

# **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 normativen Regelwerke in Deutschland kennen seit jeher den Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz als Auswertungsbereich für bauakustische Kennwerte. Dabei erfolgt im Bereich des Trittschalls die Bewertung durch die Anregung mit dem Normtrittschallhammerwerk und der anschließende «Vergleich» mit einer verschobenen Bezugskurve. Für den bautechnisch nachzuweisenden Schallschutz wird 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 klagen Nutzer jedoch, unabhängig von der Bauweise, über tieffrequente Störungen, welche von Gehgeräuschen verursacht werden. 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 Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  und kommen sowohl bei «guten» als auch schlechten Decken im Sinne des  $L'_{n,w}$  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 gegenüber Gehgeräuschen ausreichend ist. Hierbei kann sowohl der Frequenzbereich der Bewertung aber auch die Art der Anregung durch das Normhammerwerk in Frage gestellt werden. Der zu bewertende Frequenzbereich ist in Abbildung 1 dargestellt.

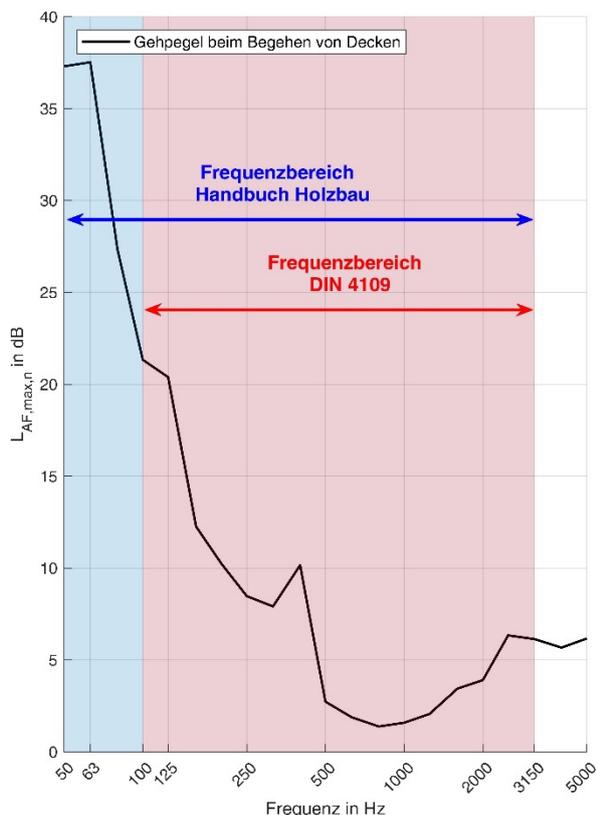


Abbildung 1: schematische Darstellung des Laufpegels unter einer Holzdecke

Der rot hinterlegte Bereich in Abbildung 1 ist der «Normauswertebereich» von 100 Hz bis 3150 Hz, welcher bisher zur Bewertung der Deckenkonstruktion herangezogen wird. Die Pegel welche typischerweise beim Gehen auf Decken hervorgerufen werden führen im roten Bereich in Abbildung 1 zu relativ geringen Pegeln. Das heißt die Schallenergie, die eine Deckenkonstruktion in diesem Bereich durch einen Geher überträgt, ist vergleichsweise gering. Der Vergleich wäre in diesem Fall bei mit dem blauen Bereich in Abbildung 1 anzustellen. 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, kann nach Norm kein Kennwert gebildet werden. Man könnte getrost von einem «tauben Fleck» sprechen. Durch die Erweiterung des Betrachtungsspektrums bis auf 50 Hz kann dieser «Fehler» behoben 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  $I = \text{Impact}$  für den Frequenzbereich von 50 – 2500 Hz). Dadurch wird erreicht, dass bei Anregung durch die «Ersatzquelle» Normtrittschallhammerwerk auch die Bereiche erfasst werden, die hohe Laufpegel hervorrufen können. Werden nun «gehör richtig» bewertete Laufpegel (A-bewertete Pegel) von echten Gehern auf Decken über den  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  (Anregung dem Normhammerwerk) aufgetragen, ergibt sich ein klar erkennbarer Zusammenhang. Mit sinkendem  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sinkt auch die Störwirkung die beim Nutzer hervorgerufen wird, dies ist in Abbildung 2 vergleichend zu erkennen.

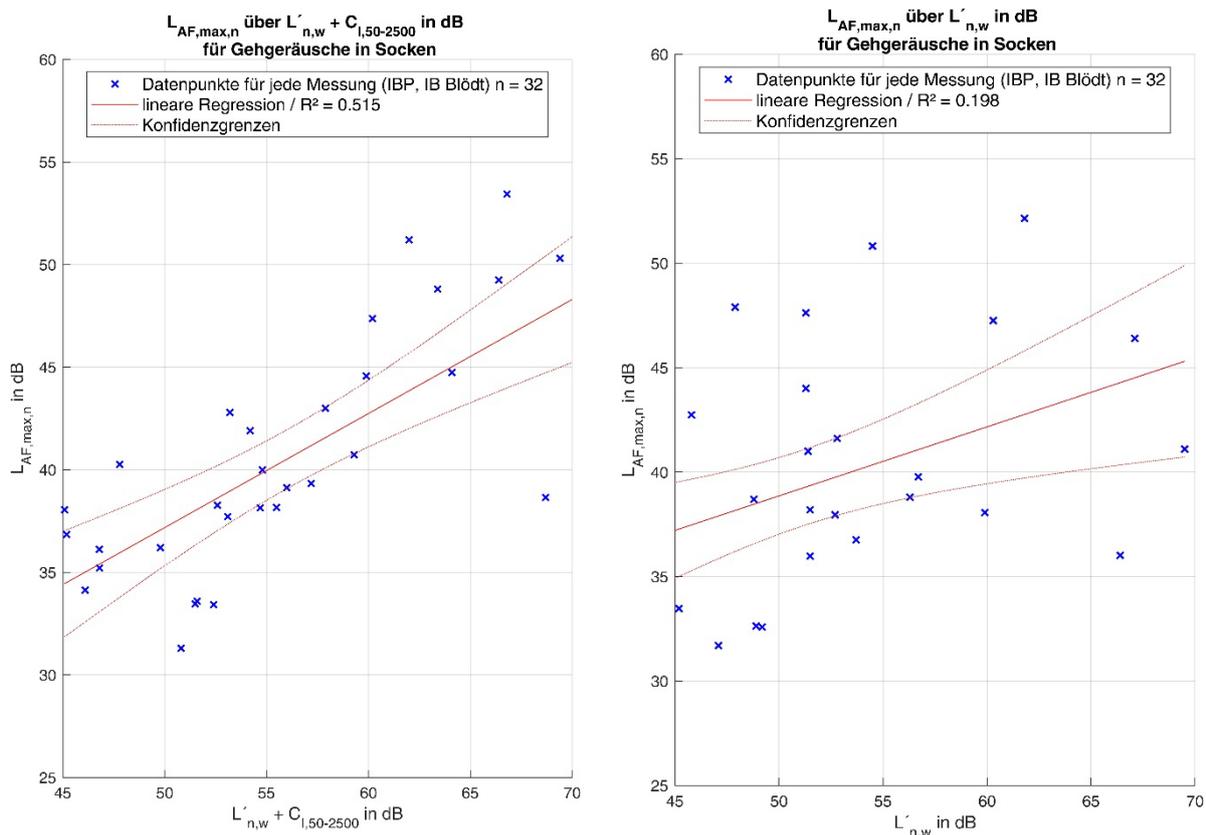


Abbildung 2: Vergleich von Messergebnissen des «gehör richtig» bewerteten Pegels über dem Deckenmesswert  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sowie statistische Kennwerte links / rechts: gleiche Vorgehensweise für die A-bewerteten Pegel über dem  $L'_{n,w}$

Die Abnahme der Störwirkung bei sinkendem Messwert in Abbildung 2/links ist bei gleicher Vorgehensweise mit dem  $L_{n,w}$  (Abbildung 2/rechts) nicht verzeichnen. Wird die «gehör richtige» Bewertung mit dem  $L_{n,w}$  verglichen, so lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang bzw. eine deutlich geringere statistische Passung zwischen verbessertem Deckenkennwert und geringerer Störwirkung herstellen. Trotz der sehr guten Datenlage hinsichtlich der

Relevanz der tieffrequenten Trittschallgeräusche und dem Deskriptor  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  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 (weiche Trittschallquelle) aus 1,0m Höhe sehr gezielt im tieffrequenten Bereich angeregt. Diese Anregung kommt Gehgeräuschen bzw. störenden Laufgeräuschen näher als die Anregung mit dem Normtrittschallhammerwerk. Im europäischen Raum ist diese Methode noch nicht weit verbreitet, während sie 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  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  um Decken gezielt verbessern zu können.

## 1.1. Anforderungskenngrößen zur Berücksichtigung tiefer Frequenzen

Wie bereits beschrieben und erläutert sind über den Normtrittschallpegel hinausgehende Kenngrößen notwendig um das Nutzerempfinden besser abzubilden. Dabei wird immer darauf abgestellt, ob ein Laufgeräusch störend ist oder nicht. Für die meisten Menschen liegt die Störschwelle gegenüber Trittschall zwischen 35 – 38 dB(A). Liegen die durch das Begehen einer Decke hervorgerufen A-bewerteten Pegel über diesem Pegelbereich, so nehmen die meisten Mensch diese als unangenehm wahr. Liegt der «gehörrichtig» bewertete Pegel unter 33 -35 dB(A), werden Gehgeräusche nicht oder nicht mehr störend wahrzunehmen. Unter Zuhilfenahme der Zusammenhänge aus Abbildung 2 lassen sich daraus Anforderungskenngrößen herleiten. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

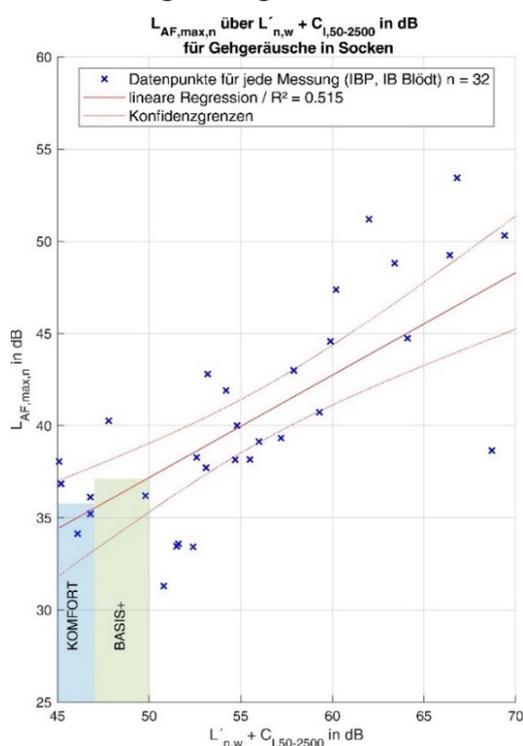


Abbildung 3: Messergebnisse des «gehörrichtig» bewerteten Pegel über dem Deckenmesswert  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  sowie Eintragung der Grenzbereich für die Anforderungen in [1]

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  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 47 - 45$  dB ist davon auszugehen, dass die meisten Mensch 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 Abbildung 4.

Für [1] wurde ein Tabellenwerk entwickelt, welches die oben ausgeführten Erkenntnisse aufnimmt und als Empfehlungswerte für die Vereinbarung eines Schallschutzniveaus darlegt.

| 1   | Schallschutzniveau                  |   |  |
|---|-------------------------------------|---|--|
|   | 2                                   | 3   | 4  |
| Bauteil / Übertragungsweg:  | BASIS $\Delta$ DIN 4109-1:2018      | BASIS +   | KOMFORT  |
| 1 Wohnungstrennwand   | $R'_{w} \geq 53$ dB                 | $R'_{w} \geq 56$ dB   | $R'_{w} \geq 59$ dB  |
| 2 Reihenhaustrennwand   | $R'_{w} \geq 62$ dB                 | $R'_{w} \geq 62$ dB<br>$R_{w} + C_{50-5000} \geq 62$ dB <sup>1) 2)</sup>    | $R'_{w} \geq 67$ dB<br>$R_{w} + C_{50-5000} \geq 65$ dB <sup>1) 2)</sup>                                     |
| 3 Wohnungstrenndecke  | $R'_{w} \geq 54$ dB                 | $R'_{w} \geq 57$ dB   | $R'_{w} \geq 60$ dB  |
| 4 Wohnungstrenndecke<br>Trittschallpegel                              | $L'_{n,w} \leq 53$ dB <sup>2)</sup> | $L'_{n,w} \leq 50$ dB<br>$L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 50$ dB <sup>2)</sup> | $L'_{n,w} \leq 46$ dB<br>$L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 47$ dB <sup>2)</sup>                                  |
| 5 Dachterrassen und Loggien mit<br>darunterliegenden Wohnräumen       | $L'_{n,w} \leq 50$ dB               | $L'_{n,w} \leq 50$ dB   | $L'_{n,w} \leq 46$ dB  |
| 6 Decken unter Laubengängen<br>(in alle Schallausbreitungsrichtungen) | $L'_{n,w} \leq 53$ dB               | $L'_{n,w} \leq 50$ dB   | $L'_{n,w} \leq 46$ dB  |
| 7 Treppenlauf und Treppenpodest                                       | $L'_{n,w} \leq 53$ dB               | $L'_{n,w} \leq 50$ dB   | $L'_{n,w} \leq 46$ dB  |
| 8 Außenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109      |                                     |   | Anforderungen nach DIN 4109<br>inkl. Berücksichtigung $C_{I,50-5000}$<br>für das opake Bauteil <sup>4)</sup> |
| 9 Weitere Bauteile  | nach DIN 4109-1:2018                | nach DIN 4109-1:2018  | nach DIN 4109-5:2019 <sup>4)</sup>   |

<sup>1)</sup> ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken  
<sup>2)</sup> ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken  
<sup>3)</sup> Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten  $L'_{n,w} \leq 50$  dB  
<sup>4)</sup> Für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung  
<sup>5)</sup> Anforderung an die Doppelschalwand, beide Wände  
<sup>6)</sup> nach jeweils gültiger Fassung oder E-DIN 4109-5:2018

Abbildung 4: Niveauevereinbarungstabelle aus [1]

Dabei wird in [1] auf Kennwerte abgezielt, welche den tieffrequenten Bereich der beim Gehen sehr dominant in Erscheinung tritt zu berücksichtigen. 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 Gebäudetrennwand. Bei diesem Wandtypus kann es je nach Lage der Treppen im Gebäude auch zu einer Anregung durch Gehen und tieffrequente Geräusche kommen. Vor diesem Hintergrund wird in [1] eine Berücksichtigung der tiefen Frequenzen empfohlen, welche sich unter anderem aus der Anregung durch Gehgeräuschen ableiten lassen.

## 2. Maßnahmen zur Minderung der tieffrequenten Übertragung in Holzbauten

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 vielfältig und müssen gesondert betrachtet werden. Im Rahmen dieses Beitrags sollen nun die Balkenlage und die Massivholzdecke aus Brettsperrholz genauer betrachtet werden. Dabei werden aber nicht alle Maßnahmen zur Verbesserung des  $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$  dargestellt. Neben der Erhöhung der Masse und der Estrichdicke, dürfte für eine Balkenlage das größte Potential in der Optimierung der Lageeigenschaften von Unterdecken liegen. Deshalb soll an dieser 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 Rohdeckenbeschwerung in Verbindung mit einer Unterdecke hinsichtlich des Trittschalls zu verbessern. Tatsächlich ist es unumstritten, dass der bewertete Normtrittschallpegel durch beide Maßnahmen erheblich verbessert wird. Wird jedoch das erweiterte Frequenzspektrum durch den  $C_{I,50-2500}$  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. Diese zusätzliche Bauteilschicht führt dann folgerichtig auch zu Mehrkosten.

Wie jedes Feder-Masse-System besitzt auch die Unterdecke (Masse = GK Beplankung / Feder = Abhängesystem) mindestens eine «ausgeprägte» Eigenfrequenz. Liegt diese Eigenfrequenz über 20 – 30 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 (z.B. Abbildung 5) oder schwererer Beplankung kann die Eigenfrequenz auf unter 25 Hz bemessen werden.

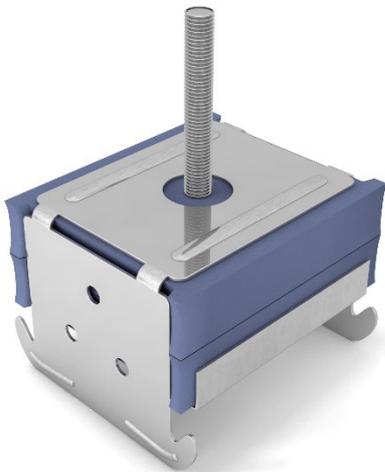


Abbildung 5: Abhängesystem mit größerer Abhängehöhe z.B. Regopol QHF plus



Abbildung 6: vormontierbares Abhängesystem mit minimaler Abhängehöhe z.B. Knauf VF5

Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, zeigen erste Baumessungen an ca. 7 Objekten, dass diese Systeme den gewünschten Effekt im tieffrequenten Bereich erzielen. Es handelt sich um Deckensysteme ohne Rohdeckenbeschwerung, dafür aber mit weichen Abhängesystemen ( $f_0 \approx 20$  Hz). Es werden sehr geringere Trittschallpegel bei 50 – 63 Hz hervorgerufen und die Summe aus  $L'_{n,w}$  und  $C_{I,50-2500}$  liegt in einem Bereich von 47 – 50 dB.

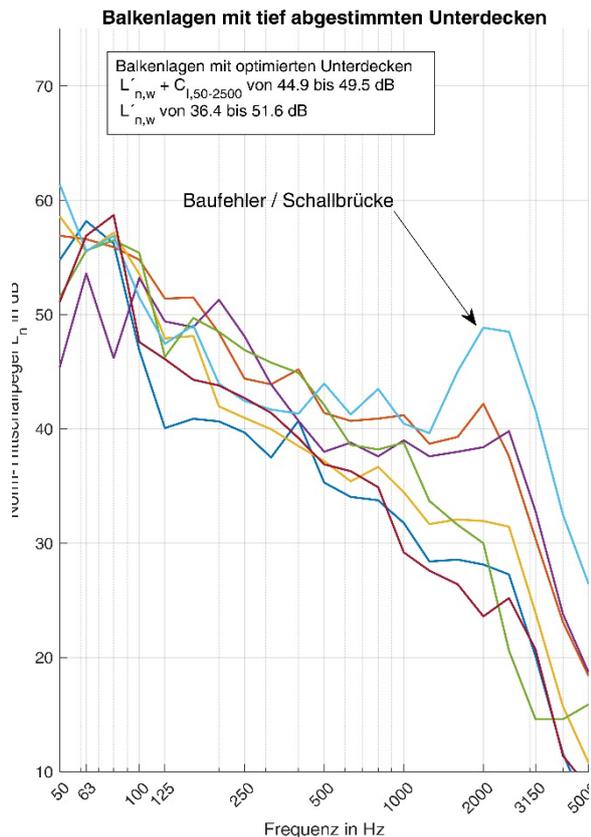


Abbildung 7: Sammlung von Baustellenmessungen an unterschiedlichen Objekten mit optimierten Unterdeckensystem bei Balkenlagen

Dies kommt auch bei der Betrachtung der Einzählwerte zum Ausdruck. Diese liegen für  $L'_{n,w}$  zwischen 37 und 52 dB sowie für  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  zwischen 45 und 50 dB. Der hohe Wert von knapp 52 dB für  $L'_{n,w}$  wird durch einen Baufehler verursacht.

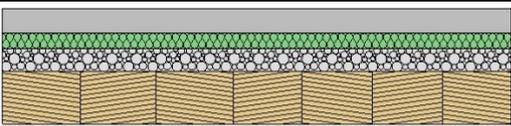
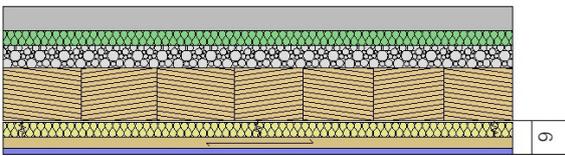
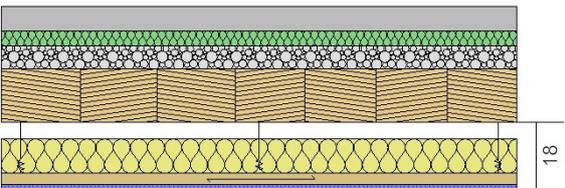
Es zeigt sich auch, dass das gänzlich vernachlässigen von  $L'_{n,w}$  auch nicht ratsam ist, da Baufehler wie eine Schallbrücke ab Randdämmstreifen (hellblaue Kurve in Abbildung 7) sonst unter den Tisch fall würden. Deshalb sind beide Kennwerte  $L'_{n,w}$  und  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sinnvollerweise zu berücksichtigen.

Sowohl im Normauswertebereich und inkl. der Berücksichtigung von tiefen Frequenzen zeichnen sich Balkenlagen mit optimierten Abhängsystem zusätzlich durch Werte 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 zunächst in nachstehender Tabelle die Einzahlwerte für die Trittschallübertragung miteinander verglichen werden.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Massivholzdeckenauführungen 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/m² Beschwerung   |
|   | 24 dB     | 29 dB           | <b>53 dB</b>              | Massivholzdecke mit 90 kg/m² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand <b>90 mm</b>  |
|  | 23 dB     | 26 dB           | 49 dB                     | Massivholzdecke mit 90 kg/m² Beschwerung zusätzlich Unterdecke mit Abstand <b>180 mm</b> |

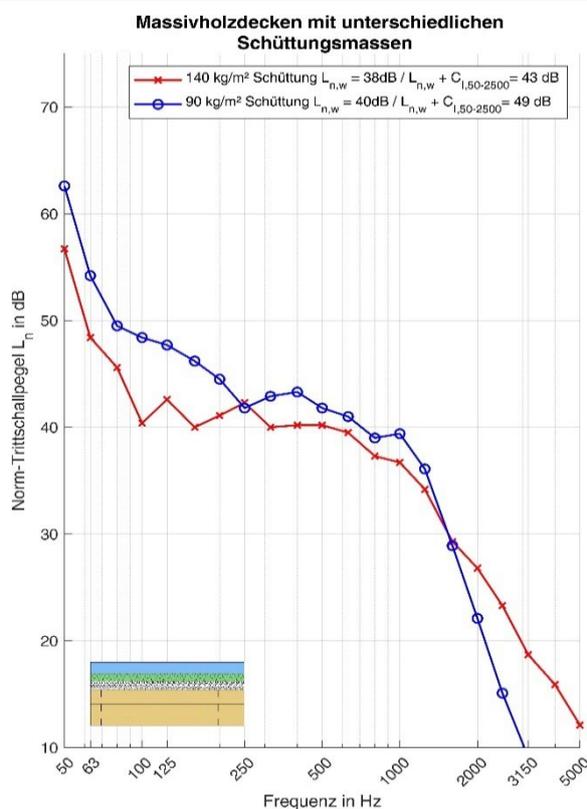
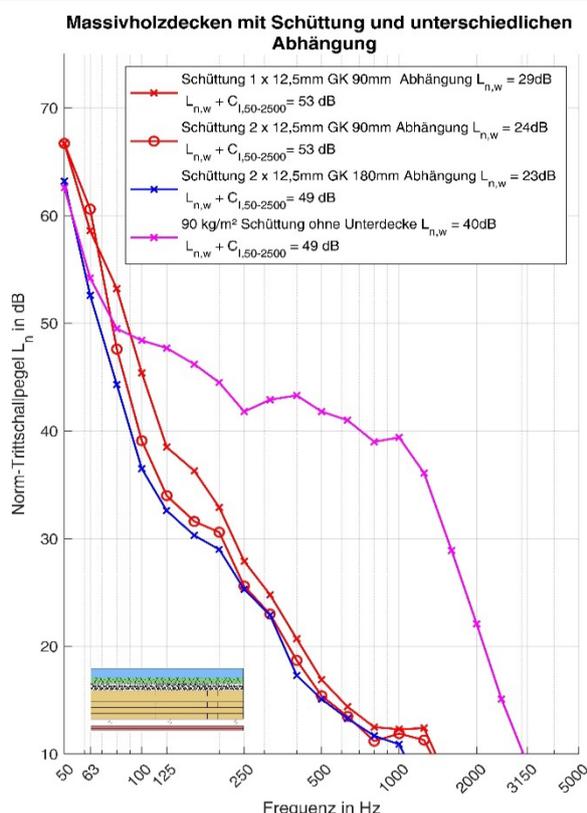


Abbildung 8: Massivholzdecken mit abgehängten Unterdecken links im Vergleich zu Massivholzdecken ohne Unterdecke / rechts Massivholzdecken mit unterschiedlichen Rohdeckenbeschwerungen

In Tabelle 1 und Abbildung 8 wird deutlich, dass die Unterdecke eine sehr große Verbesserung des  $L_{n,w}$  mit sich bringt. Wird aber der Bereich unter 100 Hz untersucht, so führen Unterdecken mit Abhänggehöhen unter 200 mm zu einer Verschlechterung des subjektiv wahrnehmbaren übertragenen Trittschalls,  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} > 50$  dB. Auch hier versteckt sich der Grund im Feder-Masse System und dessen Eigenfrequenz. 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 im Einzahlwert 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 Abhänggehöhen  $d \geq 200$  mm zu empfehlen. Ansonsten sollte bei Massivholzdecken ohne Unterdecke die flächenbezogene Masse der elastisch gebundenen Rohdeckenbeschwerung erhöht werden, um Verbesserung im tieffrequenten und dem Normspektrum zu erzielen. Der Vergleich der Diagramme in Abbildung 8 zeigt dies sehr deutlich.

### 3. Differenzierte Betrachtung der Trittschallübertragung



Abbildung 9: Cover der Informationsdienst Holz Schrift zur differenzierten Flankenbewertung [2]

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick über den Inhalt der in Abbildung 9 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 Korrektursummanden-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 4109-2:2018 [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. Bei Messungen auf der Baustelle liegen häufig deutlich günstiger als dies durch die 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 Df (grüner Pfad in Abbildung 10) und  $K_2$  für den Weg für die Randeinbindung der Decke/Estrich Dff (roter Pfad in Abbildung 10). 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  $u_{prog} = 3$  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) |
|----------------------------------|-----|

|  |     |
|--|-----|
| $L'_{n,w} + u_{prog} \leq zul. L'_{n,w}$ | (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 betrachtet. 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. Vor diesem Hintergrund 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 10 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 genaueren 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.

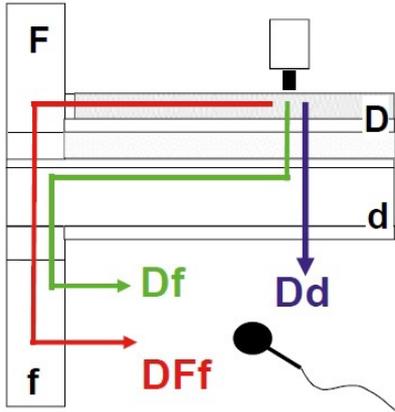


Abbildung 10: Darstellung der einzelnen Übertragungspfade bei der Trittschallübertragung

|   |     |
|---|-----|
| $L_{n,Df,lab,w} = 10 \log \left( 10^{\left( \frac{L_{n,d,w} + K_1}{10} \right)} - 10^{\left( \frac{L_{n,d,w}}{10} \right)} \right)$ | (3) |
| $L_{n,Df,w} = L_{n,Df,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left( \frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right)$                      | (4) |
| $L_{n,DFf,w} = L_{n,DFf,lab,w} - \Delta R_{j,w} - \Delta K_{ij} - 10 \log \left( \frac{S_i}{l_0 l_{ij}} \right)$                    | (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)  
 $\Delta K_{ij}$ : Verbesserung des Stoßstellendämmmaßes aus Herstellerangaben<sup>1</sup>

Sind die bewerteten Normflankenpegel berechnet und ist der  $L_{n,w}$  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.

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

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

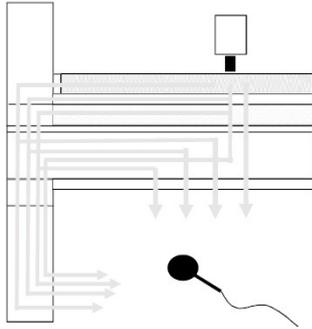


Abbildung 11: Gesamtübertragung an der Stoßstelle ohne Betrachtung einzelner Pfade

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

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.

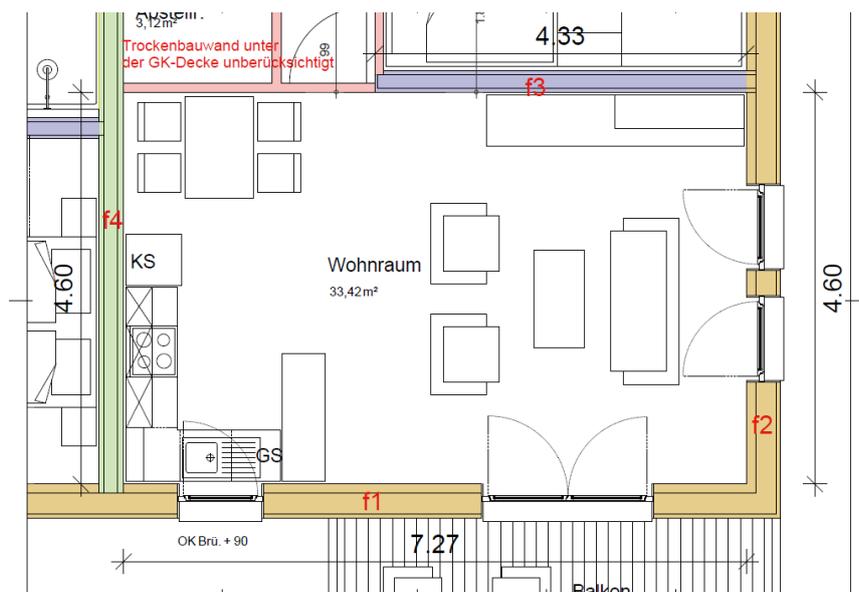


Abbildung 12: Grundrissssituation 2.OG zu 1.OG (Grundrisse deckungsgleich)

- Wohnungstrenndecke:  $L_{n,w} = 37$  dB  
 Balkenlage mit schwimmenden ZE auf Mineralfaser mit 2 lagiger Unterdecke (2 x 18mm GKF) an Abhängung gemäß Abbildung 6
- 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 4109-2:2018 [4]

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

Berechnung nach Methode 1 in [2].

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

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

Zzgl. 3 dB für  $u_{\text{prog}}$  ergibt sich  $L'_{n,w} \approx 44 \text{ dB}$  → 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  $L'_{n,w} = 37 \text{ dB}$ , siehe auch Abbildung 7 dunkelrote Kurve.

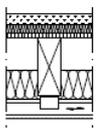
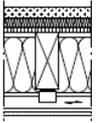
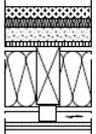
Wie am Beispiel unschwer zu erkennen ist, liegt das bisherige Normverfahren sehr stark auf der sicheren Seite und führt zu einer unwirtschaftlichen und in vielen Fällen überdimensionierten Bemessung.

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

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

<sup>3</sup> Gerechnet mit  $K_1$  für Holztafelbauwand mit Holzwerkstoffplatte und GK-Beplankungen Zeile 1 Tabelle 3

<sup>4</sup> Am Bau mit Mineralfaser-Trittschallplatte gemessen anstatt mit Holzfaser-Trittschalldämmplatte wie im Labor

<sup>5</sup> Prognose mit Zementestrich auf Holzfaser-Trittschalldämmplatte statt Mineralfaser  
 $\sigma$  = 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 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Vergleich der Normtrittschallpegel inkl.  $C_{1,50-2500}$  zwischen Labor und Bau gemäß Tabelle 3

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

In Tabelle 4 ist sehr deutlich zu erkennen, dass unabhängig von Vorsatzschale oder Maßnahmen an flankierenden Bauteilen die Werte inkl. des Spektrumanpassungswertes  $C_{1,50-2500}$  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. Für die Baustellenmessungen kann ein Sicherheitsaufschlag auf den Summenwert von  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  bei der vertraglichen Vereinbarung von ca. 3 dB sinnvoll sein. Das bedeutet, Decken mit  $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 50$  dB müssen bei der Baumeasurement  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 53$  dB erreichen. Ob die umgekehrte Denkweise also Planungswert reduziert um 3 dB der bessere Weg ist, muss in der Fachwelt diskutiert werden.

## 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 den Schallschutz betreffend, den anderen Bauweisen in nichts nachstehen und diese zum Teil sogar übertreffen. Seit der Veröffentlichung von [1] wurde viele Objekt nach diesen Konstruktionsprinzipien errichtet. Es zeigt sich, dass sich die im Labor ermittelten Grundsätze auch auf den Baustellen ausprägen. Die Wirksamkeit wurde und wird durch Baustellenmessung fortlaufend bestätigt.

### Danksagung

Großer Dank gilt den Organisationen Holzbau Deutschland Institut, Deutscher Holzfertigbau-Verband DHV und Bundesverband deutscher Fertiggbauer 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.

## 5. 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 Fertiggbauer 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.