

Bauakustische Kennwerte dreier identischer Gebäude in unterschiedlicher Bauweise

Tobias Kruse¹, Ulrich Schanda¹, Fabian Schöpfer¹, Andreas Rabold¹, Andreas Mayr¹

¹ Labor für Schallmesstechnik, Technische Hochschule Rosenheim, Email: tobias.kruse@th-rosenheim.de



Abbildung 1: Die drei Forschungshäuser in den unterschiedlichen Bauweisen. V.l.n.r. Leichtbeton, Holz, Ziegel [1].

Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Einfach Bauen“ wurden in Bad Aibling drei Forschungshäuser mit identischen Grundrissen und mit monolithischen Wandaufbauten aus Holz, Mauerwerk und Beton errichtet (Abbildung 1). Innerhalb des Projektes konnten bauakustische Untersuchungen der Norm-Trittschallpegel und Bau-Schalldämm-Maße in ausgewählten Übertragungssituationen durchgeführt werden.

Anhand der messtechnischen Untersuchungen, der rechnerischen Bestimmung der Direkt-Schalldämm-Maße und anhand von Prognoseberechnungen im Einzahlwert soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss die unterschiedlichen flankierenden Konstruktionen bei gleichem Trennbauteil aufweisen und ob derzeitige Prognosemodelle dies abbilden können. Ebenfalls soll mit der Gegenüberstellung beispielhaft aufgezeigt werden, an welchen Stellen die Berechnungsverfahren, die Eingangsdaten sowie die vorhandenen Bauteilkataloge nach DIN 4109 noch einer Erweiterung bedürfen.

Gebäude

Die Außenbauteile wurden je nach Gebäudetyp in Holzmassivbauweise mit eingeschlossenen Luftkammern, in Ziegelbauweise mit beidseitiger Putzschicht und in Leichtbetonbauweise ausgeführt. Sämtliche Decken sind in 30 cm Stahlbeton mit direkt aufliegendem trittschallminderndem Sisalteppich ausgeführt.

Die Wohnungstrennwände sind in unterschiedlichen Bauweisen ausgeführt. Im Leichtbetonbau wurden diese als unbewehrte Betonwand, im Ziegelbau als Schalungsziegel mit Betonverfüllung und im Holzbau als Massivholzwand mit zusätzlicher Vorsatzschale ausgeführt. Bauakustisch relevante Kenndaten zu den Bauteilen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Bauakustische Kenndaten der Trenndecken Übertragungssituation.

Bauw.	Flankierende Bauteile			
	Außenwand	IW1	IW2	IW3
Leichtbeton	Leichtbeton	Normalbeton		
	50 cm	24 cm		
	$m' = 410 \text{ kg/m}^2$ ⁽²⁾	$m' = 576 \text{ kg/m}^2$ ⁽¹⁾		
	$R_w = 60,5 \text{ dB}$ ⁽¹⁾	$R_w = 63,1 \text{ dB}$ ⁽¹⁾		
Ziegel	Dämmziegel	Schalungsziegel		
	42,5 cm	24 cm		
	$m' = 480 \text{ kg/m}^2$ ⁽²⁾	$m' = 491 \text{ kg/m}^2$ ⁽²⁾		
	$R_w = 48,9 \text{ dB}$ ⁽²⁾	$R_w = 61,4 \text{ dB}$ ⁽²⁾		
Holz	Massivholz mit Luftkammern	Massivholz 16 cm		
	30 cm	$m' = 72 \text{ kg/m}^2$ ⁽³⁾		
	$m' = 120 \text{ kg/m}^2$ ⁽²⁾	$R_w = 39,4 \text{ dB}$ ⁽³⁾		
	$R_w = 40,0 \text{ dB}$ ⁽²⁾			
Trenndecke				
alle	Stahlbeton 30 cm mit direkt aufliegendem Sisalteppich			
	$m' = 720 \text{ kg/m}^2$ ⁽¹⁾ $R_w = 66,1 \text{ dB}$ ⁽¹⁾			
	$L_{n,eq,0,w} = 64,0 \text{ dB}$ ⁽¹⁾ ; $\Delta L_{w,Sisalteppich} = 18 \text{ dB}$ ⁽⁴⁾			

⁽¹⁾ berechnet nach DIN 4109; ⁽²⁾ Herstellerangabe

⁽³⁾ Ersatzverfahren; ⁽⁴⁾ messtechnisch Ermittelt TH Rosenheim

Berechnungen akustischer Kennwerte

Die frequenzabhängigen Berechnungen der Trittschallpegel wurden nach DIN EN ISO 12354-2:2017-11 und die Berechnungen der Direktschalldämm-Maße nach DIN EN ISO 12354-1:2017-11 durchgeführt. Der Verlustfaktor, als Eingangsgröße für die Berechnungen, wurde nach DIN EN ISO 12354-1:2017-11 Anhang C (siehe Gleichung 1) bestimmt. Dabei ist c eine Konstante, welche vom jeweiligen Gebäudetyp abhängig ist.

$$\eta_{\text{tot,situ}} \approx \eta_{\text{int}} + \frac{c}{\sqrt{f}} \approx 0,01 + \frac{c}{\sqrt{f}} \quad (1)$$

Für typische Gebäude aus Mauerwerk und Beton wird nach dem Anhang B $c = 0,5$ und für schwere Bauteile in einer Umgebung mit vorwiegend Leichtbauteilen $c = 0,05$ angesetzt. Für die Berechnungen des Direktschalldämm-Maßes der Trenndecke wurde die Konstante c in Abhängigkeit der Bauweise angepasst.

Bauakustische Messungen

Die Empfangsräume mit den Abmessungen $L \times B \times H$ 4,80 x 3,15 x 3,1 m³ und die Senderäume weisen in den drei Gebäuden identische Geometrien auf. Für die Messungen der Trenndecken und Trennwände wurde in den jeweiligen Gebäuden der selbe Empfangsraum verwendet. Die Nachhallzeit in den Empfangsräumen wurde durch zusätzliche Absorbermatten möglichst auf ein gleiches Niveau eingestellt (siehe Abbildung 2).

Die Messungen der Luft- und Trittschalldämmungen wurden gemäß den Vorgaben nach DIN EN ISO 16283-1:2018-04 und DIN EN ISO 16283-2:2020:11 durchgeführt. Für die bauakustischen Messungen wurden Unsicherheitsberechnungen durchgeführt. Dies wurde für die

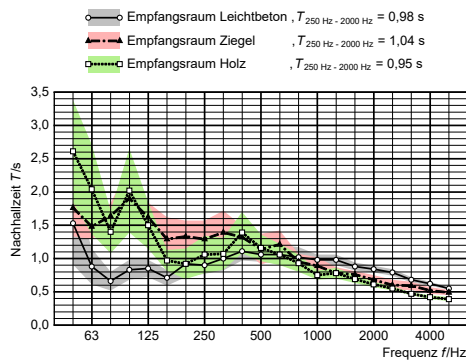


Abbildung 2: Nachhallzeiten der Empfangsräume in den drei Gebäuden. Empfangsräume wurden zusätzlich mit Absorbermatten bedämpft.

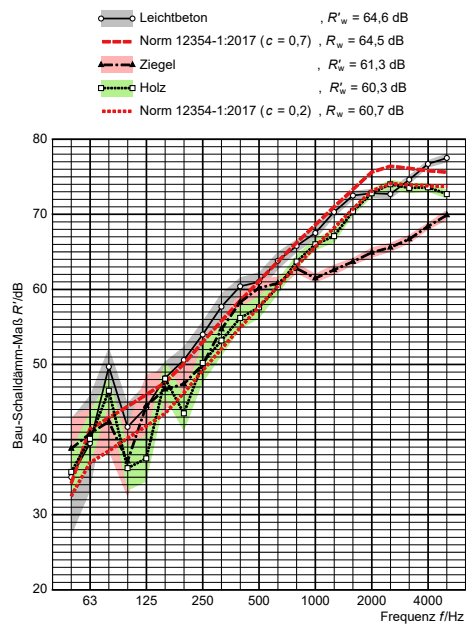


Abbildung 3: Die gemessenen, bewerteten Bau-Schalldämm-Maße und das berechnete, bewertete Direktschalldämm-Maß der Trenndecke.

ermittelten Nachhallzeiten als auch unter Berücksichtigung der Unsicherheitsfortpflanzung für die Bestimmung der Luftschalldämmung und der Trittschallpegel vorgenommen und ist in den Diagrammen durch die Schattierungen gekennzeichnet.

Luftschalldämmung der Trenndecken

Im Folgenden werden anhand von Vergleichen der gemessenen Schalldämmungen und den berechneten Direktschalldämm-Maßen mögliche Flankenschallübertragungen aufgezeigt.

Die ermittelten Bau-Schalldämm-Maße der Trenndecken sind der Abbildung 3 zu entnehmen. In den tiefen Frequenzbändern sind starke Schwankungen des Schalldämm-Maßes bei allen Übertragungssituationen zu erkennen. Berechnungen zu den Eigenfrequenzen der Decken ergaben, dass im 80 Hz und 100 Hz Terzband keine Schwingungsmoden der Decken vorliegen. Dadurch ist das Bau-Schalldämm-Maß in den entsprechenden Terzbändern hö-

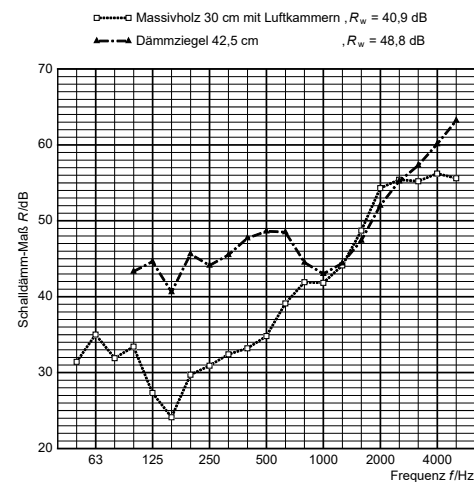


Abbildung 4: Herstellerangaben zu den Schalldämm-Maßen der Massivholzaußenwand und des Dämmziegels.

her als die berechnete Direkt-Schalldämmung nach DIN EN ISO 12354-1 Anhang B. [2]. Die Bau-Schalldämm-Maße der 30 cm Stahlbetondecke zeigen erwartungsgemäß im höheren Frequenzbereich deutliche Unterschiede. Die Trenndecke im Ziegelbau weist von 630 Hz bis 2.000 Hz einen deutlichen Einbruch der Schalldämmung auf. Dieser Einbruch ist auch im Direktschalldämm-Maß der Außenwand (siehe Abbildung 4) zu erkennen und ist typisch für Dämmziegel. Das Schalldämm-Maß der Stahlbetondecke ist im Ziegelbau somit maßgebend von der Flankenübertragung der Außenwand aus Dämmziegel begrenzt.

Die Stahlbetondecke weist im Leichtbetonbau ein um ca. 4 dB höheres Schalldämm-Maß als im Holzgebäude auf. Im Berechnungsmodell nach DIN EN ISO 12354-2 fließt unter anderem der Verlustfaktor des Trennbauteils in die Berechnung ein. Dieser ist unter anderem von der Ankopplung des Trennbauteils und vor allem von der Masse der angrenzenden flankierenden Bauteile abhängig. Dieser Einfluss von den am Trennbauteil angekoppelten Bauteilen wird über die Konstante c beschrieben. In der Abbildung 3 ist das nach DIN EN ISO 12354-1 berechnete Direkt-Schalldämm-Maß einer 30 cm Stahlbetondecke mit einem höheren ($c = 0,7$) und einem niedrigen Verlustfaktor ($c = 0,2$) abgebildet. Die Konstante c wurde dabei so angepasst, dass der frequenzabhängige Verlauf der berechneten Schalldämm-Maße und der gemessenen Bau-Schalldämm-Maße einen möglichst gleichen Einzahlwert aufweist. Aus den ermittelten Konstanten kann geschlossen werden, dass die Parallelverschiebung der gemessenen Schalldämmung zwischen den Bauweisen Leichtbeton und Holz nicht auf die Flankenschallübertragung sondern auf den Einfluss der Flankenbauteile auf den Verlustfaktor des Trennbauteils und somit auf die Direkt-Schalldämmung der Trenndecke zurückzuführen ist.

Auffällig ist, dass die erhöhte Flankenschallübertragung nur beim Ziegelbau und nicht beim Holzbau zu erkennen ist. Jedoch ist das Direktschalldämm-Maß der Holzaußenwand im Vergleich zum Dämmziegel geringer bzw. im Frequenzbereich von 630 Hz bis 2.000 Hz identisch (siehe Abbildung 4). Da jedoch im Holzbau augenscheinlich

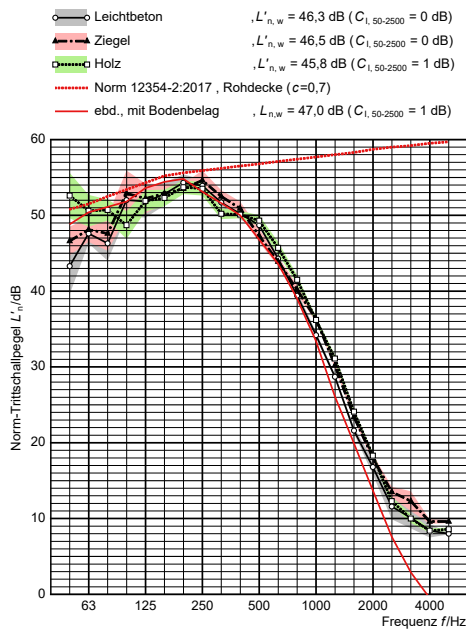


Abbildung 5: Gemessene Norm-Trittschallpegel und die berechneten Direkt-Trittschallpegel der Trenndecke mit und ohne Bodenbelag.

eine geringere Flankenschallübertragung vorliegt als im Ziegelbau, kann gefolgert werden, dass das Stoßstellendämm-Maß der Bauteilkombination von Holzaußenwänden und Stahlbetondecken deutlich höher ist, als im Vergleich zur Kombination von Ziegelwänden und Stahlbetondecken.

Trittschallpegel der Trenndecken

In der Abbildung 5 sind die gemessenen, bewerteten Norm-Trittschallpegel der Trenndecken und die nach DIN EN ISO 12354-2 Gleichung B.2 [3] berechneten Trittschallpegel gegenübergestellt. Zur Berechnung des Verlustfaktors wurde Analog zu der vorherigen Luftschallberechnung $c=0,7$ angesetzt.

Für die Berechnungen des Norm-Trittschallpegels wurde im Deckenprüfstand der TH Rosenheim die Trittschallminderung des verbauten Sisalteppichs messtechnisch ermittelt, da der Hersteller für diesen Teppich kein Prüfzeugnis vorlegen konnte.

Die gemessenen Norm-Trittschallpegel in den drei Gebäuden weisen ab 125 Hz keine deutlichen Unterschiede auf. Tieffrequent zeigt der Holzbau eine höhere Trittschallübertragung als der Ziegel- und Leichtbetonbau. Hierfür kann derzeit keine plausible Begründung gegeben werden. Die Trittschallpegel im Ziegel- und Leichtbetonbau liegen unter 80 Hz unterhalb der Theoriewerte. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Decken in diesen Frequenzbereichen rechnerisch keine Eigenmoden aufweisen. Oberhalb von 2.000 Hz macht sich der zu geringe SNR bemerkbar.

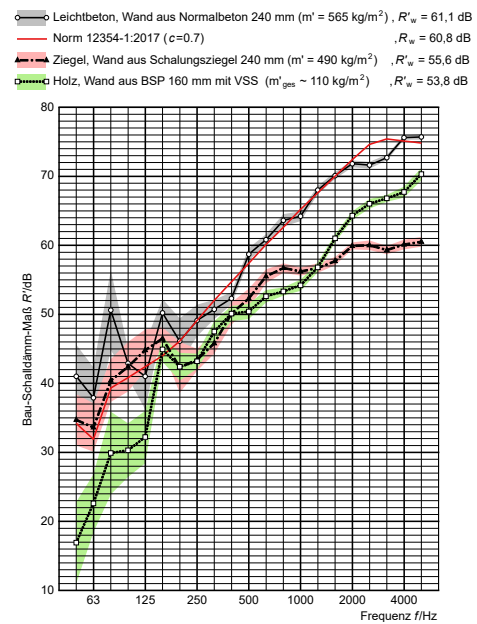


Abbildung 6: Gemessene Bau-Schalldämm-Maße und berechnete Direktschalldämm-Maße der Trennwand.

Luftschalldämmung der Trennwände

Ebenfalls wurde in den drei Forschungshäusern die Luftschalldämmung der unterschiedlichen Trennwände messtechnisch ermittelt. Im Leichtbetonbau sind die Trennwände aus 24 cm Normalbeton, im Ziegelbau aus 24 cm Schalungsziegel mit Betonverfüllung und beidseitigem 5 mm Schlämmputz und im Holzbau aus einer 16 cm Massivholzwand mit zusätzlicher Vorsatzschale aus CW50 Profilen mit 30 mm Hohlraumdämmung und doppellagiger 12,5 mm Gipsfaserbeplankung gefertigt. Flankierende Bauteile sind jeweils die 30 cm Stahlbetondecke und -boden, sowie eine Metallständerwand und eine Außenwand. Die Wohnungstrennwände zeigen deutliche Unterschiede in der Schalldämmung auf (siehe Abbildung 6). Die Normalbetonwand zeigt über den gesamten Frequenzbereich, wie auch aufgrund der größten Masse ($m = 576 \text{ kg/m}^2$) zu erwarten ist, die höchste Schalldämmung auf. In der Gegenüberstellung zum berechneten Direktschalldämm-Maß nach DIN EN ISO 12354-2 zeigen sich vor allem in den Terzbändern 80 Hz und 160 Hz deutliche Abweichungen. Diese sind auch hier darauf zurück zu führen, dass in diesen Terzbändern aufgrund der Bauteilabmessungen und -eigenschaften ($B \times H = 4,8 \times 3,1 \text{ m}^2$) rechnerisch keine Moden der Wand auftreten. Daher ist die Schalldämmung in den genannten Frequenzbändern höher als die rechnerisch bestimmte Direktschalldämmung. Die Koinzidenzgrenzfrequenz ist am Einbruch der Schalldämmung im 63 Hz Terzband sowohl in den Messungen als auch in den Berechnungen erkennbar.

Die Schalldämmung der Ziegelwand vermindert sich stärker als es mit dem Massengesetz mit 6 dB/Oktave zu erwarten wäre. Die Ursache für den starken Abfall bleibt ungeklärt. Im Frequenzbereich von 630 Hz bis 2.000 Hz ist erneut ein Einbruch der Schalldämmung zu erkennen. Dieser ist, wie bereits bei der Trenndecke, auf die Flankenschallübertragung über die Dämmziegelau-

ßenwand zurück zu führen (siehe Abbildung 4). Oberhalb von 2.000 Hz wäre mit einem vollständig verfüllten Schalungsziegel ($m = 491 \text{ kg/m}^2$) wiederum ein Anstieg der Schalldämmung zu erwarten, jedoch ist dieser in den Messungen nicht ersichtlich. Das Verhalten zeigte sich in der Vergangenheit jedoch häufiger bei Wohnungstrennwänden mit Schalungs- oder Verfüllziegeln.

Die Massivholzwand mit Vorsatzschale zeigt unterhalb 160 Hz eine geringe Schalldämmung auf. Dies ist auf die deutlich geringere Masse der Massivholzwand (ca. 20 % der Masse von der Schalungsziegel- bzw. der Normalbetonwand) sowie die Resonanzfrequenz der Vorsatzschale bei 50 Hz zurück zu führen. Durch eine tieffrequente Optimierung der Vorsatzschale können höhere Schalldämmungen erzielt werden.

Prognoseberechnungen

DIN 4109 ist im Hinblick auf den rechnerischen Nachweis für den Massivbau seit vielen Jahren etabliert. Mit Blick auf die heutigen, gemischten Bauweisen ergeben sich zum Teil Lücken in den Berechnungsansätzen oder in den vorliegenden Bauteilkatalogen. Für die drei Übertragungssituationen der Trenndecken wurden Prognoseberechnungen in Anlehnung an DIN 4109-2 [4] durchgeführt. In der Tabelle 1 und 2 sind die Eingangsdaten aufgeführt. Für den Schallschutznachweis sind zum Teil Prüfzeugnisse der Hersteller erforderlich, da die Bauweisen ansonsten rechnerisch nicht nachgewiesen werden können. Für die verwendeten Dämmziegel konnte vom Hersteller ein Nachweis des Schalldämm-Maßes und auch Kennwerte zu gemessenen Stoßstellendämm-Maßen erbracht werden. Gleiches gilt für die Schalldämm-Maße der Holzaußenwände.

Jedoch fehlen derzeit Angaben zu den Stoßstellendämm-Maßen von Mischbauten aus Massivholzwänden und Stahlbetondecken. Aus durchgeführten Messungen an der TH Rosenheim und der HFT Stuttgart wurden für das vorliegende Bauvorhaben Stoßstellendämm-Maße angesetzt [5]. Mit den Eingangsdaten der Hersteller und zusätzlichen Annahmen konnte eine gute Prognose erstellt werden (siehe Tabelle 3). Es ist jedoch zu erwähnen, dass der Trittschallschutz im vorliegenden Bauvorhaben nach DIN 4109-1 [6] formal nicht nachgewiesen werden kann, da trittschallmindernde Bodenbeläge im Wohnungsbau nicht angerechnet werden dürfen.

Zusammenfassung

Durch die Messungen des identischen Trennbauteils in unterschiedlichen Gebäuden konnte zum Teil bereits bekannte und geläufige Flankenschallübertragungen bestätigt werden. Gebäude in Dämmziegelbauweise limitieren die Schalldämmung der Trennbauteile. Dahingegen tritt in Gebäuden mit schweren Trennbauteilen und Massivholzflanken eine geringere Flankenschallübertragung auf, da die Stoßstellendämm-Maße der Bauteilkombination von Massivholz und Stahlbeton bauakustisch günstige Eigenschaften aufweisen. Der Schallschutznachweis gemäß DIN 4109 kann jedoch nicht für jede Bauweise rechnerisch erfolgen, da die vorhandenen Bauteilkataloge entsprechende Bauteile nicht aufführen, oder die erforderli-

Tabelle 2: Angesetzte Stoßstellendämm-Maße für die Berechnungen der Bau-Schalldämm-Maße der Trenndecken nach DIN 4109.

Trennbauteil	Außenwand	IW1	IW2	IW3
StB-Decke	Leichtbeton $K_{Df/Fd} = 5,0 \text{ dB}^{(1)}$ $K_{Ff} = 9,7 \text{ dB}^{(1)}$	Normalbeton $K_{Df/Fd} = 5,9 \text{ dB}^{(1)}$ $K_{Ff} = 10,6 \text{ dB}^{(1)}$		
	Dämmziegel $K_{Df/Fd} = 12,3 \text{ dB}^{(2)}$ $K_{Ff} = 12,9 \text{ dB}^{(2)}$	Schalungsziegel $K_{Df/Fd} = 6,1 \text{ dB}^{(1)}$ $K_{Ff} = 11,6 \text{ dB}^{(1)}$		Metallständerwand $D_{n,f,w} = 76 \text{ dB}$
	Massivholz mit Luftkammern $K_{Df/Fd} = 18 \text{ dB}^{(3)}$ $K_{Ff} = 29 \text{ dB}^{(3)}$	Massivholz $K_{Df/Fd} = 18 \text{ dB}^{(4)}$ $K_{Ff} = 29 \text{ dB}^{(4)}$		

⁽¹⁾berechnet nach DIN 4109 ; ⁽²⁾Herstellerangabe

⁽³⁾Messungen in Studienarbeiten (TH Ro, HFT St); ⁽⁴⁾Literatur

Tabelle 3: Mess- und Prognosewerte der Trenndecken im Vergleich.

	Messwert $L'_{n,w}$	Prognose $L'_n + u_{\text{prog}}$	Messwert R'_w	Prognose $R'_w - u_{\text{prog}}$
Leichtbeton	46,3 dB	(47,4+3) dB	64,6 dB	(62,3-2) dB
Ziegel	46,5 dB	(47,9+3) dB	61,3 dB	(62,0-2) dB
Holz	45,8 dB	(46,0+3) dB	60,3 dB	(62,8-2) dB

chen Angaben der Produkthersteller nicht vorgelegt werden können.

Danksagung

Wir danken Herrn Prof. Florian Nagler der TU München und der B&O Gruppe für die Möglichkeit zu den bauakustischen Messungen.

Literatur

- [1] Schels, S.: Forschungsprojekt Einfach Bauen, www.einfach-bauen.net. Technische Universität München, 2021
- [2] DIN EN ISO 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Hrsg. von Deutsches Institut für Normung e.V.
- [3] DIN EN ISO 12354-2:2017-11: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen. Hrsg. von Deutsches Institut für Normung e.V.
- [4] DIN 4109-2:2018-01: Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderung
- [5] Silberbauer, V. E.: Stoßstellen im Hybridbau: Theoretischer Vergleich, Simulation und messtechnische Validierung in der Bausituation. Masterarbeit. Technische Hochschule Rosenheim, 2021
- [6] DIN 4109-1:2018-01: Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderung