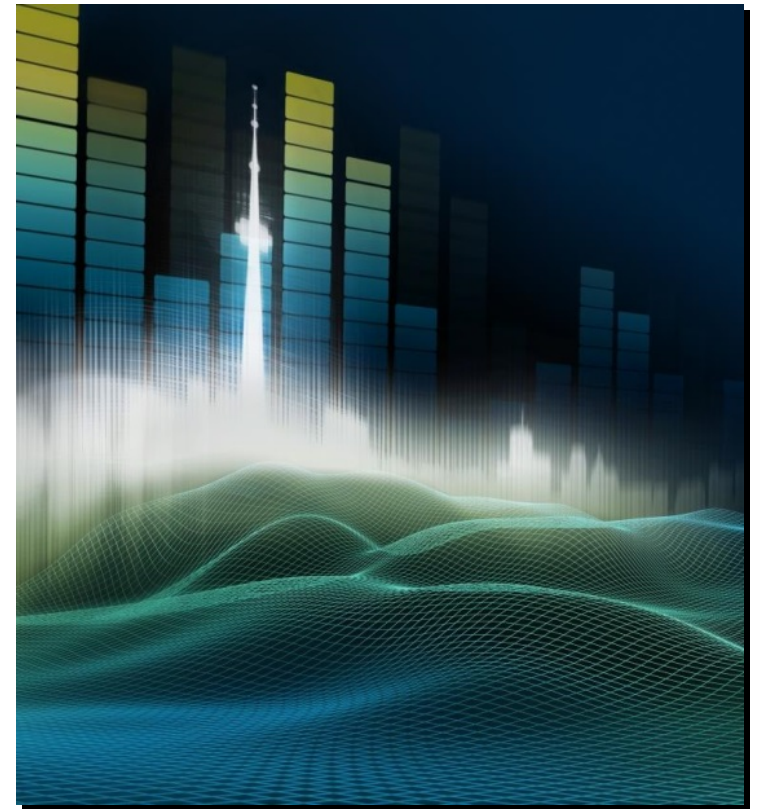

Baulicher Schallschutz

Dr. Lutz Weber

23. und 24. Juli 2015, Stuttgart



Inhalt

- 1 **Einführung**
- 2 Akustische Grundlagen
- 3 Spektrum-Anpassungswerte
- 4 Schallschutzanforderungen an Außenbauteile
- 5 Fenster und Verglasungen
- 6 Lüftung und Schallschutz
- 7 Hinweise für die Praxis



Einführung

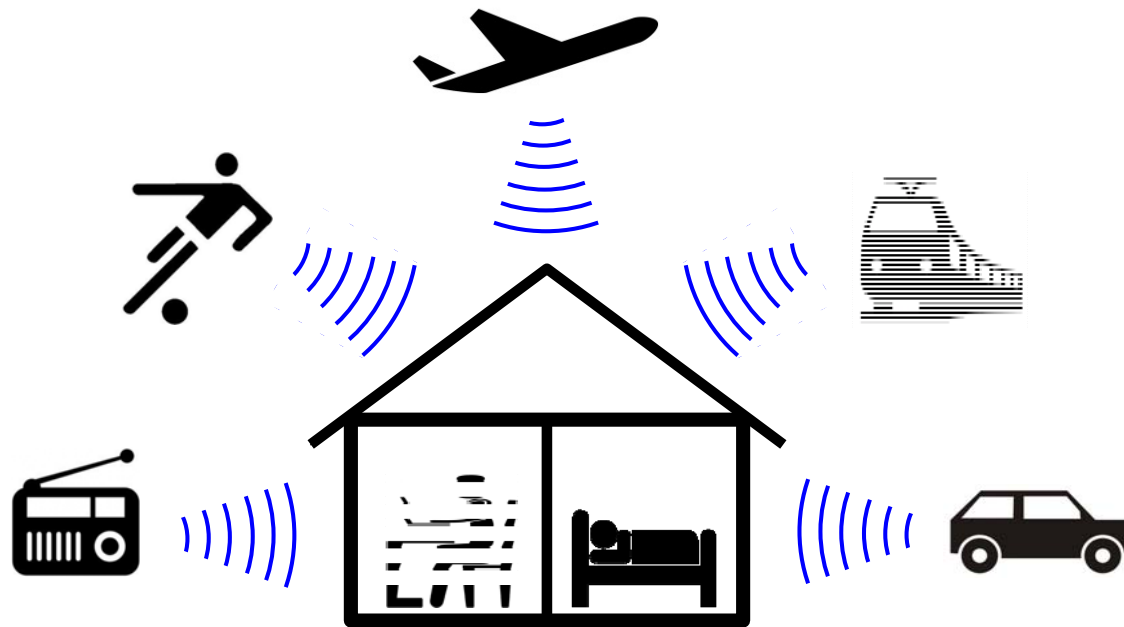
Außenlärm lässt sich nur vermindern aber nicht beseitigen → zusätzlicher baulicher Schallschutz fast immer erforderlich

Maßnahmen an Quelle
und Ausbreitungsweg

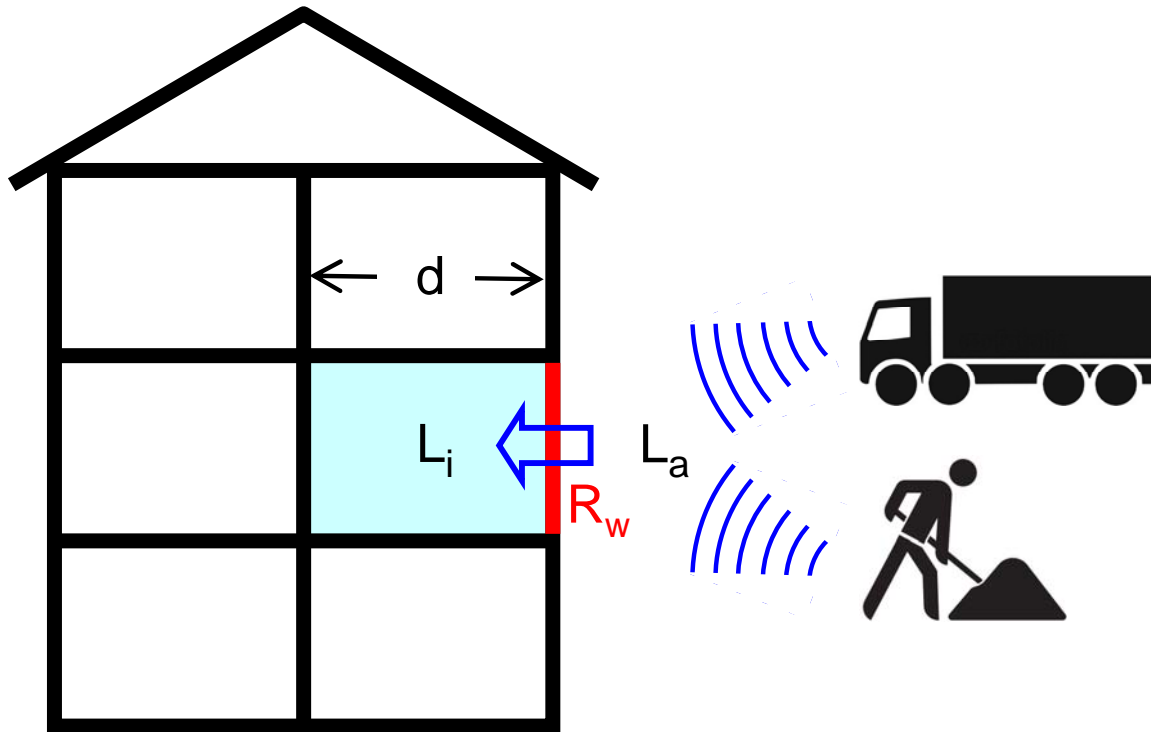
max. ca. 15 dB

Baulicher Schallschutz

Pegelminderung bis ca. 50 dB



Schallpegel im Inneren von Gebäuden



Schallpegel im Raum: $L_i = L_a - R_w + 10 \lg(T/d) + 8$ mit T = Nachhallzeit im Raum
 d = Raumtiefe

für $T = 0,5$ s und $d = 4$ m folgt:

$$L_i \cong L_a - R_w$$

bzw.

$$L_i \cong L_a - R_w - C_{tr,50-5000}$$

Inhalt

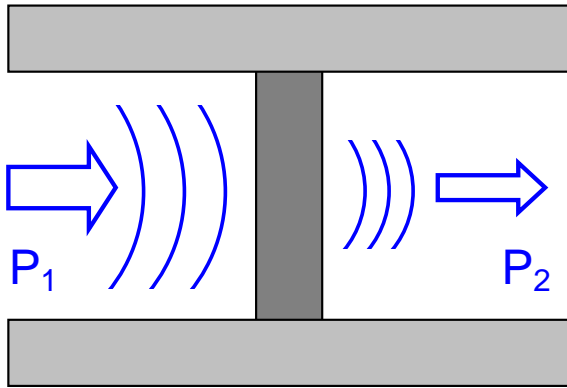
- 1 Einführung
- 2 **Akustische Grundlagen**
- 3 Spektrum-Anpassungswerte
- 4 Schallschutzanforderungen an Außenbauteile
- 5 Fenster und Verglasungen
- 6 Lüftung und Schallschutz
- 7 Hinweise für die Praxis

Stets soll der Architekt die Lehren
des Akustikers verehren.
Denn sonst entsteht ein Schallschutzmangel
mit viel juristischem Gerangel.



Schalldämm-Maß R

Verhältnis von einfallender und durchgelassener Schall-Leistung



$$R = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ dB} \quad \text{mit } P = \text{Schall-Leistung}$$

➡ Verminderung von P um den Faktor 1000 entspricht $R = 30 \text{ dB}$

Bewertetes Schalldämm-Maß R_w

- Wird mit genormter Bezugskurve aus gemessenem Frequenzspektrum berechnet
- Zentrale Grundlage für Schallschutzplanung (Schallschutznachweis und Vergleich mit Schallschutzanforderungen)



$R_w = 0 \text{ dB}$



$R_w = 20 \text{ dB}$

R_w und $D_{n,e,w}$

Bei kleinen Bauteilen oder Bauteilen mit undefinierter Fläche (z. B. Rolladenkästen oder Lüfter) wird statt R_w häufig $D_{n,e,w}$ angegeben.

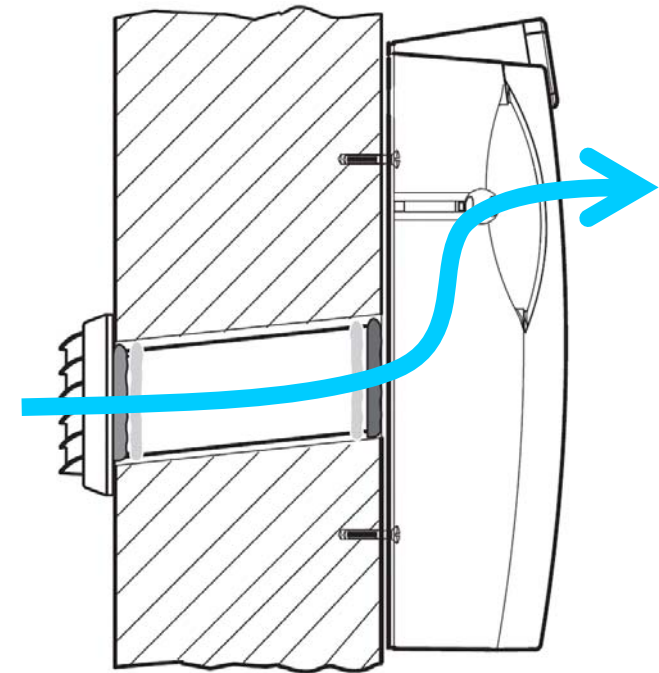
R_w Bewertetes Schalldämm-Maß, auf reale Bauteilfläche S bezogen

$D_{n,e,w}$ Norm-Schallpegeldifferenz, auf fiktive Fläche von 10 m^2 bezogen

Umrechnung zwischen den Größen:

$$D_{n,e,w} = R_w + 10 \lg \left(\frac{10 \text{ m}^2}{S} \right) \text{ dB}$$

Beispiel: Rolladenkasten mit $F = 0,37 \text{ m}^2$ und
 $R_w = 42 \text{ dB} \rightarrow D_{n,e,w} = 56 \text{ dB}$

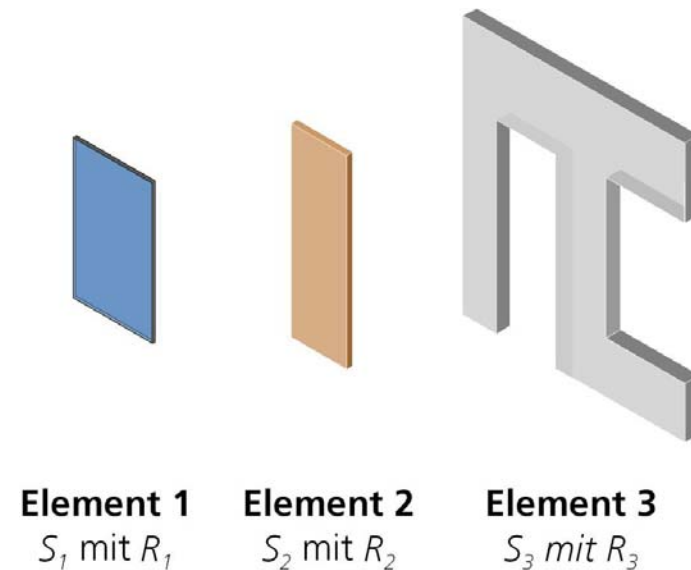
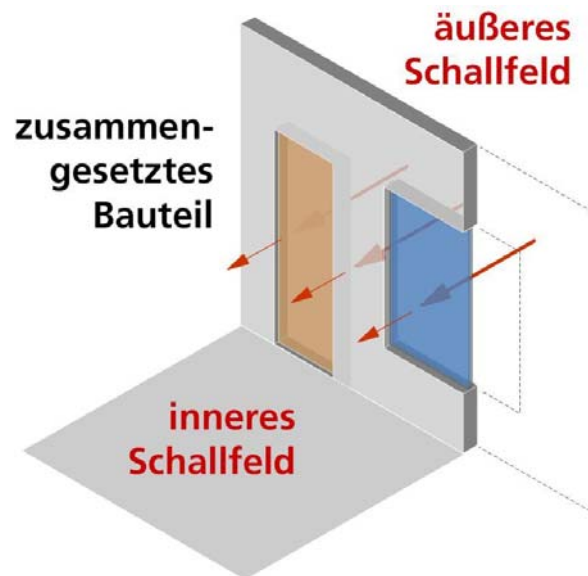


Schalldämmlüfter (Quelle: Siegenia)

Resultierendes Schalldämm-Maß $R_{w,res}$

Schalldämmung zusammengesetzter Bauteile

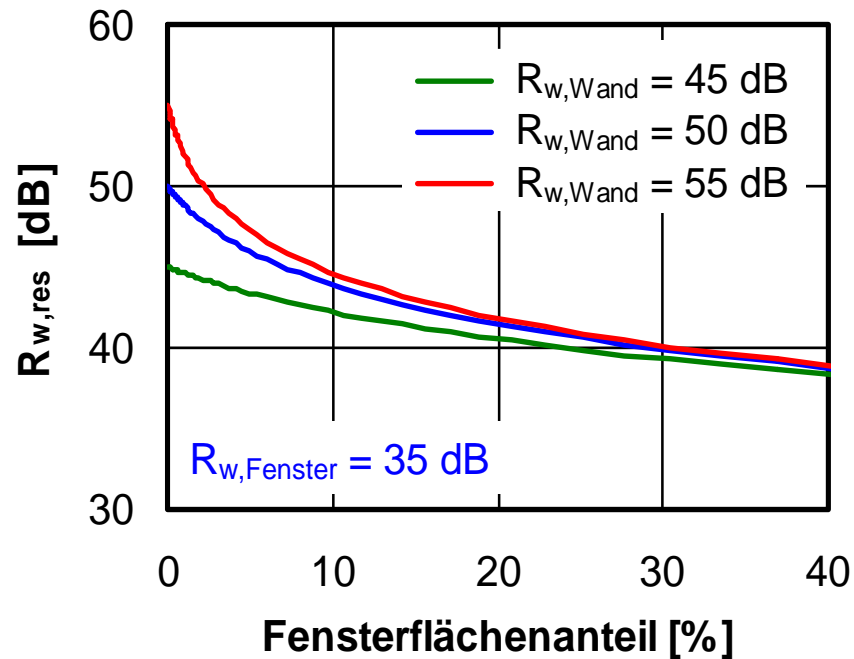
z. B. Mauerwerk, Fenster, Türen, Rolladenkästen, Lüftungsöffnungen, ...



$$R_{w,res} = -10 \lg \left(\frac{1}{S_{ges}} \sum_{i=1}^n S_i 10^{-R_{w,i} / 10 \text{ dB}} \right) \text{ dB}$$

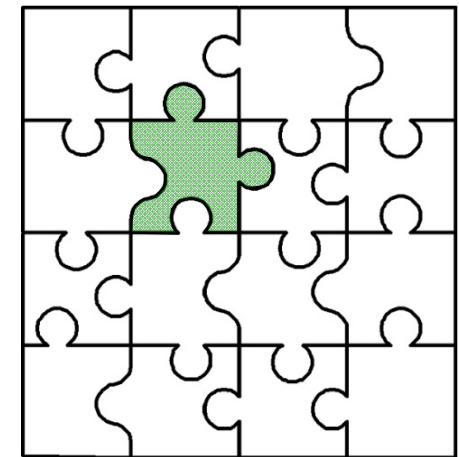
Beispiel für das resultierende Schalldämm-Maß

Wand mit Fenster



- $R_{w,min} \leq R_{w,res} \leq R_{w,max}$
- Die resultierende Schalldämmung wird zumeist durch die Fenster bestimmt
- Der Einfluss von Dämmsystemen auf den Schallschutz ist zumeist nur gering

Besteht die Wand aus Einzelteilen, wird der Schall sie rasch durchheilen. Er durchdringt das schwächste Glied, der Rest macht keinen Unterschied.



Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Akustische Grundlagen
- 3 **Spektrum-Anpassungswerte**
- 4 Schallschutzanforderungen an Außenbauteile
- 5 Fenster und Verglasungen
- 6 Lüftung und Schallschutz
- 7 Hinweise für die Praxis

Plant man mit Normen nur allein,
wird der Schallschutz dürrtig sein.
Nur der Erfahrung weites Feld
den Lärm in seinen Schranken hält.



Spektrum-Anpassungswerte

Bewertetes Schalldämm-Maß bei Außenbauteilen problematisch

- Eingeschränkter Frequenzbereich (100 bis 3150 Hz) klammert maßgebende Geräuschanteile aus
- Bezugskurve auf Wohn- und nicht auf Außengeräusche zugeschnitten

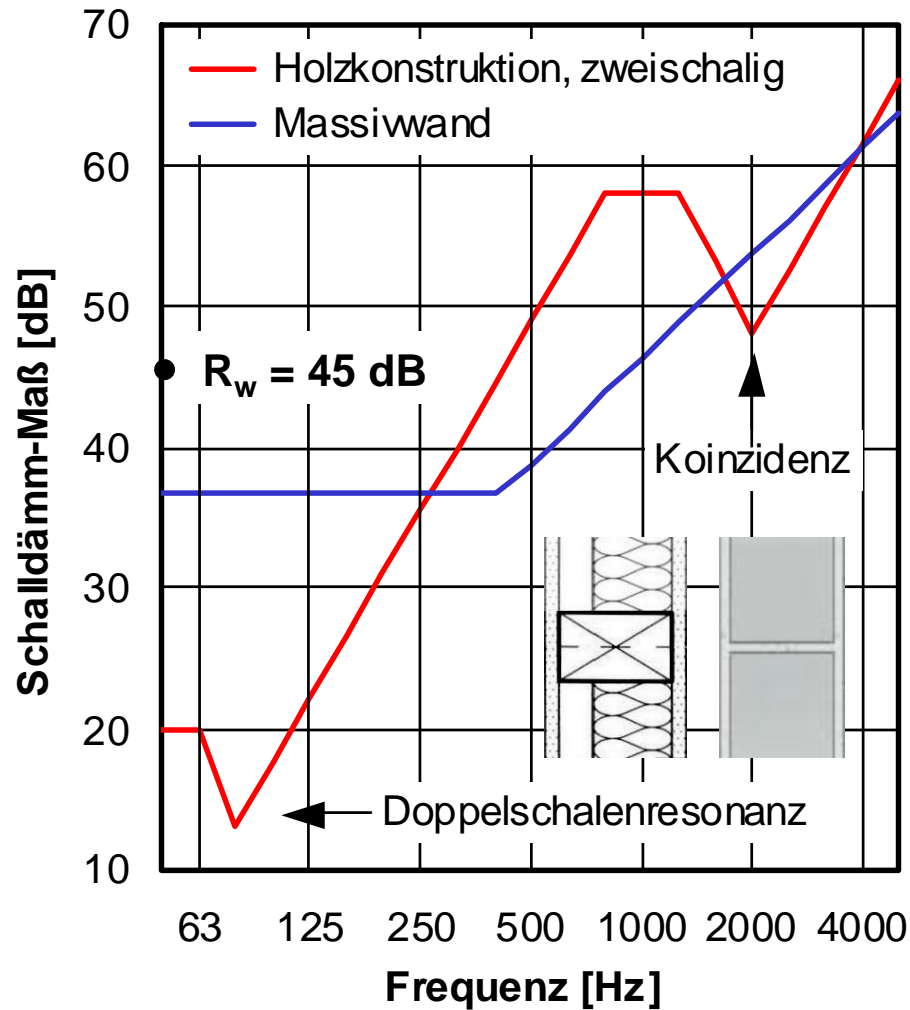
"tr" = traffic, 50 bis 5000 Hz

Problembehebung: z. B. durch den Spektrum-Anpassungswert $C_{tr,50-5000}$

- Normalerweise gilt immer $C_{tr,50-5000} < 0$
 - Für Außenbauteile bei Verkehrslärm ist statt R_w die Summe $(R_w + C_{tr,50-5000})$ heranzuziehen *
- * Obgleich schon 1997 international genormt, werden Spektrum-Anpassungswerte bislang weder in DIN 4109 noch in VDI 4100 berücksichtigt

Anwendungsbeispiel für C_{tr}

Beispiel: Außenwand in Massiv- und Leichtbauweise



	Massiv	Leichtbau
R_w	45	45
$R_w + C_{tr,50-5000}$	42	31

- Die Schallschutzwirkung leichter mehrschaliger Außenbauteile wird durch R_w erheblich überschätzt
- Bei Fenstern liegt $C_{tr,50-5000}$ im Mittel bei etwa -7 dB (Wertebereich -3 bis -11 dB)
- Bei Verkehrslärm sollte daher stets $R_w + C_{tr,50-5000}$ herangezogen werden

Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Akustische Grundlagen
- 3 Spektrum-Anpassungswerte
- 4 **Schallschutzanforderungen an Außenbauteile**
- 5 Fenster und Verglasungen
- 6 Lüftung und Schallschutz
- 7 Hinweise für die Praxis

Erquicklich ist die Mittagsruh,
nur kommt man oftmals nicht dazu.

Wilhelm Busch



Schallschutznormen

DIN 4109 (Nov. 1989)

- Legt Mindestanforderungen zum Schutz vor "unzumutbaren Belästigungen" fest
- Bauaufsichtlich eingeführt und damit rechtlich verbindlich
- Gilt nur für schutzbedürftige Räume (Wohn-, Schlaf- und Arbeitsräume)

VDI 4100 (Okt. 2012)

- Enthält Empfehlungen und Schallschutzstufen für den Wohnungsbau
- Muss privatrechtlich vereinbart werden

Vergleich VDI 4100 und DIN 4109

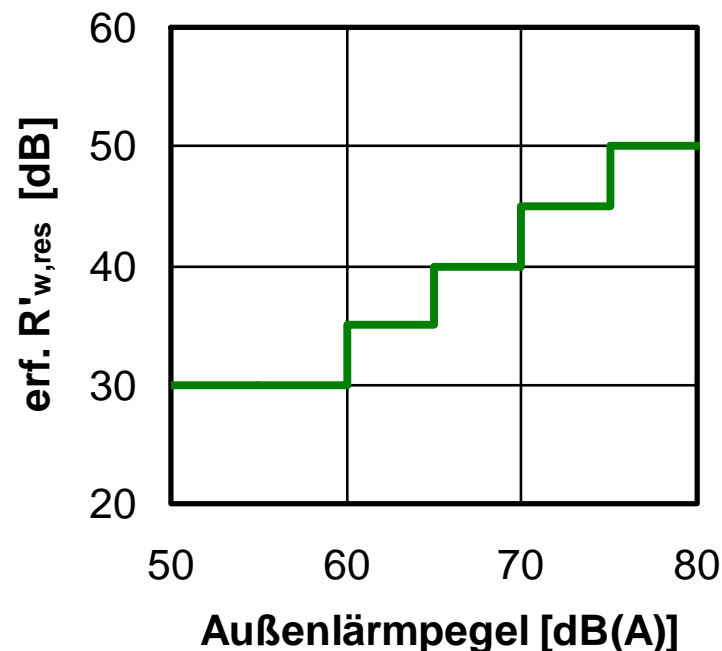
Schallschutz- stufe VDI 4100	Anforderung $R'_{w,res}$ [dB]
SSt I + SSt II	wie DIN 4109
SSt III	DIN 4109 + 5 dB



Schallschutzanforderungen nach DIN 4109

- Die Anforderungen beziehen sich auf das resultierende Schalldämm-Maß der Außenfläche $R'_{w,res}$
- Sie hängen vom maßgeblichen Außenlärmpegel vor der Fassade ab

Anforderungen nach DIN 4109 (für Wohnräume) *

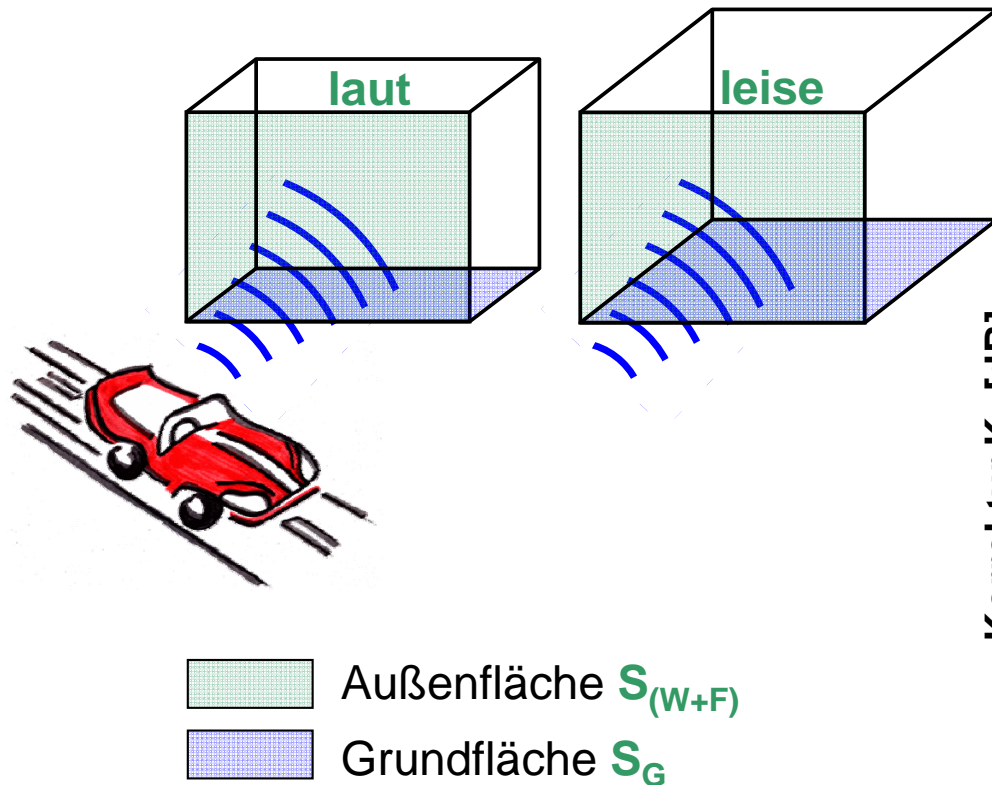


Die Anforderungen sind so ausgelegt, dass unabhängig vom Außenlärm ein Innenpegel von ca. 30 dB(A) nicht überschritten wird

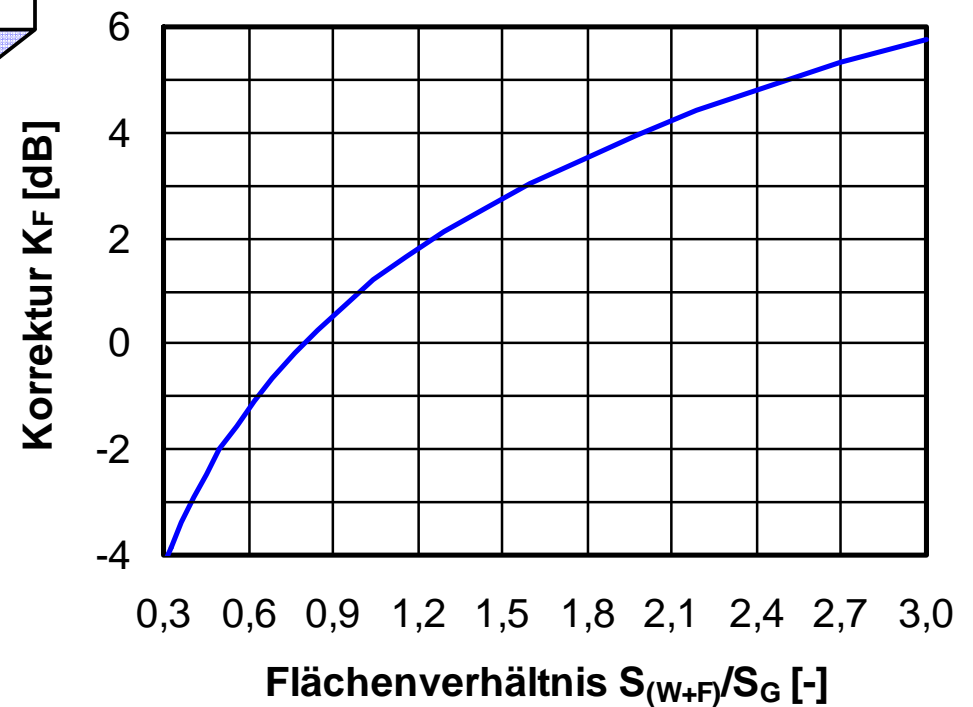
* oberhalb von 80 dB(A): Festlegung der Anforderungen nach den örtlichen Gegebenheiten

Schallschutzanforderungen nach DIN 4109

- Der Schallpegel in Räumen hängt neben der Schalldämmung der Außenwand auch vom Verhältnis von Außenfläche zu Grundfläche ab
- Daher ist zu den Anforderungen eine entsprechende Korrektur zu K_F zu addieren



$$K_F = \left[10 \lg \left(\frac{S_{(W+F)}}{S_G} \right) + 1 \right] \text{ dB}$$

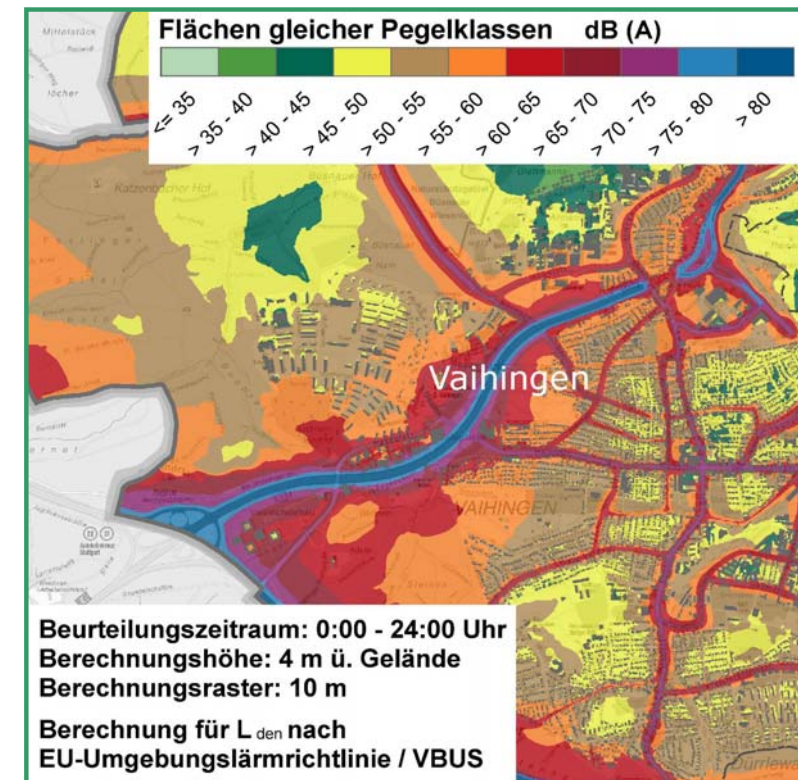


Maßgeblicher Außenlärmpegel

- Der maßgebliche Außenlärmpegel L_a ist – vereinfacht gesprochen – der mittlere Lärmpegel, der tagsüber (06.00 - 22.00 Uhr) auf die Fassade einwirkt
- Die Ermittlung von L_a erfolgt in der Regel rechnerisch
- Bei mehreren verschiedenen Lärmquellen (z. B. Straßen- und Schienenverkehr) werden die Anteile der Quellen einzeln berechnet und energetisch addiert

Lärmkarten nach EU-Umgebungslärmrichtlinie lassen sich NICHT ohne weiteres nutzen:

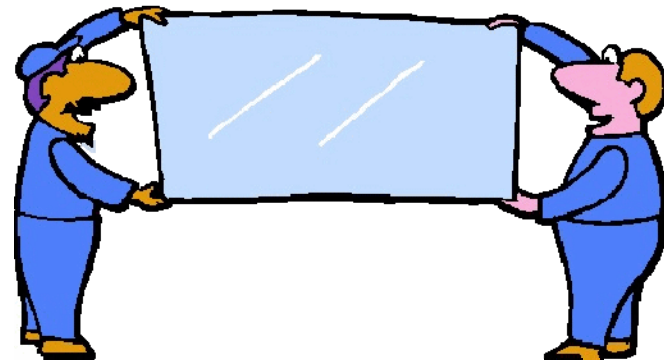
- Der EU-Lärmindeks L_{den} ist nicht identisch mit dem maßgeblichen Außenlärmpegel
- Die Karten enthalten jeweils nur eine Lärmart
- Oft sind nur Straßen mit mehr als 3 Mio Kfz / Jahr (= ca. 8.200 Kfz / Tag) berücksichtigt



Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Akustische Grundlagen
- 3 Spektrum-Anpassungswerte
- 4 Schallschutzanforderungen an Außenbauteile
- 5 **Fenster und Verglasungen**
- 6 Lüftung und Schallschutz
- 7 Hinweise für die Praxis

Der Glaser baut ein Fenster ein,
der Schall dringt trotzdem noch herein.



Schalldämmung von Verglasungen

Doppelschalenresonanz

$$f_r = 1200 \sqrt{\frac{1}{SZR} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \text{ Hz}$$

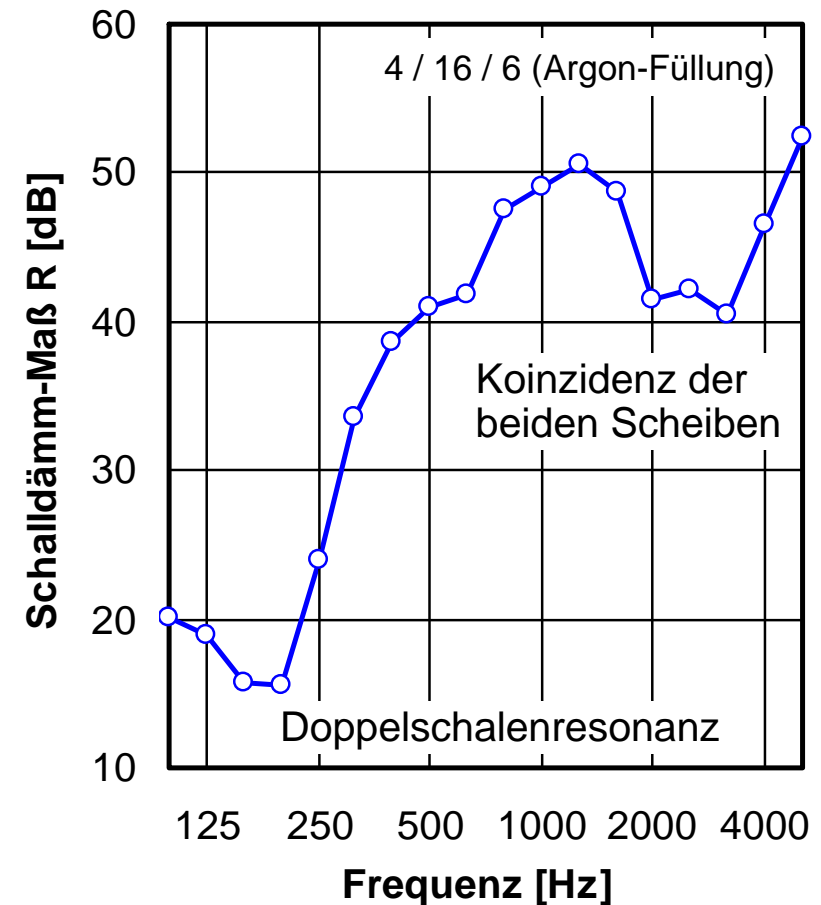
SZR Scheibenzwischenraum in mm

d_1, d_2 Dicken der Scheiben in mm

Koinzidenz-Frequenz

$$f_g \cong \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

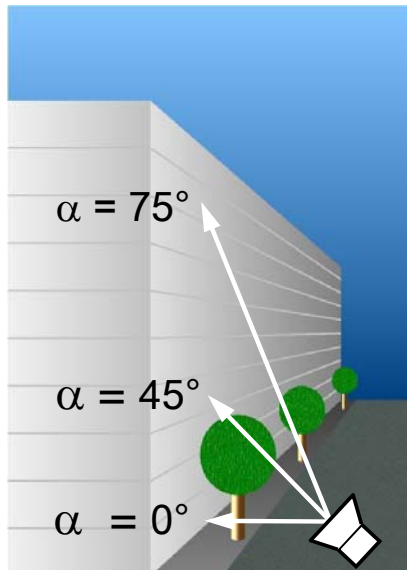
d Dicke der Scheibe in mm



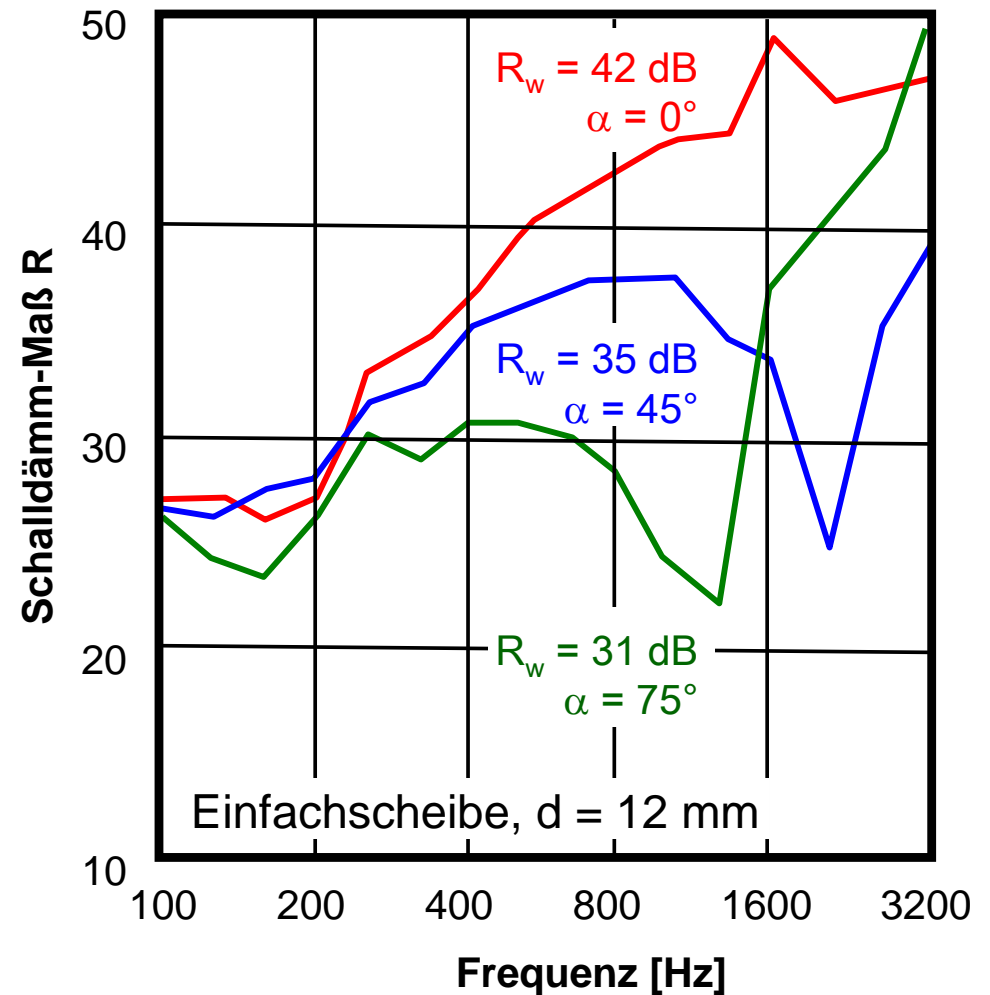
$$R_w = 37 \text{ dB}, C_{tr} = -9 \text{ dB}$$

Einfluss des Schalleinfallswinkels

Diffuses Schallfeld im Labor, gerichteter Schalleinfall am Bau

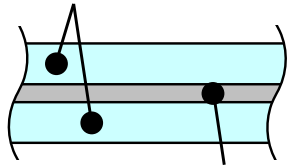


- Die Schalldämmung bei $\alpha = 45^\circ$ entspricht etwa dem Wert im Diffusfeld
- Für $\alpha > 45^\circ$ (d. h. bei flachem Schalleinfall) erfolgt eine starke Abnahme der Dämmung



Verbundsicherheitsglas (VSG)

Glasscheibe

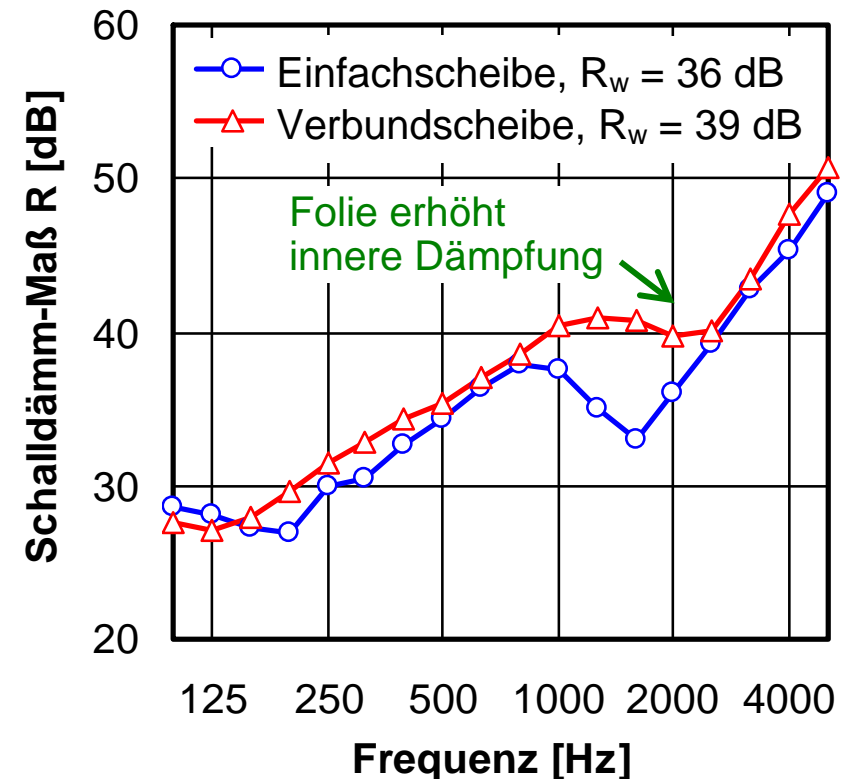


transp. Folie ($d = 0,38$ oder $0,76$ mm)

Folientypen






- PVB – Polyvinylbutyral
- SI / SC – akustisch optimierte PVB-Folien
- EVA – Ethylenvinylacetat
- GH – Gießharz (kaum noch verwendet)

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

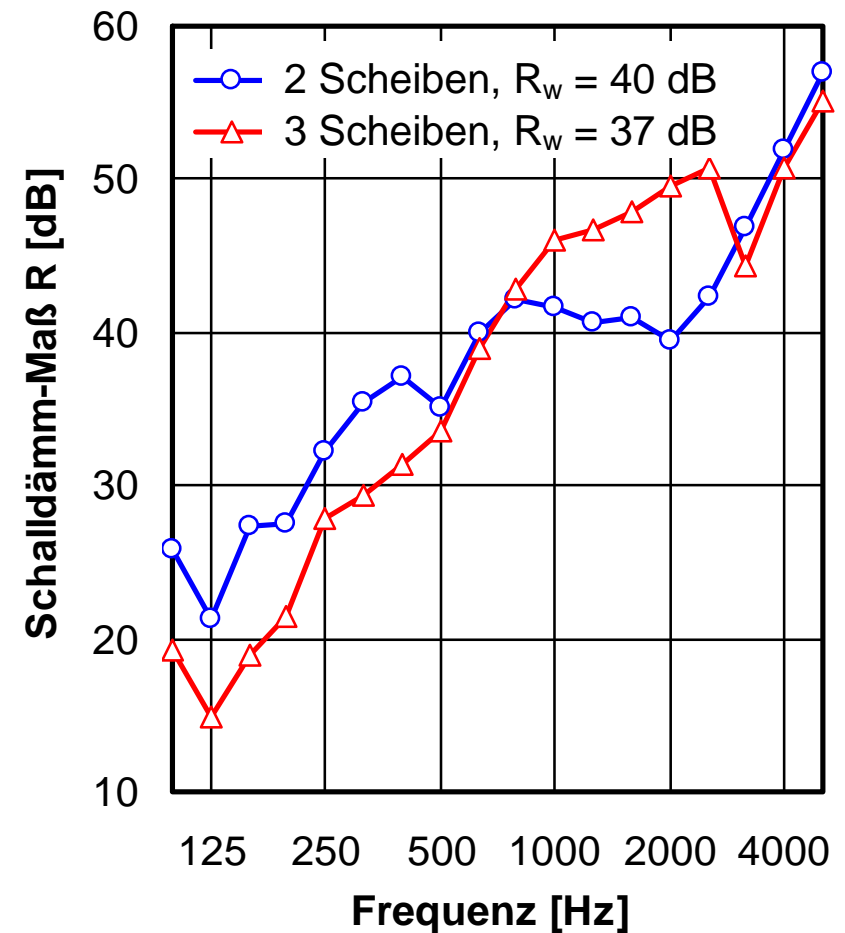


Dreischeiben-Isolierglas

Vergleich Zwei- und Dreifachverglasung (mit jeweils gleicher Masse)

	10		8
16 mm (Argon)		12 mm (Argon)	
	6		4
		12 mm (Argon)	
			4
$d_{\text{ges}} = 32 \text{ mm}$		$d_{\text{ges}} = 40 \text{ mm}$	
$U \cong 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U \cong 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	
$R_w = 40 \text{ dB}$		$R_w = 37 \text{ dB}$	
$R_w + C_{\text{tr}} = 35 \text{ dB}$		$R_w + C_{\text{tr}} = 30 \text{ dB}$	

Drei Scheiben, vier oder noch mehr,
dem Glaser fällt das Heben schwer.
Was vor dem Verlust von Wärme schützt,
beim Schall jedoch nur wenig nützt.



Worauf es bei Fenstern ankommt

- 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 (im Gegensatz zur Werbung spielt der verwendete Montageschaum dabei akustisch keine Rolle)

Der Schallschutz mit Montageschaum ist akustisch nur ein Traum...

Fenster offen



$R_w = 30 \text{ dB}$



Fenster geschlossen

$R_w = 35 \text{ dB}$



$R_w = 40 \text{ dB}$



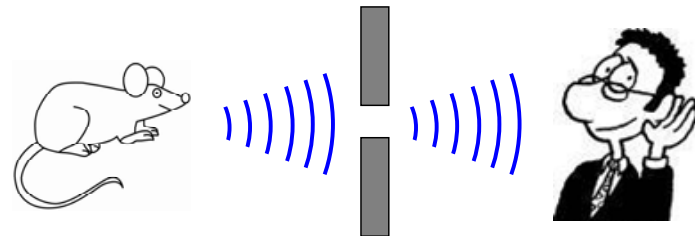
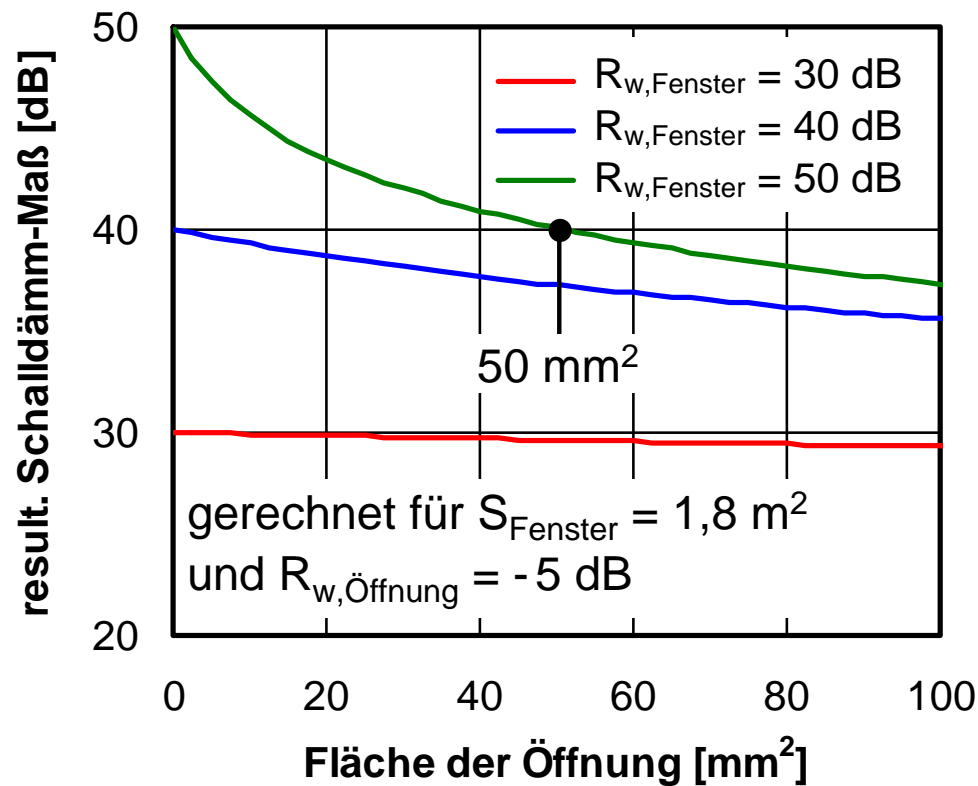
$R_w = 45 \text{ dB}$



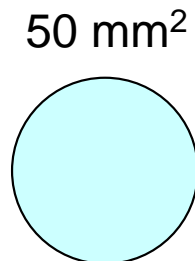
Quelle: aluplast

Einfluss von Undichtigkeiten

- Aufgrund von Resonanzeffekten übertragen kleine Öffnungen mehr Schall als auf sie auftrifft, d. h. es gilt $R_{w, \text{Öffnung}} < 0$
- Daher beeinträchtigen selbst geringe Undichtigkeiten die Schalldämmung von Fenstern in starkem Maße



Kann man durch die Wände kicken, hört man auch die Mäuse quieken!



Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Akustische Grundlagen
- 3 Spektrum-Anpassungswerte
- 4 Schallschutzanforderungen an Außenbauteile
- 5 Fenster und Verglasungen
- 6 **Lüftung und Schallschutz**
- 7 Hinweise für die Praxis

Ein Problem für Häuslebauer ist der Schimmel auf der Mauer. Hilfreich ist hier ohne Frage eine RLT-Anlage. Doch leider führt die Luftbewegung immer auch zur Schallerregung.



Lüftungseinrichtungen

- große Bandbreite verschiedener Konstruktionen, sowohl mit als auch ohne Lüfter
- $30 \text{ dB} \leq D_{n,e,w} \leq 55 \text{ dB}$
- Geräuschpegel des Lüfters ca. 20 – 30 dB(A)

Schalldämmlüfter



Quelle: Lunos

Aufsatzsystem



Quelle: Renson

Rolladenkasten



Quelle: Renson

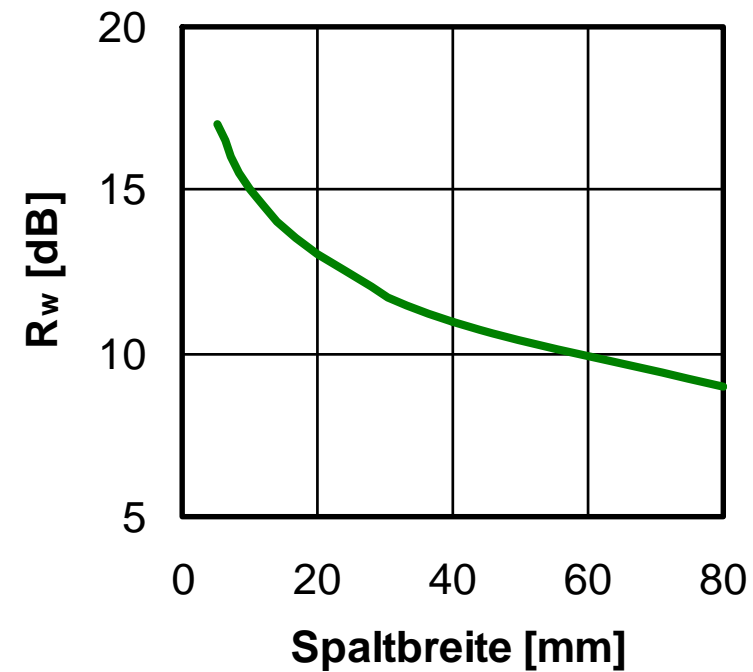
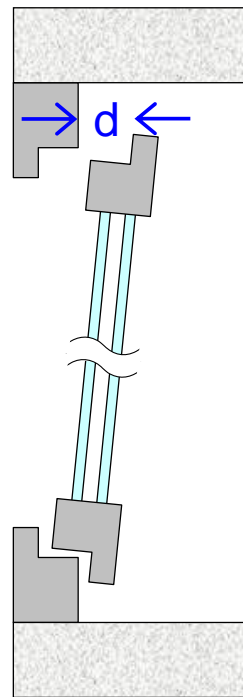
Fensterlüftung

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

Problem: bei geöffnetem Fenster geht der Schallschutz weitgehend verloren.

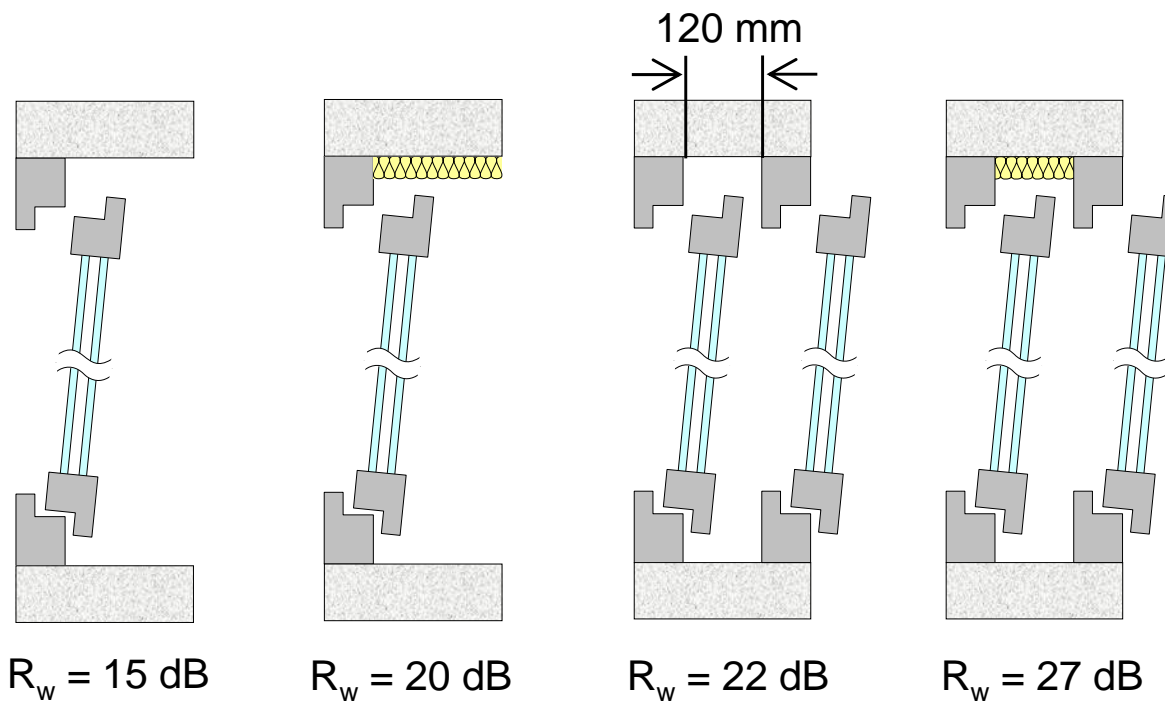
Fensterstellung:	geschlossen	geöffnet	gekippt
R_w [dB]:	35	0	ca. 10

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



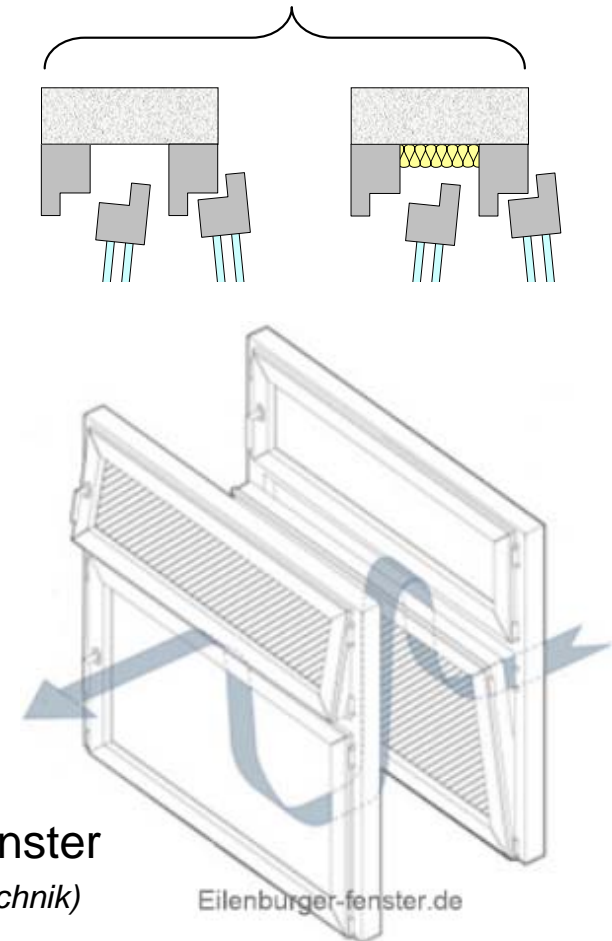
Optimierung der Fensterlüftung

- Aufbau:
- 40 mm Spaltbreite in Kippstellung
 - Geschlossenes Fenster: $R_w = 35$ bzw. 55 dB



Messdaten: Lärmkontor GmbH, Hamburg

Prinzip HafenCity-Fenster

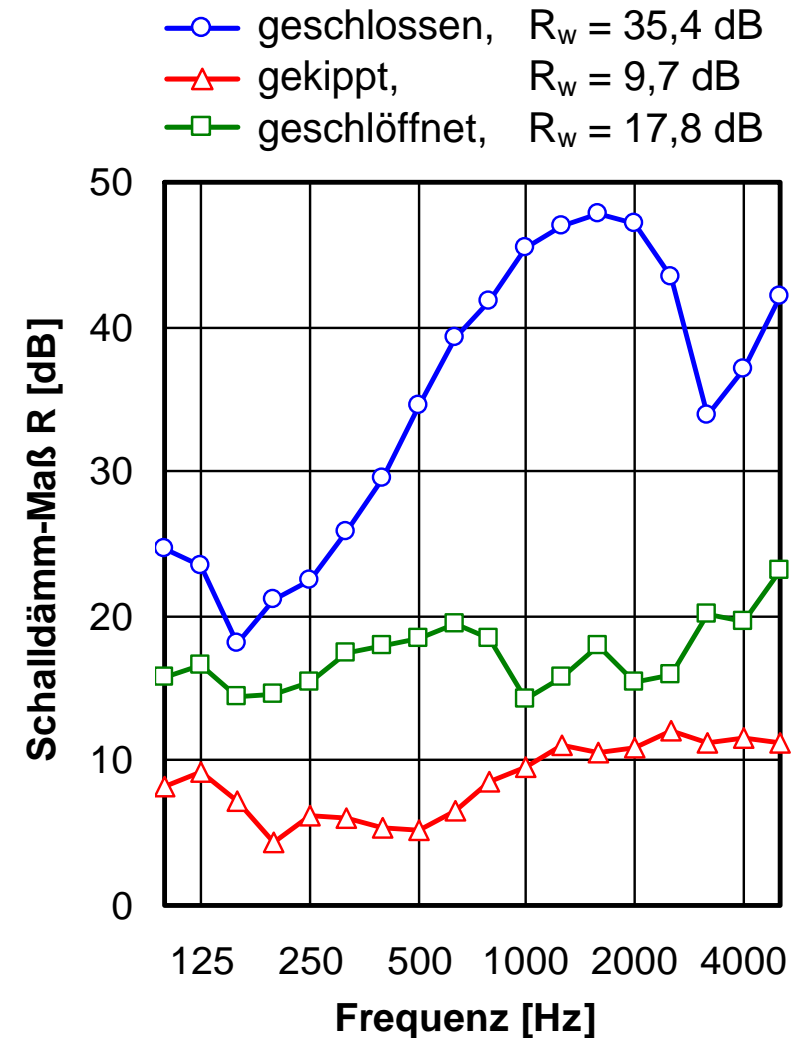


Reales HafenCity-Fenster

(Quelle: Eilenburger Fenstertechnik)

Parallelabstellung

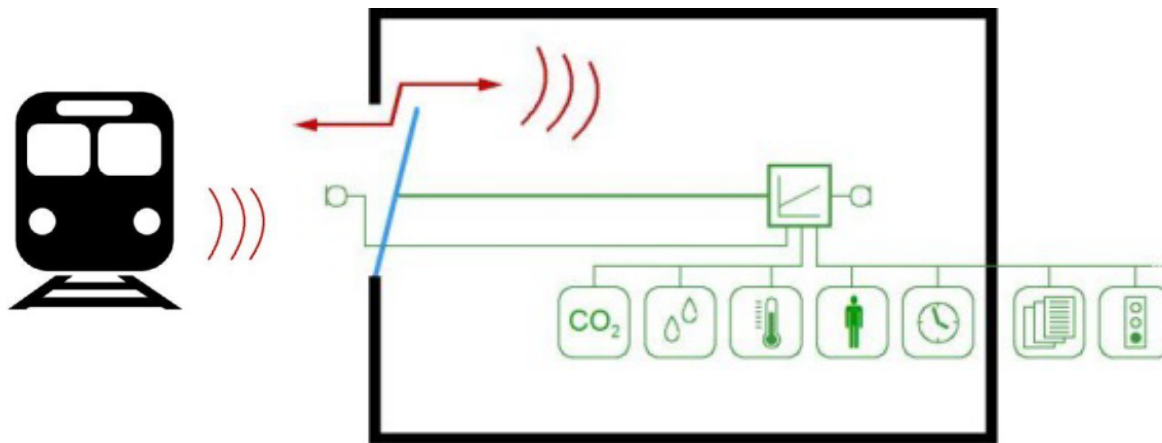
Neue Drehkippbeschläge mit Parallelabstellung ermöglichen Dauerlüftung und verbessern den Schallschutz



Automatisches Öffnen und Schließen

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:

- kurzzeitige Geräuschspitzen
- Eigengeräusche des Antriebs
- Anpassung an individuelle Nutzerbedürfnisse
- Geräusche innerhalb des Raums

Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Akustische Grundlagen
- 3 Spektrum-Anpassungswerte
- 4 Schallschutzanforderungen an Außenbauteile
- 5 Fenster und Verglasungen
- 6 Lüftung und Schallschutz
- 7 **Hinweise für die Praxis**

In des Bauens kurzer Frist
man so manches leicht vergisst.
Mit Listen kann es besser gehen,
der Schall soll dort ganz oben stehen.



Schallschutzhinweise für Außenbauteile

- Die Schallschutzanforderungen an Außenbauteile orientieren sich am maßgeblichen Außenlärmpegel und beziehen sich auf das resultierende Schalldämm-Maß aller vorhandenen Bauelemente.
- Maßgebend ist zumeist das Element mit der niedrigsten Schalldämmung. In der Regel sind dies die Fenster (einschließlich Rolladenkästen) sowie ggf. vorhandene Lüftungseinrichtungen. Dämmsysteme haben dagegen zumeist nur geringen Einfluss.
- Das bewertete Schalldämm-Maß R_w ist für Außenbauteile oft kein geeigneter Bewertungsmaßstab. Wenn tieffrequente Geräuschanteile vorhanden sind, sollte außerdem auch der Spektrum-Anpassungswert $C_{tr,50-5000}$ herangezogen werden.

Ist der Schallschutz einwandfrei,
bleibt Lärm vom Nachbarn einerlei.
Wie man die Schallausbreitung stört,
haben Sie jetzt hier gehört.
Damit sind Sie nun im Bilde
und Mitglied der Akustik-Gilde.