

---

# Unerhörter Schallschutz

## Anforderungen und Lösungen für den baulichen Schallschutz in Schulen

---

4. Kongress ZUKUNFTSRAUM SCHULE

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

Lutz Weber

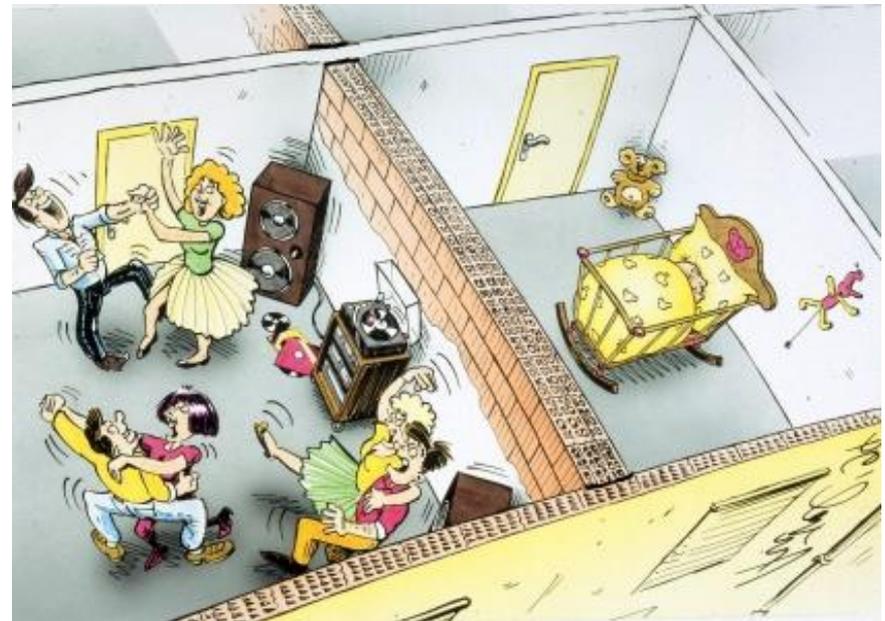
Auf Wissen bauen



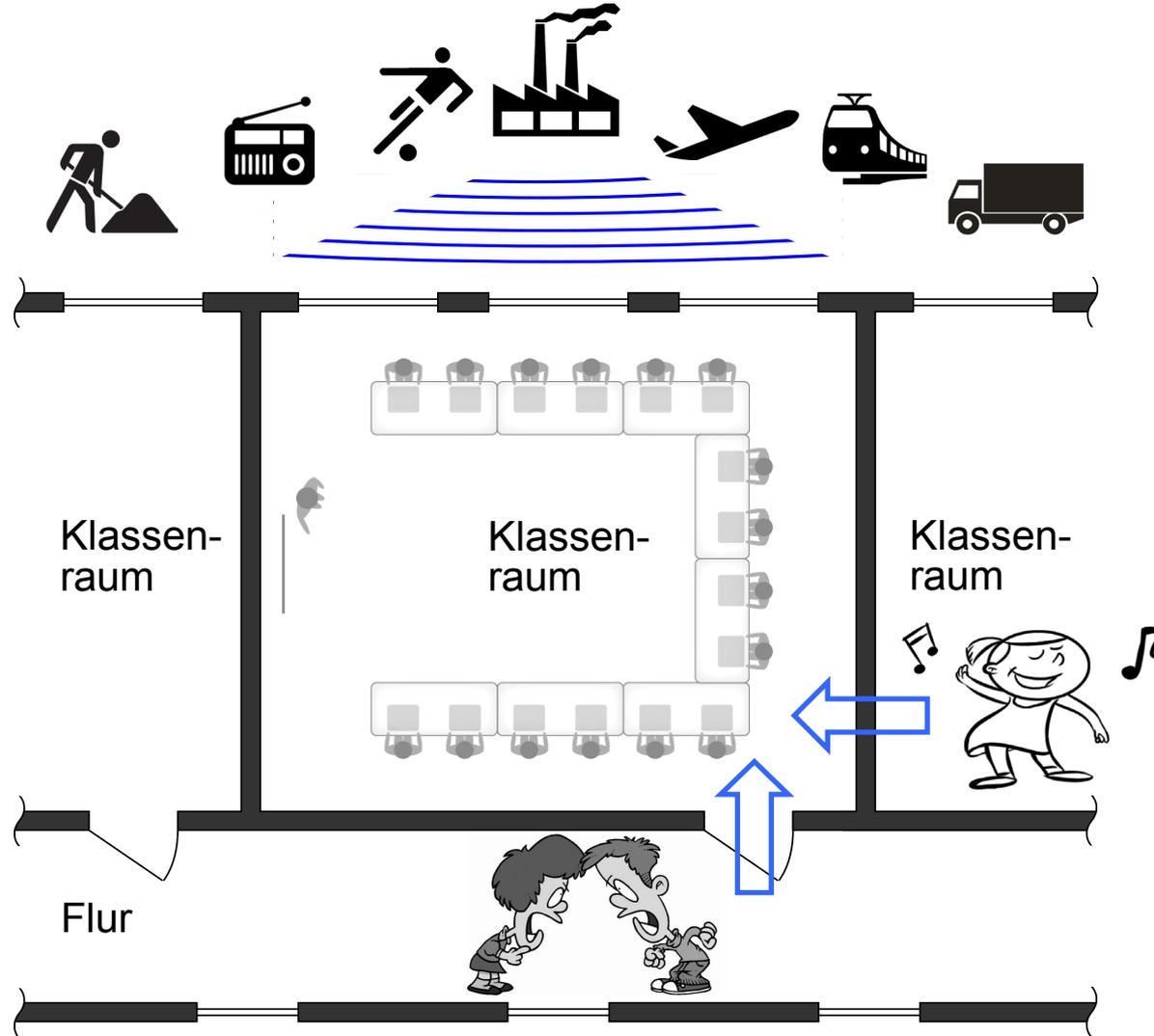
# Einführung

- Gute Lernbedingungen erfordern ein geeignetes akustisches Umfeld – das ist mittlerweile allgemein bekannt
- Während die Raumakustik (Nachhallzeit, Sprachverständlichkeit) im Zentrum des Interesses steht, wird die Bauakustik (baulicher Schallschutz) weniger beachtet
- Lärmstörungen infolge von Schallschutzmängeln können den Unterricht – vor allem in Phasen konzentrierter Tätigkeit – jedoch gleichfalls stark beeinträchtigen

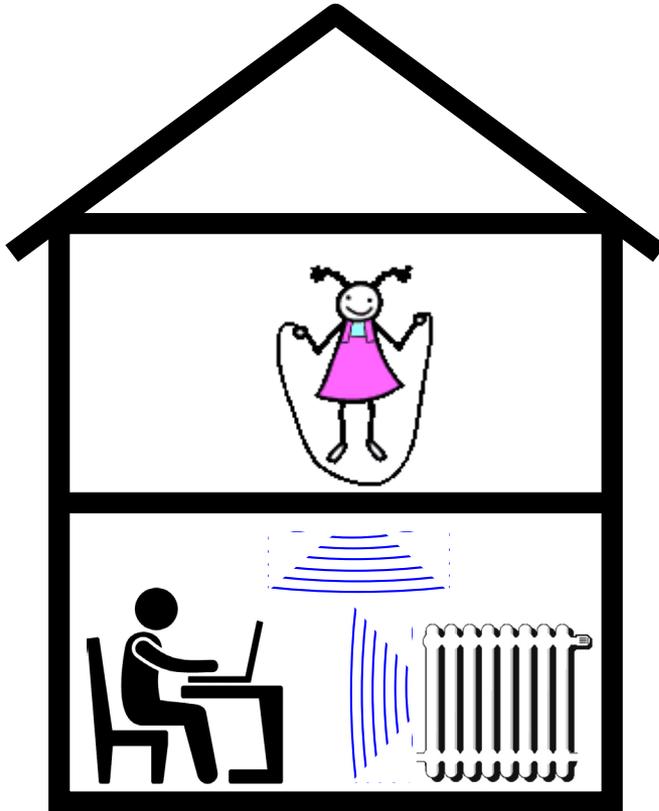
➔ Schulen brauchen einen guten baulichen Schallschutz



# Lärmquellen in Schulen – Luftschall



# Lärmquellen in Schulen – Trittschall und Haustechnik



## Nutzergeräusche

- Trittschall
- Stühlerücken
- Türeenschlagen

## Haustechnik

- Lüftungsanlagen
- Beschattungseinrichtungen
- Heizung / Wasserinstallation

# Schall- und Lautstärkewahrnehmung

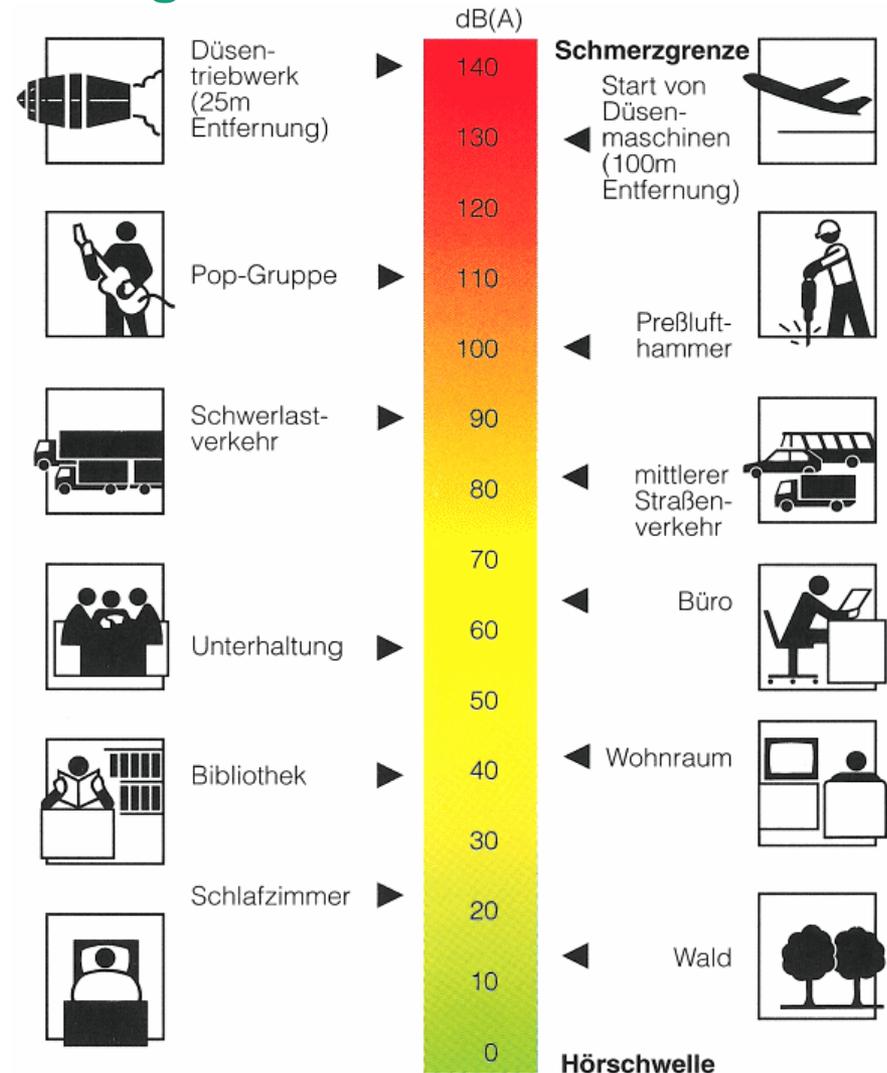
Wahrnehmungsbereich des Gehörs:

Frequenz: 20 Hz – 20.000 Hz

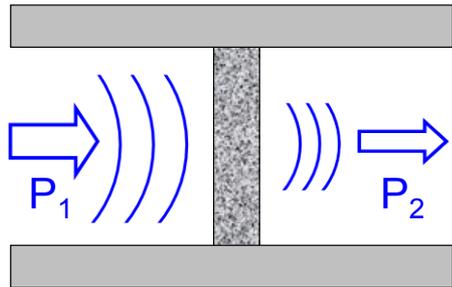
Schallpegel: 0 dB – 120 dB

Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke bei:

für $L \geq 40$ dB	$\Delta L = 10$ dB
für $L \cong 30$ dB	$\Delta L = 5$ dB
für $L \cong 20$ dB	$\Delta L = 3$ dB



# Grundlagen – Schalldämm-Maß



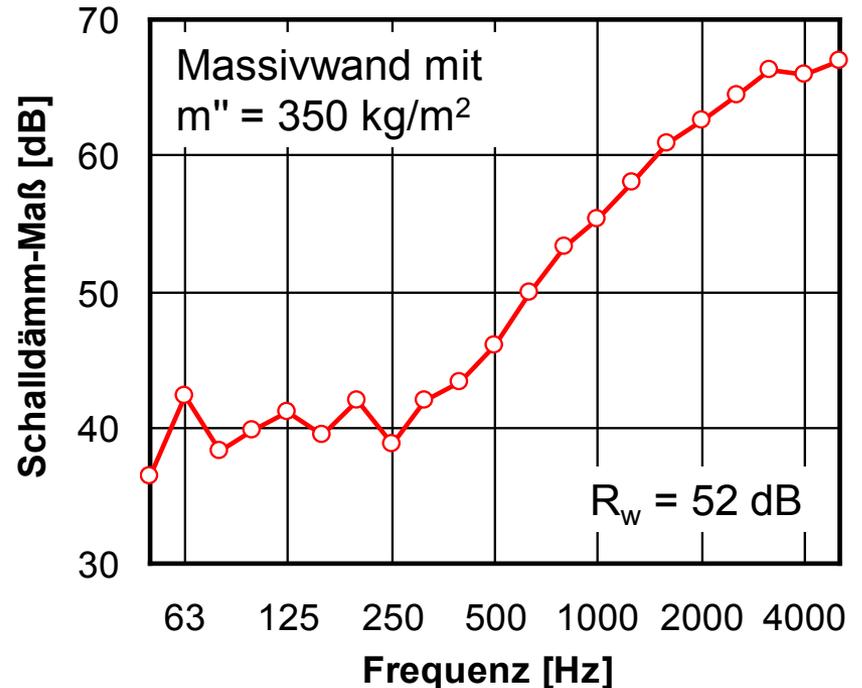
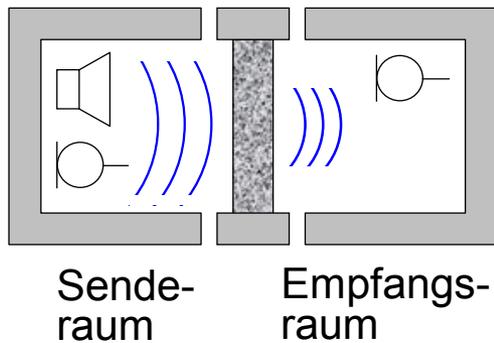
$$R = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \text{ dB}$$

mit  $P$  = Schall-Leistung



1 ‰ transmittierte Leistung:  $R = 30 \text{ dB}$   
 1 ppm transmittierte Leistung:  $R = 60 \text{ dB}$

## Messung der Schalldämmung

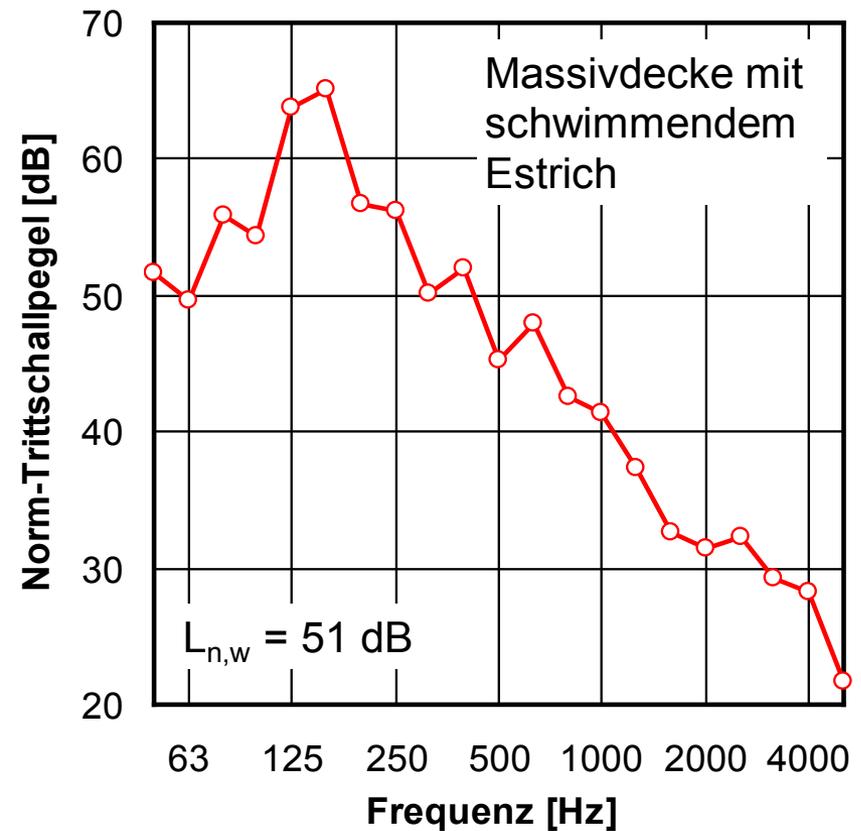
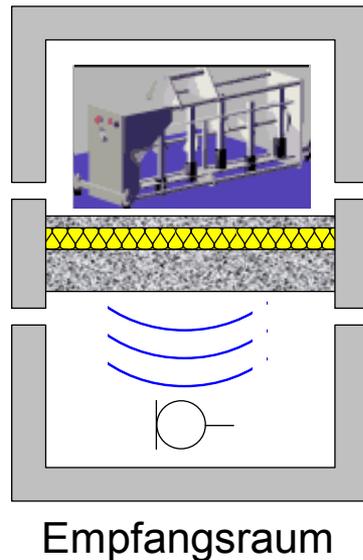


# Grundlagen – Norm-Trittschallpegel

Norm-Trittschallpegel  $L_n$  = Schallpegel im Empfangsraum bei Anregung der Decke mit einem Norm-Hammerwerk



Messung der Trittschall-dämmung



# Einzahlangaben

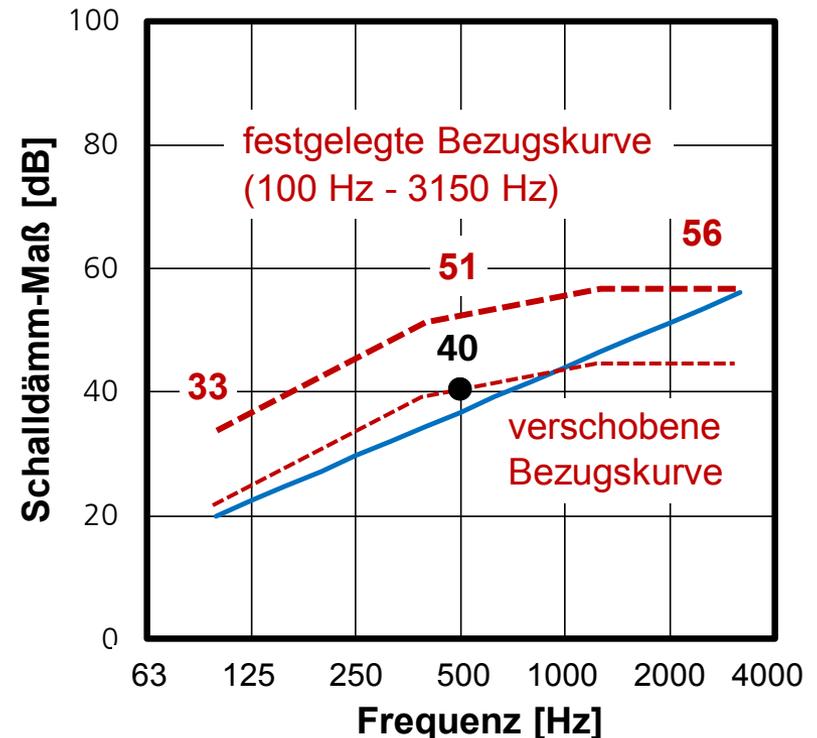
- Zusammenfassung des gemessenen Frequenzspektrums in einer Einzahlangabe
- Bewertetes Schalldämm-Maß  $R_w$  für den Luftschall, bewerteter Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  für den Trittschall

## Zweck

- Vergleich mit Schallschutzanforderungen
- Vereinfachung der Berechnungen durch Reduktion der Datenmenge

## Problematik

- Tiefe Frequenzen unter 100 Hz bleiben unberücksichtigt
- Auf wohnübliche Geräusche zugeschnitten
- Nicht mehr Stand der Technik (über 60 Jahre alt)



# Spektrum-Anpassungswerte

## Zweck

- Behebung der Mängel des Normverfahrens
- Berücksichtigung tieffrequenter Geräuschanteile

## Anwendung

- Berechnung nach DIN EN ISO 717 aus vorhandener Messkurve
- Die wichtigsten Spektrum-Anpassungswerte sind:
  - $C_{tr,50-5000}$  für Lärm mit tieffrequenten Geräuschanteilen (Verkehrslärm, Discomusik, etc.)
  - $C_{l,50-2500}$  für Trittschall
- Die Einzahlangabe wird durch die Summe aus Einzahlangabe und Spektrum-Anpassungswert ersetzt (also z. B.  $(R_w + C_{tr,50-5000})$  statt  $R_w$ )

## Wertebereich für $C_{tr,50-5000}$

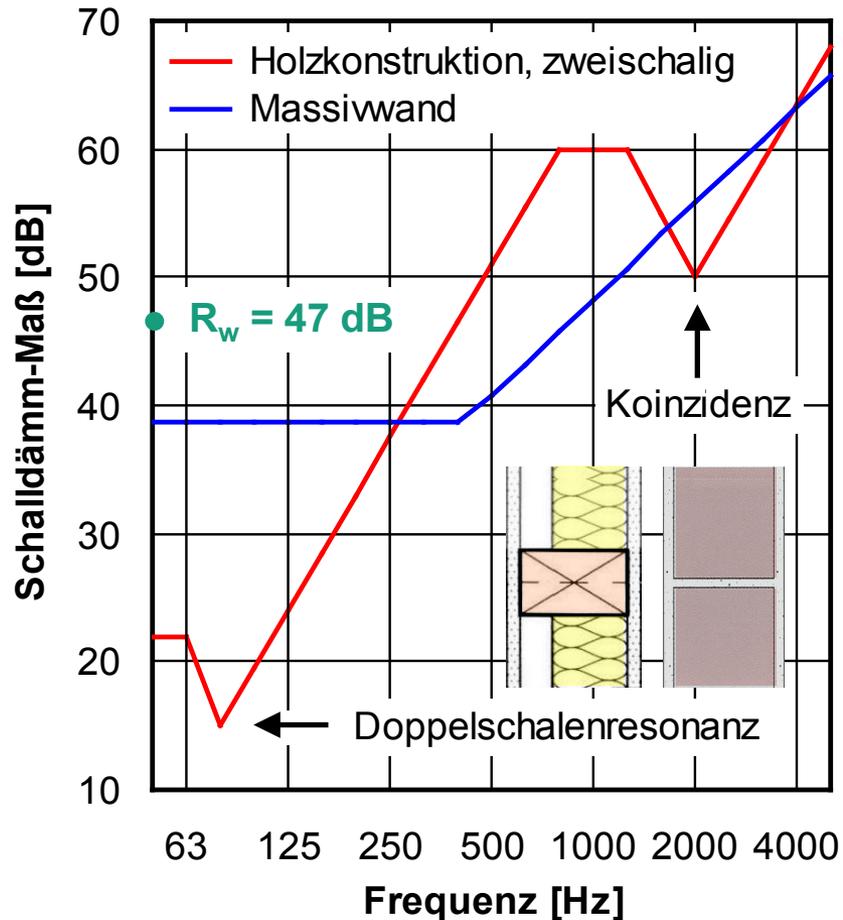
Massivwände: -7 dB bis -2 dB

Ständerwände: -20 dB bis -10 dB

Fenster: -11 dB bis -3 dB

# Anwendungsbeispiel für $C_{tr,50-5000}$

Wand in Massiv- und Leichtbauweise



	Massiv	Leichtbau
$R_w$	47	47
$R_w + C_{tr,50-5000}$	44	33

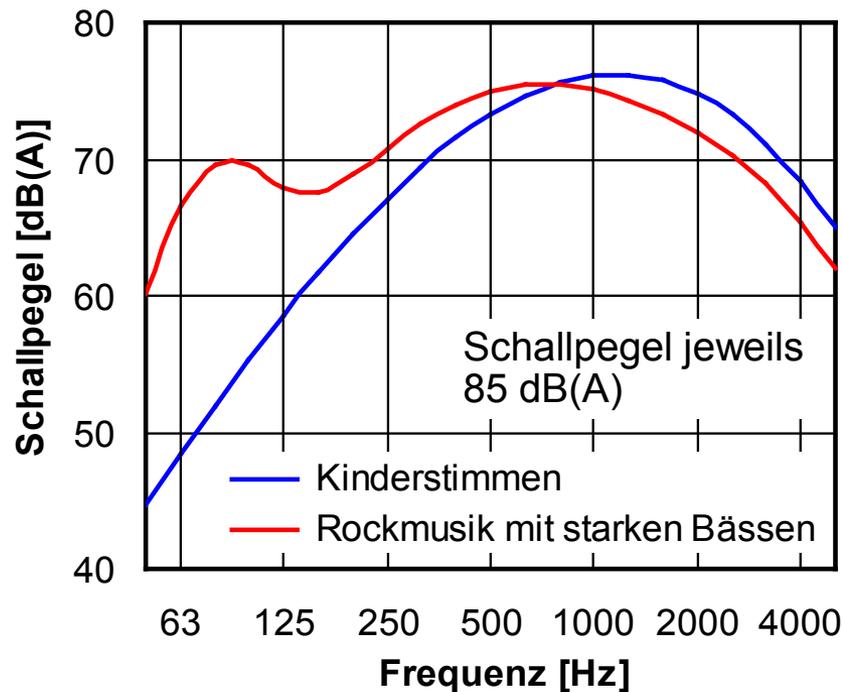
- Für leichte mehrschalige Bauteile und Wände mit Vorsatzschalen gilt  $C_{tr,50-5000} \ll 0$
- Bei tieffrequenten Geräuschen sollte daher stets  $(R_w + C_{tr,50-5000})$  herangezogen werden

# Schallübertragung zwischen Klassenräumen

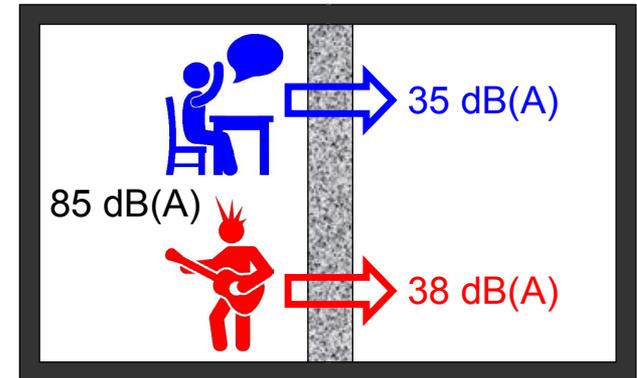
Beispiel für zwei typische Klassenräume  
( $V = 200 \text{ m}^3$ ,  $T = 0,5 \text{ s}$ )

Zwei Schallquellen mit gleicher Lautstärke:

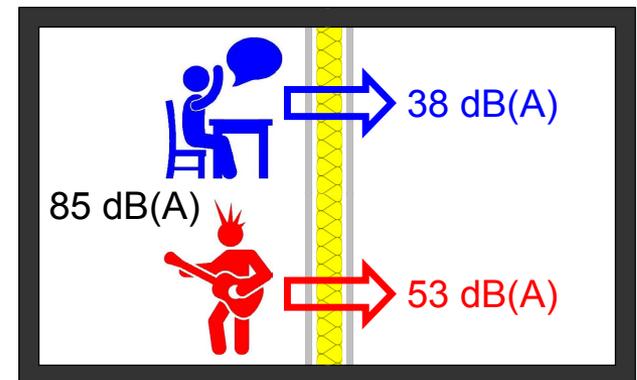
- a) Kinderstimmen
- b) Rockmusik



Massivwand  
( $R_w = 47 \text{ dB}$ ,  $C_{tr,50-5000} = -3 \text{ dB}$ )



Ständerwand  
( $R_w = 47 \text{ dB}$ ,  $C_{tr,50-5000} = -14 \text{ dB}$ )



# Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 (1989)

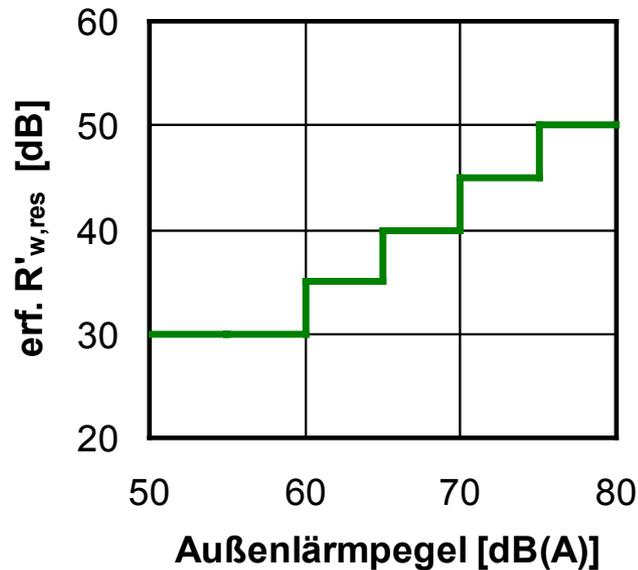
Zum Vergleich: Mindestanforderungen für den Wohnungsbau

Wohnungstrennwände:  $R'_w \geq 53$  dB

Wohnungstrenndecken:  $R'_w \geq 54$  dB und  $L'_{n,w} \leq 53$  dB

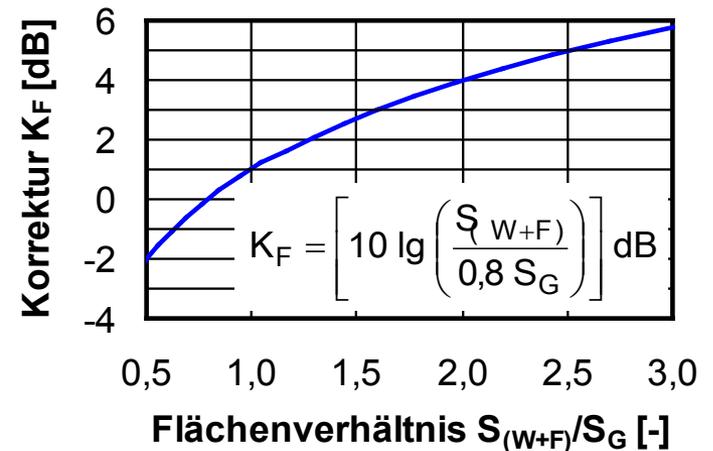
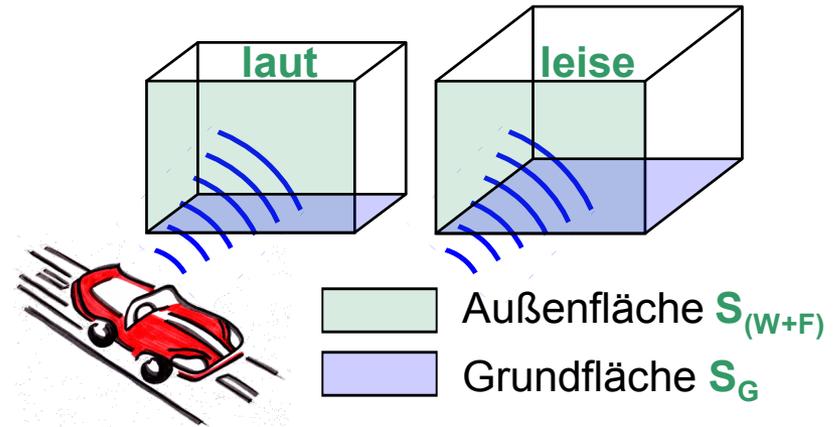
Bauteil	$R'_w$ [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]
<b>Wände</b> zwischen Unterrichtsräumen und ...		
anderen Unterrichtsräumen oder Fluren	47	---
Treppenhäusern	52	---
besonders lauten Räumen (Sporthallen, Musikräume, etc.)	55	---
<b>Decken</b> zwischen Unterrichtsräumen und ...		
anderen Unterrichtsräumen	55	53
besonders lauten Räumen	55	46
<b>Türen</b> zwischen Unterrichtsräumen und Fluren	32	---
<b>Außenbauteile</b> (Wand, Fenster, Lüftungsöffnungen, etc.)	$R'_{w,res} = 30 - 50$ dB	
<b>Haustechnische Anlagen</b> (Heizung, Lüftung, etc.)	$L_{in} \leq 35$ dB(A)	

# Anforderungen der DIN 4109 für Außenbauteile



Die Anforderungen sind so ausgelegt, dass unabhängig vom Außenlärm ein Innenpegel von ca. 30 dB(A) im Mittel nicht überschritten wird

## Korrektur für Raumtiefe



# Zulässiger Innenpegel in Unterrichtsräumen

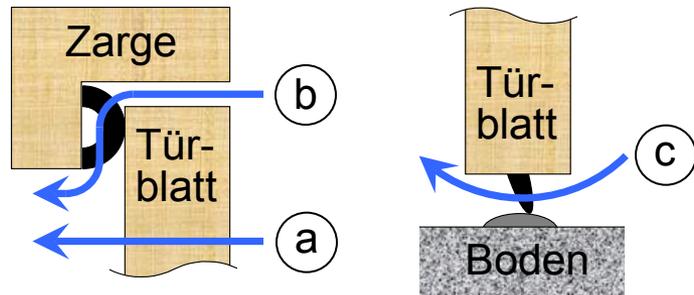
Regelwerk	max. zul. Pegel [dB(A)]						
<b>VDI 2058 Blatt 3</b> Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz	$55 - K_I - K_T \cong 50$						
<b>DIN EN ISO 11690-1</b> Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten	35 - 45						
<b>Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 124</b> Beurteilung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin	<table> <tr> <td>optimal</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>sehr gut</td> <td>30 - 40</td> </tr> <tr> <td>gut</td> <td>40 - 45</td> </tr> </table>	optimal	30	sehr gut	30 - 40	gut	40 - 45
optimal	30						
sehr gut	30 - 40						
gut	40 - 45						

- Empfehlungen nicht einheitlich, ein Innenpegel von 45 dB(A) sollte jedoch nicht überschritten werden
- Gleichförmige Geräusche (z. B. Lüftungsrauschen) stören weniger als zeitlich veränderlicher Lärm. Zusätzliche Störfaktoren sind Ton- und Impulshaltigkeit sowie insbesondere menschliche Sprache (auch unterhalb der Verständlichkeitsschwelle).
- Die Vorgaben der DIN 4109 für Schulen gewährleisten im Normalfall einen ausreichenden Schallschutz

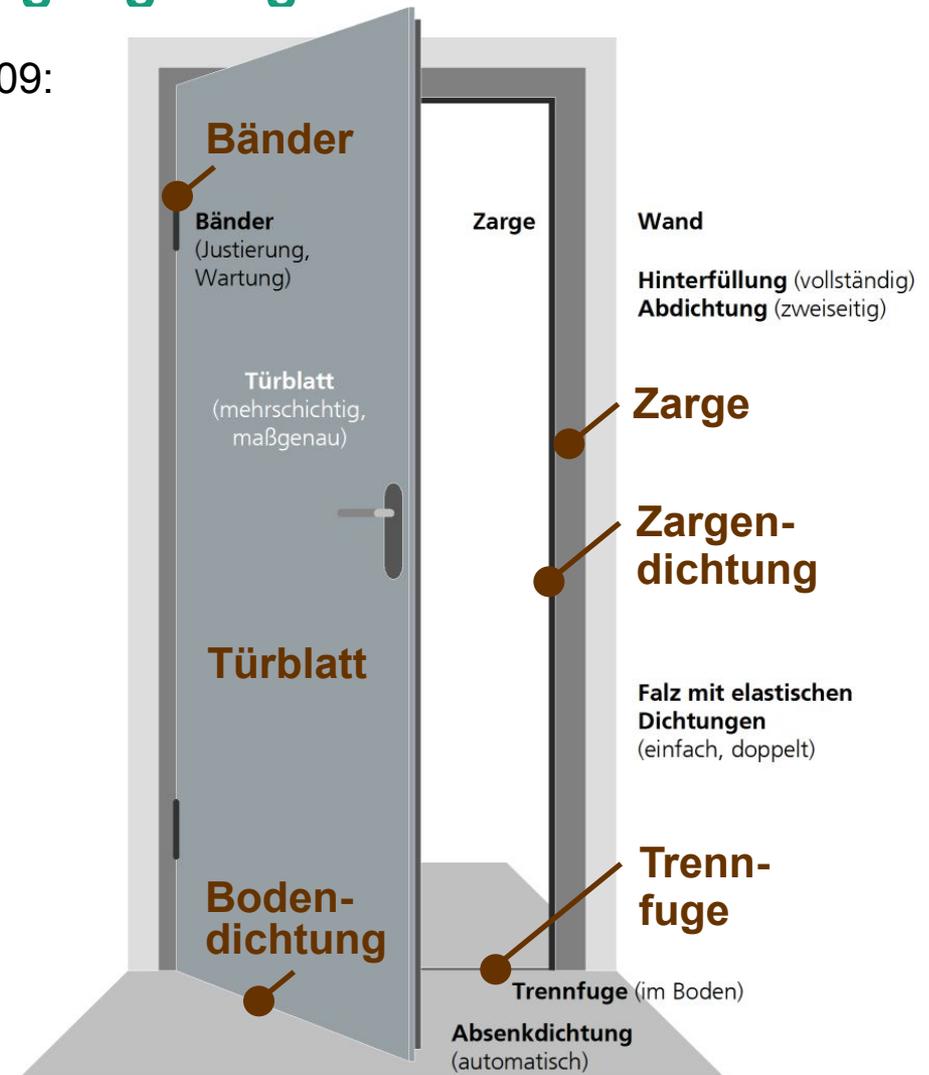
# Türen – Aufbau und Übertragungswege

- Schallschutzanforderung nach DIN 4109:  
 $R_w \geq 32$  dB
- Vorhaltemaß 5 dB → Tür muss Prüfzeugnis mit  $R_w \geq 37$  dB aufweisen

## Wichtigste Übertragungswege



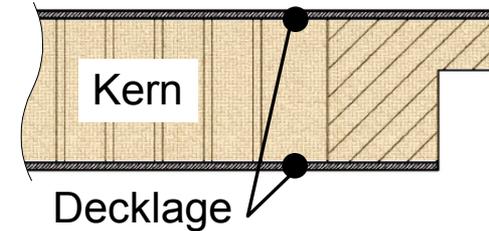
- a) Türblatt
- b) Zargendichtung
- c) Bodenspalt



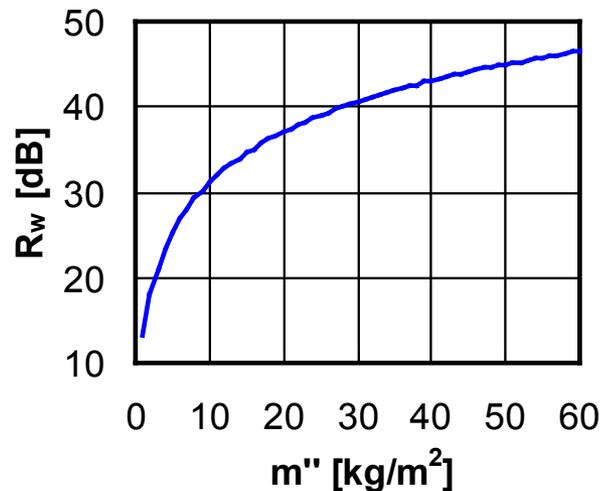
# Türen im Detail – Türblatt

Schalldämmung abhängig von:

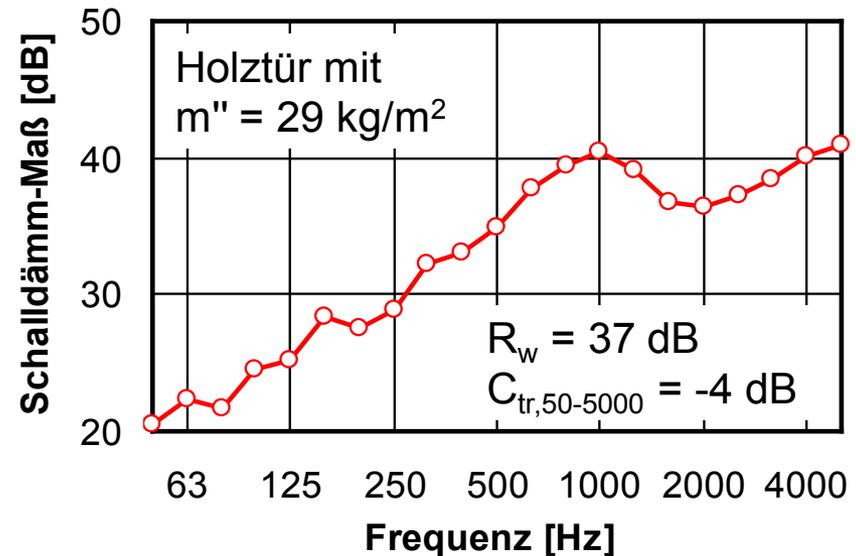
- Material und Schichtung des Blattes
- Flächenbezogener Masse (wichtigste Einflussgröße)



Bewertetes Schalldämm-Maß  
biegeweicher Platten

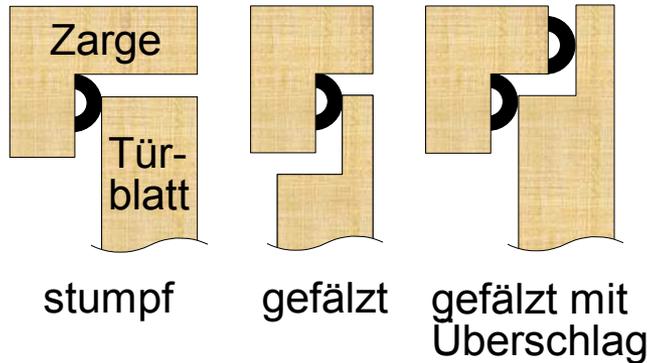


Schalldämmkurve



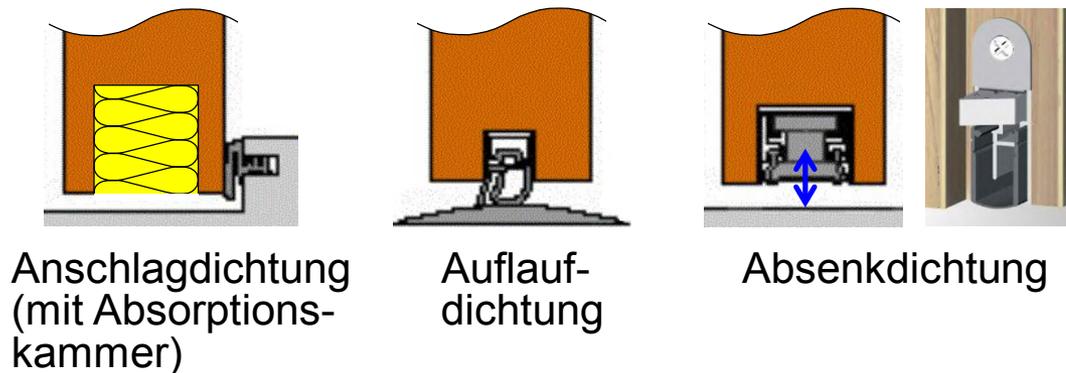
# Türen im Detail – Zargen- und Bodendichtung

## Zargendichtung



- Gefälztes Türblatt ermöglicht zwei Dichtungen (nicht immer besser)
- Entscheidend ist ein ausreichend hoher allseitig gleichmäßiger Anpressdruck

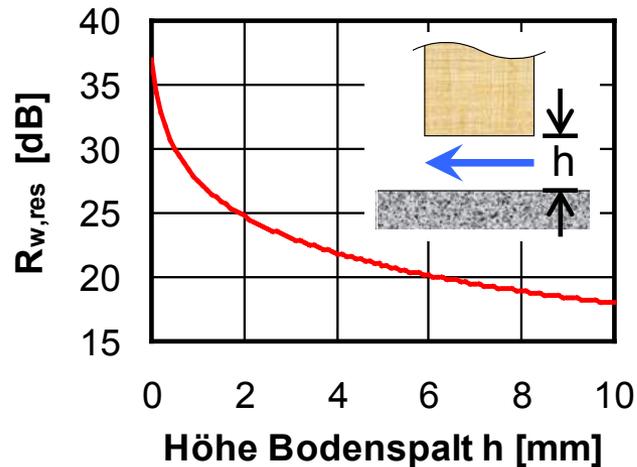
## Bodendichtung



- Die Bodendichtung ist zumeist die größte akustische Schwachstelle
- Schon kleine Undichtigkeiten setzen die Schalldämmung stark herab

# Türen – Schalldämmung im Überblick

Schalldämmung einer Tür mit  $R_w = 37$  dB ohne Bodendichtung

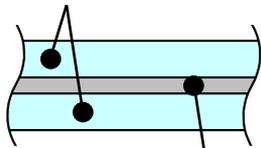


- Einfache Türen erreichen Schalldämm-Maße bis ca. 30 dB
- Ab etwa 40 dB sind spezielle Schallschutztüren erforderlich
- Wichtig sind ein fachmännischer Einbau und eine sorgfältige Justierung der Bänder
- Türen können sich verziehen und verstellen → gelegentliche Wartung erforderlich

# Fenster – Schalldämmung der Verglasung

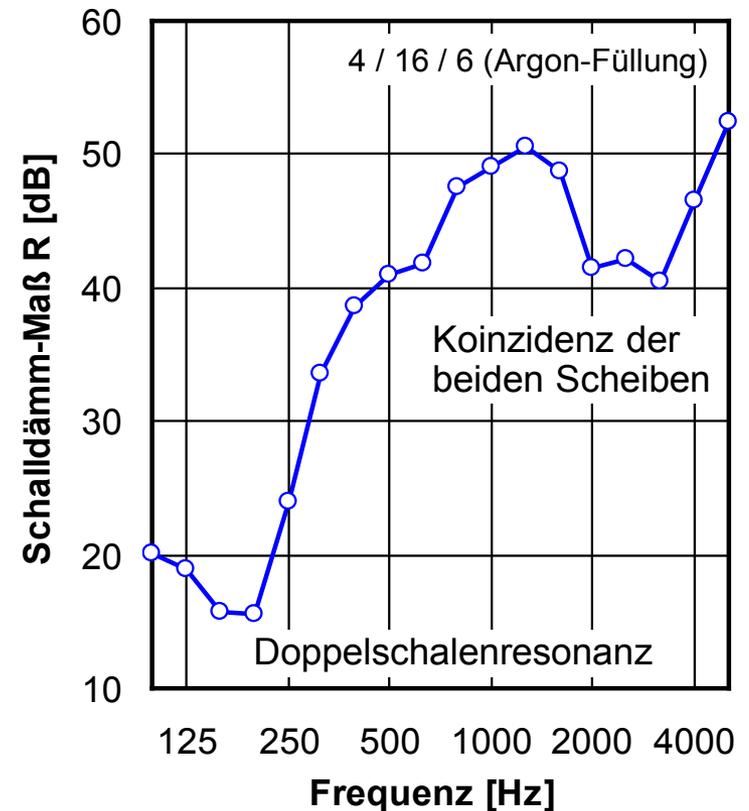
- Verbundglasscheiben mit SI- oder SC-Folien haben eine ca. 3 – 4 dB höhere Schalldämmung als Einzelscheiben

Glasscheibe



transp. Folie ( $d = 0,38$  oder  $0,76$  mm)

- Dreifachverglasung haben bei gleicher Massen eine ca. 3 dB niedrigere Schalldämmung als Doppelscheiben
- Trifft der Schall unter flachem Winkel auf das Fenster auf, vermindert sich die Schalldämmung um bis zu 5 dB



$R_w = 37$  dB,  $C_{tr} = -9$  dB

# Fenster – Schalldämmung im Überblick

Mit geeigneter Verglasung können Fenster problemlos Schalldämm-Maße von 45 dB und mehr erreichen. Die Voraussetzungen dafür sind:

- Hochwertiger Rahmen mit mindestens zwei gut schließenden Dichtungen am Blend- und Flügelrahmen
- Passgenauer Einbau ohne Verziehen und Verkanten (sonst liegen die Dichtungen nicht richtig an)
- Sorgfältige Befestigung und Abdichtung des Fensters in der Laibung (der verwendete Montageschaum spielt dabei akustisch keine Rolle)



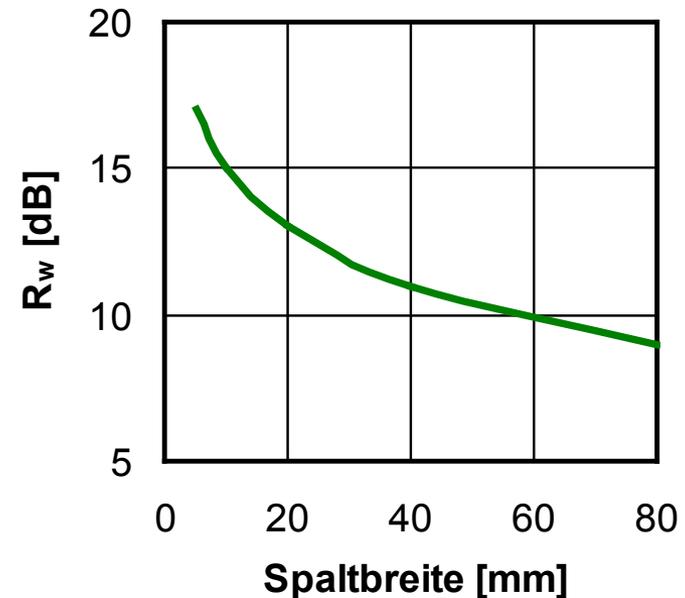
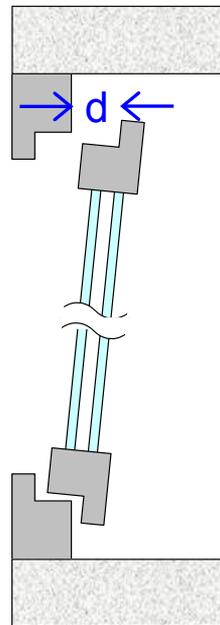
# Fensterlüftung – Überblick

Obgleich Schalldämmlüfter in großer Vielfalt verfügbar sind, bevorzugen viele Menschen herkömmliche Fensterlüftung

Problem: bei geöffnetem Fenster geht der Schallschutz weitgehend verloren

Fensterstellung:	geschlossen	geöffnet	gekippt
$R_w$ [dB]:	35	0	ca. 10

Bei gekipptem Fenster hängt die Schalldämmung stark von der Spaltbreite  $d$  ab

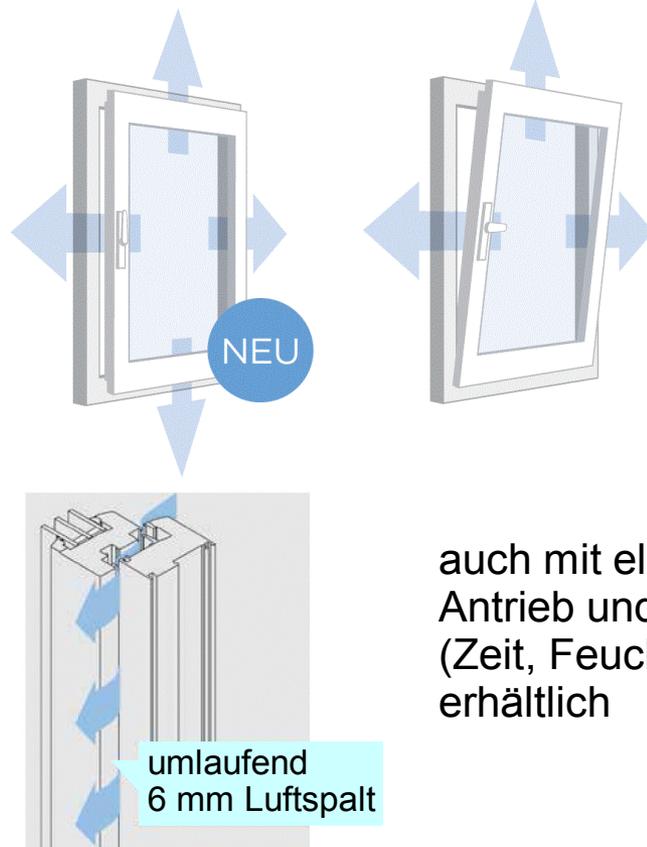


# Fensterlüftung – Parallelabstellung

Neue Drehkippsbeschläge mit Parallelabstellung ermöglichen Dauerlüftung und verbessern den Schallschutz

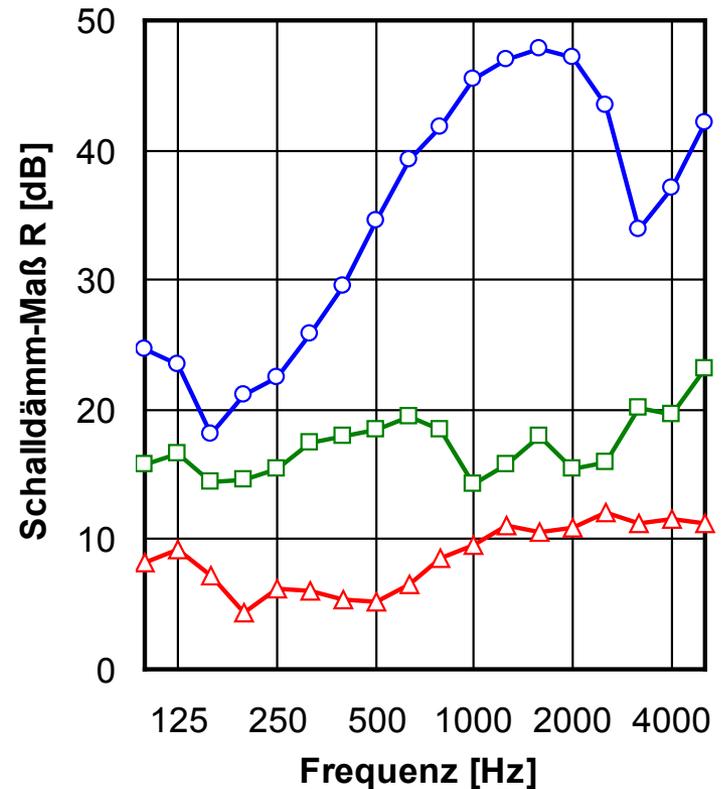
"geschlöffnet"

gekippt



auch mit elektrischem Antrieb und Regelung (Zeit, Feuchte, CO<sub>2</sub>) erhältlich

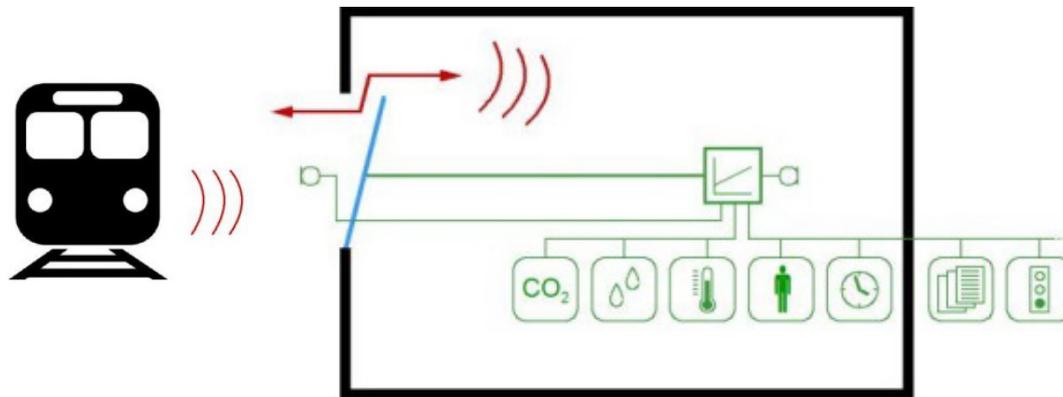
- geschlossen,  $R_w = 35,4 \text{ dB}$
- △ gekippt,  $R_w = 9,7 \text{ dB}$
- geschlöffnet,  $R_w = 17,8 \text{ dB}$



# Fensterlüftung – Akustische Steuerung

Lärmstörungen bei geöffnetem Fenster lassen sich erheblich vermindern, indem

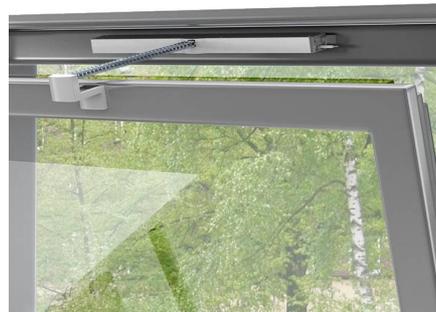
- Der Außenpegel erfasst und das Fenster bei Überschreiten einer einstellbaren Schwelle automatisch geschlossen wird
- Das Fenster nach Abklingen des Lärms automatisch wieder geöffnet wird



## Probleme:

- Nicht für alle Lärm-szenarien geeignet
- Eigengeräusche des Antriebs
- Anpassung an Nutzerbedürfnisse
- Geräusche im Raum

Kettenantrieb zum Kippen von Fenstern



# Zusammenfassung

- Ungestörter Unterricht in Schulen erfordert einen ausreichenden baulichen Schallschutz
- Bei Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4109 werden Lärmstörungen in normalen Unterrichtssituationen weitgehend vermieden
- Zusätzliche organisatorische und technische Maßnahmen (Raumbelegung, lärmarme Bodenbeläge, Stuhlgleiter, etc.) können zur Lärminderung beitragen
- Akustische Problemfelder wie Fenster und insbesondere Türen lassen sich durch Einsatz geeigneter Produkte und fachgerechte Montage weitgehend beseitigen
- Bei Fensterlüftung sind Störungen durch Außenlärm häufig unvermeidlich. Abhilfe kann hier in vielen Fällen ein akustisch gesteuerter Antrieb (noch in Entwicklung) schaffen.