Grundlagen Schallschutz

Frequenz (f) – Hertz (Hz)

Die Frequenz gibt die Zahl der Schwingungen je Sekunde an. Hohe, schrille Töne haben eine hohe Frequenz (= viele Schwingungen), tiefe, brummende Töne haben eine niedrige Frequenz (= wenige Schwingungen). Die Maßeinheit der Frequenz ist „Hertz", wobei 1 Hertz = 1 Schwingung je Sekunde ist.
Im Bauwesen wird der Frequenzbereich von 100 Hz bis 3200 Hz berücksichtigt. Das menschliche Ohr kann im günstigsten Fall zwischen 16 und 16 000 Hz wahrnehmen.

Schalldruck

Der Schalldruck bestimmt die Lautstärke einer gehörten Wahrnehmung und wird in „bar" gemessen. Der Schalldruck ist dem normalen atmosphärischen Druck überlagert.
Jedem Ton ist durch rein physikalische Messung ein bestimmter Schalldruck und somit eine bestimmte Lautheit zuzuordnen. Die Messungen haben ergeben, daß das menschliche Hörempfinden nicht der objektiven physikalischen Messung entspricht.
Daraus ergibt sich zum Beispiel, daß ein Ton von 100 Hz mit dem Schallpegel p_1 und ein Ton von 1000 Hz mit dem Schallpegel p_1 vom Ohr nicht als gleich laut wahrgenommen wird. Der Ton mit 100 Hz wird als leiser empfunden.

Bar

Maß-Einheit für den Schalldruck. Die gebräuchliche Einheit ist das „Mikrobar" = 1 millionstel Bar; es entspricht einem Luftdruck von 10^{-3} Gramm pro cm.

Lautstärke

Maß der Schallempfindung des menschlichen Ohres. Früher wurde zu ihrer Messung die Einheit „phon" benutzt. Die empfundene Lautstärke ist abhängig vom Schalldruck und von der Frequenz. Für einen Ton von 1000 Hertz stimmen die „phon"-Werte mit den „dB(A)"-Werten überein; bei den anderen Tonfrequenzen gibt es Abweichungen. Die Maßeinheit „phon" ist durch ihre Definition gänzlich dem menschlichen Gehör angepaßt. (Ein Ton von 200 Hz hat eine Lautstärke von 70 phon, wenn er ebenso laut erscheint wie ein 1000-Hz-Ton von 70 dB(A). Die Einheit „dB(A)" wird durch ein elektronisches Filter realisiert, das den Schallpegel annähernd genauso bewertet wie das menschliche Ohr.

Für das menschliche Ohr sind eine Steigerung um 10 dB(A) eine Verdoppelung der Lautheit, z.B. 50 dB(A) empfindet man doppelt so laut wie 40 dB(A).

Einer internationalen Empfehlung entsprechend, wird in steigendem Maße der „A"- bewertete Schallpegel (in dBA) ermittelt und angegeben, da festgestellt wurde, daß dieser gut geeignet ist, die Wirkung von Lärm auf den Menschen hinsichtlich Lautstärke und Lästigkeit zu beschreiben.

Bewertetes Schalldämm-Maß: Bewertung nach der Sollkurve A unter Berücksichtigung des Gehörempfindens (praxisnaher Wert).

Lautstärke (dB[A]=Dezibel/A= Schallpegel

Die Lautstärke wird in dB(A) und nicht mehr in Phon angegeben, da sich die Bezeichnung Phon international nicht durchsetzen konnte. Der A-Schallpegel L ist der mit der Bewertungskurve A nach DIN 45 633, Blatt 1, bewertete Schallpegel. Er ist ein Maß für die Stärke eines Geräusches und wird ebenfalls in dB(A) angegeben.

dB

Kurzzeichen für „Dezibel"; 1 dB = $\frac{1}{10}$ Bel (das BEL wurde nach Graham Bell, dem Erfinder des elektromagnetischen Telefons benannt); es ist eine dimensionslose Einheit von logarithmierten physikalischen Größen, die dann als „Pegel" bezeichnet werden. In der Schalltechnik werden insbesondere Luft- und Körperschallpegel in dB angegeben.

Phon

Maß für die Lautstärke. Bei 1000 Hz entspricht die Phon-Skala dem Dezibel-Maßstab. Bei höheren und tieferen Frequenzen treten erhebliche Abweichungen auf, entsprechend der Hör- bzw. Schmerzwelle des Ohres. Null Phon sind bei 1000 Hz ... null dB; bei 50 Hz entsprechend null Phon etwa 55 dB.

Schalldämmaß R (Luftschalldämmung)

Die Luftschalldämmung vermindert den Schalldurchgang durch eine Trennfläche, z.B. ein Fenster. Sie wird durch das Schalldämm-Maß „R" gekennzeichnet.

Schalldämmaß R

R = Schalldämmaß des jeweiligen Elementes. R ist nicht direkt meßbar und nicht errechenbar. R wird ermittelt durch die Differenz von Lärmpegel außen minus Lärmpegel innen, minus des Schallschluckvermögens K.

D = Pegeldifferenz von außen zu innen.

$D = L_{Aa} - L_{Ai}$

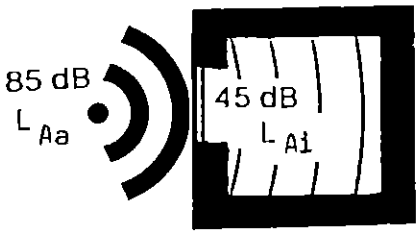
Erläuterung:
Bei einer Angabe **R (Schalldämmaß)** ist das Schallschluckvermögen des jeweiligen Raumes nicht berücksichtigt. R ist frei vom jeweiligen Raum mit anderen Bauteilen vergleichbar.

Das Schalldämmaß R von dem äußeren Lärmpegel abgezogen ergibt nicht den inneren Lärmpegel eines Raumes, dieser ist um das Schallschluckvermögen des Raumes K niedriger.

Beispiel:

Lärmpegel	außen	= 70 dB
Schalldämmung	R	= 30 dB
Raumkennzahl	K	5 dB
Lärmpegel innen	= La – R – K	
	= 70–30–5 = 35 dB	

Die Schalldämmung R ist ein gemessener Wert in Prüfräumen ohne Flankenübertragung.
Die Schalldämmung R' ist ein gemessener Wert auf dem Bau mit allen Nebenübertragungswegen, aber auch in Prüfständen mit „bauähnlichen Flankenübertragungen". Hier können u.U. große Differenzen liegen, z.B. wenn irgend ein Bauteil fehlerhaft ist. Wie ein Lärmpegel kann die Schalldämmung R auch mit einer Zahl angegeben werden.



Schalldämmaß R:
Lärmpegel außen = 85 dB
Lärmpegel innen = 45 dB
Pegeldifferenz D = 40 dB

Schalldämmaß, bewertetes R_w (in dB)

Um zu einer den Verlauf des Schalldämmaßes R über der Frequenz kennzeichnenden Einzahlangabe zu gelangen, wird das bewertete Schalldämmaß gebildet. Seine Ermittlung erfolgt wie diejenige des Luftschallschutzmaßes LSM, jedoch um + 52 dB verschoben, so daß negative Werte ausgeschlossen werden und ein direkter Vergleich mit der subjektiven Beurteilung des bewerteten Schalldämm-Maßes möglich wird.

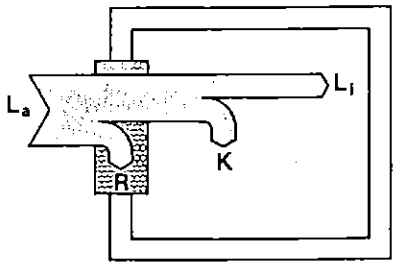
Der bewertete Schallpegel wird durch „Bewertung" mit international festgelegten Filterkurven, die die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für die verschiedenen Frequenzen grob nachbilden, erhalten. Zur Messung des „bewerteten" Schallpegels dient ein Schallpegelmesser (Phonometer), in dem die Bewertungskurven (Frequenzfilter) A, B, C, vereinzelt auch D, eingebaut sind. Die erhaltenen Meßwerte werden unter der Bezeichnung dB(A), dB(B) usw. angegeben. Wird der Schallpegel in einzelnen Oktav- oder Terzbändern gemessen, also in Abhängigkeit von der Frequenz, so bezeichnet man das Ergebnis als „Frequenz-Analyse" (Oktav- oder Terz-Analyse) des Schallpegels.

Schalldämmaß, mittleres R_m (in dB)

Arithmetischer Mittelwert aller Werte von R über der Frequenz (zur exakten Bildung von R_m (DIN 52 210).

Schallschutz in der Praxis

Von dem gesamten Lärmpegel La, der außen vor einem Raum herrscht, ist nur ein Teil, nämlich der Lärmpegel Li für den Bewohner des Raumes wahrnehmbar.
Der Lärmpegel außen wird vermindert um die Schalldämmung R des jeweiligen Bauelements und das jedem Raum eigene Schallschluckvermögen K.
La = Lärmpegel außen (direkt mit Meßgeräten feststellbar).
Li = Lärmpegel innen (direkt mit Meßgeräten feststellbar).
K = Schallschluckvermögen des jeweiligen Raumes (Absorption).



LSM Luftschutzmaß
(früher üblich)

Das Luftschallschutzmaß gibt die mögliche Parallelverschiebung der Soll-Kurve nach DIN 4109 gegenüber der gemessenen Kurve für die Schalldämm-Maße R unter Berücksichtigung der noch zulässigen Abweichung an.

Lärmemission

Ausgehender Lärm

Lärmimmission

Ankommender Lärm

sone

Maß für Lautheit, das angibt, in welchem Verhältnis Phonzahlen zueinander stehen, z.B. eine Zunahme von je 10 phon oder dB(A) entspricht einer Verdoppelung, eine Abnahme von 10 phon entspricht einer Halbierung der Lautheit. 120 phon werden z.B. 256mal lauter als 40 phon wahrgenommen.

phon	40	50	60	70	80	90	100	110	120
sone	1,00	2,00	4,00	8,00	16,0	32,0	64,0	128,0	256,0

Beispiele von Geräuschen Luftschallschutzmaß

Geräusche unter 20 dB (A) kommen in der Natur kaum vor (Unbehagen)

20 dB (A)	Ticken einer leisen Uhr	sehr leise
30 dB (A)	Flüstern	leise
40 dB (A)	mittlere Wohngeräusche	
50 dB (A)	Unterhaltungssprache	normal
60 dB (A)	Bürolärm	
70 dB (A)	PKW (5m)	laut
80 dB (A)	Straßenlärm	
90 dB (A)	Fabriksaal	sehr laut
100 dB (A)	Autohupe (7m)	
120 dB (A)	Flugzeug	unerträglich

Innengeräuschpegel

Anhaltspunkte für anzustrebende Innenpegel L (Gültig nur für von außen in Aufenthaltsräume eindringenden Schall) aus VDI 2719

	Raumart	Mittelungspegel L_m [1])*) dB (A)	mittlere Maximalpegel (L_1) dB (A)
1	Schlafräume nachts[□])		
1.1	in reinen und allgmeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	25 bis 30	35 bis 40
1.2	in allen übrigen Gebieten	30 bis 35	40 bis 45
2	Wohnräume tagsüber[□])		
2.1	in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	30 bis 35	40 bis 45
2.2	in allen übrigen Gebieten	35 bis 40	45 bis 50
3	Kommunikations- und Arbeitsräume, tagsüber		
3.1	Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliorheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Kirchen, Aulen	30 bis 40	40 bis 50
3.2	Büros für mehrere Personen	35 bis 45	45 bis 55
3.3	Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden	40 bis 50	50 bis 60

*) Für Flugverkehrsgeräusche äquivalenter Dauerschallpegel.

[1]) Ist $L_m < L_1 - 10$ dB, so ist bei der Ermittlung der Schallschutzklasse von L_1 auszugehen.

[□]) Hierbei ist von der lautesten Nachtstunde zwischen 22.00 und 6.00 Uhr auszugehen; sie ist weitgehend von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Da in der lautesten Nachtstunde erfahrungsgemäß der Mittelungspegel um etwa 5 dB unter dem am Tag herrschenden Wert liegt, sind die Anforderungen (Schallschutzklassen) für die Raumarten 1 und 2 gleich.

Außengeräuschpegel

Für die Festlegung der erforderlichen Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegenüber Außenlärm werden – nach Tabelle 1 – verschiedene Lärmpegelbereiche zugrunde gelegt, denen die jeweils vorhandenen oder zu erwartenden „maßgeblichen Außenlärmpegel" zuzuordnen sind.

Tabelle 1. Lärmpegelbereiche

Lärmpegelbereiche	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
„Maßgebliche Außenlärmpegel" [1]) in dB(A)	≤ 50	51 bis 55	56 bis 60	61 bis 65	66 bis 70	71 bis 75	76 bis 80	≥ 80

Der Außenlärmpegel kann durch Messungen über einen längeren Zeitraum ermittelt werden. In größeren Städten sowie Ballungsräumen haben derartige Messungen bereits stattgefunden; die Ergebnisse sind in **Lärmkarten als Lärmzonen** eingezeichnet.

Sofern für den Planungsbereich Messungen, oder Lärmkarten nicht bereitstehen, kann nach einer weiteren Tabelle aus der Verkehrsbelastung und der Zuordnung des Baukörpers zur Schallquelle der Lärmpegelbereich bestimmt werden. Mit diesen Unterlagen kann also der planende Architekt für den Normalfall bestimmen, mit welchem Lärmpegelbereich er die Planung der Außenwend, und insbesondere der Fenster durchführen muß (vereinfachte Methode).

Außengeräuschpegel

Überschlägige Abschätzung des vorhandenen oder zu erwartenden Straßenverkehrslärms und seine Zuordnung zu den Lärmpegelbereichen der Tabelle 1

Es muß darauf hingewiesen werden, daß erfahrungsgemäß z. T. grobe Fehler durch Fehleinordnung resultieren können.

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Verkehrsbelastung, tagsüber, beide Richtungen zusammen Fahrzeuge/Std.	Beispiele für die Zuordnung der Straßentypen zur Verkehrsbelastung (Fahrstreifen)[1]	Abstand des Immissionsortes von der Fahrbahnmitte[2] in m	Lärmpegelbereich
1	< 10	Wohnstraße	–	0
2.1 2.2 2.3 2.4	10 bis 50	Wohnstraße (2streifig)	> 35 26 bis 35 11 bis 25[3] ≦ 10[3]	0 I II III
3.1 3.2 3.3 3.4 3.5	> 50 bis 200	Wohnsammelstraße (2streifig)	> 100 36 bis 100 26 bis 35 11 bis 25[3] ≦ 10[3]	0 I II III IV
4.1 4.2 4.3 4.4	> 200 bis 1000	Landstraße im Ortsbereich (2streifig) Wohnsammelstraße (2streifig)	101 bis 300 36 bis 100 11 bis 35 ≦ 10	I II III IV
5.1 5.2 5.3 5.4		Landstraße außerhalb des Ortsbereichs (2streifig) Straßen in Industrie- und Gewerbegebieten (2streifig)	101 bis 300 36 bis 100 11 bis 35 ≦ 10	II III IV V
6.1 6.2 6.3	> 1000 bis 3000	Städtische Hauptverkehrsstraße (2streifig) Straßen in Industrie- und Gewerbegebieten (2streifig)	101 bis 300 36 bis 100 < 35	III IV V
7.1 7.2	> 3000 bis 5000	Autobahnzubringer und Hauptverkehrsstraßen (4- bis 6streifig) Autobahn (4- bis 6streifig)	> 101 bis 300 ≦ 100	IV V

[1] Ohne Berücksichtigung von Stand- und Parkstreifen. Zeile 2 gilt auch für Parkplätze mit geringem Zu- und Abgangsverkehr (z. B. öffentliche Parkplätze). Zeile 3 gilt auch für Parkplätze mit nicht nur geringen Zu- und Abgangsverkehr (z. B. öffentliche Parkplätze).

[2] Bei Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen ist die Mitte der nähergelegenen Fahrbahn zu berücksichtigen.

[3] Bei der Einstufung in die Lärmpegelbereiche nach Spalte 4 ist berücksichtigt, daß bei einer geringeren Verkehrsbelastung als 200 Fahrzeuge/Std. und einem geringeren Abstand des Immissionswertes von der Mitte der nächstgelegenen Fahrbahn als 25 m der mittlere Maximalpegel (1%-Pegel L_1) den äquivalenten Dauerschallpegel um mehr als 10 dB (A) übersteigt (siehe Abschnitt 2.2, Absatz 2 der Richtlinien).

Anmerkung:
Diese Tabelle ist in DIN 4109 (11.89) durch Bild 1 (Seite 15) „Nomogramm zur Ermittlung des 'maßgeblichen Außenlärmpegels' vor Hausfassaden für typische Straßenverkehrssituationen" ersetzt.

Aktiver Lärmschutz

Lärmdämmung am Entstehungsort wird in der Praxis als „Aktiver Lärmschutz" bezeichnet. Mit verhältnismäßig hohem Aufwand wurde dieser Schallschutz an der Quelle in den letzten Jahren zwar verstärkt; es ist jedoch deutlich zu erkennen, daß es hierbei Grenzen gibt.

Bezieht man den allgemeinen Schallschutz auf das Ruhebedürfnis des Menschen innerhalb ihrer Gebäude, so erschöpft sich der aktive Schallschutz auf solche Maßnahmen, die jegliche Lärmminderung außerhalb der gebäudeumhüllenden Flächen bewirken soll.

Passiver Lärmschutz

Da die aktiven Schallschutz-Maßnahmen keine umfassende Lösung der notwendigen Lärmbekämpfung ergeben, werden sich die Aufgaben auf passive Maßnahmen konzentrieren. Jener Lärm, der für die Aufrechterhaltung unseres Leben-Standards erforderlich ist, muß somit unter anderem durch bauliche Maßnahmen zur Dämmung gegenüber dem unabänderlichen Lärm von draußen gemindert werden.

Beim passiven Schallschutz werden folgende Planungsgrundsätze angewendet:

a) Wie laut ist vor der betreffenden Außenwand (Feststellung des Mittelungs-Pegels in Tag- und Nachtmessungen nach verschiedenen Normen (Lärmpegel außen L_a)

b) Wie ruhig soll es im Innenraum sein. (Bestimmung des maximalen Lärmpegels nach der Raumnutzungsart) (Lärmpegel innen L_i)

VDI-Richtlinie 2719
„Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen"

Nach der VDI–Richtlinie 2719 wird das erforderliche bewertete Mindestschalldämmaß der Fenster nach der Beziehung

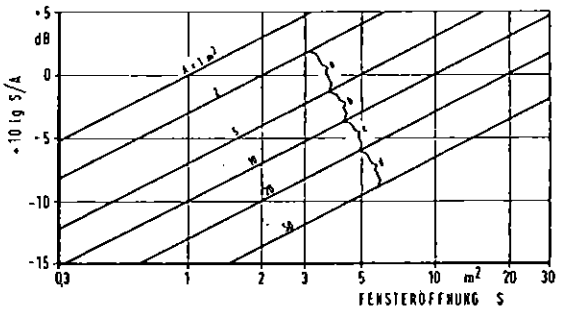
$$\text{erf. } R'_W = L_{Aa} - L_{Ai} + 10 \lg S/A + 5 \ldots \text{dB}$$

erf. R'_W = erforderliches bewertetes Mindestschalldämmaß des Fensters in dB
L_{Aa} = A-bewerteter Außenschallpegel in dB (A)
L_{Ai} = A-bewerteter Innenschallpegel in dB (A)
S = Fensterfläche in m^2
A = äquivalente Absorbationsfläche in m^2

berechnet. Für Fassaden gibt die Richtlinie, ihrem Titel entsprechend, im Gegensatz zu den Ergänzenden Bestimmungen zur DIN 4109, naturgemäß keine Angaben.

Für Räume unterschiedlicher Nutzung sind die in der nachstehenden Tabelle (Seite 20) vorgeschlagenen zulässigen Innengeräuschpegel L_{Ai} als Mittelungspegel L_m oder als mittlere Maximalpegel $L_{1\%}$ in dB (A) angegeben.
Als Außenpegel L_{Aa} ist jeweils die gleiche Pegelgröße heranzuziehen – zum Mittelungspegel innen also auch der Mittelungspegel außen.

Bei vorgegebener Fenstergröße und ungefährer Kenntnis der zukünftigen Raumausstattung kann gemäß nachstehendem Bild der Korrekturfaktor 10 lg S/A direkt abgelesen werden.
In vielen einfachen Fällen liegt dieser Korrekturwert etwa bei – 5 dB (A), so daß das bewertete Schalldämmaß gleich der Differenz zwischem dem zulässigen Innenpegel und dem vorgegebenen Außenpegel ist.
Bei Verdoppelung der Fensterfläche wird die Schallpegeldifferenz um ca. 3 dB verringert. Die Schalldämm-Maßnahme muß entsprechend um 3 dB erhöht werden.



Abhängigkeit des Korrekturgliedes 10 lg S/A von S und A. a Leere, hallige Räume, b Wohn- und Büroräume mit geringer Schallabsorption, c übliche Wohnräume und Büros mit hoher Schallabsorption, d Klassenräume und Räume mit besonders hoher Schallabsorption

Schallschutz im Hochbau

Anforderungen und Nachweise

DIN 4109

Sound insulation in buildings; requirements and verifications

Isolation acoustique dans les bâtiments; exigences et vérifications

Ersatz für DIN 4109 T 1/09.62 und mit Beiblatt 2 zu DIN 4109/11.89 Ersatz für DIN 4109 T 2/09.62

Beim Lärmpegelbereich I bis VII sind für Außenbauteile (Wand, Fenster) von Aufenthaltsräumen – unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Raumarten bzw. Raumnutzungen – die in Tabelle 2 aufgeführten Mindestwerte der Luftschalldämmung einzuhalten.

Dabei ist nachzuweisen, daß entweder

A) Wand und Fenster jeweils einzeln die dort für die Einbauteile angegebenen Mindestwerte
oder

B) Wand und Fenster zusammen den dort angegebenen Mindestwert für die resultierende Schalldämmung enthalten.

Methode B ergibt im Regelfall wirtschaftlichere Dimensionierung.
Wenn der Anteil der Fensterfläche in einer Außenwand eines Raumes mehr als 60 % dieser Außenwandfläche beträgt, ist an das Fenster die gleiche Anforderung wie an die Außenwand zu stellen.

Tabelle 8. **Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen**

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Lärmpegelbereich	„Maßgeblicher Außenlärmpegel"	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Santorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und ähnliches	Büroräume [1]) und ähnliches
		dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ des Außenbauteils in dB		
1	I	bis 55	35	30	–
2	II	56 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	VI	76 bis 80	[2])	50	45
7	VII	>80	[2])	[2])	50

[1]) An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.

[2]) Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Anwendungsbereich und Zweck

Der Schallschutz in Gebäuden hat große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen.

Besonders wichtig ist der Schallschutz im Wohnungsbau, da die Wohnung dem Menschen sowohl zur Entspannung und zum Ausruhen dient als auch den eigenen häuslichen Bereich gegenüber den Nachbarn abschirmen soll. Um eine zweckentsprechende Nutzung der Räume zu ermöglichen, ist auch in Schulen, Krankenanstalten, Beherbergungsstätten und Bürobauten der Schallschutz von Bedeutung.

In dieser Norm sind Anforderungen an den Schallschutz mit dem Ziel festgelegt, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen. Außerdem ist das Verfahren zum Nachweis des geforderten Schallschutzes geregelt.

Aufgrund der festgelegten Anforderungen kann nicht erwartet werden, daß Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen werden. Daraus ergibt sich insbesondere die Notwendigkeit gegenseitiger Rücksichtnahme durch Vermeidung unnötigen Lärms. Die Anforderungen setzen voraus, daß in benachbarten Räumen keine ungewöhnlich starken Geräusche verursacht werden.

Diese Norm gilt zum Schutz von Aufenthaltsräumen

Tabelle 1. **Kennzeichnende Größen für die Anforderungen an die Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen**

R'_w : bewertetes Schalldämm-Maß in dB mit Schallübertragung über flankierende Bauteile
R_w : bewertetes Schalldämm-Maß in dB ohne Schallübertragung über flankierende Bauteile
$L'_{n,w}$: bewerteter Norm-Trittschallpegel in dB (TSM: Trittschallschutzmaß in dB)

Spalte	1	2	3	
Zeile	Bauteile [1])	Berücksichtigte Schallübertragung	Kennzeichnende Größe für	
			Luftschalldämmung	Trittschalldämmung
1	Wände	über das trennende und die flankierenden Bauteile sowie gegebenenfalls über Nebenwege	erf. R'_w	–
2	Decken		erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$ (erf. TSM)
3	Treppen		–	erf. $L'_{n,w}$ (erf. TSM)
4	Türen	nur über die Tür bzw. über das Fenster	erf. R_w	–
5	Fenster			

[1]) Im betriebsfertigen Zustand.

Tabelle 10. **Erforderliche Schalldämm-Maße erf. $R'_{w,res}$ von Kombinationen von Außenwänden und Fenstern**

Spalte	1	2	3	4	5	6	7
Zeile	erf. $R'_{w,res}$ in dB nach Tabelle 8	Schalldämm-Maße für Wand/Fenster in ... dB/... dB bei folgenden Fensterflächenanteilen in %					
		10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %
1	30	30/25	30/25	35/25	35/25	50/25	30/30
2	35	35/30 40/25	35/30	35/32 40/30	40/30	40/32 50/30	45/32
3	40	40/32 45/30	40/35	45/35	45/35	40/37 60/35	40/37
4	45	45/37 50/35	45/40 50/37	50/40	50/40	50/42 60/40	60/42
5	50	55/40	55/42	55/45	55/45	60/45	–

Diese Tabelle gilt nur für Wohngebäude mit üblicher Raumhöhe von etwa 2,5 m und Raumtiefe von etwa 4,5 m oder mehr, unter Berücksichtigung der Anforderungen an das resultierende Schalldämm-Maß erf. $R'_{w,res}$ des Außenbauteiles nach Tabelle 8 und der Korrektur von −2 dB nach Tabelle 9, Zeile 2.

Konstruktive Einflüsse auf den Schalldämmwert von Fenstern

Der Schalldämmwert des Fensters wird insbesondere durch folgende Größen beeinflußt:

1. Scheibenart
2. Scheibeneinfassung
3. a-Wert (Fugendurchlässigkeit) = Fugendurchlaßkoeffizient „a"
4. Randdämpfung
5. Flächengewicht
6. Doppelschaligkeit
7. Schall-Einfallswinkel
8. Aufbereitung des Scheibenzwischenraums

Windstärke

Stärke nach Beaufort	Geschwindigkeit v in m/s	Geschwindigkeit v in km/h	Bezeichnung	Staudruck mm WS
0	0 – 0,5	0 – 1,8	Windstille, sehr leichter Zug	0 – 0,02
1	0,5 – 1,7	1,8 – 6,1	leichter Zug	0,02 – 0,2
2	1,7 – 3,3	6,1 – 12,8	leichte Brise	0,2 – 0,7
3	3,3 – 5,2	12,8 – 18,7	schwache Brise	0,7 – 1,7
4	5,2 – 7,4	18,7 – 26,6	mäßige Brise	1,7 – 3,5
5	7,4 – 9,8	26,6 – 35,2	frische Brise	3,5 – 6,1
6	9,8 – 12,4	35,2 – 44,7	starker Wind	6,1 – 9,7
7	12,4 – 15,2	44,7 – 54,8	steifer Wind	9,7 – 14,6
8	15,2 – 18,2	54,8 – 65,5	stürmischer Wind	14,6 – 20,9
9	18,2 – 21,5	65,5 – 77,5	Sturm	20,9 – 29,2
10	21,5 – 25,1	77,5 – 90,5	schwerer Sturm	29,2 – 39,8
11	25,1 – 29,0	90,5 – 105,0	orkanartiger Sturm	39,8 – 53,2
12	über 29,0	über 105,0	Orkan	über 53,2

mm WS

Millimeter Wassersäule ist die Maßeinheit für die Druckdifferenz zwischen zwei Räumen. Diese Druckdifferenz zwischen innen und außen entsteht durch:

a) Winddruck, der auf der Fassade eines Gebäudes lastet,
b) Temperaturdifferenzen
c) Unterschiede in der Luftzusammensetzung (verbrauchte Luft).

a-Wert
Fugendurchlaßkoeffizient „a"

Die Flügelfalzdichtung hat auf die Schalldämmung einen sehr erheblichen Einfluß: Vergleichsmessungen weisen aus, daß die Schalldämmung bei einer Verschlechterung von a-Wert 1,0 m³/h m auf 4,0 m³/h (vierfache Luftmenge je Stunde) stark absinkt.
Je dichter ein Fenster im umlaufenden Fensterflügelfalz auf Zeit ist, desto besser ist die Schalldämmung.
Einen großen Überblick zum Verhältnis a-Wert zur Schalldämmung gibt Tab. X.

Tab. X Verhältnis a-Wert zur Schalldämmung

a-Wert	R_W (Bewertetes Schalldämm-Maß)	Minderung in %
0,0	35 dB (A)	0 %
1,0	28 dB (A)	20 %
1,5	24 dB (A)	32 %
1,9	23 dB (A)	34 %
2,5	21 dB (A)	40 %
3,0	20 dB (A)	43 %
3,75	19 dB (A)	46 %
4,75	18 dB (A)	51 %

Konstruktion und Ausführung von schalldämmenden Holz-Fenstern

Zuordnung von Fensterkonstruktionen und Schallschutzklassen

Die Zuordnung von Fensterkonstruktionen zu Schallschutzklassen kann nach Tabelle 2, Spalte 3, erfolgen. In Tabelle 3 sind bewährte Fensterkonstruktionen mit den erforderlichen Konstruktionsdetails aufgeführt. Bei sorgfältiger Fertigung und Montage dieser Fenster werden die zugehörigen Schallschutzklassen bzw. bewerteten Schalldämmaße am Bau nach allen bisher vorliegenden Erfahrungen erreicht. Bei Fensterkonstruktionen, die durch die Angaben der Tabelle 3 beschrieben werden, sind keine Baumusterprüfungen) erforderlich.

Zur Kontrolle des sorgfältigen Einbaus ist eine Güteprüfung nach DIN 52210 zweckmäßig.

Fensterkonstruktionen, die durch die Angaben in Tabelle 3 nicht abgedeckt sind, benötigen zur Einstufung in Schallschutzklassen Prüfzeugnisse mit bewerteten im Labor gemessenen Schalldämmaßen entsprechend Spalte 3 in Tabelle 2. Hierzu können die Prüfzeugnisse gemäß DIN 52210 Teil 2 verwendet werden.

Tabelle 2: Schallschutzklassen von Fenstern

Spalte	1	2	3
Zeile	Schall-schutz-klasse	bewertetes Schalldämmaß R'_w des am Bau funktionsfähig eingebauten Fensters, gemessen nach DIN 52 210 Teil 5 in dB	erforderliches bewertetes Schalldämmaß R_w des im Labor funktionsfähig eingebauten Fensters, gemessen nach DIN 52 210 Teil 2 in dB
1	**1**	25 bis 29	⩾ 27
2	**2**	30 bis 34	⩾ 32
3	**3**	35 bis 39	⩾ 37
4	**4**	40 bis 44	⩾ 42
5	**5**	45 bis 49	⩾ 47
6	**6**	⩾ 50	⩾ 52

Eine Schallschutzklasse umfaßt jeweils einen 5 dB-Bereich des bewerteten Schalldämmaßes R . Die Einstufung in eine Schallschutzklasse erfolgt entsprechend Tabelle 2.

DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau"

Neue Konstruktionstabelle

Die Konstruktionstabelle aus DIN 4109 / 1989-11 in der bisher (noch) gültigen Fassung ist überarbeitet. Als Entwurf DIN 4109 / 2001-01 Beiblatt 1/A1 wird u.a. die EU-weit harmonisierte Bewertungsnorm für die Luftschalldämmung: DIN EN ISO 717-1 - 1997-01 "Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen" berücksichtigt. Nach dieser, in einigen europäischen Ländern (Holland, Frankreich) angewendeten Bewertungsmethode, werden neben dem bekannten bewerteten Schalldämm-Maß Rw sogenannte Spektrum-Anpassungswerte "C" und "Ctr" berücksichtigt. Mit der Einführung der Spektrum-Anpassung wird in der EU die Schalldämmung einheitlich gekennzeichnet. Neben dem bewerteten Schalldämm-Maß "Rw", ist vom Bauplaner zukünftig (derzeit in Deutschland noch nicht eingeführt) das Schallspektrum 1(C) (Wohnaktivitäten, Musik, Sprache usw.) oder Ctr (Städtischer Straßenverkehr u.ä.) zu bestimmen. Mit dieser Bewertungs-Methode werden u.a. die Frequenzen (hohe oder tiefe Töne) besser berücksichtigt.

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	$R_{w,R}$ dB	Konstruktions-merkmale	Einfachfenster mit Einfachglas[1]	Verbund-fenster[1]	Kasten-fenster[1)2)]
1	25	d_{Ges} [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 4 ≥ 27 ①	≥ 6 – –	– – –
2	30	d_{Ges} [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 8 – ≥ 32 ①	≥ 6 ≥ 30 – ①	– – – –
3	32	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] Falzdichtung	3)	≥ 8 bzw. ≥ 4+4/12/4 ≥ 30 ①	– – – ①
4	35	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] Falzdichtung	3)	≥ 8 bzw. ≥ 6+4/12/4 ≥ 40 ①	– – – ①
5	37	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] Falzdichtung	3)	≥ 10 bzw. ≥ 6+6/12/4 ≥ 40 ①	≥ 8 bzw. ≥ 4+4/12/4 ≥ 100 ①
6	40	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] Falzdichtung	3)	≥ 14 bzw. ≥ 8+6/12/4 ≥ 50 AD+ID[4)]	≥ 8 bzw. ≥ 6+4/12/4 ≥ 100 AD+ID
7	42	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] Falzdichtung	3)	≥ 16 bzw. ≥ 8+8/12/4 ≥ 50 AD+ID[4)]	≥ 10 bzw. ≥ 8+4/12/4 ≥ 100 AD+ID
8	45	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] Falzdichtung	3)	≥ 18 bzw. ≥ 8+8/12/4 ≥ 60 AD+ID[4)]	≥ 12 bzw. ≥ 8+6/12/4 ≥ 100 AD+ID
9	≥ 46		3)	3)	3)

Tabelle 2: Konstruktionstabelle für Einfachfenster mit Einfachglas sowie Verbund- und Kastenfenster

dges Gesamtglasdicke, bei Verbund- und Kastenfenstern alternativ zum Glasaufbau für Konstruktionen mit Einfachgläsern
Glasaufbau Zusammensetzung der Einzelscheiben
SZR Scheibenzwischenraum
Rw,P,GLAS Prüfwert der Scheibe im Normformat im Labor

Falzdichtung:
AD = Außendichtung, bei Verbundfenstern mit Belüftung des SZR,
ID = Dichtung im inneren Flügel, umlaufend

1) Sämtliche Flügel müssen bei Holzfenstern mindestens Doppelfalze, bei Metall- und Kunststofffenstern mindestens zwei wirksame Anschläge haben. Erforderliche Falzdichtungen müssen umlaufend, ohne Unterbrechung angebracht sein; sie müssen weichfedernd, dauerelastisch, alterungsbeständig und leicht auswechselbar sein. Um einen möglichst gleichmäßigen und hohen Schließdruck im gesamten Falzbereich sicherzustellen, muss eine genügende Anzahl von Verriegelungsstellen vorhanden sein (wegen der Anforderungen an Fenster siehe auch DIN 18055).

2) Eine schallabsorbierende Leibung ist sinnvoll, da sie durch Alterung der Falzdichtung entstehende Fugenundichtigkeiten teilweise ausgleichen kann.

3) Keine allgemein gültige Aussage möglich, Nachweis über Eignungsprüfung I für DIN 4109.

4) Werte gelten nur, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen zur Belüftung des Scheibenzwischenraumes getroffen sind oder wenn eine ausreichende Luftumlenkung im äußeren Dichtungssystem vorgenommen wurde (Labyrinthdichtung).

Korrekturwerte K

• K_{AH} Korrektur für Aluminium-Holzfenster; K_{AH} = -1 dB. Diese Korrektur entfällt, wenn die Aluminiumschale zum Flügel- und Blendrahmen hin abgedichtet wird. Kleine Öffnungen zum Zweck des Druckausgleichs zwischen Aluminiumschale und Holzrahmen sind zulässig.

• K_{FV} Korrekturwert für Festverglasungen mit erhöhtem Scheibenanteil; K_{FV} siehe Tabelle

• K_{RA} Korrekturwert für einen Rahmenanteil < 30 %. Der Rahmenanteil ist die Gesamtfläche des Fensters abzüglich der sichtbaren Scheibengröße. K_{RA} darf bei Festverglasungen nicht berücksichtigt werden. K_{RA} siehe Tabelle

• K_S Korrekturwert für Stulpfenster (zweiflügelige Fenster ohne festes Mittelstück); K_S siehe Tabelle

• $K_{F,1.5}$ Korrektur für Fenster < 1,5 m²; $K_{F,1.5}$ siehe Tabelle

• $K_{F,3}$ Korrektur für Fenster mit Einzelscheibe ≥ 3 m²; $K_{F,3}$ = -2 dB

• K_{Sp} Korrekturwert für glasteilende Sprossen; K_{Sp} siehe Tabelle

Die Werte gelten für ringsum dicht schließende Fenster. Fenster mit Lüftungseinrichtungen werden nicht erfasst.

Quelle: BM 4/02

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zeile	$R_{w,P}$ dB	$R_{w,R}$ dB	C dB	C_{tr} dB	Konstruktions-merkmale	Einfachfenster mit MIG[1)6)]	Korrekturen K_{RA} dB	K_S dB	K_{FV} dB	$K_{F,1.5}$ dB	K_{SP} dB
1	2)	25	2)	2)	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 6 – ≥ 8 ≥ 27 –	2)	2)	2)	2)	2)
2	2)	30	2)	2)	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 6 – ≥ 12 ≥ 30 ①	2)	2)	2)	2)	2)
3	33	31	-2	-5	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 8 ≥ 4+4 ≥ 12 ≥ 30 ①	-2	0	-1	0	0
4	34	32	-2	-6	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 8 ≥ 4+4 ≥ 16[4)] ≥ 30 ①	-2	0	-1	0	0
5	35	33	-2	-4	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 10 ≥ 6+4 ≥ 12 ≥ 32 ①	-2	0	-1	0	0
6	36	34	-1	-4	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 10 ≥ 6+4 ≥ 16[4)] ≥ 33 ①	-2	0	-1	0	0
7	37	35	-1	-4	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 10 ≥ 6+4 ≥ 16[4)] ≥ 35 ①	-2	0	-1	0	0
8	38	36	-2	-5	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 12 ≥ 8+4 ≥ 16[4)] ≥ 38 ② (AD/MD+ID)[5)]	-2	0	0	0	0
9	39	37	-2	-5	d_{Ges} [mm] Glasaufbau [mm] SZR [mm] oder $R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 14 ≥ 10+4 ≥ 20 ≥ 39 ② (AD/MD+ID)[5)]	-2	0	0	0	0
10	40	38	-2	-5	$R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 40 ② (AD/MD+ID)	-2	0	0	-1	-1
11	41	39	-2	-5	$R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 41 ② (AD/MD+ID)	0	0	0	-1	-2
12	42	40	-2	-5	$R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 44 ② (AD/MD+ID)	0	-1	0	-1	-2
13	43	41	-2	-4	$R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 46 ② (AD/MD+ID)	0	-2	0	-1	-2
14	44	42	-1	-4	$R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 49 ② (AD/MD+ID)	0	-2	+1	-1	-2
15	45	43	-1	-5	$R_{w,P,GLAS}$ [dB] Falzdichtung	≥ 51 ② (AD/MD+ID)	0	-2	+1	-1	-2
16	≥ 46	≥ 44	3)	3)	3)	3)	3)	3)	3)	3)	3)

Tabelle 1: Konstruktionstabelle für Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierglas

d_{ges} Gesamtglasdicke, bei Verbund- und Kastenfenster alternativ zum Glasaufbau für Konstruktionen mit Einfachgläsern
Glasaufbau Zusammensetzung der Einzelscheiben
SZR Scheibenzwischenraum
$R_{w,P,GLAS}$ Prüfwert der Scheibe im Normformat im Labor
Falzdichtung:
AD = Außendichtung, bei Verbundfenstern mit Belüftung des SZR,
ID = Dichtung im inneren Flügel, umlaufend
1) Sämtliche Flügel müssen bei Holzfenstern mindestens Doppelfalze, bei Metall- und Kunststofffenstern mindestens zwei wirksame Anschläge haben. Erforderliche Falzdichtungen müssen umlaufend, ohne Unterbrechung angebracht sein; sie müssen weichfedernd, dauerelastisch, alterungsbeständig und leicht auswechselbar sein. Um einen möglichst gleichmäßigen und hohen Schließdruck im gesamten Falzbereich sicherzustellen, muss eine genügende Anzahl von Verriegelungsstellen vorhanden sein (wegen der Anforderungen an Fenster siehe auch DIN 18055).
2) Eine schallabsorbierende Leibung ist sinnvoll, da sie durch Alterung der Falzdichtung entstehende Fugenundichtigkeiten teilweise ausgleichen kann.
3) Keine allgemein gültige Aussage möglich, Nachweis über Eignungsprüfung I für DIN 4109.
4) Werte gelten nur, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen zur Belüftung des Scheibenzwischenraumes getroffen sind oder wenn eine ausreichende Luftumlenkung im äußeren Dichtungssystem vorgenommen wurde (Labyrinthdichtung).

Wesentliche Merkmale der neuen Tabelle

- Abstufung der Tabelle in 1-dB-Schritten
- Differenzierung bei erforderlicher Schalldämmung der Verglasungen
- Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} gemäß DIN EN ISO 717-1 (01.1997)
- Berücksichtigung von Korrekturwerten für
- Rahmenmaterial
- Rahmenanteil
- Stulpfenster
- Festverglasung
- Fensterformat < 1.5 m²
- Scheibenformat > 3.0 m²
- glasteilende Sprossen

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass zwischenzeitlich das gesamte Beiblatt 1 zu DIN 4109 überarbeitet und ein neuer Bauteilkatalog erstellt wird, um die deutsche Normung den zwischenzeitlich fertig gestellten europäischen Standards anzupassen und dem aktuellen technischen Entwicklungsstand gerecht zu werden. Die neue Tabelle besteht aus zwei Teilen, und entspricht mit der Angabe von C und C_{tr}-Werten für Fenster diesen Normen.

Technische Regeln und Richtlinien

Für die Abwicklung von baulichen Schallschutz-Arbeiten wurden im Laufe der Jahre zahlreiche Vorschriften, Normen und Richtlinien eingeführt. Zahlreiche Regelwerke sind hierbei bauaufsichtlich festgelegt, das heißt, sie sind Bestandteil der Länderbauordnung und damit „Baugesetz".

So wird DIN 18005 „Schallschutz im Städtebau" in den meisten Bundesländern zur Anwendung empfohlen. In Abhängigkeit von der Gebietswidmung sollten die Planungsrichtpegel nach DIN 18005, Tabelle 4, nicht überschritten werden.

Planungsrichtpegel für Baugebiete (nach Tab. 4, DIN 18005)

Nr.	Baugebiet[1]	Planungsrichtpegel (Mittelungspegel) in dB (A) Tag	Nacht
1	Reines Wohngebiet (WR) Wochenendhausgebiet (SW)	50	35
2	Allgemeines Wohngebiet (WA) Kleinsiedlungsgebiet (WS)	55	40
3	Dorfgebiet (MD)[2] Mischgebiet	60	45
4	Kerngebiet (MK) Gewerbegebiet (GE)	65	50
5	Industriegebiet (GI)	70	70
6	Sondergebiet (SO) je nach Nutzungsart und Wohnungsanteil	45 bis 70	35 bis 70

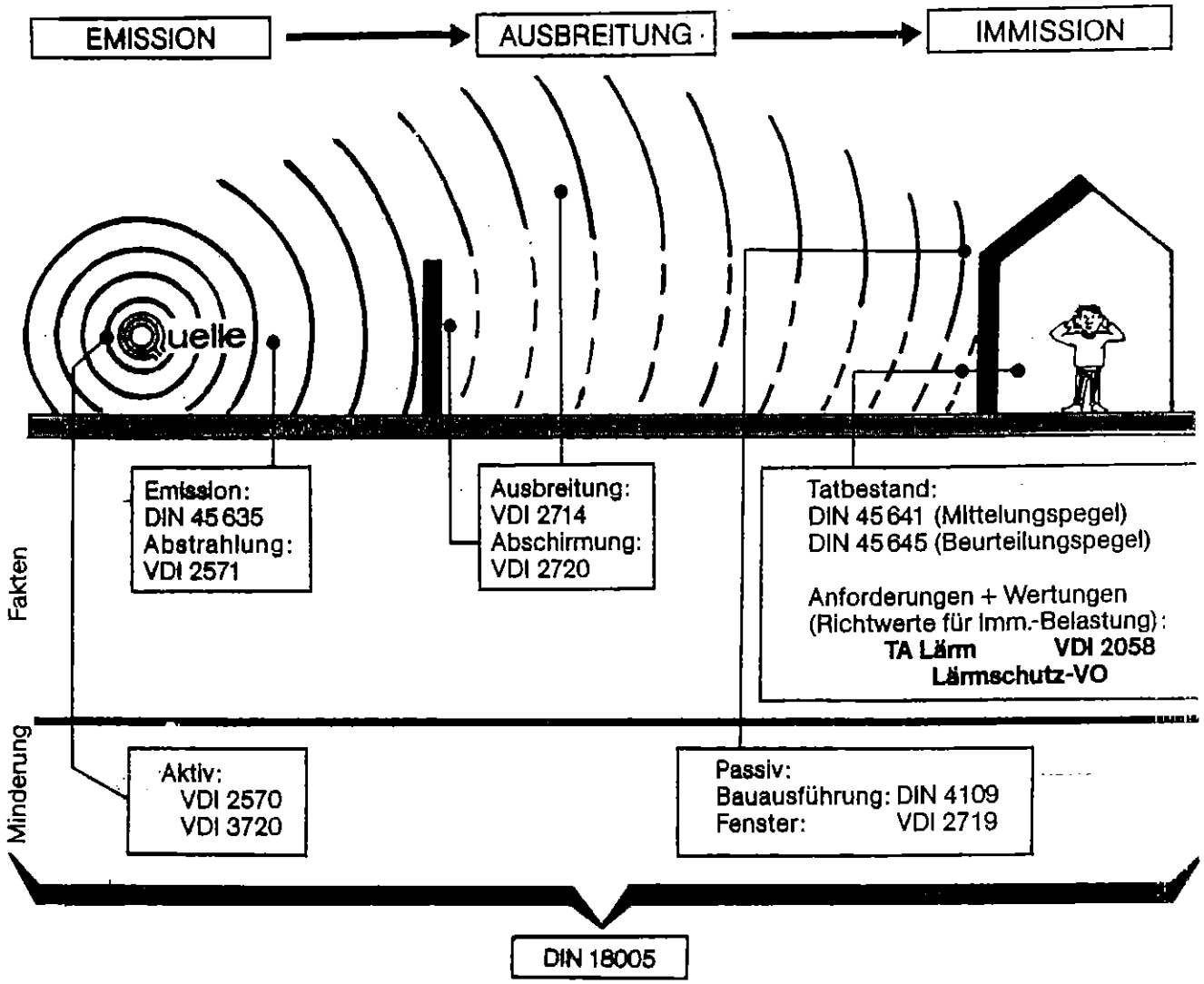
[1] Die Baugebiete entsprechen der Verordnung über die bauliche Nutzung der Grund-Stücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO –)

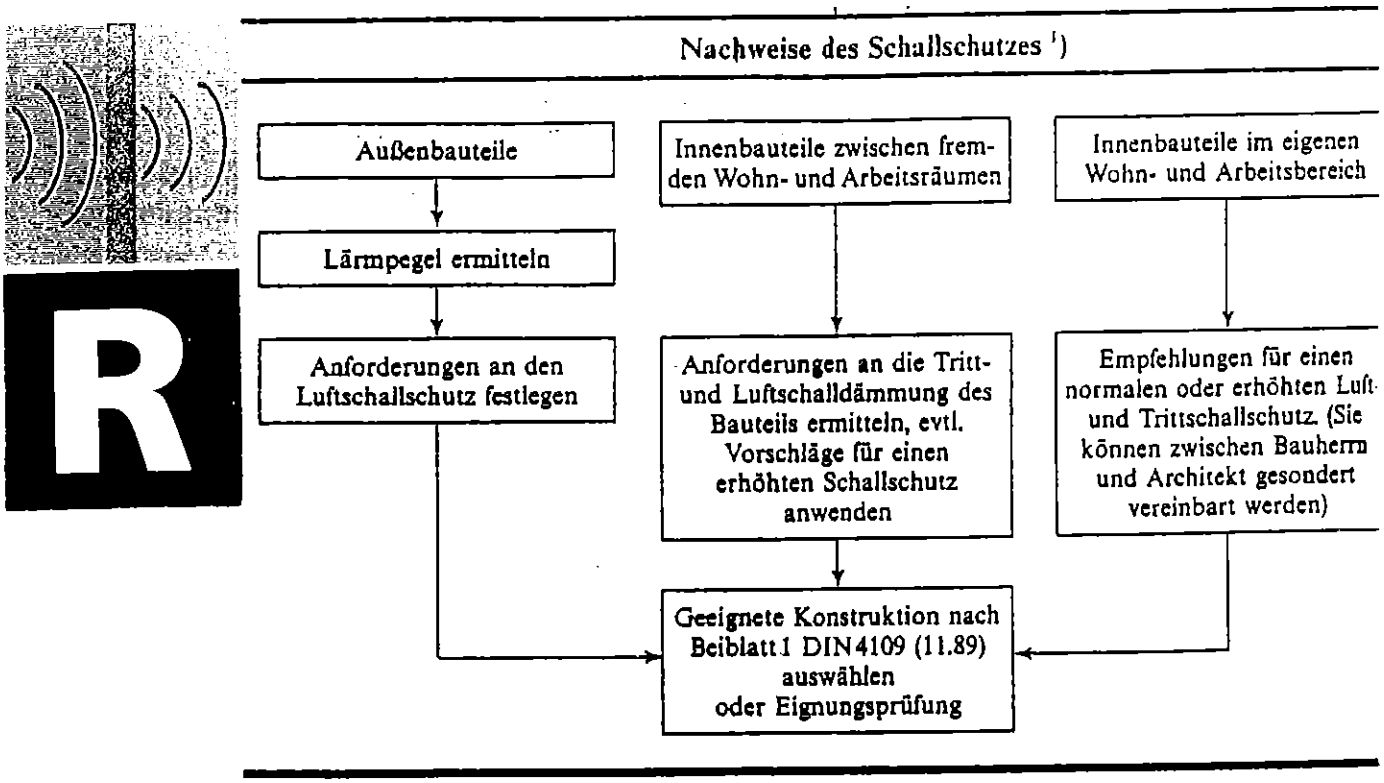
[2] Die Dorfgebiete einer Gemeinde oder Teile eines Dorfgebietes können im Bebauungsplan nach der Art der zulässigen Nutzung gegliedert und ihnen entsprechende Planungsrichtpegel zugeordnet werden (siehe BauNVO § 5).

In der **„TA Lärm"** (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) und der Richtlinie **VDI 2058** „Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft" werden schließlich neben dem Beurteilungspegel nach verschiedenen Verfahren auch die Anforderungen für den Immissionsbereich genannt. Hier gelten sogenannte **„Immissions-Richtwerte"** (IRW) als Maß für die zulässige bzw. zumutbare Immissions-Belastung, gestaffelt nach Gebieten und getrennt für Tages- und Nachtzeiten:

Gebiet	tags	nachts
nur Industrie	70 dB (A)	70 dB (A)
vorwiegend Gewerbe	65 dB (A)	50 dB (A)
Mischgebiet	60 dB (A)	45 dB (A)
vorwiegend Wohnungen	55 dB (A)	40 dB (A)
nur Wohnungen	50 dB (A)	35 dB (A)

Diese Aufteilung der Richtwerte berücksichtigt die Ortsüblichkeit eines bestimmten Geräusch-Pegels, verbunden mit der Erfahrung, daß Geräusche in der Regel erst dann störend hervortreten, wenn sie etwa 10 dB oder mehr aus dem allgemeinen, einer bestimmten Quelle nicht zuzuordnendem Hintergrund-Pegel herausragen.


EMISSION
AUSBREITUNG
IMMISSION
Quelle
Emission:
DIN 45635
Abstrahlung:
VDI 2571
Ausbreitung:
VDI 2714
Abschirmung:
VDI 2720
Tatbestand:
DIN 45641 (Mittelungspegel)
DIN 45645 (Beurteilungspegel)
Anforderungen + Wertungen
(Richtwerte für Imm.-Belastung):
TA Lärm
VDI 2058
Lärmschutz-VO
Fakten
Minderung
Aktiv:
VDI 2570
VDI 3720
Passiv:
Bauausführung: DIN 4109
Fenster: VDI 2719
DIN 18005


R
Nachweise des Schallschutzes [1])
Außenbauteile
Lärmpegel ermitteln
Anforderungen an den Luftschallschutz festlegen
Innenbauteile zwischen fremden Wohn- und Arbeitsräumen
Anforderungen an die Tritt- und Luftschalldämmung des Bauteils ermitteln, evtl. Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz anwenden
Innenbauteile im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich
Empfehlungen für einen normalen oder erhöhten Luft- und Trittschallschutz. (Sie können zwischen Bauherrn und Architekt gesondert vereinbart werden)
Geeignete Konstruktion nach Beiblatt 1 DIN 4109 (11.89) auswählen oder Eignungsprüfung

Messen und Ermitteln von LÄRM

Mit "Lärm" wird jener Schall bezeichnet, der für das menschliche Gehörempfinden lästig oder gar schädlich ist. Anders als in den meisten physikalischen Bereichen kann Lärm nicht direkt gemessen - und schon gar nicht vermutet bzw. geschätzt werden. Meßbar ist nur der Druck, den Schallwellen auf das Trommelfell ausüben. Dieser Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben und bewertet.

Da die Dezibel-Skala logarithmisch ist, entspricht jede Verdoppelung des Schalldrucks einer Zunahme des Pegels von 6 dB. Die Schmerzgrenze des menschlichen Ohres liegt bei 130 dB.
Wie laut man einen Ton empfindet hängt nicht allein vom Schalldruck ab. Hier spielt die Tonhöhe (Frequenz) eine große Rolle. Haben zwei Töne den selben Schalldruck, so wird die niedrige Tonhöhe (dumpfer Ton) als weniger laut wahrgenommen.

Diese Abhängigkeit von der Frequenz wird bei der Messung von Schallpegeln rechnerisch berücksichtigt, und mit dem Anhängsel "A" in Klammern kenntlich gemacht. Die Bezeichnung dB (A) besagt, daß die Tonhöhe in die Schalldruckmessung eingeflossen ist. Töne mit niedrigen Frequenzen sind zwar weniger laut. Sie können Menschen jedoch stärker belasten, als die Messung in dB (A) ausweist. Typisches Beispiel sind die dröhnenden Lautsprecherbässe.

Es verwundert immerwieder, daß bei Schallmessungen an Fenstern im Bereich der niedrigen Frequenzen zwischen 100 Hz und 400 Hz tiefe Einbrüche erfolgen. Erst ab 500 Hz, also bei den höheren Tönen, steigen die Dämmwerte. Im Fensterbau sind Töne im niedrigen Frenquenzbereich schwieriger zu dämmen, als hohe Töne.

Multifunktionen (Schall- plus Wärmedämmung)

Die Prüfreihe zur 8. Auflage mußte mit wenigen Ausnahmen neu gestaltet und durchgeführt werden, weil anders als in früheren Auflagen ein sehr hoher, bauaufsichtlich vorgeschriebener Wärmedämmwert nahe 1,0 W/(m².K) mit den Schalldämmwerten kombiniert werden muß.

Das Mehrscheiben.Isolierglas als Hauptträger der Dämmwerte erreicht mit dem Edelgas Argon Dämmwerte bis max. 1,0 W/(m².K) (Vergl. die Isolierglas-Wärmedämmprüfungen im Abschnit"Wärmeschutz"). Da nach den Angaben der Isolierglashersteller das Edelgas Argon für die Schalldämmung nur bedingt geeignet ist, muß in höheren Dämmbereichen (ab Kl. 4) Argon mit SF6 gemischt werden - auf Kosten der Wärmedämmung. Hinweise hierzu geben die Glas- und Konstruktionsprüfungen in den entsprechenden Kapiteln.

Schallschutz in Bestimmungen und Urteilen

Zivilrechtliche und strafrechtliche Bestimmungen

Die zivilrechtliche Grundlage der Lärmbekämpfung bilden eine Reihe von Paragraphen des Bürgerlichen Gesetzbuches (zum Beispiel §§ 537 bis 539, 862, 903, 1004). Zunächst ist danach grundsätzlich die Haftung des Architekten und Bauunternehmers gegenüber dem nichtsachverständigen Bauherrn bejaht. Eine Haftung des Architekten kommt vor allem dann in Frage, wenn er gegen die allgemein anerkannten Regeln der Baukunst – dazu gehören die Bestimmungen der DIN 4109 – verstößt.

Einem Bauherrn können nämlich bei Nichteinhaltung oder Nichterfüllung dieser DIN-Vorschrift die öffentlichen Mittel entzogen werden, das heißt, er muß bereits erhaltene Beträge zurückzahlen. Der Bauherr kann dann seinerseits aufgrund der Wertminderung des Gebäudes den Architekten wegen Nichtberücksichtigung der Schallschutzbestimmungen in seinem Entwurf oder den Bauleiter wegen mangelhafter Beaufsichtigung der Ausführung haftbar machen.

Hinzu kommt, daß auch den Mietern der einzelnen Wohnungen ein Mietminderungsrecht und ein Recht auf Schadenersatz gegen den Bauherrn zustehen. Der Mieter einer Wohnung ohne ausreichenden Schallschutz ist nämlich aufgrund des § 537 BGB nur zur Entrichtung eines nach § 572 und § 273 BGB zu bemessenden Teils der Miete verpflichtet. Unter der Voraussetzung des § 538 kann er statt dessen Schadenersatz verlangen.

Die Duldung von Lärmeinwirkungen auf ein Gebäude oder auf eine Wohnung von außen wird durch die Bestimmungen des § 906 BGB geregelt. Dort heißt es:

1. Der Eigentümer hat unwesentliche Einwirkungen wie bisher zu dulden.
2. Wesentliche oder ortsübliche Einwirkungen müssen nur geduldet werden, wenn sie nicht durch technische, wirtschaftlich zumutbare Maßnahmen verhindert werden können.
3. Der Eigentümer ist berechtigt, falls er eine ortsübliche Einwirkung hinnehmen muß, die durch geeignete wirtschaftlich zumutbare Maßnahmen nicht verhindert werden kann, einen Ausgleich in Geld zu fordern, wenn sein wirtschaftliches Interesse über das zumutbare Maß hinaus beeinträchtigt wird.

Eine Nichtbeachtung der DIN 4109 kann neben der zivilrechtlichen Haftung noch strafrechtliche Folgen haben, und zwar dann, wenn für Dritte eine Gefahr besteht (§ 330 StGB). Diese kann in Form von körperlichen oder seelischen Schäden für Mieter ungeschützter Wohnungen gegeben sein. Nach den rechtlichen Bestimmungen kann eine Verletzung der Regeln der Baukunst – in unserem Falle der DIN 4109 – mit Geldstrafe oder mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr geahndet werden.

Entschädigung auch für den Straßenlärm

BGH-Rechtsprechung wird anwohnerfreundlich

EB. KARLSRUHE. Die Bundeshauptstadt Bonn hat den Musterfall für ein Grundsatzurteil des Bundesgerichtshofes (BGH) zur Entschädigung für unerträglichen Straßenlärm geliefert. Der III. Zivilsenat des BGH hat damit die Rechtsprechung zugunsten der belästigten Anwohner revidiert. (Aktenzeichen III ZR 215/71 vom 20. März 1975.)

In Bonn war im Jahre 1964 eine ruhige Wohnstraße umgebaut worden zu einer mehrspurigen Bundesstraße. Seitdem dröhnt dort Tag und Nacht der Durchgangsverkehr mit schweren Lastwagen in Nord-Süd-Richtung durch das alte Wohngebiet. Dem Eigentümer eines Wohnhauses, das schon im Jahre 1938 an dieser Stelle errichtet worden war, hatten auf den unerträglichen Lärm hin einige Mieter gekündigt. Andere Mieter wollten die übliche hauptstädtische Miete nicht mehr bezahlen.

Der Hausbesitzer hatte daraufhin für 31 000 Mark Doppelfenster einbauen lassen, um die Wohnungen gegen Lärm zu isolieren. Diesen Betrag hatte er als Entschädigung für die Nachteile bei den zuständigen Straßenbaubehörden eingeklagt. Landgericht und Oberlandesgericht wiesen seine Klage ab. Der BGH hat jetzt diese Urteile aufgehoben und eine neue Verhandlung vor dem Oberlandesgericht Köln angeordnet.

Nach der bisherigen Rechtsprechung war in solchen Fällen eine Entschädigung wegen Straßenlärms von den Gerichten nur in ganz besonders schweren Fällen bei einer unzumutbaren Belästigung zuerkannt worden. Im allgemeinen wurden solche Belästigungen als zumutbar für die Anwohner angesehen.

Schutz von Wohngebieten hat hohen Rang

Der BGH hat demgegenüber jetzt die Wertentscheidung des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom März 1974 mit Rücksicht auf den Umweltschutz in Rechnung gestellt. Dabei muß nach dem neuen Urteil der hohe Rang des Schutzes von Wohngebieten berücksichtigt werden. Das gilt auch in Aktuellfällen für Altbaugebiete, obwohl das Gesetz von 1974 Neubauten im Auge hat. Demzufolge kann ein berechtigter Anspruch auf Entschädigung in derartigen Fällen nicht mehr nur die Ausnahme bilden.

Wenn die vorgegebene Situation der Wohngrundstücke sich nachhaltig geändert hat durch die zugelassene Nutzung der Straßengrundstücke, dann kann der Hauseigentümer Ersatz für unverhältnismäßige Aufwendungen zum Lärmschutz verlangen. Die Sozialbindung des Eigentums der Hausbesitzer verringert sich entsprechend der Lärmbelästigung. Der Anspruch des Hauseigentümers ergibt sich nach dem Urteil des BGH nicht aus dem Nachbarschutz entsprechend § 906 BGB, sondern als Entschädigung für einen enteignungsgleichen Eingriff entsprechend Artikel 14 Abs. 3 des Grundgesetzes.

Zuerst kann der Hauseigentümer nach dem Urteil des BGH die Entschädigung zweckbedingt für bauliche Maßnahmen verlangen, die er zum Schutz gegen den Lärm ergriffen hatte. Dazu gehören Schallisolierungen oder die Verlegung von Wohnräumen auf die der Straße abgelegene Seite des Hauses. Solche Maßnahmen und Ersatzleistungen würden auch den Mietern zugute kommen.

Erst wenn diese Maßnahmen bei Altbauten nicht durchführbar oder nicht ausreichend wirkungsvoll sind, kommt in zweiter Linie eine Entschädigung in Geld für den verminderten Wert des Hausgrundstücks in Betracht.

Der BGH hat von sich aus keine technischen Grenzen und Wertberechnungen für die Zumutbarkeit von Straßenlärm aufgestellt. Das überläßt er dem Gesetzgeber.

Lärmschutz an Autobahnen

PEM. DÜSSELDORF. Ein zur 50 m von einer Autobahn entfernt zu errichtendes Wohnhaus muß erfahrungsgemäß mit besonderen Lärmschutzeinrichtungen versehen werden. Ein Bauträger, der die entsprechenden Maßnahmen versäumt, macht sich gegenüber dem Baubewerber schadenersatzpflichtig.

Dem beklagten Wohnungsbauträger – so der Bundesgerichtshof – sei in diesem Fall bei seinem „Baubetreuungswerk" ein Planungsfehler unterlaufen, für den er nach § 635 BGB einstehen muß. Es hätten wegen der Ungewißheit über das „Ausmaß der künftigen Lärmbelästigung" vorsorgliche Lärmschutzmaßnahmen geplant und durchgeführt werden müssen, meinten die Richter, zumal die klagenden Baubewerber in dieser Richtung Bedenken geäußert hätten. Der Straßenlärm hätte für das Innere des Hauses möglichst weitgehend abgeschirmt werden müssen.

Mögliche mangelhafte Fachkenntnisse über schalltechnische Untersuchungen und Maßnahmen seien keine Entschuldigung, so das Gericht. Hätten dann doch Fachleute beauftragt werden können. Den von der Beklagten zu tragenden Schaden bezifferte der BGH in Höhe der von den Baubewerbern aufgewandten Mehrkosten für die Schallisolierung. (BGH – VII ZR 138/74)

Schallschutz in der Bauplanung

Analog zur DIN 18005 geben die beiden Richtlinien Immissionswerte an, die ausschließlich für Lärmquellen im gewerblichen Bereich zutreffen. Während die TA-Lärm für genehmigungspflichtige Anlagen in gewerblichen Betrieben im Sinne des BImSCHG (Bundes-Immissionsschutz-Gesetz) anzuwenden ist, wird die technisch aktuellere VDI 2058 allgemein angewendet. Sie ist dabei jedoch nicht rechtskräftig. Die Immissionswerte der beiden Richtlinien gleichen sich jedoch und sind bei der Planung entsprechend der Gewerbebetriebe anzuwenden und einzuhalten.

Verkehrslärmschutzgesetz (VLärm SchG)

Obwohl es sich beim Verkehrslärm um den Bereich handelt der die größten und die am weitesten verbreiteten Einwirkungen ausübt, konnte die Verordnung über eine Verkehrslärmschutz-Durchführung bisher nicht abgeschlossen werden. Es ist jedoch vorgesehen, Mindestanforderungen an Außenwände und Fenster zu stellen
wobei der Außenlärmpegel als Grundlage dient. Die Tabelle soll später als Rechtsverordnung eingeführt werden.

Mittelungspegel in dB (A)		Bewertete Schalldämm-Maße in dB	Schlafräume		Nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt bestimmte Räume	
			Fenster und Außentüren	Außenwände und Dächer[1]	Fenster und Außentüren	Außenwände und Dächer[1]
Tag	Nacht		1	2	3	4
61 – 65	51 – 55	1	25	30	25	30
66 – 70	56 – 60	2	30	35	30	35
71 – 75	61 – 65	3	35	40	35	40
76 – 80	66 – 70	4	40	45	40	45
>80	>70	5	45	45	45	45

[1] Für Decken von Aufenthaltsräumen, die zugleich den obersten Gebäudeabschluß bilden, sowie für Dächer und Dachschrägen von ausgebauten Dachgeschossen gelten die Mindestwerte für Außenwände. Bei Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen sind die Anforderungen durch Dach und Decke gemeinsam zu erfüllen. Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn das bewertete Schalldämm-Maß der Decke allein um nicht mehr als 10 dB unter dem geforderten Wert liegt.

Beim Schutz gegen Verkehrslärm werden drei Bereiche geregelt:

1: Emissionsminderung an der Entstehungsstelle
2. Aktiver Schallschutz zwischen Straße und Fassade
3: Dämmung an der Hauswand (Passiver Schutz)

Gesetz über bauliche Schallschutzanforderungen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm

Zonen im Bereich von Flughäfen und Militärflugplätzen mit höherer Lärmbelastung werden für die baulichen Maßnahmen in zwei Zonen eingeteilt. Bei der Schutzzone 1 wird ein äquivalenter Dauerschallpegel von mehr als 75 dB (A) angenommen. In Schutzzone 2 geht man von L = 67 bis 75 dB (A) aus. Eine dritte Fluglärmschutzzone (angewendet auf kommunaler Ebene) sieht L = 62 – 67 dB (A) vor.

Bundesgesetzblatt

901

Teil I

Z 1997 A

1974	Ausgegeben zu Bonn am 11. April 1974	Nr. 39

Nr. 39 — Tag der Ausgabe: Bonn, den 11. April 1974

903

Verordnung über bauliche Schallschutzanforderungen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (Schallschutzverordnung — SchallschutzV)

Vom 5. April 1974

Schalltechnische Anforderungen an Bauteile von Gebäuden in Fluglärmzonen

Fluglärmschutzzone	äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq.4}$ dB (A)	schalltechnische Anforderungen an Außenwände und Dächer (einschließlich Fenster)	
		bewertetes Schalldämmaß R' in dB	Luftschallschutzmaß LSM in dB
1	> 75	50	– 2
2	67 – 75	45	– 7

Auf kommunalpolitischer Ebene ist teilweise auch bei einem äquivalenten Dauerschallpegel von L_{eq} = 62 bis 67 dB (A) („Fluglärmschutzzone 3") ein schalltechnischer Nachweis erforderlich.

Die Bestimmung der jeweils zutreffenden Schutzzone gehört zur Bauplanungspflicht. Sie ist von den ausführenden Firmen als verbindlich anzufordern.

S. Koch

Schalldämmung von Isolierglasscheiben im Kontext neuer Regelwerke

1. Einleitung

Vor 20 Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen zur Verbesserung der Schalldämmung von Isolierglasscheiben durchgeführt [1,2]. Hierbei zeigte sich, daß bestimmte Schwergase vor allem mitten im bauakustisch wichtigen Frequenzbereich gegenüber Luft beachtliche Erhöhungen der Schalldämmung ergaben. Ein Nachteil dieser Gasfüllungen ist jedoch ein schlechterer Wärmedurchgangskoeffizient und ein ausgeprägter Resonanzeinbruch bei tiefen Frequenzen. Für die Belange des Wärmeschutzes gibt es passende Gasfüllungen. Dies sind vor allem Edelgase. Damit gefüllte Isolierglasscheiben verhalten sich aber bauakustisch nur wenig anders als die jeweils gleich aufgebauten Doppelscheiben mit Luftfüllung. Die Überwindung der Diskrepanz zwischen Schall- und Wärmeschutz war damals ein Hauptthema der Bauphysik und ist es bis heute geblieben. Neue Impulse brachte die Novellierung der Wärmeschutzverordnung [3]. Wird auch noch die Angabe des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w nach DIN 52210 [4] ergänzt um die der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} nach EN 20717 [5], so ergeben sich zusätzlich neue Gesichtspunkte für die Auswahl geeigneter Gasfüllungen in Isolierglasscheiben.

2. Gasfüllung und bewertetes Schalldämm-Maß R_w

Daß R_w bislang fast als alleiniger Maßstab für die bauakustische Qualität einer Isolierglasscheibe zu betrachten war, hat die Entwicklung weg von energieeinsparenden Verglasungen gefördert. Die Mehrzahl der sogenannten Schallschutzverglasungen wurde mit hohem Anteil an Schwergas wie Schwefelhexafluorid (SF_6) gefüllt. Für den Wärmedurchgangskoeffizienten, sogar bei einer Infrarot-reflektierenden Schicht im Innern der Verglasung, war kaum weniger als 1,9 W/(m² K) zu erreichen. Deshalb war es wegen der neuen Anforderungen [3, dort Anlage 1, Tab. 1, Spalte 2] notwendig, bei der Gasfüllung anstelle des überwiegenden SF_6-Anteils der Füllung von Schallschutzscheiben jetzt den Edelgasanteil (z.B. Argon) deutlich zu erhöhen. Bereits bei einer Mischung von 20% SF_6 und 80% Argon ergibt sich für die gängigen Isolierglastypen eine Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes von wenigstens 1 dB gegenüber den jeweils gleich aufgebauten und mit reinem Argon gefüllten Scheiben.

Tabelle 1: Verbesserung des bewerten Schalldämm-Maßes von mit Argon gefüllten Isolierglasscheiben durch eine Beimischung von SF_6 mit einem Anteil von 30 % bis 40 % (Mittelwerte aus Messungen von 20 jeweils gleich aufgebauten Scheibenpaaren) bei geringeren und höheren Ansprüchen.

Schallschutzwerte	Bereich geringerer Schalldämmung	Bereich höherer Schalldämmung
Schalldämm-Maß mit Argon-Füllung	34 dB bis 39 dB	40 dB bis 46 dB
Verbesserung bei SF_6-Beimischung	2 dB	3 dB

Eine aus Gründen des Wärmeschutzes noch tolerable Mischung von 65% Argon und 35% SF_6 bei einer Infrarot-reflektierenden Schicht ergibt gegenüber der Argonfüllung eine Verbesserung von 2 dB bis 3 dB je nachdem, welche Glaskombination gewählt wird (siehe Tabelle 1). Ein höherer Anteil an SF_6 ergibt in der Regel kaum noch zusätzliche Verbesserungen. Es zeichnet sich ab, daß das bewertete Schalldämm-Maß für bestimmte Isolierglasscheiben mit asymmetrischem Aufbau sogar wieder kleiner wird, wenn die SF_6-Beimischung zu Argon mehr als 50% beträgt.

Tabelle 2: Bewertetes Schalldämm-Maß R_w und Spektrum-Anpassungswert C_{tr} für ausgewählte Isolierglasscheiben und zwei Füllgase.

Scheiben -aufbau [mm]	Einzahl-angaben	Schalldämmwerte für verschiedene Füllgase [dB]	
		Argon	70%Ar/30% SF_6
6/16/4	R_w	36	38
	C_{tr}	-5	-8
	$R_w + C_{tr}$	31	30
8/16/4	R_w	37	38
	C_{tr}	-5	-7
	$R_w + C_{tr}$	32	31
8/20/4	R_w	37	40
	C_{tr}	-6	-8
	$R_w + C_{tr}$	31	32
10/16/4	R_w	38	40
	C_{tr}	-5	-8
	$R_w + C_{tr}$	33	32
9GH/16/6	R_w	41	43
	C_{tr}	-6	-8
	$R_w + C_{tr}$	35	35

Dies gilt besonders für Doppelscheiben, deren eine Floatglasscheibe eine Dicke von 10 mm und mehr aufweist. Die gleiche Tendenz ist aber auch für eine gängige Isolierglasscheibe mit 12 mm Scheibenabstand schon früher festgestellt worden [6].

3. Spektrum-Anpassungswerte

Der Entwurf der Europäischen Norm [5] sieht zusätzlich zum bewerteten Schalldämm-Maß R_w (bisher in [4] geregelt) die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} vor. Bei beiden Werten werden idealisierte Außenlärmspektren und eine A-Frequenzbewertung berücksichtigt und somit eine Verbindung zu den bisher in Frankreich üblichen Einzahlangaben R_{rose} und R_{route} hergestellt. Welche Auswirkung die neue Zusatzbewertung für die Schalldämmung von Isolierglasscheiben haben wird, soll Tabelle 2 beispielhaft verdeutlichen. Während die Spektrum-Anpassungswerte C sich für Isolierglasscheiben im Rahmen von -1 dB bis -3 dB bewegen, nimmt C_{tr} deutlich davon abweichende Zahlenwerte an; -7 dB bis -9 dB sind keine Seltenheit. Dies resultiert aus der stärkeren Gewichtung der Schalldämm-Maße bei tiefen Frequenzen, bei denen auch der innerstädtische Verkehrslärm seine höchsten Pegelanteile hat.

Aus Tabelle 2 wird deutlich, daß durch die Beimischung des Schwergases SF_6 zu Argon mit einem Anteil von etwa 30% die bewerteten Schalldämm-Maße R_w um 2 dB größer sind als bei der reinen Argonfüllung. Die Addition von R_w und C_{tr} führt aber zu Werten, die im Durchschnitt von der Art der Gasfüllung unabhängig sind. Deswegen wird empfohlen, zuerst den Belangen des Wärmeschutzes durch Isolierglasscheiben Rechnung zu tragen und von der Schalldämmung der mit Argon oder Krypton gefüllten Verglasung auszugehen. Dabei ist zu bemerken, daß mit der Kryptonfüllung um jeweils etwa 2 dB höhere bewertete Schalldämm-Maße zu erzielen sind als mit der Argonfüllung.

4. Literatur

[1] Derner, P.: Einfluß der Gasfüllung auf die Schall- und Wärmedämmung von Isoliergläsern. Glastechn. Berichte 48 (1975), H. 5, S. 84-89.

[2] Gösele, K.; Lakatos, B.: Verbesserung der Schalldämmung von Isolierglasscheiben durch Gasfüllung. Glastechn. Berichte 48 (1975), H. 5, S. 91-95.

[3] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung) vom 16. August 1994, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 55, 1994, S. 2121-2132.

[4] DIN 52210, Teil 4, August 1984 „Bauakustische Prüfungen, Luft- und Trittschalldämmung, Ermittlung von Einzahl-Angaben".

[5] Entwurf DIN EN 20717, Teil 1, November 1993 „Akustik, Einzahlangaben für die Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen, Teil 1: Luftschalldämmung

[6] Feldmeier, F.; Schmid, J.: Gasdichtheit von Mehrscheiben-Isolierglas.Bauphysik 14 (1992), Heft 1, S. 12-17.

FRAUNHOFER - INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)
Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Dr. E.h.mult. Karl Gertis
D-70569 Stuttgart, Nobelstraße 12, (Postf. 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 0711/970-00
D-83626 Valley, Miesbacher Straße 10, (Postf. 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 08024/643-0
D-14193 Berlin, Caspar-Theyß-Straße 14A, Tel. 030/891 3313

Herstellung und Druck: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Satz- und Druckcenter

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik