

Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109

Andreas Rabold
Hochschule Rosenheim
und ift Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109

1. Einleitung

Mit der neuen DIN 4109 [1] stehen deutlich bessere Nachweismöglichkeiten für den Holzbau zur Verfügung. Nachfolgend sollen diese Möglichkeiten, aber auch die noch zu schließenden Lücken am Beispiel der Holzdecke aufgezeigt werden. Hierbei wird zwischen der Decke als Trennbauteil und der Decke als flankierendes Bauteil unterschieden. Ausgehend von den neuen Anforderungen und Berechnungsmodellen werden Planungs- und Nachweismöglichkeiten vorgestellt und durch weiterführende Prognosemodelle ergänzt. Besonderer Wert wird hierbei auf Massivholzkonstruktionen gelegt, da diese in der neuen DIN 4109 noch nicht ausreichend behandelt werden.

2. Holzdecken als Trennbauteile

Die Einsatzbereiche von Holzdecken als Trennbauteile gehen von der Wohnungstrenndecke in Zweifamilienhäusern über Trenndecken in Schulen und Bürogebäuden bis hin zur Trenndecke in Mehrfamilienhäusern. Neben den statischen und brandschutz-technischen Anforderungen sind in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung auch die entsprechenden Anforderungen an den Schallschutz einzuhalten.

2.1. Anforderungen und Zielwerte für den erhöhten Schallschutz

Eine Übersicht einiger Anforderungen an Trenndecken nach der neuen DIN 4109 [1] ist in Tabelle 1 dargestellt. Diese als Mindestanforderung festgelegten Werte 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 neuen DIN 4109 hinausgehen, wurden in der Überarbeitung nicht festgelegt. Sollen im privatrechtlichen Bereich Zielwerte für den erhöhten Schallschutz vereinbart werden, so kann dies z.B. nach dem unverändert gebliebenen Beiblatt 2 der DIN 4109:1989 [2] oder der VDI 4100 [3] erfolgen.

Die Vereinbarungen sollten vertraglich festgehalten werden. Hierbei ist der Bauherr zu informieren, welches Schallschutzniveau er bei den gesetzlich geregelten Mindestanforderungen bzw. den darüber hinausgehenden Zielwerten erwarten kann. Häufig geht der Bauherr zunächst davon aus, dass der Nachbar bei Einhaltung der Mindestanforderungen nach DIN 4109 nicht wahrnehmbar ist. Dies ist jedoch nicht der Anspruch der Mindestanforderungen, die lediglich einen Schutz vor unzumutbaren Übertragungen aus fremden Nutzungseinheiten gewährleisten sollen.

Anhaltswerte zum subjektiven Empfinden der Schalldämmung zur Nachbarwohnung bei den unterschiedlichen Schallschutzniveaus werden z.B. in VDI 4100 (und Abbildung 1) gegeben.

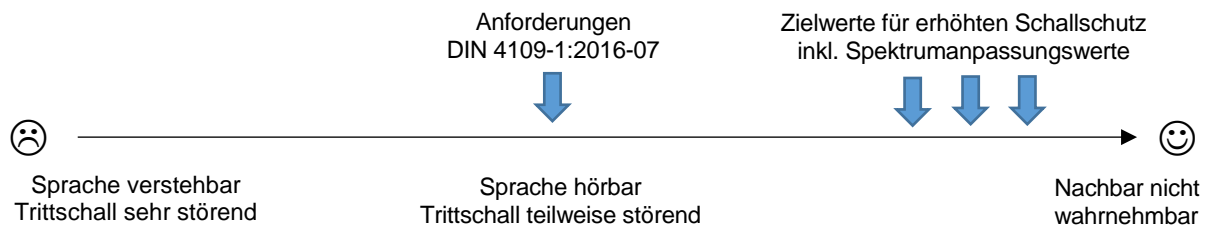


Abbildung 1: Wahrnehmung der Schalldämmung zur Nachbarwohnung durch den Nutzer in Anlehnung an [3], [4]

Gebäude, die allein durch anspruchsvollere Zielwerte an $L'_{n,w}$ und R'_w gewährleisten sollen, dass der Nachbar nicht wahrnehmbar ist, werden unabhängig von der Bauweise unwirtschaftlich. Umfangreiche Untersuchungen in verschiedenen europäischen Ländern haben gezeigt, dass es sinnvoller ist, die Zielwerte für den Bauteilwert inklusive Spektrumanpassungswerte im erweiterten Frequenzbereich festzulegen [5] - [12].

2.2. Schalltechnische Planung von Holzdecken

Für die schalltechnische Planung von Holzdecken hat sich in der Bauvorhabenbegleitung folgende Vorgehensweise bewährt:

– Schallschutzkonzept:

- Gemeinsam mit dem Bauherrn Zielwerte festlegen; nach der aktuellen DIN 4109 (s. Tabelle 1) oder nach VDI 4100 bzw. Beiblatt 2 der alten DIN 4109.
- Deckenkonstruktion im Bauteilkatalog oder anhand von Herstellerangeben (AbP, Prüfzeugnis) auswählen.
- Beurteilung der Decke im tieffrequenten Bereich $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 53$ dB oder $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 46$ dB (Konstruktionshilfen s. Anhang 1).

– Schallschutznachweis:

- Trittschallberechnung nach Gleichung (1) (K_1 und K_2 nach [1] oder Anhang 2)

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 \quad (1)$$

- Luftschallberechnung nach Gleichung (2) und Gleichung (3)¹ aus dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w der Decke der Trennfläche S_S und den Kantenlängen l_f

$$R'_w = -10 \lg(10^{-0,1R_w} + \sum 10^{-0,1R_{Ff,w}}) \quad (2)$$

$$R_{Ff,w} = 67 + 10 \lg\left(\frac{S_S}{10m^2}\right) + 10 \lg\left(\frac{4,50m}{l_f}\right) \quad (3)$$

- Nachweis nach Gleichung (4)

$$R'_w - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_w \quad \text{bzw.} \quad L'_{n,w} + 3 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{n,w} \quad (4)$$

Die dargestellte Vorgehensweise ist gut auf Standardkonstruktionen anwendbar und führt mit geringem Planungsaufwand zu zufriedenstellenden Ergebnissen.

Als besonders wichtig hervorzuheben ist die zusätzliche Beurteilung der Decke im tieffrequenten Bereich. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Bewohner durch die Trittschallübertragung nicht gestört wird.

¹ Für die Berechnung des Flankendämm-Maßes $R_{Ff,w}$ nach Gleichung (3) darf für Holzständerwände und Montagewände (C-Profil-Wände), die durch die Decke vollständig unterbrochen werden, ein $D_{n,f,w} = 67$ dB verwendet werden.

Das einfache Verfahren weist jedoch auch noch deutliche Lücken auf, die durch aktuelle Untersuchungen zu schließen sind. Zu nennen sind hier insbesondere:

– *Deckenkonstruktionen*

- Die Bauteilsammlungen, die in den Bauteilkatalog eingegangen sind, wurden im Wesentlichen 2004 abgeschlossen. Der Bauteilkatalog war somit bei seiner Verabschiedung bereits 12 Jahre alt. Deutliche Weiterentwicklungen erfolgten vor allem bei den Massivholzdecken, sowie bei den Deckenkonstruktionen für die Altbausanierung. Ein aktueller Stand typischer Konstruktionen und noch zu prüfender Aufbauten wurde von L. Huissel [13] zusammengetragen.
- Für Wohnungstrenndecken in Mehrgeschossern fehlen im Bauteilkatalog wirtschaftliche Konstruktionen, die den neuen Anforderungen (zul. $L'_{n,w} \leq 50$ dB) genügen können. Hier wird die Weiterentwicklung in einem gemeinsamen Projekt mit den Holzbauverbänden (DHV und BDF) erfolgen.

– *Trittschallberechnung*

- Die Korrektursummanden K_1 und K_2 sind noch nicht auf Massivholzdecken mit abgehängten Unterdecken anwendbar. Ebenso fehlen noch Werte für flankierende Wände mit zusätzlicher Beplankung oder Installationsebenen.
- Das Verfahren geht bislang von vier gleichen Wänden aus. Bei unterschiedlichen Wänden kann auf der sicheren Seite liegend die schlechteste Variante gewählt werden. Hier soll eine differenziertere Berücksichtigung ermöglicht werden.
- Korrektursummanden für diagonale oder horizontale Übertragungen fehlen.

– *Luftschallberechnung*

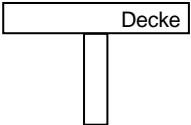
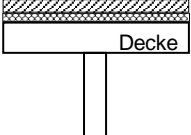
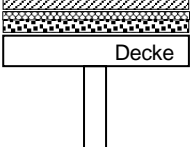
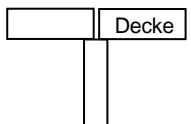
- Die mit $D_{n,f,w} = 67$ dB angegebene Norm-Flankenpegeldifferenz in [1] ist nur für flankierende Holzständerwände und Montagewände (C-Profil-Wände), die durch die Decke vollständig unterbrochen werden, anwendbar. Durchlaufende flankierende Wände (balloon framing) werden nicht berücksichtigt.
- Flankierende Wände in Massivholzbauweise können derzeit noch nicht nachgewiesen werden. Bei diesen Konstruktionen zeigt sich auf Grund einer stärkeren Kopplung zum Trennbauteil, dass die gemischten Übertragungswege D_f und F_d berücksichtigt werden sollten. Planungsdaten für Massivholz-konstruktionen werden derzeit in [14], [15], [16] erarbeitet.

3. Massivholzelemente als flankierende Bauteile

Bei der schalltechnischen Betrachtung von Trennwänden ist die Decke als flankierendes Bauteil zu berücksichtigen. In vielen Situationen ist es nicht wirtschaftlich oder statisch zu aufwändig, die Decke auf den Trennwänden vollständig zu trennen. Eine durchlaufende Decke kann jedoch die Schalldämmung maßgeblich beeinflussen und sollte daher gut geplant werden. Planungsdaten für flankierende Holzbalkendecken werden z.T. durch den Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 abgedeckt.

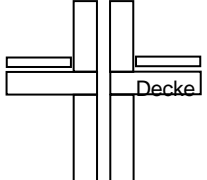
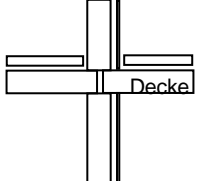
Für Massivholzdecken fehlen bisher Planungswerte. In Tabelle 2 werden deshalb orientierende Messergebnisse für verschiedene Anschlusssituationen und Deckenaufbauten gegeben. Zur Bezeichnung der Übertragungswege siehe auch Abbildung 2, rechts.

Tabelle 2: Messwerte für die Flankendämm-Maße $R_{Ff,w}$, $R_{Fd,w}$ und $R_{Df,w}$ einer flankierenden Brettsperrholzdecke

Skizze	Decke	Wand	Messwerte für $l_{lab} = 4,30 \text{ m}$, $S_{S,lab} = 11,8 \text{ m}^2$
	160 mm BSP	80 mm BSP	$R_{Ff,w} = 44 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 50 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 50 \text{ dB}$
	50 mm ZE 40 mm MFT 160 mm BSP	80 mm BSP	$R_{Ff,w} = 46 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 50 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 50 \text{ dB}$
	50 mm ZE 40 mm MFT 60 mm Splitt 160 mm BSP	80...140 mm BSP	$R_{Ff,w} = 61 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 55 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 55 \text{ dB}$
	160 mm BSP getrennt	80...140 mm BSP	$R_{Ff,w} = 50 \dots 54 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 51 \dots 53 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 51 \dots 53 \text{ dB}$
		2 x 18 mm GF 80...140 mm BSP 2 x 18 mm GF	$R_{Ff,w} = 54 \dots 58 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 58 \dots 60 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 58 \dots 60 \text{ dB}$

Konstruktive Hinweise zur Ausführung der flankierenden Massivholzbauteile werden in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3: Anschlusssituationen und Ausführungshinweise für flankierende Massivholzbauteile

Skizze	Trennbauteil	Maßgebliche Flankenbauteile
	Haus-trennwand	<ul style="list-style-type: none"> • Trennfuge im ganzen Gebäude durchgehend • Im DG: $R_{Ff,w}$ des flankierenden Dachs beachten • Im EG: $R_{Ff,w}$ der flankierenden Kellerdecke beachten
	Wohnungs-trennwand	<ul style="list-style-type: none"> • $R_{Ff,w}$ der flankierenden Decke beachten. Decke auf Trennwand nach Möglichkeit trennen, Rohdeckenbeschwerung $m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$ oder Unterdecke • Im DG: $R_{Ff,w}$ des flankierenden Dachs beachten • Im EG: $R_{Ff,w}$ der flankierenden Kellerdecke beachten

4. Differenzierte Berechnung

Sind die flankierenden Wände von Trenndecken unterschiedlich ausgeführt bzw. teilweise durch Zusatzmaßnahmen (Zusatzbeplankung, Installationsebenen, Elastomere im Wand- und Deckenaufleger) verbessert, so ist es sinnvoll die Flankenübertragung differenziert für die einzelnen Wände und Übertragungswege zu betrachten. Gleiches gilt für die horizontale Übertragung von flankierenden Massivholzdecken für die keine Planungsdaten im Bauteilkatalog vorliegen.

Die differenzierte Berechnung erfolgt nach:

$$R'_w = -10 \lg(10^{-0,1R_w} + \sum 10^{-0,1R_{ij,w}}) \quad (5)$$

$$L'_{n,w} = 10 \lg(10^{0,1L_{n,w}} + \sum 10^{0,1L_{n,ij,w}}) \quad (6)$$

Für die Trittschallübertragung sind neben dem bewerteten Norm-Trittschallpegel der Decke die Flankenübertragungen auf dem Weg $ij = Df$ und Dff zu berücksichtigen. Die Luftschalldämmung beinhaltet die Wege $ij = Ff$, Df und Fd (s. Abbildung 2).

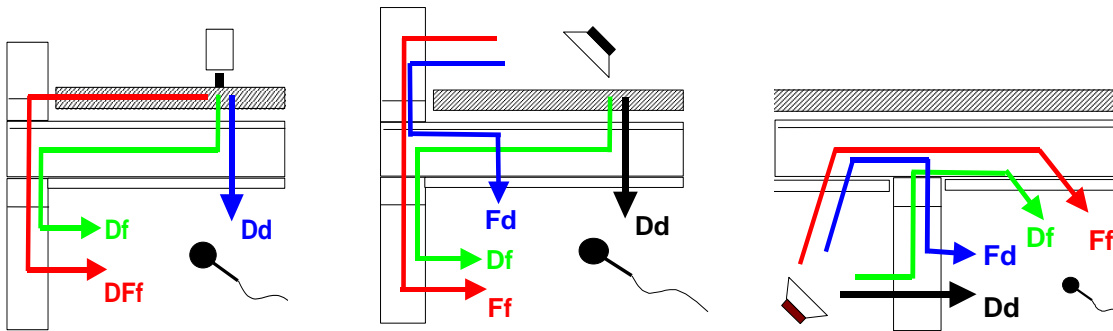


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Beiträge zur Schallübertragung im Holzbau: Bild links Trittschallübertragung; Bild in der Mitte und rechts Luftschallübertragung. Direkte Schallübertragung (Weg Dd) und Beiträge der Flankenübertragung auf den Übertragungswegen Ff , Df , Fd und Dff

In [14] konnte gezeigt werden, dass die Anwendung der Massivbau-Berechnungsmodelle [1], [17] auch für Massivholzbauteile, möglich ist. Die Flankenübertragung 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.

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_S}{l_0 l_f} \quad (7)$$

$$L_{n,ij,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + \frac{R_{i,w} - R_{j,w}}{2} - \Delta R_{ij,w} - K_{ij} - 10 \lg \frac{S_S}{l_0 l_f} \quad (8)$$

Die Berechnung kann sowohl frequenzabhängig als auch mit Einzahlwerten erfolgen. In beiden Fällen ist es sinnvoll rechnergestützte Umsetzungen zu verwenden, die die Besonderheiten im Holzbau berücksichtigen [15].

4.1. Umsetzung für Holzdecken

Für die Trittschallberechnung mit Einzahlwerten können die Eingangsdaten auch aus Labormessungen der Flankenübertragung $L_{n,ij,lab,w}$ ermittelt werden, wie sie für die Ermittlung der Korrektursummanden K_1 und K_2 in [18] durchgeführt wurden. Hierbei können zusätzliche Verbesserungen durch Vorsatzschalen $\Delta R_{ij,w}$ und Elastomere im Deckenstoß ΔK_{ij} berücksichtigt werden.²

$$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta K_{ij} - \Delta R_{j,w} - 10 \lg \frac{S_S}{l_0 l_f} \quad (9)$$

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

Liegen keine Labordaten für den Weg Df vor, kann $L_{n,Df,w}$ aus K_1 (Anhang 2) wie folgt ermittelt werden:

$$L_{n,Df,lab,w} = 10 \lg(10^{0,1(L_{n,w}+K_1)} - 10^{0,1L_{n,w}}) \quad (11)$$

Für den Weg DFf kann der Laborwert für die unterschiedlichen Situationen der Tabelle für K_2 entnommen werden (Anhang 2).

Die bewerteten Flankendämm-Maße bei Luftschallanregung werden für flankierende Holzständerwände (vertikale Übertragung) und flankierende Holzbalkendecken (horizontale Übertragung aus der Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ berechnet, die für verschiedene Ausführungen dem Bauteilkatalog entnommen werden kann.

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \left(\frac{S_S}{10m^2} \right) + 10 \lg \left(\frac{4,50m}{l_f} \right) \quad (12)$$

Werden zusätzliche Vorsatzschalen montiert, so kann das Flankendämm-Maß um die Verbesserung $\Delta R_{Ff,w}$ reduziert werden.

Flankierende Massivholzwände und -decken werden nach Gleichung (7) berechnet.

4.2. Stoßstellendämm-Maße für Massivholzelemente

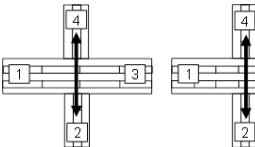
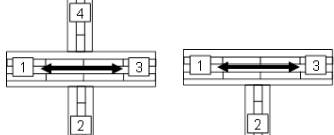
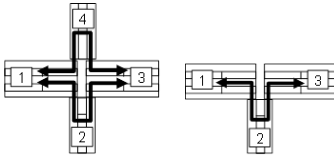
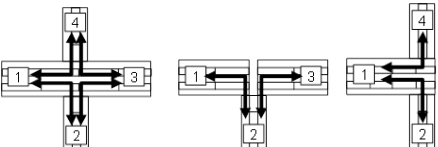
Eine zentrale Aufgabe des Projektes «Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten» war die Ermittlung von Stoßstellendämm-Maßen von verschiedenen Massivholz-Bauteilstößen, die für die Berechnung der Flankenübertragung nach den Gleichungen (7) und (8) erforderlich sind.

Hierzu wurden Bauteilstöße verschiedener Hersteller in realistischer Größe unter Laborbedingungen aufgebaut und das Stoßstellendämm-Maß nach DIN EN ISO 10848 ermittelt. Zusätzlich konnten in einer Arbeit von A. Timpte [19] Messdaten vergleichbarer Aufbauten aus verschiedenen europäischen Instituten zusammengetragen und verglichen werden.

Tabelle 4 zeigt als Auswertung der gesammelten Daten die Mittelwerte der Stoßstellendämm-Maße für verschiedene Decken-Wand-Stöße.

² Die Laborwerte wurden auf eine Kantenlänge im Labor $l_{lab} = 20$ m und die Trennfläche $S_{S,lab} = 20$ m² bezogen, wodurch sich diese Daten in Gleichung (10) und (11) herauskürzen.

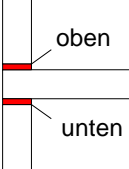
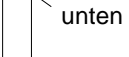
Tabelle 4: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für den Bauteilstoß Decke / Wand von Massivholzelementen ($t = 80 - 200 \text{ mm}$), Stoß verschraubt oder mit Winkeln montiert [14], [19].

Stoßstellentyp	Übertragungsrichtung	Stoßstellendämm-Maß
	«vertikale Übertragung» Weg Ff Wand durch Decke unterbrochen	$K_{Ff} = 21 \text{ dB}$
	«horizontale Übertragung» Weg Ff Decke durchlaufend	$K_{Ff} = 3 \text{ dB}$
	«horizontale Übertragung» Weg Ff Decke getrennt	$K_{Ff} = 12 + 10 \lg(m'_2/m'_1)$
	«gemischte Übertragung» Weg Df und Fd	$K_{Fd} = 14 \text{ dB}$ $K_{Df} = 14 \text{ dB}$

Die Ergebnisse sind mit Ausnahme der horizontalen Übertragung über ein getrenntes Deckenelement (Tabelle 4, Zeile 3) unabhängig von den Elementdicken und flächenbezogenen Massen.

Werden Bauteilstöße durch Elastomere (wirksam) entkoppelt, so kann das inklusive der Elastomere gemessene Stoßstellendämm-Maß für die Berechnung verwendet oder eine Verbesserung des Stoßstellendämm-Maßes ΔK_{ij} angegeben werden. Ergebnisse zur Verbesserung durch elastisch entkoppelte Bauteilstöße wurden von M. Schramm und F. Dolezal bereits 2010 veröffentlicht [20]. Ein Vergleich mit aktuellen Messwerten die mit zugelassenen Winkeln + Entkopplung ermittelt wurden, werden in Tabelle 5 gezeigt.

Tabelle 5: Verbesserung der Stoßstellendämm-Maße ΔK_{ij} durch elastische Entkopplungen

Anordnung der Elastomere	Entkoppelte Befestigungsmittel, Daten nach [20]	Daten nach [21], [22], [14]
 oben	oben oder unten	$\Delta K_{ij} = 7 \dots 10 \text{ dB}$
 unten	oben und unten	$\Delta K_{ij} = 8 \dots 19 \text{ dB}$

Auf den Übertragungsweg Fd wirkt sich nur das obere Elastomer aus. Auf Weg DF nur das untere Elastomer. Die Wege Ff und DFf werden von beiden Elastomeren beeinflusst.

4.3. Verbesserung durch Vorsatzschalen

Die Verbesserung durch Installationsebenen (Vorsatzschalen) hängt im Wesentlichen von der Kopplung der Schalen (Übertragung durch die Befestigung) und der Übertragung durch das Gefach zwischen den Befestigungen ab. Die Übertragung durch das Gefach wird maßgeblich durch die Masse-Feder-Masse Resonanz der Vorsatzschale beeinflusst. Diese lässt sich aus den flächenbezogenen Massen des Wandelements m'_1 und der Beplankung m'_2 sowie der dynamischen Steifigkeit s' der Schicht zwischen Wandelement und Beplankung berechnen.

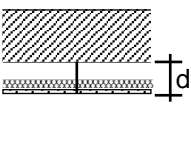
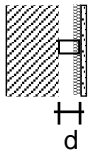
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (13)$$

Ist die Zwischenschicht leer oder mit einem leichten, weichen Hohlraumdämmstoff ausgefüllt so kann für s' die dynamische Steifigkeit der Luftschicht eingesetzt werden. Gleichung (13) wird dann mit der Luftschichtdicke d zu:

$$f_0 \approx 160 \sqrt{\frac{0,08}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (14)$$

Die Verbesserung der Vorsatzschalen tritt oberhalb der Resonanzfrequenz f_0 auf. D.h. umso kleiner f_0 ist, umso größer ist die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w durch die Vorsatzschale. Eine Auswertung der Verbesserungen durch Vorsatzschalen bei Massivholzelementen ist in Tabelle 6 dargestellt [23], [24].

Tabelle 6: Verbesserungen durch Vorsatzschalen vor Massivholzbauteilen in Abhängigkeit der Konstruktion und dem Grundbauteil [23],[24]

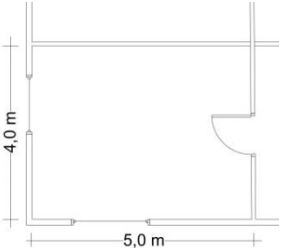
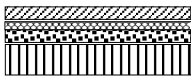
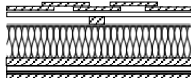
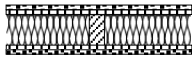
		Ausführung und Befestigung			
		starr verbunden	entkoppelt		
			$f_0 = 125 \dots 150$ Hz	$f_0 = 60 \dots 100$ Hz	$f_0 \leq 50$ Hz
Grundbauteil	Decke + Unterdecke 	$d = 20 \dots 60$ mm $f_0 = 70 \dots 140$ Hz $\Delta R_w = 0 \dots 6$ dB $\Delta L_{n,w} = 0 \dots 6$ dB	$d = 27$ mm $f_0 = 125 \dots 140$ Hz $\Delta R_w = -5 \dots 9$ dB $\Delta L_{n,w} = 4 \dots 12$ dB	$d = 40 \dots 100$ mm $f_0 = 60 \dots 70$ Hz $\Delta R_w = 2 \dots 6$ dB $\Delta L_{n,w} = 2 \dots 8$ dB	$d = 120 \dots 170$ mm $f_0 = 40 \dots 50$ Hz $\Delta R_w = 7 \dots 14$ dB $\Delta L_{n,w} = 7 \dots 20$ dB
	Wand + Installations-ebene 	$d = 20 \dots 60$ mm $f_0 = 90 \dots 120$ Hz $\Delta R_w = 2 \dots 6$ dB	$d = 27$ mm $f_0 = 125 \dots 150$ Hz $\Delta R_w = 5 \dots 9$ dB	z.T. freistehend $d = 40 \dots 70$ mm $f_0 = 74 \dots 90$ Hz $\Delta R_w = 15 \dots 21$ dB	freistehend $d = 85 \dots 110$ mm $f_0 = 25 \dots 50$ Hz $\Delta R_w = 25 \dots 30$ dB

5. Planung am Ausführungsbeispiel

Beispiele für den schalltechnischen Nachweis von Konstruktionen, die über die neue DIN 4109 abgedeckt werden, wurden in [25] vorgestellt. Nachfolgend sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie die Berücksichtigung von nicht abgedeckten Konstruktionsvarianten und Zusatzmaßnahmen in der Planung möglich ist.

Als Ausführungsbeispiel wird eine Massivholzdecke mit schwimmendem Zementestrich und einer Rohdeckenbeschwerung aus Splitt gewählt. Die flankierenden Massivholz-Außenwände sollen ihre Sichtholz-Oberfläche behalten. Die Innenwände werden als Holzständerwände ausgeführt. Die Eingangs- und Berechnungsdaten werden in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Eingangsdaten für die Berechnung (Dickenangaben in mm)

Grundriss / Anforderungen	Decke	Außenwand	Innenwand
 <p>4,0 m 5,0 m</p>	 <p>50 Zementestrich 40 MFT, $s' = 6 \text{ MN/m}^3$ 80 Splitt, $m' = 120 \text{ kg/m}^2$ 160 Brettschichtholz</p>	 <p>Schalung Lattung 160 Dämmung 80 Brettspertholz</p>	 <p>12,5 GKB 13 Spanplatte 100 KVH+MW 13 Spanplatte 12,5 GKB</p>
$S_S = 20 \text{ m}^2$ erf. $R'_w \geq 54 \text{ dB}$ zul. $L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$R_w = 70 \text{ dB}$ $L_{n,w} = 41 \text{ dB}$ $R_{D,w} = 52 \text{ dB}^{1)}$	$l_f = 9,0 \text{ m}$ $K_1 = 4 \text{ dB}$ $R_{f,w} = 32 \text{ dB}^{1)}$	$l_f = 9,0 \text{ m}$ $K_1 = 1 \text{ dB}$ $D_{n,f,w} = 67 \text{ dB}$
Beurteilung der Decke s. Anhang 1, Tab 2, Z.1	$L_{n,w} + C_{150-2500} < 53 \text{ dB}$		
Berechnung nach DIN 4109	$L'_{n,w} = 48 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + u_{\text{prog}} > \text{zul. } L'_{n,w}$ nicht erfüllt!	Außenwand maßgeblich: $K_1 = 4 \text{ dB}, K_2 = 3 \text{ dB}$	
Differenzierte Berechnung	$L'_{n,w} = 46,1 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + u_{\text{prog}} < \text{zul. } L'_{n,w}$ erfüllt!	$L_{n,Df,w} = 39,3 \text{ dB}$ $L_{n,DFf,w} = 41,5 \text{ dB}$	$L_{n,Df,w} = 31,7 \text{ dB}$ $L_{n,DFf,w} = 36,5 \text{ dB}$
	$R'_w = 54,3 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$ $R'_w - u_{\text{prog}} < \text{erf. } R'_w$ nicht erfüllt!	$R_{Ff,w} = 56,5 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 59,5 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 77,5 \text{ dB}$	$R_{Ff,w} = 67,0 \text{ dB}$
Zusatzmaßnahme Außenwand:	$L'_{n,w} = 44,7 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$ $L'_{n,w} + u_{\text{prog}} < \text{zul. } L'_{n,w}$ erfüllt!	$L_{n,Df,w} = 39,3 \text{ dB}$ $L_{n,DFf,w} = 33,5 \text{ dB}$	$L_{n,Df,w} = 31,7 \text{ dB}$ $L_{n,DFf,w} = 36,5 \text{ dB}$
Elastomer oben $\Delta K_{ij} = 8 \text{ dB}$	$R'_w = 60,7 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$ $R'_w - u_{\text{prog}} < \text{erf. } R'_w$ erfüllt!	$R_{Ff,w} = 64,5 \text{ dB}$ $R_{Fd,w} = 67,5 \text{ dB}$ $R_{Df,w} = 77,5 \text{ dB}$	$R_{Ff,w} = 67,0 \text{ dB}$

¹⁾ Schalldämm-Maß des Massivholzelements (bei der Decke inkl. Splitt) für die Berechnung nach Gleichung (7)

Folgende Ergebnisse werden in Tabelle 7 zusammengefasst:

- Zur Beurteilung des subjektiven Empfindens der Trittschallübertragung wird der Deckenaufbau in Zeile 2 zunächst mit den Konstruktionshilfen in Anhang 1 verglichen. Der Aufbau genügt den Bedingungen für $L_{n,w} + C_{150-2500} < 53$ dB. D.h. es ist keine störende Trittschallübertragung zu erwarten.
- Der Trittschallnachweis nach DIN 4109 wird in Zeile 3 nicht erfüllt. Die Korrektursummanden wurden für die Massivholzwand als maßgebende Wand auf der sicheren Seite gewählt. Der Luftschallnachweis nach DIN 4109 ist auf Grund der flankierenden Massivholzwände noch nicht möglich.
- In Zeile 4 werden die Ergebnisse der genaueren Berechnung für die unterschiedlichen Wandausführungen nach Gleichung (9) – (11) gezeigt. Dadurch werden die Trittschallanforderungen erreicht. Die Luftschallberechnung nach Gleichung (7) und (12) erreicht die Anforderungen hingegen nicht.
- Wird als Zusatzmaßnahme ein Elastomer mit einem $\Delta K_{ij} = 8$ dB unter der oberen Außenwand angeordnet, so werden auch die Anforderungen an die Luftschall-dämmung erreicht (Zeile 5).

Da die differenzierte Berechnung von den Vorgaben der DIN 4109 abweicht, muss der Nachweis für die Trenndecke über eine Baumessung erfolgen.

Ausführungsmöglichkeiten von Trenndecken in Mehrgeschossern und verschiedenen Zusatzmaßnahmen für die flankierenden Wände werden in Tabelle 8 für fünf Bauvorhaben gezeigt.

Tabelle 8: Vergleich von Prognose und Messung der Luft- und Trittschalldämmung für 5 Mehrgeschosser

BV	Decke	Wände	Zusatzmaßnahmen	Prognose	Baumessung
1	50 Zementestrich 30 MFT, $s' = 6$ MN/m ³ 80 Kalksplitt 180 Kastenelement+Tilger	Holzständer	Keine	$R'_w = 62,9$ dB $L'_{n,w} = 45,4$ dB	$R'_w = 63$ dB $L'_{n,w} = 45$ dB
2	80 Zementestrich 50 MFT, $s' = 6$ MN/m ³ 85 Kalksplitt 200 Brettsperrholz	100 MH	Elastomer oben+unten	$R'_w = 63,5$ dB $L'_{n,w} = 42,5$ dB	$R'_w = 66$ dB $L'_{n,w} = 45$ dB
3	65 Zementestrich 40 MFT, $s' = 6$ MN/m ³ 90 Kalksplitt 100 Brettschichtholz	100 MH 12,5GKB	Elastomer oben	$R'_w = 60,5$ dB $L'_{n,w} = 45,8$ dB	$R'_w = 63$ dB $L'_{n,w} = 45$ dB
4	60 Zementestrich 40 MFT, $s' = 6$ MN/m ³ 15 Holzfaserplatte 447 Holz-Beton-Verbund	≥ 100 MH	Vorsatzschalen		$R'_w = --$ dB $L'_{n,w} = 44$ dB
5	60 Zementestrich 40 MFT, $s' = 6$ MN/m ³ 90 Kalksplitt 200 Brettschichtholz	2x18 GF ≥ 100 MH 2x18GF	K ₂ 60 Kapselung	$R'_w = 60,1$ dB $L'_{n,w} = 44,0$ dB	$R'_w = 59$ dB $L'_{n,w} = 43$ dB

Im Wesentlichen werden drei mögliche Maßnahmen unterschieden:

- Deckenaufleger und/oder Wandaufleger mit Elastomer (wirksam) entkoppeln
- Flankierende Wände mit Vorsatzschalen nach Tabelle 6 ausführen $\Delta R_w > 5$ dB
- Flankierende Wände nach K_260 Kriterium ausführen (2 x 18 mm GF)

Wie die Ergebnisse der Baumessungen belegen, konnte in allen Fällen ein erhöhter Schallschutz erreicht werden.

6. Zusammenfassung

Mit dem deutlich umfangreicheren Bauteilkatalog (Teil 33) bietet die neue DIN 4109 wesentlich bessere Möglichkeiten für die schalltechnische Planung von Holzhäusern. Noch vorhandene Lücken betreffen vor allem Kosten-Nutzen-optimierte Deckenkonstruktionen und Massivholzbauteile. Als ein Beitrag zur Schließung dieser Lücken wurden für Decken, die als Trenndecken oder flankierende Decken von Trennwänden eingesetzt werden sollen, Berechnungsmöglichkeiten und Planungsdaten aufgezeigt. Die ausführliche Berechnung bietet die Möglichkeit die tatsächliche Bausituation genauer zu berücksichtigen und ist auch für Massivholzbauteile durchführbar.

7. Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die hilfreichen Diskussionen und Unterstützung besonders bei Andreas Mayr und Ulrich Schanda, sowie für die finanzielle Unterstützung durch die AiF und die DFG.

8. Literatur

- [1] DIN 4109-1:2016-07 Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen
DIN 4109-2:2016-07 Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
- [2] Beiblatt 2 zu DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“, Ausgabe 1989
- [3] VDI 4100 „Schallschutz im Hochbau - Wohnungen - Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz, Ausgabe 2012 und
VDI4100 „Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung“, Ausgabe 2007
- [4] DEGA-Empfehlung 103, „Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“, März 2009
- [5] Lang, J., Schallschutz im Wohnungsbau, Forschungsbericht ifip TU Wien, 2006
- [6] Hveem, S., Homb, A., Haagberg, K., Rindel, J. H., „Low-frequency footfall noise in multi-storey timber frame buildings“, NKB report 1996:12 E
- [7] Jeon, J., Y., Jeong, J. H., „Objective and Subjective Evaluation of Floor Impact Noise“, Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment, 2002, 2, 20-28
- [8] Warnock, A.C.C., „Low-frequency impact sound transmission through floor systems“, InterNoise, 2000
- [9] Scholl, W., „Das Normhammerwerk muss laufen lernen“, Tagungsband DAGA, 2001
- [10] Burkhart, C., Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen, Tagungsband DAGA 2002
- [11] B. Rasmussen, J. H. Rindel: Sound insulation of dwellings – Legal requirements in Europe and subjective evaluation of acoustical comfort. Proceedings of DAGA, 2003, 118–121
- [12] Kühn, B., Blickle R., „Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immission von Geschossdecken aus Holz“, WKSB, 2004, 52
- [13] Huissel, L., Ausarbeitung eines aktuellen Bauteilkataloges für den Schallschutz von Holzdecken zur Verwendung in der Fachliteratur und Normung, Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim, 2016
- [14] 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, in Bearbeitung
- [15] Châteauevieux-Hellwig, C., Mecking, S., Brummer, B., Rabold, A., Anwendung zur SEA basierten Berechnung nach EN 12354 für Massivholzelemente, Tagungsband DAGA 2016
- [16] Rabold, A., Schramm, M., Châteauevieux-Hellwig, C., SEA based prediction for integrated vibroacoustical design optimization of multi-storey buildings, Conference proceedings Euronoise'15, Maastricht
- [17] DIN EN ISO 12354, Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, 2016
- [18] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S.: Ergänzende Deckenmessungen zum Vorhaben: Integration des Holz- und Skelettbaus in die neue DIN 4109, Abschlussbericht des Labor für Schall- und Wärmemesstechnik zum DGfH-Forschungsvorhaben 2005
- [19] Timpte, A., Stoßstellendämm-Maße im Massivholzbau – Konstruktionen, akustische Kenngrößen, Schallschutzprognose, Masterarbeit TU Berlin und Hochschule Rosenheim, 2016
- [20] Schramm, M., Dolezal, F., Rabold, A., Schanda, U., Stoßstellen im Holzbau – Planung, Prognose und Ausführung, Tagungsband DAGA 2010.
- [21] Kruse, T., Messtechnische Untersuchung zur Stoßstellendämmung und Ausbreitungsdämpfung von Brettsperrholzbauteilen, Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim, 2015
- [22] Nicklaus, S., „Untersuchung zur schalltechnischen Entkopplung von Massivholzbauteilen an Wand-Decken-Stößen“, Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim, 2017
- [23] Hernández, A., M., Influence of suspended ceilings to airborne and impact sound insulation in massive wooden floors, Projektarbeit Hochschule Rosenheim, 2016
- [24] Ift Bauteildatenbank Wände
- [25] Mayr, A., Einig, J., Rabold, A., Bauteilkatalog Leichtbau nach DIN 4109, Tagungsband HolzBauSpezial, Bad Wörishofen 2017

Anhang 1

Konstruktionshilfen	Zielwert:			
	$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB	
	Verkehrslast		Verkehrslast	
	$p < 2,5$ kN/m ²		$p < 5$ kN/m ²	
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 oder ≥ 40 mm Betonpl., m' ≥ 100 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 oder ≥ 50 mm Betonpl., m' ≥ 120 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 24 mm Lattung ≥ 12,5 mm GKB, m' ≥ 10 ≥ 12,5 mm GKB, m' ≥ 10	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 30 mm Splitt, m' ≥ 45 oder ≥ 50 mm Betonpl., m' ≥ 120 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 100 mm Abh. + Däm. ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13 ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 100 mm Abh. + Däm. ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13 ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 200 mm Balken + Däm. ≥ 100 mm Abh. + Däm. ≥ 200 mm Balken ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 220 mm Balken mit ≥ 220 mm HWF, druckfest ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20			≥ 80 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 220 mm Balken mit ≥ 140 mm HWF, druckfest ≥ 80 mm Splitt, geb. ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20

ZE: Zement-, Anhydrit-, oder Flieseestrich mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 TE: Gipsfaser Trockenestrichelemente, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 V20, Dielen: Verlegespanplatten und Massivholzdielen mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 TSD: Mineralfaser- oder Holzweichfaser Trittschalldämmplatte mit der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' in MN/m³
 Splitt: Kalksplitt in Pappwaben, oder gebundener Splitt mit Latexmilch oder Zementemulsion, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 Betonpl.: Betonplatten, auf der Rohdecke verklebt oder im Sandbett verlegt, Kantenlänge ≤ 0,30 m, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 Balken, Däm.: Balkenlage nach Statik mit Hohlraumdämmung aus Faserdämmstoff, d ≥ 100 mm
 HWF: Druckfeste Holzweichfaser Dämmplatte, Rohdichte ρ ≈ 140 kg/m³
 Lattung: Massivholzlatten, 24 x 48 mm, geschraubt, geklammert oder genagelt, Achsabstand 417 mm
 Abh.: Federschienen und Abhänger mit Entkopplung durch Sylomer und Hohlraumdämmung aus Faserdämmstoff, d ≥ 100 mm
 GF, GKB: Gipsfaserplatten und Gipskartonplatten mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²

Konstruktionshilfen	Zielwert:			
	$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB	
	Verkehrslast		Verkehrslast	
	$p < 2,5$ kN/m ²		$p < 5$ kN/m ²	
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 12 mm TE, m' ≥ 13 ≥ 28 mm V20, m' ≥ 16 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50

ZE: Zement-, Anhydrit-, oder Flieseestrich mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 TE: Gipsfaser Trockenestrichelemente, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 V20: Verlegespanplatten, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 TSD: Mineralfaser- oder Holzweichfaser Trittschalldämmplatte mit der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' in MN/m³
 Splitt: Kalksplitt in Pappwaben, oder gebundener Splitt mit Latexmilch, oder Zementemulsion, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 Beton: Holzbetonverbund, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
 MHD: Brettstapel-, Brettschichtholz-, Brettsperrholz-, Hohlkasten- oder Leimprofilholzdecken, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m², Elementhöhe nach Statik

Anhang 2

Korrektursummand K_1 zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf dem Weg Df.

		Deckenaufbau		
		2 x GKP an FS	1 x GKP an FS	GKP Lattung o. direkt offene HBD BSD o. HKD
Wandaufbau im Empfangsraum	Wandbeplankung: GKP+ HWS	$K_1 = 6 \text{ dB}$	$K_1 = 3 \text{ dB}$	$K_1 = 1 \text{ dB}$
	GF	$K_1 = 7 \text{ dB}$	$K_1 = 4 \text{ dB}$	$K_1 = 1 \text{ dB}$
	HWS Holz o. HWS Element	$K_1 = 9 \text{ dB}$	$K_1 = 5 \text{ dB}$	$K_1 = 4 \text{ dB}$

Legende:

- GKP Gipskartonplatte, Rohdichte von $\rho \geq 700 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
- GF Gipsfaserplatte, Rohdichte von $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
- HWS ... Holzwerkstoffplatte, Rohdichte von $\rho \geq 650 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
- HBD Holzbalkendecke
- FS Federschiene
- Holz o. HWS Element Massivholzelemente oder 80-100 mm Holzwerkstoffplatte, $m' \geq 50 \text{ kg/m}^2$
- GKP Lattung o. direkt HBD mit Unterdecke an Lattung oder GKP + HWS direkt montiert
- offene HBD Holzbalkendecke mit sichtbarer Balkenlage
- BSD o. HKD Brettstapel-, Brettschichtholz- oder Hohlkastendecke




Korrektursummand K_2 zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf dem Weg Dff.

		Trittschallübertragung auf dem Weg Dd + Df :																			$L_{n,DFf,w}$ [dB]			
		$L_{n,w} + K_1$ in dB																						
		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	> 55	
Wandaufbau im Sende- und Empfangsraum	GKP + HWS Estrichaufbau a) ZE/HWF	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	$n = 4$ 44 $\sigma = 1,3$
	GF Estrichaufbau b) ZE/MF	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	$n = 7$ 40 $\sigma = 1,7$
	HWS Estrichaufbau c) TE	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$n = 8$ 38 $\sigma = 1,5$
Wandaufbau im Sende- und Empfangsraum	HWS Estrichaufbau a) ZE/HWF	11	10	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	$n = 1$ 46
	Holz- o. HWS- Element Estrichaufbau b) ZE/MF	10	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	$n = 7$ 45 $\sigma = 1,5$
	Holz- o. HWS- Element Estrichaufbau c) TE	8	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	$n = 6$ 42 $\sigma = 0,9$

Legende:

- GKP 9 mm – 12,5 mm Gipskartonplatte, Rohdichte von $\rho \geq 700 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
- GF 12,5 mm – 15 mm Gipsfaserplatte, Rohdichte von $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
- HWS 13 mm – 22 mm Holzwerkstoffplatte, Rohdichte von $\rho \geq 650 \text{ kg/m}^3$, mechanisch verbunden
- Holz- o. HWS- Element ... Massivholzelemente oder 80-100 mm Holzwerkstoffplatte, $m' \geq 50 \text{ kg/m}^2$

Estrichaufbau:

- a)  ZE/HWF: mineralisch gebundener Estrich oder Gussasphalt auf Holzweichfaser- Trittschalldämmplatten
Randdämmstreifen: > 5 mm Mineralfaser- oder PE - Schaum- Randstreifen
- b)  ZE/MF: mineralisch gebundener Estrich oder Gussasphalt auf Mineralfaser-, oder PST Trittschalldämmplatten
Randdämmstreifen: > 5 mm Mineralfaser- oder PE - Schaum- Randstreifen
- c)  TE: Trockenestrich auf Mineralfaser-, PST-, oder Holzweichfaser- Trittschalldämmplatten
Randdämmstreifen: > 5 mm Mineralfaser- oder PE - Schaum- Randstreifen