Schalltechnische Optimierung von Unterdeckenabhängern

Andreas Rabold[1,2], Benjamin Schödel[1], Ulrich Schanda[1]

[1] *Technische Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: andreas.rabold@th-rosenheim.de*

[2] *ift Rosenheim GmbH, 83026 Rosenheim*

Einleitung

Gegenüber der konventionellen Massivbauweise im Wohnungs- und Gewerbebau bietet die Holzbauweise eine deutlich größere Konstruktionsvielfalt, die einerseits viel Gestaltungsspielraum lässt, andererseits eine größere Herausforderung an die bauakustische Nachweisbarkeit stellt.

Um den aktuellen bauakustischen Anforderungen [1] im Nachweis gerecht zu werden und gleichzeitig wirtschaftliche Deckenkonstruktionen zu ermöglichen, sind unterschiedliche konstruktive Maßnahmen möglich. Estrichaufbauten, Rohdeckenbeschwerungen und Unterdecken reduzieren die Luft- und Trittschallübertragung und sind somit für die schalltechnische Optimierung interessant.

In einem aktuellen Projekt [2] wurde von den beteiligten Holzbauverbänden aus wirtschaftlichen Gründen die Optimierung der Unterdecke favorisiert. Hierzu wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Technischen Hochschule Rosenheim [3] die Wirksamkeit verschiedener Unterdeckenabhänger untersucht. Die Erkenntnisse wurden zur Optimierung der Deckenaufbauten verwendet, die nachfolgend am ift Rosenheim geprüft wurden [2], [4].

Dieser Beitrag geht zunächst auf die verwendeten Grundlagen für die Auslegung der Unterdecke ein und zeigt dann Ergebnisse der untersuchten Abhänger und der optimierten Deckenaufbauten.

Grundlagen für Unterdecken

Die Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch eine Unterdecke hängt maßgeblich von der Lage der Eigenfrequenz f_0 und der Dämpfung des schwingungsfähigen Systems ab. Genügend weit oberhalb der Resonanzfrequenz tritt die in Abbildung 1 erkennbare Verbesserung durch die Unterdecke auf. Jedoch erfolgt im Bereich von f_0 eine Verschlechterung, die von der Größe der Dämpfung abhängig ist.

Die Eigenfrequenz, die hier in Form einer Masse-Feder-Masse Resonanz auftritt, kann nach (1) aus der flächenbezogenen Masse m_1', der dynamischen Steifigkeit der eingeschlossenen Luftschicht s' und der flächenbezogenen Masse m_2' der Unterdeckenbeplankungen berechnet werden.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{s'\left(\frac{1}{m_1'}\right)+\left(\frac{1}{m_2'}\right)} \qquad (1)$$

Ist für die so ermittelte Resonanz der Unterdecke ein deutlich kleinerer Wert zu erwarten als für die Estrichresonanz, so kann für m_1' die flächenbezogene Masse der Rohdeckenbeplankung inklusive Rohdeckenbeschwerung und Estrichaufbau eingesetzt werden.

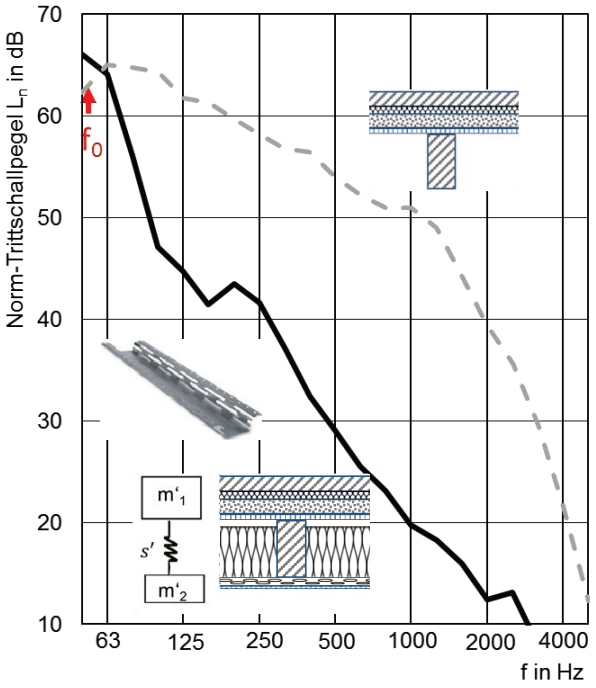


Abbildung 1: Norm-Trittschallpegel einer offenen Holzbalkendecke mit Rohdeckenbeschwerung und schwimmendem Estrich im Vergleich zur gleichen Decke mit abgehängter Unterdecke (Federschienen). Lage der Masse-Feder-Masse Resonanz f_0

Die nach (1) berechenbare Resonanzfrequenz für den dargestellten Deckenaufbau liegt jedoch deutlich niedriger als nach Abbildung 1 zu erwarten wäre. Dies lässt vermuten, dass neben der dynamischen Steifigkeit der Luftschicht auch die Federsteifigkeit der Unterdeckenabhänger eine Rolle spielt. Da es sich hierbei um eine Parallelschaltung der beiden Federn handelt, kann die Gesamtsteifigkeit aus der Summe der Einzelsteifigkeiten ermittelt werden.

$$s' = s'_{Luftschicht} + s'_{Abhänger} \qquad (2)$$

Um eine deutliche Erhöhung der Masse-Feder-Masse Resonanz durch die zusätzliche Steifigkeit der Abhänger zu vermeiden, sollte diese kleiner sein als die Steifigkeit der Luftschicht.

Optimierung der Abhänger

Zur Ermittlung der Federeigenschaften eines Abhängers ist, wie für die Beurteilung von Trittschalldämmplatten, die Messung der Eigenfrequenz am Ein-Masse-Schwinger eine naheliegende Methode. Hierzu wurde ein Prüfstand zur Ermittlung der dynamischen Steifigkeit von Trittschalldämmplatten verwendet, an dessen Unterseite 4 Abhänger und eine variable Anzahl an Stahlplatten montiert wurden (siehe Abbildung 2).

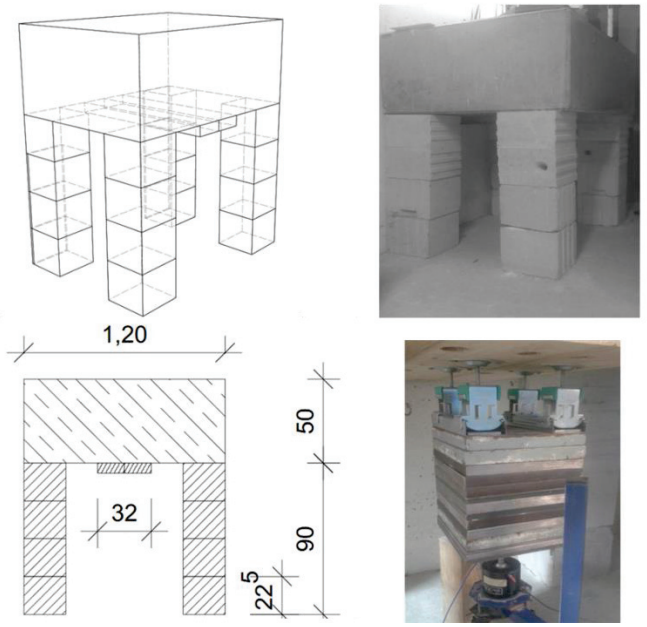


Abbildung 2: Prüfstand zur Ermittlung der Eigenfrequenz von Unterdeckenabhängern. Links: Prinzipskizze und Abmessungen. Rechts unten: Ermittlung der Eigenfrequenz (hier bei maximaler Belastung) durch Anregung mit einem Shaker und Messung der Beschleunigungspegel an 3 Körperschallaufnehmer-Positionen.

Die Messungen der Eigenfrequenz wurden an verschiedenen Abhängertypen durchgeführt (siehe Abbildung 3).

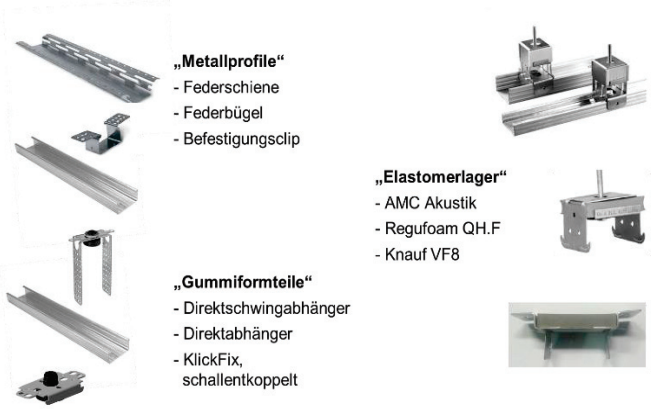


Abbildung 3: Untersuchte Unterdeckenabhänger

Die gemessene Eigenfrequenz des Abhängers $f_{0,\text{Abhänger}}$ kann in Abhängigkeit der unterschiedlichen Belastung pro Abhänger angegeben werden. Wird die Eigenfrequenz als Beurteilungskriterium verwendet, sollte sie nach Möglichkeit kleiner sein als die allein aus der Luftschicht resultierenden Masse-Feder-Masse Resonanz.

Als praktikablen Bereich der Eigenfrequenz $f_{0,\text{Abhänger}}$ für die Auslegung von Deckenkonstruktionen kann

$$12\ \text{Hz} \leq f_{0,\text{Abhänger}} \leq 25\ \text{Hz}$$

angestrebt werden. Als Untergrenze wird hierbei die erste Eigenfrequenz der Decke mit $f_0 \leq 10$ Hz angesetzt, die durch den Abhänger aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit (Schwingungsnachweis) nicht erreicht werden sollte. Die Obergrenze ergibt sich aus der Zielsetzung, eine Masse-Feder-Masse Resonanz < 30 Hz zu ermöglichen. Dadurch können auch für den $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$ günstige Werte erwartet werden.

Messergebnisse der Eigenfrequenz in Abhängigkeit der Belastung werden für verschiedene Abhänger mit Gummiformteilen oder Elastomerlagern in Abbildung 4 zusammengefasst. Bei den Metallprofilen wurde die häufig verwendete Federschiene untersucht. Ihr Schwingungsverhalten zeigte nicht die erwarteten Federeigenschaften, sondern wies zwei Eigenfrequenzen auf. Die in Abbildung 1 erkennbare Resonanzüberhöhung lässt sich eher der zweiten Eigenfrequenz der Federschiene zuordnen.

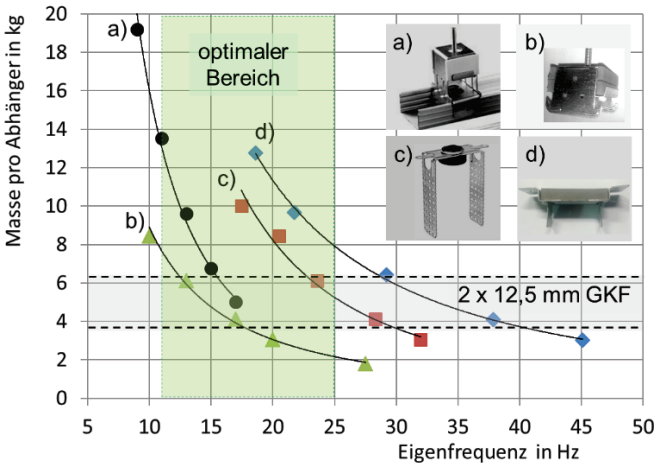


Abbildung 4: Eigenfrequenz unterschiedlicher Unterdeckenabhänger in Abhängigkeit der Belastungsmasse in kg/Abhänger. Grün hinterlegt: Optimaler Bereich $12\ \text{Hz} \leq f_{0,\text{Abhänger}} \leq 25$ Hz Grau hinterlegt: Typischer Belastungsbereich der Abhänger für eine Unterdeckenbekleidung aus 2 x 12,5 mm GKF

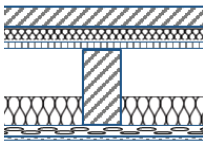
Wie Abbildung 4 zeigt, liegen die Eigenfrequenzen für Abhänger a) und b) für die dargestellte Unterdeckenbekleidung (grau hinterlegter Bereich) bereits in einem günstigen Bereich, während Abhänger d) deutlich höhere Werte aufweist. Um auch hier eine bessere Entkopplung zu erreichen, wurde für die Deckenprüfungen ein weicheres Elastomer eingelegt und damit eine Eigenfrequenz $f_{0,\text{Abhänger}} < 25$ Hz erreicht.

Abhänger a) wurde auch mit zwei Lagen kreuzweise montierten C-Profilen eingesetzt, wodurch eine deutlich reduzierte Anzahl an Abhängern und damit eine höhere Belastung pro Abhänger möglich war (bis zu 13,5 kg/Abhänger). Die daraus resultierende sehr günstige Eigenfrequenz und gute Entkopplung ergab andererseits einen größeren Material- und Montageaufwand, sowie einen größere Abhängehöhe.

Optimierte Deckenaufbauten

Für die im Projekt [2] beteiligten Holzbauverbände bestand das vorrangige Optimierungskriterium in einem Deckenaufbau, der ohne zusätzliche Rohdeckenbeschwerung den aktuellen Anforderungen an Wohnungstrenndecken nach DIN 4109-1 [1] entspricht. Die Beschwerung sollte sowohl aus statischen als auch aus Kostengründen vermieden werden. Eine zweilagige Unterdeckenbeplankung wurde hingegen neutral bewertet, da sie im Geschoßwohnungsbau häufig schon auf Grund der Brandschutzanforderungen notwendig ist. Auch eine Erhöhung der Dämmstoffstärke im Balkenzwischenraum wurde akzeptiert, da die dadurch entstehenden Zusatzkosten gering sind.

Abbildung 5 und Tabelle 1 zeigen einen im Holz- und Fertigbau üblichen Aufbau für Wohnungstrenndecken, der für die Optimierung als Vergleichsdecke dienen soll.



50 mm Zementestrich
40 mm MW-Trittschalldämmplatte
22 mm Holzwerkstoffplatte
220 mm Balken + 100 mm MW
27 mm Federschiene
12,5 mm Gipskartonplatte

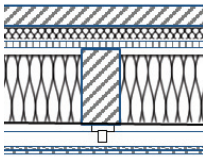
Abbildung 5: Deckenaufbau als Vergleichsdecke

Tabelle 1: Mess- und Prognoseergebnisse

$f_{0,\text{Abhänger}}$	R_w	$L_{n,w}$	$L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$	$L'_{n,w}$ [1)]
-	70 dB	46 dB	53 dB	50 ± 3 dB

[1)] Flankierende Holztafelbauwände mit GK + HWS beplankt

Von diesem Aufbau ausgehend, wurden die o.g. Optimierungsansätze umgesetzt (siehe Abbildung 6). Die Unterdecke wurde mit Abhänger d) aus Abbildung 4 entkoppelt, der nach Herstellerangaben für vorgefertigte Deckenelemente geeignet ist.



50 mm Zementestrich
40 mm MW-Trittschalldämmplatte
22 mm Holzwerkstoffplatte
220 mm Balken + 200 mm MW
57 mm VF8 + Lattung
12,5 mm Gipskartonplatte
12,5 mm Gipskartonplatte

Abbildung 6: Optimierter Deckenaufbau mit Abhänger d)

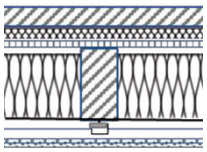
Um die Eigenfrequenz des Abhängers in den angestrebten Bereich zu verschieben ($f_{0,\text{Abhänger}} \leq 25$ Hz), wurde ein geeignetes Elastomer eingesetzt. Der so optimierte Aufbau führt zu dem gewünschten Zielwert für $L'_{n,w}$ bei flankierenden Holztafelbauwänden in plattform-framing Bauweise mit üblicher Beplankung und lässt zusätzlich einen höheren Vorfertigungsgrad der Deckenelemente zu.

Tabelle 2: Mess- und Prognoseergebnisse

$f_{0,\text{Abhänger}}$	R_w	$L_{n,w}$	$L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$	$L'_{n,w}$ [1)]
22 Hz	80 dB	39 dB	50 dB	46 ± 3 dB

[1)] Flankierende Holztafelbauwände mit GK + HWS beplankt

Für einen alternativen Aufbau wurde eine etwas steifere und dünnere Trittschalldämmplatte gewählt, die besser mit Heizestrichen kombinierbar ist. Die Unterdecke wurde mit Abhänger b) aus Abbildung 4 entkoppelt, der für eine effektive Unterdeckenmontage vor Ort durch Trockenbaufirmen ausgelegt ist. Der restliche Aufbau blieb unverändert (siehe Abbildung 8).



50 mm Zementestrich
30 mm MW-Trittschalldämmplatte
22 mm Holzwerkstoffplatte
220 mm Balken + 200 mm MW
70 mm QH.F + CD-Profil
12,5 mm Gipskartonplatte
12,5 mm Gipskartonplatte

Abbildung 7: Optimierter Deckenaufbau mit Abhänger b)

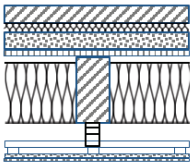
Die Eigenfrequenz des Abhängers wurde mit $f_{0,\text{Abhänger}} = 13$ Hz optimal abgestimmt. Dies führte trotz der steiferen Trittschalldämmplatte zu den angestrebten Zielwerten (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Mess- und Prognoseergebnisse

$f_{0,\text{Abhänger}}$	R_w	$L_{n,w}$	$L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$	$L'_{n,w}$ [1)]
13 Hz	82 dB	37 dB	49 dB	45 ± 3 dB

[1)] Flankierende Holztafelbauwände mit GK + HWS beplankt

In einem zweiten Projekt [4] stand der Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Fokus. Hierzu wurden Holzfaser-Trittschalldämmplatten in Kombination mit einer Rohdeckenbeschwerung sowie einem Jutefaser-Dämmstoff zwischen der Balkenlage verwendet (siehe Abbildung 8). Die Unterdecke wurde mit Abhänger a) aus Abbildung 4 entkoppelt. Die Unterdeckenbeplankung wurde an kreuzweise montierten CD-Profilen befestigt, wodurch die Anzahl der notwendigen Unterdeckenabhänger deutlich reduziert und damit ihre Belastung erhöht werden konnte.



50 mm Zementestrich
30 mm WF-Trittschalldämmplatte
60 mm Splitt in Pappwaben
22 mm Holzwerkstoffplatte
220 mm Balken + 200 mm Jutefaser
140 mm AMC + 2 x CD-Profil
12,5 mm Gipskartonplatte
12,5 mm Gipskartonplatte

Abbildung 8: Optimierter Deckenaufbau mit Abhänger a)

Der Deckenaufbau weist mit einem $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 40$ dB auch bei tiefen Frequenzen Werte auf, die im Bereich des Komfort-Schallschutzes liegen. Für den $L'_{n,w}$ bildet die Flankenübertragung der eingeplanten Holztafelbauwände eine begrenzende Größe. Hier kann durch den Einsatz von Installationsebenen als Vorsatzschalen vor den flankierenden Wänden eine weitere Verbesserung erreicht werden.

Tabelle 4: Mess- und Prognoseergebnisse

$f_{0,\text{Abhänger}}$	R_w	$L_{n,w}$	$L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$	$L'_{n,w}$ [1)]
11 Hz	82 dB	30 dB	40 dB	45 ± 3 dB

[1)] Flankierende Holztafelbauwände mit GK + HWS beplankt

Die frequenzabhängigen Vergleiche der Aufbauten werden in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

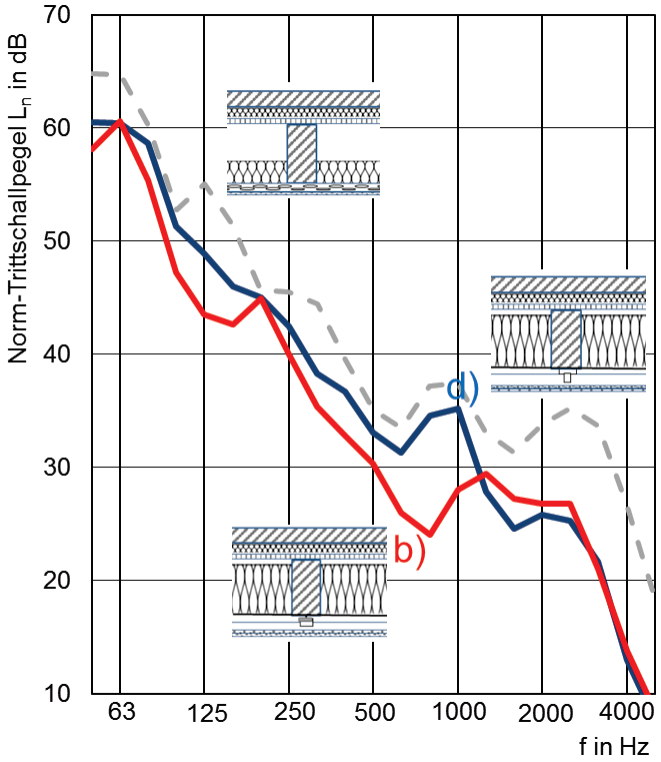


Abbildung 9: Norm-Trittschallpegel der Vergleichsdecke nach Abbildung 5 sowie der optimierten Decken mit den Abhängern b) und d).

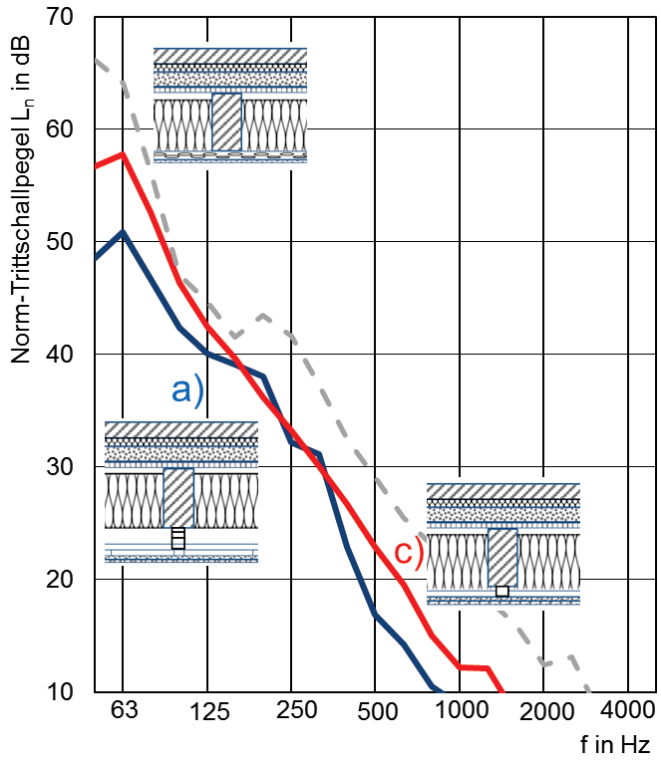


Abbildung 10: Norm-Trittschallpegel der optimierten Aufbauten nach Abbildung 8 mit den Abhängern a) und c) im Vergleich mit einer einlagigen Unterdecke an Federschienen.
Abhänger a): $L_{n,w} = 30$ dB, $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 40$ dB
Abhänger c): $L_{n,w} = 32$ dB, $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 46$ dB
Federschiene: $L_{n,w} = 36$ dB, $L_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} = 54$ dB

Planungsdaten

Die Planungsdaten für die dargestellten Deckenkonstruktionen wurden in [5] zusammengefasst. Die dort enthaltenen Bauteilkataloge stammen aus Abschlussarbeiten an der Technischen Hochschule Rosenheim und bilden die Grundlage für die nächste Überarbeitungsrunde des Bauteilkatalogs in DIN 4109-33. Die Daten sind auch in VBAcoustic [6] hinterlegt, einem bauakustischen Planungstool für die Prognose der Luft- und Trittschalldämmung im Holzbau.

Danksagung

Die dargestellten Ergebnisse stammen teilweise aus dem Forschungsverbundprojekt: *Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen*, gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) mit dem Förderkennzeichen 22005516. Ein zweiter Teil der Bauteilprüfungen wurde finanziert durch das DBU Projekt *Praxishandbuch Schallschutz*, Projektkoordination: Holzbau Deutschland - Zentralverband des Deutschen Baugewerbes.

Literatur

[1] DIN 4109 Schallschutz im Hochbau, Teil 1 und Teil 2 in der konsolidierten Fassung, 2018-01

[2] Projekt *Praxishandbuch zum Schallschutz im Holzbau*, Projektkoordination: Holzbau Deutschland - Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, DBU Projekt AZ 33706/01, 2018

[3] Benjamin Schödel, Ermittlung schalltechnischer Beurteilungskriterien für Unterdeckenabhänger und Trittschalldämmplatten, Bachelorarbeit Technische Hochschule Rosenheim, 2018

[4] Forschungsverbundprojekt *Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen*, Teilbereich Schallschutz, TH Rosenheim, PTB Braunschweig, in Bearbeitung

[5] Blödt, A., Rabold, A., Halstenberg, M., Ecker, T., Huber, A., Huissel, L., Löffler, S., Scheuerpflug, M., Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung, holzbau handbuch, REIHE 3, TEIL 3, FOLGE 1, Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019

[6] Rabold, A., Châteauvieux-Hellwig, C., Löffler, S., Zehetmayr, R., Kratzer, M., VBAcoustic, Version 1.2, 2019, http://bit.ly/VBAcoustic_download