

BBSR-
Online-Publikation
85/2024

Untersuchungen zur vertikalen Flankenübertragung von Holztafelwänden bei Luft- und Trittschallanregung von Holzdecken zur Erweiterung des Nachweisverfahrens nach DIN 4109

von

Prof. Dr. Andreas Rabold
Stefan Bacher
Florian Fritz
Lena Kleemann

Untersuchungen zur vertikalen Flankenübertragung von Holztafelwänden bei Luft- und Trittschallanregung von Holzdecken zur Erweiterung des Nachweisverfahrens nach DIN 4109

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.22

Projektlaufzeit: 10.2020 bis 12.2022

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
zb@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

ift Rosenheim
Prof. Dr. Andreas Rabold (Projektleitung)
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Bacher
Florian Fritz, B. Eng.
Lena Kleemann, B. Eng.

Redaktion

ift Rosenheim

Stand

Dezember 2022

Gestaltung

ift Rosenheim

Bildnachweis

Titelbild: Alessandro2802 – stock.adobe.com
Alle Abbildungen mit Ausnahme der Logos stammen von den Autoren.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Rabold, Andreas; Bacher, Stefan; Fritz, Florian; Kleemann, Lena, 2024: Untersuchungen zur vertikalen Flankenübertragung von Holztafelwänden bei Luft- und Trittschallanregung von Holzdecken zur Erweiterung des Nachweisverfahrens nach DIN 4109. BBSR-Online-Publikation 85/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Abstract	2
Formelzeichen	3
1 Einleitung und Projektziel	5
2 Grundlagen	7
2.1 Grundlagen für den bauakustischen Nachweis	7
2.1.1 Luftschalldämmung	7
2.1.2 Trittschalldämmung	7
2.1.3 Norm-Trittschallpegel aus Schallintensitätsmessung	8
2.1.4 Flankenübertragung	9
2.1.5 Bauakustische Anforderungen an Trenndecken	10
2.1.6 Nachweismöglichkeiten nach DIN 410-2:2018	10
2.2 Massivholzbauteile als flankierende Wände	11
2.2.1 Schalldämm-Maß der Massivholzelemente	11
2.2.2 Verbesserung durch Vorsatzschalen	11
2.2.3 Stoßstellendämm-Maße	13
3 Messtechnik, Durchführung und Prüfplan	15
3.1 Messtechnik	15
3.1.1 Messung der Luft- und Trittschalldämmung im Labor	15
3.1.2 Messung der Intensität im Labor	16
3.1.3 Laborprüfstand	17
3.2 Messtechnik	18
3.2.1 Untersuchte Übertragungswege	18
3.2.2 Auswertung der Flankenübertragung	19
3.3 Prüfplan	21
4 Messergebnisse	23
4.1 Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{n,ij,lab}$	23
4.1.1 Vergleich der Messmethoden	23
4.1.2 Vergleich der Übertragungsrichtungen	24
4.1.3 Einfluss der Wandbeplankungen	25
4.1.4 Einfluss der Wandbeplankungen	27
4.1.5 Einfluss des Decken- / Wandanschlusse	29
4.2 Norm-Flanken-Trittschallpegel	30
4.2.1 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab}$	30
4.2.2 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,DFf,lab}$	32
4.3 Norm-Flankenschallpegeldifferenzen $D_{n,f}$	35
4.4 Verbesserung durch Vorsatzschalen	36
4.4.1 Verbesserung bei Luftschallanregung	36

4.4.2	Verbesserung bei Trittschallanregung	40
5	Berechnungsmodell für den Trittschallnachweis	43
5.1	Berechnungsmodell	43
5.2	Planungsdaten	47
5.3	Validierung des Modells	47
6	Zusammenfassung	49
7	Literaturverzeichnis	51
8	Danksagung	53

Kurzfassung

Mit der aktuellen Überarbeitung der DIN 4109 wurden die Trittschallanforderungen an Wohnungstrenndecken verschärft. Hierdurch ergibt sich ein dringender Handlungsbedarf für den Holzbau, da viele der derzeitigen Standard-Deckenaufbauten nun nicht mehr als Wohnungstrenndecken geeignet sind und die im Bauteilkatalog enthaltenen sowie geeigneten Ausführungsbeispiele z.T. nicht den Wirtschaftlichkeitsanforderungen genügen. Neben der Ausführung der Trenndeckenkonstruktion spielt auch die Ausführung der flankierenden Wände eine wesentliche Rolle für den Trittschallnachweis nach DIN 4109. Bei der Berücksichtigung der flankierenden Wände im Nachweisverfahren besteht Handlungsbedarf in einer differenzierteren Betrachtung der einzelnen Wände, um durch eine genauere Prognose geringere Sicherheitszuschläge und damit wirtschaftlichere Gesamtkonstruktionen zu ermöglichen. Während für die Entwicklung und Prüfung geeigneter Trenndecken bereits Projekte durchgeführt wurden, deren Ergebnisse in die aktuelle Überarbeitung von DIN 4109-33 einfließen, wird die differenzierte Betrachtung der Flankenübertragung im vorliegenden Projektbericht behandelt. Hierzu werden die vorhandenen Berechnungsmodelle nach EN ISO 12354-2 und DIN 4109-2 zusammengeführt und für den Holzbau ergänzt. Für die so angepasste Prognose werden zusätzliche Eingangsdaten benötigt, die im Rahmen des Projektes messtechnisch ermittelt und zu Planungsdaten aufbereitet wurden.

Abstract

With the current revision of DIN 4109, the impact sound requirements for apartment ceilings have been tightened. This results in an urgent need for action for timber construction, since many of the current standard ceiling structures are now no longer suitable as apartment partition ceilings and the suitable design examples contained in the component catalogue do not meet the economic requirements in some cases. In addition to the design of the separating ceiling construction, the design of the flanking walls also plays an important role in the impact sound verification according to DIN 4109. When considering the flanking walls in the verification procedure, there is a need for action in a more differentiated consideration of the individual walls in order to enable lower safety margins and thus more economical over-all constructions by means of a more accurate prognosis. While projects have already been carried out for the development and testing of suitable separating ceilings, the results of which are being incorporated into the current revision of DIN 4109-33, the differentiated consideration of flank transmission is dealt with in the present project report. For this purpose, the existing calculation models according to EN ISO 12354-2 and DIN 4109-2 are combined and supplemented for timber construction. For the prognosis adapted in this way, additional input data are required, which were determined by measurement within the scope of the project and processed into planning data.

Formelzeichen

Zeichen	Physikalische Größe	Einheit
A	Äquivalente Schallabsorptionsfläche	m^2
A_0	Bezugs-Absorptionsfläche; für Wohnungen vorgegeben zu $10 m^2$	m^2
D	Federsteifigkeit von Verbindungsmitteln bei Vorsatzschalen	dB
$D_{n,f}$ $D_{n,f,w}$	Norm-Flankenschallpegeldifferenz bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz	dB
d	Hohlraumtiefe bei Vorsatzschalen	m
f_0	Resonanzfrequenz	Hz
K_1	Korrekturwert Flankenübertragung Trittschall Holzbau Df	dB
K_2	Korrekturwert Flankenübertragung Trittschall Holzbau Dff	dB
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß für jeden Übertragungsweg ij an einer Stoßstelle	dB
K_{Ff}	Stoßstellendämm-Maß für jeden Übertragungsweg Ff	dB
K_{Fd}	Stoßstellendämm-Maß für jeden Übertragungsweg Fd	dB
K_{Df}	Stoßstellendämm-Maß für jeden Übertragungsweg Df	dB
ΔK_{ij}	Verbesserungen durch Elastomerlager im Deckenstoß	dB
L_S	Schalldruckpegel im Senderraum	dB
L_E	Schalldruckpegel im Empfangsraum	dB
L_W	Schall-Leistungspegel	dB
L_{HW}	Senderraumpegel bei Hammerwerksbetrieb	dB
L_I	Schallintensitätspegel	dB
L_n $L_{n,w}$	Norm-Trittschallpegel bewerteter Norm-Trittschallpegel	dB
L'_n $L'_{n,w}$	Normtrittschallpegel inklusive Flankenübertragung (Bau) bewerteter Normtrittschallpegel inklusive Flankenübertragung (Bau)	dB
$L_{n,Dd}$ $L_{n,Dd,w}$	Norm-Trittschallpegel des Trennbauteils (Weg Dd) bewerteter Norm-Trittschallpegel des Trennbauteils (auch $L_{n,d,w}$)	dB
$L_{n,ij}$ $L_{n,ij,w}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel der flankierender Bauteile bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel der flankierender Bauteile	dB
$L_{n,Df}$ $L_{n,Df,w}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg Df) bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg Df)	dB
$L_{n,DFf}$ $L_{n,DFf,w}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg DFf) bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg DFf)	dB
$L_{n,Df,lab}$ $L_{n,Df,lab,w}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg Df) als Laborwert bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg Df) als Laborwert	dB

Fortsetzung Formelzeichen

Zeichen	Physikalische Größe	Einheit
$L_{n,DFf,lab}$ $L_{n,DFf,lab,w}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg DFf) als Laborwert bewerteter Norm-Flanken-Trittschallpegel (Weg DFf) als Laborwert	dB
$L_{nf,ij,lab}$ $L_{nf,ij,lab,w}$	Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile bewerteter Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile	dB
l_{ij} l_f	gemeinsame Kopplungslänge zwischen dem Bauteil i und dem Bauteil j (in Normungsgleichungen teilweise auch mit l_f bezeichnet)	m
$l_{ij,lab}$	gemeinsame Kopplungslänge zwischen dem Bauteil i und dem Bauteil j im Labor	m
l_0	Bezugskopplungslänge ($l_0 = 1 \text{ m}$)	m
m'	flächenbezogene Masse eines Bauteils (bzw. m'')	kg/m ²
m'_0	flächenbezogene Bezugsmasse $m'_0 = 1,0 \text{ kg/m}^2$	kg/m ²
R	Schalldämm-Maß eines Bauteils	dB
R'	Bau-Schalldämm-Maß	dB
R'_w	bewertetes Bau-Schalldämm-Maß	dB
R_{ij} $R_{ij,w}$	Flankendämm-Maß bewertetes Flankendämm-Maß	dB
R_{Dd} $R_{Dd,w}$	Schalldämm-Maß für direkte Luftschallübertragung bewertetes Schalldämm-Maß für direkte Luftschallübertragung	dB
R_{Ff} $R_{Ff,w}$	Schalldämm-Maß für den Übertragungsweg Ff bewertetes Schalldämm-Maß für den Übertragungsweg Ff	dB
R_{Df} $R_{Df,w}$	Schalldämm-Maß für den Übertragungsweg Df bewertetes Schalldämm-Maß für den Übertragungsweg Df	dB
R_{Fd} $R_{Fd,w}$	Schalldämm-Maß für den Übertragungsweg Fd bewertetes Schalldämm-Maß für den Übertragungsweg Fd	dB
R_i $R_{i,w}$	Schalldämm-Maß des Bauteils i im Senderaum bewertetes Schalldämm-Maß des Bauteils i im Senderaum	dB
R_j $R_{j,w}$	Schalldämm-Maß des Bauteils j im Empfangsraum bewertetes Schalldämm-Maß des Bauteils j im Empfangsraum	dB
ΔR_i $\Delta R_{i,w}$	Luftschallverbesserungsmaß durch eine Vorsatzkonstruktion (auf Bauteil i) bewertetes Luftschallverbesserungsmaß	dB
ΔR_j $\Delta R_{j,w}$	Luftschallverbesserungsmaß durch eine Vorsatzkonstruktion (auf Bauteil j) bewertetes Luftschallverbesserungsmaß	dB
ΔR_{ij} $\Delta R_{ij,w}$	gesamtes Luftschallverbesserungsmaß durch Vorsatzkonstruktionen bewertetes gesamtes Luftschallverbesserungsmaß (auf Bauteil i und j)	dB

1 Einleitung und Projektziel

Mit der 2018 neu veröffentlichten DIN 4109-1 wurden die Trittschallanforderungen an Wohnungstrenndecken in der Bausituation, also incl. der Übertragung durch die flankierenden Wände, verschärft. Hierdurch ergibt sich ein dringender Handlungsbedarf für den Holzbau, da viele der derzeitigen, wirtschaftlichen Standard-Holzdeckenkonstruktionen nun rechnerisch nicht mehr als Wohnungstrenndecken nachweisbar sind.

Neben der Ausführung der reinen Deckenkonstruktion spielen auch Aufbau und Anbindung der flankierenden Wände eine wesentliche Rolle für die Trittschallübertragung. Der Einfluss der Flankenübertragung liegt für übliche Decken- und Wandkonstruktionen im Holzbau bei 5 bis 15 dB. Der Anteil der Flankenübertragung hat damit den maßgeblichen Einfluss auf die Nachweisbarkeit einer Trenndecke in Holzbauweise.

Das entsprechend DIN 4109 zu verwendende rechnerische Nachweisverfahren ist einfach und praxisnah. Jedoch führen die im Rahmen der Neufassung der DIN 4109 verabschiedeten Verschärfungen der Mindestanforderungen an den Trittschall dazu, dass mit diesem vereinfachten Rechenverfahren die Anforderung im Allgemeinen nur mit Aufbauten nachgewiesen werden könnten, die den Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit nicht mehr genügen.

Ursache hierfür ist maßgeblich die vereinfachte pauschale Berücksichtigung der flankierenden Wände im rechnerischen Nachweisverfahren der Gesamtkonstruktion (Decke + Wand). So werden beispielsweise nichttragende Innenwände, die einen deutlich geringeren Einfluss auf die Flankenübertragung als tragende Wände aufweisen, trotzdem gleichbehandelt. Dies gilt auch für Außenwände mit schalltechnisch wirksamen Installationsebenen. Bei der Berücksichtigung der flankierenden Wände im Nachweisverfahren besteht daher dringender Handlungsbedarf in der Erweiterung sowie Generierung von Planungsdaten für eine differenziertere Betrachtung der einzelnen Wände, um durch eine detaillierte und daher genauere Berechnung die Einhaltung der gestellten Anforderungen nachzuweisen.

Durch die genannte Verschärfung der Trittschallanforderungen in DIN 4109-1:2016-07 ergibt sich die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung der Deckenkonstruktionen und des Prognosemodells. Der Handlungsbedarf wird auch dadurch verdeutlicht, dass im aktuellen Änderungsentwurf A1 zur DIN 4109 explizit auf Leichtbaudecken nach Teil 33 der DIN 4109 verwiesen wird, um die Verschärfung der Trittschallanforderung temporär außer Kraft zu setzen, bis geeignete Planungsdaten zur Verfügung stehen. Diese mangelnden Planungsdaten erschweren gerade kleinen und mittelständischen Unternehmen, zu denen der Großteil der Holzbaubetriebe gehört, den Einstieg in den mehrgeschossigen Holzbau, der nicht nur aus ökologischer Sicht vorteilhaft ist. Neben den bekannten Punkten der günstigen CO₂ Bilanz und des guten Wärmeschutzes gängiger Konstruktionen in Holzbauweise, wird die Bauweise vom Bauherrn i.d.R. auch optisch und in Bezug auf die Wohnbehaglichkeit positiv eingestuft. Diese positiven Aspekte der Holzbauweise sollten nicht durch unwirtschaftliche

Deckenkonstruktionen relativiert werden. Durch eine innovative Weiterentwicklung der Trittschallprognose und der Zusatzmaßnahmen an den flankierenden Wänden können so wirtschaftlichere Lösungen ermöglicht und der Baupraxis zur Verfügung gestellt werden.

Die Zielsetzung einer genaueren Berücksichtigung der Flankenübertragung und damit einer wirtschaftlichen Auslegung der Deckenkonstruktionen ergibt folgende Schwerpunkte:

1. Erweiterung des Prognosemodells nach DIN 4109 und DIN EN ISO 12354 zur Anwendung auf Holzbalkendecken mit flankierenden Leichtbauwänden (Holztafelwände, Montagewände).
2. Ermittlung und Bereitstellung der Planungsdaten für die differenzierte Berechnung mit flankierenden Leichtbauwänden.

2 Grundlagen

2.1 Grundlagen für den bauakustischen Nachweis

2.1.1 Luftschalldämmung

Die Luftschalldämmung bezeichnet die Schalldämmung eines Bauteils und damit den Widerstand gegenüber der Luftschallübertragung zwischen zwei angrenzenden Räumen. Zur Beschreibung der Luftschalldämmung wird das Schalldämm-Maß R in dB verwendet, welches auf eine Bezugsfläche $S_0 = 10 \text{ m}^2$ und eine Bezugsabsorptionsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$ normiert wird:

$$R = L_S - L_E + 10 \log \left(\frac{S A_0}{A S_0} \right) \quad \text{bzw.} \quad R = L_S - L_E + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (1)$$

mit

S Prüffläche des Probekörpers in m^2

A Äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

L_S Schallpegel Senderraum in dB

L_E Schallpegel Empfangsraum in dB

Das Schalldämm-Maß R eines Bauteils wird im Prüfstand im bauakustisch relevanten Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz nach EN ISO 10140-2: 2021 [3] bestimmt. Das bewertete Schalldämm-Maß R_w beschreibt die Schalldämmung über eine Einzahlangabe und wird nach EN ISO 717-1: 2021 [6] aus den frequenzabhängigen Messdaten im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 3150 Hz ermittelt.

Für den Nachweis der Schalldämmung von Außenbauteilen wird das so bestimmte bewertete Schalldämm-Maß R_w aller den betrachteten Raum begrenzenden Außenbauteile und deren Einbauten berücksichtigt. Das daraus resultierende $R'_{w,ges}$ wird mit den Anforderungen und den ggf. darüberhinausgehenden Zielwerten verglichen.

Für den Nachweis der Schalldämmung einer Trenndecke im eingebauten Zustand muss die Übertragung der flankierenden Wände berücksichtigt werden, da die Anforderungen nach DIN 4109 an das R'_w also das bewertete Schalldämm-Maß inklusive Flankenübertragung gestellt werden.

2.1.2 Trittschalldämmung

Die Trittschalldämmung bezeichnet die Schalldämmung einer Decke bei Anregung durch Körperschall. Zur Beschreibung der Trittschalldämmung wird der Norm-Trittschallpegel L_n in dB verwendet. Die Trittschalldämmung des Trennbauteils ist somit umso besser, je kleiner der ermittelte Norm-Trittschallpegel ist:

$$L_n = L_E + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (2)$$

mit

L_E Schallpegel bei Betrieb des Hammerwerkes im Empfangsraum in dB

A Äquivalente Absorptionsfläche in m^2

A_0 Bezugsabsorptionsfläche ($10 m^2$)

Der Norm-Trittschallpegel L_n wird im Prüfstand im bauakustisch relevanten Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz nach EN ISO 10140-3:2021 [4] mit Hilfe eines Norm-Hammerwerks bestimmt. Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ ist der Einzahlwert und wird nach EN ISO 717-2: 2013 [7] aus den frequenzabhängigen Messdaten ermittelt.

Für den Nachweis der Trittschalldämmung einer Trenndecke im eingebauten Zustand muss die Übertragung der flankierenden Wände berücksichtigt werden, da die Anforderungen nach DIN 4109 an den $L'_{n,w}$ also den bewerteten Norm-Trittschallpegel inklusive Flankenübertragung gestellt werden.

2.1.3 Norm-Trittschallpegel aus Schallintensitätsmessung

Zur Ermittlung der über die flankierenden Bauteile abgestrahlten Trittschallpegel kann die Schallintensität gemessen und in einen Norm-Trittschallpegel nach Gleichung (2) umgerechnet werden.

Hierzu wird der Zusammenhang zwischen dem Intensitätspegel L_I und dem Schallleistungspegel L_W sowie dem Schalldruckpegel L_E im Empfangsraum angewendet:

$$L_W = L_I + 10 \log \frac{S}{1m^2} \quad \text{und} \quad L_E = L_W + 10 \log \frac{4m^2}{A} \quad (3)$$

mit

L_I Schallintensitätspegel in dB

A Äquivalente Absorptionsfläche in m^2

S Schallabstrahlende Fläche (flankierende Wand) in m^2

2.1.4 Flankenübertragung

Die Luft- und Trittschallübertragung lässt sich im Holzbau durch die in Abbildung 1 dargestellten Übertragungswege für die direkte Übertragung und die Flankenübertragung beschreiben. Bei der Trittschallanregung (Abbildung 1, links) sind somit neben der direkten Übertragung auf dem Weg Dd die Beiträge der Flankenübertragung auf den Übertragungswegen ij = Df und DFf zu berücksichtigen. Bei der Luftschallanregung (Abbildung 1, mitte und rechts) bestehen die Beiträge der Flankenübertragung aus den Übertragungswegen ij = Ff, Fd und Df.

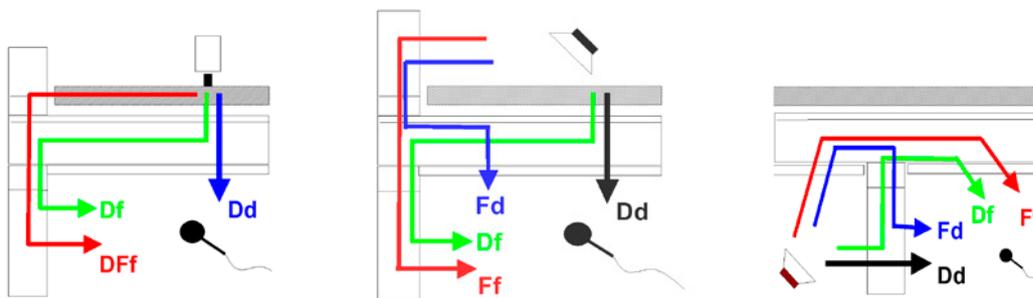


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Beiträge zur Schallübertragung im Holzbau. Bild links: Trittschallübertragung; Bild mittig und rechts: Vertikale und horizontale Luftschallübertragung.

Die für den bauakustischen Nachweis relevante Größe der Luftschalldämmung R' und des Norm-Trittschallpegels L'_n am Bau lässt sich (frequenzabhängig oder anhand der Einzahlwerte) aus der energetischen Addition der Übertragungswege nach Gleichung (4) und (5) berechnen.

$$R' = -10 \log(10^{-0,1 R_{Dd}} + \sum_{ij} 10^{-0,1 R_{ij}}) \quad (4)$$

$$L'_n = 10 \log(10^{0,1 L_{n,Dd}} + \sum_{ij} 10^{0,1 L_{n,ij}}) \quad (5)$$

mit

R_{Dd} Schalldämm-Maß des Trennbauteils für die direkte Übertragung in dB

R_{ij} Flankendämm-Maß der flankierenden Bauteile auf den Übertragungswegen ij = Ff, Fd und Df in dB

$L_{n,Dd}$ Norm-Trittschallpegel des Trennbauteils für die direkte Übertragung in dB

$L_{n,ij}$ Norm-Flanken-Trittschallpegel der flankierenden Bauteile auf den Übertragungswegen ij = Df und DFf in dB

2.1.5 Bauakustische Anforderungen an Trenndecken

Eine Übersicht einiger Mindestanforderungen an Trenndecken nach DIN 4109-1:2018 [1] ist in Tabelle 1 dargestellt. Diese sind nach der bauaufsichtlichen Einführung immer für die Übertragung aus fremden Nutzungseinheiten anzuwenden.

Tabelle 1 Zusammenstellung von Anforderungen nach DIN 4109 an Trenndecken (Auswahl)

Bauteil	Anforderungen	
Wohnungstrenndecken	erf. $R'_w \geq 54$ dB	zul. $L'_{n,w} \leq 50$ dB ¹⁾
Decken zwischen Unterrichtsräumen in Schulen u.ä.	erf. $R'_w \geq 55$ dB	zul. $L'_{n,w} \leq 53$ dB
Decken zwischen „lauten“ Räumen und Unterrichtsräumen	erf. $R'_w \geq 55$ dB ²⁾	zul. $L'_{n,w} \leq 46$ dB

¹⁾ Trenndecken in Bürogebäuden, Bestandsgebäuden (Sanierung) und Zweifamilienhäusern mit Leichtbaudecken: zul. $L'_{n,w} \leq 53$ dB

²⁾ zu Sporthallen und Werkräumen: erf. $R'_w \geq 60$ dB

Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz, die über die Mindestanforderungen der DIN 4109 hinausgehen, wurden in DIN 4109-5:2020 als erhöhte Anforderungen festgelegt. Für Wohnungstrenndecken wird in DIN 4109-5 ein $L'_{n,w} \leq 45$ dB angegeben [1]. Während bei öffentlichen Gebäuden häufig die Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 vereinbart werden, finden im privatrechtlichen Bereich auch die erhöhten Anforderungen nach DIN 4109-5 Anwendung.

2.1.6 Nachweismöglichkeiten nach DIN 410-2:2018

Für Trenndecken in Gebäuden der Holzbauweise werden in DIN 4109-2:2018 sehr einfache Nachweismöglichkeiten für die Luft- und Trittschalldämmung angegeben. Die Trittschallberechnung erfolgt nach Gleichung (6) aus dem bewerteten Norm-Trittschallpegel der Decke ohne Nebenwege und den Korrektursummanden K_1 und K_2 zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf den Wegen D_f und DF_f (siehe auch Anlage E in ergänzter Form).

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 \quad (6)$$

Die Luftschallberechnung erfolgt für flankierende Wände in Holztafelbauweise, die durch die Decke vollständig unterbrochen werden, nach Gleichung (7) und Gleichung (8) aus dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w der Decke, der bewerteten Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$, der Trennfläche S_S und den Kantenlängen l_f

$$R'_w = -10 \lg(10^{-0,1R_w} + \sum 10^{-0,1R_{Ff,w}}) \quad (7)$$

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg\left(\frac{S_S}{10m^2}\right) + 10 \lg\left(\frac{4,50m}{l_f}\right) \quad (8)$$

Mit den so bestimmten Werten kann der Nachweis nach Gleichung (9) erfolgen.

$$R'_w - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_w \quad \text{bzw.} \quad L'_{n,w} + 3 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{n,w} \quad (9)$$

Für flankierende Massivholzflanken ist kein rechnerischer Luftschallnachweis nach DIN 4109:2018 möglich.

2.2 Massivholzbauteile als flankierende Wände

Für flankierende Massivholzwände ist im Rahmen der Überarbeitung der DIN 4109:2018 vorgesehen, die Berechnung der Flankendämm-Maße in gleicher Weise wie im Massivbau durchzuführen. Das Flankendämm-Maß kann aus den Schalldämm-Maßen der Decke und der flankierenden Wand ($R_{i,w}$ und $R_{j,w}$), sowie den Verbesserungen durch Vorsatzschalen $\Delta R_{ij,w}$ und dem Stoßstellendämm-Maß K_{ij} für den jeweiligen Übertragungsweg ij berechnet und auf die Trennfläche S_S und die gemeinsame Kantenlänge l_f bezogen werden.

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_S}{l_0 l_f} \quad (10)$$

2.2.1 Schalldämm-Maß der Massivholzelemente

Die Schalldämmung $R_{i,w}$ und $R_{j,w}$ der flankierenden Massivholzelemente mit der Dicke $d = 80 \text{ mm}$ bis 160 mm und einer flächenbezogene Masse inklusive direkt aufgebrachtener Beplankungen $m'_{ges} = 35 \text{ kg/m}^2$ bis 160 kg/m^2 kann nach [9], [10] wie folgt berechnet werden:

$$R_w = 25 \lg(m'_{ges}/m'_0) - 7 \text{ (dB)} \quad (11)$$

Der empirisch ermittelte Zusammenhang berücksichtigt keine Fugenschallanteile durch Undichtigkeiten im Element oder Elementstoß.

2.2.2 Verbesserung durch Vorsatzschalen

Die bewertete Verbesserung durch Vorsatzschalen $\Delta R_{ij,w}$ ist für die im Übertragungsweg befindlichen Vorsatzkonstruktionen auf dem Sende- (i) und Empfangsbauteil (j) zu ermitteln. Wenn mindestens eine der beiden Verbesserungen größer 0 dB ist gilt:

$$\Delta R_{ij,w} = \max \left\{ \begin{array}{l} \Delta R_{i,w} \\ \Delta R_{j,w} \end{array} \right\} + 0,5 \min \left\{ \begin{array}{l} \Delta R_{i,w} \\ \Delta R_{j,w} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Liegen keine genauen Planungsdaten vor, können die im direkten Schalldurchgang ermittelten Verbesserungen ΔR_w verwendet werden. Die Verbesserung der (direkten) Schalldämmung von massiven Bauteilen durch Vorsatzschalen wird in DIN 4109-34 behandelt [1]. Die

Anwendbarkeit der Zusammenhänge für Massivholzbauteile wurde in [11] geprüft. Die bewertete Verbesserung der Schalldämmung durch freistehende, gedämmte Vorsatzschalen mit Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenzen f_0 von 30 Hz bis 160 Hz wird dort nach dem semiempirischen Zusammenhang in Gleichung (13) berechnet.

$$\Delta R_w(30 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 160 \text{ Hz}) = \max \begin{cases} 74,4 - 20 \lg f_0 - 0,5 R_w \\ 0 \end{cases} \quad (13)$$

Dabei ist R_w das bewertete Schalldämm-Maß des Grundbauteils. Das bewertete Luftschallverbesserungsmaß ΔR_w von zweischaligen Bauteilen gegenüber der Schalldämmung des Grundbauteils ist maßgeblich abhängig von der Lage von f_0 nach Gleichung (14). Die Resonanzfrequenz berechnet sich aus den beiden flächenbezogenen Massen der beteiligten Bauteile und der dynamischen Steifigkeit s' der Zwischenschicht.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (14)$$

Die dynamische Steifigkeit einer Luftschicht mit Dämmung kann mit einem pauschalen Wert von 0,111 MPa angenommen werden. Werden zur Befestigung der Vorsatzschalen am Grundbauteil elastische Verbindungsmittel eingesetzt, kann die Gesamtsteifigkeit aus der Summe der Steifigkeit des gedämmten Hohlraumes und der Steifigkeit aus den Verbindungsmitteln berechnet werden.

$$s' = \frac{0,111 \times 10^6}{d} + \begin{cases} 0 & \text{frei stehend} \\ n D & \text{punktförmig elast.} \\ \frac{D}{e} & \text{linienförmig elast.} \end{cases} \quad (15)$$

Die Federsteifigkeiten verschiedener Verbindungsmittel werden in [11] nach Tabelle 2 auf Basis von Messergebnissen aus [12] angegeben.

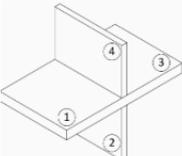
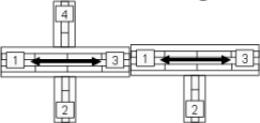
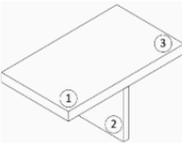
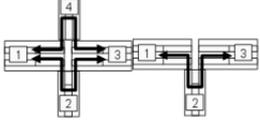
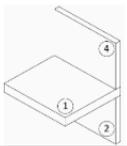
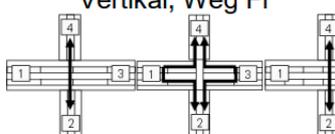
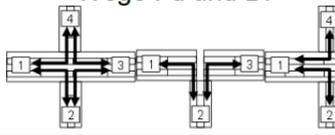
Tabelle 2 Federsteifigkeiten der punktförmigen und linienförmigen Verbindungsmittel vergl. [12]

Verbindungsmittel	D	D	Einheit
Direktschwingabhängiger (DSA)	0,19	-	MN/m
Befestigungs-Clip (BC)	0,35	-	MN/m
Schwingbügel (SB)	0,44	-	MN/m
Federschiene (FS)	-	0,38	MN/m ²

2.2.3 Stoßstellendämm-Maße

Die Ermittlung und Zusammenstellung der Daten für Stoßstellendämm-Maße von Massivholzelementen erfolgte in [13], [14]. Die angegebenen Stoßstellendämm-Maße können für Stöße zwischen Massivholz-Wandelementen mit einer Elementdicke von 80 mm bis 140 mm und Massivholz-Deckenelementen mit einer Elementdicke von 140 mm bis 220 mm verwendet werden. Für die Verbindung im Stoß werden mechanische Verbindungsmittel vorausgesetzt. Die Planungsdaten wurden für den direkten Stoß der Bauteile ohne Zwischenlage ermittelt. Je nach Ausführung des Bauteilstoßes können Dämmstoffeinlagen (Faserdämmstoff) im Stoß zur Gewährleistung der Fugendichtigkeit erforderlich sein. Werden Baulager (Elastomere) als Zwischenlage eingesetzt, können die Verbesserungen nach Herstellerangaben berücksichtigt werden.

Tabelle 3 Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für Bauteilstöße von Massivholz-Wand und -Deckenelementen

Zeile	Stoßstellen-Typ	Übertragungsrichtung	K_{ij}
1	Decke/Wand 	Horizontal, Weg Ff 	$K_{Ff} = 3 \text{ dB}$
2		Horizontal, Weg Ff 	$K_{Ff} = 12 + 10\lg(m'^2/m'^1)$ und $K_{Ff} \geq 10 \text{ dB}$
3		Vertikal, Weg Ff 	$K_{Ff} = 21 \text{ dB}$
4		Wege Fd und Df 	$K_{Fd} = 12 \text{ dB}$ $K_{Df} = 12 \text{ dB}$
5		Wege Fd und Df 	$K_{Fd} = 10 \text{ dB}$ $K_{Df} = 10 \text{ dB}$

3 Messtechnik, Durchführung und Prüfplan

3.1 Messtechnik

3.1.1 Messung der Luft- und Trittschalldämmung im Labor

Die Luftschallmessungen wurden nach den derzeit gültigen deutschen und europäischen Messnormen durchgeführt. Diese Mess- und Auswertungsnormen sind im Einzelnen in nachstehender Tabelle 4 aufgeführt. Die zur Messung verwendeten Prüfmittel werden in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 4 Normative Grundlage zur Messung der Luft- und Trittschalldämmung

	Europäische Norm
Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand	EN ISO 10140-1 [2], EN ISO 10140-2 [3]
Messung des Norm-Trittschallpegels von Bauteilen im Prüfstand	EN ISO 10140-3 [4]
Prüfstand für Schallmessungen an Decken ohne Nebenwege	EN ISO 10140-5 [5]
Bewertung der Luftschalldämmung	EN ISO 717-1 [6]
Bewertung der Trittschalldämmung	EN ISO 717-2 [7]

Tabelle 5 Prüfmittel zur Messung der Luft- und Trittschalldämmung

Gerät	Typ	Hersteller
Integrierende Messanlage	Typ Nortronic 830	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofon-Vorverstärker	Typ 1201	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofonkapseln	Typ 1220	Fa. Norsonic-Tippkemper
Kalibrator	Typ 1251	Fa. Norsonic-Tippkemper
Lautsprecher Dodekaeder	Eigenbau	-
Verstärker	Typ E120	Fa. FG Elektronik
Mikrofon-Schwenkanlage	Typ Nor269	Fa. Norsonic-Tippkemper
Norm-Hammerwerk	Typ 211	Fa. Norsonic-Tippkemper

Die Messung der Schallpegeldifferenz erfolgte über 2 Lautsprecherpositionen und auf 2 Kreisbahnen bewegten Mikrofonen. Der Trittschallpegel wurde durch die Anregung mit dem Norm-Hammerwerk über 5 Positionen ermittelt. Die Nachhallzeit wurde aus insgesamt 12 Messungen arithmetisch gemittelt (jeweils 6 Messungen von 2 Lautsprecherpositionen). Zur Messgleichung für die Luft- und Trittschalldämmung siehe Abschnitt 2.1.1 und Abschnitt 2.1.2.

3.1.2 Messung der Intensität im Labor

Die Intensitätsmessungen als Zusatzmessungen zur direkten Ermittlung der Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$ wurden in Anlehnung an die derzeit gültige europäische Messnorm für die Messung bei Luftschallanregung durchgeführt. Die Mess- und Auswertungsnormen sind in nachstehender Tabelle 6 aufgeführt. Die zur Messung verwendeten Prüfmittel werden in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 6 Normative Grundlage zur Messung der Schallintensität

	Europäische Norm
Messung der Intensität	EN ISO 15186-2 [8]
Bewertung der Trittschalldämmung	EN ISO 717-2 [7]

Tabelle 7 Prüfmittel zur Messung der Schallintensität

Gerät	Typ	Hersteller
Integrierende Messanlage	Typ Nortronic 840	Fa. Norsonic-Tippkemper
Intensitätssonde	Typ 240	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofon-Vorverstärker	Typ 26AA	Fa. G.R.A.S.
Mikrofonkapseln	Typ 40 AI	Fa. G.R.A.S.
Kalibrator	Typ 1251	Fa. Norsonic-Tippkemper
Schallintensitätskalibrator	Typ 1254	Fa. Norsonic-Tippkemper
Norm-Hammerwerk	Typ 211	Fa. Norsonic-Tippkemper

Der Intensitätspegel der flankierenden Wand im Empfangsraum wurde bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk (5 Positionen auf der Decke) ermittelt und nach Abschnitt 2.1.3 in den Trittschallpegel umgerechnet. Die Messung der Intensitätspegel erfolgte durch kontinuierliche Abtastung. Die Messfläche wurde in sechs Teilflächen A1 bis A6 unterteilt. Die Flächensegmente wurden jeweils einmal horizontal und vertikal abgetastet. Der Abstand der Bahnen betrug 20 cm.

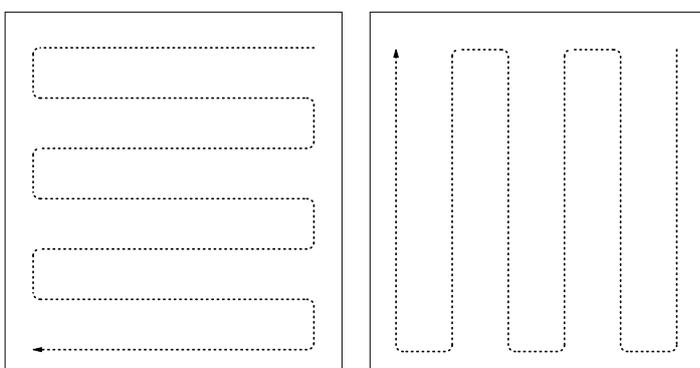


Abbildung 2 Abtastschema für die horizontale und vertikale Abtastung

Die Messgeschwindigkeit lag zwischen 0,1 und 0,3 m/s. Die Messung wurde für den Frequenzbereich der Terzbänder von 100 Hz bis 5000 Hz durchgeführt. Alle Frequenzbänder wurden mit einem 12 mm Abstandshalter erfasst. Zur Verbesserung der Absorption wurden die Wände des Empfangsraums sowie der unmittelbare Bereich vor der Prüfwand mit Polyesterfaservlies bekleidet.

3.1.3 Laborprüfstand

Für die Untersuchung der flankierenden Wände wurden verschiedene T-Stöße im kombinierten Decken- und Wandprüfstand des ift Rosenheim eingebaut. Der Einbau des Deckenelementes erfolgte ohne Kontakt zu den übrigen flankierenden Wänden. Die Ablasten des oberen Stockwerkes (Senderraum) wurden über ein außenliegendes Tragwerk abgetragen.

Abbildung 3 zeigt eine Skizze des Decken- und Wandprüfstandes mit eingebautem T-Stoß. Die direkte Übertragung der Decke bei Luft- und Trittschallanregung wurde durch eine als Abschottung eingesetzte freispannende Unterdecke ($m' = 43 \text{ kg/m}^2$, $d = 0,30 \text{ m}$) unterdrückt.

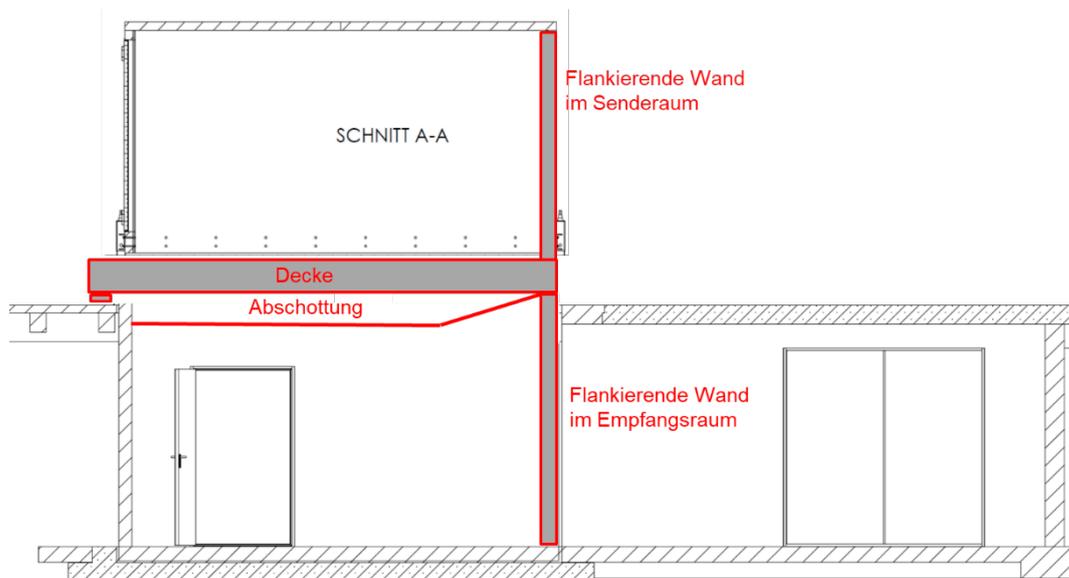


Abbildung 3 Skizze des kombinierten Wand- und Deckenprüfstandes, der für die Messungen der flankierenden Wände verwendet wurde; dargestellt für die Messung der Flankenübertragung mit hochschalldämmender Unterdecke zur Abschottung der Decke (Senderraumvolumen $V_S = 52,7 \text{ m}^3$, Empfangsraumvolumen $V_E = 58,8 \text{ m}^3$ bzw. $65,2 \text{ m}^3$ (mit bzw. ohne Unterdecke); Trennfläche $S_{i,\text{lab}} = 20 \text{ m}^2$)

Die Maximalschalldämmung der Prüfanordnung, also der abgeschotteten Decke ohne Nebenwege wurde ohne Kontakt der Decke zur flankierenden Wand im Sende- und Empfangsraum für jeden Deckenaufbau ermittelt. Sie wurde zur Korrektur der Messergebnisse für die Flankenübertragung verwendet.

3.2 Messtechnik

3.2.1 Untersuchte Übertragungswege

Die untersuchten Übertragungswege bei Luft- und Trittschallanregung können Abbildung 4 entnommen werden. Die Durchführung der Luft- und Trittschallmessungen erfolgte nach Abschnitt 3.1.1. Der Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$ wurde zusätzlich mit der Intensitätsmessmethode nach Abschnitt 3.1.2 ermittelt.

Für die Separierung des Übertragungsweges D_f wurde das obere Stockwerk (Senderraum) angehoben und damit die Übertragung vom Estrichaufbau über den Randdämmstreifen in die obere Wand im Deckenstoß unterbrochen.

Für die Ermittlung der Verbesserung durch Vorsatzschalen ΔR_{ij} bei Luft- und Trittschallanregung wurde auch der direkte Schalldurchgang der flankierenden Wand gemessen (Abbildung 4, e) und f)) und die so ermittelten Verbesserungen gegenübergestellt.

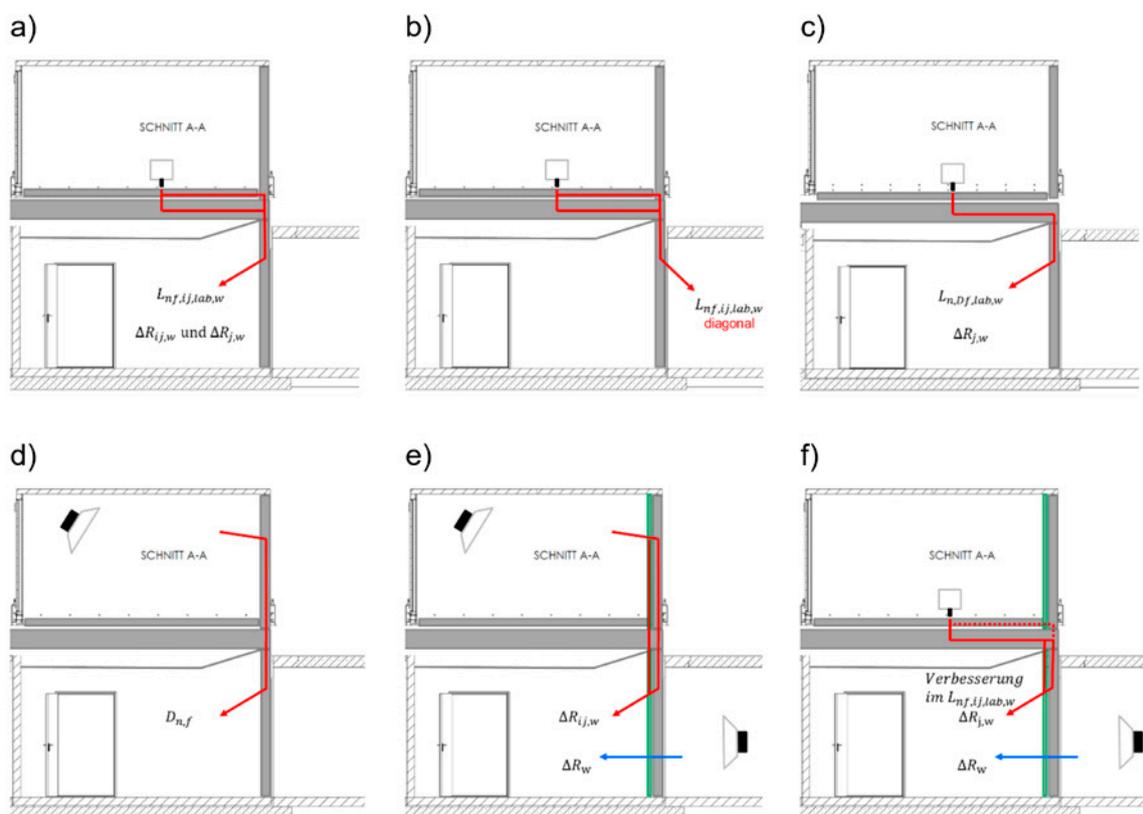


Abbildung 4 Untersuchte Flankenübertragungswege bei Luft und Trittschallanregung

- a) Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$
- b) Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$, diagonal
- c) Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab}$
- d) Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f}$
- e) Verbesserung durch Vorsatzschalen ΔR_{ij} bei Luftschallanregung
- f) Verbesserung durch Vorsatzschalen ΔR_j bei Trittschallanregung

3.2.2 Auswertung der Flankenübertragung

Die Auswertung der Flankenübertragungswege erfolgte frequenzabhängig durch Korrektur über der Maximalschalldämmung der Prüfanordnung, bzw. des minimalen Norm Trittschallpegels, der aufgrund der Übertragung durch die abgeschottete Decke erreichbar war.

a) Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$

Korrektur gegenüber der Maximalschalldämmung der Prüfanordnung und Bezug des Ergebnisses auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$

$$L_{nf,ij,lab} = 10 \lg(10^{0,1 L_{nf,ij}} - 10^{0,1 L_{n,Dd}}) + 10 \lg\left(\frac{S_{i,lab}}{l_0 l_{ij,lab}}\right) \quad (16)$$

Mit

$L_{nf,ij,lab}$	Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände bezogen auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$
$L_{nf,ij}$	Messwert für den Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände in dB
$L_{n,Dd}$	Norm-Trittschallpegel der abgeschotteten Decke ohne Nebenwege in dB
$S_{i,lab}$	Prüffläche der Decke $S_{i,lab} = 20 \text{ m}^2$
$l_{ij,lab}$	Kopplungslänge zwischen Decke und flankierender Wand $l_{ij,lab} = 4,0 \text{ m}$
l_0	die Bezugskopplungslänge mit $l_0 = 1 \text{ m}$

b) Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$, diagonal

Bezug des Messergebnisses auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$

$$L_{nf,ij,lab} = L_{nf,ij} + 10 \lg\left(\frac{S_{i,lab}}{l_0 l_{ij,lab}}\right) \quad (17)$$

Mit

$L_{nf,ij,lab}$	Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände bezogen auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$
$L_{nf,ij}$	Messwert für den Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände in dB
$S_{i,lab}$	Prüffläche der Decke $S_{i,lab} = 20 \text{ m}^2$
$l_{ij,lab}$	Kopplungslänge zwischen Decke und flankierender Wand $l_{ij,lab} = 4,0 \text{ m}$
l_0	die Bezugskopplungslänge mit $l_0 = 1 \text{ m}$

c) Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab}$

Korrektur gegenüber der Maximalschalldämmung der Prüfanordnung und Bezug des Ergebnisses auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$

$$L_{n,Df,lab} = 10 \lg(10^{0,1 L_{n,Df}} - 10^{0,1 L_{n,DD}}) + 10 \lg\left(\frac{S_{i,lab}}{l_0 l_{ij,lab}}\right) \quad (18)$$

Mit

$L_{n,Df,lab}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg Df und bezogen auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$
$L_{n,Df}$	Messwert für den Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg Df in dB
$L_{n,DD}$	Norm-Trittschallpegel der abgeschotteten Decke ohne Nebenwege in dB
$S_{i,lab}$	Prüffläche der Decke $S_{i,lab} = 20 \text{ m}^2$
$l_{ij,lab}$	Kopplungslänge zwischen Decke und flankierender Wand $l_{ij,lab} = 4,0 \text{ m}$

d) Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,DFf,lab}$

$$L_{n,DFf,lab} = 10 \lg(10^{0,1 L_{nf,ij,lab}} - 10^{0,1 L_{n,Df,lab}}) \quad (19)$$

Mit

$L_{nf,ij,lab}$	Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände bezogen auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$
$L_{n,Df,lab}$	Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg Df und bezogen auf $S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$

e) Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f}$

$$D_{n,f} = 10 \lg(10^{-0,1 R'} - 10^{-0,1 R_{Dd}} - 10^{-0,1 R_{Df}}) - 10 \lg\left(\frac{S_{i,lab} \cdot 4,50 \text{ m}}{l_{ij,lab} \cdot 10 \text{ m}^2}\right) \quad (20)$$

Mit

$D_{n,f}$	Norm-Flankenpegeldifferenz, bezogen auf 10 m^2 und $4,50 \text{ m}$ Kantenlänge
R'	Schalldämm-Maß der Decke inklusive Flankenübertragung auf dem Weg Df und Ff, in dB
R_{Dd}	Schalldämm-Maß der Decke, in dB
R_{Df}	Flankenschalldämm-Maß auf dem Weg Df, in dB
$S_{i,lab}$	Prüffläche der Decke $S_{i,lab} = 20 \text{ m}^2$
$l_{ij,lab}$	Kopplungslänge zwischen Decke und flankierender Wand $l_{ij,lab} = 4,0 \text{ m}$

f) Verbesserung durch Vorsatzschalen ΔR_{ij} bei Luftschallanregung

$$\Delta R_{ij} = D_{n,f,mit} - D_{n,f,ohne} \quad \text{und}$$

$$\Delta R_{ij,w} = D_{n,f,w,mit} - D_{n,f,w,ohne} \quad (21)$$

Mit

$D_{n,f,mit}$ Norm-Flankenpegeldifferenz mit Vorsatzschale

$D_{n,f,ohne}$ Norm-Flankenpegeldifferenz ohne Vorsatzschale

g) Verbesserung durch Vorsatzschalen ΔR_j bei Trittschallanregung

$$\Delta R_j = L_{n,Df,lab,ohne} - L_{n,Df,lab,mit} \quad \text{und}$$

$$\Delta R_{j,w} = L_{n,Df,lab,w,ohne} - L_{n,Df,lab,w,mit} \quad (22)$$

Mit

$L_{n,Df,lab,ohne}$ Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg Df ohne Vorsatzschale

$L_{n,Df,lab,mit}$ Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg Df mit Vorsatzschale

h) Verbesserung durch Vorsatzschalen ΔR_{ij} bei Trittschallanregung

$$\Delta R_{ij} = L_{n,DFf,lab,ohne} - L_{n,DFf,lab,mit} \quad \text{und}$$

$$\Delta R_{ij,w} = L_{n,DFf,lab,w,ohne} - L_{n,DFf,lab,w,mit} \quad (23)$$

Mit

$L_{n,DFf,lab,ohne}$ Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg DFf ohne Vorsatzschale

$L_{n,DFf,lab,mit}$ Norm-Flanken-Trittschallpegel auf dem Weg DFf mit Vorsatzschale

3.3 Prüfplan

Aufbauend auf den vorhandenen Planungsdaten zur Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau wurden von der Arbeitsgruppe noch fehlende Daten zu flankierenden Wänden und Vorsatzkonstruktionen aufgezeigt und in den ersten Projektgruppensitzungen eine Prüfmatrix erstellt. Die nachfolgenden Decken- und Wandaufbauten wurden hierbei berücksichtigt.

Deckentypen:

- Zementestrich / MW-Trittschalldämmplatten, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$ / Holzbalkendecke (Unterdecke beliebig)
- Zementestrich / WF-Trittschalldämmplatten, $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$ / Splittschüttung in Pappwaben, $m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$ / Holzbalkendecke (Unterdecke beliebig)
- Zementestrich / MW-Trittschalldämmplatten, $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$ / Splittschüttung in Pappwaben, $m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$ / Massivholzdecke

Wandtypen:

- Holztafelbauwände mit unterschiedlichen raumseitigen Ausführungen
Beplankungen (in mm): 12 OSB / 12 OSB + 12,5 GK / 18 GKF / 2×18 GKF / 2×18 GF
Vorsatzkonstruktionen (in mm): Federschiene + 12,5 GK / Lattung + 12,5 GK /
entkoppelte Lattung + 12,5 GK / CW-Profil + 2×12,5 GK
- Massivholzwände mit unterschiedlichen raumseitigen Ausführungen
Beplankungen (in mm): 12,5 GK / 18 GKF / 2×18 GKF
Vorsatzkonstruktionen (in mm): Federschiene + 12,5 GK / Lattung + 12,5 GK /
entkoppelte Lattung + 12,5 GK / CW-Profil + 2×12,5 GK
- Metallständerwände (C-Profil-Wände) mit 12,5 GK / 2×12,5 GK bekleidet
- Durchlaufende flankierende Holztafelbauwände mit vorgesetztem Deckenelement in
Quasi-Ballonframing-Bauweise

Neben dem Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$ wurden zur Übertragung der Ergebnisse auf andere Decken- Wandstöße folgende Größen ermittelt:

- $L_{n,Df}$, $L_{n,DFf}$, K_1 , K_2 , ΔR_j , ΔR_{ij}

Zusätzliche Untersuchungen wurden zum abgestrahlten Schallpegel des Estrichrandes und zur Abstrahlung der flankierenden Wand in Abhängigkeit der Wandhöhe durchgeführt. Die Prüfmatrix der Decken- und Wandaufbauten ist im Anlage A mit den ermittelten Prüfergebnissen wiedergegeben.

4 Messergebnisse

4.1 Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab}$

4.1.1 Vergleich der Messmethoden

Die Ermittlung der Flankenübertragung ist sowohl mit der Trittschallpegelmessung nach Abschnitt 3.1.1 als Standardverfahren möglich als auch mit der Schallintensitätsmessung nach Abschnitt 3.1.2. Zur Unterdrückung der direkten Übertragung durch die Decke wurde eine Abschottung der Decke eingebaut. Abbildung 5 zeigt den Vergleich der Messverfahren und die verbleibende Übertragung durch die abgeschottete Decke. Die Messergebnisse des Trittschallpegels wurden anhand Gleichung (18) korrigiert.

Der Vergleich zeigt Abweichungen im Frequenzbereich 100 bis 400 Hz. Bei den unteren Frequenzen ist auf Grund der Wahl eines einheitlichen Abstandhalters (12 mm) für die Intensitätssonde eine Beeinflussung der Messergebnisse zu erwarten. Die Einzahlwerte unterscheiden sich um 1 dB. Bei den für die Flankenübertragung relevanten Frequenzen > 250 Hz sind die Unterschiede relativ gering. Durch die Abschottung der Decke können die beiden Methoden als gleichwertig angesehen werden. Die Messungen wurden, bis auf einige zusätzliche Vergleichsmessungen, deshalb mit dem bewährten Standard-Verfahren durchgeführt.

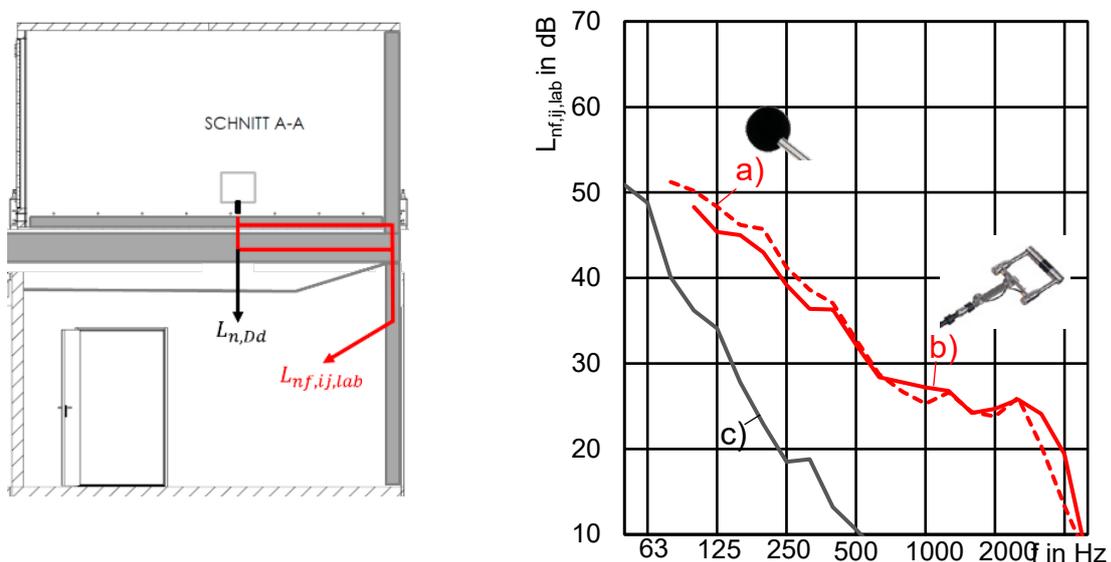


Abbildung 5 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Massivholzdecke mit 60 mm Splitt und Zementstrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Holztafelbauwand mit OSB und GK-Beplankung. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

a) Schallpegelmessung (Standard-Verfahren): $L_{nf,ij,lab,w} = 39$ dB

- b) Schallintensitätsmessung nach Abschnitt 3.1.2: $L_{nf,ij,lab,w} = 38$ dB
- c) Trittschallübertragung der (abgeschotteten) Decke: $L_{n,Dd,w} = 21$ dB

4.1.2 Vergleich der Übertragungsrichtungen

Neben der Flankenübertragung in den direkt unter der Decke liegenden Raum (senkrechte Übertragung) spielt häufig auch die diagonale Trittschallübertragung in den Nachbarraum eine Rolle. In Abbildung 6 wird diese Übertragung für eine Massivholzdecke mit flankierender Holztafelbauwand gezeigt. Die diagonale Übertragung dieser mit OSB und Gipsplatten symmetrisch beplankten Wand zeigt einen um 3 dB geringeren Wert auf.

Die geringere diagonale Übertragung tritt bei fast allen Frequenzen auf. Da die geringere Übertragung bei mehreren Konstruktionen in gleicher Größenordnung zu beobachten war, ist davon auszugehen, dass die starr angespachtelte, raumseitige Beplankung durch die schwingende Decke etwas stärker angeregt wird.

Für die Prognose der Trittschallübertragung bedeutet dies, dass der für die senkrechte Übertragung berechnete Planungswert auf der sicheren Seite liegend auch für die diagonale Übertragung angesetzt werden kann.

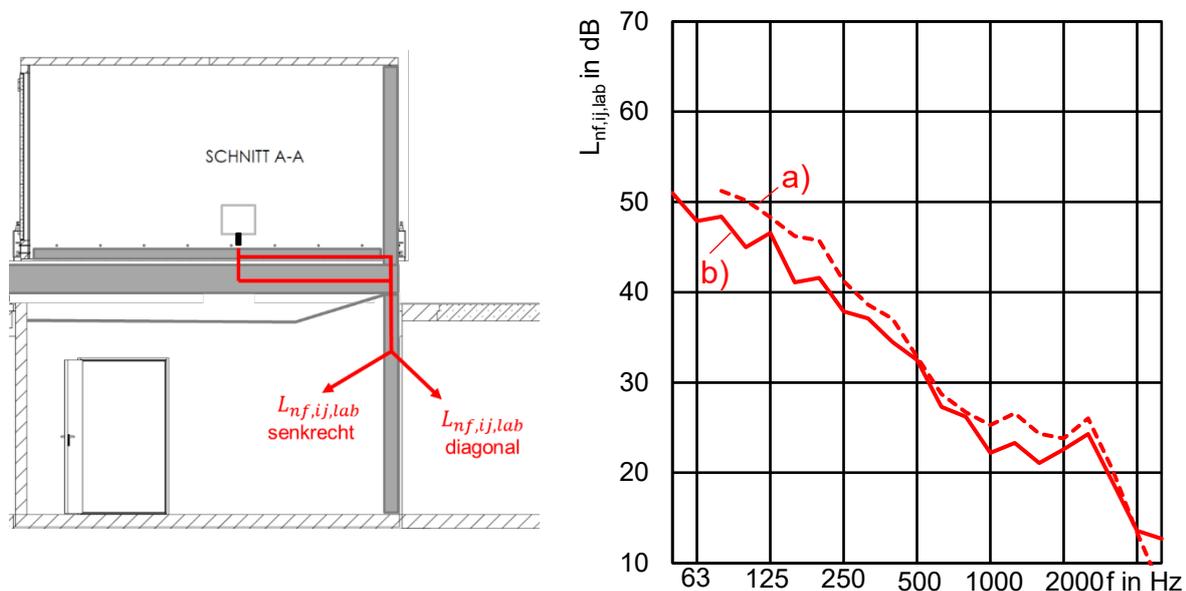


Abbildung 6 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Massivholzdecke mit 60 mm Splitt und Zementstrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Holztafelbauwand mit OSB und GK-Beplankung. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

- a) Senkrechte Übertragung: $L_{nf,ij,lab,w} = 39$ dB
- b) Diagonale Übertragung: $L_{nf,ij,lab,w} = 36$ dB

4.1.3 Einfluss der Wandbeplankungen

Als flankierende Wände wurden Holztafelbauwände und Massivholzwände mit unterschiedlichen (raumseitigen) Beplankungen untersucht. Abbildung 7 zeigt den Einfluss zusätzlicher Wandbeplankungen für eine Massivholzdecke mit flankierender Massivholzwand (80 mm CLT).

Der Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ wird durch die Beplankungsmasse auf der Massivholzwand zunächst reduziert. Bei mehrlagigen Beplankungen mit biegesteiferen Platten (2×18 mm GKF) zeigt sich eine verstärkte Übertragung bei der Koinzidenzfrequenz ($f_c \approx 1600 - 2000$ Hz), die der Verbesserung durch die Zusatzmasse entgegenwirkt.

Auch bei den Messergebnissen für flankierende Holztafelbauwände von Holzbalkendecken in Abbildung 8 ist der Einfluss der Biegesteifigkeit zu erkennen. Während Zusatzbeplankungen mit $f_c \geq 2500$ Hz deutliche Verbesserungen gegenüber einer einlagigen Beplankung mit 12 mm OSB ergeben, sind bei biegesteiferen Beplankungen ($f_c \approx 1600 - 2000$ Hz) kaum Verbesserungen erkennbar. Auch hier zeichnet sich eine verstärkte Übertragung im Bereich der Koinzidenzfrequenz ab.

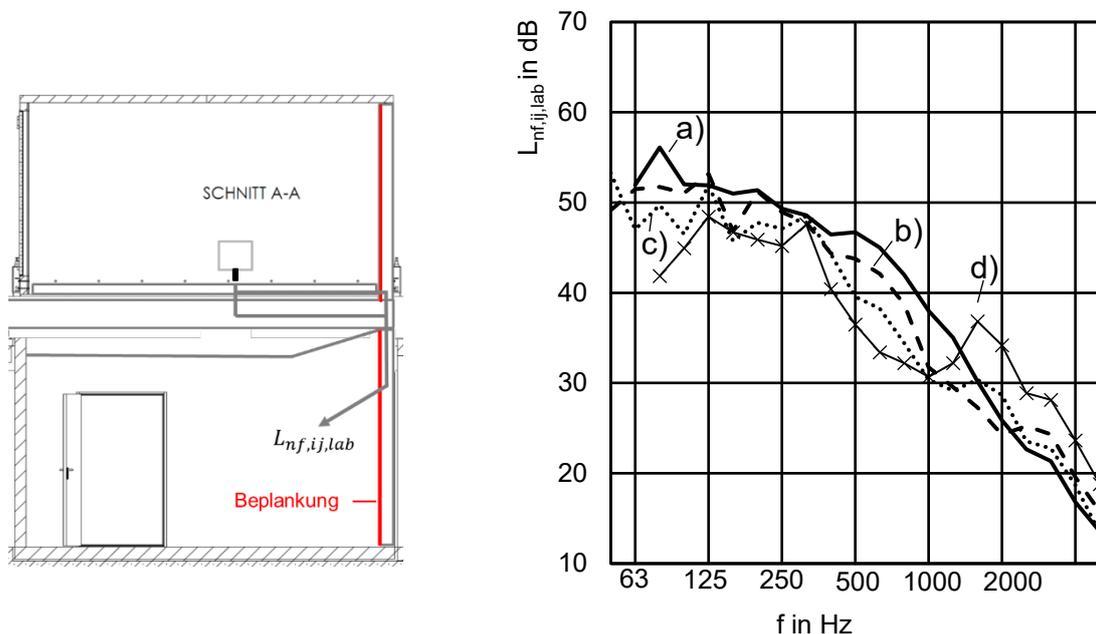


Abbildung 7 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Massivholzdecke mit 60 mm Splitt und Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Massivholzwand (80 mm CLT) mit unterschiedlichen Beplankungen. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

- a) 80 mm CLT, $m' = 36,3$ kg/m²: $L_{nf,ij,lab,w} = 45$ dB
- b) 80 mm CLT + 12,5 mm GK, $m'_{ges} = 44,9$ kg/m²: $L_{nf,ij,lab,w} = 43$ dB
- c) 80 mm CLT + 18 mm GKF, $m'_{ges} = 55,0$ kg/m²: $L_{nf,ij,lab,w} = 41$ dB
- d) 80 mm CLT + 2×18 mm GKF, $m'_{ges} = 73,7$ kg/m²: $L_{nf,ij,lab,w} = 42$ dB

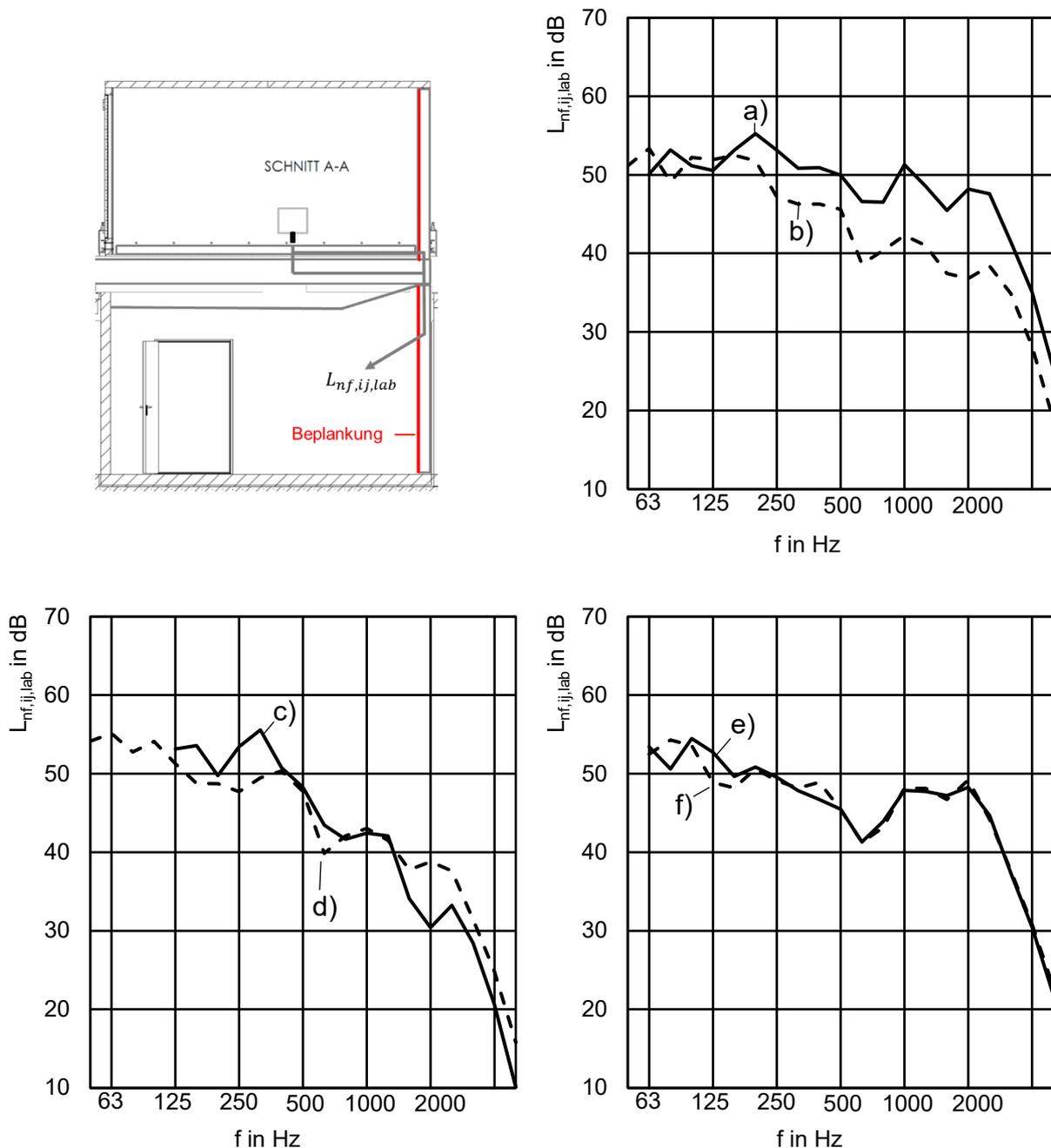


Abbildung 8 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Holzbalkendecke mit Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Holztafelbauwand mit unterschiedlichen Beplankungen. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

- a) 12 mm OSB: $L_{nf,ij,lab,w} = 53$ dB
- b) 12 mm OSB + 12,5 mm GK, $f_c \approx 2500$ Hz: $L_{nf,ij,lab,w} = 47$ dB
- c) 2 × 12,5 mm GKF, $f_c \approx 2500$ Hz: $L_{nf,ij,lab,w} = 47$ dB
- d) 2 × 18 mm GF, $f_c \approx 2000 - 2500$ Hz: $L_{nf,ij,lab,w} = 47$ dB
- e) 1 × 18 mm GKF, $f_c \approx 1600 - 2000$ Hz: $L_{nf,ij,lab,w} = 51$ dB
- f) 2 × 18 mm GKF, $f_c \approx 1600 - 2000$ Hz: $L_{nf,ij,lab,w} = 51$ dB

4.1.4 Einfluss der Wandbeplankungen

Der Einfluss von Installationsebenen als Vorsatzschalen bzw. Vorsatzkonstruktionen vor den flankierenden Wänden wurde für Holztafel- und Massivholzwände untersucht. Bei flankierenden Holztafelbauwänden werden mit üblichen Installationsebenen eher geringe Verbesserungen gegenüber der Grundwand mit Holzwerkstoffbeplankung erreicht als bei Massivholzwänden. Wie Abbildung 9 zeigt, liegen die Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ höher oder im gleichen Bereich wie bei der „Standard“ Holztafelbauflanke mit einer Beplankung aus OSB + GK (siehe Abbildung 8). Erst durch eine freistehende Vorsatzschale (75 mm CW-Profil + 2 × 12,5 mm GK) wird eine deutlichere Verbesserung erreicht. Ursache für die geringe Verbesserung ist unter anderem der schalltechnische Kurzschluss, der sich durch die aus Brandschutzgründen erforderliche starre Anbindung der Vorsatzschale an die Decke ergibt. Die Schallenergie der Decke kann so direkt in die Vorsatzschale eingeleitet werden.

Als weiterer Einfluss ist bei den Vorsatzschalen die starke Ausprägung des Koinzidenzfrequenz-Einbruchs zu nennen, der in Abbildung 10 für Vorsatzschalen vor flankierenden Massivholzwänden besonders deutlich erkennbar ist. Hier wird auch das Verbesserungspotential durch einen gleitenden Deckenanschluss und damit einer teilweisen Entkopplung der Übertragung aufgezeigt (Abbildung 10, Kurve e) und Abbildung 10, Kurve f)).

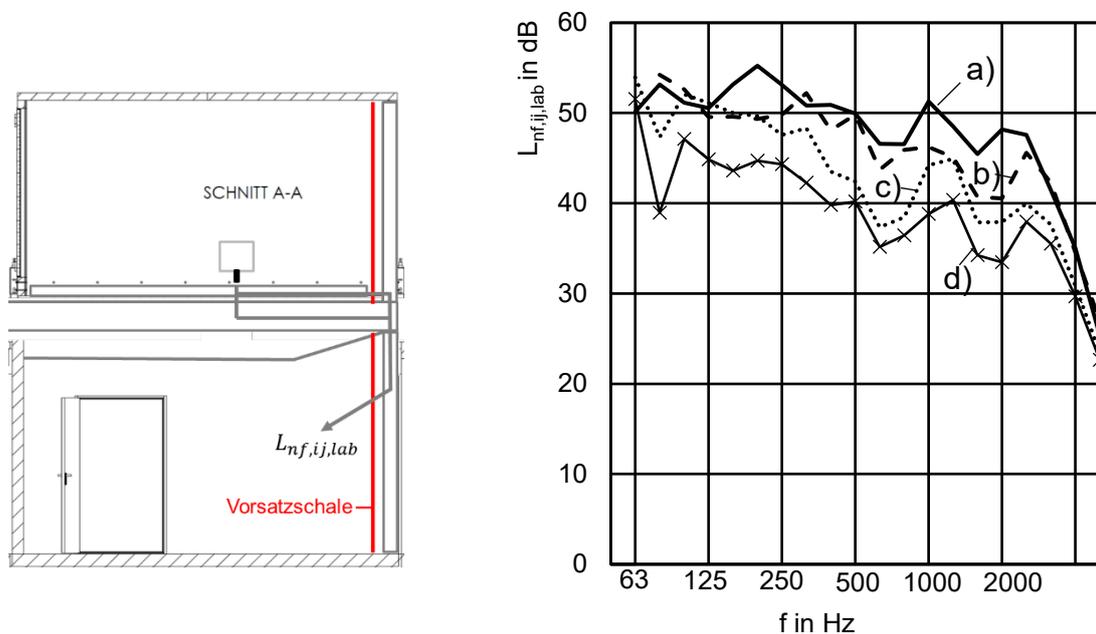


Abbildung 9 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Holzbalkendecke mit Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Holztafelbauwand mit unterschiedlichen Vorsatzschalen. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

- a) 12 mm OSB: $L_{nf,ij,lab,w} = 53$ dB
- b) 12 mm OSB + 40 mm Lattung + 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 50$ dB
- c) 12 mm OSB + 60 mm entkoppelte Lattung + 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 47$ dB
- d) 12 mm OSB + 10 mm Luft + 75 mm CW + 2 × 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 43$ dB

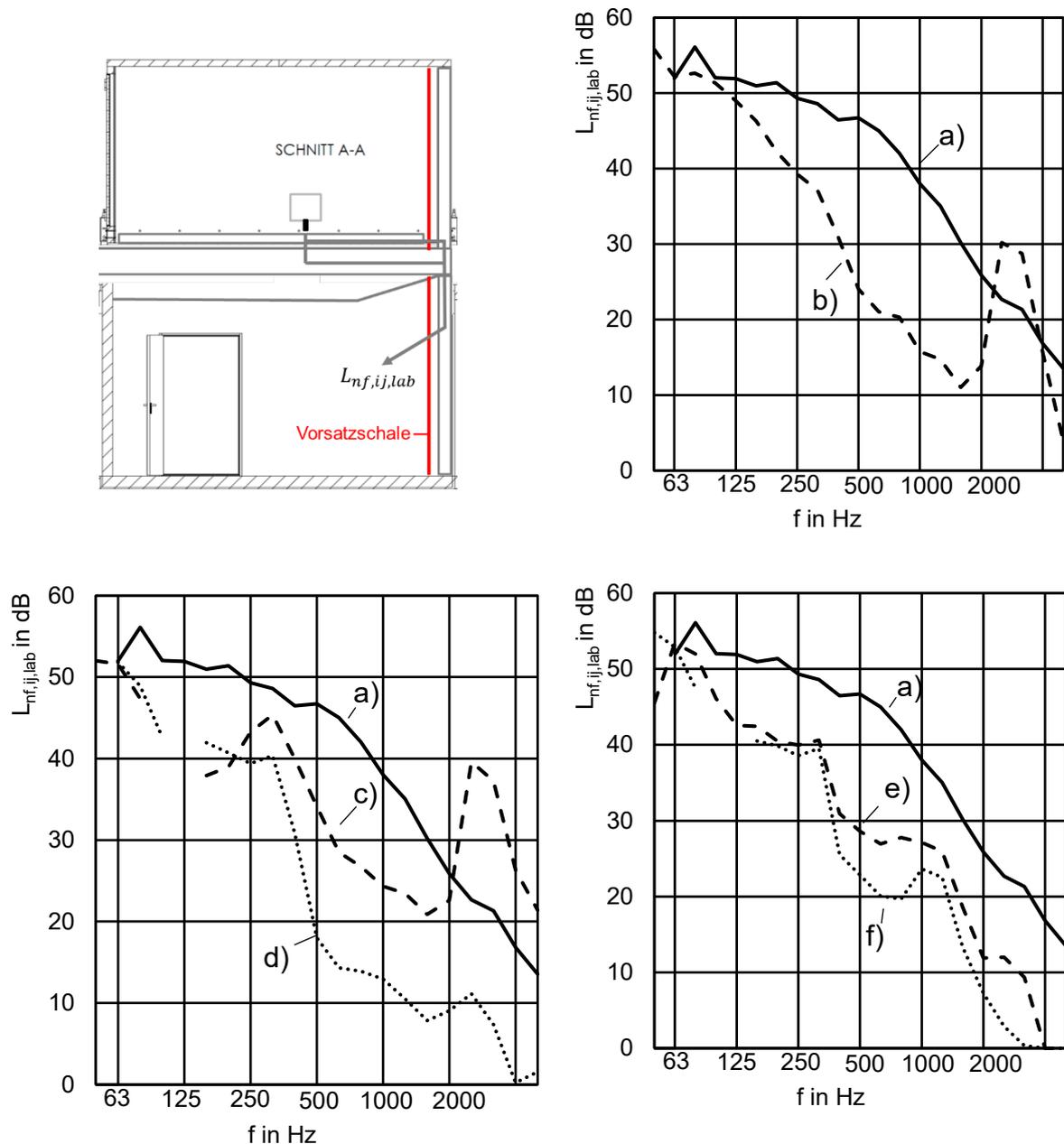


Abbildung 10 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Massivholzdecke mit 60 mm Splitt und Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Massivholzwand (80 mm CLT) mit unterschiedlichen Vorsatzschalen. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

- a) 80 mm CLT: $L_{nf,ij,lab,w} = 45$ dB
- b) 80 mm CLT + 27 mm Federschiene mit 30 MW + 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 41$ dB
- c) 80 mm CLT + 40 mm Lattung + 2 × 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 41$ dB
- d) 80 mm CLT + 60 mm entkoppelte Lattung + 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 33$ dB
- e) 80 mm CLT + 10 mm Luft + 75 mm CW + 2 × 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 35$ dB
- f) 80 mm CLT + 10 mm Luft + 75 mm CW + 2 × 12,5 mm GK, mit gleitendem Deckenanschluss an der Massivholzdecke: $L_{nf,ij,lab,w} = 30$ dB

4.1.5 Einfluss des Decken- / Wandanschlusse

Einen deutlichen Einfluss auf die Schallübertragung hat die Ausführung der Stoßstelle zwischen Decke und flankierender Wand. In Abbildung 11 wird der Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für unterschiedliche Ausführungen des Stoßes und der flankierenden Wand gezeigt.

Wird die flankierende Wand nicht durch die Decke unterbrochen (ballon-framing Bauweise) so ist eine entsprechend starke Flankenübertragung zu erwarten. Abbildung 11 a) stellt den $L_{nf,ij,lab}$ für durchlaufende Flanken, die auf Deckenhöhe gestoßen sind (quasi-ballon-framing Bauweise). Wird die flankierende Wand durch die Decke unterbrochen (platform-framing Bauweise) so wird die Flankenübertragung verringert (Abbildung 11 b)). Die geringste Flankenübertragung wird mit Metallständerwänden und einem gleitenden Deckenanschluss erreicht (Abbildung 11 c)).

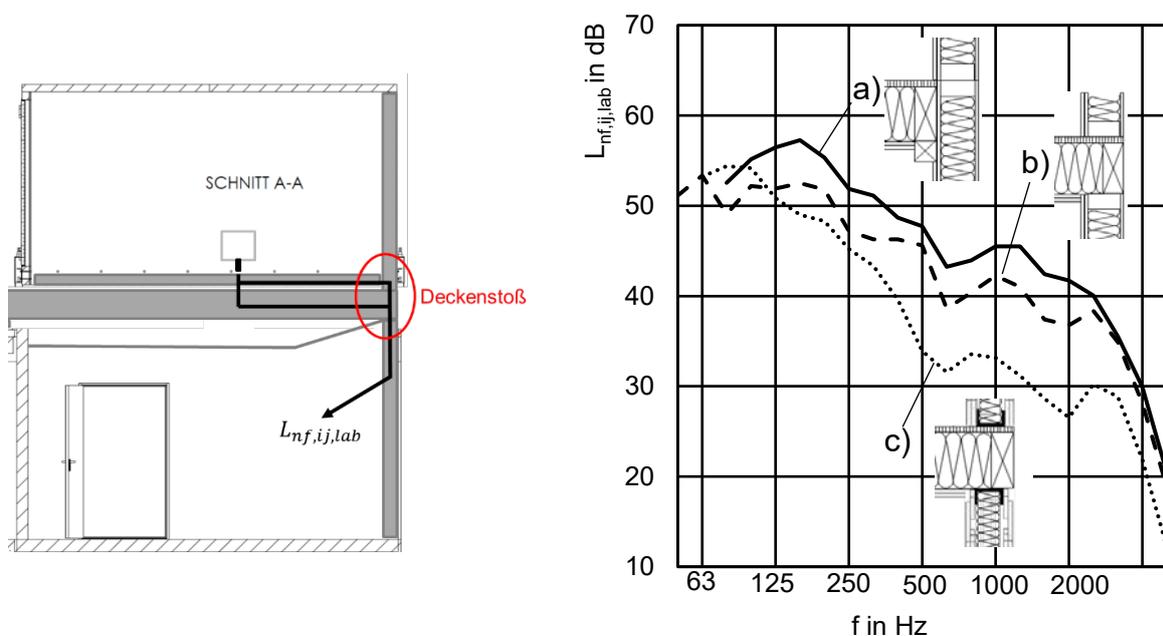


Abbildung 11 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ für eine Holz balkendecke mit Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Wände und Deckenstoß unterschiedlich ausgeführt. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |f_{i,lab}|$

- a) Holztafelbauwand durchlaufend, aber auf Deckenhöhe gestoßen, Decke vorgehängt (quasi-ballon-framing) Beplankung mit 12 mm OSB + 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 50$ dB
- b) Holztafelbauwand durch die Decke vollständig unterbrochen (platform-framing) Beplankung mit 12 mm OSB + 12,5 mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 47$ dB
- c) Metallständerwand (C-Profil) mit gleitendem Deckenanschluss. Beplankung mit $2 \times 12,5$ mm GK: $L_{nf,ij,lab,w} = 43$ dB

4.2 Norm-Flanken-Trittschallpegel

Der Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile $L_{nf,ij,lab}$ kann in die Anteile der Übertragungswege Df und DFf nach Abschnitt 2.1.4 unterteilt werden. Während der $L_{nf,ij,lab,w}$ im bauakustischen Planungs- und Nachweisverfahren ausschließlich für die geprüfte Decken- und Flankenkonstruktion verwendet werden darf, kann durch die Aufteilung in die Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab,w}$ und $L_{n,DFf,lab,w}$ eine Übertragbarkeit auf andere Decken und Wandkombinationen erreicht werden.

4.2.1 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab}$

Die Messung des Norm-Flanken-Trittschallpegels $L_{n,Df,lab}$ erfolgte mit angehobenem oberem Stockwerk, wodurch der Weg DFf unterbrochen wurde. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen beispielhaft einige Messergebnisse für $L_{n,Df,lab}$ bei flankierenden Holztafel- und Massivholzwänden. Der Vergleich zu Abbildung 10 zeigt, dass die Koinzidenzfrequenz den Weg Df deutlich weniger beeinflusst. Der geringere Einfluss wird vor allem bei Vorsatzschalen vor Massivholzwänden erkennbar.

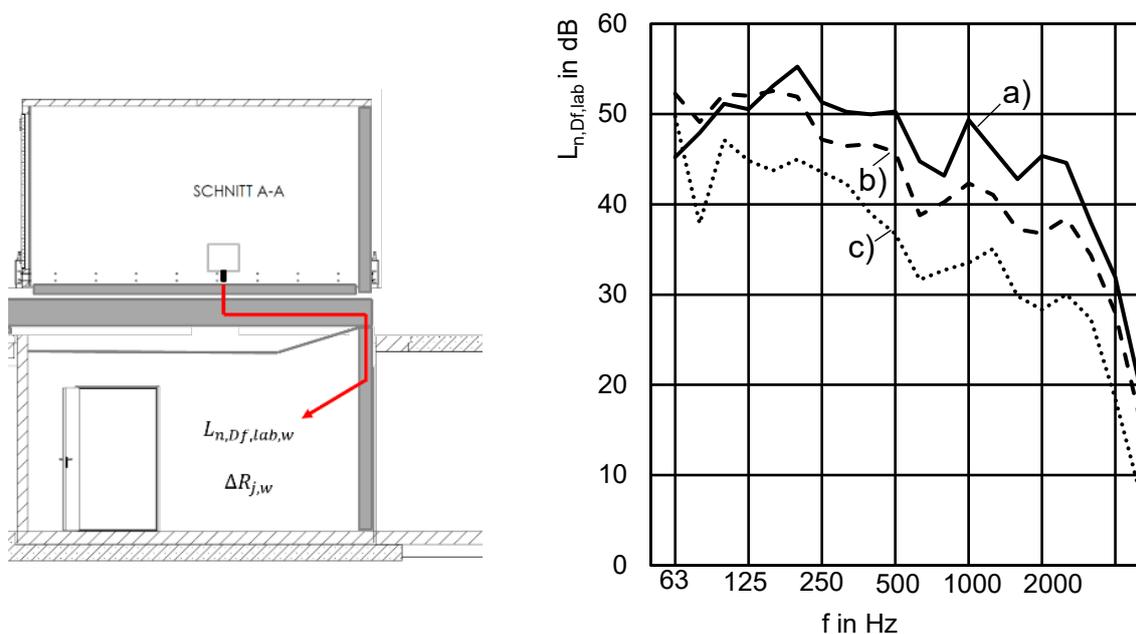


Abbildung 12 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab,w}$ für eine Holzbalkendecke mit Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Holztafelbauwand mit unterschiedlichen Bepunktungen und Vorsatzschalen.

Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

a) 12 mm OSB: $L_{n,Df,lab,w} = 51$ dB

b) 12 mm OSB + 12,5 mm GK: $L_{n,Df,lab,w} = 47$ dB

c) 12 mm OSB + 10 mm Luft + 75 mm CW + 2 × 12,5 mm GK: $L_{n,Df,lab,w} = 40$ dB

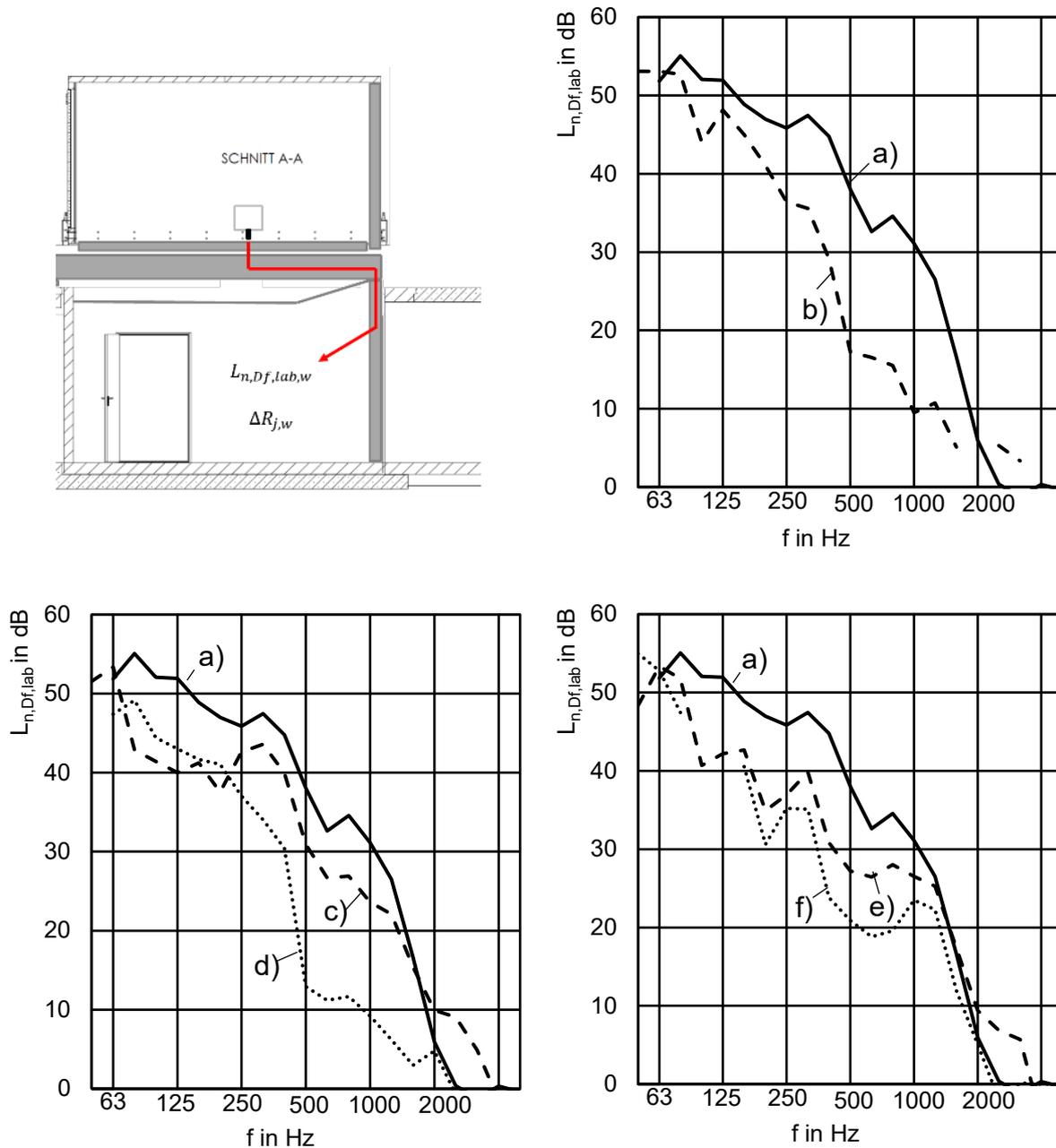


Abbildung 13 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab,w}$ für eine Massivholzdecke mit 60 mm Splitt und Zementestrich auf 30 mm Mineralfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Massivholzwand (80 mm CLT) mit unterschiedlichen Vorsatzschalen. Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

- a) 80 mm CLT: $L_{n,Df,lab,w} = 42$ dB
- b) 80 mm CLT + 27 mm Federschiene mit 30 MW + 12,5 mm GK: $L_{n,Df,lab,w} = 35$ dB
- c) 80 mm CLT + 40 mm Lattung + 2 × 12,5 mm GK: $L_{n,Df,lab,w} = 35$ dB
- d) 80 mm CLT + 60 mm entkoppelte Lattung + 12,5 mm GK: $L_{n,Df,lab,w} = 32$ dB
- e) 80 mm CLT + 10 mm Luft + 75 mm CW + 2 × 12,5 mm GK: $L_{n,Df,lab,w} = 33$ dB
- f) 80 mm CLT + 10 mm Luft + 75 mm CW + 2 × 12,5 mm GK, mit gleitendem Deckenanschluss an der Massivholzdecke: $L_{n,Df,lab,w} = 27$ dB

4.2.2 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,DFf,lab}$

Der Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,DFf,lab}$ kann aus der energetischen Differenz zwischen $L_{nf,ij,lab}$ und $L_{n,Df,lab}$ ermittelt werden. Abbildung 14, links zeigt für einen Zementestrich auf Holzfaser-Trittschalldämmplatten und einer Rohdeckenbeschwerung den Einfluss der Übertragungswege Df und DFf. Die Messungen wurden mit einem 10 mm MW-Randdämmstreifen durchgeführt. Die dargestellten Einzahlangaben für $L_{n,DFf,lab,w}$ wurden aus den Einzahlwerten $L_{nf,ij,lab,w}$ und $L_{n,Df,lab,w}$ ermittelt. Abbildung 14, rechts zeigt den Einfluss unterschiedlicher Estrich-Randdämmstreifendicken auf dem Weg DFf im Vergleich zur Messung ohne Randdämmstreifen (Abbildung 14, f)). Die Übertragung über die Gerüststeifigkeit des Randdämmstreifens spielt eine erkennbare Rolle, ist aber nicht allein maßgeblich, wie die Messung ohne Randdämmstreifen zeigt.

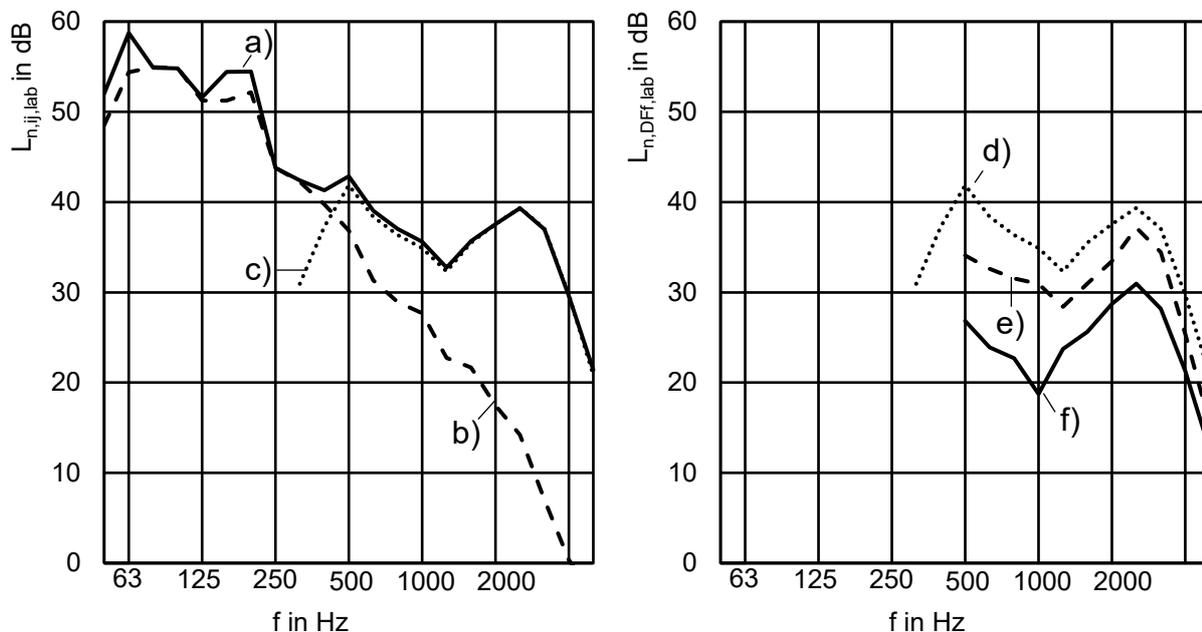


Abbildung 14 Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile für eine Holzbalkendecke mit 60 mm Splitt und Zementestrich auf 30 mm Holzfaser-Trittschalldämmplatten. Flankierende Holztafelbauwand mit OSB und GK-Beplankung.

Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

Links: Einfluss der Übertragungswege Df und DFf

Rechts: Einfluss der Randdämmstreifens auf den Weg DFf

a) Weg Df + DFf: $L_{nf,ij,lab,w} = 48$ dB

b) Weg Df: $L_{n,Df,lab,w} = 43$ dB

c) Weg DFf: $L_{n,DFf,lab,w} = 47$ dB

d) 10 mm MW-Randdämmstreifen: $L_{n,DFf,lab,w} = 47$ dB

e) 2 × 10 mm MW-Randdämmstreifen: $L_{n,DFf,lab,w} = 43$ dB

f) 8 mm Luft statt Randdämmstreifen: $L_{n,DFf,lab,w} = 37$ dB

Zur genaueren Untersuchung der Übertragungsmechanismen war zunächst der vom Norm-Hammerwerk im Senderraum erzeugte Schalldruckpegel L_{HW} zu berücksichtigen und der Einfluss der Luftschallkorrektur nach DIN 4109-4 [1] zu ermitteln:

$$L_{E,kor} = 10 \lg(10^{0,1L_E} - 10^{0,1(L_{HW}-D)}) \quad (24)$$

Abbildung 15 zeigt den Vergleich des Empfangsraumpegels L_E bei Trittschallanregung mit dem um die Schallpegeldifferenz D abgeminderten Senderraumpegel bei Hammerwerksbetrieb L_{HW} . Abbildung 15, c stellt den nach Gl. (24) korrigierten Empfangsraumpegel $L_{E,kor}$ dar.

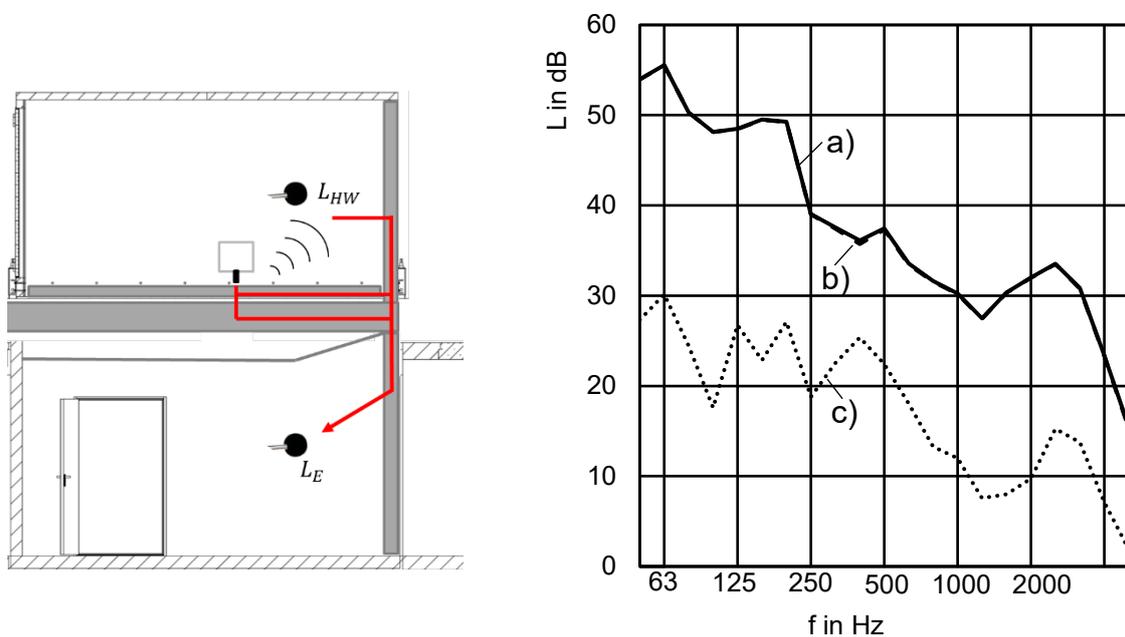


Abbildung 15 Pegelmessungen für die Luftschallkorrektur nach DIN 4109-4. Decken- und Wandaufbau wie in Abbildung 14. $S_{i,lab} = 20 \text{ m}^2$, $l_{j,lab} = 4,0 \text{ m}$
a) Empfangsraumpegel L_E (unkorrigiert)
b) Empfangsraumpegel $L_{E,kor}$ nach der Luftschallkorrektur
c) Übertragender Luftschallpegel bei Hammerwerksbetrieb $L_{HW} - D$

Die Luftschallkorrektur hat bei diesem Aufbau keinen Einfluss. Sie wurde dennoch bei allen Trittschallmessungen durchgeführt. Bei flankierenden Wänden mit geringer Schalldämmung (z.B. 80 mm CLT) gewinnt die Korrektur an Bedeutung.

Nachdem die Luftschallübertragung des Norm-Hammerwerks für die relativ hohen Pegel im Bereich von 1000 Hz bis 4000 Hz ausgeschlossen werden kann, wurde im nächsten Schritt der Nahfeldpegel an der Estrichkante untersucht. Hier war zu überprüfen, ob eine Anregung der oberen Wand durch die erhöhte Schallabstrahlung des Estrichrandes erfolgen könnte. Tabelle 8 zeigt die Differenz des Nahfeldpegels in der Nähe des Estrichrandes ($r < \lambda/4$) zum Schalldruckpegel im Senderraum L_{HW} bei Hammerwerksbetrieb. Die Differenzen liegen in den

unteren Terzbändern bei der durch den Staudruck in der Raumkante zu erwartenden Pegelerhöhung von ca. 6 dB. Ab 2500 Hz konnte auch für einen Mikrofonabstand $r \leq 0,1$ m nur außerhalb des $\lambda/4$ Radius gemessen werden. Hier zeigen die Pegel keine nennenswerten Abweichungen gegenüber dem diffusen Schallfeld. Eine verstärkte Anregung der Senderaumwand oberhalb des Estrichaufbaus durch die Schallabstrahlung der Estrichkante würde also durch die Luftschallkorrektur erfasst werden.

Tabelle 8 Differenz des Nahfeldpegels zum Schalldruckpegel im Senderaum L_{HW}

f in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Δ in dB	6,8	6,0	4,7	5,0	4,0	3,6	3,8	4,8	3,7	2,3	0,1 ¹	0,2 ¹	0,8 ¹	0,8 ¹

¹ Mikrofonabstand $r > \lambda/4$

Den Einfluss der Trittschalldämmplatte auf die Übertragung unterhalb des Estrichs zeigt Abbildung 16. Für den Vergleich wurden neben den aktuellen Messungen auch Ergebnisse vorangegangener Projekte [15], [16] herangezogen.

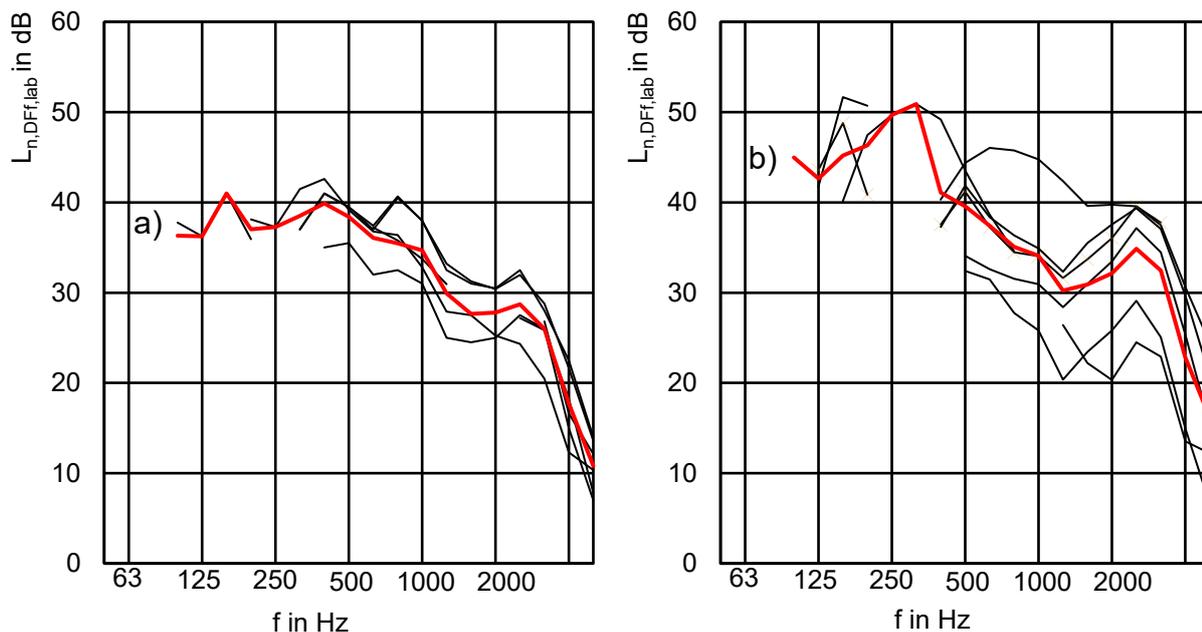


Abbildung 16 Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,Df,lab}$ für eine Holzbalkendecke mit unterschiedlichen Estrichaufbauten. Flankierende Holztafelbauwand mit OSB und GK-Beplankung.

Bezugsgrößen: $|S_{i,lab}| = |I_{ij,lab}|$

a) Zementestrich auf MW-Trittschalldämmplatten

MW- oder PE-Randdämmstreifen, Anzahl $n = 6$,

$L_{n,DFf,lab,w} = 35$ dB bis 40 dB, Mittelwert: $L_{n,DFf,lab,w} = 37$ dB

b) Zementestrich auf WF-Trittschalldämmplatten

MW- oder PE-Randdämmstreifen, Anzahl $n = 6$,

$L_{n,DFf,lab,w} = 38$ dB bis 47 dB, Mittelwert: $L_{n,DFf,lab,w} = 43$ dB

Der Mittelwert der Trittschallübertragung auf dem Weg D_{ff} für Zementestriche auf Mineralfaser-Trittschalldämmplatten (Abbildung 16, a) liegt deutlich unterhalb des Mittelwertes für Zementestriche auf Holzfaser-Trittschalldämmplatten (Abbildung 16, b), dessen Einzelergebnisse erhebliche Schwankungen aufzeigen. Die Schwankungen werden im Wesentlichen durch eine unterschiedliche Pressung der Randdämmstreifen verursacht.

Materialeinflüsse konnten für die Randdämmstreifen nicht festgestellt werden. So zeigten lose eingebaute Randdämmstreifen aus geschäumtem PE gleich gute und teilweise bessere Ergebnisse wie MW-Randdämmstreifen. Da der Anpressdruck von der Einbauart, dem Trocknungsverhalten des Estrichs und klimabedingten Abmessungsschwankungen abhängt, lässt sich über die Näherung mit dem Mittelwert bislang keine genauere Einstufung vornehmen.

Für die Labormessungen wurde die vorgefertigte Estrichplatte mit einem Distanzholz in der Dicke des Randdämmstreifens eingefahren, um eine reproduzierbare Montage und eine definierte „geringe Pressung“ nach dem Herausziehen der Distanzhölzer zu gewähren.

4.3 Norm-Flankenschallpegeldifferenzen $D_{n,f}$

Die Ausführung der Stoßstelle zwischen Decke und flankierender Wand wirkt sich auf die vertikale Flankenübertragung bei Luftschallanregung noch stärker aus als bei der Trittschallanregung (s. Abschnitt 4.1.5). Der Vergleich der Norm-Flankenschallpegeldifferenzen unterschiedlicher flankierender Wände einer Holzbalkendecke wird in Abbildung 17 dargestellt.

Wird die flankierende Wand nicht durch die Decke unterbrochen (ballon-framing Bauweise), so ist eine entsprechend starke Flankenübertragung zu erwarten. Abbildung 17 a) stellt den $L_{n,f,ij,lab}$ für durchlaufende Flanken dar, die auf Deckenhöhe gestoßen sind (quasi-ballon-framing Bauweise).

Wird die flankierende Wand durch die Decke unterbrochen (platform-framing Bauweise) so wird die Flankenübertragung verringert (Abbildung 17 b)). Die geringste Flankenübertragung wird mit Metallständerwänden und einem gleitenden Deckenanschluss erreicht (Abbildung 17 c)).

Deutlich zu erkennen ist der Einbruch der Norm-Flankenpegeldifferenz bei der Koinzidenzfrequenz der Wandbeplankungen ($f_c = 2500$ Hz), der umso stärker ausfällt desto besser die Flankendämmung der Wand ist.

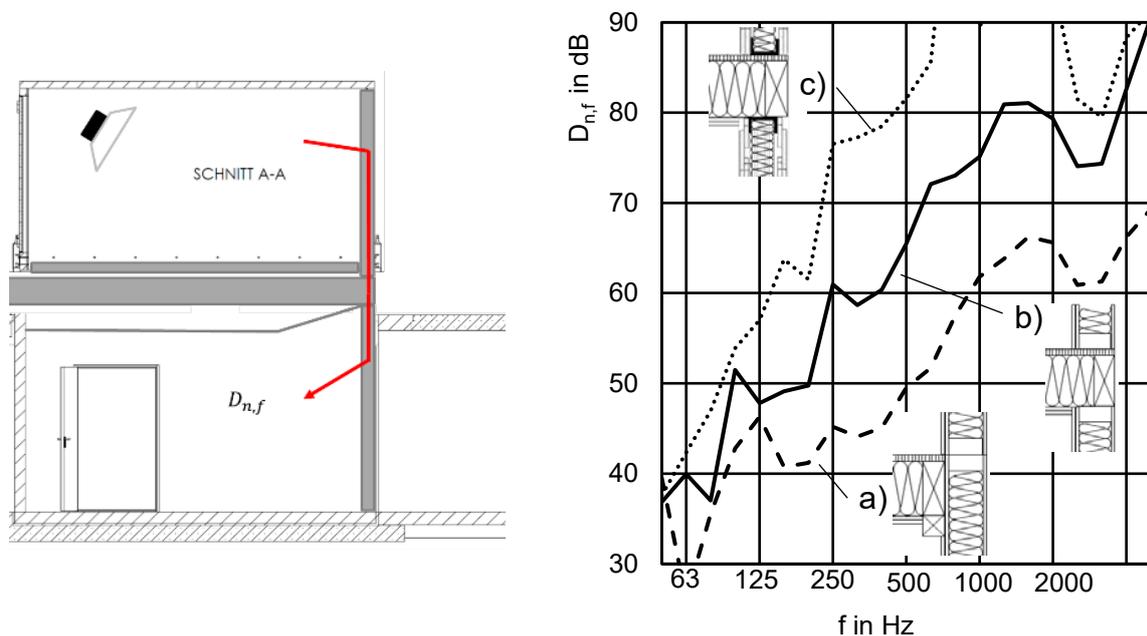


Abbildung 17 Norm-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f}$ für unterschiedliche flankierende Wände und Deckenanschlüsse einer Holzbalkendecke.
 Bezugsgrößen: $S_0 = 10 \text{ m}^2$; $l_{ij,lab} = 4,50 \text{ m}$
 a) Holztafelbauwand durchlaufend, aber auf Deckenhöhe gestoßen, Decke vorgehängt (quasi-ballon-framing) Beplankung mit 12 mm OSB + 12,5 mm GK: $D_{n,f,w} = 54 \text{ dB}$
 b) Holztafelbauwand durch die Decke vollständig unterbrochen (platform-framing) Beplankung mit 12 mm OSB + 12,5 mm GK: $D_{n,f,w} = 67 \text{ dB}$
 c) Metallständerwand (C-Profil) mit gleitendem Deckenanschluss. Beplankung mit $2 \times 12,5 \text{ mm GK}$: $D_{n,f,w} = 79 \text{ dB}$

4.4 Verbesserung durch Vorsatzschalen

4.4.1 Verbesserung bei Luftschallanregung

Der Vergleich der Verbesserung durch Vorsatzschalen bei Luftschallanregung wird in Abbildung 18 und in Abbildung 19 gezeigt. Abbildung 18 zeigt die Verbesserung der Schalldämmung im direkten Durchgang für drei Vorsatzschalen, die jeweils vor einer Holztafelbauwand und einer Massivholzwand geprüft wurden. Die frequenzabhängigen Verbesserungen der Schalldämmung zeigen auf den unterschiedlichen Grundwänden ähnliche Verläufe. Die Einzahlwerte ΔR_w als Differenz der bewerteten Schalldämm-Maße sind bei Massivholzwänden etwas besser.

In Abbildung 19 wird die Verbesserung im direkten Durchgang ΔR mit der Verbesserung ΔR_{ij} auf dem vertikalen Übertragungsweg Ff verglichen. Die zu erwartenden Verbesserungen durch eine zweifache Wirkung der Vorsatzschale auf dem Weg Ff bleiben aus. Lediglich im Bereich zwischen 500 – 2000 Hz werden bessere Werte erreicht. Im Bereich der Masse-Feder-

Masse-Resonanz und der Koinzidenzfrequenz sind die Werte deutlich geringer. Auch die Einzahlwerte erreichen maximal das Niveau des direkten Durchgangs oder bleiben dahinter zurück.

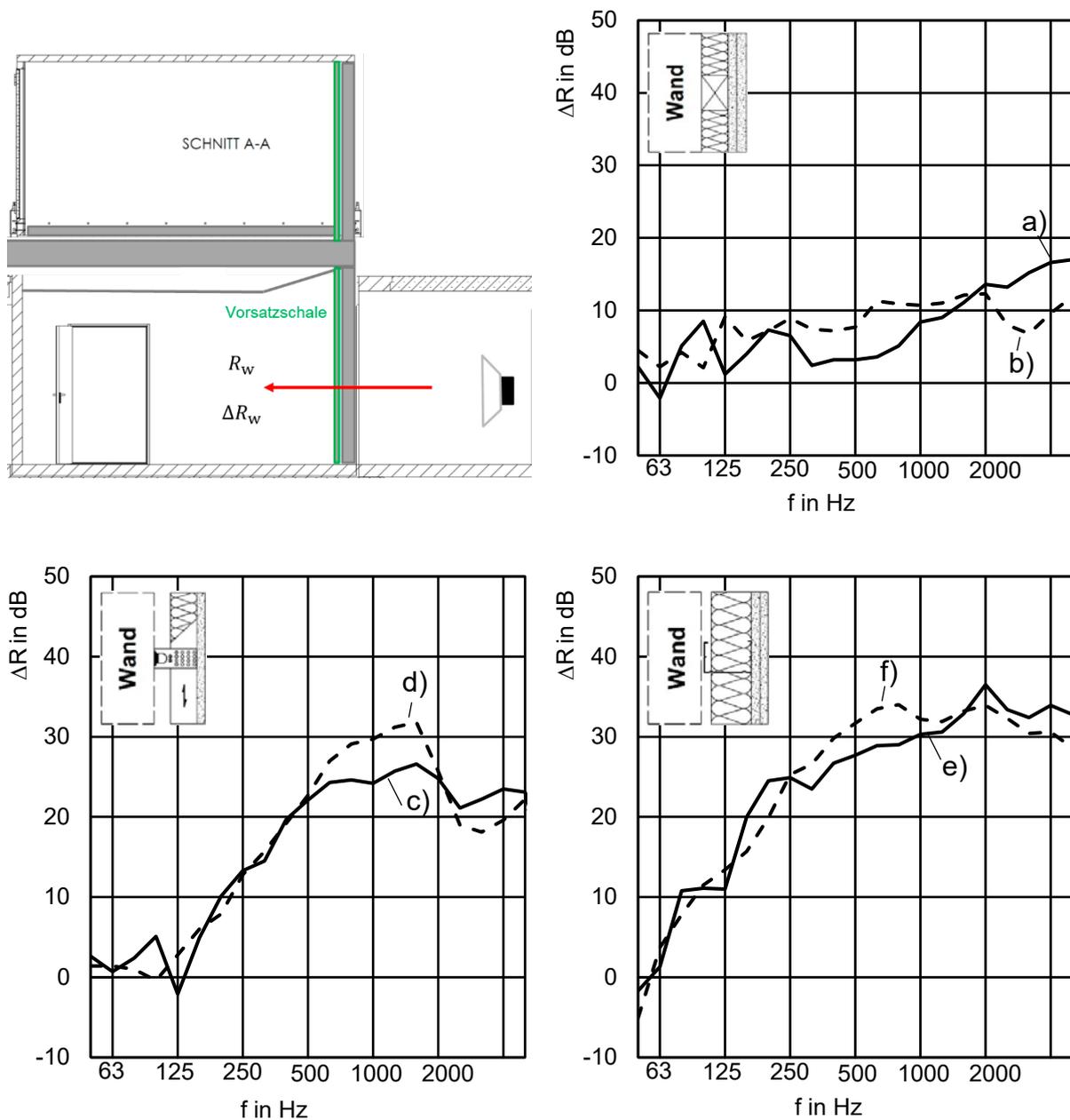


Abbildung 18 Verbesserung der Schalldämmung ΔR von Holztafelbauwänden (HTW) und Massivholzwänden (CLT) durch unterschiedliche Vorsatzschalen (Maße in mm):
a) HTW mit 40 Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, 15 GK: $\Delta R_w = 6,8$ dB
b) CLT mit 40 Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK: $\Delta R_w = 8,8$ dB
c) HTW mit 65 entkoppelte Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK: $\Delta R_w = 13,3$ dB
d) CLT mit 65 entkoppelte Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK: $\Delta R_w = 14,3$ dB
e) HTW mit 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK: $\Delta R_w = 24,8$ dB
f) CLT mit 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK: $\Delta R_w = 25,4$ dB

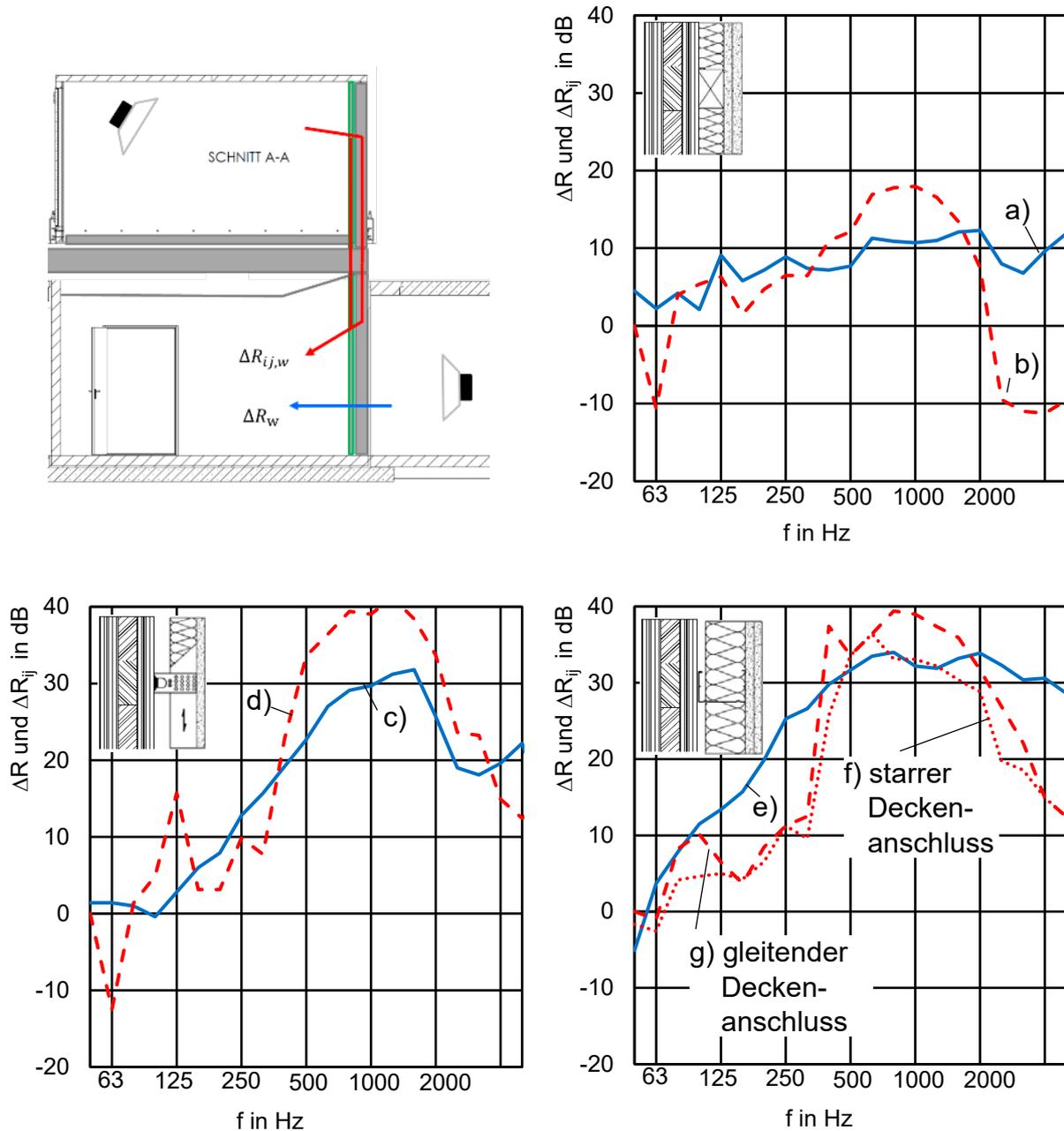
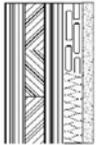
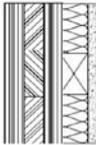
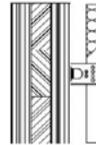
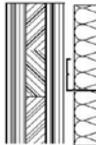


Abbildung 19 Verbesserung der Schalldämmung ΔR und der Flankendämmung ΔR_{ij} von Massivholzwänden durch unterschiedliche Vorsatzschalen (Maße in mm):

- a) 40 Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Direkt $\Delta R_w = 8,8$ dB
- b) 40 Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Flanke $\Delta R_{ij,w} = 8,4$ dB
- c) 65 entkoppelte Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, Direkt $\Delta R_w = 14,3$ dB
- d) 65 entkoppelte Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, Flanke $\Delta R_{ij,w} = 14,4$ dB
- e) 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Direkt $\Delta R_w = 25,4$ dB
- f) 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Flanke $\Delta R_{ij,w} = 15,4$ dB
- g) 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Flanke $\Delta R_{ij,w} = 17,3$ dB

Ein Vergleich der gemessenen Verbesserungen ΔR_w aller geprüfter Vorsatzschalen im direkten Schalldurchgang mit den Verbesserungen im Flankendämm-Maß $\Delta R_{j,w}$ bzw. $\Delta R_{ij,w}$ wird in Tabelle 9 für die Massivholz-Flanke wiedergegeben. Zusätzlich wird der Erwartungswert für die Verbesserung zur Berechnung der Flankendämm-Maße nach DIN EN ISO 12354-1 bzw. der DIN 4109-2 [1] angegeben, die in Zukunft auch für den Massivholzbau angewendet werden sollen.

Tabelle 9 Verbesserungen der Schalldämmung durch Vorsatzschalen (Grundwand 80 mm CLT)

Aufbau ¹ Maße in mm	27 Feder- schiene + WH 12,5 GK	40 Lattung + WH 2 x 12,5 GK	65 EA + 40 Lattung + WH 12,5 GK	10 Luft 75 CW + WH 2 x 12,5 GK
1 Skizze				
2 Direkter Durchgang: ΔR_w	9,6 dB	8,8 dB	14,3 dB	25,4 dB
3 Weg Df Vorsatzschale im ER: $\Delta R_{j,w}$	6,1 dB	7,1 dB	7,8 dB	- ⁴
4 Erwartungswert $\Delta R_{j,w} = 0,5 \Delta R_w$	4,8 dB	4,4 dB	7,2 dB	12,7 dB
5 Weg Ff Vorsatzschale im ER: $\Delta R_{j,w}$	-	5,0 dB	10,0 dB	7,8 dB ² 11,7 dB ³
6 Erwartungswert $\Delta R_{j,w} = \Delta R_w$	9,6 dB	8,8 dB	14,3 dB	25,4 dB
7 Weg Ff Vorsatzschale im SR + ER: $\Delta R_{ij,w}$	10,0 dB	8,4 dB	14,4 dB	15,4 dB ² 17,3 dB ³
8 Erwartungswert $\Delta R_{ij,w} = 1,5 \Delta R_w$	14,4 dB	13,2 dB	21,5 dB	38,1 dB

¹ WH ... Faserdämmstoff EA ... Metallprofil + elastisches Formteil SR ... Senderaum ER ... Empfangsraum

² Deckenanschluss starr (GK verspachtelt)

³ Deckenanschluss gleitend (untere Flanke), U-Profil auf zweilagigem PE-Dichtband (obere Flanke)

⁴ Durch die Maximalschalldämmung der Prüfanordnung beeinflusst

Wird die Verbesserung für den Weg Df aus der Differenz der Flankendämm-Maße $R_{Df,w}$ mit und ohne Vorsatzschalen ausgewertet (Tabelle 9, Zeile 3), so ergeben sich für $\Delta R_{j,w}$ höhere Werte als nach dem Verfahren in [1] zu erwarten wäre (Zeile 4). Da auf dem Weg Df der Estrichaufbau und die empfangsraumseitige Vorsatzschale wirksam sind, errechnet sich der Erwartungswert für die Vorsatzschale im Empfangsraum zu: $\Delta R_{j,w} = 0,5 \Delta R_w$ für $\Delta R_{i,w} > \Delta R_{j,w}$.

Für den Übertragungsweg Ff sind die gemessenen Verbesserungen sowohl für die einseitige Vorsatzschale (nur vor der flankierenden Massivholzwand im Empfangsraum) als auch für die

beidseitige Vorsatzschale (Sende- und Empfangsraum) deutlich geringer als der jeweilige Erwartungswert. Zwischen den Messwerten für die einseitige und die beidseitige Vorsatzschale ist in etwa der Faktor 1,5 zu erkennen. Die zweite Vorsatzschale ergibt also, wie im Berechnungsmodell angesetzt, nur noch die halbe Verbesserung der ersten. Die Verbesserung der ersten Vorsatzschale lässt sich jedoch nicht unmittelbar aus der Verbesserung im direkten Schalldurchgang ableiten.

4.4.2 Verbesserung bei Trittschallanregung

Die Vorsatzschalen vor den flankierenden Massivholzwänden wirken sich bei Trittschallanregung sowohl auf den Weg Df als auch den Weg DFf aus. In Abbildung 20 links, oben wird die Ermittlung der Verbesserung ΔR_i auf dem Weg Df als Differenz des L_{nDf} und ΔR_{ij} auf dem Weg DFf als Differenz des L_{nDFf} dargestellt. Neben den Verbesserungen bei Trittschallanregung (durchgezogene Linien) werden auch die Verbesserungen bei Luftschallanregung (gepunktete Linien in der gleichen Farbe) und die Verbesserung im direkten Schalldurchgang (gepunktete schwarze Linie) dargestellt.

Die Kurvenverläufe der Verbesserungen zeigen für Luft- und Trittschallanregung ähnliche Verläufe. Die Vorsatzschale mit Lattung (Abbildung 20 a) und b)), die direkt am Massivholzelement verschraubt wurde, zeigt sehr stark ausgeprägte Einbrüche im Bereich der Koinzidenzfrequenz für die Übertragungswege Df und DFf.

Für die über ein Metallprofil mit elastischer Entkopplung montierte Vorsatzschale (Abbildung 20 c) und d)) tritt der Einbruch nur noch für den Weg Df deutlich auf (Verursacht durch den starren Anschluss der Gipskartonplatte an die Rohdecke). Die obere Vorsatzschale hat keinen starren Anschluss an die Rohdecke, wodurch der Weg DFf höhere Verbesserungen aufweist.

Bei der freistehenden Vorsatzschale (Abbildung 20 e), f) und g)) wurde auch die untere Vorsatzkonstruktion von der Decke durch einen gleitenden Deckenanschluss entkoppelt. Der Unterschied zwischen starrem und gleitendem Deckenanschluss wird aus dem Vergleich der Kurven e) und g) ersichtlich.

Die Einzahlwerte der Verbesserungen durch die Vorsatzschale sind in Tabelle 10 gelistet. Die mit einer Lattung starr verschraubte Vorsatzschale und die Vorsatzschale mit Federschiene + gepressten Faserdämmstoff¹ im Zwischenraum zeigen beide auf Grund der starken Kopplung zur Grundwand nur geringfügige Verbesserungen. Bei den entkoppelten bzw. freistehenden Vorsatzschalen sind die Verbesserungen deutlich höher. Hier macht sich die Ausführung des Deckenanschlusses bemerkbar.

¹ Der gepresste Faserdämmstoff (30 mm MW) wurde vom Industriepartner gewählt um ein „Klappern“ der Federschiene und damit eine verminderte Gebrauchstauglichkeit zu vermeiden.

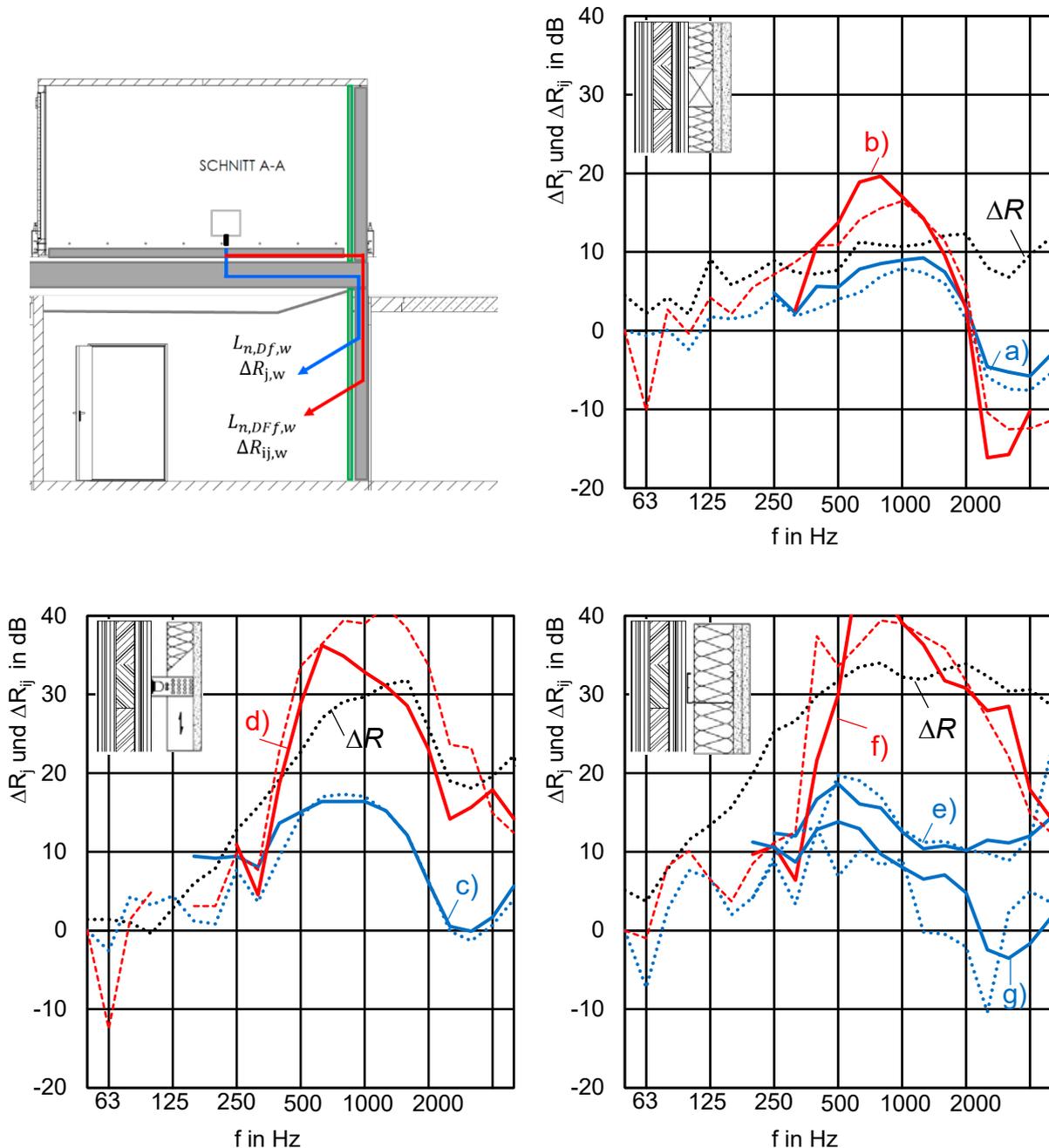


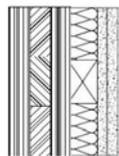
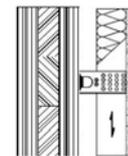
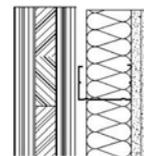
Abbildung 20 Verbesserung durch unterschiedliche Vorsatzschalen bei Trittschallanregung (durchgezogene Linien) und Luftschallanregung (gepunktete Linien) für die Übertragungswege Df und DFf (Maße in mm):

- a) 40 Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, 15 GK, Weg Df
- b) 40 Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Weg DFf
- c) 65 entkoppelte Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, Weg Df
- d) 65 entkoppelte Lattung + Dämmstoff, 12,5 GK, Weg DFf
- e) 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Weg Df
- f) 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Weg DFf
- g) 10 Luft, 75 CW + Dämmstoff, 12,5 GK, 12,5 GK, Weg Df (starrer Deckenanschluss)

Wie Tabelle 10, Zeile 4 und 5 zeigen, liegt die Reduzierung der Flankenübertragung bei Trittschallanregung für den Weg Df deutlich über dem Erwartungswert ($\Delta R_{j,w} = \Delta R_w / 2$). Dies war auch bei der Luftschallanregung zu erkennen. Lediglich bei der freistehenden Vorsatzschale mit starrem Deckenanschluss wird der Erwartungswert nicht erreicht. Hier ist die direkte Schalleinleitung der Decke in die angespachtelte GK-Platte dominant. Wird der Anschluss gleitend ausgeführt, wird auch hier der Erwartungswert um ca. 3 dB übertroffen.

Für den Weg Dff werden die Erwartungswerte für die an die Grundwand gekoppelten Vorsatzschalen deutlich unterschritten. Sie zeigen nahezu keine Verbesserung. Erst durch die Entkopplung von der Grundwand und der Decke werden größere Verbesserungen erreicht, die aber wie beim Luftschall hinter dem Erwartungswert zurückbleiben.

Tabelle 10 Reduzierung der Trittschall- Flankenübertragung durch Vorsatzschalen

Aufbau ¹ Maße in mm	80 CLT	27 FS + 30 WH 12,5 GK	40 Lattung + WH 2 x 12,5 GK	65 EA + 40 Lattung + WH 12,5 GK	10 Luft 75 CW + WH 2 x 12,5 GK
1 Skizze					
2 Weg Df + Dff $L_{n,ij,lab,w}$	44,3 dB	40,2 dB	40,7 dB	32,6 dB	34,8 dB ² 29,7 dB ³
3 Weg Df $L_{n,Df,lab,w}$	41,9 dB	34,6 dB	34,5 dB	31,0 dB	32,2 dB ² 26,1 dB ³
4 Messwert $\Delta R_{j,w}$	-	7,3 dB	7,4 dB	10,9 dB	9,7 dB ² 15,8 dB ³
5 Erwartungswert $\Delta R_{j,w} = \Delta R_w / 2$	-	4,8 dB	4,4 dB	7,2 dB	12,7 dB
6 Weg Dff $L_{n,Dff,lab,w}$	40,6 dB	38,8 dB	39,5 dB	27,5 dB	31,3 dB ² 27,2 dB ³
7 Messwert: $\Delta R_{ij,w}$	-	1,8 dB	1,1 dB	13,1 dB	9,3 dB ² 13,4 dB ³
8 Erwartungswert $\Delta R_{ij,w} = \Delta R_w$	-	9,6 dB	8,8 dB	14,3 dB	25,4 dB

¹ WH ... Faserdämmstoff EA ... Metallprofil + elastisches Formteil FS ... Federschiene

² Deckenanschluss starr (GK verspachtelt)

³ Deckenanschluss gleitend (untere Flanke), U-Profil auf zweilagigem PE-Dichtband (obere Flanke)

5 Berechnungsmodell für den Trittschallnachweis

5.1 Berechnungsmodell

Das nachfolgende Berechnungsmodell für den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ wurde als Vorlage für die Überarbeitung von DIN 4109-2 erstellt. Entsprechend dem vereinfachten Verfahren in DIN EN ISO 12354-2 wird der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ auf der Grundlage von Einzahlangaben berechnet. Dabei werden die direkte Trittschallübertragung durch die Deckenkonstruktion und die flankierende Trittschallübertragung über Flankenbauteile im Empfangsraum berücksichtigt.

Die Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels im Bau $L'_{n,w}$ ergibt sich aus der energetischen Summe der direkten Übertragung $L_{n,d,w}$ und der Übertragung der flankierenden Bauteile $L_{n,ij,w}$.

$$L'_{n,w} = 10 \lg(10^{0,1L_{n,d,w}} + \sum_{j=1}^n 10^{0,1L_{n,ij,w}}) \quad (25)$$

Dabei ist:

$L'_{n,w}$ der bewertete Norm-Trittschallpegel im Bau, in dB;

$L_{n,d,w}$ der bewertete Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion für die direkte Trittschallübertragung auf dem Weg Dd, in dB;

$L_{n,ij,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf dem Weg Df oder auf dem Weg Ff, in dB;

Das Berechnungsverfahren wird analog zum Massivbau angewandt, jedoch mit einer an den Holzbau angepassten Berücksichtigung der Flankenübertragung (siehe Abbildung 21). Während es im Massivbau ausreichend ist, von den in der statistischen Energieanalyse auftretenden Übertragungen (Abbildung 21 a)) die Wege Dd und Df zu berücksichtigen, ist im Holz- und Leichtbau auf Grund der stärkeren Anregung der Leichtbauflanken auch der Weg DFf zu berücksichtigen (Abbildung 21 b)).

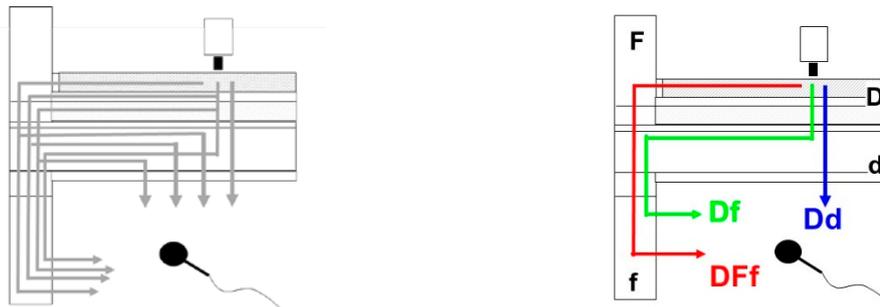


Abbildung 21 Flankierende Trittschallübertragung. Links: Mögliche Übertragungswege über die einzelnen Bauteilschichten. Rechts: Für die Berechnung berücksichtigte Übertragungswege.

- Dd Direkte Trittschallübertragung der Decke
- Df Flankenübertragung durch das Deckenaufleger in die flankierende Wand
- DFf Zusätzliche Flankenübertragung im Bereich des Estrichaufbaus und des Deckenrandes

Der bewertete Norm-Trittschallpegel wird nach Gleichung (25) berechnet. Für die direkte Übertragung der Decke $L_{n,d,w}$ ist der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ aus dem Bauteilkatalog der DIN 4109-33 einzusetzen. Ist die gewählte Deckenkonstruktion im Bauteilkatalog nicht vorhanden, können Prüfwerte aus nachweisfähigen Prüfberichten verwendet werden.

Der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,ij,w}$ kann nach Gleichung (26) aus Prüfstandsmessungen nach DIN EN ISO 10848-3 ermittelt werden.

$$L_{n,ij,w} = L_{nf,ij,lab,w} + 10 \lg \frac{S_{i,lab} l_{ij}}{S_i l_{ij,lab}} \quad (26)$$

Dabei ist:

- $L_{n,ij,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf den Wegen Df und DFf, in dB;
- $L_{nf,ij,lab,w}$ der bewertete Norm-Trittschallpegel flankierender Leichtbauteile, bestimmt unter Laborbedingungen, in dB;
- $S_i; S_{i,lab}$ die Fläche des angeregten Bauteils in der Bausituation und im Labor (Index lab), in m²;
- $l_{ij}; l_{ij,lab}$ die gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen Decke und Flanke in der Bausituation und im Labor (Index lab), in m;

Liegen für die geplante Ausführung von Decke und Wand keine Prüfstands-Ergebnisse nach DIN EN ISO 10848-3 vor, so kann die Berechnung auch nach den Gleichungen (27) bis (30) erfolgen. Hierzu wird der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,ij,w}$ aus den Übertragungswegen Df und DFf nach Abbildung 21 b) ermittelt:

$$L_{n,ij,w} = 10 \lg(10^{0,1L_{n,Df,w}} + 10^{0,1L_{n,DFf,w}}) \quad (27)$$

Dabei ist

$L_{n,ij,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf den Wegen Df und DFf, in dB;

$L_{n,DFf,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf dem Weg DFf, in dB;

$L_{n,Df,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf dem Weg Df, in dB;

mit:

$$L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \frac{S_S}{l_0 l_{ij}} \quad (28)$$

$$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \lg \frac{S_S}{l_0 l_{ij}} \quad (29)$$

Dabei ist:

$L_{n,DFf,lab,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf dem Weg DFf, ermittelt unter Laborbedingungen, in dB;

$L_{n,Df,lab,w}$ der bewertete Norm-Flanken-Trittschallpegel für die Trittschallübertragung auf dem Weg Df, ermittelt unter Laborbedingungen, in dB;

$\Delta R_{ij,w}$ Verbesserung durch Vorsatzschalen oder Zusatzbeplankungen vor den flankierenden Wänden auf dem Weg DFf, in dB;

$\Delta R_{j,w}$ Verbesserung durch Vorsatzschalen oder Zusatzbeplankungen vor der flankierenden Wand auf dem Weg Df, in dB;

ΔK_{ij} Verbesserungen durch Elastomerlager im Deckenstoß von Massivholzflanken, in dB;

S_S die gemeinsame Deckenfläche, in m²

l_{ij} die gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen Decke und Flanke in der Bausituation, in m;

l_0 die Bezugskopplungslänge mit $l_0 = 1\text{ m}$

Zusätzliche Verbesserungen durch Vorsatzschalen $\Delta R_{j,w}$ bzw. $\Delta R_{ij,w}$ und Zusatzbeplankungen werden im Anlage E, Tabellen E6 und E7 angegeben. Verbesserungen durch Elastomerlager im Deckenstoß (ΔK_{ij}) können anhand von Prüf- und Planungsdaten in Abzug gebracht werden. Hierbei ist der jeweilige Übertragungsweg zu betrachten. Für den Übertragungsweg Df wirken nur empfangsraumseitige Zusatzmaßnahmen. Für den Weg DFf bringen auch senderaumseitige Maßnahmen Verbesserungen (siehe Abbildung 22).

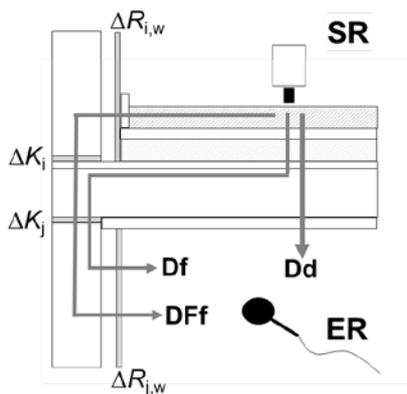


Abbildung 22 Anordnung von Vorsatzschalen und Elastomerlagern

SR	Senderraum
ER	Empfangsraum
$\Delta R_{i,w}$	Verbesserung durch eine Vorsatzschale im Senderraum
$\Delta R_{j,w}$	Verbesserung durch eine Vorsatzschale im Empfangsraum
ΔK_i	Verbesserung durch ein Elastomerlager zwischen der oberen Wand und der Decke
ΔK_j	Verbesserung durch ein Elastomerlager zwischen der Decke und der unteren Wand
Dd	Direkte Trittschallübertragung der Decke
Df	Flankenübertragung durch das Deckenauflager in die flankierende Wand
DFf	Zusätzliche Flankenübertragung im Bereich des Estrichaufbaus und des Deckenrandes

Laborwerte für $L_{n,DFf,lab,w}$ sind Anlage E, Tabelle E2 für verschiedene Estrichaufbauten und Ausführungen der flankierenden Wände gelistet. Sie werden mit betragsgleichen Bezugsgrößen angegeben ($S_{i,lab} = l_0 l_{ij,lab}$), sodass eine Berücksichtigung der Laborgeometrie in (28) und (29) nicht erforderlich ist. Die Werte für $L_{n,Df,lab,w}$ können aus K_1 (Anlage E, Tabelle E3) ermittelt werden:

$$L_{n,Df,lab,w} = 10 \lg \left(10^{0,1(L_{n,d,w}+K_1)} - 10^{0,1L_{n,d,w}} \right) \quad (30)$$

Dabei ist

- $L_{n,d,w}$ der bewertete Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion für die direkte Trittschallübertragung auf dem Weg Dd, in dB;
- K_1 Korrektursummand für den Übertragungsweg Df in dB;

5.2 Planungsdaten

Auf Basis der Projektergebnisse und der bereits vorhandenen Daten vorausgegangener Untersuchungen [15], [16] konnten die erforderlichen Eingangsdaten für das Berechnungsmodell nach Abschnitt 5.1 zusammengestellt werden. Folgende Planungsdaten wurden für die Überarbeitung von DIN 4109-33 zur Verfügung gestellt:

- Norm-Trittschallpegel flankierender Holzbauwände $L_{nf,ij,lab,w}$
Zusammenstellung der Prüfergebnisse für verschiedene Decken-/Wandkombinationen als Eingangsdaten für Gleichung (26). Siehe Anlage E, Tabelle E2
- Korrektursummanden K_1 und K_2 sowie Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,DFf,lab,w}$
Ergänzung der in DIN 4109-2:2018 bereits vorhandenen Tabellen für die Korrektursummanden Norm-Flanken-Trittschallpegel $L_{n,DFf,lab,w}$ als Eingangsdaten für Gleichungen (28) - (30). Anlage E, Tabellen E3 und E4
- Reduzierung der Trittschall-Flankenübertragung durch Zusatzbeplankungen
Tabelle zur Berücksichtigung der Verbesserung durch Zusatzbeplankungen auf Massivholzflanken. Siehe Anlage E, Tabellen E6
- Reduzierung der Trittschall-Flankenübertragung durch Vorsatzschalen
Die Verbesserungen durch Vorsatzschalen vor flankierenden Massivholz- und Holztafelwänden können in den Gleichungen (28) und (29) berücksichtigt werden.
Siehe Anlage E, Tabellen E7

5.3 Validierung des Modells

Zur Validierung des Berechnungsmodells wurden für 63 Baumessungen die Berechnungsergebnisse für $L'_{n,w}$ den Messergebnissen gegenübergestellt. Wie Abbildung 23, rechts zeigt, liegt die mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung bei 0,2 dB und die Standardabweichung bei 1,8 dB. Die maximalen Abweichungen liegen bei - 2,8 dB und + 3,6 dB. Wird für die Prognoseunsicherheit die einfache Standardabweichung zugrunde gelegt, so kann $u_{prog} = 2$ dB gewählt werden.

Zum Vergleich wurden die Trenndecken der Bauvorhaben auch mit dem derzeitigen Verfahren nach DIN 4109-1:2018, aber mit den neu ermittelten Planungsdaten, berechnet. Hier konnten

nur 53 der 63 Konstruktionen berechnet werden. Die mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung liegt bei 0,9 dB und die Standardabweichung bei 2,1 dB. Die maximalen Abweichungen liegen bei – 3,0 dB und + 5,0 dB.

Neben der Reduzierung der Prognoseunsicherheit ist vor allem die Reduzierung der stark auf der sicheren Seite liegenden Berechnungsergebnisse durch die Berücksichtigung der Zusatzaßnahmen an den flankierenden Wänden zu erkennen.

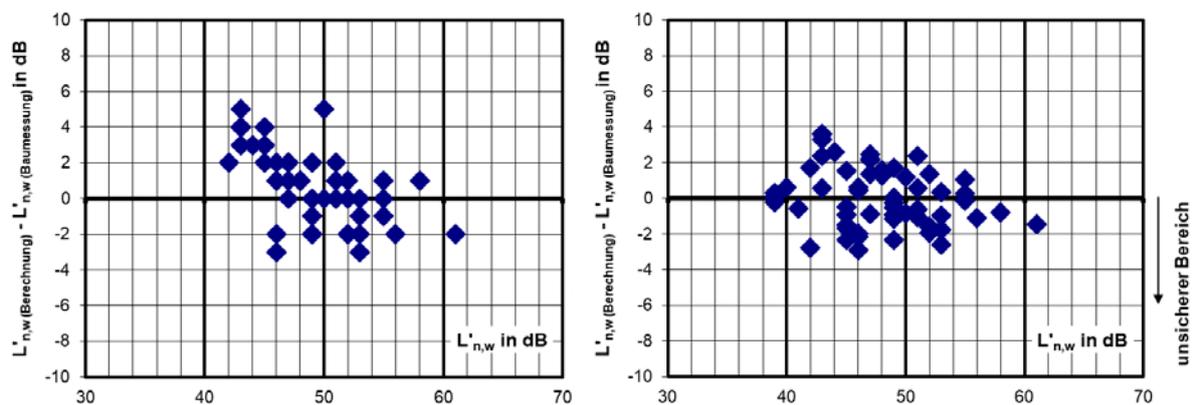


Abbildung 23 Validierung des Berechnungsmodell für 63 Baumessungen in Holzbauten. Links: Differenz zwischen Berechnung und Messung für das derzeitige Berechnungsmodell (mit aktuellen Eingangsdaten): Anzahl $n = 53$, $\bar{x} = 0,9$ dB, $\sigma = 2,1$ dB Rechts: Differenz zwischen Berechnung und Messung für das neue Berechnungsmodell: Anzahl $n = 63$, $\bar{x} = 0,2$ dB, $\sigma = 1,8$ dB

6 Zusammenfassung

Die Wirtschaftlichkeit der Ausführung spielt bei der Realisierung von Mehrgeschossern in Holzbauweise eine zunehmend zentrale Rolle. Dies zeichnet sich auch in der Festlegung einer geeigneten Trenndeckenkonstruktion ab, an die aus Sicht der Bauakustik besondere Anforderungen gestellt werden. Um den aktuellen Verschärfungen der Trittschallanforderungen an Wohnungstrenndecken bei den Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 und bei den erhöhten Anforderungen nach DIN 4109-5 zu begegnen, wurden deshalb in vorausgegangenen Projekten bereits Optimierungen an Trenndecken in Holzbauweise durchgeführt.

Im vorliegenden Projekt sollte nun die im rechnerischen Nachweis des Trittschalls häufig maßgebliche Flankenübertragung näher untersucht und das bestehende Berechnungsmodell präzisiert und erweitert werden. Die Zielsetzung einer genaueren Berücksichtigung der Flankenübertragung und damit einer wirtschaftlichen Auslegung der Deckenkonstruktionen ergab folgende Projekt - Schwerpunkte:

1. Erweiterung des Prognosemodells nach DIN 4109 und DIN EN ISO 12354 zur Anwendung auf Holzbalkendecken mit flankierenden Leichtbauwänden (Holztafelwände, Metallständerwände).
2. Ermittlung und Bereitstellung der Planungsdaten für die differenzierte Berechnung mit flankierenden Leichtbauwänden.

Zur Erweiterung des Prognosemodells wurde eine differenzierte Berücksichtigung der einzelnen Flanken eingeführt. Damit können die maßgeblichen Flankenübertragungswege D_f und D_{ff} für flankierende Wände unterschiedlicher Ausführung einzeln berechnet und zusätzliche Maßnahmen wie Vorsatzkonstruktionen, Zusatzbeplankungen und Elastomerlager im Deckenstoß von Massivholzwänden berücksichtigt werden.

Das Modell basiert auf der Prognose nach DIN EN ISO 12354, lässt aber für den Leichtbau neben dem Messwert $L_{nf,ij,lab,w}$ der Flankenübertragung auch die o.g. Berechnung aus den Einzelkomponenten zu. Dadurch ist es für geprüfte Decken- / Wandkombinationen möglich, direkt mit dem Messwert in die Prognose einzusteigen, um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen. Für nicht geprüfte Kombinationen können die eher auf der sicheren Seite liegenden Planungsdaten der Einzelkomponenten verwendet werden. Neben dem klassischen Leichtbau werden auch Massivholzdecken und -wände in der Prognose berücksichtigt.

Für die Ermittlung und Bereitstellung der Eingangsdaten des Prognosemodells wurden mit den Holzbauverbänden und der projektbegleitenden Arbeitsgruppe die relevanten Decken- und Wandaufbauten festgelegt und daraus eine Prüfmatrix abgeleitet. Die Messergebnisse konnten mit bereits vorhandenen Daten vorangegangener Projekte kombiniert und zu Planungsdaten für die Normung zusammengestellt werden. Diese wurden direkt in die aktuelle Überarbeitung der DIN 4109-33 übernommen und in den Normungsgremien diskutiert.

Die Validierung des Berechnungsmodells anhand von 63 Baumessungen in unterschiedlichen Holzbauten zeigte zum einen, dass die Ergebnisse durch die differenzierte Berücksichtigung der flankierenden Wände nicht mehr so stark auf der sicheren Seite liegen, da Zusatzmaßnahmen nun berücksichtigt werden können und zum anderen, dass auf Grund der höheren Prognosegenauigkeit eine Reduzierung von $u_{\text{prog}} = 3 \text{ dB}$ auf $u_{\text{prog}} = 2 \text{ dB}$ möglich ist. Die Verschärfung der erhöhten Anforderungen nach DIN 4109-5 von $L'_{\text{n,w}} = 46 \text{ dB}$ auf $L'_{\text{n,w}} = 45 \text{ dB}$ wird also schon allein durch die geringere Prognoseunsicherheit kompensiert. Dadurch wird der rechnerische Nachweis von Wohnungstrenndecken für den Mindestschallschutz auch mit wirtschaftlichen Standard-Holzdeckenkonstruktionen ermöglicht und die erhöhte Anforderung nach DIN 4109-5 können mit den in den Vorgängerprojekten optimierten und in DIN 4109-33 hinterlegten Deckenaufbauten erreicht werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4109 Schallschutz im Hochbau
Teil 1: Mindestanforderungen, Januar 2018
Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen, Januar 2018
Teil 4: Bauakustische Prüfungen, Juli 2016
Teil 5: Erhöhte Anforderungen, August 2020
Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau, Juli 2016
Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen, Juli 2016
- [2] DIN EN ISO 10140-1:2016, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte, Dezember 2016
und
DIN EN ISO 10140-1:2021, Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte, September 2021
- [3] DIN EN ISO 10140-2:2010, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung, Dezember 2010
und
DIN EN ISO 10140-2:2021, Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung, September 2021
- [4] DIN EN ISO 10140-3:2010 + A1:2015, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 3: Messung der Trittschalldämmung, November 2015
und
DIN EN ISO 10140-3:2021-09, Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 3: Messung der Trittschalldämmung , September 2021
- [5] DIN EN ISO 10140-5:2010 + A1:2014, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen, September 2014
und
DIN EN ISO 10140-5:2021, Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen, September 2021
- [6] DIN EN ISO 717-1:2013, Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung, Juni 2013
und
DIN EN ISO 717-1:2021, Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung, Mai 2021
- [7] DIN EN ISO 717-2:2013, Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung, Juni 2013
und
DIN EN ISO 717-2:2021-05, Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung, Mai 2021

- [8] DIN EN ISO 15186-2:2010-12, Akustik - Bestimmung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen aus Schallintensitätsmessungen - Teil 2: Messungen am Bau, Dezember 2010
- [9] Huber, A., Ermittlung von Planungsdaten für den Schallschutz von Außenwänden in Holzbauweise mit unterschiedlichen Dämmstofftypen. Datensammlung – Bauteilmessung – Simulation, Bachelorarbeit, Technische Hochschule Rosenheim, 2018
- [10] Blödt, A., Rabold, A., Halstenberg, M., Ecker, T., Huber, A., Huissel, L., Löffler, S., Scheuerpflug, M., Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung, holzbau handbuch, REIHE 3, TEIL 3, FOLGE 1, Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019
- [11] Mecking, S., Mutter, T., Rabold, A., Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen, Tagungsband 6. Internationale Fachtagung Bauphysik & Gebäudetechnik BGT 2022
- [12] Schödel, Benjamin. 2018. Ermittlung schalltechnischer Beurteilungskriterien für Unterdeckenabhängiger und Trittschalldämmplatten. Bachelorarbeit, TH Rosenheim
- [13] Wohlmuth, B., Rank, E., Kollmannsberger, S., Schanda, U., Rabold, A., Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten - Modellierung, numerische Simulation, Validierung - Forschungs- Kooperationsprojekt TU München, Hochschule Rosenheim, ift Rosenheim, 2018
- [14] Timpte, A., Stoßstellendämm-Maße im Massivholzbau – Konstruktionen, akustische Kenngrößen, Schallschutzprognose, Masterarbeit TU Berlin und Hochschule Rosenheim, 2016
- [15] Holtz, F., Rabold, A., Buschbacher, H.P., Hessinger, J.: Verringerung der Schallabstrahlung von Holzständerwänden bei Trittschallanregung im mehrgeschossigen Holz-Wohnungsbau. DGfH-Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik, Stephanskirchen, 2003
- [16] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S., Ergänzende Deckenmessungen zum laufenden Vorhaben: Integration des Holz- und Skelettbbaus in die neue DIN 4109, Forschungsbericht ift Rosenheim, 2005

8 Danksagung

Das diesem Forschungsbericht zugrundeliegende Vorhaben wurde dankenswerter Weise mit Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-20.22). Das Forschungsprojekt wurde durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe aus Beratern und Industriepartnern betreut, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützten und somit maßgeblich zum Gelingen beitrugen. Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe gilt besonderer Dank:

	Innovationsprogramm Zukunft Bau
	Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.
	Deutscher Holzfertigbau Verband e.V.
	Holzbau Deutschland
	Binderholz
	James Hardy, Fermacell
	Knauf
	Blödt Holzkomplettbau GmbH
	Gutex