



FLANKENÜBERTRAGUNG IM HOLZ- UND HYBRIDBAU

Veronika Silberbauer

PIRMIN JUNG Deutschland GmbH, E-Mail: veronika.silberbauer@pirminjung.de

Kurzfassung

Die flankierende Übertragung im Massivbau (Stahlbeton- und Mauerwerksbau) kann gemäß DIN 12354-1 (2017-11) mithilfe des Stoßstellendämmmaßes berechnet werden. Für die Flankenübertragung bei Stoßstellen aus Massivholzbauteilen (Brettsperholz, Brettschichtholz oder Brettstapелеlemente) liegen ebenfalls in der DIN 12354-1, Anhang F Prognoseformeln zur Berechnung des K_{ij} vor. Derzeit gibt es jedoch noch kein Prognoseverfahren zur Ermittlung der Stoßstellendämmung von Massivholzelementen in Kombination mit Stahlbetonbauteilen (z.B. Brettsperholzwände in Kombination mit Stahlbetondecken). In der Praxis wird hier oftmals von einer hybriden Bauweise gesprochen. Im Rahmen einer Masterthesis sind die theoretischen Grundlagen der Flankenübertragung im ‚Hybridbau‘ mithilfe der Wellentheorie untersucht worden. Anhand von Messergebnissen der Stoßstellendämm-Maße in Laborprüfungen und in verschiedenen Objekten (Mehrfamilienhäuser) sind Prognoseformeln ermittelt worden, die eine Abschätzung der Flankenübertragung ‚hybrider Stoßstellen‘ ermöglichen – sowohl für einen Kreuzstoß (nachfolgend auch X-Stoß genannt), als auch für einen T-Stoß. (Silberbauer, 2021)

Abstract

European and International Standards are including prediction models for the Vibration Reduction Index to calculate the sound transmission across junctions of walls and floors. In timber constructions, formulas for the prognosis calculation for the flanking transmissions described by F_f , D_f and F_d on the basis of the mass ratio are already available for joints of solid timber components (Cross Laminated Timber). However, there is currently no prediction method for determining the joint insulation of solid timber elements in combination with reinforced concrete components (e.g. cross-laminated timber walls in combination with reinforced concrete floors). Based on measurement results of the joint insulation dimensions in laboratory tests and structure-borne sound measurements in various buildings, prediction formulas were determined that enable an estimation of the flanking transmission of 'hybrid joints' - both for a cross joint (hereinafter also referred to as X-joint) and for a T-joint.

Einführung

Neben der Direktschalldämmung von Trennbauteilen ist auch die flankierende Übertragung für die Beurteilung des Schallschutzes in Gebäuden relevant – insbesondere im Holzbau.

Norm-Flankenschallpegeldifferenz im Hybridbau

Für die Flankenübertragung von Holzleichtbauteilen in Hybridgebäuden kann die Norm-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,w}$ angewendet werden, um die flankierende Übertragung des Weges F_f zu ermitteln. Die Übertragungswege F_d und D_f sind vernachlässigbar.

Angaben zur Norm-Flankenschallpegeldifferenz können den Ergebnissen aus Untersuchungen der Technischen Universität München entnommen werden. Für die flankierende Übertragung von Fassadenelementen in der Hybridbauweise sind bereits Planungsdaten veröffentlicht (Winter, 2016).

Stoßstellendämm-Maße im Massivholzbau

Für flankierende und trennende Bauteile aus Massivholzelementen kann in Abhängigkeit des Masseverhältnisses aus flankierendem und trennenden Bauteil das Stoßstellendämm-Maß für einen T-Stoß und einen X-Stoß ermittelt werden. Prognoseformeln zur Ermittlung des Stoßstellendämmmaßes K_{ij} für die Berechnung der Übertragungswege F_d , D_f und F_f sind in DIN 12354 Teil 1 (2017-11), Anhang F angegeben. Jedoch können diese Prognoseformeln nur für Bauteile mit einem flächenbezogenen Masseverhältnis $0,5 < m_1/m_2 < 2$ sowie unter Berücksichtigung einer gelenkigen Verbindung der Bauteile (nicht starr) angenommen werden. Für hybride Stoßstellen sind daher die Prognoseformeln der DIN 12354-1 nicht anwendbar, da die Anforderung an das Masseverhältnis nicht eingehalten werden kann.

Stoßstellendämm-Maße im Hybridbau

Für die Berechnung der Flankenübertragung im Hybridbau bei Detailanschlüssen mit Stahlbetonelementen und Massivholzelementen sind derzeit noch keine Prognoseformeln in den einschlägigen DIN Normen zur Ermittlung des K_{ij} hinterlegt.

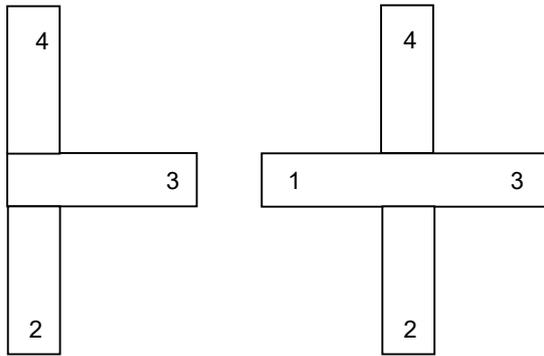


Abbildung 1: Schematische Abbildung T-Stoß (links) und Kreuzstoß/X-Stoß (rechts) mit Bauteilnummerierung.

Theorie

Grundlegende Theorie für die Körperschallausbreitung in einer Stoßstelle ist die Wellentheorie unter Betrachtung der auftretenden Wellenarten: Biege-, Transversal- und Longitudinalwellen. Für das Stoßstellendämmmaß ist das Transmissions- und Reflexionsverhalten einer einfallenden Biege- an einer Stoßstelle maßgeblich.

Bereits 1967 setzte sich M.A. Heckl in der Wellentheorie umfassend mit dem Einfluss der Verbindungsart von Bauteilen auseinander. Zusätzlich werden in der Wellentheorie (Heckl, 1967) auch die Einflussgrößen

- Elastischer Zwischenlager,
- Dickenwechsel,
- Materialwechsel
- und Sperrmassen

in einer Stoßstelle berücksichtigt.

Sperrmassen

Die (ersten) Messergebnisse von Stoßstellendämmmaßen in unterschiedlichen Bausituationen zeigen bei dem Übertragungsweg 2 – 4 bzw. 4 – 2 (Bauteilbezeichnung siehe Abbildung 1) im mittleren Frequenzbereich ein hohes Stoßstellendämmmaß auf (siehe Abbildung 2). Aufgrund dessen wird der theoretische Vergleich unter Berücksichtigung des sog. Sperreffekts in der Wellentheorie gesucht.

Dieser Effekt tritt bei dem Einsatz von Sperrmassen auf und ist abhängig von der Drehfedersteife im Knotenpunkt bzw. der Stoßstelle. Zusätzlich wirkt sich die Verbindungsart - gelenkig oder starr – auf den Sperreffekt und damit auf das Stoßstellendämmmaß aus. Anhand der Lage der Resonanzfrequenz des schwingenden Systems aus den verbundenen Bauteilen (Decke und Wände), der sog. ‚Sperrfrequenz‘ kann in den ermittelten Ergebnissen des K_{ij} ein vergleichsweise hohes Stoßstellendämmmaß abgelesen werden (siehe Abbildung 2, $f = 500$ Hz).

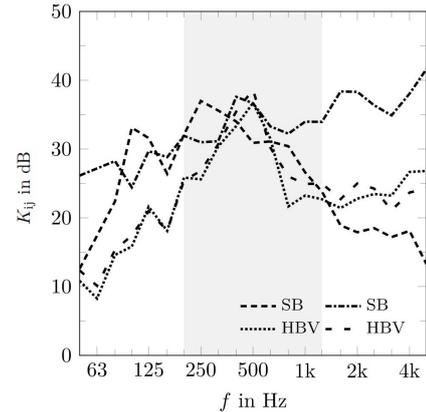


Abbildung 2: gemessene Stoßstellendämm-Maße „hybrider Stoßstellen“ in vier verschiedenen Gebäuden unterschiedlicher Konstruktionen: die flankierenden Bauteile sind Brettsperrelemente, das trennende Bauteil eine Stahlbeton-Hohlkammerdecke (SB) (siehe Detail in Abb. 3) bzw. Holz-Beton-Verbunddecke (HBV). Das dargestellte K_{ij} ist für die Übertragungssituation 2↔4.

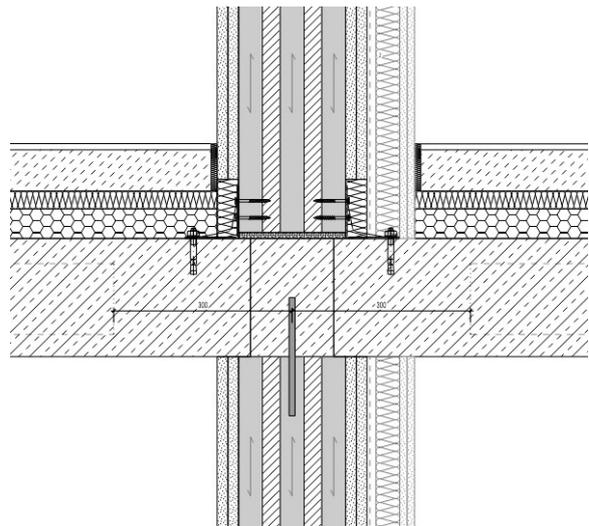


Abbildung 3: Stoßstellensituation im Geschossübergang. Das Trennbauteil (Stahlbeton-Hohlkammerdecke) trennt die flankierenden Wohnungstrennwände in Brettsperrelemente. Die Wände sind tragend und jeweils beidseitig mit Gipsfaserplatten beplankt.

Stoßstellendämm-Maße

Massivholzbau

Zur Validierung der in Anhang F der DIN 12354-1 angegebenen Prognoseformeln (siehe Gleichung 1 – 5 folgend) zur Berechnung der Stoßstellendämmmaße bei Stoßstellen aus Massivholzbauteilen (Brettsperrelemente) liegen Messergebnisse ‚in situ‘ und aus Laborprüfungen vor (Timpte, 2016).

Anhand der Mittelwerte aus den vorhandenen Ergebnissen soll eine Tendenz abgebildet werden, inwieweit die Messungen des K_{ij} mit den Prognoseformeln abgebildet werden können.

Für einen T-Stoß gilt:

$$K_{24} = 22 + 3,3 \cdot \log(f/f_k) \quad (1)$$

$$K_{34} = 15 + 3,3 \cdot \log(f/f_k) \quad (2)$$

Für einen Kreuzstoß gilt:

$$K_{13} = 10 - 3,3 \cdot \log(f/f_k) + 10M \quad (3)$$

$$K_{24} = 23 + 3,3 \cdot \log(f/f_k) \quad (4)$$

$$K_{34} = 18 + 3,3 \cdot \log(f/f_k) \quad (5)$$

für $f_k = 500$ Hz und $M = \log^*(m'_1 / m')$.
(DIN 12354-1, 2017)

Hybridbau

Als Datengrundlage für die Erstellung von Prognosen zur Berechnung der Stoßstellendämm-Maße von ‚hybriden Stoßstellen‘ liegen Ergebnisse aus Laborprüfungen vor. Zusätzlich sind Körperschallmessungen in verschiedenen Bausituationen durchgeführt worden.

- Laborprüfung Holz-Beton-Verbund-Rippendecke und Massivholzwände
- Laborprüfung Stahlbetondecke und Massivholzwände, starr verbunden
- Baumessungen an Stahlbetonhohlkammerdecke und Massivholzwänden
- Baumessungen an Holz-Beton-Verbunddecken und Massivholzwänden

Für die Stoßstellensituation eines Kreuzstoßes sind die Übertragungswege K_{13} , K_{23} , K_{34} und K_{24} untersucht worden, für T-Stoßstellen sind die Stoßstellendämm-Maße K_{24} , K_{23} und K_{34} gemessen worden.

Aus den Ergebnissen der Messungen sind frequenzabhängigen Mittelwerte für die unterschiedlichen Stoßstellensituationen und Bauteilfügungen zur Auswertung herangezogen worden. Diese dienen der Prognose der Stoßstellendämmung hybrider Stoßstellen.

Für die verschiedenen Stoßstellensituationen ergeben sich die Prognoseformeln für ein flächenbezogenes Masseverhältnis $1 \text{ m} < m'_1/m' < 9$ wie folgt:

T-Stoß:

$$K_{23} = 1,4 \cdot \log(f/f_k) + 16,7 \quad (6)$$

$$K_{34} = 1,3 \cdot \log(f/f_k) + 16,6 \quad (7)$$

$$K_{24} = 3,2 \cdot \log(f/f_k) + 28,1 \quad (8)$$

Kreuzstoß:

$$K_{23} = -0,23 \cdot \log(f/f_k) + 14,8 \quad (9)$$

$$K_{34} = 0,12 \cdot \log(f/f_k) + 15,9 \quad (10)$$

$$K_{24} = 1,5 \cdot \log(f/f_k) + 26,2 \quad (11)$$

$$K_{13} = -1,7 \cdot \log(f/f_k) + 6,1 \quad (12)$$

für $f_k = 500$ Hz.

Bauteilnummerierung gemäß Abbildung 1.

Ergebnisse

X-Stoß

Die folgenden Abbildungen 4 bis 7 zeigen den Vergleich der Stoßstellendämm-Maße ‚hybrider Stoßstellen‘ (rot) im Vergleich zur Auswertung vorliegender Messergebnisse von Stoßstellen im Massivholzbau (blau) (Timpte, 2016). Die Anzahl n gibt die Menge vorliegender Messergebnisse zu ebener Bausituation an, aus denen jeweils die Mittelwerte (MW) in den Grafiken abgebildet werden. Die Bezeichnung der Übertragungswege bezieht sich auf die Nummerierung der Bauteile in Abbildung 1. Trennendes Bauteil der hybriden Stoßstellen war jeweils eine (massive) Trennedecke die vollständig die flankierenden Wände trennte.

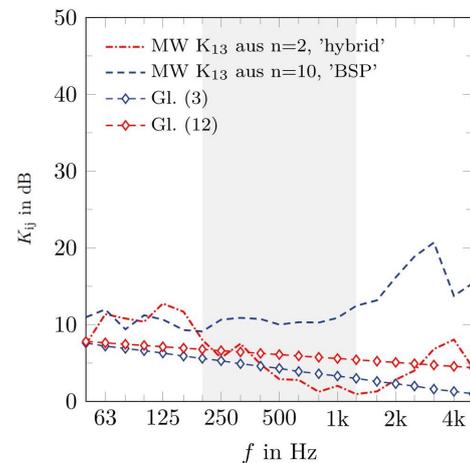


Abbildung 4: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $1 \leftrightarrow 3$ eines X-Stoßes. Die vorliegenden Ergebnisse von Stoßstellen in Massivholzbauweise liegen deutlich über den Prognosewerten der DIN 12354-1. Aus den Mittelwerten im Hybridbau ergibt sich für die Prognose nach Gleichung 12 eine höhere Stoßstellendämmung (frequenzabhängig) gegenüber Gleichung 3 (Massivholzbau).

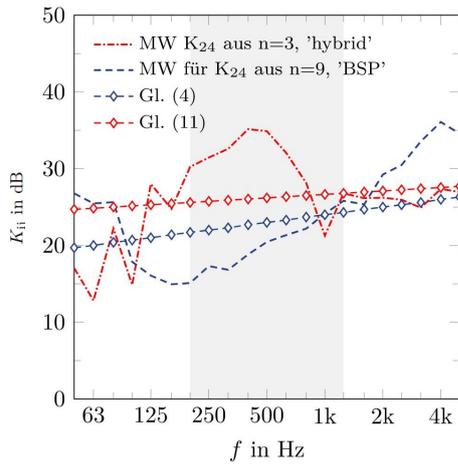


Abbildung 5: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $2 \leftrightarrow 4$ eines X-Stoßes. Der „Sperreffekt“ bei $f = 500$ Hz machte sich auch in der Auswertung der vorliegenden Ergebnisse hybrider Stoßstellen in den Mittelwerten bemerkbar.

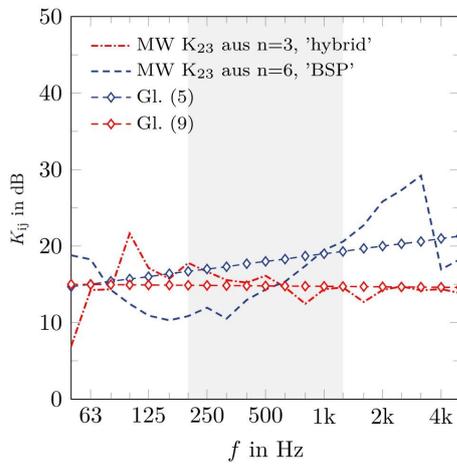


Abbildung 6: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $2 \leftrightarrow 3$ eines X-Stoßes.

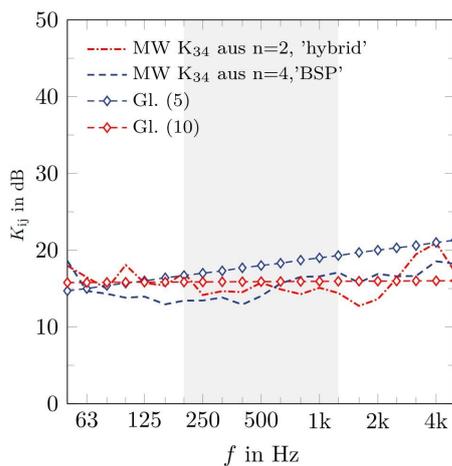


Abbildung 7: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $3 \leftrightarrow 4$ eines X-Stoßes.

T-Stoß

Die folgenden Messergebnisse und Prognosen zeigen die Auswertung für einen T-Stoß im Massivholzbau und Hybridbau. Auch hier sind die roten Graphen bezogen auf die Ergebnisse hybrider Stoßstellen, in blau die Ergebnisse aus dem Massivholzbau.

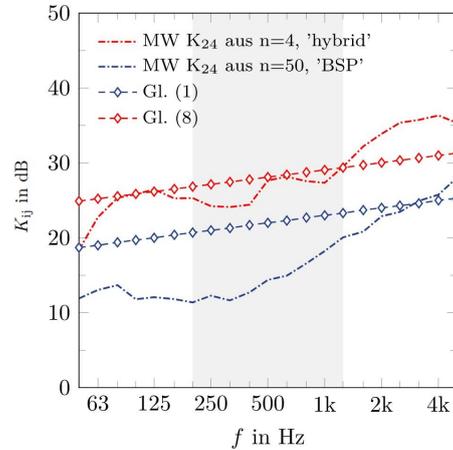


Abbildung 8: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $2 \leftrightarrow 4$ eines T-Stoßes.

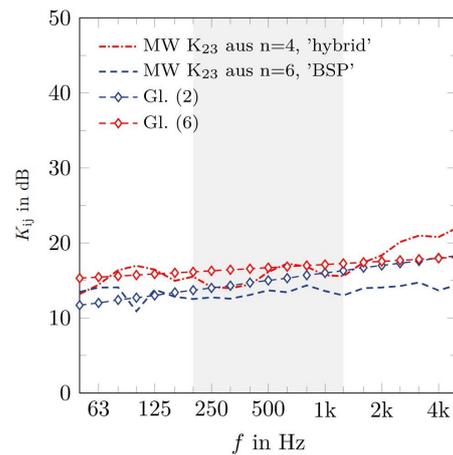


Abbildung 9: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $2 \leftrightarrow 3$ eines T-Stoßes.

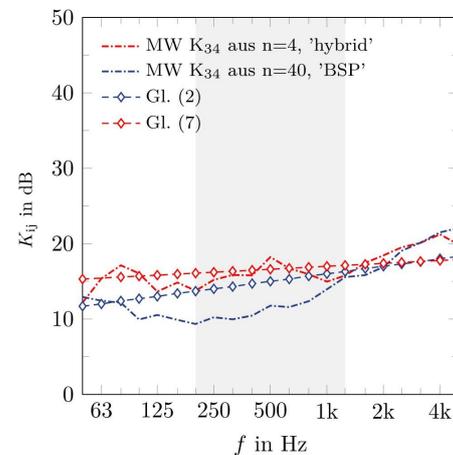


Abbildung 10: Stoßstellendämm-Maße K_{ij} für die Übertragungssituation $3 \leftrightarrow 4$ eines T-Stoßes.

Anwendung des K_{ij}

Das Stoßstellendämm-Maß ist sowohl für die Berechnung der flankierenden Übertragung von Luftschall als auch für den Trittschall relevant. Für die Flankenwege F_f , F_d , sowie D_f ist das bewertete Flankendämm-Maß $R_{ij,w}$ zu ermitteln, zum Beispiel für den Flankenweg F_f aus

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + \left(10 \cdot \log \frac{S_s}{l_{olij}} \right) \quad (13)$$

(DIN 12354-1, 2017)

Die bewerteten Schalldämm-Maße $R_{F,w}$ von Holzmassivbauteilen (beplankt oder unbeplankt) lassen sich berechnen aus dessen flächenbezogener Masse m' mit folgender Formel (Rabold et. al., 2019):

$$R_w = 25 \cdot \lg(m') - 7 \text{ dB} \quad (14)$$

Für homogene Bauteile im Massivbau (Stahlbeton) können die Formeln zur Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes gemäß Angabe der DIN 12354-1 (homogene Bauteile) bzw. nach DIN 4109-32 (massive Bauteile) angewendet werden.

Aus den Prognoseformeln Gl. 6-12 lassen sich die Einzahlwerte \overline{K}_{ij} aus dem arithmetischen Mittelwert zwischen 200 Hz und 1250 Hz berechnen, siehe Tabelle 1. (Silberbauer, 2021)

Tabelle 1: Einzahlwerte des Stoßstellendämm-Maßes für hybride Stoßstellen

	\overline{K}_{23}	\overline{K}_{34}	\overline{K}_{24}	\overline{K}_{13}
T-Stoß	18,4 dB	16,4 dB	29 dB	-
X-Stoß	14,8 dB	15,9 dB	26,2 dB	6,1 dB

Fazit

Die Ergebnisse der Abbildungen 4 bis 10 deuten an, dass sich die Stoßstellendämm-Maße in Hybridgebäuden mit den Prognoseformeln der DIN 12354-1 Anhang F nur bedingt abschätzen lassen. Für die „über-Eck“-Übertragungssituationen K_{34} und K_{23} eines X-Stoßes sind im Hybridbau die Stoßstellen deutlich besser zu bewerten.

Für die Übertragungswege $2 \leftrightarrow 4$ zeigen die Messergebnisse deutlich höhere Stoßstellendämm-Maße im Hybridbau im Vergleich zum Massivholzbau. Der Zusammenhang zwischen dem in der Wellentheorie beschriebenen Sperreffekt und dem damit verbundenen Schalldämmverhalten bei Sperrmassen spiegelt sich auch in den Messergebnissen wider. Sowohl bei einem hybriden T-Stoß, als auch einem

X-Stoß. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Zusammenhänge zwischen dem Einfluss der Drehfedersteife, Trägheitsradius und der Lage der Sperrfrequenz darlegen zu können.

Die Praxis zeigt, dass die Detailanschlüsse im Holzmassivbau und Hybridbau individuell betrachtet werden müssen. Insbesondere die flankierende Übertragung von Decken über Trennwänden mit Anforderungen an den Schallschutz bedürfen einer genaueren Betrachtung. Hier ist nicht nur das Stoßstellendämm-Maß aus der Betrachtung des Verhältnisses der flächenbezogenen Masse der Bauteile zu ermitteln. Vielmehr ist auch die Anschlusssituation aus Sicht der Statik zu berücksichtigen. Um die Stoßstellendämm-Maße im Hybridbau noch genauer abschätzen zu können, bedarf es daher weiterer Untersuchungen. Auch der Einfluss gelenkiger und starrer Verbindungen ist in weiteren Untersuchungen zu betrachten.

Literatur

Cremer, L. Heckl, M.A. 1967. Körperschall: Physikalische Grundlagen und Anwendungen

DIN 12354-1, 2017. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen (ISO 12354-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 12354-1:2017

Rabold, A., Châteauevieux-Hellwig, C., Mecking, S., Schramm, M., 2019. Flanking transmission of solid wood elements in multi-storey timber buildings – input data and prediction models for airborne and impact sound excitation, inter.noise 2019, Madrid

Silberbauer, V.; 2021. Stoßstellendämm-Maße im Hybridbau – Theoretischer Vergleich, Simulation und Messtechnische Validierung am Bau. Technische Hochschule Rosenheim

Timpte, A. 2016. Stoßstellen im Massivholzbau – Konstruktionen, akustische Kenngrößen, Schallschutzprognose. Masterarbeit, TU Berlin, Hochschule Rosenheim

Winter, S. Lang, W. Fischer, O. 2016. Konstruktionskatalog Fassadenelemente für Hybridbauweisen. TU München