

Vereinfachte Prognose der Luftschalldämmung von Außenwänden in Holzrahmen- und Holzmassivbauweise

Alexander Stenitzer¹, Christian Lux¹, Bernd Nusser¹

¹ *Holzforschung Austria, 2100 Stetten, E-Mail: a.stenitzer@holzforschung.at*

Einleitung

Aufgrund des häufig mehrschichtigen Aufbaus von Holzbauteilen ist die Prognose der Schalldämmung dieser Bauteile eine herausfordernde Aufgabe und noch nicht abschließend gelöst. Die in der aktuellen Forschung verwendeten Prognosemodelle [z. B. 1, 2] sind aufgrund ihrer Komplexität im Planungsalltag im Allgemeinen nicht problemlos einsetzbar. Im Zuge des Forschungsprojekts Sound.Wood.Austria werden u. a. vereinfachte Prognosemodelle auf ihre praktische Anwendbarkeit hin untersucht. Einfache Prognosemodelle für die Vorhersage des Einzahlwertes R_w können dazu beitragen den Aufwand an Schallprüfungen zu reduzieren und den bauakustischen Planungsalltag zu erleichtern. In diesem Beitrag werden konkret zwei dieser Prognosemodelle für Holzrahmen- und Holzmassivbauweise näher betrachtet. Hierfür werden die prognostizierten mit den gemessenen bewerteten Schalldämm-Maßen gegenübergestellt. Des Weiteren werden mögliche Modifikationen dieser Modelle diskutiert.

Methodik

Modellauswahl

Als geeignetes vereinfachtes Prognosemodell mit ausreichendem Detailierungsgrad wurde zunächst jenes von [3] festgelegt. Dieses semiempirische Modell ermöglicht ergänzend zur Prognose des bewerteten Schalldämm-Maßes der Grundwand, die Berechnung der Änderung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch die einzelnen Schichten, wie zusätzliche Beplankungen, Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), Außenbekleidungen oder Installationsebenen sowohl für Holzrahmen-, als auch Holzmassivwände. Getrennte Ständer von Holzrahmenwänden werden in der Berechnung ebenfalls berücksichtigt. Als zweites Modell wurde das WDVS-Modell von [4] ausgewählt. Dieses beruht auf einem ähnlichen Prinzip, allerdings liegt der Fokus auf Holzrahmenwänden mit WDVS. Als Eingangsgröße muss im Unterschied zu [3] das bewertete Schalldämm-Maß der Grundwand ohne WDVS bekannt sein. [4] hatte das Ziel eine Verbesserung der einfachen Prognose gegenüber bestehenden Modellen, wie u. a. [3], zu erreichen. Ergänzend zu der Auswertung nach [4] wurde der WDVS-Abschnitt aus [3] separat wie das Modell von [3] angewandt. D. h., zu einem bekannten bewerteten Schalldämm-Maß der Grundwand wird die prognostizierte Änderung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch ein WDVS addiert. In den Abbildungen ist diese Methode als „Rabold et al. (2006) – WDVS“ kenntlich gemacht.

Eingangsdaten

Für die Analyse der prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße durch das Modell in [3] wurden 45 Holzrahmen-, 31 Holzmassivaußenwände, sowie 8 Holzrahmentrennwände aus

drei unterschiedlichen Projekten herangezogen. Die Holzrahmenwände (Außen- und Trenn-) wurden im Zuge des laufenden Forschungsprojekts „Sound.Wood.Austria“ gemessen [5, 6]. Hierbei ist der geringe, aus Aussteifungsgründen notwendige Schraubenabstand von 50 mm der OSB-Beplankung zu erwähnen. Dies führt zu einem konservativen bewerteten Schalldämm-Maß der gemessenen Holzrahmenwände.

Die Holzmassivaußenwände wurden in den Abbildungen in die Datensätze „A“ und „B“ unterteilt. Für das Modell in [4] konnten aus den drei Datensätzen wiederum nur jene Wände herangezogen werden, die WDVS aufweisen und für die das bewertete Schalldämm-Maß der Grundwand bekannt ist. Die Anzahl der Wände reduziert sich somit für das Modell nach [4] auf 17 Holzrahmen- und 11 Holzmassivaußenwände. Die bewerteten Schalldämm-Maße aller betrachteter Wände wurden im Normprüfstand des Akustik Center Austria [7] nach ÖNORM EN ISO 10140-2:2010 [8] (Prüffläche: 10,6 m²) gemessen.

Implementierung

Um eine schnelle und einfache Auswertung der unterschiedlichen Wände zu ermöglichen wurde für die Prognosemodelle jeweils ein Python Skript geschrieben. Dieses greift auf eine Excel-Datei zu, in der die Wandaufbauten nach einem einheitlichen Schema abgebildet sind. Vor der finalen Analyse der Ergebnisse wurden einerseits die in [3] angeführte Beispielrechnung eines Wandaufbaus durch das Python Skript ausgewertet und andererseits einzelne Wände sowohl per Hand als auch per Skript ermittelt. Dadurch konnte die Funktionsfähigkeit der Python Skripte verifiziert und programmatische Fehler ausgeschlossen werden.

Ergebnisse

Zusammenfassung aller Ergebnisse

In den folgenden Diagrammen wird jeder gemessene Wandaufbau durch einen Punkt visualisiert und dem Prognosewert gegenübergestellt. Auf der Abszisse können die gemessenen und auf der Ordinate die prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße abgelesen werden. Zudem ist die lineare Funktion $y = x$ eingeblendet. Je geringer der Abstand der Datenpunkte bzw. der Punktwolke von dieser Diagonale ist, desto besser ist das Modell für die spezifischen Eingangsdaten anwendbar. In Abbildung 1 sind jene 45 Holzrahmen-, 31 Holzmassivaußenwände und 8 Holzrahmentrennwände dargestellt, die nach dem Modell in [3] prognostiziert wurden.

Im Gegensatz dazu sind in den Abbildungen 2 und 3 nur jene 17 Holzrahmen- und 11 Holzmassivaußenwände dargestellt, die ein WDVS aufweisen und für die das bewertete Schalldämm-Maß der Grundwand bekannt ist. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse bei Anwendung des Modells nach [4],

Abbildung 3 hingegen die Ergebnisse nach Anwendung des WDVS-Abschnitts des Modells in [3].

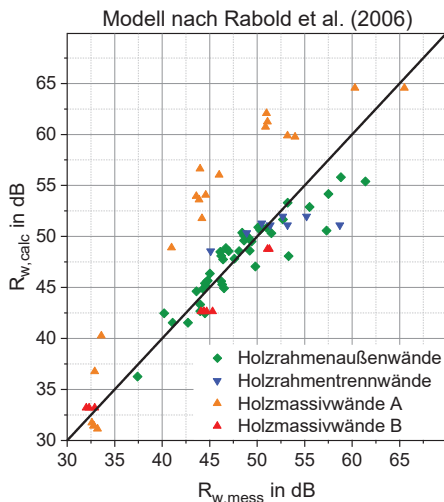


Abbildung 1: Gegenüberstellung der gemessenen und nach [3] prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße aller betrachteten Wände.

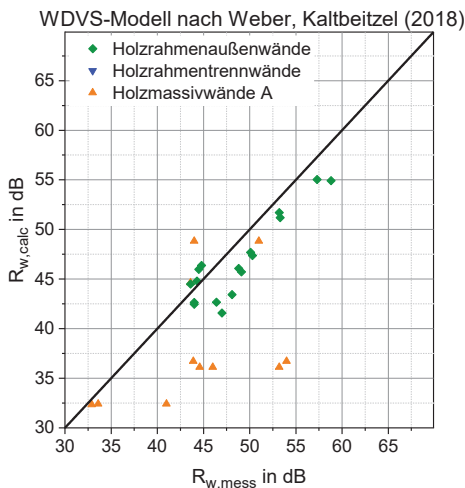


Abbildung 2: Gegenüberstellung der gemessenen und nach [4] prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße für Wände mit WDVS.

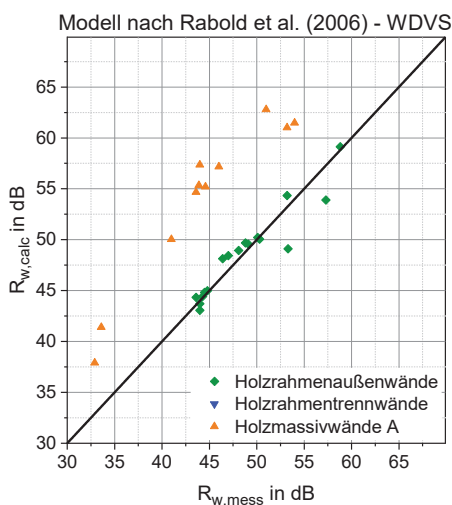


Abbildung 3: Gegenüberstellung der gemessenen und nach dem WDVS-Abschnitt in [3] prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße von Wänden mit WDVS.

Detailanalyse Rabold et al. (2006) [3]

In diesem Abschnitt erfolgt eine Detailanalyse des Modells aus [3]. Da in dem Modell für jede Schicht die Änderung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch diese berechnet werden kann, erhöht sich die Anzahl an potenziellen Fehlerquellen. Die Detailanalyse soll Aufschluss darüber geben, ob die Berechnung der Grundwand selbst oder die einer bestimmten Schicht für besonders hohe Abweichung oder große Streuung verantwortlich ist.

In Abbildung 4 sind $R_{w,calc}$ die absoluten Abweichungen der Grundwände (links oben), sowie jener Grundwände mit WDVS (rechts oben), jener mit Installationsebene (links unten) und jener mit Zusatzbeplankung (rechts unten) dargestellt. Die x-Koordinaten der Datenpunkte spiegeln die gemessenen bewerteten Schalldämm-Maße der Wandaufbauten wider.

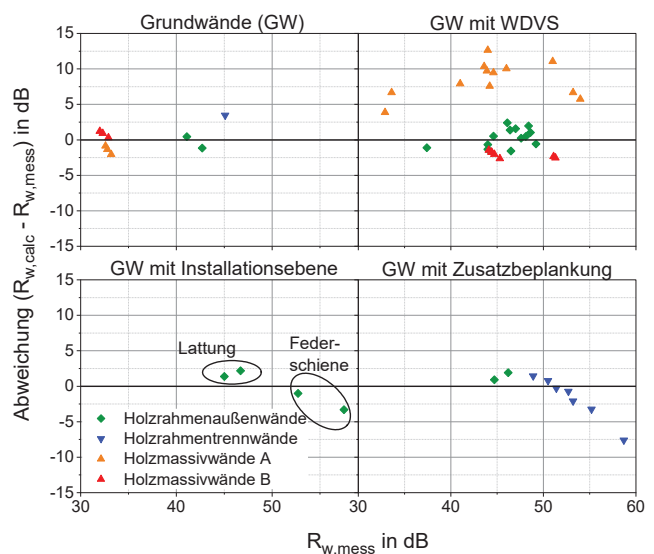


Abbildung 4: Detailanalyse der absoluten Abweichungen in Abhängigkeit der prognostizierten Schicht nach [3].

Diskussion

Zusammenfassung aller Ergebnisse

In Abbildung 1 ist zu erkennen, dass die Holzrahmenwände zu einem überwiegenden Teil dem Trend der eingeblendeten Referenzlinie folgen. Bei den Holzmassivwänden muss zwischen den beiden Datensätzen „A“ und „B“ unterschieden werden. Während die Holzmassivwände des Datensatz „B“ sich ebenfalls der Referenzdiagonale annähern, gibt es mit drei Ausnahmen beim Datensatz „A“ große Abweichungen. Das bewertete Schalldämm-Maß aus diesem Datensatz wird durch das Modell um teilweise mehr als 10 dB überschätzt. Der Datensatz „A“ stammt aus einem Projekt, in dem u. a. der Einfluss der Putzdicke untersucht wurde [9], weshalb teilweise der in [3] für die Anwendung des Modells empfohlene Bereich für Putzicken von 4 mm bis 10 mm unter- bzw. überschritten wird. Allerdings finden sich die großen Abweichungen auch bei Putzicken in dem angegeben Bereich wieder. Dies lässt den Schluss zu, dass ggf. auch die dynamischen Steifigkeiten der Dämmstoffe für die Abweichungen verantwortlich sind. Zwar ist in [3] keine minimal zulässige dynamische Steifigkeit angegeben, allerdings wurde das Modell mit Dämmplatten mit minimal

12 MN/m³ erstellt, während die Dämmstoffe im Datensatz „A“ dynamische Steifigkeiten von 2,1 MN/m³ bis 10,0 MN/m³ aufweisen. Es ist also denkbar, dass die dynamischen Steifigkeiten außerhalb des Bereichs, in dem das Modell zuverlässige Prognosewerte berechnet, liegt.

Für einen Vergleich der beiden angewandten Modellen, sind die Abbildungen 2 und 3 heranzuziehen. Die Datenpunkte basieren jeweils auf dem gemessenen bewerteten Schalldämm-Maß der zugehörigen Grundwand sowie der Berechnung der prognostizierten Änderung durch das WDVS. Während die Holzrahmenwände nach dem Modell in [3] sich wiederum der Referenzdiagonale annähern, liegen dieselben Wände durch das Modell in [4] im Mittel unter der Referenzdiagonale. Diese werden also fast durchgehend unterschätzt. Eine genauere Analyse der Holzrahmenwände hat ergeben, dass die Wände mit Steinwolle-WDVS die größte Schwankung aufweisen. Der Grund für diese Beobachtung muss noch untersucht werden.

Die großen Abweichungen der Holzmassivwände mit WDVS könnten auch im Falle des Modells nach [4] auf die geringeren dynamischen Steifigkeiten der Dämmstoffe aus dem Datensatz „B“ zurückgeführt werden. Ein weiterer Grund für die Abweichung könnten die unterschiedlichen Grundwände sein. Im Modell in [4] beträgt das bewertete Schalldämm-Maß der Massivholzwand ohne WDVS 38 dB, während die Grundwand in den Datensätzen „A“ und „B“ nur 32 bzw. 33 dB erreicht. Da dieser Wert maßgeblich in die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes einfließt, ist deren Einfluss dementsprechend groß und kann zusätzlich für Abweichungen verantwortlich sein.

Da die Abweichungen der Holzmassivwände (Datensatz „A“) aus genannten Gründen nach beiden Modellen sehr groß sind, ist eine quantitative Gegenüberstellung der Ergebnisse hier nicht sinnvoll. Qualitativ ist festzuhalten, dass es durch das Modell in [4] fast überwiegend zu einer Unterschätzung, während es nach dem Modell in [3] durchgehend zu einer Überschätzung der bewerteten Schalldämm-Maße kommt.

Die Detailanalyse zeigt keine Auffälligkeiten bezüglich der Abweichungen einzelner Schichten. Einzige Ausnahme ist wiederum die durchgehend hohe Abweichung der Massivholzwände mit WDVS aus dem Datensatz „A“ (Abbildung 4; rechts oben). Links oben in Abbildung 4 sind die Abweichungen der jeweiligen Grundwände dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass die Grundwände in Holzmassivbauweise in einem Bereich von ± 2 dB abweichen. Daraus kann geschlossen werden, dass die großen Abweichungen des Datensatzes „A“ auf das WDVS und den zuvor genannten Gründen zurückzuführen sind.

Weitere Abweichungen über den Bereich $\pm 2,5$ dB hinaus sind lediglich bei einer Holzrahmenwand mit Federschiene (Abbildung 4; links unten) sowie bei Trennwänden zu beobachten. Letztere fallen dadurch auf, dass schon das prognostizierte bewertete Schalldämm-Maß der Grundwand mit getrennten Ständern um + 3 dB überschätzt wird. Weiters sorgt die Zusatzbeplankung mit Sandplatten (Abbildung 4; rechts unten) für ein Unterschätzen von rund 7,5 dB. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Modell für übliche Beplankungen, wie OSB, Gipskartonbau- und

Gipsfaserplatten erstellt wurde und Sandplatten nicht berücksichtigt wurden.

Optimierungspotential

Der genauere Blick auf die Ausreißer bzw. die größten Abweichungen der prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße der Holzrahmenwände in [3] zeigt, dass die größten absoluten Abweichungen bei Wänden mit Federschiene (Außenwände) und Sandplatten-Beplankung (Trennwände) vorkommen. Sowohl Federschiene als auch Sandplatten können die Schalldämmung von mehrschaligen Bauteilen deutlich verbessern.

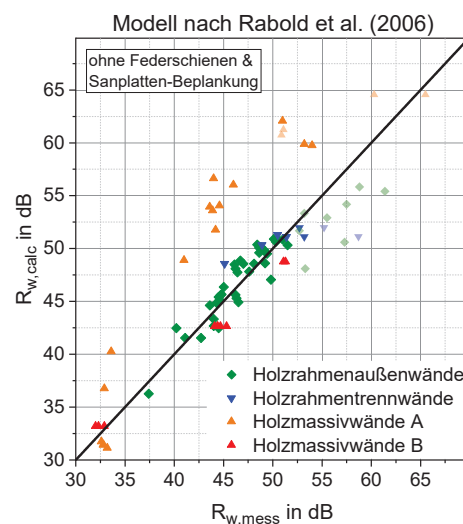


Abbildung 5: Gegenüberstellung der gemessenen und nach [3] prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße. Die Wände mit Federschiene sowie Sandplatten-Beplankungen sind ausgebleicht dargestellt.

In Abbildung 5 sind alle Holzrahmen- und Holzmassivwände dargestellt, die nach [3] prognostiziert wurden. Dabei sind im Unterschied zu Abbildung 1 eben jene Wände mit Federschiene oder Sandplatten-Beplankung ausgebleicht dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Ausreißer der Holzrahmenwände wegfallen und somit die Streuung verringert werden kann. Im Falle der Holzmassivwände verschwinden einige Datenpunkte des Datensatzes „A“, wobei es weiterhin zu großer Überschätzung der bewerteten Schalldämm-Maße kommt, die nicht auf Federschiene oder Sandplatten zurückgeführt werden können.

Aus der geringeren Streuung der Holzrahmenwände ohne Federschiene oder Sandplatten-Beplankung lässt sich ableiten, dass im Modell nach [3] in dieser Hinsicht noch Optimierungspotential vorhanden ist. Aktuell werden die Federschiene mit einem pauschalen Korrekturwert von + 5 dB berücksichtigt. Hier könnte ein, von der Grundwand abhängiger Korrekturwert die Übereinstimmung zu den Messdaten ggf. erhöhen. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Abweichung der Federschiene auf der Grundwand ohne WDVS oder Außenschalung lediglich eine Abweichung von - 3 dB ergibt (vgl. Abbildung 4), während sich die Abweichung in Kombination mit anderen Schichten, die einen großen Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß haben können (z. B. WDVS), mehr als verdoppelt (vgl. Abbildung 5, ausgebleichte

Holzrahmenaußenwände). Dies lässt vermuten, dass ein hohes bewertetes Schalldämm-Maß weniger gut vom Modell erfasst werden kann. Um den Einfluss der Sandplatten besser prognostizieren zu können, müssten ggf. neue Korrekturwerte erarbeitet werden, da Sandplatten bei der Erstellung des Modells nicht berücksichtigt wurden.

Schlussfolgerung

In den Tabellen 1 und 2 werden die wichtigsten Kennwerte für die Bewertung der Prognosemodelle dargestellt. In Tabelle 1 erfolgt ein Vergleich der Kennwerte für Holzrahmenaußenwände (inkl. und exkl. Federschienen) nach [3]. Es ist ersichtlich, dass einerseits die mittlere Abweichung geringer als in [3] ausfällt und sich andererseits die Standardabweichung jener des unabhängigen Datensatzes „Ref.“ annähert. Weiters kann diese deutlich verbessert werden, wenn jene Wände mit Federschienen nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Kennwerte der Prognose der Holzrahmenaußenwände („HR-AW“) inkl. (+) und exkl. jener mit Federschienen (-) nach [3]. „Mod.“ bzw. „Ref.“ stehen dabei für jene Datensätze, die von den jeweiligen Autoren des Modells für die Erstellung bzw. die Validierung des Modells herangezogen wurden.

Modell	Rabold et al. (2006)		
	Mod. / Ref.	HR-AW (+)	HR-AW (-)
σ [dB]	1,6 / 1,9	2,1	1,2
\bar{x} [dB]	- 0,4 / - 0,9	- 0,3	0,4
n	291 / 31	45	37
σ ...Standardabweichung der Prognosewerte \bar{x} ...mittlere Abweichung der Prognosewerte ($R_{w,cal} - R_{w,mess}$) n...Stichprobengröße			

Tabelle 2 zeigt dieselben Kennwerte für die Holzrahmenaußenwände mit WDVS nach [4], sowie dem WDVS-Abschnitt in [3]. Während die Standardabweichung in einem erwartbaren Bereich von 2,0 dB bzw. 1,5 dB liegt, ist vor allem die mittlere Abweichung von - 2,0 dB bei einer Berechnung nach [4] auffallend. Durch den WDVS-Abschnitt nach [3], wird hingegen eine mittlere Abweichung von lediglich - 0,1 dB erreicht.

Tabelle 2: Kennwerte der Prognose der Holzrahmenaußenwände („HR-AW“) mit WDVS nach [4] und [3]. „Mod.“ bzw. „Ref.“ stehen dabei für jene Datensätze, die von den jeweiligen Autoren des Modells für die Erstellung bzw. die Validierung des Modells herangezogen wurden.

Modell	Weber et al. (2018)	Rabold et al. (2006)	
	Mod. / Ref.	HR-AW mit WDVS	
σ [dB]	1,9 / 2,6	2,0	1,5
\bar{x} [dB]	0,0 / 0,3	- 2,0	- 0,1
n	43 / 13	17	17
σ ...Standardabweichung der Prognosewerte \bar{x} ...mittlere Abweichung der Prognosewerte ($R_{w,cal} - R_{w,mess}$) n...Stichprobengröße			

Da die Abweichungen der prognostizierten bewerteten Schalldämm-Maße der Holzmassivwände nach beiden Modellen je nach Datensatz sehr groß sind (vgl. Abbildungen 2 und 3) bzw. die Stichprobe der Holzrahmentrennwände

klein ist, werden die Prognosekennwerte dieser Wandtypen nicht angeführt.

Aus den angeführten Analysen kann geschlossen werden, dass das Modell nach [3] für Holzrahmenwände die bewerteten Schalldämm-Maße mit wenigen Ausnahmen gut abschätzen kann. Die Ausnahmen beschränken sich dabei auf Installationsebenen mit Federschienen sowie Sandplatten-Beplankungen.

Literatur

- [1] Caniato, M.; Bonfiglio, P.; Bettarello, F. et al.: Innovative Approach in Acoustic Simulation of Timber Walls. In: Corrado, V.; Fabrizio, E.; Gasparella, A. et al. (Hrsg.): Building Simulation 2019 – 16th IBPSA International conference. International Building Performance Simulation Association, Proceedings, Rome (I), 2019, S. 47-54.
- [2] Li, Y.-W.; Wang, C.-N.: Analysis of the transmission loss of double-leaf panels with an equivalent spring-mass model for studs. In: Journal of Mechanics (2020), Heft 37, S. 126-133.
- [3] Rabold, A.; Hessinger, J.; Bacher, S. et al.: Erarbeitung eines Prognoseverfahrens zur Bestimmung der Schalldämmung von Holzständerwänden auf der Grundlage der Konstruktion und der verwendeten Werkstoffe. ift Rosenheim, Labor für Schall- und Wärmemesstechnik, Rosenheim Ausgabe 2006.
- [4] Weber, L.; Kaltbeitzel, B.; Maysenhölder, W.: Verbesserung der Schalldämmung von leichten Ständerwänden bei tiefen Frequenzen. Fraunhofer Institut für Bauphysik Ausgabe 2018.
- [5] Nusser, B.; Lux, C.; Ferk, H.: ETICS and Exterior Wooden Cladding on timber frame walls – influence of facade system and construction details on the airborne sound insulation. In: : e-Forum Acusticum 2020, Proceedings, virtual, 2020, S. 1241-1248.
- [6] Nusser, B.; Lux, C.: Effects of construction details on measured sound insulation of timber frame partition walls. In: European Acoustics Association (Hrsg.): Euronoise 2021, Proceedings, Madeira, Portugal - online, 2021.
- [7] Nusser, B.; Pirch, P.: Das Akustik Center Austria – von der Planungsphase zur Umsetzung. In: Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift 162 (2017), Heft 1, S. 187-190.
- [8] 10140-2:2010: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung. ÖNROM EN ISO.
- [9] Nusser, B.; Lux, C.: Schalldämmung von Holzmassivbauteilen – BSP-Außenwände mit WDVS aus EPS und Mineralwolle. In: Holzbau - die neue Quadriga (2018), Heft 5, S. 40-44.