Schallschutz

Schalltechnische Grundlagen

Ganz allgemein versteht man unter Schallschutz im Hochbau Maßnahmen, welche die Schallübertragung einer sogenannten Schallquelle zum möglichen Hörer im Empfangsraum vermindert. Der bauliche Schallschutz hat die Aufgabe, Menschen in Gebäuden vor störendem Lärm von außen aber auch aus dem Gebäudeinneren zu schützen.

Lärm ist unerwünschter Schall und damit subjektiv, dazu kommt, dass der Hörprozess als solcher eigenen Gesetzmäßigkeiten folgt und wie auch andere perceptive Eigenschaften auch alterungsabhängig ist.

Für eine Person kann ein Geräusch angenehm sein, dass für eine andere bereits als Lärm empfunden wird.

Schall in der Luft ist eine Überlagerung des vorhandenen Luftdrucks mit im Vergleich dazu sehr kleinen Luftdruckschwankungen in Form von Schwingungen. Schwingungen mit geringer Frequenz um 100 Hz – das sind 100 Schwingungen pro Sekunde – werden als tiefe Töne wahrgenommen, solche mit 3000 Hz – das sind 3000 Schwingungen pro Sekunde – als hohe Töne. Da die Geschwindigkeit des Schalles bei Raumtemperatur ungefähr 340 m/s beträgt, weisen Töne mit 100 Hz eine Wellenlänge von 3,4 m auf, und Töne mit 3000 Hz Wellenlängen von nur 11 cm.

Geräusche entstehen, wenn sich verschiedene Töne ohne erkennbares Muster überlagern.

Das menschliche Gehör ist für tiefe Töne weniger empfindlich als für mittlere und hohe Frequenzen, was auch bei der Dimensionierung der Schalldämmung wesentlich ist. Mit 20 Jahren ist der Mensch in der Lage, Schall im Bereich zwischen 16 Hz und 16000 Hz wahrzunehmen, wobei die obere Grenze alle 10 Jahre um rund 1000 Hz abnimmt.



Abb. 1: Frequenzbereiche des Hörens und im Schallschutz übliche Frequenzbereiche

Der Schalldruck, der bei einem Menschen gerade noch eine Hörempfindung hervorruft, wird als Hörschwelle bezeichnet. Dieser Druck ist sehr gering, er beträgt lediglich $2 \cdot 10^{-5}$ N/m².

Dieser Schalldruck, an der Hörschwelle, wird auch als Bezugsschalldruck für die Angabe des Schalldruckes als Schalldruckpegel verwendet. Ausgehend vom sogenannten Weber-Fechner-Gesetz über den Zusammenhang von Reiz und Empfindung ist die Lautstärkeempfindung proportional zum Logarithmus des physikalischen Reizes, was nicht nur für das Hören, sondern auch für andere Reizempfindungen Geltung hat.

Dies zeigt sich auch darin, dass das Gehör Schalldrücke zwischen $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² und der Schmerzschwelle bei etwa 200 N/m² wahrzunehmen imstande ist, also einen Bereich von 7 Zehnerpotenzen [1].

Um anschauliche Zahlengrößen für diesen Empfindungsbereich zu erhalten, wird der Schalldruck logarithmisch als Pegel adäquat dem logarithmischen Reiz-Empfindungs-Zusammenhang berechnet.

Somit definiert sich der Schalldruckpegel L [dB] durch:

$$\label{eq:eqn_1} L = 10log{{{1 \over {{T_m}}}\int\limits_0^{{T_m}} {{p^2}(t)dt} } \over {{p_0}^2}}$$

p_0	Bezugsschalldruck, Schalldruck an der Hörschwelle $2 \cdot 10^{-5}$ N/m²
p	Effektivwert (quadratischer Mittelwert) des Schalldrucks
T_m	Integrationszeit in Sekunden

Aus diesem Zusammenhang ergeben sich verschiedene Effekte:

Zwei Schallquellen mit je einem Schalldruckpegel an der Hörschwelle von $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² ergeben nach obiger Gleichung:

$$\label{eq:eqn_2} L = 10\log \left({{{2 \cdot {{10}^{ - 5}} + 2 \cdot {{10}^{ - 5}}} \over {2 \cdot {{10}^{ - 5}}}}} \right) = 3{\rm{ [dB]}}$$

Damit ergeben zwei Schallquellen mit jeweils 0 dB zusammen 3 dB, was nichts anderes bedeutet, als zwei Schallquellen, von denen jede alleine einen Schallpegel gerade an der Hörschwelle aufweist, werden natürlich bei einem Zusammenwirken hörbar.

$$\label{eq:eqn_3} L = 10\log \left({{{10 \cdot 2 \cdot {{10}^{ - 5}}} \over {2 \cdot {{10}^{ - 5}}}}} \right) = 10{\rm{ [dB]}}$$

Vereinfacht dargestellt ergeben zwei gleich laute Schallquellen eine Erhöhung des Schalldruckpegels von 3 dB, 10 gleich laute einen Pegelzuwachs von 10 dB und damit eine Verdoppelung der empfundenen Lautstärke. Ist eine Schallquelle um rund 10 dB lauter, so „überdeckt“ diese die leisere Schallquelle, die leisere wird damit – bei Zusammenwirken – unhörbar.

Abb. 2: Zusammenwirken von Schallquellen

Schall wird nicht nur über die Luft, also in Gasen transportiert, sondern auch in Flüssigkeiten (Hydroschall) und in Festkörpern, als sogenannter Körperschall. In der Bauakustik unterscheidet man hinsichtlich der Schallanregung bzw. des Transportweges der Schallübertragung zwischen dem Luftschall, dem Trittschall und dem Körperschall, wie er z. B. häufig von haustechnischen Anlagen hervorgerufen wird.

Luftschall entsteht z. B. beim Sprechen oder durch Musik. Trittschall entsteht z. B. durch Gehen, Laufen oder Springen auf einer Fußbodenkonstruktion. Körperschall wiederum kann z. B. durch Motoren wie bei Aufzügen oder durch das Rütteln einer Schleuder, aber auch durch Klopfen, entstehen.

Außerhalb des Gebäudes entsteht Luftschall durch z. B. Verkehr, gewerbliche Anlagen oder auch Baulärm. Trittschall kann in das Gebäudeinnere u. a. über Terrassen oder Loggien eingetragen werden, Körperschall durch Erschütterungen größerer Maschinenanlagen aber auch durch den Verkehr.

Übertragung von Schall im Gebäude

Luftschall breitet sich von der Schallquelle, z. B. einem Lautsprecher, über die Luft in einem Raum

aus, trifft auf die Raumbegrenzungsflächen und wird dort zum Teil reflektiert, zum Teil absorbiert und bringt zum Teil die Bauteile selbst in Schwingung. Diese Schwingungen werden als Körperschall im Bauteil weitergeleitet.

Zwischen zwei Räumen wird der Schall sowohl über die Trennwand, als auch über die flankierenden Bauteile übertragen, wodurch für die Bemessung einer Konstruktion die Kenntnis der Bauteile, aber auch der Verbindung der Bauteile wesentlich ist.

Abb. 3: Luftschallübertragung zwischen Räumen

Wie groß der Anteil der Schallübertragung über die flankierenden Bauteile in den Empfangsraum ist, hängt wiederum von der Ausbildung der flankierenden Bauteile, aber auch von der Ausbildung der Stoßstellen ab. In der Regel führen starre, biegesteife Anschlüsse zu einer geringen Stoßstellendämmung, was die Nebenwegsübertragung begünstigt. Soll eine hohe Schalldämmung erreicht werden, muss eine geringe Nebenwegsübertragung Ziel der Planung sein.

Wie weit die bauliche Schalldämmung der Konstruktion später maßgeblich wird, hängt für vorgegebene Randbedingungen vor allem vom Entwurf ab, und zwar sowohl des Gebäudes und der Gebäudelage, als auch der Lage der vor Lärm zu schützenden Räume innerhalb von Nutzungseinheiten. Ein schalltechnisch guter Entwurf kann dabei bauliche Schallschutzmaßnahmen unterstützen und trägt wesentlich dazu bei, mögliche Konfliktsituationen zu vermeiden, auch wenn im Zuge der Ausführung der eine oder andere Fehler passiert. Wenn z. B. das Bad mit Dusche und Wäschetrockner des Nachbarn nicht unmittelbar an das Schlafzimmer des anderen Nachbarn angrenzt, werden auch Tag- und Nachtmenschen gute Nachbarn bleiben können, zumindest aus Sicht der Lärmbelästigung.

Für den Schallschutz von außen ist die Schalldämmung der Einzelbauteile der Gebäudehülle und das Zusammenwirken der Außenbauteile wie Wände, Fenster- Türen- und Fassadenkonstruktionen relevant, wobei darauf zu achten ist, dass auch die Qualität des Bauanschlusses z. B. der Fenster den Anforderungen entspricht.

Daneben wird der Schallschutz aber auch von der Schallabsorption im Empfangsraum beeinflusst: je weniger schallabsorbierende Oberflächen im Empfangsraum vorhanden sind, desto lauter wird es im Vergleich zu einem schallabsorbierend gestalteten Raum sein, der Raum wirkt hallig, man spricht von langer Nachhallzeit.

Die Fähigkeit Schall zu absorbieren haben z. B. nicht nur die bekannten Akustik-Lochdecken, die mit einem absorbierenden Material hinterlegt sind, sondern im Wohnbereich vielmehr auch Teppiche, Vorhänge, Polstermöbel usw. Man spricht hier in der Akustik von der „Nachhallzeit“, die messtechnisch erfasst wird, aber auch berechnet werden kann.

Messergebnisse in Hinblick auf den Schallschutz werden in der Regel auf eine Nachhallzeit von 0,5 Sekunden bezogen, was einem gut ausgestatteten Wohnzimmer entspricht.

Luftschalldämmung

Grundlagen

In Räumen treffen Schallwellen durch die Reflexion an den Oberflächen in der Regel „diffus“, also aus

allen geometrisch möglichen Winkeln auf einen Trennbauteil auf.

Grundsätzlich kann man zwischen der Schalldämmung einschaliger und akustisch mehrschaliger Trennbauteile unterscheiden.

Die im Hochbau wesentliche kennzeichnende schalltechnische Kenngröße von Bauteilen ist das Schalldämm-Maß R [dB]. Das Schalldämm-Maß ist das Verhältnis der auf eine zu prüfende Trennwand auftreffenden Schallleistung W_1 zu der durch den Prüfgegenstand übertragenen Schallleistung W_2.

$$\label{eq:eqn_4} R = 10\log{{{W_1}} \over {{W_2}}} = - 10\log \tau {\rm{ [dB]}}$$

W_1	Schallleistung im Senderaum
W_2	Schallleistung im Empfangsraum
τ	Transmissionsgrad

Das Schalldämm-Maß wird in einem Prüfstand nach ÖNORM EN ISO 140-1 [2] und ÖNORM EN ISO 140-3 [3] unter größtmöglicher Ausschaltung von Schallnebenwegen in den Terzbändern von 100 Hz bis 3150 Hz bzw. heute in der Regel im erweiterten Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz gemessen.

Bei diffusem Schallfeld beidseits des Trennbauteils, wie üblicherweise in Räumen gegeben, kann, sofern die Übertragung nur über eine bekannte Bauteilfläche S (in m²) übertragen wird, das Schalldämm-Maß aus der Schallpegeldifferenz zu beiden Seiten des Bauteils errechnet werden nach:

$$\label{eq:eqn_5} R = D + 10\log{S \over A}{\rm{ [dB]}}$$

mit

$$\label{eq:eqn_6} D = L_1 - L_2 = {\rm{10log}}{{{p_1}^2} \over {{p_2}^2}}{\rm{ [dB]}}$$

A	Absorptionsfläche im Empfangsraum in [m²]
S	Trennbauteilfläche in [m²]
D	Schallpegeldifferenz L_1 – L_2 in [dB]
p_1, p_2	Effektivwert (quadratischer Mittelwert) des Schalldruckes im Raum 1 bzw. 2
L_1, L_2	Schalldruckpegel im Raum 1 bzw. 2

Da die Schalldämmung eines Bauteils über den Frequenzverlauf natürlich unterschiedlich ist, wird zur praktischen Beschreibung der Schalldämmung in Form einer Einzahlangabe das bewertete Schalldämm-Maß Rw [dB] verwendet. Dieses ergibt sich durch ein Bewertungsverfahren, einem „Vergleich“ des gemessenen oder berechneten Schalldämmverlaufes mit einer Bezugskurve, die zusammen mit dem Bewertungsverfahren in der internationalen Norm EN ISO 717 Teil 1 definiert ist.

Am Bau erfolgt die Schallübertragung nicht nur über den Trennbauteil, sondern auch über die flankierenden Bauteile.

Vereinfacht kann man dies mit dem sogenannten bewertetem Bauschalldämm-Maß R'_w [dB] berücksichtigen, hier werden die Übertragungsanteile der Nebenwege sozusagen dem Trennbauteil angelastet. Das so definierte Bauschalldämm-Maß ist jedoch von der Fläche des Trennbauteils

abhängig, sodass Bauteile mit gleichem R'_w [dB] aber unterschiedlicher Trennbauteilfläche zu unterschiedlichen Empfangspegeln im Empfangsraum führen.

Eine bessere Möglichkeit, die Schalldämmung zwischen zwei Räumen zu definieren, ist jener über die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} [dB].

Diese ergibt sich aus der Schallpegeldifferenz der räumlichen und zeitlichen Mittelwerte der Schalldruckpegel, die in zwei Räumen von einer oder mehreren Schallquellen in einem der beiden Räume erzeugt wird, bezogen auf einen Bezugswert der Nachhallzeit im Empfangsraum.

Fix Me! [4-7]

L_1	mittlerer Schallpegel im Senderaum
L_2	mittlerer Schallpegel im Empfangsraum
T	Nachhallzeit im Empfangsraum
T_0	Bezugs-Nachhallzeit (T<sub<0</sub> = 0,5 s)

Aus den Terzbandwerten wird die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ [dB] mit dem bereits oben beschriebenen Bewertungsverfahren ermittelt. Damit wird die Schalldämmung zwischen zwei Räumen unabhängig von geometrischen Größen beschrieben.

Bauschalldämm-Maß R' [dB] und Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} [dB] können ineinander umgerechnet werden, wenn die geometrischen Randbedingungen bekannt sind:

Fix Me! [4-8]

S	Trennbauteilfläche in [m²]
V	Volumen des betrachteten Raumes [m³]
D_{nT}	Standard-Schallpegeldifferenz [dB]

Für die Berechnung der Schallübertragung in Gebäudestrukturen hat sich mit der EN 12354-1 [4] ein SAE-Modell basierend auf die Bauteileigenschaften und die Eigenschaften der Stoßstellen etabliert.

Für die Praxis wird hier in der Regel das vereinfachte Modell für die Körperschallübertragung verwendet. Dabei ergibt sich die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ aus:

Fix Me! [4-9]

$D_{nT,Dd,w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für die Direktübertragung durch den Trennbauteil
$D_{nT,Ff,w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Übertragungsweg Ff in [dB]
$D_{nT,Fd,w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Übertragungsweg Fd in [dB]
$D_{nT,Df,w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für den Übertragungsweg Df in [dB]

Abb. 4: Übertragungswege bei der Schallübertragung; rot: Körperschall, blau: Luftschall

Dd	Schalleinleitung auf den Trennbauteil, Schallabgabe über Trennbauteil
Df	Schalleinleitung auf den Trennbauteil, Schallabgabe über Flankenbauteil
Fd	Schalleinleitung über Flankenbauteil, Schallabgabe über Trennbauteil
Ff	Schalleinleitung über Flankenbauteil, Schallabgabe über Flankenbauteil

Die einzelnen Übertragungswege sind gesondert zu ermitteln und energetisch zu addieren. Als

Eingangsdaten werden die bewerteten Schalldämm-Maße der Bauteile, Verbesserungsmaße eventuell vorhandener Vorsatzschalen, die Stoßstellendämm-Maße R_w [dB] für jede Stoßstelle, das Volumen des Empfangsraumes und die Kopplungslängen erforderlich. Richtwerte für die Stoßstellendämm-Maße K_{ij} sind in der EN 12354-1 enthalten, mit der Problematik, dass diese Werte hauptsächlich für eindeutige Stoßstellen (starr, gelenkig) vorliegen, und für die in der Brettsperrholzbauweise vorkommenden Stoßausbildungen mit unterschiedlichsten Verschraubungen und Zwischenlagen derzeit noch keine geeigneten genormten Werte vorliegen.

Aus der Erfahrung hat sich gezeigt, dass für die österreichischen Anforderungen an die Schalldämmung zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten die Nebenwege mittels eines elastischen Zwischenlagers oder durch Abdeckung der flankierenden Wände mit Vorsatzschalen gut übertroffen werden können. Kontraproduktiv zur Wirkung elastischer Lager ist immer die statisch erforderliche Befestigung über Winkel und/oder Verschraubungen, die abhängig von Art und Anzahl einen Teil der Wirkung der elastischen Lager wieder rückgängig macht, sodass es sich lohnt, die Befestigungen so zu gestalten, dass eine direkte Körperschallübertragung über diese Verbindungen möglichst minimiert wird.

Einen weiteren Einfluss stellt die Gewichtsbelastung der elastischen Lager dar, die zu einer Versteifung führen kann. Um eine optimale Wirkung zu erzielen, sollten die Lager anhand der vorhandenen statischen Lasten bemessen werden und keinesfalls überdrückt werden.

Elastische Lager können erfahrungsgemäß Verbesserungen der Luftschalldämmung von 2 bis über 10 dB mit sich bringen, wobei durch die statisch erforderliche Befestigung oft nur mehr 2 bis 6 dB übrig bleiben, was jedoch in der Regel ausreichend ist, um die österreichischen Anforderungen sicher zu erfüllen, wenn auf alle sonstigen möglichen Nebenwege geachtet wird (Fugen, starre Verschraubungen, etc.).

Für Außenbauteile erfolgt die Schalltransmission oft über zusammengesetzte Bauteile, wie z. B. Wand und Fenster. Das sich aus dem Zusammenwirken der einzelnen Bauteile ergebende Schalldämm-Maß bezeichnet man in seiner Einzahlform als resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß $R_{res,w}$ [dB].

Fix Me! [4-10]

S_g	gesamte raumseitige Außenbauteilfläche einschließlich Fenster- und Türöffnungen in [m²]
S_i	Fläche der einzelnen Bauteile in [m²]
$R_{w,i}$	bewertetes Schalldämm-Maß der einzelnen Bauteile in [dB]

Die Einzahlangabe ist im Sinne der Verwendbarkeit der Daten in der Praxis erforderlich, weist jedoch das Problem auf, dass wesentliche Informationen über den Verlauf der Schalldämmung über den Frequenzbereich verloren gehen. Da Bauteile insbesondere dort, wo die zu erwartende Lärmbelastung relativ hoch ist, möglichst gut dämmen sollen, wird es erforderlich, diesbezüglich weitere Informationen bereitzustellen. Ein typisches Beispiel ist ein Fenster, das von Verkehrslärm belastet ist. Städtischer Verkehrslärm ist eher tieffrequent, sodass es wünschenswert ist, dass Fenster bei solcher Exposition auch im tieffrequenten Bereich keine wesentlichen Einbrüche in der Schalldämmung aufweisen.

Zur näheren Information über den Verlauf der Schalldämmung bei bestimmten Belastungs-Lärmspektren sollen die Spektrum-Anpassungswerte dienen.

Abb. 5: Verlauf der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr}

L_{ij}	Schallpegel bei der Frequenz i für das Spektrum j

Das C-Spektrum ist Geräuschquellen wie z. B. Wohnaktivitäten (Reden, Musik, Radio, TV), Kinderspielen, Schienenverkehr mit mittlerer und hoher Geschwindigkeit, Autobahnverkehr sowie Betrieben mit überwiegend mittel- bis hochfrequentem Lärm, zugeordnet. Das Ctr-Spektrum ist Geräuschquellen wie z. B. städtischem Straßenverkehr, Schienenverkehr mit geringer Geschwindigkeit, Discomusik, Betrieben mit überwiegend tief- und mittelfrequentem Lärm zugeordnet.

In Österreich wird derzeit lediglich der Spektrum-Anpassungswert C_{tr} für Fenster und Außentüren bzw. leichte Außenfassaden, und hier nur im Bereich von 100 Hz bis 3150 Hz gefordert, wobei ein Wert von $C_{tr} \geq -5$ keine Änderung in der Bewertung ergibt. Werte von $C_{tr} < -5$ deuten jedoch auf Einbrüche in der Schalldämmung im tieffrequenten Bereich hin.

Brettsperrholz als einschaliger Bauteil

Für das Luftschalldämm-Maß eines akustisch einschaligen Bauteils lässt sich vereinfacht das sogenannte Massegesetz ableiten, das einen Zusammenhang zwischen dem bewerteten Schalldämm-Maß Rw [dB] und der spezifischen Masse eines homogenen Bauteils herstellt.

Abb. 6: bewertetes Schalldämm-Maß R_w von massiven einschaligen Wänden und Decken nach ÖNORM B 8115 Teil 4 [5]

In der praxisnahen Fassung der ÖNORM B 8115 Teil 4 [5] lautet es:

Fix Me! [4-11]

m'	flächenbezogene Masse in [kg/m²]

Voraussetzung für die Anwendung ist die akustische Homogenität des betrachteten Bauteils und eine flächenbezogene Masse m' zwischen 100 und 700 kg/m². Während die Verbesserung der Schalldämmung über 100 kg/m² rund 6 dB je Gewichtsverdopplung bringt, steigt die Schalldämmung darunter nur wenig an, wie in der Abbildung deutlich wird. Dies ist insbesondere für leichtere massive Holzbauelemente von Bedeutung, da die Zunahme z. B. bei einer Wanddicke von 10 cm Dicke mit 45 kg/m² auf 15 cm mit rund 68 kg/m² nur gering ausfällt. Nach oben dargestelltem Diagramm beträgt das bewertete Schalldämm-Maß Rw rund 36 dB. In der Praxis kann das bewertete Schalldämm-Maß sogar noch darunter liegen, wenn die Platte z. B. Fugen aufweist, wie sie bei der Herstellung vorhanden sind oder aus dem Trocknungsprozess entstehen können.

Wesentlich für den frequenzbezogenen Verlauf der Schalldämmung einschaliger Bauteile ist die Koinzidenzgrenzfrequenz, auch kritische Frequenz genannt. Diese kennzeichnet jene Frequenz, an der es zu einer Spuranpassung kommt, also die Wellenlänge des Luftschalls mit der Biegewellenlänge der homogenen Wand zusammenfällt. Theoretisch setzt dort die Trennwand dem Schalldurchgang keinen Widerstand entgegen. In der Praxis zeigt sich bei der Grenzfrequenz ein oft markanter Einbruch in der Schalldämmung, der nur deshalb nicht zu Null wird, da noch weitere Mechanismen, wie z. B. die innere Dämpfung des Materials wirksam sind.

Fix Me! [4-12]

f_c	Koinzidenzgrenzfrequenz in [Hz]
d	Plattendicke in [m]
ρ	Rohdichte der Platte in [kg/m³]
E	dynamischer E-Modul [MN/m²]

Bei der Ermittlung des Elastizitätsmoduls bei Brettsperrholz ist der orthogonale Schichtaufbau zu berücksichtigen.

Brettsperrholz ist, schalltechnisch gesehen, ein biegesteifes, leichtes Material mit orthotropen Biegesteifigkeiten. Dies bringt mit sich, dass eine wesentliche kritische Frequenz des rohen Plattenmaterials bei etwa 200 – 400 Hz liegt. Bei einer Rohdichte von ungefähr 450 kg/m³ weist eine 10 cm dicke Wand rund 45 kg auf, eine 20 cm dicke Wand rund 90 kg.

Abb. 7: Berechnete Koinzidenzgrenzfrequenz von typischen Brettsperrholzplatten

Die Schalldämmung der rohen Brettsperrholzplatte zeigt folgenden Verlauf:

Abb. 8: Brettsperrholzwand im Wandprüfstand des Labors für Bauphysik der TU Graz (li.) und Verlauf der Schalldämmung einer einschaligen 90 mm dicken Brettsperrholzplatte (re.)

Das bewertete Schalldämm-Maß R_w der Platten liegt um 33 dB bis 36 dB, abhängig von der Ausführung.

Brettsperrholz im mehrschaligen Bauteil

Wie oben zu erkennen ist, weist einschaliges Brettsperrholz alleine ein für die meisten Fälle zu geringes Schalldämm-Maß auf.

Deshalb kommen in der Praxis mehrschalige Bauteile in Form von Doppelwänden in Kombination mit einer weiteren Brettsperrholzplatte oder auch in Kombinationen mit anderen Plattenwerkstoffen, Fassadenausführungen oder Beplankungen zum Einsatz.

Die Doppelwand verhält sich im tieffrequenten Bereich theoretisch wie eine Einfachwand mit der Masse der beiden Einzelschalen, bis es im Bereich der sogenannten Resonanzfrequenz zu einem Einbruch in der Schalldämmung kommt. Die beiden Schalen bilden ein Masse – Feder – Masse-System, bei dem sich die Resonanzfrequenz folgend ermitteln lässt:

Fix Me! [4-13]

f_0	Resonanzfrequenz in [Hz]
s'	dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht in[MN/m³]
m'_i	flächenbezogene Masse der jeweiligen Schale in [kg/m²]

Die Resonanzfrequenz sollte jedenfalls unter 80 Hz, besser noch unter 50 Hz liegen , was z. B. bei zwei Schalen mit 45 kg/m² bereits bei 60 bis 70 mm Abstand möglich ist.

Über der Koinzidenzgrenzfrequenz steigt die Schalldämmung wieder stärker an, um etwa 18 dB je Frequenzverdopplung, bis es zu sogenannten Dickenresonanzen kommt. Diese Bereiche spielen allerdings im Halz-Massivbau keine Rolle, wesentlich ist das Verhalten im unteren Frequenzbereich.

Doppelwände eignen sich gut als Wohnungstrennwände, da dabei auch die Decken der Wohnungen getrennt gelagert werden können. Für höhere Anforderungen an den Schallschutz kann der Abstand vergrößert oder es können zusätzlich einseitig oder auch beidseitig biegeweiche Vorsatzschalen angeordnet werden.



Abb. 9: Doppelwände ohne, mit einseitiger oder beidseitiger Vorsatzschale

Mit etwa 50 mm Abstand – mit dynamisch weicher Glaswolle gefüllt – erreichen diese Wandtypen ein bewertetes Schalldämm-Maß Rw von rund 55 dB bzw. 60 dB mit einer Vorsatzschale und rund 62 dB mit zwei Vorsatzschalen mit 50 mm Abstand zwischen den Oberflächen der BSP-Platten.

Die Vorsatzschalen sind im Gegensatz zu den biegesteifen Brettsperrholzplatten biegeweiche Elemente, das bedeutet, die Koinzidenzgrenzfrequenz dieser Vorsatzelemente liegt möglichst über 2500 Hz. Um dies zu erreichen, dürfen die Platten nicht zu dick sein. Geeignet sind z. B. Stahlbleche mit Dicken ≤ 2 mm, Gipskarton- und -faserplatten ≤ 15 mm und Holzspanplatten ≤ 20 mm. Je schwerer und biegeweicher die Platten sind, desto vorteilhafter ist die schalldämmende Wirkung. Auch hier sollte die Resonanzfrequenz wiederum möglichst unter 80 Hz dimensioniert werden, besser unter 50 Hz. Ist dazu ein höheres Gewicht der Platten notwendig, können auch zwei oder mehrere dünne Platten hintereinander angeordnet werden. Die Befestigung erfolgt entweder auf elastisch gelagerten Schwingbügeln direkt auf den Brettsperrholzplatten oder als eigenständige Ständerwand vor der Doppelwand so montiert, dass eine direkte Verbindung vermieden wird.

Trittschalldämmung

Trittschalldämmung – Bauteil

Die Trittschalldämmung soll durch Gehen oder Laufen angeregte Schallabstrahlung in den benachbarten Räumen auf ein nicht mehr störendes Maß reduzieren.

Um bei der Messung objektive Werte zu erhalten, wird anstelle von Gehgeräuschen eine mechanische Impulserregung verwendet.

Die Impulseinträge für die Trittschallmessung nach EN ISO 140-6 erfolgen durch ein exakt definiertes Normhammerwerk im Senderaum.



Abb. 10: Trittschallhammerwerk auf einer Massivholzdecke im Einfamilienhaus „Jeitler“ und Messergebnis

Trittschall in diesem Sinne stellt also nicht eine durch Nutzungsgeräusche verursachte Größe, sondern ein durch eine definierte Mechanik erzeugte Größe dar.

Soll die Trittschalldämmung nur für das Deckenbauteil ermittelt werden, ist auch hier die Messung in

einem Prüfstand mit unterdrückten Nebenwegen erforderlich.



Abb. 11: Einbringen einer Fertigteildecke in den Deckenprüfstand des Labors für Bauphysik der TU Graz

Das Normhammerwerk wird an mehreren Stellen der zu beurteilenden Deckenkonstruktion im Abstand von den Begrenzungsflächen aufgestellt. Mittels bewegten Mikrofons erfolgt im Empfangsraum die Messung des zeitlich und räumlich gemittelten Schallpegels, mit einer weiteren Mittelung über die einzelnen Hammerwerkspositionen.

Fix Me! [4-14]

L_n	Norm-Trittschallpegel in [dB]
A_0	Bezugsabsorptionsfläche (A_0 = 10 m²)
A	Fläche des Bauteils in [m²]
n	Anzahl der Messstellen
L_i	Schalldruckpegel an der Messstelle i in [dB]

Trittschalldämmung im Gebäude

Im Gebäude findet man eine grundsätzlich andere Situation für die Randbedingungen des Bauteils vor als im Labor: Wie beim Luftschall kann auch über die sogenannten „flankierenden Bauteile“ (also seitliche Wände, Decken, Fußboden, etc) und gegebenenfalls andere Wege (Haustechnik, Schächte etc.) mehr oder weniger Schallenergie übertragen werden. Die Anregung durch das Trittschallhammerwerk im Senderaum ist auch, abhängig von der Art der Deckenoberfläche mit einer mehr oder weniger großen Luftschallanregung verbunden.



Abb. 12: Nebenwege bei der Trittschallanregung

Der Standard-Trittschallpegel L'_{nT} in [dB] im Empfangsraum setzt sich aus der energetischen Summe der Schallabstrahlung aller raumbegrenzenden Bauteile, welche sich durch die Trittschallanregung mit dem Hammerwerk im angeregten Bauteil und den angrenzenden Bauteilen zusammen.

Angaben dazu sind in EN 12354 Teil 2 [6] enthalten.

Für den Empfangsraum unter einer angeregten Decke ergibt sich der Trittschallpegel L' aus

Fix Me! [4-15]

bzw. für den Raum neben einer angeregten Decke aus

Fix Me! [4-16]

L_d	Trittschallpegel durch die direkte Übertragung in [dB]
L_{ij}	Trittschallpegel durch Flankenübertragung in [dB]
n	Anzahl der flankierenden Bauteile
i	Indizes für einen Bauteil im Senderaum

j	Indizes für einen Bauteil im Empfangsraum

Unter Anwendung des vereinfachten Modells der EN 12354-2 ergibt sich der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ für Räume unter einer durch das Trittschall-Hammerwerk angeregten massiven Decke aus

Fix Me! [4-17]

Fix Me! [4-18]

Fix Me! [4-19]

$L_{n,eq,w}$	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke in [dB]
$L_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel in [dB]
ΔL_w	bewertete Trittschallminderung durch eine Rohdeckenauflage in [dB]
V	Volumen des Empfangsraumes in [m³]
K	Korrektur für die Trittschallübertragung über die massiven flankierenden Bauteile in [dB]

Die Korrekturwerte für die Flankenübertragung K [dB] können in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse der Decke und der flächenanteilig gemittelten flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile ohne Vorsatzschale einer Tabelle der EN 12354 entnommen werden. Wände aus biegeweichen Schalen können dabei unberücksichtigt bleiben.

Aufgrund der geringen mittleren flächenbezogenen Masse bei Brettsperrholzkonstruktionen wären für K demnach 1 dB (flächenbezogene Masse m' (der Decke) = 100 kg/m²) bis 2 dB (flächenbezogene Masse m' (der Decke) = 200 kg/m²) anzusetzen.

Für Rohdecken ab einer flächenbezogenen Masse m' von 100 kg/m² wird in der ÖNORM B 8115 Teil 4 noch eine Abschätzung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels angegeben:

Fix Me! [4-20]

m'	flächenbezogene Masse der Rohdecke in [kg/m²]

D. h. bei einer Brettsperrholzdecke – Rohdichte 480 kg/m³ – mit einer Dicke von rund 220 mm kann man theoretisch mit einem äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel Ln,eq,w von 93 dB rechnen. Messwerte zeigen für eine 100 mm dicke Deckenplatte Werte um 85 dB, so dass die Abschätzung nach der oben angeführten Formel für Brettsperrholzdecken eher zu hohe Werte liefert.

Dennoch wird klar, dass für die üblichen Nutzungen geeignete Deckenauflagen erforderlich werden, z. B. in Form schwimmender Estriche. Zusätzlich können abgehängte Decken den direkt über die Decke abgestrahlten Schalleintrag in den Empfangsraum günstig reduzieren, wobei auch hier auf eine Resonanzfrequenz unter 80 Hz, besser unter 50 Hz geachtet werden sollte.

Günstig für den tiefen Frequenzbereich wirkt sich eine Splittschüttung auf der Brettsperrholzrohdecke aus. Diese Deckenbeschwerung kann auch aus einzelnen Platten bestehen, darf jedoch keinesfalls als gebundene Beschüttung direkt auf die Rohdecke aufgebracht werden. Eine Sandschüttung wäre akustisch wirkungsvoll, ist jedoch in der Praxis abzulehnen, da es einerseits sehr leicht zu Setzungen kommen kann und zum anderen durch unplanmäßige Befeuchtung nass gewordener Sand lange nicht austrocknet und in Zusammenhang mit Holz zu Feuchteschäden führen kann.

Die darauf aufgebrachte Trittschalldämmung sollte eine geringe dynamische Steifigkeit aufweisen,

wobei auf Praxistauglichkeit und Setzung zu achten ist. Bewährt haben sich entsprechend schwere Mineralwolleplatten. In Bädern etc. sollten Platten mit geringer Zusammendrückbarkeit verwendet werden (Zusammendrückbarkeitsstufe CP2 nach EN 13162). Um dennoch eine geringe dynamische Steifigkeit zu erreichen, kann hier die Dicke größer gewählt werden.

Zu beachten ist, bei schwimmenden Estrichen Körperschallbrücken zu vermeiden. Bereits kurze Brücken können bei der Trittschalldämmung Verschlechterungen um 10 dB bewirken.



Abb. 13: Schallbrücke eines schwimmenden Estrichs; der Estrichrandstreifen muss durchgehend um das Türprofil angeordnet werden und muss bis zur Fertigstellung des Fußbodenbelages über den Estrich herausragen.

Untergehängte Decken ermöglichen zum einen eine Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung, aber auch der Flankenübertragung.

Die Unterkonstruktion ist entkoppelt durch geeignete Abhängungen herzustellen, der Hohlraum sollte zumindest teilweise mit Mineralfaser absorbierend bedämpft werden. Auch hier gilt, die Resonanzfrequenz möglichst tief zu wählen. Nicht bedämpfte Hohlräume wirken wie Resonanzkörper und können den Schallschutz negativ beeinträchtigen.



Abb. 14: Unterkonstruktion für abgehängte Decke

Durch geeignete Wahl des Deckenaufbaus zusammen mit elastischer Lagerung oder Verwendung von Vorsatzschalen an Massivholzwänden lassen sich recht gute Werte für die Trittschalldämmung erzielen. Es ist jedoch in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz zu bedenken, dass durch Vorsatzschalen die speicherfähige Masse der Brettsperrholzplatten dadurch wird.



Abb. 15: Beispiel für Deckenaufbau mit Trockenestrich (2x10 mm Gipsfaserplatten, 30 mm Steinwolle-Trittschalldämmplatte, 70 mm Splitt, 102 mm Brettsperrholzdecke, 20 mm Luftraum, 50 mm Mineralfaser, 15 mm Gipskartonplatte abgehängt.
Rot: Rohdecke – Ln,eq,w = 85 dB,
Blau: mit Deckenauflage und abgehängter Decke – Ln,w = 46 dB

Ein Messergebnis von $L_{n,w}$ = 44 dB konnte mit einem Deckenaufbau erreicht werden:

60 mm	Estrichbeton auf PAE Folie
42 mm	Trittschalldämmplatte TDP 45/43
60 mm	Splittschüttung auf Vlies
152 mm	Brettsperrholzdecke
20 mm	Luft
50 mm	Mineralfaser
12,5 mm	Gipskartonplatte abgehängt

Anforderungen an den Schallschutz

Während für die Messung und Kennzeichnung der schalltechnischen Eigenschaften europaweit

festgelegte Spezifikationen vorliegen, obliegen die Anforderungen an den Schallschutz der nationalen Gesetzgebung.

Dementsprechend unterschiedlich sind auch in den einzelnen Ländern die Vorgaben für den Mindestschallschutz definiert, wodurch sich erkennen lässt, dass das Lärmschutzniveau europaweit sehr unterschiedlich ausgeprägt ist, weswegen auch ein direkter Vergleich durch die unterschiedlichen verwendeten Bezugsgrößen nur näherungsweise möglich ist.

Abb. 16: Anforderungen an die Luftschalldämmung zwischen Wohnungen und Reihenhäusern in verschiedenen europäischen und benachbarten Ländern (geschätzte äquivalente Schalldämm-Maße, ein genaues Konvertieren ist nicht möglich) nach [7]

Abb. 17: Anforderungen an die Trittschalldämmung zwischen Wohnungen und Reihenhäusern in verschiedenen europäischen und benachbarten Ländern (geschätzte äquivalente Schalldämm-Maße, ein genaues Konvertieren ist nicht möglich) nach [7]

In Österreich konnten mit der Umsetzung der Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik OIB, respektive der Richtlinie 5 – Schallschutz – , die in den Ländern vorher divergierenden Anforderungen weitgehend harmonisiert werden. Basis für die schalltechnischen Anforderungen bildet das Standardverfahren der ÖNORM B 8115 Teil 2.

Für Außenbauteile werden dabei Anforderungen in Abhängigkeit der Lärmbelastung des Standortes gestellt. Für Trennbauteile gilt z. B. für Wohnungstrennwände eine Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ von 55 dB, für Reihenhäuser von 60 dB. Für den Trittschallschutz werden für Wohnungen maximale bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ von maximal 48 dB gefordert, für Reihenhäuser maximal 43 dB.

Wesentlich ist der Schallschutz in Hinblick auf die Nachtruhe, weshalb in der Regel unterschiedliche Anforderungen für Tag und Nacht definiert werden oder aber die Anforderungen hinsichtlich der ungünstigeren Periode für die Bemessung des Schallschutzes zu berücksichtigen ist. Je ruhiger die Umgebung, desto eher werden Lärmstörungen aus dem Gebäudeinneren und Einzelgeräusche wahrgenommen, sodass es sich empfiehlt, in solchen Lagen gegebenenfalls einen erhöhten Schallschutz im Gebäudeinneren vorzusehen.

Wesentlich ist zu beachten, dass im Gegensatz zum Wärmeschutz nachträgliche Maßnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes oft sehr aufwändig sind, es gilt das Prinzip der schwächsten Glieder in der Kette. So können unbeabsichtigte Fugen oder fehlerhafte Anschlüsse ebenso wie starre Verbindungen an sonst schalltechnisch getrennten Bauteilen rasch zu negativen Ergebnissen bei einer Gütemessung führen, auch wenn die Einzelbauteile den Anforderungen entsprechen würden.

Besonderes Augenmerk kommt dabei ausführungstechnischen Details zu, da insbesondere Fehler bei der Ausführung umgehend zu einer erhöhten Schallübertragung führen können. Besonders ist bei massiven Bauteilen die Vermeidung von Körperschallbrücken zu beachten und beim Holzbau, der häufig als Montagebauweise ausgeführt wird, auf entsprechend dichte Bauteilfügung.

Der Schallschutz im Gebäude

Wie bereits oben angeführt, ist es für ein gutes Ergebnis der Schalldämmung im Gebäude wesentlich, dass die Nebenwegsübertragung, auch als Schalllängsleitung bezeichnet, beachtet wird.



Abb. 18: Stoßstelle für die Ausbildung des Details Außenwand – Decke: Außenwand durch Decke getrennt (li.), Außenwand durchlaufend (re.)

Neben der Schallübertragung durch das Trennbauteil Decke wird auch die Außenwand zu Schwingungen angeregt, die zu einer zusätzlichen Schallabstrahlung über die Decke oder die Außenwand des Empfangsraums führen kann. Besonders durchlaufende Konstruktionen weisen eine erhöhte Schalllängsleitung auf.

Zur Verminderung der Schalllängsleitung können unterschiedliche Maßnahmen ergriffen werden.



Abb. 19: Beispiele zur Reduktion der Schalllängsleitung

Je nach Anforderung und System können Körperschall dämmende Zwischenlagen und/oder Vorsatzschalen verwendet werden, wenn keine völlige Trennung, wie bei der Doppelwand möglich ist.

Eine mögliche Kombination ist z. B. die Verwendung elastischer Lager unter der Deckenkonstruktion in Kombination mit einer Deckenkonstruktion mit einer Deckenauflage aus schwimmendem Estrich, Trittschalldämmung, Deckenbeschwerung Splitt und abgehängter Decke. Damit können bewertete Standardschallpegeldifferenzen D’nT,w von über 55 dB und bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ unter 48 dB problemlos sichergestellt werden.



Abb. 20: Beispiel für den Einsatz einer Kombination von Elastomerlagern und Vorsatzschalen (Estrich und abgehängte Decke)

Bei Verwendung von Doppelwänden kann die horizontale Schalllängsleitung weitgehend unterbunden werden.



Abb. 21: Beispiel für die Anwendung einer Doppelwand als Wohnungstrennwand mit getrennter Decke zur Vermeidung der Schalllängsleitung zwischen den nebeneinander liegenden Wohnungen; ausgeführt in Leoben-Leitendorf

Auch die einschalige Trennwand-Trenndeckenausführung wurde bereits mit Erfolg angewendet. Dabei besteht die Decke aus durchlaufenden Brettsperrholzplatten, die Schalllängsleitung wird durch geeignet abgestimmte Vorsatzschalenkonstruktionen beherrscht.



Abb. 22: Beispiel für eine einschalige Bauweise mit Vorsatzschalen, schwimmendem Estrich und abgehängter Decke; ausgeführt in Wien – Spöttelgasse

Aber auch Konstruktionen mit sichtbarer Decke sind bei höheren Ansprüchen an die Schalldämmung realisierbar. Ein einfacher Weg ist eine entsprechende Deckenbeschwerung unter dem schwimmenden Estrich.

Eine alternative zur Verwendung biegeweicher Vorsatzschalen besteht in der Applikation von Holzwolle-Leichtbauplatten, mit denen ebenfalls eine sehr gute Erhöhung der Schalldämmung erreicht werden kann, und gleichzeitig die speicherwirksame Masse für den sommerlichen Wärmeschutz

günstig beeinflusst wird.

Für geringere Ansprüche, etwa Standard-Trittschallpegel über 50 dB kann auf den zusätzlichen Einbau von Lagern in der Regel verzichtet werden, wenn bei der statisch erforderlichen Verbindung darauf entsprechend Rücksicht genommen wird, zu starre Körperschallbrücken zu vermeiden. So sind z. B. Glattschaftschrauben in vorgebohrten Schaubenlöchern schalltechnisch günstiger als punktverschraubte Winkelverbinder. Wenn elastische Lager zum Einsatz kommen, wird deren Wirkung weniger reduziert, wenn auf punktförmige und möglichst elastisch unterlegte Verbindungsmittel geachtet wird.

Konstruktionen – Bauteile

Außenwand ohne Installationsebene

Nicht immer ist eine Installationsebene an der Innenseite der Außenwand erforderlich. Durch entsprechende Auswahl und Dicke der inneren Beplankung kann die Brandwiderstandsdauer verändert werden. Die Dicke der Dämmschichten ist auf die regionalen Anforderungen anzupassen.

Auf eine innen liegende Dampfbremse oder Konvektionssperre kann verzichtet werden, wenn die Brettsperrholzplatte und deren Stöße dauerhaft luftdicht hergestellt werden.

Abb. 23: Außenwand ohne Installationsebene

Außenwand mit Installationsebene

Mit einer Installationsebene können Teile der Haustechnik nicht sichtbar (unter Putz) angeordnet werden. Auch wenn Anforderungen an die Schalllängsleitung gestellt werden, ist unter bestimmten Voraussetzungen eine Vorsatzschale erforderlich. Eine derartige Vorsatzschale verbessert das bewertete Schalldämmmaß R_w, reduziert allerdings die speicherwirksame Masse. Weiters ist auf die entsprechende Verteilung der Dämmschichten zwischen innen und außen zu achten. Die fehlende Dampfbremse nahe der inneren Oberfläche erfordert aus diffusionstechnischen Gründen eine zusätzliche Dämmung an der Außenseite. Plattenstöße der Brettsperrholzelemente sind mit geeigneten Dichtbändern konvektionsdicht herzustellen.

Abb. 24: Außenwand mit Installationsebene

Tragende Innenwand

Tragende Innenwände sind auf statische und brandschutztechnische Anforderungen zu dimensionieren. Die Anforderungen an den Brandschutz können auch mittels entsprechender Beplankung bewerkstelligt werden.

Für den Schallschutz zwischen den Wohneinheiten ist die richtige schalltechnische Trennung (Elastomer- oder Sylomerlager) beim Anschluss an die Decke entscheidend.

Abb. 25: Tragende Innenwand

Trennwand

Eine Trennwand zwischen Wohneinheiten kann als Doppelwand – zwei tragende Brettsperrholzplatten – wie in Abb. 26 dargestellt – ausgeführt werden. Für den Schallschutz zwischen den Wohneinheiten ist die richtige schalltechnische Trennung (Sylomerlager) beim Anschluss an die Decke entscheidend.

Bei der Ausführung mit nur einer Brettsperrholzplatte kann auf eine schalltechnische Trennung verzichtet werden, wenn die Wand und auch die Decke mit entsprechenden Vorsatzschalen ausgestattet werden. Diese Bauweise kommt dann zur Anwendung, wenn aus statischen Gründen (z. B. Erdbebenlasten) eine „weiche“ Lagerung der Deckenplatten nicht möglich ist.

Abb. 26: Trennwand als Doppelwand; Trennwand mit nur einer Brettsperrholzplatte

Geschossdecke

Die Decken zwischen Wohneinheiten können mit Estrich oder in Form eines Trockenfußbodenaufbaus ausgeführt werden. In beiden Fällen können zufriedenstellende Schallschutzwerte erreicht werden. Die Schüttung sollte als ungebundene Splittschüttung eingebracht werden. Auf die Luftdichtheit der Decke ist zu achten. Eine Feuchtigkeitsabdichtung auf der Rohdecke kann zur Herstellung der Luftdichtheit herangezogen werden. Zusätzlich schützt sie die Holzkonstruktion vor unkontrollierter Durchfeuchtung (undichte Rohrverbindungen, Rohrbruch).

Im Einzelfall kann auf eine abgehängte Decke verzichtet werden. Durch entsprechende Dimensionierung unter Berücksichtigung des Abbrandes oder direkte Beplankung der Brettsperrholzplatte mit Gipsbauplatten können die Anforderungen an den Brandschutz erfüllt werden.

Abb. 27: Geschossdecke

Decke gegen einen Dachraum

Abb. 28: Decke gegen einen Dachraum

Referenzen

[1] ↑ Möser M.: Technische Akustik, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2007
[2] ↑ ÖNORM EN ISO 140-1:2005: Akustik:- Messung der Schalldämmung in Bauten und von Bauteilen – Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung; Österreichisches Normungsinstitut, Wien
[3] ↑ ÖNORM EN ISO 140-3:2005: Akustik:- Messung der Schalldämmung in Bauten und von Bauteilen – Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen; Österreichisches Normungsinstitut, Wien
[4] ↑ ÖNORM EN 12354 Teil 1:2000: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von

Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen; Österreichisches Normungsinstitut Wien
[5] ↑, ↑ ÖNORM B 8115 Teil 4:2003: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen, Österreichisches Normungsinstitut Wien.
[6] ↑ ÖNORM EN 12354 Teil 2:2000: Bauakustik: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen; Österreichisches Normungsinstitut Wien.
[7] ↑, ↑ Rasmussen B.: Schallschutz zwischen Wohnungen – Bauvorschriften und Klassifizierungssysteme in Europa, WKSB 53, 2005

From:
https://wiki.ihbv.at/ - **IHBV Wiki**

Permanent link:
https://wiki.ihbv.at/doku.php?id=bsphandbuch:building_physics:acoustic&rev=1418822992

Last update: **2019/02/21 10:18**
Printed on 2026/11/09 21:25