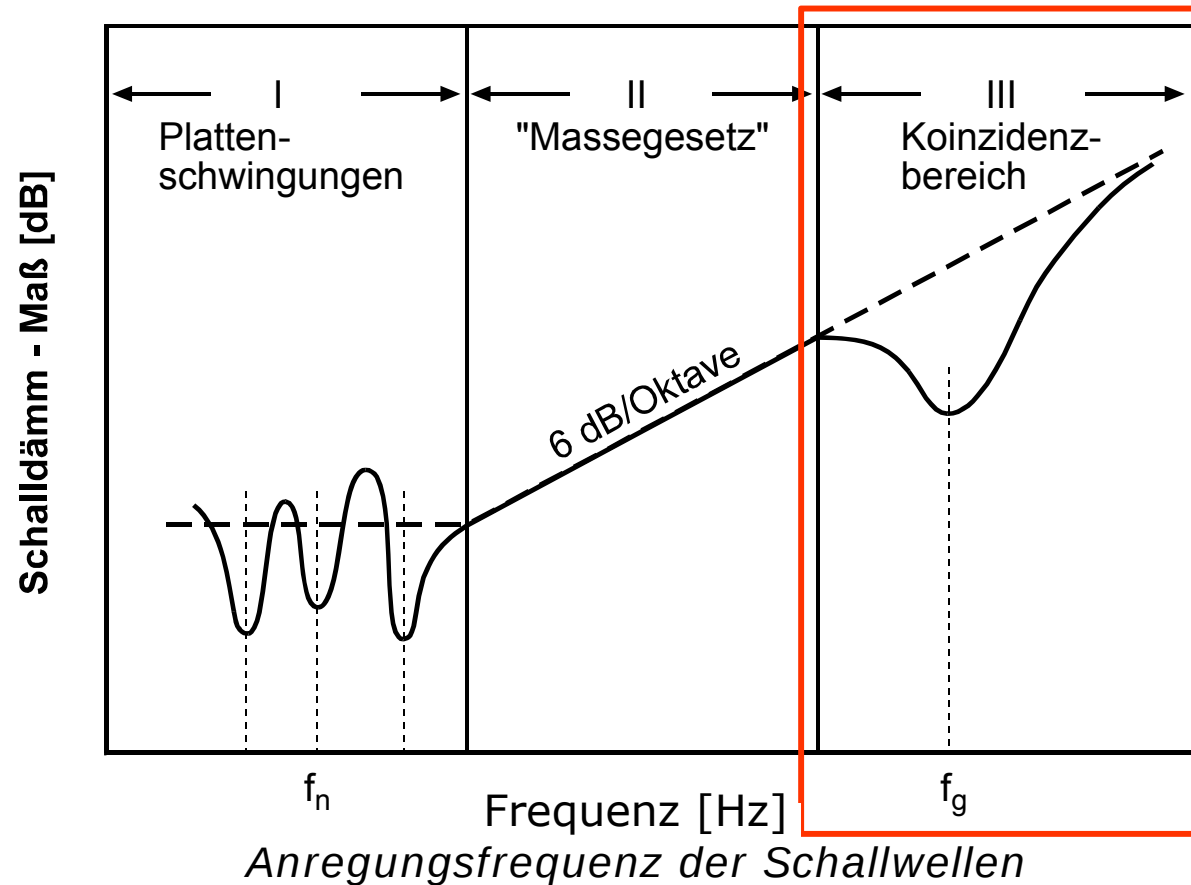
## Einschalige Bauteile



→ Bei einer Verdopplung der Masse oder Erhöhung der Frequenz um eine Oktave erhöht sich das Schalldämmmaß um 6dB

# Luft- und Trittschalldämmung

## Einschalige Bauteile



Einbruch der Schalldämmung von einschaligen Bauteilen im Bereich der Koinzidenzfrequenz (Grenzfrequenz)

# Luft- und Trittschalldämmung

---

Koinzidenzfrequenz  $f_g$  (Grenzfrequenz): die Wellenlänge des Luftschalls entspricht der der Biegewelle des Bauteils

$$f_g = \frac{c_l^2}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{m}{B}}$$

- $c_l$  = Schallgeschwindigkeit in Luft  
 $m$  = Masse des Bauteils  
 $B$  = Biegesteifigkeit des Bauteils

Planung:

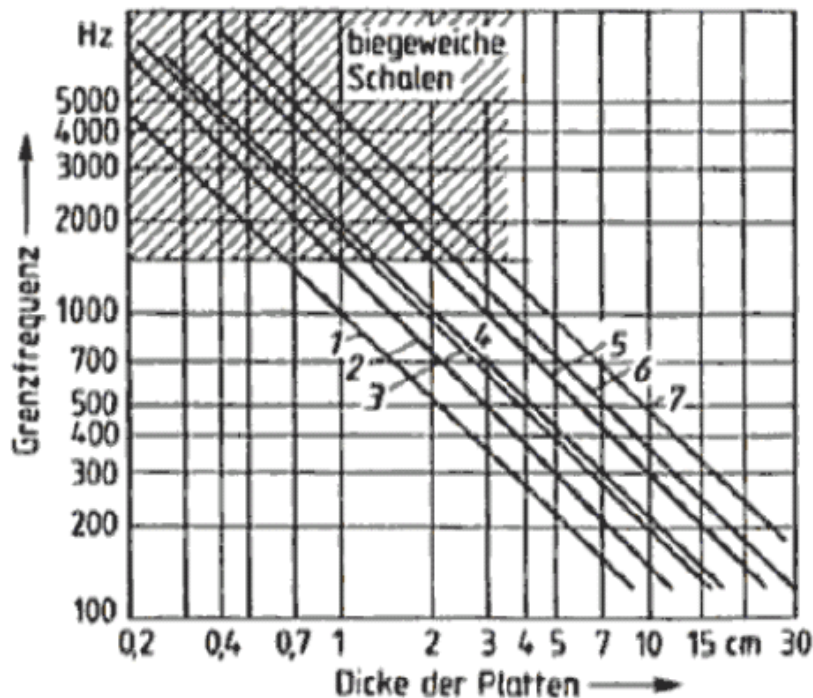
der Koinzidenzeinbruch sollte im nicht hörbaren Bereich liegen

zum Beispiel durch

- Erhöhung/Erniedrigung der Masse
- Erhöhung/Erniedrigung der Biegesteifigkeit:  
bis 100 Hz biegesteifes,  
über 3125 Hz biegeweiches Bauteil

# Luft- und Trittschalldämmung

## Einschalige Bauteile – Einfluss 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

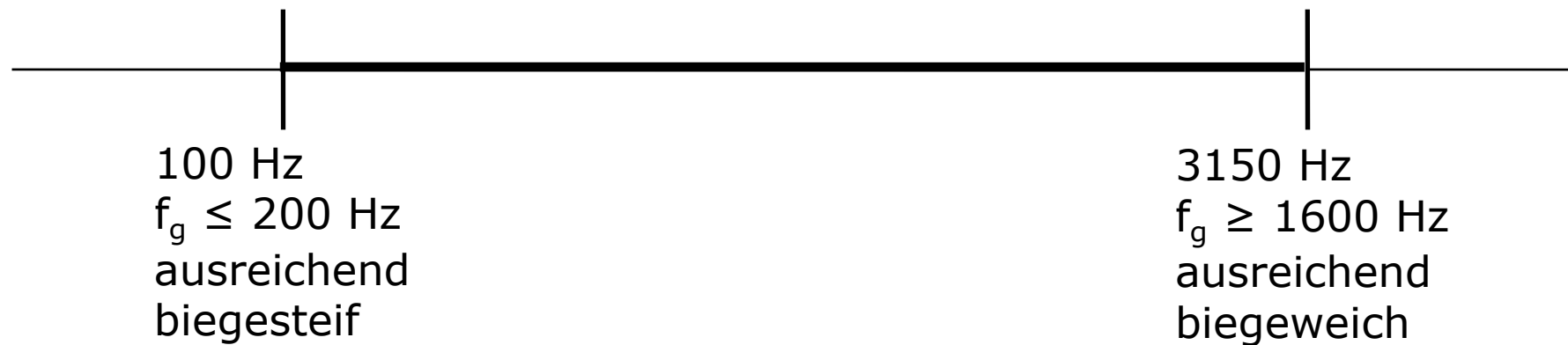
Platten, deren Grenzfrequenz über etwa 1500 Hz liegt, werden als biegeweich bezeichnet.

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

# Luft- und Trittschalldämmung

---

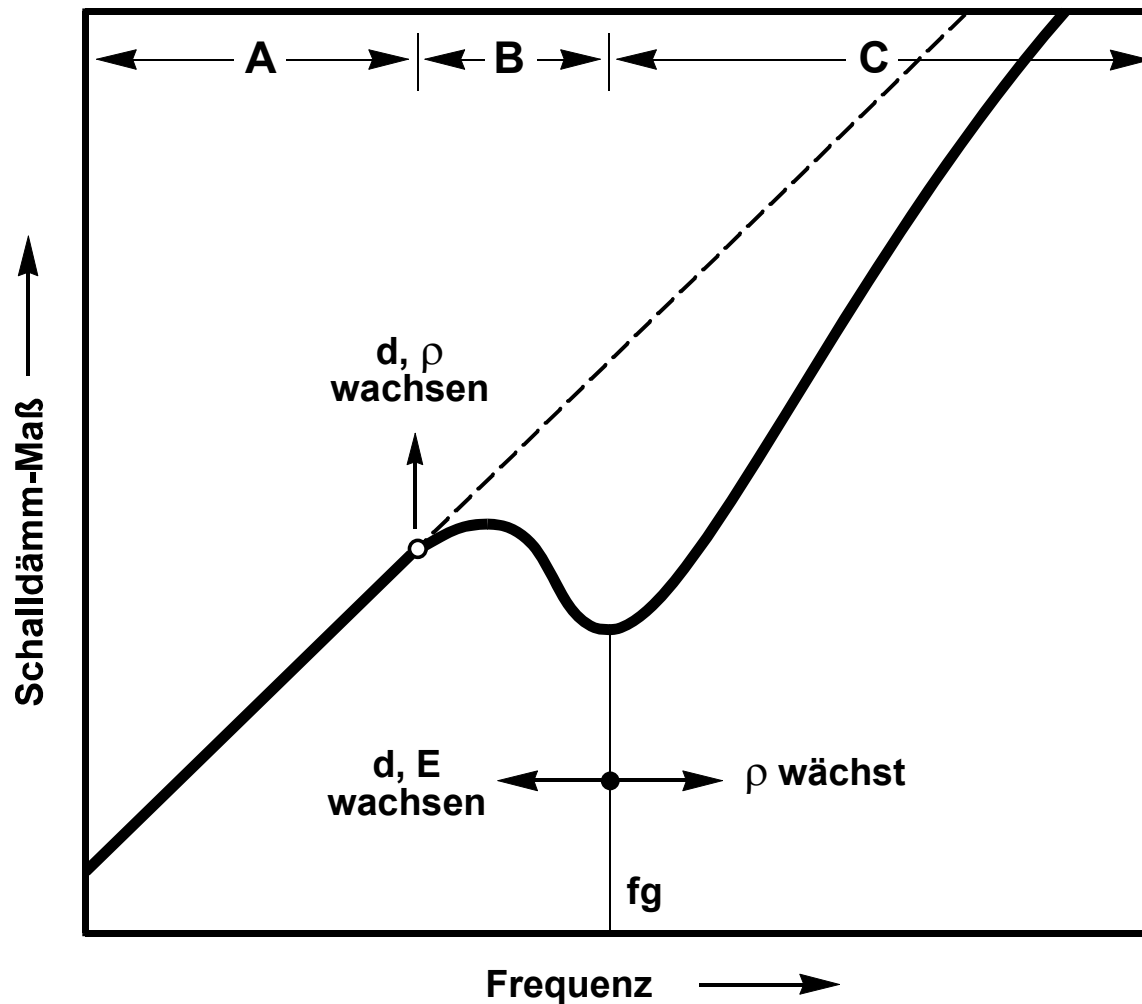
## Einschalige Bauteile – Einfluss Biegesteifigkeit



$$f_g = \frac{c_l^2}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{m}{B}}$$

# Luft- und Trittschalldämmung

Einschalige Bauteile  
– Verbesserung der Schalldämmung

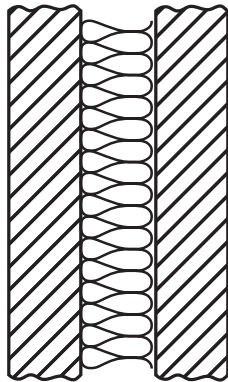


# Luft- und Trittschalldämmung

---

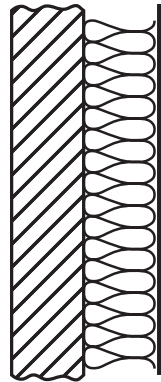
## Zweischalige Bauteile

**zwei biegesteife  
Schalen**



z. B. Haustrennwand

**biegesteife Schale mit  
biegeweicher  
Vorsatzschale**



Vorsatzschale vor Massiv-  
Wänden oder Decken mit  
Abgehängter Unterdecke

**zwei biegeweiche  
Schalen**



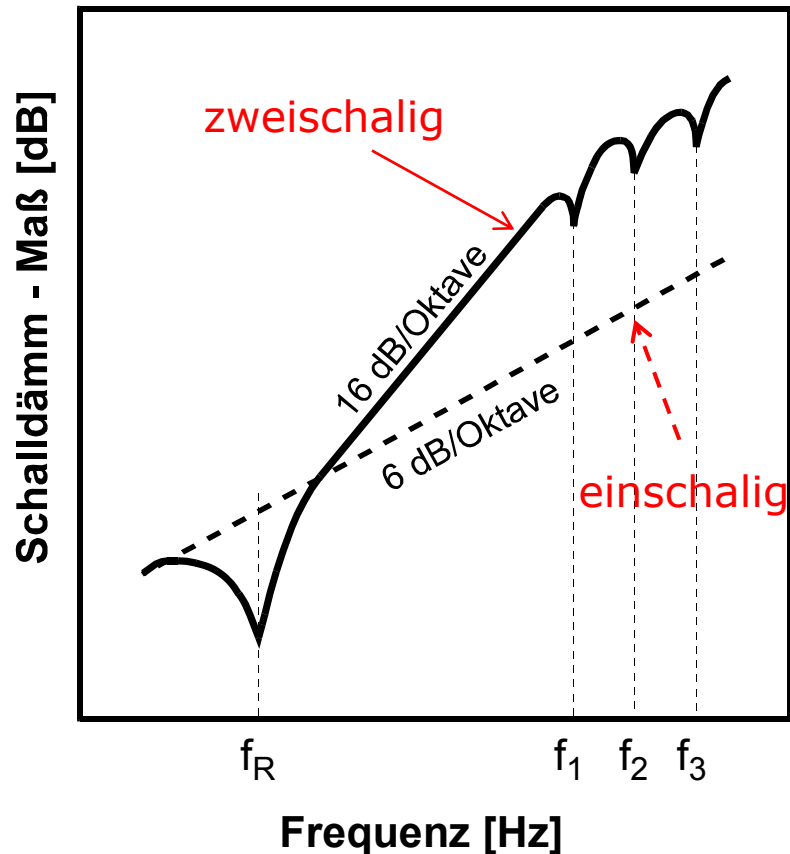
z.B. Ständerwände, leichter  
Innenausbau, Fertigbau usw.

## Ausführungsbeispiele

- *zweischalige Wände aus zwei biegeweichen Schalen DIN 4109 Beiblatt 1, Tab. 9 + 10*
- *zweischalige Wände aus einer schweren biegesteifen Schale mit biegeweicher Vorsatzschale DIN 4109 Beiblatt 1, Tab. 7 + 8*
- *Massivdecken mit biegeweicher Unterdecke DIN 4109 Beiblatt 1, Tab. 11*

# Luft- und Trittschalldämmung

## Zweischalige Bauteile



- Luftschalldämmmaße im allgemeinen mit geringerer flächenbezogener Masse erreichbar als bei einschaligen Bauteilen
- JEDOCH nur oberhalb der Resonanzfrequenz  $f_R$  ist die Schalldämmung besser als bei gleichschweren einschaligen Bauteilen

$f_R$  Resonanzfrequenz der beiden Schalen

$f_{1, 2 \dots n}$  Resonanzen bei  $d = n * \lambda/2$

# Luft- und Trittschalldämmung

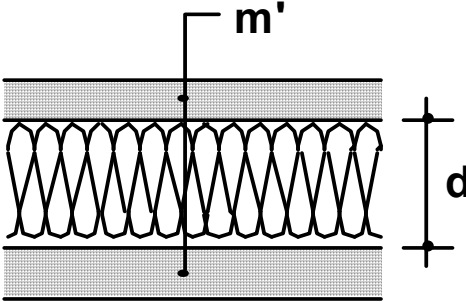
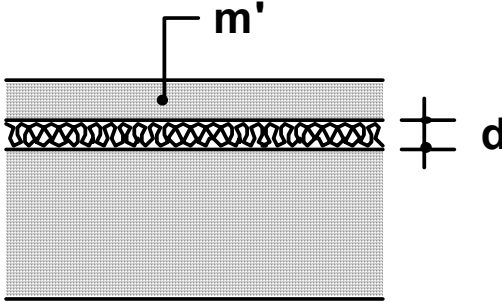
---

## Zweischalige Bauteile – Einfluss der Frequenz

- 1 Die Schalldämmung der zweischaligen Wand entspricht der einer gleichschweren einschaligen Wand; die Schalen schwingen in Phase.
- 2 Die Schalldämmung der zweischaligen Wand ist schlechter als die einer gleichschweren einschaligen Wand; die Schalen schwingen mit maximaler Amplitude gegeneinander (Resonanz)
- 3 Die Schalldämmung der zweischaligen Wand ist besser als die einer gleichschweren einschaligen Wand; die Schalen schwingen unabhängig voneinander.

# Luft- und Trittschalldämmung

## Zweischalige Bauteile – Ermittlung der Frequenz

|                                                      | zwei biegeeweiche Schalen                                                                                                                                                        | biegeeweiche Vorsatzschale vor biegesteifer Wand                                    |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Zwischenraum                                         |                                                                                                |  |
| Lose schallschluckende Einlage                       | $f_R = \frac{85}{\sqrt{m' d}} \text{ [Hz]}$                                                                                                                                      | $f_R = \frac{60}{\sqrt{m' d}} \text{ [Hz]}$                                         |
| Dämmschicht mit beiden Schalen vollflächig verbunden | $f_R = 225 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ [Hz]}$                                                                                                                                    | $f_R = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ [Hz]}$                                       |
|                                                      | $m'$ flächenbezogene Masse der Vorsatzschale [ $\text{kg/m}^2$ ]<br>$s'$ dynamische Steifigkeit des Füllmaterials zwischen Schalen [ $\text{MN/m}^3$ ]<br>$d$ Schalenabstand [m] |                                                                                     |

Zahlenwertgleichung für typische Anwendungsfälle

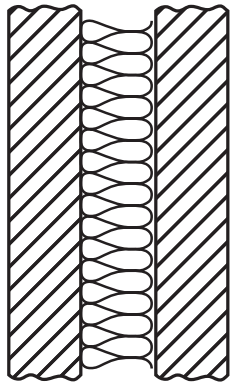
→ DIN 4109, Tab. 1, Beiblatt 2

[Dr. Krus]

# Luft- und Trittschalldämmung

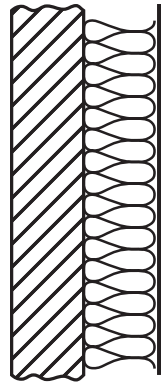
## Zweischalige Bauteile

**zwei biegesteife  
Schalen**



z. B. Haustrennwand

**biegesteife Schale mit  
biegeweicher  
Vorsatzschale**



Vorsatzschale vor Massiv-  
Wänden oder Decken mit  
Abgehängter Unterdecke

**zwei biegeweiche  
Schalen**



z.B. Ständerwände, leichter  
Innenausbau, Fertigbau usw.

# Zweischalige Bauteile

---

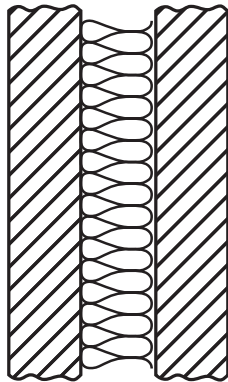
## **zwei Bauteile aus schweren biegesteifen Schalen**

- Vorteilhaft, wenn zwischen den Schalen eine über die ganze Haustiefe und -höhe schallbrückenfreie Fuge angeordnet wird (z.B. Haustrennwände bei Reihenhäusern und Doppelhäusern).
- Voraussetzung: Resonanzfrequenz muß genügend tief, möglichst an der unteren Grenze des interessierenden Bereiches liegen.
- Die Resonanzfrequenz liegt um so niedriger, je schwerer die Schalen sind und um so größer der Abstand ist.
- Bei starrem Randanschluss (flankierende Bauteile) wird Schall hauptsächlich über diesen Anschluss übertragen
- Bei gleicher Dicke und Flächenmasse und starrem Randanschluß z.T. sogar schlechtere Dämmung als einschalige Wände mit gleicher Flächenmasse.

# Luft- und Trittschalldämmung

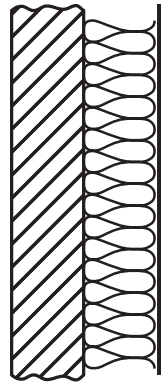
## Zweischalige Bauteile

**zwei biegesteife  
Schalen**



z. B. Haustrennwand

**biegesteife Schale mit  
biegeweicher  
Vorsatzschale**



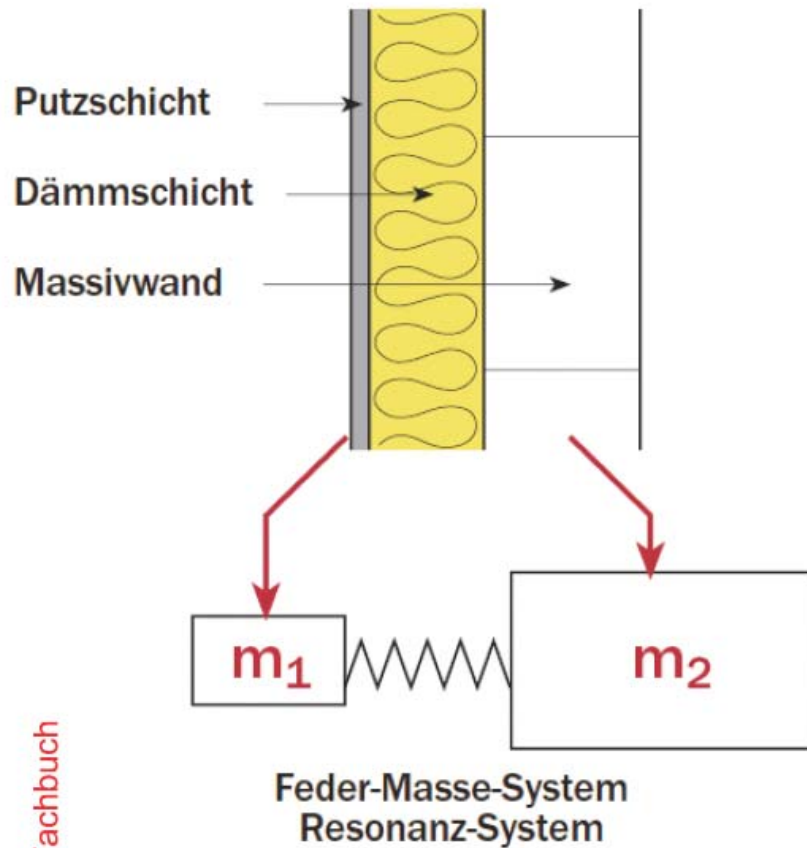
Vorsatzschale vor Massiv-  
Wänden oder Decken mit  
Abgehängter Unterdecke

**zwei biegeweiche  
Schalen**



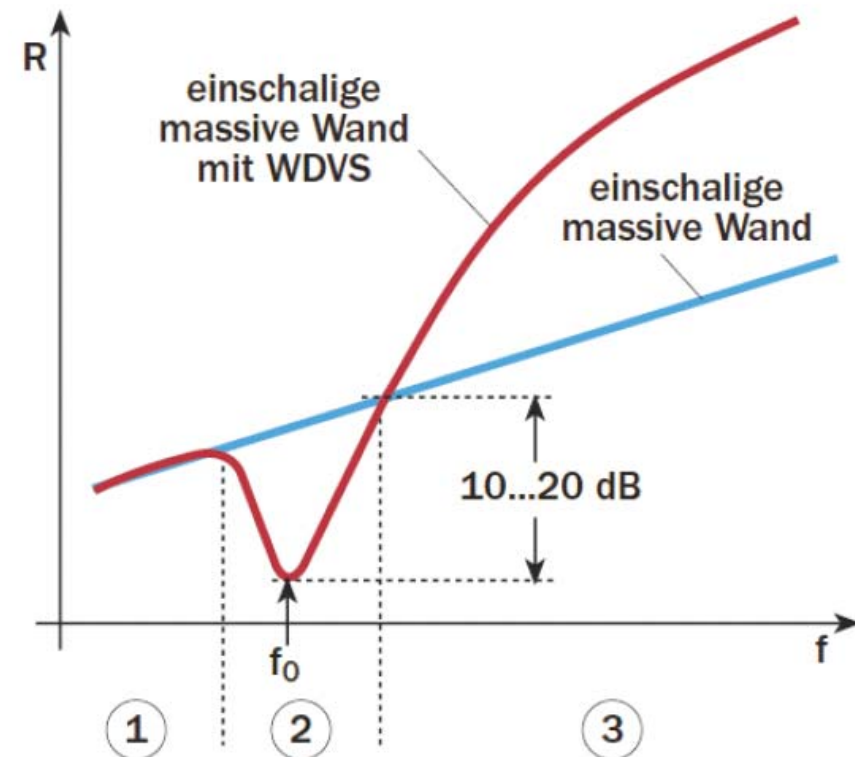
z.B. Ständerwände, leichter  
Innenausbau, Fertigbau usw.

# Zweischalige Bauteile



Aus: KS-Fachbuch

Wärmedämm-Verbundsystem als Feder-Masse-System



- 3 Frequenzbereiche:
- ① Kein Vorteil
  - ② Verschlechterung bei Resonanzfrequenz  $f_0$
  - ③ Verbesserung

Schalldämmung der einschaligen, massiven Wand ohne und mit WDVS

[Prof. Schulz]

# Zweischalige Bauteile

---

Zweischalige Bauteile aus einer **schweren biegesteifen Schale mit biegeweicher Vorsatzschale** (mit schallabsorbierender Einlage)

$$m' \cdot s \geq 0,5$$

**Die Schalldämmung ist um so besser:**

- je weniger starr die Verbindung der beiden Schalen durch die Unterkonstruktion ist,
- je schwerer die schwere Schale bei zweischaligen Bauteilen aus einer schweren, biegesteifen Schale mit biegeweicher Vorsatzschale ist.

# Zweischalige Bauteile

Seite 8 Beiblatt 1 zu DIN 4109

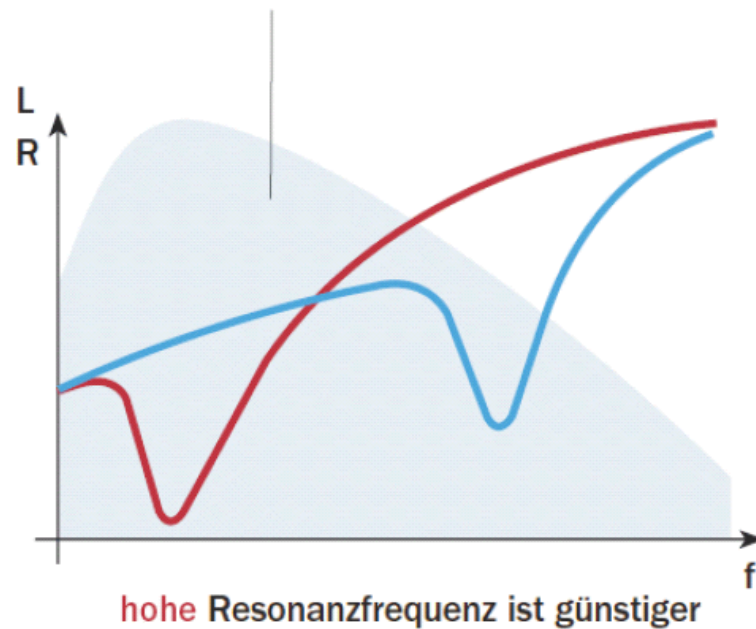
Tabelle 7. **Eingruppierung von biegeweichen Vorsatzschalen von einschaligen, biegesteifen Wänden nach ihrem schalltechnischen Verhalten** (Maße in mm)

| Spalte | 1                                                | 2              | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|--------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zeile  | Gruppe <sup>1)</sup>                             | Wandausbildung | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1      | B<br>(Ohne bzw. federnde Verbindung der Schalen) |                | Vorsatzschale aus Holzwole-Leichtbauplatten nach DIN 1101, Dicke $\geq 25$ mm, verputzt, Holzstiele (Ständer) mit Abstand $\geq 20$ mm vor schwerer Schale freistehend, Ausführung nach DIN 1102                                                                                                                                                 |
| 2      |                                                  |                | Vorsatzschale aus Gipskartonplatten nach DIN 18 180, Dicke 12,5 mm oder 15 mm, Ausführung nach DIN 18 181 (z. Z. Entwurf), oder aus Spanplatten nach DIN 68 763, Dicke 10 mm bis 16 mm, Holzstiele (Ständer) mit Abstand $\geq 20$ mm vor schwerer Schale freistehend <sup>2)</sup> , mit Hohlraumfüllung <sup>3)</sup> zwischen den Holzstielen |
| 3      |                                                  |                | Vorsatzschale aus Holzwole-Leichtbauplatten nach DIN 1101, Dicke $\geq 50$ mm, verputzt, freistehend mit Abstand von 30 mm bis 50 mm vor schwerer Schale, Ausführung nach DIN 1102, bei Ausfüllung des Hohlraumes nach Fußnote 3 ist ein Abstand von 20 mm ausreichend                                                                           |

# Zweischalige Bauteile

## Differenzierte Betrachtung von WDSV

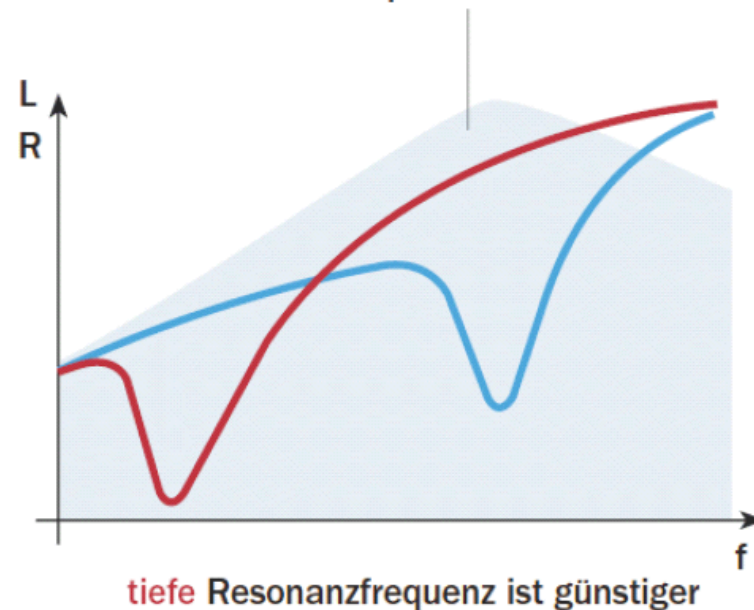
1. Beispiel: innerstädtischer Verkehrslärm, tieffrequente Anteile dominieren



reale Minderung von tieffrequentem Außenlärm

WDVS hoch abgestimmt (günstig)  
WDVS tief abgestimmt (ungünstig)

2. Beispiel: Schienenverkehr, schneller Straßenverkehr, höhere Frequenzen dominieren



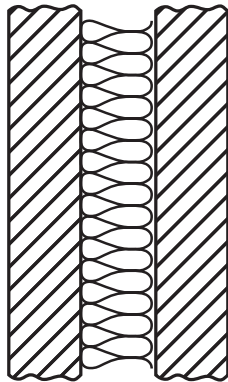
reale Minderung von hochfrequentem Außenlärm

WDVS hoch abgestimmt (ungünstig)  
WDVS tief abgestimmt (günstig)

# Luft- und Trittschalldämmung

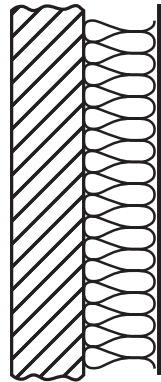
## Zweischalige Bauteile

**zwei biegesteife  
Schalen**



z. B. Haustrennwand

**biegesteife Schale mit  
biegeweicher  
Vorsatzschale**



Vorsatzschale vor Massiv-  
Wänden oder Decken mit  
Abgehängter Unterdecke

**zwei biegeweiche  
Schalen**



z.B. Ständerwände, leichter  
Innenausbau, Fertigbau usw.

# Zweischalige Bauteile

---

## Zweischalige Bauteile mit 2 biegeweichen Schalen

(mit schallabsorbierender Einlage)

$$m' \cdot s \geq 1$$

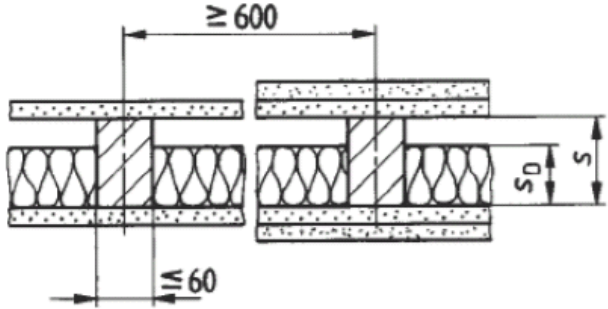
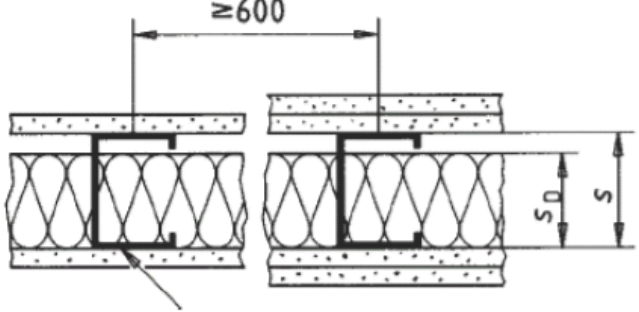
- ◆ notwendig bei gleichem Flächengewicht
- ◆ höchste Schalldämmung
- ◆ kein Einbruch der Schalldämmung durch Koinzidenz
- ◆ Mindestabstand der Schichten erforderlich
- ◆ Einfluss der Dämmschicht (schallabsorb. Einlage)

$m'$  flächenbezogene Masse einer biegeweichen Schale in  $\text{kg/m}^2$

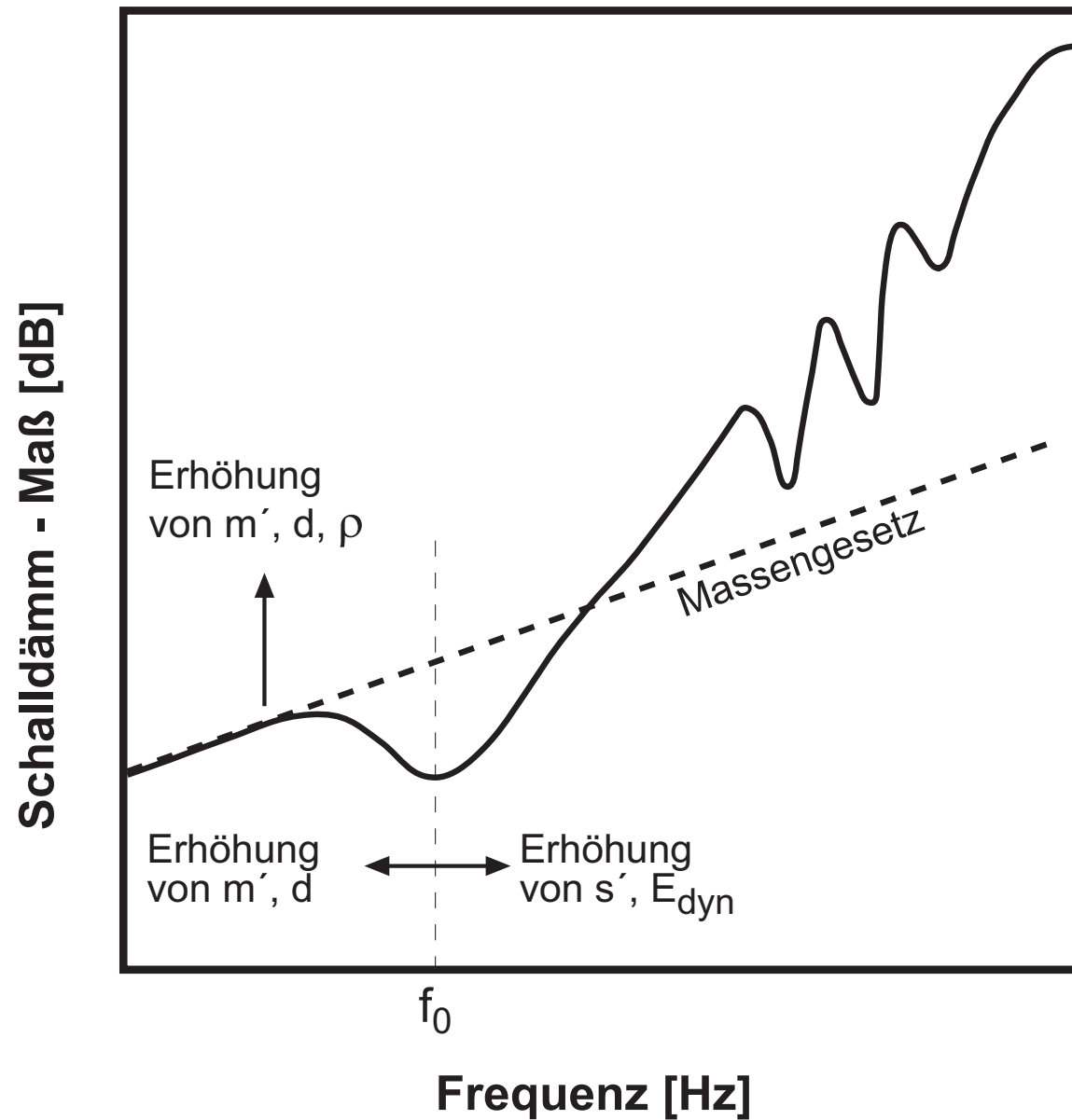
$s$  Schalenabstand in m

# Zweischalige Bauteile

Tabelle 9. **Bewertetes Schalldämm-Maß  $R'_{w,R}$  von zweischaligen Wänden aus zwei biegeweichen Schalen aus Gipskartonplatten der Spanplatten (Rechenwerte)** (Maße in mm)

| Spalte | 1                                                                                                                  | 2                                     | 3                                          | 4                                                                                 | 5                                  |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Zeile  | Wandausbildung mit Stielen (Ständern), Achs-<br>abstand $\geq 600$ , ein- oder zweilagige Bekleidung <sup>1)</sup> | Anzahl<br>der<br>Lagen<br>je<br>Seite | Mindest-<br>Schalen-<br>abstand<br><br>$s$ | Mindest-<br>Dämm-<br>schicht-<br>dicke <sup>2)</sup> ,<br>Nenn-<br>dicke<br>$s_D$ | $R'_{w,R}$ <sup>3)</sup><br><br>dB |
| 1      |                                 | 1                                     | 60                                         | 40                                                                                | 38                                 |
| 2      |                                                                                                                    | 2                                     |                                            |                                                                                   | 46                                 |
| 3      |                                | 1                                     | 50                                         | 40                                                                                | 45                                 |
| 4      |                                                                                                                    | 2                                     |                                            |                                                                                   | 49                                 |
| 5      |                                                                                                                    | 2                                     | 100                                        | 80                                                                                | 50                                 |

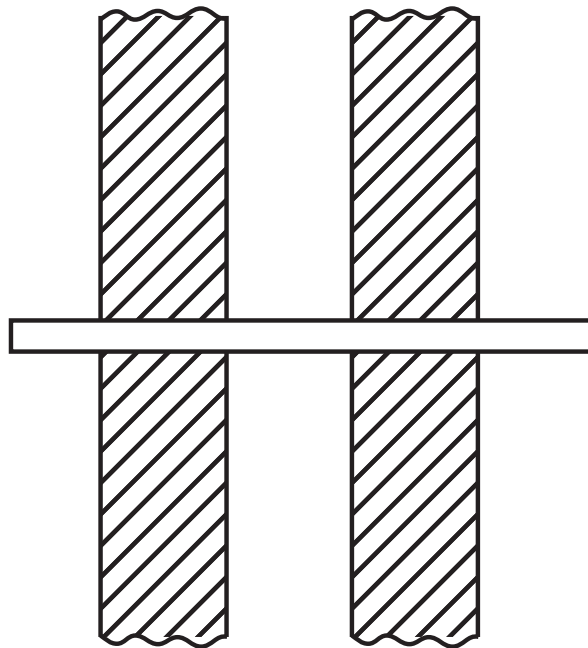
# Zweischalige Bauteile



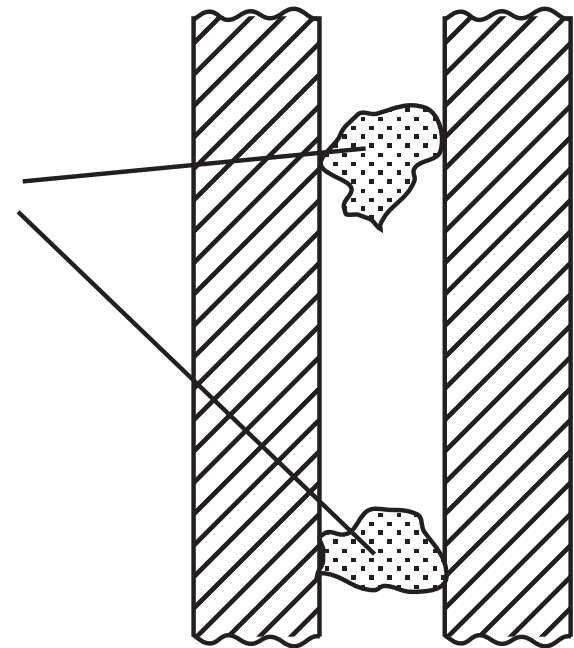
# Luft- und Trittschalldämmung

---

## Schallbrücke



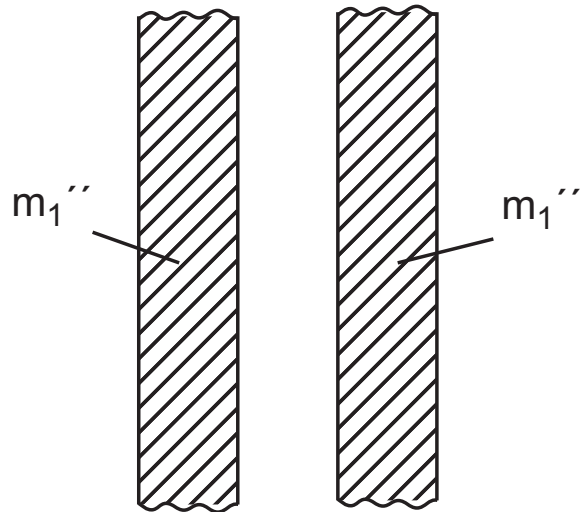
Mörtelreste,  
Bauschutt  
etc.



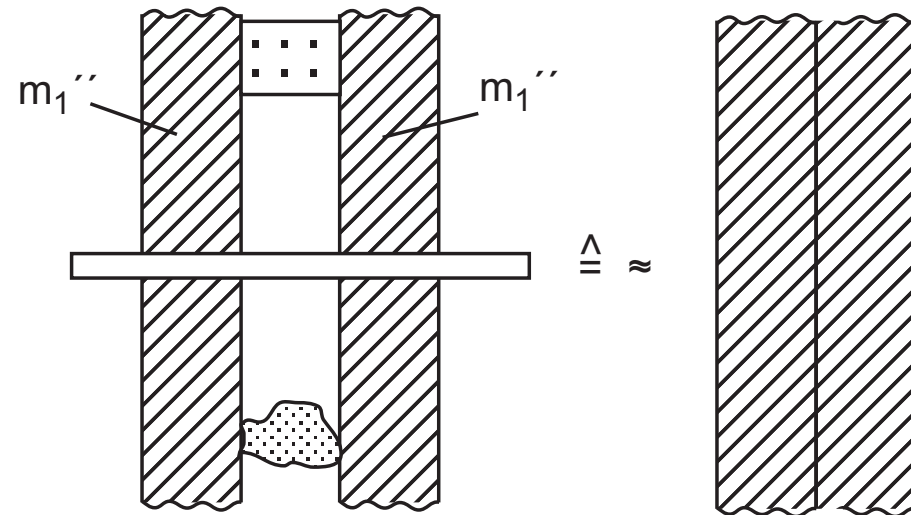
# Luft- und Trittschalldämmung

## Schallbrücke

richtige Ausführung

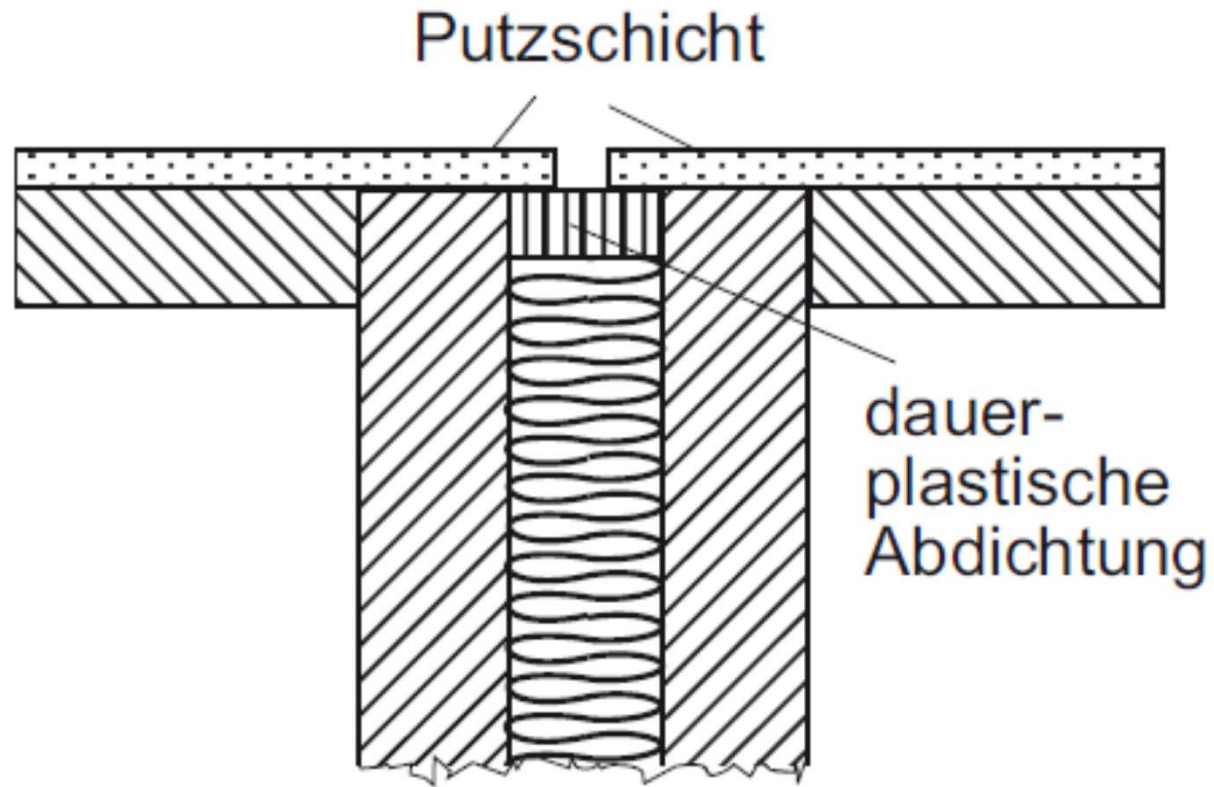


falsche Ausführung



# Ausführungsbeispiele

---



Ausführungsfehler: Fugendichtung an der Außenseite des Gebäudes  
Abhilfe: keine durchgehende Putzschicht

# Quellen

---

- Vorlesung FH Rosenheim Prof. Klaus Sedlbauer, Dr. Martin Krus, Fraunhofer-Institut für Bauphysik
- Vorlesung Prof. Schulz FH Frankfurt

An dieser Stelle **danke** ich **Dr. Martin Krus** und **Prof. Klaus Sedlbauer** vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, dass sie so hilfsbereit waren, mir die Unterlagen, der von ihnen entworfenen Vorlesung an der FH Rosenheim zu Lehrzwecken an der FH Frankfurt zur Verfügung zu stellen.

Genauso danke ich **Prof. Schulz**, dass er mich bei der Gestaltung der Vorlesung beraten und unterstützt hat und mir seine Unterlagen zur Verfügung gestellt hat.