

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in der Bauteilprüfung und in Prognosen

Simon Mecking, Mathias Kohrmann, Andreas Rabold

Labor für Schallmesstechnik, Hochschule Rosenheim, E-Mail: simon.mecking@fh-rosenheim.de

Einleitung

Um die Anwendungsmöglichkeiten im Bauwesen für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu fördern, wurde von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. ein Projekt initiiert, das für diese Dämmstoffe die unterschiedlichen Anforderungen aufzeigt und Planungs- und Nachweismöglichkeiten zur Verfügung stellt. Im Bereich des Schallschutzes werden hierzu Bauteilkataloge für diese Dämmstoffe erweitert, Prüfverfahren für die Materialeigenschaften der Dämmstoffe festgelegt und Prognosemodelle weiterentwickelt.

Zur Erweiterung der Bauteilkataloge wurden vorhandene Bauteilsammlungen analysiert und Lücken durch Bauteilprüfungen am ift Rosenheim geschlossen. Hierzu werden parallel anhand von Simulationsmodellen die Luft- und Trittschallübertragungen der Bauteile prognostiziert, um den Einfluss der unterschiedlichen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen zu untersuchen und die Anzahl an Bauteilmessungen zu reduzieren. Bei den Simulationsmodellen kommen sowohl numerische als auch statistische Methoden zum Einsatz. Die Eingangsdaten für die Simulation werden durch Messungen an der PTB Braunschweig ermittelt [1, 2]. Anhand der Validierung der Simulationsergebnisse gegenüber Bauteilmessungen kann überprüft werden, inwiefern die konventionellen Messgrößen (Strömungswiderstand, dynamische Steifigkeit, Absorptionsgrad und Rohdichte) für die Materialbeschreibung ausreichend sind. In diesem Beitrag werden Zwischenergebnisse aus dem Projekt präsentiert.

Bauteilprüfungen

Zur Erweiterung und Öffnung der Bauteilkataloge und zur Verifizierung der Berechnungsmodelle wurden innerhalb des Projektes 22 Varianten von Holzbalkendecken gemessen. Dabei bestand sowohl die Trittschalldämmung als auch die Hohlraumdämmung aus nachwachsenden Rohstoffen. Bei den Konstruktionen wurde der Estrichaufbau und die Systeme zur Unterdeckenabhängung variiert. Bei 12 Deckenvarianten wurde ein Trockenestrich bzw. Dielenaufbau und bei 10 Decken ein Zementestrich verwendet. Die Konstruktionen sind für die Verwendung in Wohn-, Bürogebäuden und Schulen konzipiert.

Ein Teil der Ergebnisse wird in Abbildung 4(a) und in [3] beschrieben. So konnte z.B. mit Jute als Hohlraumdämmung ein gleichwertiger Norm-Trittschallpegel einer Holzbalkendecke mit abgehängter Unterdecke erreicht werden wie mit einer Mineralwolle. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Bauteilmessungen zur

Veröffentlichung in parallele Projekte genutzt, um diese dem Planer zugänglich zu machen. Das ist zum einen das Projekt *dataholz* der TU München bei dem eine Bauteildatenbank ausgehend von der österreichischen Variante www.dataholz.com für die Rahmenbedingungen des deutschen Marktes angepasst werden. Zum anderen ist die Erarbeitung eines neuen Schallschutzhandbuches geplant, welches die Holzbauhandbücher vom Informationsdienst Holz ersetzen wird. Für beide Projekte werden die Ergebnisse der Bauteilmessungen zur Verfügung gestellt.

Neben den Holzbalkendecken werden im Projektverlauf weitere Bauteilmessungen an Massivholzkonstruktionen in Kombination mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen durchgeführt.

Prognosemodelle

Ziel der Simulationen ist die schalltechnische Gleichwertigkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zu konventionellen Dämmstoffen bewerten zu können.

Statistische Energieanalyse

Vorbereitend für das Modell einer zweischaligen Wand mit unterschiedlichen Dämmstoffen wurde zunächst eine einfache Platte und eine Schachtwand mithilfe der statistischen Energieanalyse (SEA) modelliert.

Platte

Zur Verifizierung der Schalldämmung einer einschaligen Wand wurden die Messergebnisse [4, S. 222] einer 16 mm Spanplatte verwendet. Drei Varianten der Prognose wurden berechnet.

Bei der Berechnung der Schalldämmung nach DIN EN ISO 12354-1:2017-11 [5, Anhang B.3]¹ wurde der Gesamtverlustfaktor mit (1)

$$\eta_{\text{tot}} = 0.01 + \frac{0.5}{\sqrt{f}} \quad (1)$$

berücksichtigt. Als weitere Variante wurde nach dem Verfahren aus Leppington u. a. [6] gerechnet. Dabei wurde der Gesamtverlustfaktor detailliert aus der Summe von internem Verlustfaktor und den frequenzabhängigen Kopplungs- und Abstrahlverlustfaktoren berechnet. Als dritte Berechnungsvariante wurde die kommerzielle SEA Software VAONE[®] 2016 verwendet mit einem konstanten Verlustfaktor von 1,9% für die Summe aus Kopplungs- und internem Verlustfaktor.

¹Die Autoren weisen auf ein Setzungsfehler in der Gleichung (B.3) in [5] hin. Für den Fall $f < f_c$ sollte der Bruch $\left[\frac{1-f^2}{f c^2} \right]$ durch $\left[1 - \frac{f^2}{f c^2} \right]$ ersetzt werden.

Die prognostizierten Schalldämmungen in Abbildung 1 zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen oberhalb von 100 Hz.

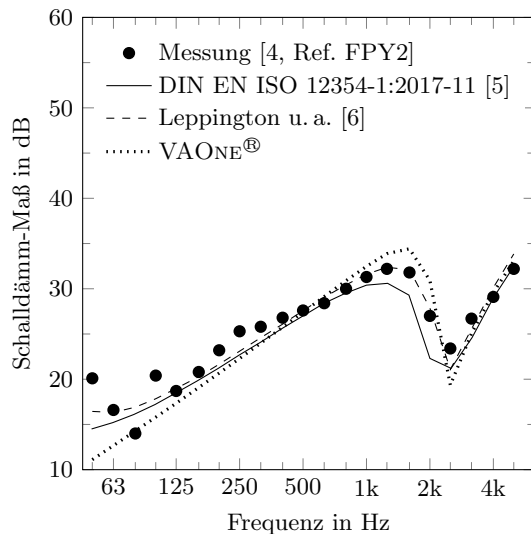


Abbildung 1: Schalldämmung einer einschaligen Wand $1,98 \text{ m} \times 0,95 \text{ m}$ aus einer 16 mm Spanplatte ($\rho = 646 \text{ kg/m}^3$; $E = 1890 \text{ MPa}$; $\mu = 0,3$; $\eta_{\text{int}} = 0,01$). E-Modul berechnet aus $f_c = 2340 \text{ Hz}$ aus Messung. Das Sendezu- Empfangsraum Volumen beträgt 70 m^3 zu 54 m^3 .

Schachtwand

Zur Verifizierung wurden Messergebnisse aus [7] verwendet. Die Schachtwand bestand dabei aus Gipsfaserplatten, die auf Holzständer geschraubt waren. Die Plattenstöße waren bei der Messung verklebt. Das E-Modul für die Gipsfaserplatte wurde aus der Koinzidenzfrequenz der Messung berechnet. Mithilfe der Software VAONE[®] wurden zwei Modelle für die Schachtwand erstellt. Einmal wurde nur die Gipsfaserplatte als Trennelement verwendet und das andere Mal wurde eine gerippte Platte verwendet. Dabei wurden die Holzriegel als rechteckige Balken mit der Gipsfaserplatte als starr verbunden angenommen. In Abbildung 2 sind die Berechnungsergebnisse den Messergebnissen gegenüber gestellt. Die Berechnung als gerippte Platte führt zu einer höheren Übereinstimmung mit der gemessenen Schalldämmung im mittleren und hohen Frequenzbereich. Die Abweichungen unterhalb von 125 Hz sind im modalen Schwingverhalten der Schachtwand begründet. Die geringe und sehr unterschiedliche Modenanzahl in diesen Frequenzbändern führt zu großen Unsicherheiten bei Anwendung der statistischen Energieanalyse. Zur Berücksichtigung des modalen Verhaltens für tiefe Frequenzen eignet sich die Finite Elemente Methode.

Finite Elemente Methode

Für das Finite-Elemente (FE) Modell einer Holzbalkendecke mit schwimmendem Estrich und Unterdecke wird ein bereits an der Hochschule Rosenheim existierendes Modell verwendet und weiterentwickelt. Dieses wurde im Rahmen des AiF-Forschungsprojektes *VibWood* erstellt, sowie kalibriert und verifiziert [8]. Für das vorliegende

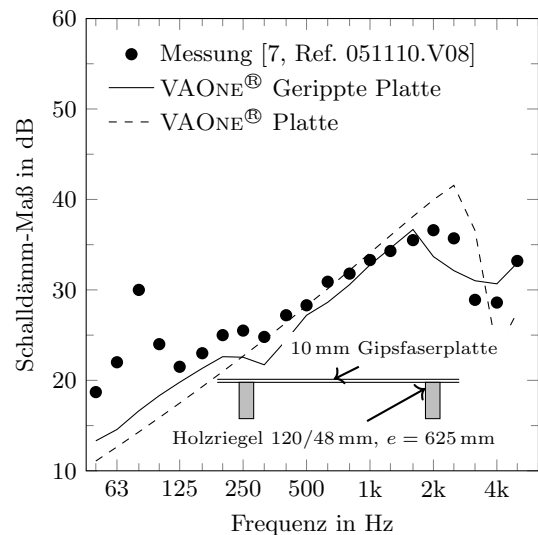


Abbildung 2: Schalldämmung einer Schachtwand $2,69 \text{ m} \times 4,41 \text{ m}$ aus Gipsfaserplatten ($\rho = 1220 \text{ kg/m}^3$; $E = 4000 \text{ MPa}$; $\mu = 0,25$; $\eta_{\text{int}} = 0,01$) und Riegel ($\rho = 450 \text{ kg/m}^3$; $E_{\parallel} = 12 \text{ GPa}$; $\mu = 0,25$). Das Sendezu- Empfangsraum Volumen beträgt 105 m^3 zu 63 m^3 .

Projekt wird das bestehende Modell um Dämmmaterial im Deckenhohlraum ergänzt. Das oben genannte Modell ist bisher nur für den Frequenzbereich bis 150 Hz validiert. Es sind daher weitere Untersuchungen vor allem hinsichtlich der Dämpfungsparameter des Modells notwendig.

Für die FE Simulation wird die kommerzielle Software ANSYS[®] Mechanical APDL verwendet. Es werden harmonische Analysen im Frequenzbereich von 50 Hz bis 280(560) Hz unter einer harmonischen Einzellast von 1 N in Deckenmitte durchgeführt. Die Frequenzschrittweite beträgt hierbei 10 Hz. Eine Simulation des gesamten bauakustisch relevanten Frequenzbereichs ist mit der FE Methode aufgrund der geringen Wellenlängen der Systeme oberhalb von 250(500) Hz nicht zielführend. Anhand der Schnelleverteilung auf der Beplankung der Unterdecke wird in einem weiteren Schritt die abgestrahlte Schalleistung des Deckenmodells ermittelt. Das geschieht mit Hilfe eines Auswertemodells, das auf Integraltransformationmethoden beruht. Die ermittelte Schalleistung wird auf das Anregespektrum eines Norm-Hammerwerks skaliert und in Terzpegel im Bereich von 50 Hz bis 250(500) Hz umgewandelt. Anschließend wird daraus ein Norm-Trittschallpegel prognostiziert [8].

Holzbalkendecke mit Dämmung

Zur Simulation poröser Materialien stehen in ANSYS[®] unterschiedliche Modelle zur Verfügung, wobei ausschließlich Methoden, die das poröse Material als äquivalentes Fluid betrachten angeboten werden. Beispielhaft seien hier die Modelle nach Johnson-Champoux-Allard (JCA) und Delany-Bazley-Miki (MIKI) genannt [9]. Das semi-phänomenologische JCA Modell benötigt die fünf Eingangsparameter Strömungswiderstand, Porosität, Tortuosität, sowie die viskose und die thermische

charakteristische Länge. Ein vollständiger Parametersatz steht für die wenigsten betrachteten Dämmstoffe zur Verfügung. Für exemplarische Dämmstoffe werden diese im Projektverlauf ermittelt. Demgegenüber benötigt das empirische MIKI Modell lediglich einen Parameter, den Strömungswiderstand. In Voruntersuchungen konnten nur geringe Abweichungen für die beiden Modelle im betrachteten Frequenzbereich festgestellt werden, weshalb im Folgenden das MIKI Modell verwendet wird.

Zur Verifizierung des Modells mit Hohlraumdämmung (100 mm Mineralwolle; 30 mm Trittschalldämmung mit $s' = 7 \text{ MN/m}^3$; 20 mm Holzwerkstoffplatte) werden die Simulationsergebnisse in Abbildung 3 den Norm-Trittschallpegeln von zwölf Labormessungen gegenüber gestellt. Dabei werden Messungen an Holzbalkendecken (220 mm hohe Holzbalken im Abstand von 62,5 cm) mit schwimmendem Zementestrich und einer einfach beplankten, über Federschienen abgehängten Unterdecke aus 12,5 mm Gipskartonplatten betrachtet. In diesem Datensatz sind Decken mit leicht streuender Geometrie und Materialparameter (25 mm bis 40 mm Trittschalldämmung mit $s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$ bis 8 MN/m^3 ; 19 mm bis 22 mm Holzwerkstoffplatte) zusammengefasst. Die Abhängung wird im Modell als Feder-Dämpfer-Elemente idealisiert und auf eine Eigenfrequenz von 60 Hz abgestimmt. Die Dämpfungskonstante wird in erster Näherung mit 30 Ns/m abgeschätzt. Hier sind noch weitere Untersuchungen notwendig. Beim Vergleich der Kurven in Abbildung 3 ist eine gute Übereinstimmung unterhalb von 250 Hz zu erkennen. Die Werte der Simulation liegen im Streubereich der Messergebnisse, die Eigenfrequenz bei etwa 60 Hz wird abgebildet. Oberhalb von 250 Hz weichen die Simulationsergebnisse stärker ab, weshalb dieser Frequenzbereich für die weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt werden kann.

Parameterstudie zur Hohlraumdämmung

Das verifizierte Modell wird für eine Parameterstudie verwendet. Abbildung 4(a) zeigt den Vergleich der simulierten Norm-Trittschallpegel einer Referenzdecke mit unterschiedlichen Hohlraumdämmung im Vergleich zu Messergebnissen. Wie auch bei den Messergebnissen weichen die Simulationsergebnisse nur geringfügig voneinander ab. Trotz des geringeren längenbezogenen Strömungswiderstands der Jute (HM-d-02-01-200) werden gleichwertige Ergebnisse erzielt. Abbildung 4(b) zeigt den Vergleich für unterschiedliche Dicken der Hohlraumdämmung. Bei den Messungen betrug der Unterschied 1,9 dB im Einzahlwert $L_{n,w}$. Bei der Simulation ist der Einfluss der Dämmstoffdicke etwas größer. Klar erkennbar sind bei Simulation und Messung die Spitzen bei 63,5 Hz, welche der erwarteten Estrich-Resonanzfrequenz entspricht. Alle Graphen fallen zu höheren Frequenzen hin ab, wobei die Steigung bei den Simulationen im Vergleich zu den Messungen stärker ausfällt. Eine mögliche Optimierung ist die Dämpfungskonstante des Abhängermodells.

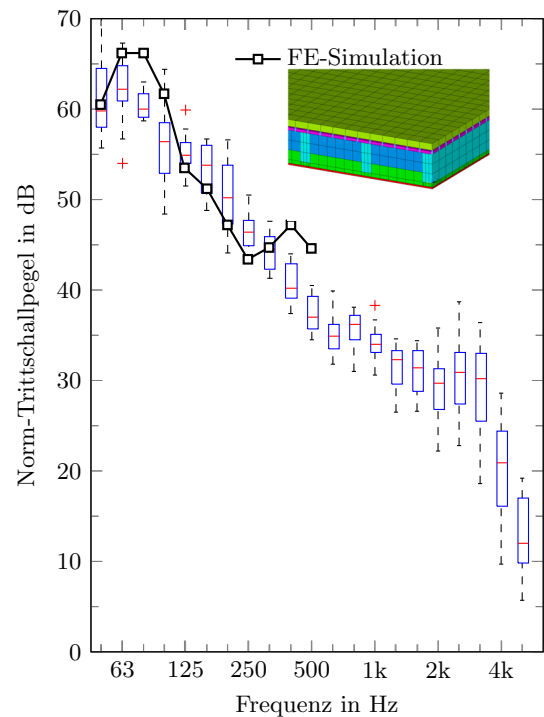


Abbildung 3: FE-Berechnung nach [8] mit ANSYS® im Vergleich zu Boxplots gebildet aus 12 Messungen von ähnlichen Holzbalkendecken mit Unterdecke an Federschienen.

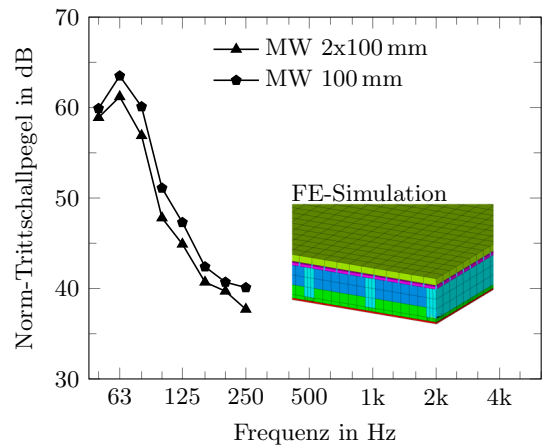
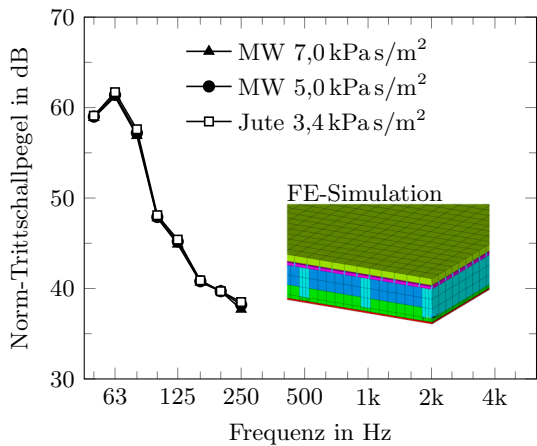
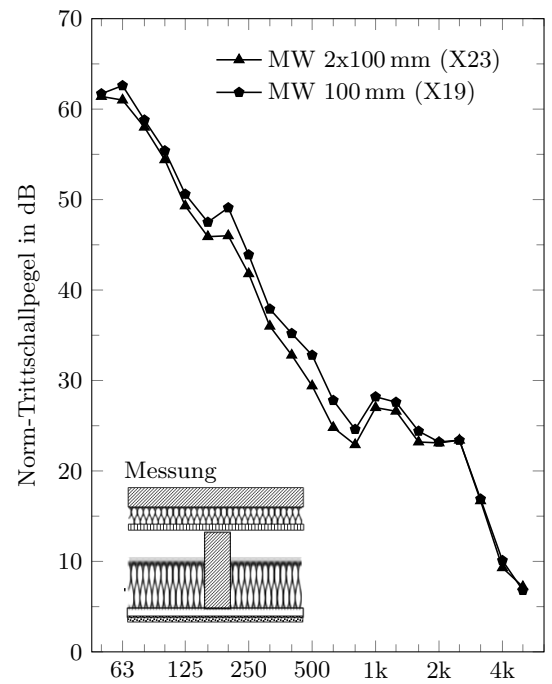
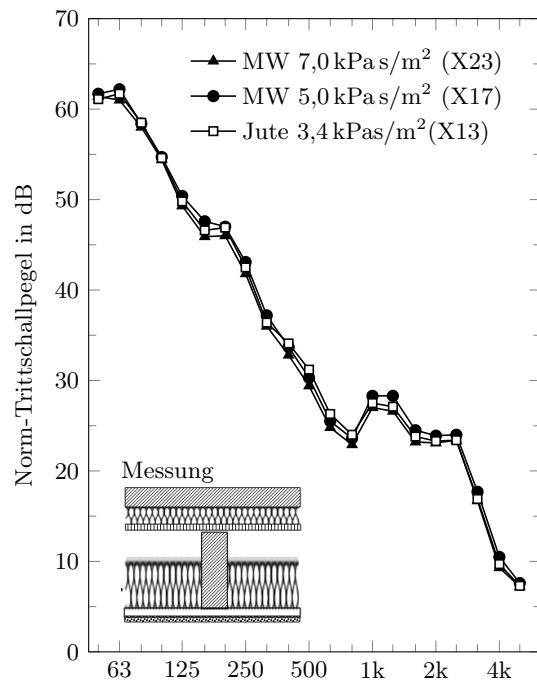
Zusammenfassung

Durch Bauteilprüfungen an Holzbalkendecken mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind die Voraussetzung zur Erweiterung und Öffnung von vorhandenen Bauteilkatalogen geschaffen worden. Die Ergebnisse dienen auch zur Verifizierung der Prognosemodelle.

Für die SEA konnten Berechnungen von einschaligen Bauteilen wie Platten und Schachtwänden gegenüber Messungen verifiziert werden. Im weiteren Projektverlauf werden zweischalige Konstruktionen mit Hohlraumdämmung und Massivholzelementen behandelt. Ein parametrisiertes FE-Modell einer Holzbalkendecke konnte um die Hohlraumdämmung als äquivalentes Fluid erweitert und mit Messungen bis etwa 250 Hz verifiziert werden. Erste Ergebnisse einer Parameterstudie zeigten, dass das FE-Modell den relativen Einfluss der Dämmstoffart und -dicke auf den Norm-Trittschallpegel geeignet wiedergibt. Damit wird die schalltechnische Bewertung der Gleichwertigkeit verschiedener Dämmstoffe zu konventionellen Dämmstoffen ermöglicht.

Danksagung

Die Ergebnisse sind aus Teilprojekt 3 des Forschungsverbundprojektes *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 Teil der Bauteilprüfungen wurde finanziert durch Holzbau Deutschland - Zentralverband des Deutschen Baugewerbes.



(a) Art der Hohlraumdämmung

(b) Dicke der Hohlraumdämmung

Abbildung 4: Einfluss von Art und Dicke der Hohlraumdämmung auf den Norm-Trittschallpegel einer Holzbalkendecke mit 50 mm Zementestrich, 30 mm Trittschalldämmung $s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$, 22 mm OSB, 80/220 mm Balken ($e = 625 \text{ mm}$) und Unterdecke aus 2x12,5 mm Gipskarton-Feuerschutzplatte an 40 mm Direktschwingabhängern mit 60/27 mm CD-Profilen ($e = 400 \text{ mm}$).

Literatur

- [1] Bietz, H.; Wittstock, V.: Untersuchungen zur Bestimmung der dynamischen Steifigkeit elastischer Dämmstoffe. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA*. 2018
- [2] Schmelzer, M.; Wittstock, V.: Zur Messung des Strömungswiderstands mit dem Luftwechselstromverfahren. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA*. 2018
- [3] Rabold, A. u. a.: Nachweis von Holzdecken nach DIN 4109 - Möglichkeiten und Grenzen. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA*. 2018
- [4] Nusser, B.: Entwicklung bauakustisch optimierter Trennwände aus Leichtbauplatten auf Basis gewonnener Materialkennwerte. Masterarbeit. Hochschule Rosenheim, 2007
- [5] DIN EN ISO 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften; Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen
- [6] Leppington, F. G. u. a.: Resonant and Non-Resonant Acoustic Properties of Elastic Panels. II. The Transmission Problem. *Proc R Soc A* 412 (1987), S. 309–337
- [7] Rabold, A. u. a.: Erarbeitung eines Prognoseverfahrens zur Bestimmung der Schalldämmung von Holzständerwänden auf der Grundlage der Konstruktion und der verwendeten Werkstoffe: Abschlussbericht. Hrsg. von ift Rosenheim. 2006
- [8] Kohrmann, M.: Numerical Methods for the Vibro-Acoustic Assessment of Timber Floor Constructions. Dissertation. Technische Universität München, 2017
- [9] Miki, Y.: Acoustical properties of porous materials - Modifications of Delany-Bazley models. *J Acoust Soc Jpn (E)* 11.1 (1990), S. 19–24