

Tiefe Frequenzen beim Trittschall und differenzierte Flankenbewertung bei Trittschallübertragung – Ifo Schriftreihe Schallschutz im Holzbau

Adrian Blödt
IB Blödt / Blödt Holzkomplettbau GmbH
Kohlberg, Deutschland



Tiefe Frequenzen beim Trittschall und differenzierte Flankenbewertung bei Trittschallübertragung – Ifo Schriftreihe Schallschutz im Holzbau

1. Bedeutung tiefer Frequenzen im Bereich des Trittschalls

Die deutsche Schallschutznormung kennt seit jeher den Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz als Auswertebereich für bauakustische Kennwerte. Dabei erfolgt im Bereich des Trittschalls die Bewertung durch die Anregung mit einem Normtrittschallhammerwerk und der anschließende «Vergleich» mit einer Bezugskurve. Dabei wird für den bautechnische nachzuweisenden Schallschutz immer der bereits genannte Bereich von 100 Hz bis 3150 Hz herangezogen. Es werden die Kennwerte $L'_{n,w}$ (bewerteter Normtrittschallpegel am Bau) und $L_{n,w}$ (bewerteter Normtrittschallpegel «im Labor») als Kenngrößen zur Beschreibung der bauakustischen Güte gegenüber Trittschallanregung herangezogen. Sehr häufig allerdings klagen Nutzer unabhängig von der Bauweise über tieffrequente Störungen verursacht von Gehgeräuschen. Genau diese Gehgeräusche, die als Dröhnen zum Ausdruck kommen, sind Zusehens Grund juristischer Auseinandersetzungen. Die Klagen der Nutzer sind dabei sehr häufig unabhängig von der erreichten Höhe des $L'_{n,w}$ und kommen sowohl bei «guten» als auch schlechten Decken vor. Es muss also die Frage gestellt werden, ob die reine Bewertung von Deckenkonstruktion durch $L'_{n,w}$ bzw. $L_{n,w}$ für die subjektive Wahrnehmung von Nutzern ausreichend ist. Hierbei kann sowohl der Frequenzbereich der Bewertung aber auch die Art der Anregung in Frage gestellt werden. Was den zu bewertenden Frequenzbereich angeht ist dieser in Abbildung 1 dargestellt.

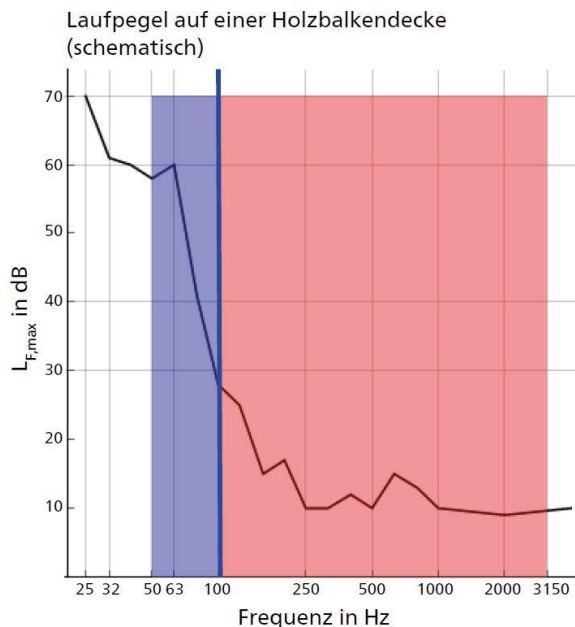


Abbildung 1: schematische Darstellung des Laufpegels unter einer Holzdecke

Der rot hinterlegte Bereich in Abbildung 1 ist der Normauswertebereich von 100 Hz bis 3150 Hz, welcher bisher zur Bewertung der Dweckenkonstruktion herangezogen wird. Die Kurve für den Laufpegel (Schallpegel, den ein «Standardgeher» hervorruft) liegt im roten Bereich bei relativ geringen Pegeln. Das heisst die Schallenergie, die eine Deckenkonstruktion in diesem Bereich durch einen Geher überträgt, ist vergleichsweise gering. Der Vergleich ist in diesem Fall bei der Betrachtung des blauen Bereichs zu ziehen. Dies ist der erweiterte Frequenzbereich bis 50 Hz. Es wird deutlich, dass hier die Laufpegel deutlich

grössere Werte annehmen, was einer verstärkten Schallübertragung in diesem Bereich gleichkommt. Dieser Bereich wird aber durch $L'_{n,w}$ oder $L_{n,w}$ nicht erfasst, da dieser eben unterhalb von 100 Hz liegt. Das bedeutet dort, wo die «meiste» Schallenergie angeregt bzw. übertragen wird, wird aktuell kein Kennwert gebildet. Man könnte getrost von einem «tauben Fleck» sprechen. Diese Fehlstellung kann durch die Erweiterung des Betrachtungsspektrums bis auf 50 Hz korrigiert werden. Hierbei wird dann der $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ bzw. der $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ betrachtet ($C_{I,50-2500}$ Spektrumanpassungswert I = Impact für den Frequenzbereich von 50 – 2500 Hz). Dadurch wird erreicht, dass bei Anregung durch das Normtrittschallhammerwerk auch die Bereiche erfasst werden die hohe Laufpegel hervorrufen können. Werden nun «gehör richtig» bewertete Pegel (A-bewertete Pegel) über den $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ aufgetragen ergibt sich ein klar erkennbarer Zusammenhang, bei dem mit sinkendem $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ auch die Störwirkung bei Nutzern abnimmt, dies ist in Abbildung 2 zu sehen.

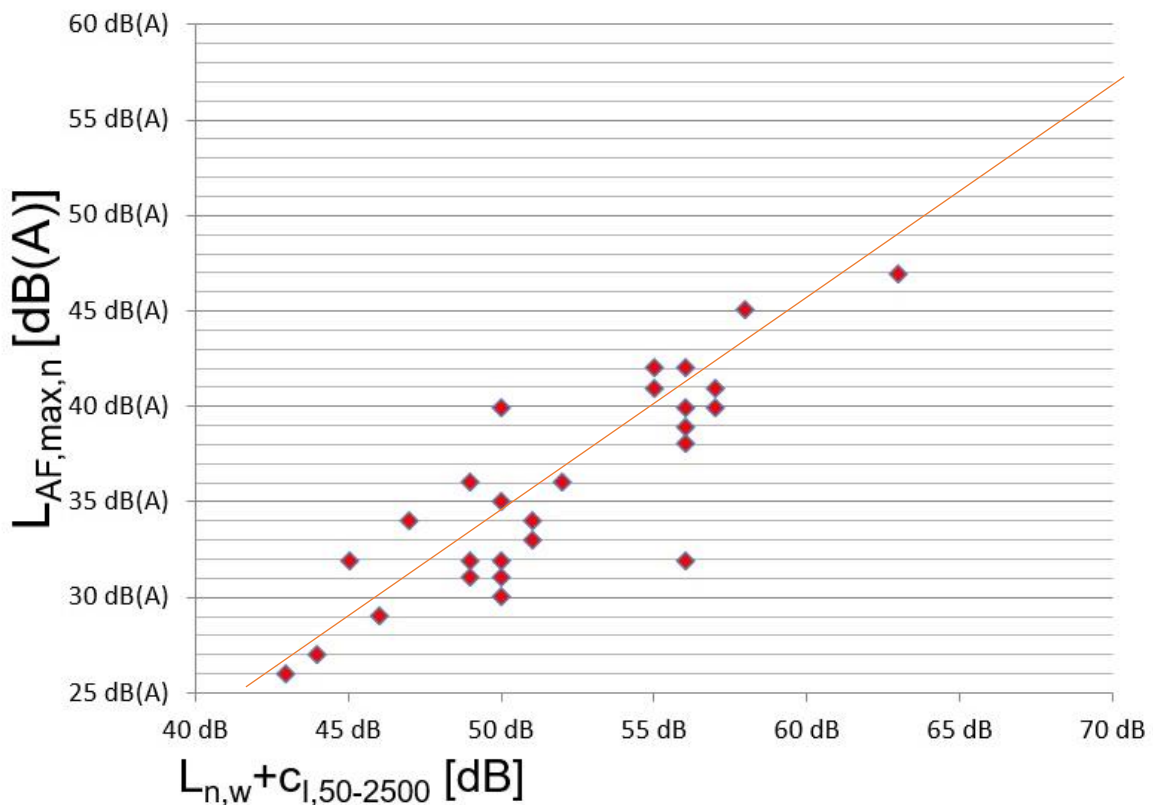


Abbildung 2: schematische Darstellung des «gehör richtig» bewerteten Pegel über dem Deckenmesswert $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$

Der in Abbildung 2 zu erkennende Effekt ist bei gleicher Vorgehensweise mit dem $L_{n,w}$ nicht zu sehen. Wird die «gehör richtige» Bewertung mit dem $L_{n,w}$ verglichen, so lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen verbessertem Deckenkennwert und geringerer Störwirkung herstellen. Trotz der sehr guten Datenlage hinsichtlich der Relevanz der tief-frequenten Trittschallgeräusche und dem Deskriptor $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ wird in Deutschland auch für den erhöhten Schallschutz noch immer die reine Verbesserung der Kenngrösse $L_{n,w}$ bzw. $L'_{n,w}$ normativ angewandt.

Doch nicht nur die Erweiterung des Frequenzbereichs kann die tatsächliche Störwirkung wirkungsvoller darstellen, auch die Verwendung alternativer Anregungsquellen kann zu einer verbesserten Bewertung von Deckenkonstruktionen hinsichtlich der akustischen Störwirkung führen. Als Beispiel sei hier die Anwendung des «japanischen Gummiballs» genannt. Bei dieser Methode werden Decken durch Abwurf eines normierten Gummiballs aus 1,0m Höhe sehr gezielt im tieffrequenten Bereich angeregt, was Gehgeräuschen bzw. störenden Laufgeräuschen näherkommt als die Anregung mit dem Trittschallhammerwerk. Im europäischen Raum ist diese Methode noch nicht weit verbreitet, während diese

in asiatischen Ländern die Standardvorgehensweise darstellt. Auch ein Wechsel der Anregungsquelle mit höherem tieffrequenten Anregungsanteil wie hier beschrieben, kann dabei behilflich sein, leichte Decken gezielt für das genannte Spektrum zu optimieren.

Sowohl für die Erweiterung des Frequenzbereichs als auch den Wechsel der Anregungsart bei Trittschall- und Laufgeräuschen besteht noch Forschungsbedarf. Die zahlreichen Rückmeldungen aus der Praxis sowie umfangreiche Forschungsarbeiten zeigen aber, dass die alleinige Reduktion von $L'_{n,w}$ oder $L_{n,w}$ nicht zielsicher zu subjektiv wahrnehmbar verbesserten Deckenkonstruktionen führt. Es bedarf weiterer Deskriptoren wie zum Beispiel $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$.

1.1. Anforderungskenngrößen, welche tiefe Frequenzen berücksichtigen

Wie bereits beschrieben und erläutert sind über den Normtrittschallpegel hinausgehende Kenngrößen erforderlich. Dabei wird immer darauf abgestellt, ob ein Laufgeräusch noch störend ist oder nicht. Für die meisten Menschen liegt die Störschwelle gegenüber Trittschall bei 33 – 36 dB(A). Liegen die durch das Begehen einer Decke hervorgerufen A-bewerteten Pegel über diesem Pegelbereich, so nehmen die meisten Menschen diese als unangenehm wahr. Liegt der «gehör richtig» bewertete Pegel unter 33 dB(A), sind Trittschallgeräusche nicht oder nicht mehr störend wahrzunehmen. Unter Zuhilfenahme des Zusammenhangs in Abbildung 2 lassen sich daraus Anforderungskenngrößen herleiten. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

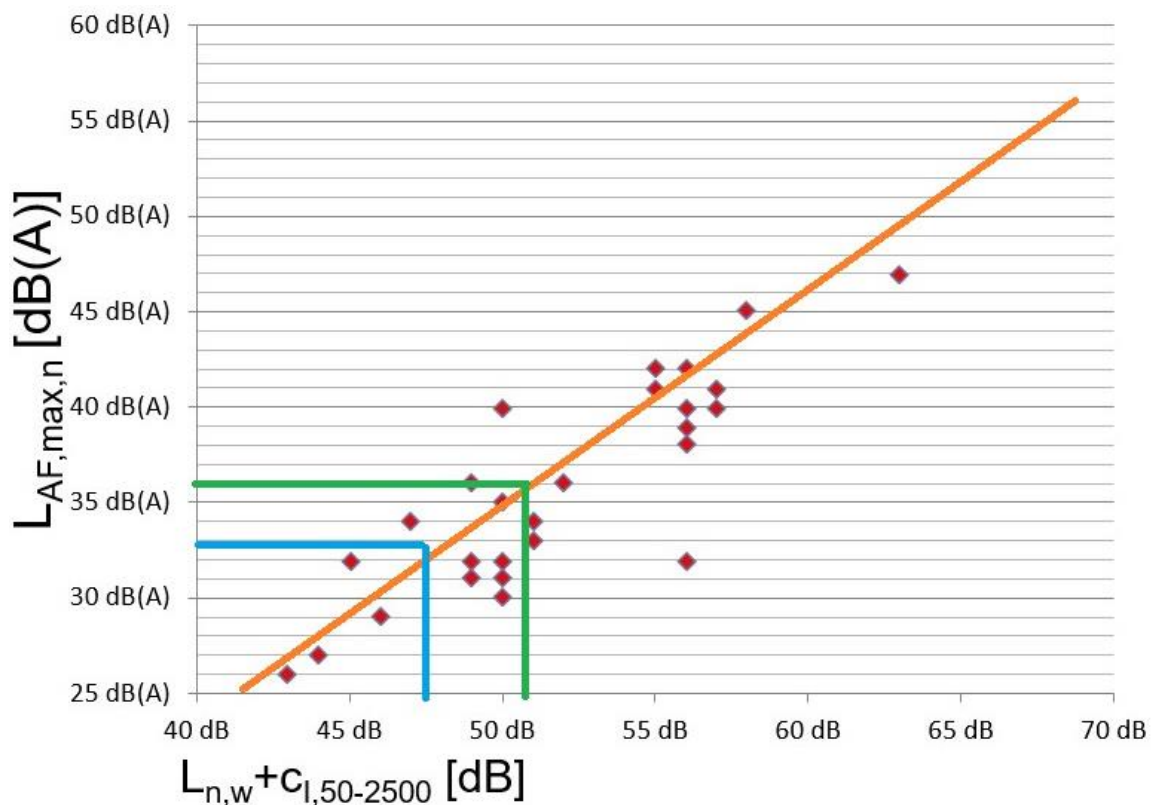


Abbildung 3: schematische Darstellung des «gehör richtig» bewerteten Pegel über dem Deckenmesswert $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ sowie Eintragung der Wahrnehmungsschwellen

Es ist zu erkennen, dass bei einem Wert von $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \approx 50$ dB die Störschwelle in der Regel unterschritten wird. Bei $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 47 - 48$ dB ist davon auszugehen, dass die meisten Menschen die Laufgeräusche nicht mehr bzw. nicht mehr störend wahrnehmen. Aus dieser Erkenntnis lassen sich für Wohnungstrenndecken hinsichtlich des Trittschallschutzes gezielt Anforderungskennwerte für $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ darstellen, siehe Tabelle 1.

Hier wurde ein Tabellenwerk entwickelt, welches die oben ausgeführten Erkenntnisse aufnimmt und als Empfehlungswerte für die Vereinbarung eines Schallschutzniveaus niederlegt.

Tabelle 1: Niveauevereinbarungstabelle aus [1] ergänzt um DIN 4109-5:2020

Bauteil / Schallschutzniveau	Mindestschallschutz muss gewährleistet werden	erhöhter Schallschutz wird vertraglich vereinbart		
	BASIS = DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT	DIN 4109-5:2020
1 Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 56 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 59 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 56 \text{ dB}$
2 Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 62 \text{ dB}$ $R_w + C_{50-5000} \geq 62 \text{ dB}^{1) 5)}$	$R'_{w} \geq 67 \text{ dB}$ $R_w + C_{50-5000} \geq 65 \text{ dB}^{1) 5)}$	$R'_{w} \geq 67 \text{ dB}^{6)}$
3 Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 57 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 60 \text{ dB}$	$R'_{w} \geq 57 \text{ dB}$
4 Wohnungstrenndecke Trittschall	$L'_{n,w} \leq 53/50 \text{ dB}^{3)}$	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$ $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50 \text{ dB}^{2)}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$ $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 47 \text{ dB}^{2)}$	$L'_{n,w} \leq 45 \text{ dB}$
5 Dachterrassen und Loggien mit darunterliegenden Wohnräumen	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 45 \text{ dB}$
6 Decken unter Laubengängen (in alle Schallausbreitungsrichtungen)	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 45 \text{ dB}$
7 Treppenlauf und Podeste	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 47 \text{ dB}$
8 Aussenlärm	Aussenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109	Aussenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109	Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $C_{tr,50-5000}$ für das opake Bauteil ⁴⁾	Aussenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109
9 Weitere Bauteile ⁷⁾	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-5:2020	nach DIN 4109-5:2020

¹⁾ ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken

²⁾ ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken

³⁾ Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$

⁴⁾ für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung

⁵⁾ Anforderung an die Doppelschalenwand, beide Wände

⁶⁾ wird eine Unterkellerung als Weisse Wanne mit durchlaufendem flankierenden Aussengewinde ausgeführt. Gilt $R'_{w} \geq 64 \text{ dB}$

⁷⁾ der Schallschutz von gebäude- und raumlufttechnischen Anlagen (Haustechnik) wird in dieser Vereinbarung nicht betrachtet

Dabei wird hier auf Trittschallgeräusche abgezielt, da die Anregung im tieffrequenten Bereich sehr dominant beim Gehen stattfindet. Bei der Luftschallübertragung können diese Erkenntnisse nicht eins zu eins angewandt werden, da es fraglich ist, ob hier bei wohnüblichen Geräuschen überhaupt eine derart starke tieffrequente Anregung und damit überhaupt die Notwendigkeit zu deren Berücksichtigung vorliegt. Eine Ausnahme bildet hier die Reihenhaustrennwand. Bei dieser «Wandart» kann es je nach Lage des Treppenhauses im Gebäude auch zu einer Anregung durch Laufen kommen, vor diesem Hintergrund wird bei [1] eine Berücksichtigung der tiefen Frequenzen empfohlen, welche sich aus dem Vorliegen von Gehgeräuschen ableiten lässt.

2. Massnahmen zur Minderung der tieffrequenten Übertragung

Es darf nun zurecht die Frage gestellt werden, mit welchen Massnahmen eine gezielte Verbesserung des tieffrequenten Übertragungsverhaltens herbeigeführt werden kann. Dabei darf die Holzbauweise nicht als eine Bauweise mit immer gleichen Eigenschaften verstanden werden. Es ist vielmehr ein differenzierter Blick auf die unterschiedlichen Bausysteme zu werfen. Die Unterschiede sind vielfältiger Art und müssen gesondert betrachtet werden. Im Rahmen dieses Beitrags sollen nun die Balkenlage und die Massivholzdecke aus Brettspertholz genauer betrachtet werden. Dabei werden aber nicht alle Massnahmen zur Verbesserung des $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dargestellt. Neben der Erhöhung der Masse und der Estrichdicke, dürfte für eine Balkenlage das grösste Potential für eine Balkenlage in der Optimierung der Lagerungseigenschaften von Unterdecken liegen. Deshalb soll an Stelle die Anwendung von Unterdecken an Balkenlagen und Massivholzdecken dargestellt werden. Für weitere Überlegung und Verbesserungsansätze wird auf [1] verwiesen.

2.1. Die Unterdecke bei Holzbalkendecken

Über Jahrzehnte hinweg hat es sich als probates Mittel erwiesen, Holzbalkendecken durch eine Beschwerung in Verbindung mit einer Unterdecke hinsichtlich des Trittschalls zu verbessern. Tatsächlich ist es unumstritten, dass der bewertete Standard- oder Normtrittschallpegel durch beide Massnahmen erheblich verbessert wird. Wird jedoch das erweiterte Frequenzspektrum durch den $C_{1,50-2500}$ ergänzend betrachtet, so muss die Lagerungseigenschaft der Unterdecke nochmals genauer betrachtet werden. Für die Verbesserungen war es bisher üblich mehr Masse auf die Decke zu bringen, was zu einer statischen Zusatzlast führt. Dies führt zu Mehrkosten durch eine zusätzliche Bauteilschicht sowie durch die grössere statische Belastung.

Wie jedes Feder-Masse-System besitzt auch die Unterdecke (Masse = GK Beplankung / Feder = Abhängesystem) mindestens eine «ausgeprägte» Eigenfrequenz. Liegt diese Eigenfrequenz über 20 – 25 Hz, so kommt es in der Regel zu einer Erhöhung der Trittschallübertragung im oben dargestellten und relevanten Bereich von unter 100 Hz. Durch Verwendung spezieller «weicher» Abhänger oder schwererer Beplankung kann die Eigenfrequenz unter 20 Hz ausgelegt werden, siehe Abbildung 4 und Abbildung 5.

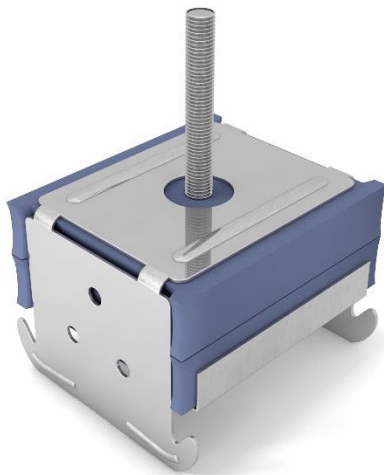


Abbildung 4: Abhängesystem mit grösserer möglicher Abhängehöhe z.B. Regopol QHF plus



Abbildung 5: vormontierbares Abhängesystem mit minimaler Abhängehöhe z.B. Knauf VF5

Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, sind die Auswirkung der Eigenfrequenz auf das Übertragungsverhalten beim Trittschall deutlich zu erkennen. Systeme mit hohen Eigenfrequenzen, wie zum Beispiel Abhängungen aus Federschienen, weisen sehr hohe Pegel im Bereich unter 100 Hz trotz schwerer Schüttung auf. Wohingegen Systeme ohne Schüttung und weichem Abhängesystem ($f_0 = 16$ Hz) geringere Trittschallpegel bei 50 – 63 Hz hervorrufen.

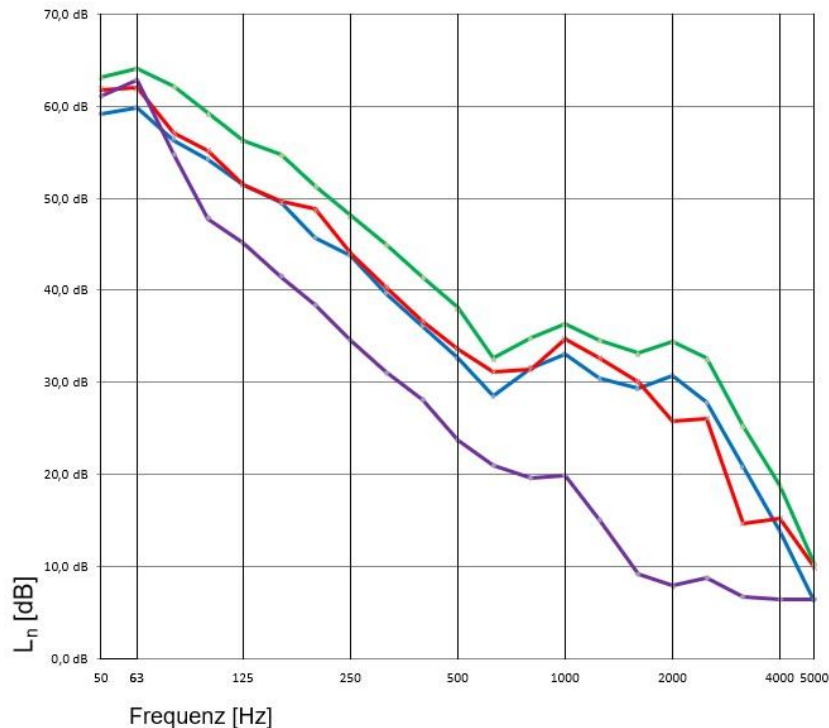


Abbildung 6: Einfluss der Unterdeckeneigenfrequenz auf den Normtrittschallpegel blau: 2 x 18mm GKF $f_0 = 16$ Hz / rot 1 x 25mm GKF + 12,5 mm GKF an Federschiene $f_0 = 32$ Hz / grün: 1 x 18mm GKF $f_0 = 28$ Hz / violett 1 x 25mm GKF + 12,5 mm GKF an Federschiene sowie Beschwerung 60 kg/m² auf der Balkenlage $f_0 = 32$ Hz

Dies kommt auch bei der Betrachtung der Einzahlwerte zum Ausdruck.

Blaue Kurve: $L_{n,w} = 41$ dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500} = 49$ dB
Balkenlage mit optimierter Abhängung und 2 x 18 mm GKF

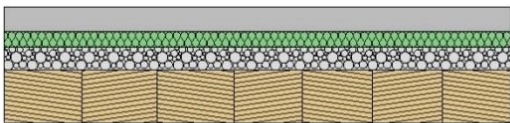
Violette Kurve: $L_{n,w} = 33$ dB $L_{n,w} + C_{I,50-2500} = 51$ dB
Balkenlage mit Schüttung und Federschiene sowie 25mm + 12,5 mm GKF Beplankung

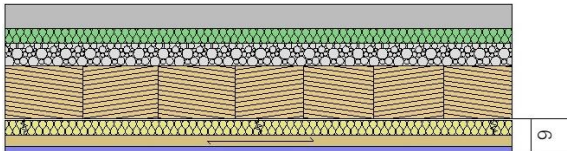
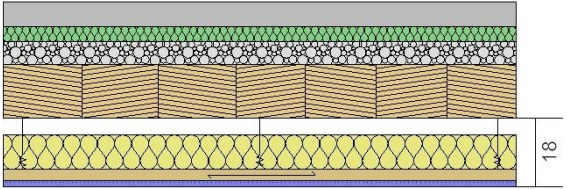
Trotz erheblich besserer Werte im Normauswertebereich ($L_{n,w} = 33$ dB zu $L_{n,w} = 41$ dB) zeichnet sich die Decke ohne Schüttung und optimierten Abhängsystem mit Werten von $L_{n,w} + C_{I,50-2500} < 50$ dB aus. Dies wird mit einer sehr wirtschaftlichen Decke ohne weitere Beschwerung erreicht. Dieser Decke wäre der Vorzug gegenüber der beschwerten Decke zu gewähren, wenn die subjektive Höreindruck und das Wohlbefinden der Nutzer im Vordergrund stehen soll.

2.2. Die Unterdecke bei Massivholzdecken

Völlig anders verhält es sich bei der Verbesserung von Massivholzdecken durch abgehängte Unterdecken. Hier sollen in nachstehender Tabelle nur die Einzahlwerte der Trittschallübertragung miteinander verglichen werden.

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Massivholzdeckenausführungen mit und ohne Unterdecke

Abbildung	$L_{n,w}$	$C_{I,50-2500}$	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$	Bemerkung
	40 dB	9 dB	49 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m ² Beschwerung

	24 dB	29 dB	53 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m ² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand 90 mm
	23 dB	26 dB	49 dB	Massivholzdecke mit 90 kg/m ² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand 180 mm

In Tabelle 2 wird deutlich, dass die Unterdecke eine sehr grosse Verbesserung des $L_{n,w}$ mit sich bringt. Wird aber der Bereich unter 100 Hz durch den $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ untersucht, so führen Unterdecken mit Abhängehöhen unter 200 mm zu einer Verschlechterung des subjektiv wahrnehmbaren übertragenen Trittschalls. Dies liegt auch hier im Feder-Masse System und dessen Eigenfrequenz begründet. Hierbei spielt die Dicke der Luftschicht, welche zwischen 2 schallharten Flächen (OK Gipsdecke zu UK Massivholzdecke) eingeschlossen ist die entscheidende Rolle. Liegt die Dicke der Luftschicht um 100 mm, so stellt sich $f_0 \approx 50$ Hz («Luftfeder») ein. Genau bei dieser Frequenz kommt es zu einer verstärkten Übertragung des Trittschalls, was sich mit $L_{n,w} + C_{I,50-2500} = 53$ dB deutlich niederschlägt. Das bedeutet sogar eine Verschlechterung gegenüber der Decke ohne weitere Unterdecke. Daraus lässt sich schliessen, dass nicht alle Erkenntnisse von Holzbalkendecken ohne weitere Überprüfung auch auf Massivholzdecken übertragbar sind. Nicht jede Massnahme, die bei Holzbalkendecken gute Wirksamkeit erzielt, erzielt dies in gleicher Art auch bei Massivholzdecken. Bei Massivholzdecken sind Unterdecken nur mit Abhängehöhen $d \geq 200$ mm zu empfehlen. Ansonsten sollte bei Massivholzdecken ohne Unterdecke die flächenbezogene Masse der elastisch gebundenen Schüttbeschwerung erhöht werden, um Verbesserung im tieffrequenten und dem Normspektrum zu erzielen.

3. Differenzierte Betrachtung der Trittschallübertragung



Abbildung 7: Cover der Informationsdienst Holz Schrift zur differenzierten Flankenbewertung [2]

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick über den Inhalt der in Abbildung 7 dargestellten Schrift «Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung» des Informationsdienst Holz gegeben werden. Dabei sollen in aller Kürze die Vorteile einer differenzierten Betrachtungsweise bei der Trittschallübertragung gegenüber dem bisherigen Verfahren aufgezeigt werden. Dadurch wird es möglich wirtschaftlichere Holzkonstruktion zu realisieren, bei denen das Potential von Verbesserungsmassnahmen an flankierenden Wänden bei der Trittschallübertragung voll ausgeschöpft wird.

3.1. Überblick über die Methoden und bisherige Vorgehensweise im Holzbau

Bevor das «neue» Bemessungsverfahren nach [3] aufgegriffen werden soll, muss kurz der bisherige Stand zur Bemessung dargestellt werden.

Die Normreihe DIN 4109 stellt in DIN 4109-2:2016/2018 [4] ein Verfahren zur Verfügung, welches in der Regel auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse für die Trittschallübertragung liefert. Dies führt typischerweise zu einer Überbemessung der Bauteile. Messungen liegen häufig deutlich günstiger als dies in der Prognose vorhergesagt wird. Kernstück dieser Herangehensweise ist die Addition der Flankenkorrektursummanden K_1 und K_2 . Dabei steht K_1 für den Übertragungsweg über den Balkenkopf D_f (grüner Pfad in Abbildung 8) und K_2 für den Weg für die Randeinbindung der Decke/Estrich D_{ff} (roter Pfad in Abbildung 8). Beide Korrektursummanden werden dem bewerteten Normtrittschallpegel aus dem Labor hinzuaddiert, um den bewerteten Normtrittschallpegel am Bau $L'_{n,w}$ zu erhalten siehe (1). Anschliessend wird der so ermittelte Wert noch mit einem Sicherheitsaufschlag $u_{\text{prog}} = 3 \text{ dB}$ versehen, um die Prognose gegenüber der «Baumessung» und deren üblichen statischen Schwankungen «abzusichern» siehe (2).

$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2$	(1)
$L'_{n,w} + u_{\text{prog}} \leq \text{zul. } L'_{n,w}$	(2)

Bei dieser Vorgehensweise kann aber nur eines von in der Regel 4 flankierenden Bauteilen berücksichtigt werden. Deshalb wird hier immer die ungünstige Flanke im Sinne der Trittschallübertragung verwendet. Dies führt dazu, dass selbst bei maximaler Verbesserung an 3 von 4 flankierenden Wänden (z.B. durch freistehende Vorsatzschalen) diese nicht berücksichtigt werden können. Gleiches gilt für Verbesserungsmassnahmen wie elastische Zwischenschichten oder dergleichen, welche ebenfalls keine Berücksichtigung finden können. Dadurch kann es zu einer erheblichen Überbemessung der Deckenkonstruktion kommen. Deshalb wurde in [3] und [2] der Vorschlag für ein differenziertes Berechnungsverfahren in Anlehnung an DIN EN 12354-2:2017 unterbreitet. Diese Vorgehensweise soll nachstehend vorgestellt werden. Dabei sind 2 Methoden bei der Bewertung der flankierenden Übertragung zu unterscheiden. Auf die Darstellung der einzelnen Eingangsparameter soll hier verzichtet und auf [2] und [5] verwiesen werden.

3.2. Methode 1 / Untersuchung der einzelnen Pfade

Bei der ersten Methode wird die Vorgehensweise aus dem bisherigen Normverfahren wieder aufgegriffen und es werden die einzelnen Pfade wie diese in Abbildung 8 dargestellt, bauakustisch bewertet. Dabei wird jedem Pfad ein sogenannter bewerteter Normflankenpegel zugewiesen. Ein Unterschied zum Normverfahren ist, dass Verbesserungen wie elastische Zwischenschichten oder freistehende Vorsatzschalen auf den einzelnen Pfaden berücksichtigt werden können. Der wesentliche Unterschied aber ist nun, dass die Berechnung der beiden Pfade für jede Flanke für sich genommen erfolgt. Das bedeutet es gibt für jede Flanke mindestens zwei bewertete Normflankenpegel. Bei den üblicherweise vorliegenden 4 Flanken ergeben sich somit 8 bewertete Normflankenpegel und ein $L_{n,w}$ für die direkte Übertragung durch die Decke. Diese Herangehensweise führt zu sehr genauen Ergebnissen und kann problemlos mit der in [3] dargestellten Trittschallbewertung im

Massivbau kombiniert werden. Darüber hinaus lassen sich eine Vielzahl von Verbesserungsmassnahmen mit verschiedenen Grundwänden kombinieren. Das bedeutet die Prognosemöglichkeiten steigen. Die dazugehörigen Formeln sind unten aufgezeigt. Eingangsdaten für das Verfahren aus dem Labor für diese Berechnungen sind in [2] und [5] ausführlich dargelegt und werden hier nicht wiederholt.

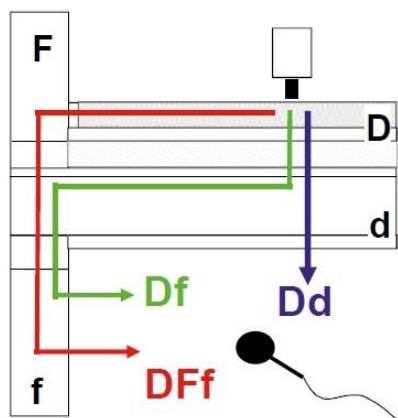


Abbildung 8: Darstellung der einzelnen Übertragungspfade bei der Trittschallübertragung

$L_{n,Df,lab,w} = 10 \log \left(10^{\left(\frac{L_{n,d,w} + K_1}{10} \right)} - 10^{\left(\frac{L_{n,d,w}}{10} \right)} \right)$	(3)
$L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left(\frac{S_i}{I_0 l_{ij}} \right)$	(4)
$L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta R_{ij,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left(\frac{S_i}{I_0 l_{ij}} \right)$	(5)

- K_1 : Korrektursummand für den Weg über den Deckenkopf
 $L_{n,DFf,lab,w}$: Norm-Trittschallpegel flankierend über den Estrichranddämmstreifen im Labor gemäss [2]
 $\Delta R_{j,w}$: Verbesserung an der Flanke im Empfangsraum gemäss [2]
 $\Delta R_{jj,w}$: Verbesserung an den beiden Flankenwänden gemäss [2] / werden die Massnahmen sende- und empfangsraumseitig ausgeführt so darf mit guter Näherung der Wert für $R_{j,w}$ mit dem Faktor 1,5 multipliziert werden (wenn keine gesonderten Daten für $R_{ij,w}$ vorliegen)
 ΔK_{ij} : Verbesserung des Stossstellendämmmasses aus Herstellerangaben¹

Sind die bewerteten Normflankenpegel berechnet und ist $L_{n,w}$ der Decke bekannt, so wird der bewertete Normtrittschallpegel am Bau $L'_{n,w}$ nach (6) durch energetische Addition aller ermittelten bewerteten Normtrittschall- bzw. Normflankentrittschallpegel gebildet.

$L'_{n,w} = 10 \log \left(10^{\left(\frac{L_{n,d,w}}{10} \right)} + \sum_{j=1}^n 10^{\left(\frac{L_{n,jj,w}}{10} \right)} \right)$	(6)
---	-----

Unter Anwendung des Prognoseaufschlags ist nach (2) der Nachweis zu führen.

3.3. Methode 2 Untersuchung der Gesamtflanke

Die zweite Herangehensweise vereinfacht die oben dargestellte differenzierte Betrachtung dadurch, dass die beiden Flankenpfade durch Messung zu einem Kennwert «verschmolzen» werden. Dabei wird aus einem im Labor ermittelten bewerteten Normflankenpegel eine Umrechnung auf die Bausituation durchgeführt. Dabei gilt der aus [2] und [5] entnommene Kennwert für die Fügestelle nur für die exakt gleiche Kombination aus Decke

¹ Es handelt sich um die Verbesserung der Stoßstelle nicht um das Stoßstellendämmmaß an sich. Das bedeutet es muss die Differenz gebildet werden zwischen starren Stoß und Stoß mit z.B. elastischer Zwischenlage

und Flanke, wie diese im Labor gemessen wurde. Das schränkt die Anzahl der Kombinationen etwas ein. Allerdings ist an dieser Stelle mit sehr genauen Ergebnissen zu rechnen. Der Aufwand für die Prognose reduziert sich auf die Ermittlung von 4 bewerteten Normflankenpegel und dem $L_{n,w}$.

Für weitere Erläuterung wird auf [2] verwiesen.

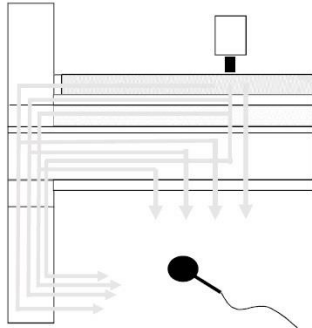


Abbildung 9: Gesamtübertragung an der Stossstelle ohne Betrachtung einzelner Pfade

$L_{n,ij,w} = L_{n,f,ij,lab,w} - 10 \log \left(\frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right)$	(7)
---	-----

Die Berechnung von $L'_{n,w}$ und der Nachweis ist analog zu Methode 1 nach (6) und (2) zu führen.

3.4. Beispielrechnung

Die Vorteilhaftigkeit der aufwändigeren differenzierten Herangehensweise nach Methode 1 soll nun anhand eines kurzen Beispiels aus [2] erläutert werden. Für die genauen Rechenschritte wird auf [2] verwiesen.

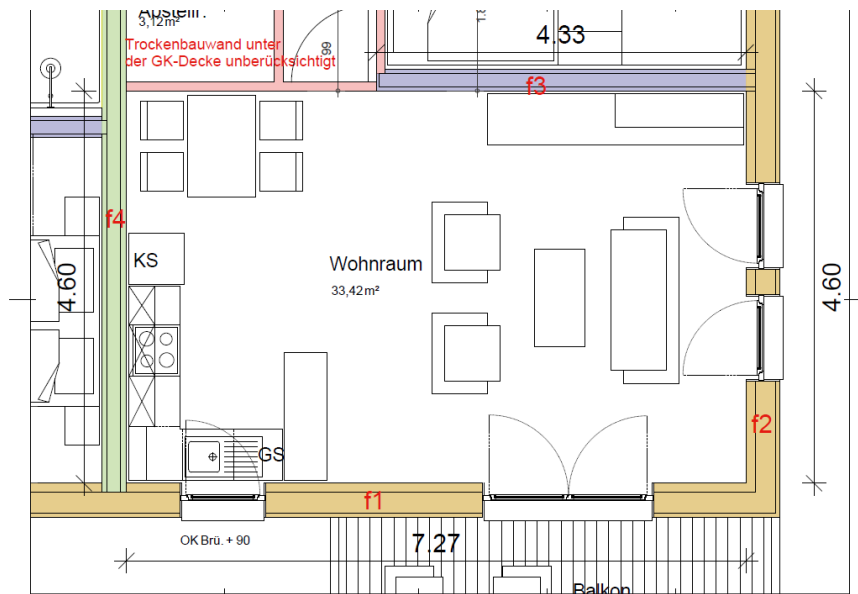


Abbildung 10: Grundrissssituation 2.OG zu 1.OG (Grundrisse deckungsgleich)

- | | |
|---------------------|--|
| Wohnungstrenndecke: | $L_{n,w} = 37 \text{ dB}$
Balkenlage mit schwimmenden ZE auf Mineralfaser mit 2 lagiger Unterdecke (2 x 18mm GKF) an Abhängung gemäss Abbildung 5 |
| Flanke f1: | Holztafelbauaussenwand 240 mm mit innenseitiger Vorsatzschale und 2 x 12,5mm Hartgipsplatten |
| Flanke f2: | Holztafelbauaussenwand 240 mm mit innenseitiger Vorsatzschale und 2 x 12,5mm Hartgipsplatten |

Flanke f3: Holztafelbauinnenwand 160 mm beidseits mit 2 x 18 mm Hartgipsplatten
 Flanke f4: Holztafelbau Wohnungstrennwand 160 mm mit innenseitiger Vorsatzschale freistehend und 2 x 12,5mm Hartgipsplatten

Berechnung nach bisherigem Normverfahren in DIN 4109-2:2016/2018 [4]

$L_{n,w} = 37 \text{ dB}$
 Ungünstigste Flanke $\rightarrow$ f3
 $K_1 = 6 \text{ dB}$ ([4] Tabelle 3 Zeile 1)
 $K_2 = 2 \text{ dB}$ ([4] Tabelle 4)
 $(L_{n,Dff,w} = 40 \text{ dB})$ ([4] Tabelle 4)
 $L'_{n,w} = 45 \text{ dB}$
 zzgl. 3 dB für $u_{\text{prog}} = 48 \text{ dB} \rightarrow$ Mindestschallschutz erreicht

Berechnung nach Methode 1 in [2].

Tabelle 3: Berechnung nach Methode 1 in [2] Übersicht der Rechendaten

$L_{n,w}$	37 dB		
Flanke f1		Flanke f2	
$L_{n,Df,w}$	32,1 dB	$L_{n,Df,w}$	30,1 dB
$L_{n,Dff,w}$	28,9 dB	$L_{n,Dff,w}$	26,9 dB
Flanke f3		Flanke f4	
$L_{n,Df,w}$	30,9 dB	$L_{n,Df,w}$	28,1 dB
$L_{n,Dff,w}$	28,1 dB	$L_{n,Dff,w}$	23,9 dB
$L'_{n,w}$		40,7 dB	

Zzgl. 3 dB für u_{prog} ergibt sich $L'_{n,w} \approx 44 \text{ dB} \rightarrow$ erhöhter Schallschutz nach DIN 4109-5:2020 wäre erreicht. Tieffrequente Übertragung wäre gesondert durch eine Prüfung der Bauteilkennwerte zu untersuchen.

Die Baumessung für diese Konstruktion ergab $L'_{n,w} = 37 \text{ dB}$.

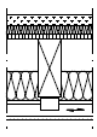
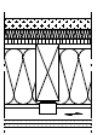
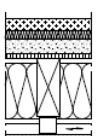
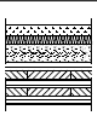
Wie am Beispiel unschwer zu erkennen ist, liegt das bisherige Normverfahren sehr stark auf der sicheren Seite und führt zu einer unwirtschaftlichen und stark überdimensionierten Bemessung.

3.5. Bedeutung der tiefen Frequenzen bei der flankierenden Übertragung

Nachdem in den Abschnitten 1 und 2 die Notwendigkeit zur Berücksichtigung tiefer Frequenzen eindringlich dargestellt wurde ist der Frage nachzugehen, in welchem Masse sich die tieffrequente Übertragung an den Flanken bemerkbar macht. Dazu kann es hilfreich sein Decken, welche im Labor gemessen wurden, das heisst ohne den Einfluss der Flanken, mit baugleichen Decken auf dem Bau zu vergleichen. Damit können erste Betrachtungen zu einem eventuellen Unterschied zwischen $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ und $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ durchgeführt werden. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse einer Messserie an 35 Decken der Hochschule Rosenheim aufgeführt, welche [2] entnommen wurden. Dabei wurde sowohl die Prognose mit Messungen verglichen um deren Güte zu prüfen, als auch die Laborwerte $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ mit «Bauwerten» von $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ verglichen.

Tabelle 4: Überblick über Prognose im Vergleich zu Baumessung gemäss [2]

Vergleich von Baumessungen gegenüber den Decken aus dem Labor und den Prognosewerten nach [6]. Daten aus [7].

Decke	$L_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$) Labor ohne Flanken	$L'_{n,w}$ ($C_{I,50-2500}$) Baumessung	Flankenausbildung	$L'_{n,w}$ ($L'_{n,w} + U_{\text{prog}}$) Prognose nach [6] ³
ZE HBD GK	 46 dB (7) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 9)	50 dB (4) (8 Messungen / $\sigma = 1,2$) 47 dB (6) (4 Messungen / $\sigma = 0,8$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung Mindestens 2 Flanken mit Vorsatzschalen	50 dB (53 dB)
ZE HBD 2 x GK	 40 dB (11) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 12)	47 dB (3) (3 Messungen / $\sigma = 1,2$) 44 dB (6) (8 Messungen / $\sigma = 1,2$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung Mindestens 2 Flanken mit Vorsatzschalen	47 dB (50 dB)
ZE BE HBD 2 x GK	 32 dB (14) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 25 Zeile 15)	42 dB ⁴ (7) (2 Messungen / $\sigma = 1,4$) 39 dB ⁴ (10) (3 Messungen / $\sigma = 2,3$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung Mindestens 2 Flanken mit Vorsatzschalen	42 dB ⁵ (45 dB)
ZE BE MHD	 40 dB (9) (Aufbau akustisch vergleichbar mit [1] Tab. 26 Zeile 6)	47 dB (3) (2 Messungen / $\sigma = 2,8$) 45 dB (4) (5 Messungen / $\sigma = 0,9$)	Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankung Flanke durch Elastomer oder Vorsatzschale verbessert	44 dB (47 dB)

ZE = Zementestrich
HBD = Holzbalkendecke
MHD = Massivholzdecke
BE = Beschwerung
GK = Gipskartonbeplankung

³ Gerechnet mit K_1 für Holztafelbauwand mit Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankungen Zeile 1 Tabelle 3

⁴ Am Bau mit Mineralfaser-Trittschallplatte gemessen anstatt mit Holzfasert-Trittschalldämmplatte wie im Labor

⁵ Prognose mit Zementestrich auf Holzfasert-Trittschalldämmplatte statt Mineralfaser
 σ = Standardabweichung (Maß für die Schwankung um den angegebenen Mittelwert)

Es wurde auch differenziert welche Ausbildung der Flanken vorlag. Was die tieffrequente Übertragung angeht wird der Vergleich nochmals in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Vergleich der Normtrittschallpegel inkl. $C_{I,50-2500}$ zwischen Labor und Bau gemäss Tabelle 4

Position in Tabelle 4	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ (Labor)	$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ (Bau)	Bemerkung
Zeile 1a und Zeile 1b	53 dB	53 - 54 dB	Geringe Abweichung
Zeile 2a und Zeile 2b	51 dB	50 dB	Geringe Abweichung
Zeile 3a und Zeile 3b	46 dB	49 dB	Konstruktion nicht exakt gleich geringe Anzahl von Messungen
Zeile 4a und Zeile 4b	49 dB	49 - 50 dB	Geringe Abweichung

In Tabelle 5 ist sehr deutlich zu erkennen, dass unabhängig von Vorsatzschale oder Massnahmen an flankierenden Bauteilen die Werte inkl. des Spektrumanpassungswertes $C_{I,50-2500}$ zwischen der Labor und der Bausituation wenig voneinander abweichen. Abweichungen können auch der Raumgeometrie geschuldet sein und sind nicht per se auf den Einfluss von Flanken zurückzuführen. Es zeigt sich also, dass mit grosser Wahrscheinlichkeit das tieffrequente Übertragungsverhalten der Decke gegenüber dem flankierenden Übertragungsverhalten bei tiefen Frequenzen dominiert. Dies rechtfertigt den Ansatz in [1], bei dem auf die Anwendung von Kennwerten für die tiefen Frequenzen ohne flankierende Übertragung abgestellt wird.

4. Zusammenfassung und Überblick

Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung tiefer Frequenzen bei der Trittschallübertragung im Holzbau zu einer subjektiv wahrnehmbaren Verbesserung der Deckenkonstruktionen führt. Es ist auch anzunehmen, dass die flankierende Übertragung bei tiefen Frequenzen keine derart dominante Rolle spielt, wie dies im Normauswertbereich von 100 Hz bis 3150 Hz der Fall ist. Darüber hinaus lassen sich durch differenzierte Prognosemodelle wirtschaftlichere Holzkonstruktionen realisieren, welche, was den Schallschutz betrifft, den anderen Bauweisen in nichts nachstehen und diese zum Teil sogar übertreffen.

5. Danksagung

Grosser Dank gilt den Organisationen Holzbau Deutschland Institut, Deutscher Holzfertig-Verband DHV und Bundesverband deutscher Fertighausbauer BDF sowie der Hochschule Rosenheim für die grosse Bereitschaft immer wieder Projekte im Bereich des Schallschutzes rund um den Holzbau zu fördern, erforschen und zu finanzieren. Ohne diese Institutionen wäre die Weiterentwicklung des Holzbaus nicht in diesem Masse möglich.

6. Literaturverzeichnis

- [1] A. Rabold und A. Blödt, Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzbau Deutschland Institut, 2019.
- [2] A. Blödt, Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung, Berlin: Holzbau Deutschland Institut, 2020.
- [3] Andreas Rabold, Martin Schneider, Heinz-Martin Fischer, Berndt Zeitler, «Neue Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung» Bauphysik, Bd. 42, Nr. Heft 4, p. 13, 2020.
- [4] DIN 4109-2:01-2018 Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen, 2018: Beuth Verlag.
- [5] Holzbau Deutschland, Bund Deutscher Fertigbauer BDF, Deutscher Holzbau Verband DHV, Untersuchung der Flankenübertragung von Holztafelbauwänden mit Installationsebenen, Verbandsprojekt, 2019.
- [6] DIN 4109-1:01-2018 Schallschutz im Hochbau – Teil 1 Mindestanforderungen, Beuth-Verlag, 2018.