



Bauakustik im Hybridbau –

Luft- und Trittschallschutz
von Gebäuden mit Wänden in Holzbauweise
und Decken aus Stahlbeton

Impressum

Herausgeber:

Holzbau Deutschland Institut e.V.
Kronenstraße 55–58
D-10117 Berlin
Tel. +49 (0) 30 20314 533
Fax +49 (0) 30 20314 566
www.institut-holzbau.de

Autoren:

Dipl.-Wirtschaftsing. (FH)
Adrian Blödt M.Sc.,
Ingenieurbüro Blödt
Blödt Holzkomplettbau GmbH, Kohlberg

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold,
Technische Hochschule Rosenheim

Dipl.-Ing. (FH) M.Sc. Martin Schneider,
Hochschule für Technik Stuttgart

Begleitende Arbeitsgruppe:

Dipl.-Ing. (FH) Martin Müller,
Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.,
Bad Honnef

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Schäfer,
Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V.,
Ostfildern

Redaktion:

Maxi Broßat M.Sc.,
Dipl.-Ing. (FH) Johannes Niedermeyer,
Holzbau Deutschland Institut e.V., Berlin

Dipl.-Ing. Arch. Arnim Seidel,
Informationsverein Holz e.V., Düsseldorf

Anmerkung:

Wir legen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung der Geschlechter. In diesem Zusammenhang weisen wir darauf hin, dass in der vorliegenden Publikation zugunsten einer besseren Lesbarkeit von Texten und Tabellen das generische Maskulinum sowie geschlechterneutrale und feminisierte Sprachformen Verwendung finden. In jedem Fall gelten die gewählten Sprachfassungen für alle Geschlechter.

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter: www.informationsdienst-holz.de

Die Wortmarke INFORMATIONSDIENST HOLZ ist Eigentum des Informationsverein Holz e.V., Humboldtstraße 45, 40237 Düsseldorf, www.informationsdienst-holz.de

holzbau handbuch
Reihe 3: Bauphysik
Teil 3: Schallschutz
Folge 3: Bauakustik im Hybridbau

Erschienen 1/2025
ISSN 0466-2114

Gestaltung, Satz, Layout:

Schöne Aussichten:
Oliver Iserloh, Dresden

Zeichnungen:

Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Adrian Blödt M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold
Max Köhnken M.Sc.,
Holzbau Deutschland Institut e.V., Berlin
mit freundlicher Unterstützung von cadwork

Foto Titelseite:

Maxi Broßat (Holzbau Deutschland Institut e.V.)
KI-generiertes Bild (Copilot MS Office 365)

Fotos Abb. 1 und 2:

HU-HOLZUNION GmbH, Hr. Heiko Seen

Inhalt

Seite 4	1	_ Hybride Bauweisen Eigenschaften und Definition
6	2	_ Bauakustische Prognoseverfahren in der Überarbeitung der DIN 4109-2
7	2.1	_ Relevante Übertragungswege in Abhängigkeit der Bauweise und Schallanregung
9	2.2	_ Berechnung der Flankenübertragung bei Luftschallanregung
10	2.3	_ Berechnung der Flankenübertragung bei Trittschallanregung
12	3	_ Forschungsergebnisse aus Baumessungen an hybriden Gebäuden
12	3.1	_ Stahlbetondecken mit Massivholzwänden
17	3.2	_ Stahlbetondecken mit Holzständerwänden
21	3.3	_ Messung von Stoßstellendämm-Maßen

Seite 22	4	_ Vorschlag für die bauakustische Prognose hybrider Holzbauten
23	4.1	_ Trennwände
29	4.2	_ Trenndecken
31	4.3	_ Berechnungsbeispiele
32	4.3.1	_ Berechnung einer vertikalen Übertragung von Tritt- und Luftschall einer Wohnungstrenndecke / Massivholzwände
33	4.3.2	_ Berechnung einer vertikalen Übertragung von Tritt- und Luftschall einer Wohnungstrenndecke / Holztafelbauweise
34	4.3.3	_ Berechnung einer horizontalen Übertragungssituation über eine Wohnungstrennwand in Massivholzbauweise
35	4.3.4	_ Berechnung einer horizontalen Übertragungssituation über eine Wohnungstrennwand in Leichtbauweise
36	5	_ Ausblick und Forschungsbedarf
37	6	_ Literatur
38	7	_ Glossar
40	8	_ Formelzeichen



Interaktivität:

Dieses Dokument enthält interaktive Elemente. In Kapitel 2 können zu den Formeln ergänzende Zusatzinformationen eingeblendet werden. Bei Berührung mit dem Mauszeiger („Roll-over“) werden Erläuterungen zu den entsprechenden Parametern sichtbar. Ein Klick auf die Formel springt zum Formelverzeichnis.

Nicht jede Software stellt „Roll-Over-“ und Hyperlink-Funktionen bereit. Deswegen ist es möglich, dass Ihnen in Abhängigkeit des verwendeten PDF-Readers, z.B. bei Tablets oder Smartphones, die beschriebenen Effekte nicht oder nicht vollständig zur Verfügung stehen.

1 _ Hybride Bauweisen

Eigenschaften und Definition

Mit dem zunehmenden Bedarf an Wohnraum in Ballungsgebieten und einem verstärkten Bewusstsein für klimaschonendes Bauen gewinnen Holzbauweisen an Bedeutung. Die sogenannte Nachverdichtung in innerstädtischen Lagen führt in der Regel zu Gebäuden mit mindestens vier Geschossen. Dabei steht die Maximierung der Geschossflächenzahl im Vordergrund, um den Flächenverbrauch weitestgehend zu minimieren. Damit einhergehend lassen sich auch die Kosten pro m² Wohnfläche reduzieren, um erschwinglichen Wohnraum zu etablieren.

Für die Holzbauweise ergeben sich aber mit zunehmender Gebäudehöhe auch Fragestellungen im Hinblick auf den Brandschutz und der statisch konstruktiven Durchbildung. Die Belastung der Holzbauteile in den unteren Geschossen ist aus Sicht der sog. Schwellenpressung (Druck quer zur Faser) ein limitierender Faktor. Für Gebäude der Gebäudeklasse 5 nach Musterbauordnung MBO (OK der letzten nutzbaren Geschossfläche über 13 m bis max. 22 m) stellt die Anforderung der „Feuerbeständigkeit“ für die tragenden und trennenden Bauteile eine Anforderung dar, welche so durch die Holzbauweise erst nicht zu erfüllen ist, da hierfür nichtbrennbare Baustoffe gefordert werden.

Durch ergänzende Regelwerke, wie die Musterholzbaurichtlinie, kann ein gleichwertiges Schutzniveau trotz der Anwendung von Holz und damit brennbaren Baustoffen auch in Gebäudeklasse 5 erreicht werden. Der Baustoff Holz hat wegen der besonderen Vorteile aus Sicht des Klimaschutzes und dem potentiell hohen Grad an Vorfertigung im Bereich der Nachverdichtung einen hohen Stellenwert. Allerdings gibt es auch Situationen, in denen Holz als Werkstoff an seine Grenzen kommt. Deshalb wurden und werden immer wieder Bauweisen entwickelt, die gezielt die Vorteile einzelner Baustoffe miteinander verknüpfen.

Diese Bauweisen werden „Hybride“ genannt. Dabei ist dieses Wort nicht unmittelbar einer bestimmten Bauweise zuzuordnen, sondern weist vielmehr darauf hin, dass mindestens zwei unterschiedliche Baustoffe oder Bauweisen zu einer meist vorteilhaften Konstruktion verbunden werden. Diese Schrift soll die Verbindung von Wänden in Holzmassiv- und Leichtbauweise mit leichten Hohlkörperdecken aus Beton untersuchen. Dabei wird deren bauakustisches Verhalten aufgezeigt und Möglichkeiten zur Prognose werden vorgeschlagen.

Diese Art der hybriden Bauweise erfreut sich großer Beliebtheit im mehrgeschossigen Bauen. Die Trenndecken können in feuerbeständiger Bauweise errichtet werden.

Die Anwendung von Massivholzwänden ermöglicht das Abtragen großer Lasten. Als Außenwand hingegen kann eine Holztafelbauwand bei minimaler Gesamtdicke maximalen Wärmeschutz sicherstellen. Gleichzeitig stellen die eingebauten Holz- und Holzwerkstoffe eine CO₂ Senke dar. Die Stahlbetonhohlkörper- oder „Vollmassiv“-decken ermöglichen große Spannweiten bei gleichzeitig geringer Aufbauhöhe. Im Bestandsbau ist die Höhe der Deckenpakete wegen der Limitierung der Höhe durch benachbarte Gebäude ein zusätzlicher und sehr wichtiger Aspekt.

Die Kombination von Holz und Beton vereint zwei bewährte Baustoffe in sehr günstiger Weise. Im mehrgeschossigen hybriden Bauen sind Standsicherheits- und Brandschutzaspekte zwar maßgebende Disziplinen, aber nicht die einzigen, welche Anforderungen stellen.

Wie bei allen anderen Bauweisen ist auch hier der Schallschutz zu beachten. Derzeit gibt es nur sehr begrenzte Informationen über das bauakustische Verhalten von Kombinationen aus Massivholz- und Holztafelbauwänden als Außen- und Wohnungstrennwände sowie trennenden oder flankierenden Decken in mineralischer Massivbauweise. Deshalb wurde durch die Verbände Deutscher Holzfertigbau Verband DHV, Holzbau Deutschland Institut und Bundesverband Deutscher Fertigbau BDF ein Forschungsprojekt mit der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart) initiiert, um erste Daten für die bauakustische Prognose zu sammeln [1].

Die Daten dieses Projektes sollen nachfolgend dargestellt und ein Vorschlag für die bauakustische Prognose dieser Bauweise unterbreitet werden.

Abb. 1:
Aufbau eines
Hybridgebäudes mit
Massivholzwänden und
Betondecken beim
Versetzen der Holzelemente



2_ Bauakustische Prognoseverfahren

Bauakustische Prognoseverfahren in der Überarbeitung der DIN 4109-2

Die Anforderungen an den bauordnungsrechtlich nachzuweisenden Schallschutz sind in der DIN 4109-1 [2] als Mindestanforderungen formuliert. Diese, aber auch weitere privatrechtlich vereinbarte Anforderungen an den Schallschutz, werden zumindest in Deutschland in der Regel durch eine bauakustische Prognose nachgewiesen.

Wird der derzeitige Stand der Berechnungsmodelle in DIN 4109-2 [3] genauer betrachtet, so ist festzustellen, dass es für die hybride Bauweise sowohl bei der vertikalen Luft- und Trittschallübertragung durch Trenndecken als auch bei der horizontalen Luftschallübertragung über Trennwände hinweg kein bauaufsichtlich eingeführtes Rechenverfahren gibt.

Die Berechnungsverfahren nach DIN 4109-2 wurden mit den Ausgaben von 2016 und 2018 zwar sukzessive für den Holz- und Massivbau erweitert, ein explizit für die Hybridbauweise eingeführtes Rechenverfahren ist bisher allerdings nicht vorgesehen.

Abb. 2:
Anschluss Massivholzwand
mit vertikalem Montage-
stoß an Stahlbetondecke



Formal muss somit für jedes Gebäude dieser Art eine Messung der bauakustischen Eigenschaften vor Aufnahme der Nutzung erfolgen. Angesichts des erheblichen wirtschaftlichen Risikos dieser Vorgehensweise ist der Wunsch nach einer zuverlässigen Möglichkeit zur bauakustischen Prognose verständlich. Dies betrifft sowohl die Vermeidung von Sanierungskosten als auch die hohen Kosten, die mit einer Überdimensionierung von Bauteilen zur Sicherstellung von Sicherheitsreserven verbunden sind.

Für eine Prognose müssen die beteiligten Bauteile bauakustisch eingeordnet werden, um deren Anwendbarkeit für unterschiedliche Rechenverfahren zu charakterisieren. Die Einordnung der Decken fällt dabei vergleichsweise leicht. Sie sind mit einer flächenbezogenen Masse von $m' \geq 300 \text{ kg/m}^2$ eindeutig dem Massivbau zuzuordnen.

Für die Wände in Massivholzbauweise ist der Fall nicht so einfach gelagert, da sie auf Grund der vergleichsweise geringen Flächenmasse aber relativ hohen Ausbreitungsdämpfung im bauakustischen Graubereich zwischen Massiv- und Leichtbau liegen. Hinzu kommt, dass durch die in allen Bereichen hervortretende Anisotropie von Holz auch nicht in jede Raum- und Übertragungsrichtung mit gleichen Eigenschaften zu rechnen ist. Dies ist häufig schon deshalb von Interesse, da aufgrund der holzbautypischen Vorfertigung auch immer wieder Montage- oder Produktionsstöße in den sonst flächigen Bauteilen vorliegen.

Darüber hinaus ist auch die Holztafelbauweise als zweiter untersuchter Vertreter der Holzbauwände nicht problemlos im Hinblick auf die flankierende Übertragung zu bewerten. Vor diesem Hintergrund waren umfangreiche Messungen notwendig, um das bauakustische Verhalten dieser Bauweise zu beurteilen.

2.1 _ Relevante Übertragungswege in Abhängigkeit der Bauweise und Schallanregung

In DIN 4109-2:2018 wird die Zuordnung dadurch gelöst, dass die Bauteilwerte für die direkte Übertragung von Massivholzbauteilen (Weg Dd in Abb. 3 und Abb. 4) dem Bauteilkatalog der DIN 4109-33 zu entnehmen sind.

Die Berechnung der Flankenübertragung nach DIN 4109-2:2018 bei Luftschall-Anregung berücksichtigt die stärkere Kopplung zwischen dem Massivholz Trenn- und Flankenbauteil gegenüber klassischen Leichtbauflanken durch die Hinzunahme der gemischten Übertragungswege (Weg Fd und Df in Abb. 3.1 und 3.2). Wird die Flanke als klassisches Leichtbauteil (Balkendecke, Holztafel- oder Trockenbauwand) ausgeführt, so wird die Flankenübertragung nur für den Weg Ff berücksichtigt (Abb. 3.3).

Abb. 3:
Übertragungspfade
bei der vertikalen
und horizontalen
Luftschallübertragung.

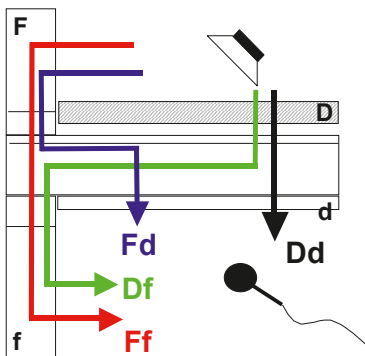


Abb. 3.1:
Vertikale Luftschallübertragung
für Massiv- und Massivholzflanken.

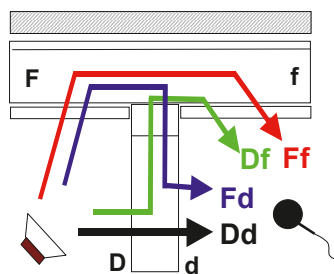


Abb. 3.2:
Horizontale Luftschallübertragung
für Massiv- und Massivholzflanken.

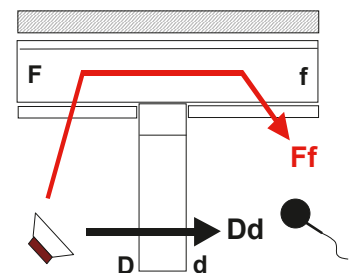


Abb. 3.3:
Horizontale Luftschallübertragung
für Leichtbauflanken.

- Dd Direkter Übertragungsweg des Trennbauteils
- Df Flankenübertragung. Anregung des Trennbauteils. Abstrahlung des Flankenbauteils
- Fd Flankenübertragung. Anregung des Flankenbauteils. Abstrahlung des Trennbauteils
- Ff Flankenübertragung. Anregung des Flankenbauteils. Abstrahlung des Flankenbauteils

Bei der Trittschallübertragung werden von den möglichen Übertragungswegen (Abb. 4.1) für Massivholz- und Leichtbauflanken die Wege Df und Dff berücksichtigt (Abb. 4.2). Für Massiv-

bauflanken ist der Flankenübertragungsweg Df ausreichend (Abb. 4.3), da die Anregung der schweren Massivflanken über den Decken- und Estrichrand keine maßgebliche Rolle spielt.

Abb. 4:
Übertragungspfade bei der Trittschallübertragung

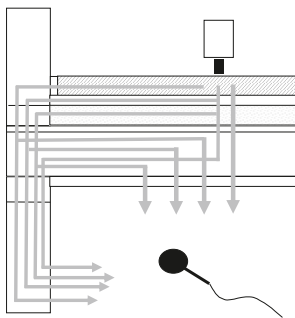


Abb. 4.1:
Mögliche Übertragungswege
über die einzelnen Bauteilschichten

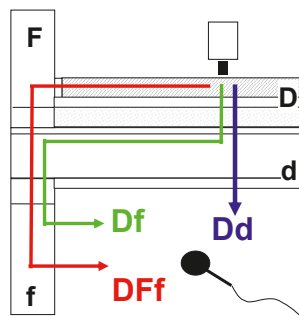


Abb. 4.2:
Für die Berechnung im Holzbau
berücksichtigte Übertragungswege

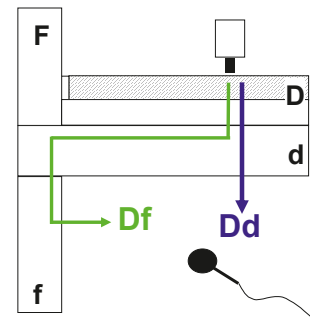


Abb. 4.3:
Für die Berechnung im Massivbau
berücksichtigte Übertragungswege

Dd Direkte Trittschallübertragung der Decke

Df Flankenübertragung durch das Deckenaufleger in die flankierende Wand

Dff Zusätzliche Flankenübertragung im Bereich des Estrichaufbaus und des Deckenrandes

Das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w und der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ inklusive Flankenübertragung werden aus den zu berücksichtigenden Übertragungswegen nach den Gleichungen (1) und (2) berechnet.

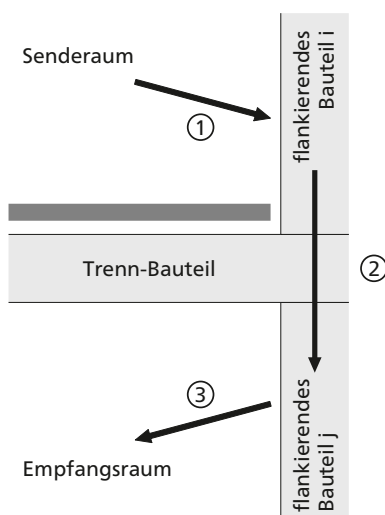
$$R'_w = -10 \lg \left[10^{\left(\frac{-R_{Dd,w}}{10}\right)} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\left(\frac{-R_{Ff,w}}{10}\right)} + \sum_{f=1}^n 10^{\left(\frac{-R_{Df,w}}{10}\right)} + \sum_{F=1}^n 10^{\left(\frac{-R_{Fd,w}}{10}\right)} \right] \quad (1)$$

$$L'_{n,w} = 10 \lg \left[10^{\left(\frac{L_{n,d,w}}{10}\right)} + \sum_{j=1}^n 10^{\left(\frac{L_{n,f,w}}{10}\right)} \right] \quad (2)$$

Auf Grund der beschriebenen Unterscheidung der zu berücksichtigenden Übertragungspfade ist es bei gemischten Bauweisen wichtig, eine genaue Kenntnis über die Art und Eigenschaften der Bauteile zu besitzen. Davon hängt maßgeblich ab, welches Verfahren zur Prognose geeignet ist und die genauesten Ergebnisse liefert.

2.2 _ Berechnung der Flankenübertragung bei Luftschallanregung

Für flankierende Bauteile in Massiv- oder Massivholzbauweise ist die Flankenübertragung, wie in Abschnitt 2.1 erläutert, für die Übertragungswege F_f , D_f und F_d zu ermitteln. Berücksichtigt werden nur Übertragungswege erster Ordnung, d.h. nur über eine Stoßstelle hinweg. Um den Übertragungsweg richtig zu erfassen, werden die schalltechnischen Eigenschaften des einzelnen Bauteils und die Eigenschaften der Bauteilverbindungen (Stoßstellen) einbezogen. In Abb. 5 ist dargestellt, wie die flankierende Übertragung durch die Schalldämm-Maße der flankierenden Bauteile und das sog. Stoßstellendämm-Maß K_{ij} beschrieben werden kann. Als Beispiel wurde hier ein T-Stoß (Trennbauteil: Wohnungstrenndecke, flankierendes Bauteil: Außenwand) mit dem Übertragungsweg F_f über die Außenwand gewählt.



Die in Abb. 5 dargestellte Übertragung kann in folgende Einzelvorgänge aufgespalten werden:

- 1 Anregung des Bauteils i durch Luftschall im Senderaum
- 2 Dämmung des Körperschalls durch die Stoßstelle
- 3 Abstrahlung von Luftschall durch das Bauteil j im Empfangsraum

Abb. 5:
Schallübertragung auf dem Weg F_f
über eine Stoßstelle

Die Berechnung des bewerteten Flankenschalldämm-Maßes $R_{ij,w}$ erfolgt für jeden Übertragungsweg aus den Eingangsdaten der beteiligten Bauteile i und j:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \left[\frac{S_s}{\ell_0 \ell_f} \right] \quad (3)$$

Die bewerteten Schalldämm-Maße R_w der Bauteile i und j sind hierzu nach DIN 4109-32 und 33 zu berechnen. Die Verbesserung des Flankenschalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen $\Delta R_{ij,w}$ beinhaltet die Summe der Verbesserungen durch Vorsatzschalen auf dem Weg ij, wobei die bessere Vorsatzschale voll angesetzt wird, die schlechtere zur Hälfte. Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} kann DIN 4109-32 bzw. -33 entnommen werden.

Die Berücksichtigung der Bauteilabmessungen im eingebauten Zustand erfolgt durch die Fläche des Trennbauteils S_s , der gemeinsamen Kantenlänge ℓ_f zwischen Flanke und Trennbauteil und der Bezugskopplungslänge $\ell_0 = 1,0$ m.

Für flankierende Leichtbauteile kann die Flankenübertragung bei Luftschallanregung, wie in Abschnitt 2.1 erläutert, auf den Weg Ff beschränkt werden:

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \left[\frac{\ell_{lab}}{\ell_f} \right] + 10 \lg \left[\frac{S_s}{A_0} \right] \quad (4)$$

Das bewertete Flankenschalldämm-Maß $R_{Ff,w}$ auf dem Übertragungsweg Ff wird aus dem Bauteilkatalog-Wert für die Norm-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ sowie der Fläche des Trennbauteils S_s und der gemeinsamen Kantenlänge ℓ_f zwischen Flanke und Trennbauteil ermittelt. Als Bezugswerte werden $A_0 = 10 \text{ m}^2$ und $\ell_{lab} = 2,8 / 4,5$ m (bei Trennwänden mit flankierenden Wänden / bei Decken) als gemeinsame Kantenlänge aus der Laborprüfung eingesetzt.

2.3 _ Berechnung der Flankenübertragung bei Trittschallanregung

Für flankierende Bauteile in Holzbauweise kann der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,ij,w}$ auf dem Übertragungsweg ij für die Bausituation aus dem bewerteten Norm-Trittschallpegel flankierender Leichtbauteile $L_{nf,ij,lab,w}$ bestimmt unter Laborbedingungen, ermittelt werden.

$$L_{n,ij,w} = L_{nf,ij,lab,w} + 10 \lg \frac{S_{i,lab} \ell_{ij}}{S_j \ell_{ij,lab}} \quad (5)$$

Die Berücksichtigung der Bauteilabmessungen im eingebauten Zustand erfolgt durch die Fläche des angeregten Bauteils S_i in der Bausituation und im Labor $S_{i,lab}$ sowie die gemeinsamen Kantenlänge zwischen Decke und Flanke in der Bausituation ℓ_{ij} und im Labor $\ell_{ij,lab}$.

Liegen für die geplante Ausführung von Decke und Wand keine Prüfstands-Ergebnisse für $L_{nf,ij,lab,w}$ vor, so kann der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,ij,w}$ aus den bewerteten Norm-Flanken-Trittschallpegeln auf den Übertragungswegen D_f und D_{ff} (siehe Abb. 4.2) ermittelt werden:

$$L_{n,ij,w} = 10 \lg \left(10^{0,1 L_{n,Df,w}} + 10^{0,1 L_{n,Dff,w}} \right) \quad (6) \quad \text{↻}$$

mit:

$$L_{n,Dff,w} = L_{n,Dff,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \frac{S_s}{\ell_0 \ell_{ij}} \quad (7) \quad \text{↻}$$

$$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \frac{S_s}{\ell_0 \ell_{ij}} \quad (8) \quad \text{↻}$$

Neben den Laborwerten ($L_{n,Df,lab,w}$ und $L_{n,Dff,lab,w}$) der bewerteten Norm-Flanken-Trittschallpegel werden zusätzliche Verbesserungen durch Vorsatzschalen und Zusatzbeplankungen $\Delta R_{j,w}$ bzw. $\Delta R_{ij,w}$ sowie Verbesserungen durch elastische Baulager ΔK_{ij} im Deckenstoß von Massivholzflanken berücksichtigt. Laborwerte für $L_{n,Dff,lab,w}$ sind in [4] für verschiedene Estrichaufbauten und Ausführungen der flankierenden Wände gelistet. Die Werte für $L_{n,Df,lab,w}$ können aus dem Korrektursummand K_1 für den Übertragungsweg Df nach DIN 4109-33 und dem bewerteten Norm-Trittschallpegel für die direkte Trittschallübertragung $L_{n,d,w}$ auf dem Weg Dd ermittelt werden:

$$L_{n,Df,lab,w} = 10 \lg \left(10^{0,1 (L_{n,d,w} + K_1)} - 10^{0,1 L_{n,d,w}} \right) \quad (9) \quad \text{↻}$$

3 _ Forschungsergebnisse aus Baumessungen

Forschungsergebnisse aus Baumessungen an hybriden Gebäuden

Die Luft- und Trittschalldämmung von Wohnungstrenndecken und die Luftschalldämmung von Wohnungstrennwänden sowie die hierzu gehörigen Flankenschallpegel und Stoßstellendämm-Maße wurden in verschiedenen, in Hybridbauweise neu erstellten, mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern messtechnisch ermittelt. Die Messergebnisse, bzw. die Schlussfolgerungen daraus, sollen in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich beschrieben werden. Dabei werden Besonderheiten der „Kombinationsbauweise“ aus Holz und Beton herausgearbeitet.

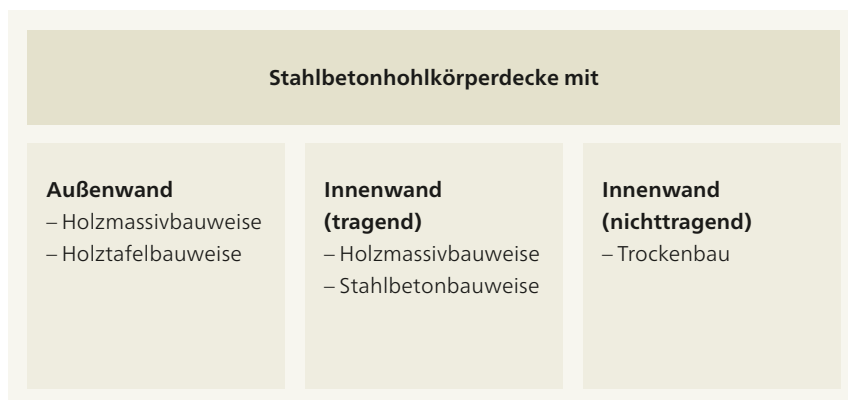


Abb. 6:
Übersicht der untersuchten hybriden Bauteilkombinationen

3.1 _ Stahlbetondecken mit Massivholzwänden

Die Wohnungstrenndecken, ein Teil der tragenden Innenwände und der Treppenhauskern sind aus Stahlbeton, die Außenwände und tragende Innenwände sind aus Massivholz, die nichttragenden Innenwände sind mit Gipsplatten beplankte Metallständerwände. Die Bauteilaufbauten sind nachfolgend detailliert beschrieben:

Geschossdecken:

- 70 mm Zementestrich
mit Fußbodenheizung
- 30 mm ¹ Mineralwolle-Trittschalldämmplatte
($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 50 mm Wärmedämmung aus EPS
als Fülldämmung
- 200 mm Stahlbetonhohlkörperdecke
 $m' = 330 \text{ kg/m}^2$

Außenwand:

- 25 mm Holzverschalung
- 40 mm Konterlattung
- 160 mm Mineralfaserdämmung,
WLG 035 gem. WSN, BSTKL.A
- 15 mm Knauf Diamant
außenraumgeeignet,
feuchteresistent,
gem. Brandschutzkonzept
- 120 mm Brettsperrholzwand
- 2 x 18 mm GKF-Platten

$m' = 116 \text{ kg/m}^2$ (anrechenbar ohne Außenbekleidung)

¹ Die Schichtdicke des Trittschalldämmstoffes ist nicht ausschließlich entscheidend. Es kommt auf den Kennwert der dynamischen Steifigkeit s' sowie auf die Zusammendrückbarkeit in mm an. In der Praxis konnten zwischen $s' = 7 \text{ MN/m}^3$ und $s' = 8 \text{ MN/m}^3$ keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Wohnungstrennwand:

- 2 x 18 mm GKF-Platten
- 180 mm Brettsperrholzwand
- ca. 5 mm Hohlraum
- 50 mm freistehendes Metallständerwerk CW 50 mit
- 40 mm Mineralwolledämmplatten
- 2 x 12,5 mm GKF-Bauplatten

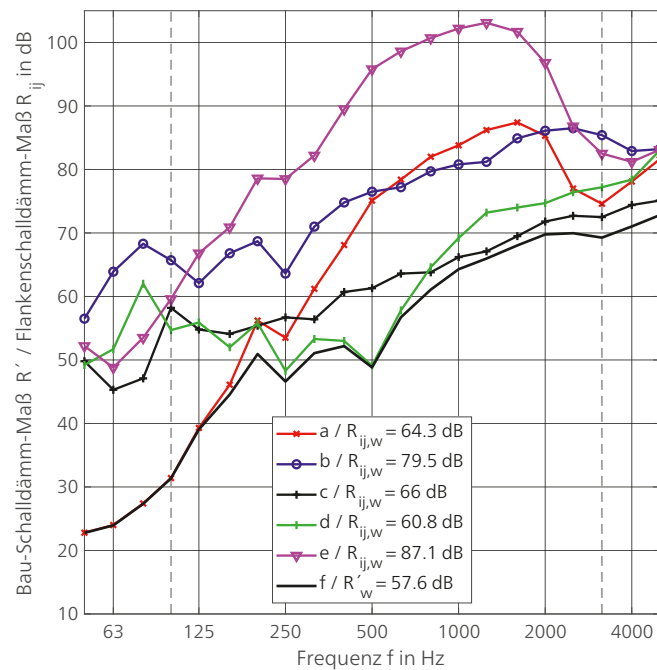
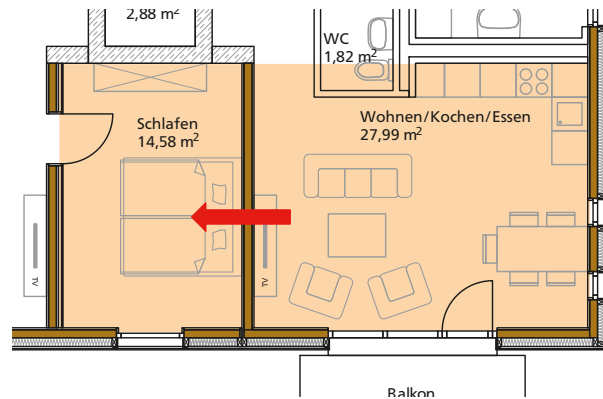
$m' = 110 \text{ kg/m}^2$ (anrechenbar)

Innenwände:**(Metallständerwand $d = 10,5 \text{ cm}$)**

- 2 x 12,5 mm GKF-Bauplatten
- 50 mm Metallständerwerk CW 50 mit
- 40 mm Mineralwolledämmplatten
- 2 x 12,5 mm GKF-Bauplatten

Luftschallschalldämmung der Wohnungstrennwand

Die Luftschalldämmung der Wohnungstrennwand wird neben der direkten Schallübertragung über die Trennwand auch durch die Flankenübertragung der Trenndecke sowie der Flankenübertragung über die Außenwand bestimmt. Der Frequenzverlauf des Bau-Schalldämm-Maßes zwischen den Räumen (1. OG Whg.16 Wohnen/Kochen/Essen und 1. OG Whg.17 Schlafen) ist in Abb. 7 (schwarze Kurve) dargestellt. Mittels Körperschallmessungen konnte dem trennenden Bauteil ein Direkt- und den flankierenden Bauteilen jeweils ein Flankenschalldämm-Maß zugeordnet werden. Dieses Direktschalldämm-Maß und die ermittelten Flankenschalldämm-Maße sind ebenfalls in Abb. 7 dargestellt.

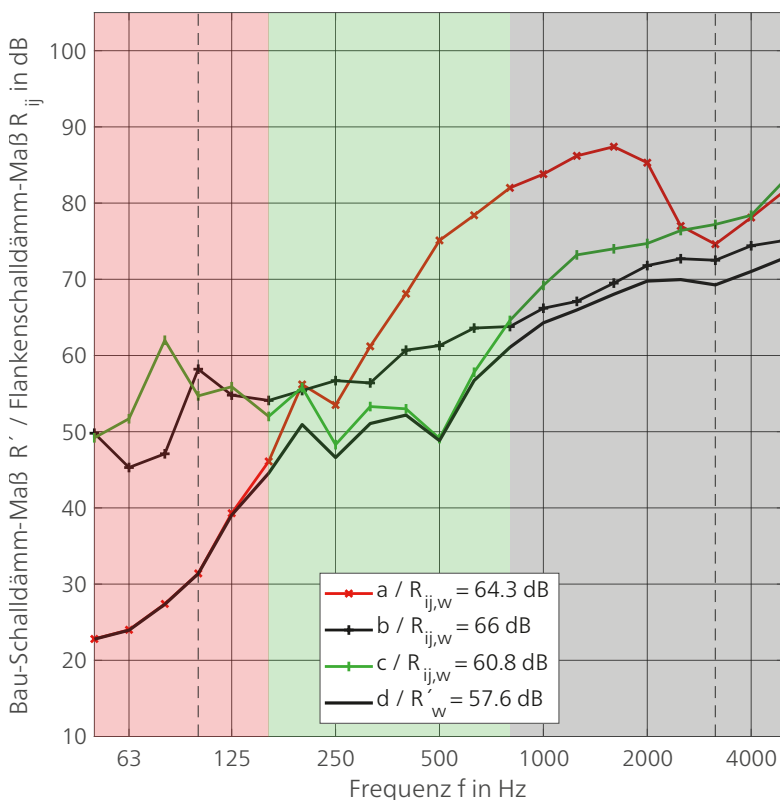
**Abb. 7:**

Frequenzverlauf des Bau-Schalldämm-Maßes R' (f / schwarz) im Vergleich zu den durch Körperschallmessungen ermittelten Direkt- und Flankenschalldämm-Maßen Wohnungstrennwand (direkte Übertragung) – a / rot, Flankierende Innenwand (Stahlbeton) – b / blau, Flankierende Decke (Stahlbeton) – c / schwarz, Flankierende Außenwand (Brettsperrholz) – d / grün, Flankierender Boden (Stahlbeton) – e / magenta

Abb. 8:

Frequenzverlauf des Bau-Schalldämm-Maßes R' (d / schwarz) im Vergleich zu den durch Körperschallmessungen ermittelten Direkt- und Flankenschalldämm-Maßen Trennwand direkt – a / rot, Deckenflanke – b / schwarz, Außenwandflanke – c / grün (die farbliche Hinterlegung markiert den dominanten Übertragungsweg)

Das bei Luftschallanregung im Senderaum aus Körperschallmessungen auf dem trennenden und den flankierenden Bauteilen im Empfangsraum bestimmte bewertete Bau-Schalldämm-Maß beträgt $R'_{w} = 57$ dB. Betrachtet man die Schallübertragung über die verschiedenen Bauteile, so ist Folgendes festzustellen: Bei den sehr tiefen Frequenzen ($f < 200$ Hz) bestimmt die direkte Übertragung (rote Hinterlegung in Abb. 8) der zweischaligen Trennwand (Resonanzfrequenz ca. 80 Hz) die Gesamtdämmung. Eine deutlich tiefere Abstimmung der Vorsatzkonstruktion (z. B. durch einen vergrößerten Schalenabstand oder schwerere Gipsplatten) würde hier eine Verbesserung bringen.



→ Die Direktschalldämmung von Massivholztrennwänden kann durch geeignete Vorsatzkonstruktionen ausreichend verbessert werden, um erhöhten Schallschutz im Wohnungsbau zu erreichen.

Die flankierende Übertragung über die Massivholzaußenwand (grüne Hinterlegung in Abb. 8) bestimmt im mittleren Frequenzbereich ($200 \text{ Hz} < f < 800 \text{ Hz}$) die Luftschalldämmung. Die Massivholzaußenwand ist dabei im Bereich der Stoßstelle durch eine Trennfuge getrennt. Die Schallübertragung über flankierende Massivholzwände (z. B. Außenwand) kann durch entsprechende konstruktive Maßnahmen (z. B. Massivholztrennwand durchstößt Außenwand mit doppelter Schallschutzfuge) weiter begrenzt werden.

Im oberen Frequenzbereich ($f > 800 \text{ Hz}$) wird dann die flankierende Übertragung über die durchlaufende Betondecke bestimmend (graue Hinterlegung in Abb. 8). An der durchlaufenden Betondecke wurde zusätzlich das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} messtechnisch bestimmt. Der ermittelte Wert liegt bei $K_{ij} = 3,4 \text{ dB}$ und damit etwas über dem für ein durchlaufendes Massivbauteil zu erwartenden Wert. Auf dieses Detail ist besonderes Augenmerk zu legen, da bei durchlaufenden Konstruktionen aufgrund der geringen Stoßstellendämmung der leichten Trennwand die Stahlbetondecke selbst eine ausreichende Direktschalldämmung aufweisen muss. In vielen Fällen wird die Prognose mit dem Einzahlwert durch die flankierende Decke dominant bestimmt.

Luftschallschalldämmung der Wohnungstrenndecken

Die Luftschalldämmung der Wohnungstrenndecken setzt sich aus der Schalldämmung der Stahlbetondecke mit dem schwimmenden Estrich als Vorsatzkonstruktion und der Schallübertragung über die flankierenden Bauteile zusammen. Aufgrund der unterschiedlichen flankierenden Bauteile ergeben sich für unterschiedliche Raumkombinationen unterschiedliche Bau-Schalldämm-Maße R' bzw. bewertete Bau-Schalldämm-Maße R'_w . Bei diesem Bauvorhaben wurden die folgenden, in Abb. 9 dargestellten, drei Raumsituationen untersucht:

LS1 mit drei flankierenden Metallständerwänden und einer Massivholzaußenwand, LS2 mit zwei tragenden Massivholzwänden, einer Stahlbetonaufzugswand und einer Massivholzaußenwand sowie LS3 mit zwei Massivholzaußenwänden und zwei Metallständerwänden.

In allen drei untersuchten Raumsituationen wurde ein sehr guter Schallschutz erreicht. Zum einen wurden sehr hohe Direktschalldämm-Maße der Stahlbetondecke mit schwimmendem Estrich festgestellt. Zum anderen war auch die flankierende Übertragung über die Massivholz- Innen- und Außenwände aufgrund der gewählten Baukonstruktion gering. Aufgrund der sehr hohen Flankenschalldämmung der Metallständerwände liegt das bewertete Bau-Schalldämm-Maß in der Situation LS1 sogar noch deutlich höher.

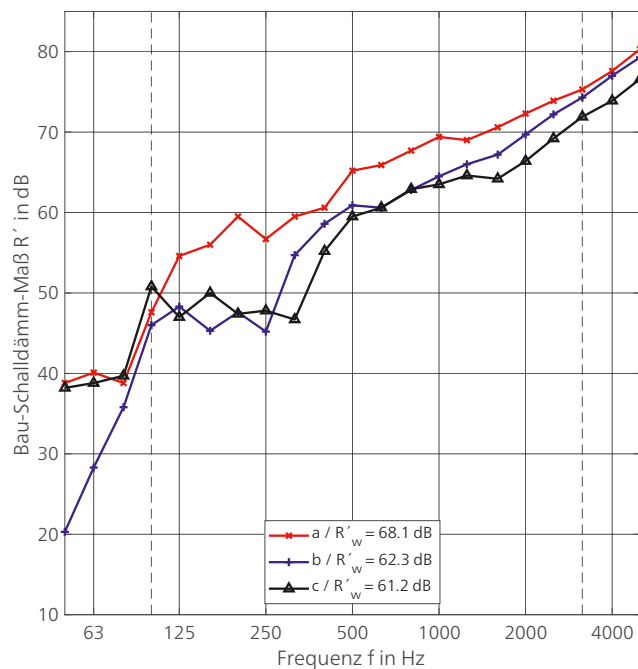
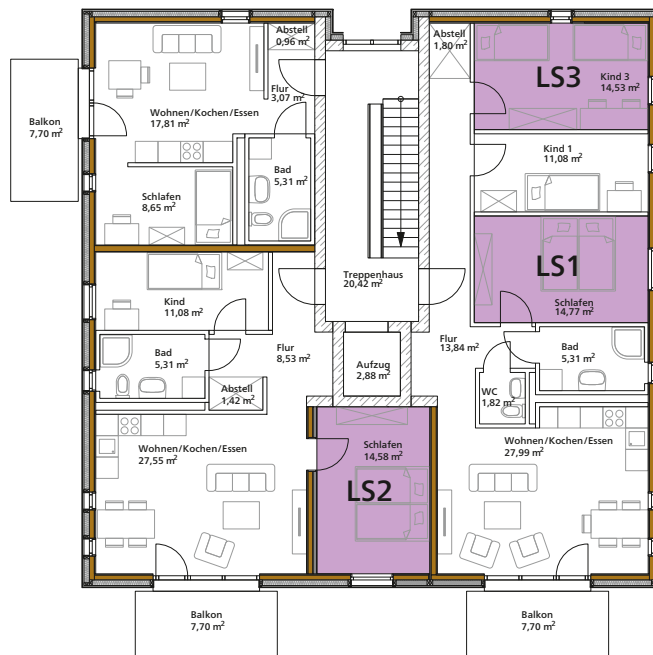
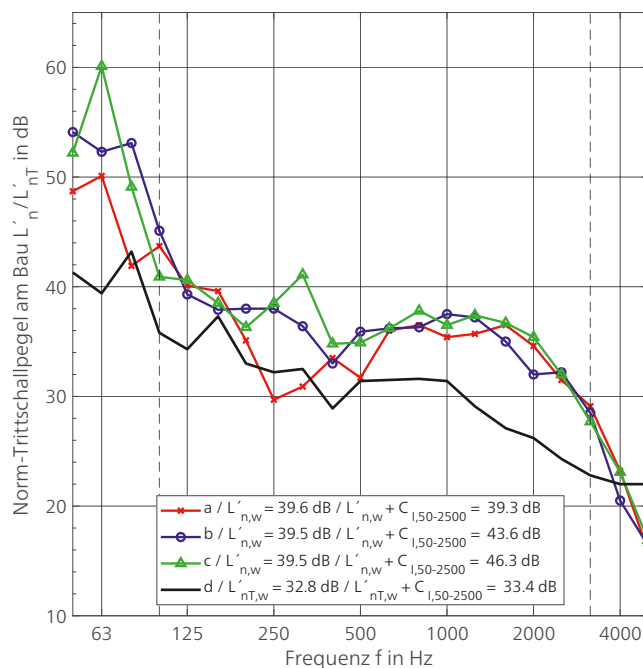


Abb. 9:

Frequenzverlauf der Bau-Schalldämm-Maße R' der Trenndecken zwischen 2. OG und 1. OG für drei untersuchte Raumsituationen
LS1 – a / rot: $R'_w = 68$ dB,
LS2 – b / blau: $R'_w = 62$ dB,
LS3 – c / schwarz: $R'_w = 61$ dB
mit den entsprechenden Grundrissen



Trittschalldämmung der Wohnungstrenndecken

Der Trittschallschutz der untersuchten Trenndecken war ebenfalls ausgesprochen hoch. Die ermittelten bewerteten Norm-Trittschallpegel am Bau lagen für die Messungen TS1, TS2 und TS3 bei $L'_{n,w} = 40$ dB mit einem Spektrumanpassungswert $C_{1,50-2500}$ zwischen 0 bis 4 dB.

Der Verlauf der Norm-Trittschallpegel für die untersuchten Räume ist in nebenstehender Abb. 10 dargestellt.

Der ausgezeichnete Trittschallschutz der Wohnungstrenndecken ist auf die niedrige Steifigkeit der Trittschalldämm-Matte ($s' = 7 \text{ MN/m}^3$) sowie die relativ große Dicke der Estrichplatte ($d = 70 \text{ mm}$) und der damit verbundenen niedrigen Resonanzfrequenz ($f_r < 45 \text{ Hz}$) zurückzuführen. Auch weisen die leichten flankierenden Bauteile (Metallständerwand, Massivholzaußenwand) sehr geringe Norm-Flanken-Trittschallpegel auf, so dass der Gesamt-Trittschallpegel durch die flankierende Übertragung kaum beeinflusst wird.

Abb. 10:

Frequenzverlauf der am Bau gemessenen Norm-Trittschallpegel L'_{nT} der Trenndecken zwischen 2. OG und 1. OG für vier untersuchte Raumsituationen mit $L'_{n,w} = 40 \text{ dB}$, bzw. $L'_{n,w} = 33 \text{ dB}$ für die Raumsituation TS4 (Flur) mit den entsprechenden Grundrissen.

Bei der Raumsituation 4 wurde der Standard-Trittschallpegel L_{nT} ausgewertet, da aufgrund der offenen Grundrissituation eine Ermittlung des angeschlossenen Raumvolumens nicht sinnvoll war.

TS2 – a / rot
 TS1 – b / blau
 TS3 – c / grün
 TS4 – d / schwarz

3.2 _ Stahlbetondecken

mit Holzständerwänden

Die Wohnungstrenndecken, die tragenden Innenwände und der Treppenhaukern wurden in Stahlbeton ausgeführt. Für die Außenwände kamen Holztafelbauwände zur Anwendung, während die nichttragenden Innenwände aus leichten, gipsbeplankten Metallständerwänden bestehen. Die Bauteilaufbauten sind nachfolgend detailliert beschrieben:

Geschossdecken:

- 70 mm Zementestrich
mit Fußbodenheizung
- 30 mm Mineralwolle-Trittschalldämmplatte ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 50 mm Wärmedämmung aus EPS
- 200 mm Stahlbetonhohlkörperdecke
 $m' = 330 \text{ kg/m}^2$

Außenwand:

- 25 mm Holzverschalung
- 40 mm Traglattung – Konterlattung
- 18 mm Gipsfaserplatte
($m' = 16,5 \text{ kg/m}^2$)
- 260 mm Holztafelkonstruktion 80/260,
 $e = 62,5 \text{ cm}$ mit
Mineralfaserdämmung
- 18 mm Gipsfaserplatte
- 27 mm Federschiene mit
Mineralfaserdämmung 20 mm
- 15 mm Gipsfaserplatte
($m' = 14,5 \text{ kg/m}^2$)

Wohnungstrennwand:

- 2 x 12,5 mm GKF-Platten
- 50 mm Metallständerwerk
CW 50 mit
40 mm Mineralwolle-
dämmplatten
- ca. 5 mm Hohlraum
- 50 mm Metallständerwerk
CW 50 mit
40 mm Mineralwolle-
dämmplatten
- 2 x 12,5 mm GKF-Platten

Innenwände (Metallständerwand)

- 2 x 12,5 mm GKB-Bauplatten
- 50 mm Metallständerwerk
CW 50 mit
40 mm Mineralwolle-
dämmplatten
- 2 x 12,5 mm GKB-Bauplatten

**Abb. 11:**

Frequenzverlauf des Bau-Schalldämm-Maßes R'
 zwischen den beiden im Grundriss gezeigten Räumen
 im 2. OG (a / rot: $R'_w = 63$ dB) und
 im 1. OG (b / blau: $R'_w = 58$ dB)

Luftschalldämmung der Wohnungstrennwand

→ Die Luftschalldämmung der untersuchten Wohnungstrennwände liegt deutlich über den erhöhten Anforderungen z. B. der DIN 4109-5 und entspricht der Klasse KOMFORT nach [5].

Die Unterschiede zwischen dem 2. OG und dem 1. OG ergeben sich durch die Verwendung unterschiedlicher Gipsplatten: im 1. OG wurden entgegen der ursprünglichen Planung bauübliche Gipsplatten, im 2. OG Gipsplatten mit einer höheren flächenbezogenen Masse eingesetzt. Die unterschiedliche Masse und Steifigkeit der Platten führen dann besonders im Frequenzbereich der Koinzidenzgrenzfrequenz der Gipsplatten zu den deutlich geringeren Schalldämm-Maßen. Im tiefen und mittleren Frequenzbereich bestimmt die Übertragung der zweischaligen Wand die Gesamtschalldämmung. Die flankierende Übertragung über die Außenwand war durch eine konstruktive Trennung der Außenwandbeplankung im Bereich des Stoßes gering. Die Detailausführung wird im Abschnitt 4.3 dargestellt.

Luftschallschalldämmung der Wohnungstrenndecken

Die ermittelte Luftschalldämmung der Wohnungstrenndecken lag mit bewerteten Bau-Schalldämm-Maßen von über $R'_w \geq 70$ dB deutlich über den geforderten Werten.

Auch hier ergaben sich aufgrund der unterschiedlichen flankierenden Bauteile für die jeweiligen Raumkombinationen unterschiedliche Bau-Schalldämm-Maße R' . Bei diesem Bauvorhaben wurden die folgenden, in Abb. 12 dargestellten, drei Raumsituationen untersucht:

LS1 mit zwei relativ großen flankierenden Außenwänden und zwei Metallständerwänden, LS2 und LS3 mit jeweils zwei Metallständerwänden, einer Außenwand und einer Stahlbetonwand.

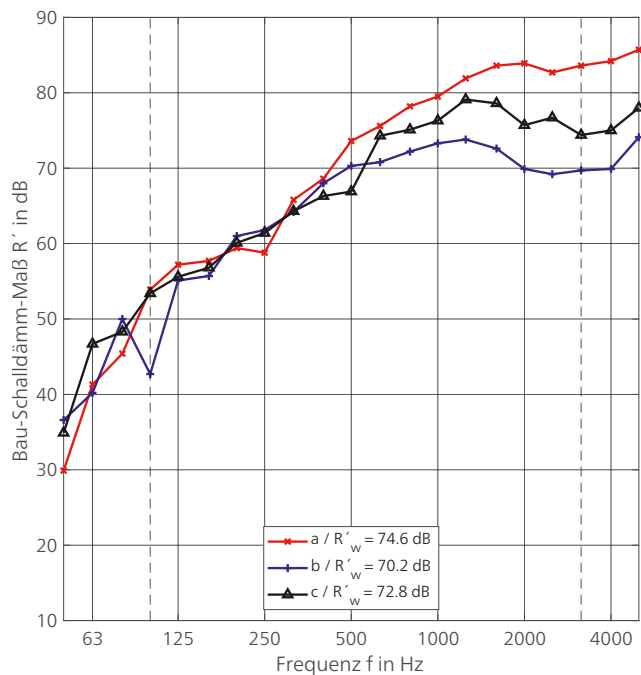
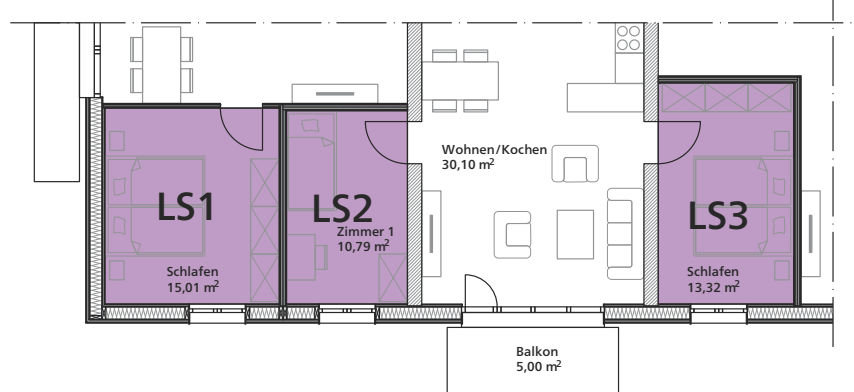


Abb. 12:

Frequenzverlauf des Bau-Schalldämm-Maßes R' zwischen dem 2. OG und dem 1. OG für die drei farblich im Grundrissausschnitt markierten Räume
 LS1 – a / rot: $R'_w = 74$ dB
 LS2 – b / blau: $R'_w = 70$ dB
 LS3 – c / schwarz: $R'_w = 72$ dB

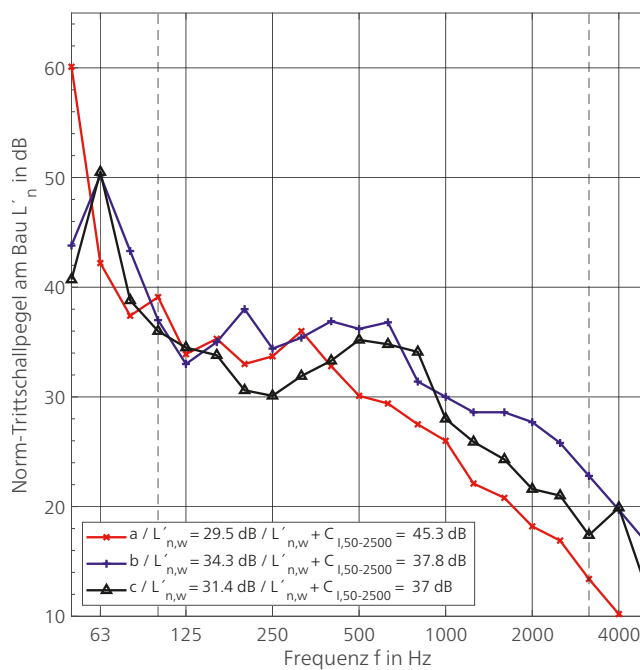
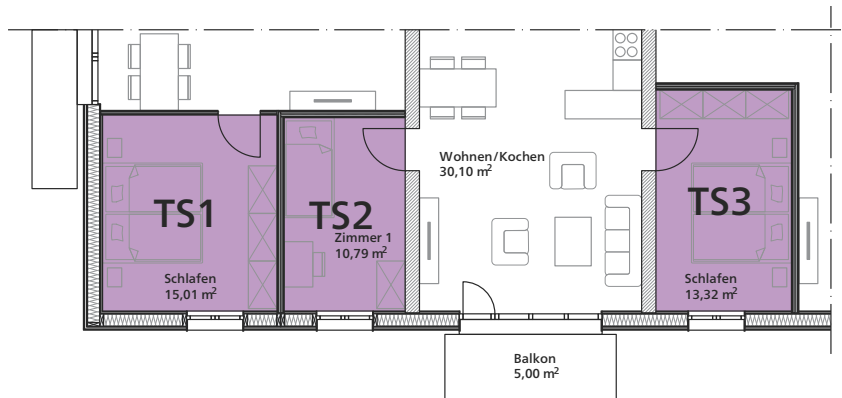


Abb. 13:
Frequenzverlauf der am Bau gemessenen Norm-Trittschallpegel L'_n der Trenndecken zwischen 2. OG und 1. OG für drei untersuchte Raumsituationen
TS1 – a / rot: $L'_{n,w} = 30$ dB,
TS2 – b / blau: $L'_{n,w} = 35$ dB,
TS3 – c / schwarz: $L'_{n,w} = 32$ dB
mit den entsprechenden Grundrissen

Trittschalldämmung der Wohnungstrenndecken

Der Trittschallschutz der untersuchten Trenndecken war ebenfalls außergewöhnlich hoch. Die ermittelten bewerteten Norm-Trittschallpegel am Bau lagen zwischen $L'_{n,w} = 30$ dB und $L'_{n,w} = 35$ dB mit einem Spektrumanpassungswert $C_{1,50-2500}$ zwischen 4 bis 15 dB.

Der Verlauf der Norm-Trittschallpegel für die untersuchten Räume ist in nebenstehender Abb. 13 dargestellt.

Der ausgezeichnete Trittschallschutz der Wohnungstrenndecken ist auch hier auf die niedrige Steifigkeit der Trittschalldämm-Matte ($s' = 7$ MN/m³) sowie die relativ große Dicke der Estrichplatte ($d = 70$ mm) und der damit verbundenen niedrigen Resonanzfrequenz ($f_r < 45$ Hz) zurückzuführen. Auch weisen die leichten flankierenden Bauteile (Metallständerwand, Holzständerwand) sehr geringe Norm-Flanken-Trittschallpegel auf, so dass der Gesamt-Trittschallpegel durch die flankierende Übertragung kaum beeinflusst wird. Unter Berücksichtigung des Spektrumanpassungswertes $C_{1,50-2500}$ ergeben sich bewertete Norm-Trittschallpegel am Bau von $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ zwischen 37 und 46 dB.

→ Auch diese Werte entsprechend einem Komfortschallschutz und lassen vermuten, das Gehgeräusche kaum wahrnehmbar sein werden.

3.3 _ Messung von Stoßstellendämm-Maßen

An den verschiedenen Objekten wurden auch Messungen des Stoßstellendämm-Maßes nach DIN 10848-2 durchgeführt.

Untersucht wurden:

- vertikale Übertragung Massivholz-
wand-Hohlkörperdecke aus Stahlbeton
(Ff und Df/Fd)
- horizontale Übertragung über einer
Massivholzwand an der durchlaufenden
Massivholzdecke (Ff und Df/Fd)
- horizontale Übertragung Außenwand
aus Massivholz mit Trennschnitt ohne
anschließendes Bauteil (Ff)

Die Ergebnisse dieser Messungen fließen
in Abschnitt 4 als Eingangsdaten ein.

4_ Vorschlag für die bauakustische Prognose

Vorschlag für die bauakustische Prognose hybrider Holzbauten

Nachfolgend wird für die häufigsten Ausführungsvarianten der Trennbauteile in hybriden Holzbauten eine Möglichkeit zur bauakustischen Prognose vorgeschlagen. Die Berechnung erfolgt hierzu auf Basis des in Abschnitt 2 vorgestellten Berechnungsmodells nach DIN 4109-2. Die hier dargestellten Eingangsdaten für die Berechnung sind sowohl Labormessungen als auch den in Abschnitt 3 vorgestellten Baumessungen entnommen.

Bei Trennwänden ist die Prognose für Massivholzwände mit Vorsatzschalen oder Holztafel- bzw. Metallständerwände möglich. Als flankierende Bauteile können folgende Varianten berücksichtigt werden:

- Massivdecke, über der Trennwand durchlaufend oder getrennt
- Massivholz-Außen- oder Innenwände
- Holztafelbau-Außenwände
- Metallständer-Innenwände
- Massivdecke mit schwimmendem Estrich als flankierender Boden

Als Trenndecken werden Massivdecken mit folgenden unterschiedlichen flankierenden Wänden berücksichtigt:

- Massivholzwände mit Sichtoberflächen, Direktbeplankungen oder Installations-ebenen
- Leichtbauwände als Holztafelbau- oder Metallständerwände
- Massivwände
(z. B. Stahlbeton-Treppenhauswand)

Die Berechnungsschritte und verwendbaren Eingangsdaten werden für Trennwände in Abschnitt 4.1 und für Trenndecken in Abschnitt 4.2 vorgestellt. Berechnungsbeispiele für die Trennbauteile inklusive Nebenwege sind in Abschnitt 4.3 zu finden.

Das Rechenverfahren ist mit den erhobenen Daten als Vorbemessung für den Hybridbau verwendbar. Der bauakustische Nachweis ist bis zur Aufnahme der hier dargestellten Verfahren in DIN 4109-2 nur durch eine Baumessung möglich. Die Eingangsdaten wurden anhand der Baumessungen in Abschnitt 3 und einzelnen Labormessungen [HFT, ift] auf der sicheren Seite liegend gewählt. Ergänzende Labormessungen zur Absicherung der Eingangsdaten und die Aufnahme in DIN 4109-33 werden angestrebt.

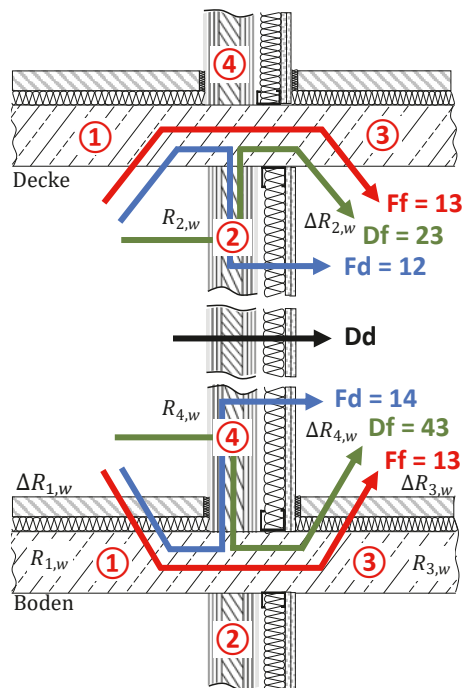
4.1 _ Trennwände

Tabelle 1.1

Berechnungsmodell für die horizontale Luftschallübertragung
 bei Massivholz-Trennwänden mit flankierenden Stahlbetondecken

Übertragungswege

Berechnung



Massivbau-Flanke (Decke):

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + 0 + 10 \lg \frac{S_S}{\ell_f}$$

$$R_{Fd,w} = R_{12,w} = \frac{R_{1,w} + R_{2,w}}{2} + K_{12} + \Delta R_{12,w} + 10 \lg \frac{S_S}{\ell_f}$$

$$R_{Df,w} = R_{23,w} = \frac{R_{2,w} + R_{3,w}}{2} + K_{23} + 0 + 10 \lg \frac{S_S}{\ell_f}$$

Massivbau-Flanke (Boden):

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + \Delta R_{13,w} + 10 \lg \frac{S_S}{\ell_f}$$

$$R_{Fd,w} = R_{14,w} = \frac{R_{1,w} + R_{4,w}}{2} + K_{14} + \Delta R_{14,w} + 10 \lg \frac{S_S}{\ell_f}$$

$$R_{Df,w} = R_{43,w} = \frac{R_{4,w} + R_{3,w}}{2} + K_{43} + \Delta R_{43,w} + 10 \lg \frac{S_S}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

$$R_{Dd,w} = R_w \text{ nach DIN 4109-33 oder Prüfbericht}$$

$$R_{1,w} = R_{3,w} = 30,9 \lg(m') - 22,2 \text{ dB}$$

$$R_{2,w} = R_{4,w} = 25 \lg(m') - 7 \text{ dB}$$

$$K_{12} = K_{23} = K_{14} = K_{43} = 14 \text{ dB}$$

$$K_{13} = \max(K_{ij,min}; 2 \text{ dB}); K_{ij,min} \text{ nach DIN 4109-2}$$

$$\Delta R_{12,w} = 0 + \Delta R_{2,w}$$

$$\Delta R_{13,w} = \Delta R_{1,w} + 0,5 \Delta R_{3,w}$$

$$\Delta R_{14,w} = \max(\Delta R_{1,w} + 0,5 \Delta R_{4,w}; 0,5 \Delta R_{1,w} + \Delta R_{4,w})$$

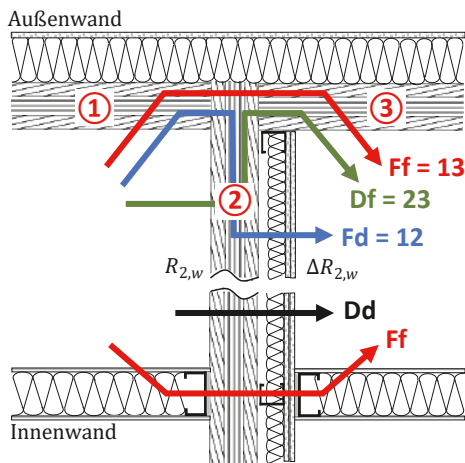
$$\Delta R_{43,w} = 0 + \Delta R_{3,w}$$

$$\Delta R_{1,w} \text{ und } \Delta R_{3,w} \text{ nach DIN 4109-34, Estrich}$$

$$\Delta R_{2,w} = \Delta R_{4,w} = \min(R_{Dd,w} - R_{2,w}; 10 \text{ dB})$$

Tabelle 1.2

Berechnungsmodell für die horizontale Luftschallübertragung
bei Massivholz-Trennwänden mit flankierenden Holzwänden

Übertragungswege**Berechnung****Holzmassivbau-Flanke (Außenwand):**

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

$$R_{Fd,w} = R_{12,w} = \frac{R_{1,w} + R_{2,w}}{2} + K_{12} + \Delta R_{12,w} + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

$$R_{Df,w} = R_{23,w} = \frac{R_{2,w} + R_{3,w}}{2} + K_{23} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Leichtbau-Flanke (Innenwand):

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \frac{S_s}{A_0} + 10 \lg \frac{\ell_{lab}}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

$$R_{Dd,w} = R_w \text{ nach DIN 4109-33 oder Prüfbericht}$$

$$R_{1,w} = R_{2,w} = R_{3,w} = 25 \lg(m') - 7 \text{ dB}$$

$$K_{12} = K_{23} = 12 \text{ dB}$$

$$K_{13} = 17 \text{ dB}$$

$$\Delta R_{12,w} = 0 + \Delta R_{2,w}$$

$$\Delta R_{2,w} = \min(R_{Dd,w} - R_{2,w}; 10 \text{ dB})$$

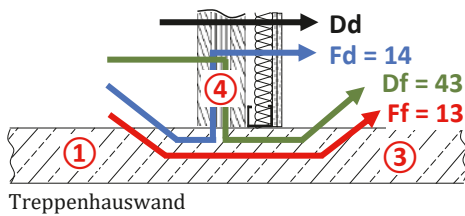
$$D_{n,f,w} \geq 67 \text{ dB}, \ell_{lab} = 2,80 \text{ m (vgl. DIN 4109-33)}$$

Tabelle 1.3

Berechnungsmodell für die horizontale Luftschallübertragung
 bei Massivholz-Trennwänden mit flankierenden Stahlbetonwänden

Übertragungswege

Berechnung



Massivbau-Flanke (Treppenhauswand):

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

$$R_{Fd,w} = R_{14,w} = \frac{R_{1,w} + R_{4,w}}{2} + K_{14} + \Delta R_{14,w} + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

$$R_{Df,w} = R_{43,w} = \frac{R_{4,w} + R_{3,w}}{2} + K_{43} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

$$R_{Dd,w} = R_w \text{ nach DIN 4109-33 oder Prüfbericht}$$

$$R_{1,w} = R_{3,w} = 30,9 \lg(m') - 22,2 \text{ dB}$$

$$R_{4,w} = 25 \lg(m') - 7 \text{ dB}$$

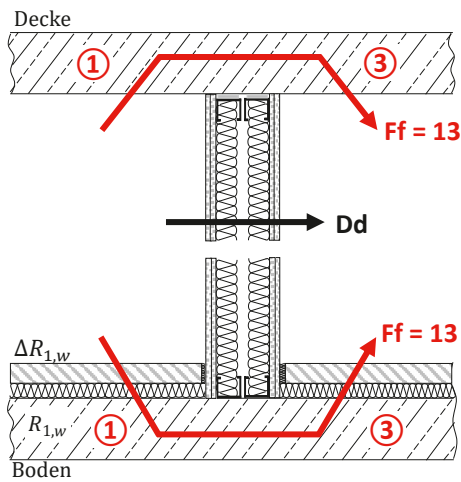
$$K_{13} = \max(K_{ij,min}; 2 \text{ dB}); K_{ij,min} \text{ nach DIN 4109-2}$$

$$K_{14} = K_{43} = 14 \text{ dB}$$

$$\Delta R_{14,w} = \min(R_{Dd,w} - R_{4,w}; 10 \text{ dB})$$

Tabelle 2.1

Berechnungsmodell für die horizontale Luftschallübertragung
bei Leichtbau-Trennwänden mit flankierenden Stahlbetondecken

Übertragungswege**Berechnung****Massivbau-Flanke (Decke):**

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Massivbau-Flanke (Boden):

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + \Delta R_{13,w} + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

$$R_{Dd,w} = R_w \text{ nach DIN 4109-33 oder Prüfbericht}$$

$$R_{1,w} = R_{3,w} = 30,9 \lg(m') - 22,2 \text{ dB}$$

$$K_{13} = \max(K_{ij,min}; -3 \text{ dB}); K_{ij,min} \text{ nach DIN 4109-2}$$

$$\Delta R_{13,w} = \Delta R_{1,w} + 0,5 \Delta R_{3,w}$$

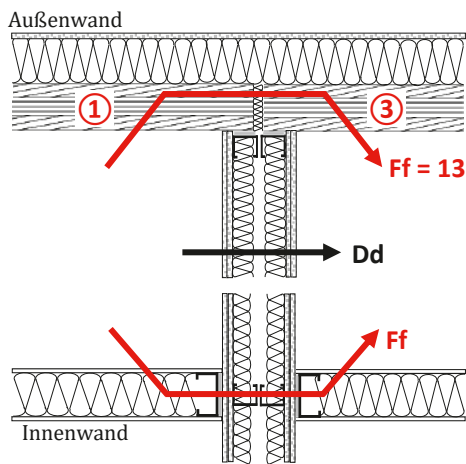
$$\Delta R_{1,w} \text{ und } \Delta R_{3,w} \text{ nach DIN 4109-34, Estrich}$$

Tabelle 2.2

Berechnungsmodell für die horizontale Luftschallübertragung
 bei Leichtbau-Trennwänden mit flankierenden Holzwänden

Übertragungswege

Berechnung



Holzmassivbau-Flanke (Außenwand):

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Leichtbau-Flanke (Innenwand):

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \frac{S_s}{A_0} + 10 \lg \frac{\ell_{lab}}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

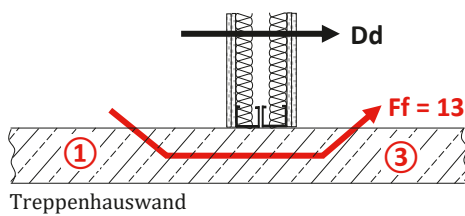
$$R_{1,w} = R_{3,w} = 25 \lg(m') - 7 \text{ dB}$$

$$K_{13} \geq 15 \text{ dB}$$

$$D_{n,f,w} \geq 76 \text{ dB}, \ell_{lab} = 2,80 \text{ m (vgl. DIN 4109-33)}$$

Tabelle 2.3

Berechnungsmodell für die horizontale Luftschallübertragung
bei Leichtbau-Trennwänden mit flankierenden Stahlbetonwänden

Übertragungswege**Berechnung****Massivbau-Flanke (Treppenhauswand):**

$$R_{Ff,w} = R_{13,w} = \frac{R_{1,w} + R_{3,w}}{2} + K_{13} + 0 + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

$$R_{1,w} = R_{3,w} = 30,9 \lg(m') - 22,2 \text{ dB}$$

$$K_{13,w} = K_{ij,min} ; K_{ij,min} \text{ nach DIN 4109-2}$$

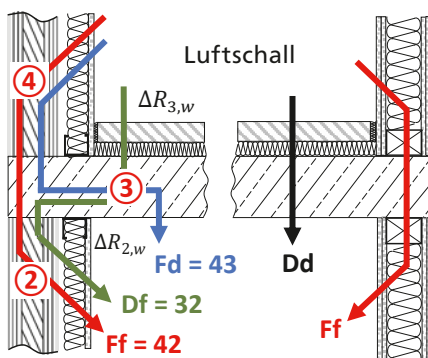
4.2 _Trenndecken

Tabelle 3.1

Berechnungsmodell für die vertikale Luftschallübertragung bei Trenndecken

Übertragungswege

Berechnung ¹



Trenndecke aus Stahlbeton:

$$R_{Dd,w} = R_{3,w} + \Delta R_{3,w}$$

Massivholz-Flanke:

$$R_{Ff,w} = R_{42,w} = \frac{R_{4,w} + R_{2,w}}{2} + K_{42} + \Delta R_{42,w} + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

$$R_{Fd,w} = R_{43,w} = \frac{R_{4,w} + R_{3,w}}{2} + K_{43} + \Delta R_{43,w} + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

$$R_{Df,w} = R_{32,w} = \frac{R_{3,w} + R_{2,w}}{2} + K_{32} + \Delta R_{32,w} + 10 \lg \frac{S_s}{\ell_f}$$

Holztafelbau-Flanke:

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \frac{S_s}{A_0} + 10 \lg \frac{\ell_{lab}}{\ell_f}$$

Eingangsdaten:

$$R_{3,w} = 30,9 \lg(m') - 22,2 \text{ dB}$$

$$R_{2,w} = R_{4,w} = 25 \lg(m') - 7 \text{ dB}$$

$$\Delta R_{42,w} = \Delta R_{4,w} + 0,5 \Delta R_{2,w}$$

$$\Delta R_{43,w} = \Delta R_{4,w} + 0$$

$$\Delta R_{32,w} = \max(\Delta R_{3,w} + 0,5 \Delta R_{2,w}; 0,5 \Delta R_{3,w} + \Delta R_{2,w})$$

$$\Delta R_{3,w} \text{ nach DIN 4109-34, Estrich}$$

$$\Delta R_{2,w} \text{ und } \Delta R_{4,w} \text{ nach [6]}$$

$$K_{42} = 21 \text{ dB}$$

$$K_{43} = K_{32} = 14 \text{ dB}$$

$$D_{n,f,w} = 76 \text{ dB nach DIN 4109-33}$$

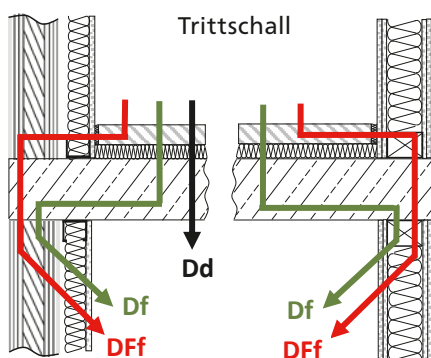
$$\ell_{lab} = 4,50 \text{ m}, \quad A_0 = 10,0 \text{ m}^2$$

¹ Bei bauüblichen Anschlüssen der Vorsatzschale an die Rohdecke wird das erreichbare Flankendämm-Maß durch die Kopplung der Vorsatzschalen mit der Rohdecke beschränkt. Die Übertragung der durch die Rohdecke gekoppelten Vorsatzschalen ist vergleichbar mit der Übertragung flankierender Holztafel- bzw. Metallständerwände. Das maximal erreichbare Flankendämm-Maß für die Summe der Übertragungswege Df, Fd und Ff ergibt sich zu:

$$\sum_{ij} R_{ij,w} = \min \left\{ \begin{array}{l} -10 \lg (10^{-0,1 R_{Ff,w}} + 10^{-0,1 R_{Df,w}} + 10^{-0,1 R_{Fd,w}}) \\ 76 \text{ dB} + 10 \lg \left(\frac{S_s}{10 \text{ m}^2} \right) + 10 \lg \left(\frac{4,5 \text{ m}}{\ell_f} \right) \end{array} \right.$$

Tabelle 3.2

Berechnungsmodell für die vertikale Trittschallübertragung bei Trenndecken

Übertragungswege**Berechnung****Trenndecke aus Stahlbeton:**

$$L_{n,d,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_{Dd,w}$$

Weg Df:

$$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \frac{S_S}{\ell_0 \ell_{ij}}$$

$$L_{n,Df,lab,w} = 10 \lg (10^{0,1(L_{n,d,w} + K_1)} - 10^{0,1L_{n,d,w}})$$

Weg Dff:

$$L_{n,Dff,w} = L_{n,Dff,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \frac{S_S}{\ell_0 \ell_{ij}}$$

Eingangsdaten Decke:

$$L_{n,eq,0,w} = 164 - 35 \lg(m')$$

$$\Delta L_{Dd,w} = \Delta L_w \text{ nach DIN 4109-34, Estrich}$$

Eingangsdaten Massivholz-Flanke:

$$K_1 = 4 \text{ dB}; L_{n,Dff,lab,w} \approx 40 \text{ dB}; \ell_0 = 1,0 \text{ m}$$

$$\Delta R_{j,w} \text{ und } \Delta R_{ij,w} \text{ nach DIN 4109-33 und [6]}$$

$$\Delta K_{ij} \text{ aus Herstellerangaben (Prüfbericht), ansonsten } \Delta K_{ij} = 0^1$$

Eingangsdaten Holztafelbau-Flanke:

$$K_1 = 1 \text{ dB}; L_{n,Dff,lab,w} \approx 30 \text{ dB}; \ell_0 = 1,0 \text{ m}$$

$$\Delta R_{j,w} \text{ und } \Delta R_{ij,w} \text{ nach DIN 4109-33 und [6]}$$

$$\Delta K_{ij} \text{ aus Herstellerangaben (Prüfbericht), ansonsten } \Delta K_{ij} = 0^1$$

¹ ΔK_{ij} beschreibt die Verbesserung des Stoßstellendämm-Maßes durch Zusatzmaßnahmen an der Stoßstelle.

Die Ermittlung erfolgt durch Differenzbildung aus dem nach DIN EN ISO 10848-1 gemessenen Stoßstellendämm-Maß der starren Stoßstelle ohne Zusatzmaßnahme und dem auf die gleiche Weise und der gleichen Stoßstelle gemessenen Stoßstellendämm-Maß an der Stoßstelle mit einer Zusatzmaßnahme. Das kann beispielsweise eine elastische Zwischenlage sein.

4.3 _ Berechnungsbeispiele

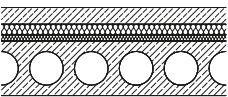
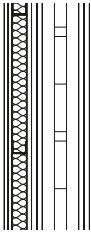
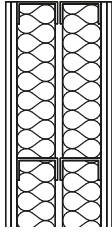
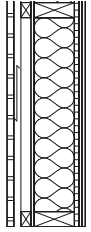
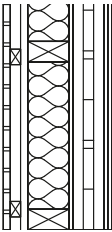
In diesem Abschnitt wird das Berechnungsverfahren anhand von vier Beispielen vorgestellt. Diese praktische Anwendung dient der Nachvollziehbarkeit der Ansätze und Annahmen. Die Beispiele decken nicht alle in der Praxis vorkommenden Fälle ab. Es kommt in der Prognose nicht selten vor, dass die Ver-

fahren an die Anwendungsgrenzen gelangen.

Vor diesem Hintergrund sind die hier dargestellten Prognosen und Annahmen nur auf den konkreten Fall bezogen. Individuelle und bauvorhabenspezifische Fragestellung sind hiermit nicht abgedeckt. Für die nachfolgenden Beispiele werden die Bauteile der Tabelle 4 verwendet.

Tabelle 4:

Bauteilaufbauten für die Beispielbemessung

Bauteilskizze	Bauteiltyp	Aufbau	
	Wohnungstrenndecke Stahlbeton	Estrich $d \geq 60 \text{ mm}$	$m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$
		Trittschalldämmung	$s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$
		Fülldämmstoff	
		Hohlkörperdecke $d = 200 \text{ mm}$	$m' \geq 325 \text{ kg/m}^2$
	Wohnungstrennwand Massivholzbauweise mit Vorsatschale $R_w = 62 \text{ dB}$ $\Delta R_w = 15,7 \text{ dB}$	2 x 18 mm GKF Platten	$m' \geq 16 \text{ kg/m}^2$
		Brettspertholz $d = 160 \text{ mm}$	$m' \approx 72 \text{ kg/m}^2$
		2 x 18 mm GKF Platten	$m' \geq 16 \text{ kg/m}^2$
		5 mm Luft	
		50 mm CW-Profil mit 40 mm Mineralfaserfüllung	
		2 x 12,5 mm Hartgipsplatten	$m' \geq 12 \text{ kg/m}^2$
	Wohnungstrennwand Gipsständerbau $R_w = 66 \text{ dB}$ $D_{n,f,w} = 76 \text{ dB}$	2 x 12,5 mm GKF Platten	$m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$
		Metallständergefach CW-75 mm mit Mineralfaser	
		5 mm Luft	
		Metallständergefach CW-75 mm mit Mineralfaser	
	Außenwand Holztafelbauweise $D_{n,f,w} = 76 \text{ dB}$	2 x 12,5 mm GKF Platten	$m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$
		15 mm Holzwerkstoffplatte OSB	$m' \geq 9 \text{ kg/m}^2$
		Gefach $d \geq 200 \text{ mm}$	$e \geq 62,5 \text{ cm}$ mit Mineralfaserfüllung
		18 mm GKF Platten	$m' \geq 16 \text{ kg/m}^2$
		Folie, Lattung zur Belüftung und Holzverschalung	
	Außenwand Massivholzbauweise	2 x 18 mm GKF Platten	$m' \geq 16 \text{ kg/m}^2$
		Brettspertholz $d = 160 \text{ mm}$	$m' \approx 72 \text{ kg/m}^2$
		18 mm GKF Platten	$m' \geq 16 \text{ kg/m}^2$
		Gefach mit Holzständer	$e = 62,5 \text{ cm}$ mit Dämmstofffüllung
		Folie, Lattung zur Belüftung und Holzverschalung	

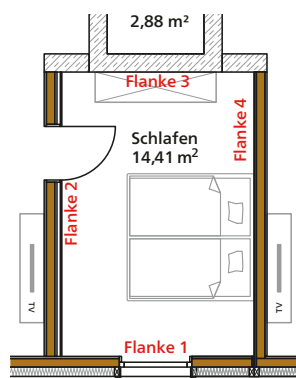


Abb. 14:

Grundrissituation für die Bemessung

4.3.1 _

Berechnung der vertikalen Übertragung von Tritt- und Luftschall einer mineralischen Wohnungstrenndecke mit Wänden in Massivholzbauweise

Flanke 1: 3,00 m	Außenwand Massivholz mit Direktbeplankung
Flanke 2: 4,80 m	Wohnungstrennwand mit der Seite der Vorsatzschale
Flanke 3: 3,00 m	Stahlbetonschachtwand $d \geq 240$ mm, $m' \geq 576$ kg/m ²
Flanke 4: 4,80 m	Massivholzwand mit 2-fach Direktbeplankung
Fläche: 14,4 m ²	

Tabelle 5:

Beispielhafte Bemessung für die vertikale Luft- und Trittschallübertragung mit flankierenden Massivholz- und Stahlbetonwänden

Einbausituation		Berechnung $R_{w,w}$		Berechnung $L_{n,w}$		$R_{ij,w}$	$L_{nFi,w}$
Wohnungstrenndecke ¹		$R_{Roh,w}$	55,4 dB	$L_{n,eq,0,w}$	76,1 dB	69,0 dB	40,3 dB
		$\Delta R_{w,w}$	13,6 dB	$\Delta L_{w,w}$	35,8 dB		
Flanke 1 ² Außenwand / Einbindung $l_{f1} = 3,00$ m		$R_{i,w}$	55,4 dB	K_1	4,0 dB	68,7 dB	37,4 dB
		$R_{j,w}$	45,0 dB	$L_{n,DFf,lab,w}$	40,0 dB		
		K_{Ff}	21,0 dB	$L_{n,Df,w}$ ³	35,3 dB		
		K_{Fd}/K_{Df}	14,0 dB	$L_{n,DFf,w}$ ³	33,2 dB		
		$\Delta R_{i,w}$	13,6 dB	$\Delta R_{j,w}$	—		
		$\Delta R_{j,w}$	—	$\Delta R_{ij,w}$	—		
Flanke 2 ² WTW mit Vorsatzschale $l_{f2} = 4,80$ m		$R_{i,w}$	55,4 dB	K_1	4,0 dB	77,3 dB	29,2 dB
		$R_{j,w}$	46,3 dB	$L_{n,DFf,lab,w}$	40,0 dB		
		K_{Ff}	21,0 dB	$L_{n,Df,w}$ ³	28,8 dB		
		K_{Fd}/K_{Df}	14,0 dB	$L_{n,DFf,w}$ ³	18,2 dB		
		$\Delta R_{i,w}$	13,6 dB	$\Delta R_{j,w}$	8,5 dB		
		$\Delta R_{j,w}$	15,7 dB	$\Delta R_{ij,w}$	17,0 dB		
Flanke 3 ² Anbindung Schachtwand $l_{f3} = 3,00$ m $m' = 576$ kg/m ²		$R_{i,w}$	55,4 dB	$L_{n,eq,0,w}$	76,1 dB	68,7 dB	24,5 dB
		$R_{j,w}$	63,1 dB	$\Delta L_{w,w}$	35,8 dB		
		K_{Ff}	2,6 dB ⁴	$L_{n,Df,w}$ ⁵	24,5 dB		
		K_{Fd}/K_{Df}	5,1 dB ⁴	$L_{n,DFf,w}$	—		
		$\Delta R_{i,w}$	13,6 dB	$\Delta R_{j,w}$	—		
		$\Delta R_{j,w}$	—	$\Delta R_{ij,w}$	—		
Flanke 4 ² Innenwand Massivholz $l_{f4} = 4,80$ m $m' = 120$ kg/m ²		$R_{i,w}$	55,4 dB	K_1	4,0 dB	67,5 dB	39,4 dB
		$R_{j,w}$	46,3 dB	$L_{n,DFf,lab,w}$	40,0 dB		
		K_{Ff}	21,0 dB	$L_{n,Df,w}$ ³	37,3 dB		
		K_{Fd}/K_{Df}	14,0 dB	$L_{n,DFf,w}$ ³	35,2 dB		
		$\Delta R_{i,w}$	13,6 dB	$\Delta R_{j,w}$	—		
		$\Delta R_{j,w}$	—	$\Delta R_{ij,w}$	—		
$S_5 = 14,4$ m²						$R'_{w,w}$	62,3 dB
						$R'_{w,w} - u_{prog}$	60,3 dB
						$L'_{n,w,w}$	44,2 dB
						$L'_{n,w,w} + u_{prog}$	47,2 dB

¹ Decke im Querschnitt dargestellt² Decke im Längsschnitt dargestellt³ Es wurde aus den Laborwerten mittels der geometrischen Korrektur $-10 \lg(S_5 / \ell_0 \ell_{ij})$ umgerechnet, siehe Tabelle 3⁴ K_{ij} nach DIN 4109-32⁵ $L_{n,Df,w}$ nach [3] und [8]

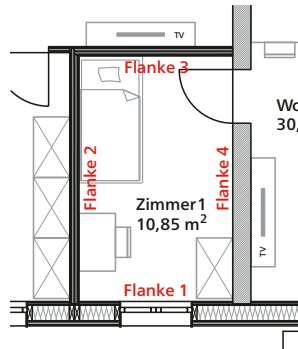


Abb. 15:

Grundrissssituation für die Bemessung

4.3.2 _

Berechnung der vertikalen Übertragung von Trittschall- und Luftschall einer mineralischen Wohnungstrennendecke mit Wänden in Holztafelbauweise

Tabelle 6:

Beispielhafte Bemessung für die vertikale Luft- und Trittschallübertragung mit flankierenden Holztafelbau- und Stahlbetonwänden

Einbausituation		Berechnung $R_{w,w}$		Berechnung $L_{n,w}$		$R_{ij,w}$	$L_{nFi,w}$
Wohnungstrennendecke ¹		$R_{Roh,w}$	55,4 dB	$L_{n,eq,0,w}$	76,1 dB	69,0 dB	40,3 dB
		$\Delta R_{w,w}$	13,6 dB	$\Delta L_{w,w}$	35,8 dB		
Flanke 1 ² Außenwand / Einbindung $l_{f1} = 2,66$ m		$D_{n,f,w}$	76,0 dB	K_1	1,0 dB	78,6 dB	29,7 dB
		ℓ_{lab}	4,50 m	$L_{n,DFf,lab,w}$	30,0 dB		
				$L_{n,Df,w}$ ³	28,3 dB		
				$L_{n,DFf,w}$ ³	23,9 dB		
				$\Delta R_{j,w}$	—		
				$\Delta R_{ij,w}$	—		
Flanke 2 ² Leichtbauwand $l_{f2} = 4,08$ m		$D_{n,f,w}$	76,0 dB	K_1	1,0 dB	76,8 dB	31,5 dB
		ℓ_{lab}	4,50 m	$L_{n,DFf,lab,w}$	30,0 dB		
				$L_{n,Df,w}$ ³	30,2 dB		
				$L_{n,DFf,w}$ ³	25,8 dB		
				$\Delta R_{j,w}$ ³	—		
				$\Delta R_{ij,w}$	—		
Flanke 3 ² Leichtbauwand $l_{f3} = 2,66$ m		$D_{n,f,w}$	76,0 dB	K_1	1,0 dB	78,6 dB	29,7 dB
		ℓ_{lab}	4,50 m	$L_{n,DFf,lab,w}$	30,0 dB		
				$L_{n,Df,w}$ ³	28,3 dB		
				$L_{n,DFf,w}$ ³	23,9 dB		
				$\Delta R_{j,w}$ ³	—		
				$\Delta R_{ij,w}$	—		
Flanke 4 ² Stahlbeton-Innenwand $l_{f4} = 4,08$ m $m' = 576$ kg/m ²		$R_{i,w}$	55,4 dB	$L_{n,eq,0,w}$	76,1 dB	67,9 dB	25,5 dB
		$R_{j,w}$	63,1 dB	$\Delta L_{w,w}$	35,8 dB		
		K_{Ff}	4,8 dB ⁴	$L_{n,Df,w}$ ⁵	25,5 dB		
		K_{Fd} / K_{Df}	6,7 dB ⁴	$L_{n,DFf,w}$	—		
		$\Delta R_{i,w}$	13,6 dB	$\Delta R_{j,w}$	—		
		$\Delta R_{j,w}$	—	$\Delta R_{ij,w}$	—		
$S_5 = 10,85$ m ²						$R'_{w,w}$	64,8 dB
						$R'_{w,w} - u_{prog}$	62,8 dB
						$L'_{n,w,w}$	41,6 dB
						$L'_{n,w,w} + u_{prog}$	44,6 dB

¹ Decke im Querschnitt dargestellt² Decke im Längsschnitt dargestellt³ Es wurde aus den Laborwerten mittels der geometrischen Korrektur $-10\lg(S_5 / \ell_0 \ell_{ij})$ umgerechnet, siehe Tabelle 3⁴ K_{ij} nach DIN 4109-32⁵ $L_{n,Df,w}$ nach [3] und [8]

4.3.3 _ Berechnung der horizontalen Übertragung von Luftschall einer Wohnungstrennwand in Massivholzbauweise

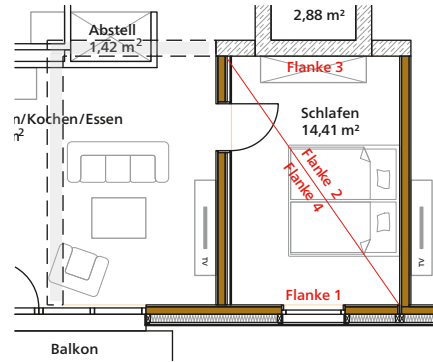


Abb. 16:
Bemessungsgrundriss
für die horizontale
Luftschallübertragung

Flanke 1: 2,45 m	Außenwand Massivholz
Flanke 2: 4,80 m	Stahlbetonhohlkörperdecke mit schwimmendem Estrich
Flanke 3: 2,45 m	Massivbauwand $d = 240 \text{ mm}$, $m' = 576 \text{ kg/m}^2$
Flanke 4: 4,80 m	Stahlbetonhohlkörperdecke $m' = 325 \text{ kg/m}^2$
Fläche: 11,76 m ²	Raumtiefe Empfangsraum: beidseits 3,00 m

Tabelle 7:

Beispielhafte Bemessung für die horizontale Luftschallübertragung mit Massivholzwänden

Einbausituation		Berechnung R_w	$R_{ij,w}$
Wohnungstrennwand		$R_{\text{Roh},w}$ 46,3 dB ΔR_w 15,7 dB	62,0 dB
Flanke 1 Außenwand / Einbindung $l_{f1} = 2,45 \text{ m}$		$R_{i,w}$ 46,3 dB $R_{j,w}$ 45,0 dB K_{Ff} 17,0 dB K_{Fd}/K_{Df} 12,0 dB $\Delta R_{i,w}$ 15,7 dB $\Delta R_{j,w}$ —	63,0 dB
Flanke 2 Boden $l_{f2} = 4,80 \text{ m}$		$R_{i,w}$ 46,3 dB $R_{j,w}$ 55,4 dB K_{Ff} 2,0 dB K_{Fd}/K_{Df} 14,0 dB $\Delta R_{i,w}$ 15,7 dB $\Delta R_{j,w}$ 13,6 dB	78,7 dB
Flanke 3 Massivbauwand $l_{f3} = 2,45 \text{ m}$		$R_{i,w}$ 46,3 dB $R_{j,w}$ 63,1 dB K_{Ff} 2,0 dB K_{Fd}/K_{Df} 14,0 dB $\Delta R_{i,w}$ 15,7 dB $\Delta R_{j,w}$ —	70,3 dB
Flanke 4 Decke $l_{f4} = 4,80 \text{ m}$		$R_{i,w}$ 46,3 dB $R_{j,w}$ 55,4 dB K_{Ff} 2,0 dB K_{Fd}/K_{Df} 14,0 dB $\Delta R_{i,w}$ 15,7 dB $\Delta R_{j,w}$ —	60,6 dB
$S_5 = 11,76 \text{ m}^2$		$R'_{w,:}$ 56,8 dB $R'_{w} - u_{\text{prog}}$ 54,8 dB	

Hinweis: Sowohl die Deckenflanke als auch die Einbindung in die Außenwand stellen einen kritischen Punkt dar.
An der Außenwand ist ein einfacher Trennschnitt in der Regel nicht ausreichend, die Wand muss „vollständig“ durchbinden.

4.3.4 _ Berechnung der horizontalen Übertragung von Luftschall einer Wohnungstrennwand in Leichtbauweise

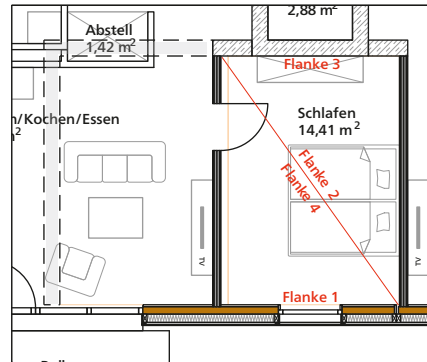


Abb. 17:
Bemessungsgrundriss
für die horizontale
Luftschallübertragung

Flanke 1: 2,45 m	Außenwand Massivholz
Flanke 2: 4,80 m	Stahlbetonhohlkörperdecke mit schwimmendem Estrich
Flanke 3: 2,45 m	Massivbauwand d = 240 mm, m' = 576 kg/m²
Flanke 4: 4,80 m	Stahlbetonhohlkörperdecke m' = 325 kg/m²
Fläche: 11,76 m²	Raumtiefe Empfangsraum: beidseits 3,00 m

Tabelle 8:

Beispielhafte Bemessung für die horizontale Luftschallübertragung mit Leichtbauwänden

Einbausituation	Berechnung R_w	$R_{ij,w}$
Wohnungstrennwand 	$R_{Roh,w}$ 66,0 dB ΔR_w —	66,0 dB
Flanke 1 Außenwand / Einbindung $l_{f1} = 2,45$ m 	$R_{i,w}$ 66,0 dB $R_{j,w}$ 45,0 dB K_{Ff} 15,0 dB K_{Fd} / K_{Df} — $\Delta R_{i,w}$ — $\Delta R_{j,w}$ —	66,8 dB
Flanke 2 Boden $l_{f2} = 4,80$ m 	$R_{i,w}$ 66,0 dB $R_{j,w}$ 46,3 dB K_{Ff} -1,8 dB K_{Fd} / K_{Df} — $\Delta R_{i,w}$ — $\Delta R_{j,w}$ 13,6 dB	77,9 dB
Flanke 3 Massivbauwand $l_{f3} = 2,45$ m 	$R_{i,w}$ 66,0 dB $R_{j,w}$ 63,1 dB K_{Ff} -1,8 dB K_{Fd} / K_{Df} — $\Delta R_{i,w}$ — $\Delta R_{j,w}$ —	68,1 dB
Flanke 4 Decke $l_{f4} = 4,80$ m 	$R_{i,w}$ 66,0 dB $R_{j,w}$ 55,4 dB K_{Ff} -1,8 dB K_{Fd} / K_{Df} — $\Delta R_{i,w}$ — $\Delta R_{j,w}$ —	57,5 dB
$S_S = 11,76$ m²	R'_w 56,2 dB $R'_w - u_{prog}$ 54,2 dB	

Hinweis: Die Deckenflanke zeigt in dieser Konstellation ein äußerst kritisches Verhalten. Erhöhte Standards lassen sich hier in der Prognose nicht nachweisen.

5_ Ausblick und Forschungsbedarf

Die Verbindung von Stahlbetondecken und Holzleichtbauwänden erweist sich als äußerst vorteilhaft in Bezug auf die Bauakustik. Durch die geschickte Kombination dieser Baumaterialien können grundsätzlich alle Anforderungen an den Schallschutz, einschließlich des Komfort-Niveaus, erfüllt werden. Die vorgestellten Messungen und Laboruntersuchungen haben dabei maßgebliche Eingangsdaten für ein Prognoseverfahren geliefert, dessen Ergebnisse durchweg auf der sicheren Seite liegen. Dadurch wird eine zuverlässige und robuste Bemessung ermöglicht. Sowohl die Holztafelbauweise als auch die Massivholzbauweise zeigen das erwähnte vorteilhafte akustische Verhalten. Es ist jedoch zu beachten, dass für diese beiden Wandbauweisen unterschiedliche Eingangsdaten und Prognoseverfahren erforderlich sind, was spezifisches Fachwissen erfordert, um die richtigen Ansätze zu wählen.

Besondere Aufmerksamkeit ist einzig den „leichten“ Massivbaudecken mit Hohlkörpern zu schenken, da sie aufgrund ihrer flächenbezogenen Masse $m' \approx 330 \text{ kg/m}^2$ eine Grenze für die Flankenschalldämmung setzen können. In vielen Fällen ist diese „leichte“ Decke der limitierende Faktor bei der Bemessung von Wohnungstrennwänden. Daher ist Vorsicht geboten, da nicht jede Kombination für die Erfüllung erhöhter Anforderungen geeignet ist.

Im Gegensatz dazu zeigt sich bei allen untersuchten Wohnungstrenndecken konsistent, dass der Einsatz einer Trittschalldämmung mit geringer dynamischer Steifigkeit ($s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$) im Frequenzbereich von 100 bis 3.150 Hz die Erreichung von Werten des erhöhten Schallschutzes ermöglicht, wie sie beispielsweise nach DIN 4109-5:2020 gefordert sind. Darüber hinaus wird auch der wichtige Bereich unter 100 Hz durch die „weiche“ Trittschalldämmung positiv beeinflusst. Die Baustellenmessungen zeigen, dass tieffrequente Gehgeräusche durch die Bewohner praktisch nicht mehr wahrgenommen oder als störend empfunden werden. Wenn der Trittschalldämmstoff anstatt mit Mineralfaser mit EPS $s' \approx 20 \text{ MN/m}^3$ ausgeführt sowie die Estrichdicke reduziert wird, dann zeigen Baumessungen, dass die tieffrequente Übertragung deutlich zunimmt und die erhöhten Standards gemäß DIN 4109-5:2020 nicht mehr ohne weiteres zu erreichen sind. Vor diesem Hintergrund wird die Ausführung von Mineralfaser Trittschalldämmungen mit $s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$ dringend empfohlen.

Insgesamt erweist sich die Konstruktion von Gebäuden mit Holzwänden und Stahlbetondecken als äußerst vorteilhafte Kombination sowohl im Hinblick auf Brand- als auch auf Schallschutz.

6_Literaturverzeichnis

- [1] M. Schneider und A. Ruff,
„Bericht Nr. 122-001-12P-377 /
Schalltechnische Untersuchungen
in einem MFH in Hybridbauweise“
hft Stuttgart, Stuttgart, 2020
- [2] DIN 4109-1:2018-01
„Schallschutz im Hochbau – Teil 1:
Mindestanforderungen“
Beuth-Verlag, 2018
- [3] DIN 4109-2:2018-01
„Schallschutz im Hochbau – Teil 2:
Rechnerische Nachweise der Erfüllung
der Anforderungen“
2018: Beuth Verlag
- [4] A. Blödt,
„Schallschutz im Holzbau –
Differenzierte Flankenbewertung
bei der Trittschallübertragung“
INFORMATIONSDIENST HOLZ,
Holzbau Deutschland Institut, 2020
- [5] A. Rabold und A. Blödt,
„Schallschutz im Holzbau –
Grundlagen und Vorbemessung“
INFORMATIONSDIENST HOLZ,
Holzbau Deutschland Institut, 2019
- [6] A. Rabold, S. Bacher, F. Fritz, L. Kleemann,
„Vertikale Flankenübertragung
von Holztafelwänden Untersuchungen
zur vertikalen Flankenübertragung
von Holztafelwänden bei Luft- und
Trittschallanregung von Holzdecken
zur Erweiterung des Nachweisverfahrens
nach DIN 4109“
Forschungsbericht ift Rosenheim, 2022
- [7] DIN 4109-33:2016-07
„Schallschutz im Hochbau – Teil 33:
Daten für die rechnerischen Nachweise
des Schallschutzes (Bauteilkatalog) –
Holz-, Leicht- und Trockenbau“
Beuth Verlag, 2016
- [8] DIN EN 12354-2:2017-11
„Berechnung der akustischen Eigenschaften
von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften
Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen“
Beuth Verlag, 11-2017
- [9] Holzbau Deutschland,
Bund Deutscher Fertigbauer BDF,
Deutscher Holzbau Verband DHV,
„Untersuchung der Flankenübertragung von
Holztafelbauwänden mit Installationsebenen“
Verbandsprojekt, 2019
- [10] DIN 4109-32:07-2016
„Schallschutz im Hochbau – Teil 32:
Daten für die rechnerischen Nachweise
des Schallschutzes (Bauteilkatalog) Massivbau“
Beuth Verlag, 2016
- [11] DIN EN 12354-1
„Berechnung der akustischen Eigenschaften
von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften
Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen“
Beuth Verlag, 11-2017
- [12] M. S. B. Z. J. W. Andreas Ruff,
„Laboruntersuchungen zur Stoßstellen-
dämmung von Brettsper Holz wänden
und Spannbeton-Fertigdecken“
DAGA 2019 Rostock, 2019
- [13] Andreas Rabold, Martin Schneider,
Heinz-Martin Fischer, Berndt Zeitler,
„Neue Berechnungsverfahren
zur Trittschallübertragung“
Bauphysik, Bd. 42, Nr. Heft 4, p. 13, 2020
- [14] A. G. Schewior,
„Untersuchungen zur flankierenden
Schallübertragung im Hybridbau –
Stahlbetondecken und Massivholzwände“
hft Hochschule für Technik /
Bachelorarbeit, Stuttgart, 2020
- [15] A. Rabold, C. Châteaueux-Hellwig
und S. Mecking, Inter Noise 2019 Madrid
„Flanking transmission of solid wood
elements in multi-storey timber buildings –
input data and prediction models for
airborne and impact sound excitation“
TH Rosenheim, 2019
- [16] Martin Schneider, Andreas Ruff,
„Schalltechnische Untersuchungen
in einem MFH in Hybridbauweise“
Nr. 122-001-12P_411,
hft Stuttgart, Stuttgart, 2023

7 _ Glossar

7.1 _ Hybride Bauweise

Hybride Tragsysteme sind aus mehreren Baustoffen oder Bauweisen zusammengesetzte Konstruktionen. Fachwerkhäuser stellen historische Beispiele für Hybridbauten dar, heutzutage wird oftmals eine Kombination von Holz-, Stahl- sowie Betonbauteilen oder Holz-Beton-Verbundbauteile verwendet.

7.2 _ Massivbauweise

Bei der Massivbauweise werden stabförmige oder flächige Bauteile aus mineralischen Rohstoffen, wie Stahlbeton und Mauerwerk, hergestellt.

7.3 _ Holztafelbauweise

Holztafeln sind flächige Konstruktionen aus einseitig oder beidseitig mit Holz- oder Gipswerkstoffplatten beplankten Holzrippen. Das Konstruktionsprinzip zählt zu den Leichtbauweisen und gleicht dem des Holzrahmenbaus, unterscheidet sich jedoch primär in dem Grad der Vorfertigung.

7.4 _ Holzmassivbauweise

Bei dieser Bauweise finden Massivholzelemente Anwendung. Dies sind flächige Bauteile aus z. B. Brettschichtholz, Brettsperrholz oder Brettstapel, die über Nägel, Dübel oder Verklebung miteinander verbunden sind.

7.5 _ Leichtbauweise

Als Leichtbauweisen werden klassischerweise Holzbalkendecken, Holztafel- bzw. Holzrahmen- und Trockenbauwände (z. B. mit Metallständerwerk) verstanden.

7.6 _ Spektrumanpassungswerte

Grundsätzlich soll durch Spektrumanpassungswerte ein Bauteil hinsichtlich seiner schalldämmenden Wirkung gegen andere Geräuschquellen bewertet werden. Die Anregung bei der Messung durch rosa Rauschen oder dem Normhammerwerk entspricht nicht über alle Frequenzen der realen Anregung durch Verkehrsgeräusche oder einer gehenden Person. Deshalb sind Korrekturen erforderlich, die Frequenzbereiche abzubilden, welche in der Praxis die Störung hervorrufen (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9:
 Übersicht Spektrumanpassungswerte

Trittschall:	Beschreibung	Frequenzbereich
C_I	I = Impact; Anpassung des mit dem Normhammerwerk ermittelten Trittschallpegels an übliche Gehgeräusche; Beschreibung der Abweichung des Normhammerwerks vom Geher	100 Hz – 3.150 Hz
$C_{I,50-2500}$	wie C_I , jedoch Einbeziehung der Frequenzen von 50 Hz bis 2.500 Hz; Zusammenhang zur Störwirkung durch Gehen psychoakustisch nachweisbar	50 Hz – 2.500 Hz
Luftschall	Beschreibung	Frequenzbereich
$C_{50-5000}$	Anpassung des Schalldämm-Maßes an übliche Wohngeräusche; Beurteilung der Wirksamkeit eines Bauteils gegen wohnübliche Geräusche unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen	50 Hz – 5.000 Hz
$C_{tr, 50-5000}$	tr = Traffic; Anpassung der Schalldämmung an Verkehrsgeräusche; Beurteilung der Wirksamkeit eines Bauteils gegen Verkehrslärmgeräusche unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen	50 Hz – 5.000 Hz

8_ Formelzeichen

Symbol	Benennung	Einheit
A_0	Bezugsabsorptionsfläche mit $A_0 = 10 \text{ m}^2$	m^2
$C_{l,50-2500}$	Spektrumanpassungswert für Gehgeräusche im Frequenzband von 50 – 2.500 Hz	dB
$D_{n,f,w}$	Bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz	dB
$D_{n,w}$	Bewertete Norm-Schallpegeldifferenz	dB
K_1	Korrekturwert Flankenübertragung Trittschall Holzbau auf dem Weg Df	dB
K_2	Korrekturwert Flankenübertragung Trittschall Holzbau auf dem Weg DfF	dB
ΔK_{ij}	Gesamte Verbesserung des Stoßstellendämm-Maßes durch ein elastisches Baulager auf dem Pfad ij	dB
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß zwischen den Bauteilen i und j	dB
$L_{n,eq,0,w}$	Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel einer Rohdecke	dB
$L_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel ohne Flankenübertragung	dB
$L'_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau mit Flankenübertragung	dB
$L_{n,d,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel für die direkte Trittschallübertragung auf dem Weg Dd	dB
$L_{n,Df,w}$	Bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Übertragungsweg Df	dB
$L_{n,Df,lab,w}$	Bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Übertragungsweg Df, bestimmt unter Laborbedingungen	dB
$L_{n,DfF,w}$	Bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Übertragungsweg DfF	dB
$L_{n,DfF,lab,w}$	Bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Übertragungsweg DfF, bestimmt unter Laborbedingungen	dB
$L_{n,ij,w}$	Bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Übertragungsweg ij	dB
$L_{nf,ij,lab,w}$	Bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel flankierender Leichtbauteile auf dem Übertragungsweg ij, best. u. Laborbedingungen	dB
ΔL_w	Bewertete Trittschallminderung	dB
$\Delta L_{d,w}$	Bewertete Trittschallminderung durch eine empfangsraumseitige Vorsatzschale an Decke oder Wand	dB
$\Delta L_{Dd,w}$	Gesamte bewertete Trittschallminderung auf dem direkten Übertragungsweg	dB
ℓ	Länge	m
ℓ_0	Bezugslänge, $\ell_0 = 1 \text{ m}$	m
ℓ_f	Länge der Verbindung zwischen den jeweils betrachteten Bauteilen	m
ℓ_{ij}	Gemeinsame Kantenlänge zwischen den Bauteilen i und j	m
$\ell_{ij,lab}$	Gemeinsame Kantenlänge zwischen den Bauteilen i und j bei Labormessungen	m
ℓ_{lab}	Bezugskantenlänge für Labormessungen	m
ℓ_{situ}	Länge am Bau	m

Symbol	Benennung	Einheit
m'	Flächenbezogene Masse	kg/m^2
m'_s	Flächenbezogene Masse der Trenndecke	kg/m^2
n	Laufindex	
$R_{Dd,w}$	Bewertetes Direktschalldämm-Maß des trennenden Bauteils	dB
$\Delta R_{Dd,w}$	Gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzkonstruktionen auf dem Übertragungsweg Dd	dB
$R_{Ff,w}$	Bewertetes Flankenschalldämm-Maß für den Übertragungsweg Ff	dB
$R_{Df,w}$	Bewertetes Flankenschalldämm-Maß für den Übertragungsweg Df	dB
$R_{Fd,w}$	Bewertetes Flankenschalldämm-Maß für den Übertragungsweg Fd	dB
$R_{i,w}$	Bewertetes Schalldämm-Maß des Bauteils i	dB
$R_{j,w}$	Bewertetes Schalldämm-Maß des Bauteils j	dB
$\Delta R_{ij,w}$	Bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzkonstruktionen für das Bauteil j	dB
$R_{ij,w}$	Bewertetes Flankenschalldämm-Maß auf dem Übertragungsweg ij	dB
$\Delta R_{ij,w}$	Gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzkonstruktionen auf dem Übertragungsweg ij	dB
R_w	Bewertetes Schalldämm-Maß	dB
R'_w	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß	dB
ΔR_w	Bewertete Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch eine Vorsatzkonstruktion	dB
S	Fläche	m^2
S_i	Fläche des angeregten Bauteils i in der Bausituation im Senderaum	m^2
S_j	Fläche des abstrahlenden Bauteils j in der Bausituation im Empfangsraum	m^2
S_s	Fläche des trennenden Bauteils	m^2
s'	Dynamische Steifigkeit	MN/m^3
$S_{i,\text{lab}}$	Fläche des angeregten Bauteils im Labor	m^2
u_{prog}	Sicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Unsicherheit der Prognose hinsichtlich des am Bau erreichten Wertes $u_{\text{prog}} = 2 \text{ dB}$ für Luftschallübertragung $u_{\text{prog}} = 3 \text{ dB}$ für Trittschallübertragung	dB



Deutscher
Holzfertigbau-
Verband e.V.



**HOLZBAU
DEUTSCHLAND
INSTITUT**

Holzbau Deutschland Institut e.V.

Kronenstraße 55 – 58

D-10117 Berlin

Tel. +49 (0) 30 20314 533

Fax +49 (0) 30 20314 566

www.institut-holzbau.de

Technische Anfragen an:

Fachberatung Holzbau

Telefon: (030) 57 70 19 95

Montag bis Freitag von 9 bis 16 Uhr

Dieser Service ist kostenfrei.

fachberatung@informationsdienst-holz.de

www.informationsdienst-holz.de

Ein Angebot des

Holzbau Deutschland Institut e.V.

in Kooperation mit dem

Informationsverein Holz e.V.