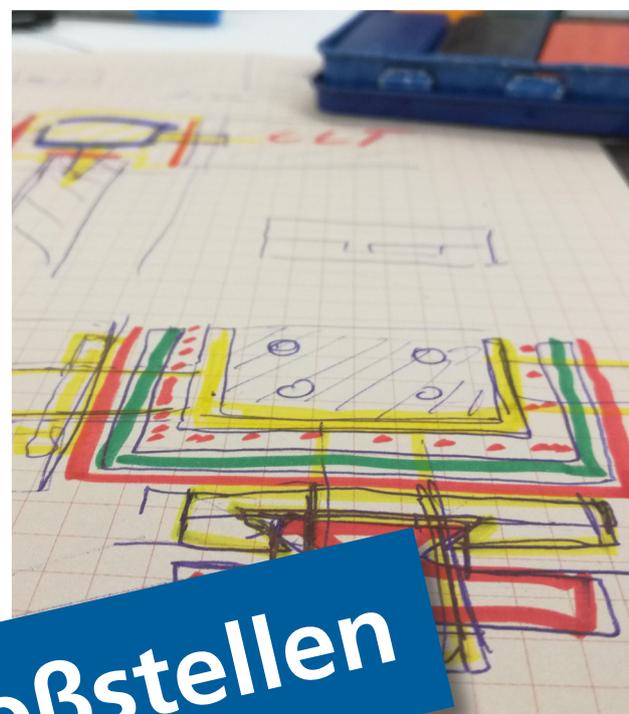


plus
eco

bau.energie.umwelt cluster
niederösterreich



Schall.Holz.Bau II

Trenndecken & Stoßstellen

Endbericht



DONGLING 64
RATED SHOCK POWER
MAX. ACCELERATION
MAX. VELOCITY
MAX. DISPLACEMENT (p-p)
FREQUENCY RANGE
OVERALL DIM.
WEIGHT
SN: 20100001 DATE: 2010.10.10

IMPRESSUM

Herausgeber:

Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich
ecoplus. Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH
3100 Sankt Pölten, Niederösterreich-Ring 2

1. Auflage März 2023

Autoren:

Mag. Herbert Müllner, Versuchsanstalt des TGM, Fachbereich Akustik & Bauphysik
DI Dr. Maximilian Neusser, Technische Universität Wien, Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und
Bauökologie
Rudolf Exel, ACOM research

Koordination und Layout:

DI Michaela Smertnig und DI Johannes Zeilinger, ecoplus Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich

Copyright:

Sämtliche Inhalte, Fotos, Texte und Graphiken sind urheberrechtlich geschützt.
Sämtliche Inhalte dürfen unter Angabe der Quelle kopiert, vervielfältigt und veröffentlicht werden.

Bildquellen:

Titelseite: Bild oben: © ecoplus; Bild Mitte links und Bild unten: © Daniel Hinterramskogler; Bild Mitte rechts:
© ecoplus
Gruppenbild Seite 5: © ecoplus
alle weiteren Bilder © TGM

Haftungsausschluss:

Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt, erfolgen jedoch ohne Gewähr.
Es wird keine Haftung hinsichtlich Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Informationen übernommen
einschließlich des Verweises auf andere Quellen. Der Verfasser schließt jegliche Haftung aus.

Kooperationsprojekt

Schall.Holz.Bau II

Trenndecken und Stoßstellen im Holzbau

Projektbeschreibung

Im Kooperationsprojekt „Schall.Holz.Bau II“ widmeten sich 10 Unternehmen der bauakustischen Analyse und Optimierung von Trennbauanteilen für den mehrgeschoßigen Holzbau. Im Fokus stand jene Mechanismen und Zusammenhänge zu finden, die eine Weiterentwicklung von Trennwänden und Trenndecken aus Holz samt deren Knotenausbildungen zu fehlertoleranten, „robusten“ Detaillösungen unter besonderer Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereichs ($f < 100$ Hz) ermöglichen.

Hand in Hand ging damit eine nachhaltige Qualifizierung der Projektpartner in diesem Themenfeld mit dem Ziel, eine Basis für innerbetriebliche, konstruktive Weiterentwicklungen zu legen und damit den speziellen bauakustischen Anforderungen zu begegnen, die der mehrgeschoßige Holzbau mit sich bringt.

Der ecoplus Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich begleitete das Projekt bei der Konzeptionierung, Förderabwicklung und Umsetzung.

Der vorliegende Endbericht fasst die wesentlichen Erkenntnisse und Mechanismen zusammen.

Projektzeitraum

Oktober 2018 – April 2021

Unterstützung

Die Kosten der externen Dienstleistung wurden mit Mitteln des NÖ Wirtschafts- und Tourismusfonds gefördert.

Externe Begleitung



ACOM Research



Versuchsanstalt des TGM,
Fachbereich Akustik & Bauphysik



Technische Universität Wien,
Institut für Werkstofftechnologie,
Bauphysik und Bauökologie

Projektpartner



ELK Fertighaus GmbH



Fuchs Metalltechnik GmbH



James Hardie Austria, branch of
James Hardie Europe GmbH



Ing. Hofer Dachdecker,
Spengler, Zimmerer GmbH



Isocell GmbH



Schmid Schrauben Hainfeld GmbH



Stauss Perlite GmbH



Stora Enso Wood Products GmbH



Sonnenklee GmbH



Vinzenz Harrer GmbH

Projektkonsortium



Inhalt

1. STOSSSTELLEN IM HOLZMASSIVBAU.....	8
1.1. EINLEITUNG	8
1.2. MESSMETHODE	8
1.2.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz Dv, ij	8
1.2.2. Äquivalente Absorptionslängen a_i, a_j	9
1.2.3. Stoßstellendämm-Maß K_{ij}	9
1.3. PRÜFSTAND	9
1.3.1. Einrichtung zur Pressung des Bauteilstoßes	10
1.3.2. Auflager.....	11
1.4. MESSTECHNIK	12
1.5. MESSOBJEKTE.....	13
1.5.1. Bauteile	13
1.5.2. Lager.....	14
1.5.3. Verbindungsmittel.....	14
1.6. ERGEBNISSE	15
1.6.1. Frequenzabhängig.....	15
1.6.1.1. Einfluss des Materials zur Entkopplung.....	15
1.6.1.2. Einfluss der Pressung der elastischen Zwischenschichte auf das Stoßstellendämm-Maß.....	16
1.6.1.3. Einfluss des Materials der elastischen Zwischenschicht auf das auflastabhängige Stoßstellendämm-Maß.....	18
1.6.1.4. Einfluss von Entkopplungsmaßnahmen im L-Stoß.....	19
1.6.1.5. Einfluss von Verbindungsmitteln	21
1.6.1.6. Einfluss von Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel	22
1.6.2. Einzahlwerte.....	24
1.6.2.1. Einfluss des Materials zur Entkopplung.....	24
1.6.2.2. Einfluss der Materialstärke.....	25
1.6.2.3. Lastabhängigkeit von elastischen Lagerungen.....	26
1.6.2.4. Einfluss des Verbindungsmittels.....	29
1.6.2.5. Einfluss des Verbindungsmittelabstands.....	30
1.6.2.6. Einfluss von Entkopplung von Verbindungsmitteln	31
1.6.2.7. Einfluss der Auflast auf Verbindungsmittel	32
1.7. ZUSAMMENFASSUNG	33
1.7.1. Lager.....	33
1.7.2. Verbindungsmittel.....	33
2. STOSSSTELLEN IM HOLZRAHMENBAU	34
2.1. EINLEITUNG	34
2.2. MESSMETHODE	34
2.2.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz Dv, ij	34
2.2.2. Norm-Trittschallpegel L_n und Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$	35
2.2.3. Berechnungsmethode.....	35
2.3. PRÜFSTAND	35
2.3.1. Abschirmung.....	37
2.3.2. Einrichtung zur Pressung des Bauteilstoßes	38
2.4. MESSTECHNIK	39
2.4.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz Dv, ij	39

2.4.2.	<i>Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$</i>	40
2.5.	MESSOBJEKTE.....	41
2.5.1.	<i>Wand</i>	41
2.5.2.	<i>Decke</i>	42
2.5.3.	<i>T-Stoß</i>	42
2.6.	ERGEBNISSE.....	43
2.6.1.	<i>Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz Dv, ij</i>	43
2.6.2.	<i>Lastabhängigkeit von Dv, ij, n</i>	44
2.6.3.	<i>Trittschallpegel</i>	45
2.6.4.	<i>Flankentrittschallpegel $L'_{n,f}$</i>	46
2.7.	ZUSAMMENFASSUNG.....	46
3.	STROH IM HOLZBAU	48
3.1.	EINBLASSTROH IN HOLZRAHMENWANDKONSTRUKTIONEN.....	48
3.1.1.	<i>Einleitung</i>	48
3.1.2.	<i>Literaturrecherche</i>	48
3.1.2.1.	<i>Strömungswiderstand</i>	48
3.1.2.2.	<i>Dynamische Steifigkeit</i>	49
3.1.2.3.	<i>Dichte</i>	50
3.1.3.	<i>Variantenstudie</i>	51
3.1.4.	<i>Versuchsdurchführung</i>	52
3.1.5.	<i>Ergebnisse</i>	53
3.1.6.	<i>Materialeigenschaften</i>	54
3.1.6.1.	<i>Dynamische Steifigkeit</i>	55
3.1.6.2.	<i>Strömungswiderstand</i>	56
3.1.7.	<i>Zusammenfassung</i>	56
3.1.8.	<i>Ausblick</i>	57
3.1.9.	<i>Literatur</i>	57
3.2.	STROHBALLENBAU.....	58
3.2.1.	<i>Einleitung</i>	58
3.2.2.	<i>Literaturrecherche</i>	58
3.2.3.	<i>Variantenstudie</i>	59
3.2.3.1.	<i>Versuchsdurchführung</i>	60
3.2.4.	<i>Ergebnisse</i>	62
3.2.5.	<i>Einfluss von Material- und Wandeigenschaften auf das Schalldämm-Maß</i>	63
3.2.5.1.	<i>Dynamisches E-Modul und Dichte des Lehmputzes</i>	63
3.2.5.2.	<i>Rohdichte der Strohballen</i>	65
3.2.5.3.	<i>Putzdicke</i>	65
3.2.6.	<i>Interpretation</i>	66
3.2.7.	<i>Zusammenfassung</i>	68
3.2.8.	<i>Literatur</i>	68
4.	HOLZBALKEN- UND BRETTSPERRHOLZDECKEN	69
4.1.	EINLEITUNG.....	69
4.2.	VERGLEICH DER WIRKSAMKEIT VON TROCKENESTRICHSYSTEMEN.....	69
4.3.	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	77
4.4.	ZUSAMMENFASSUNG.....	77

1. STOSSSTELLEN IM HOLZMASSIVBAU

1.1. Einleitung

Eine wesentliche Kenngröße in der Planung von Gebäuden und zur Prognose der Flankenübertragung von Tritt- und Luftschall in der Normenreihe ÖNORM EN ISO 12354-2 ist das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} . Dazu sind einige Planungswerte publiziert. Allerdings bietet keine der derzeit verfügbaren Datenquellen eine ganzheitliche Betrachtung der am Markt zur Verfügung stehenden wesentlichen Lager und Verbindungsmittel. Die durch das Projekt erzielten Ergebnisse bieten diesen Überblick und erlauben durch gleichbleibende Prüfstands-Bedingungen (Geometrie, Anregung, Messpositionen, etc.) einen direkten Vergleich der unterschiedlichen Messergebnisse des Stoßstellendämm-Maßes.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Methode und den aufgebauten Prüfstand zur Messung von lastabhängigen Stoßstellendämm-Maßen in unterschiedlichen Konfigurationen von Lagern zur Entkopplung in Kombination mit unterschiedlichen Verbindungsmitteln. Die erzielten Ergebnisse können als umfangreiche Datengrundlage für Planende und Entwickelnde dienen, um die Flankenübertragung in Massivholzgebäuden zu prognostizieren bzw. zu verbessern. Neben der Datengrundlage werden in Abschnitt 6 die erzielten Messergebnisse diskutiert und die wesentlichen Parameter zur Beeinflussung des Stoßstellendämm-Maßes herausgearbeitet und quantifiziert.

1.2. Messmethode

Die Bewertung der Bauteil- und Stoßstellenkennwerte wurde nach den derzeit gültigen österreichischen und internationalen Normen durchgeführt. Als wesentliche Norm zur Messung der Stoßstellendämm-Maße, der Schnellepegeldifferenzen und der Körperschall-Nachhallzeit wurden die Messungen gemäß ÖNORM EN ISO 10848 durchgeführt.

1.2.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D}_{v,ij}$

Die räumliche Mittelung des Schnelle-Pegels erfolgte je Anrege-Position an drei Messpositionen an der jeweiligen Bauteiloberfläche. Die Körperschallanregung erfolgte an vier Positionen je Übertragungsrichtung. Die an beiden Bauteilen gleichzeitig senkrecht zur Bauteiloberfläche gemessene Oberflächenschnelle dienen zur Bestimmung der Schnellepegeldifferenz nach Gleichung 1.

$$D_{v,ij} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (D_{v,ij})_{mn} \quad (1)$$

Mit der Anzahl M der Anregungspunkte am Bauteil i, N der Anzahl der Messpositionen an jedem Bauteil für jeden Anregungspunkt, Schnellepegeldifferenz $(D_{v,ij})_{mn}$ für nur einen Anregungspunkt und ein Messpositionspaar in dB. Gemäß ÖNORM EN ISO 10848-3:2018 erfolgte die Messung in beide Übertragungsrichtungen. Die Mittlungen beider Schnellepegeldifferenzen erfolgt nach Gleichung 2.

$$\overline{D}_{v,ij} = \frac{1}{2} (D_{v,ij} + D_{v,ji}) \quad (2)$$

1.2.2. Äquivalente Absorptionslängen a_i , a_j

Die äquivalente Absorptionslänge ist entsprechend ÖNORM EN ISO 10848-1:2018 definiert als „Länge einer fiktiven vollständig absorbierenden Stoßstelle eines Bauteils j , wenn deren charakteristische Frequenz mit 1 000 Hz angenommen wird, wobei sie in einer gegebenen Situation die gleichen Verluste ergibt wie die Gesamtverluste des Bauteils i “. Die Berechnung erfolgt mittels gemessener Körperschallnachhallzeit $T_{s,i}$, der jeweiligen Bauteiloberfläche S_i , der Schallgeschwindigkeit der Luft c_0 , der Frequenz f und der Bezugsfrequenz $f_0 = 1000\text{Hz}$

$$a_i = \frac{2,2\pi^2 S_j}{T_{s,i} c_0 \sqrt{\frac{f}{f_{ref}}}} \quad (3)$$

Für die Messung der Körperschallnachhallzeit wurde abgeschaltetes Rosarauschen als Signal und die Anregungszeit mit 10 s festgelegt. Nach Abschaltung erfolgte die Messung der Schnellepegelabfälle an vier Messpositionen je Anregeposition. Die Mittelwertbildung der Nachhallzeit erfolgte jeweils über 2 Abfälle je Anrege-Position und an allen Messpositionen. Alle Messungen erfolgten mit Terzfiltern im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz.

1.2.3. Stoßstellendämm-Maß K_{ij}

Die Berechnung der Stoßstellen-Maße erfolgt nach ÖNORM EN ISO 10848-1:2018 aus der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$ und den äquivalenten Absorptionslängen a_i und a_j entsprechend Gleichung 3. Die Berechnung der Einzahlangabe des Stoßstellendämm-Maßes $\overline{K_{ij}}$ erfolgt durch arithmetische Mittelung der Terzbandwerte im Frequenzbereich zwischen 200 und 1250 Hz.

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10 \lg \left(\frac{l_{ij} l_0}{\sqrt{a_i a_j}} \right) \quad (4)$$

1.3. Prüfstand

Der Aufbau des Prüfstandes erfolgte in Anlehnung an die Normenreihe ÖNORM EN ISO 10848. Der Prüfstand besteht aus einem Wandelement (2450 mm x 2520 mm, Brettsperrholz, 100 mm, 3-lagig) und einem Deckenelement (2450 mm x 3450 mm, Brettsperrholz, 140 mm, 5-lagig). Die Prüfstands-Ränder sind mittels Elastomer-Lagern von den tragenden Elementen entkoppelt gelagert.

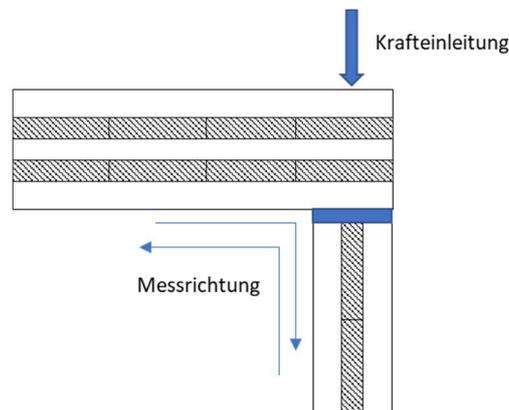


Abbildung 1:– Schematische Darstellung des Prüfkonzepts

Abbildung 2 zeigt den untersuchten L-Stoß aus einem Brettsperrholz-Wand- und einem Brettsperrholz-Deckenelement. Die Anregung sowie die Messung der Oberflächenschnelle, erfolgte jeweils an Bauteilinnen- und Bauteilunterseite. Die nicht aufgelagerten oder zur Pressung des Stoßes eingesetzten Bauteilränder berühren den Prüfstand bzw. dessen Einbauten nicht und können somit frei schwingen. Der Einbau der Lager in den Prüfstand erfolgte durch Anheben und anschließendes Absenken des Deckenelements mittels elektrischer Seilzüge.



Abbildung 2: Wand-Decken-Knoten aus Brettsperrholzelementen (Wand 100 mm, Decke 140 mm)

1.3.1. Einrichtung zur Pressung des Bauteilstoßes

Zur Untersuchung des Einflusses der Pressung im L-Stoß auf die Verlustfaktoren, der Schnellepegeldifferenz und dem daraus berechneten Stoßstellendämm-Maß ist eine Einrichtung zur Lastaufbringung im Labor am Technischen Gewerbemuseums (TGM) entwickelt worden. Durch die in Abbildung 3 dargestellte Konstruktion kann eine linienförmige Auflast auf den Bauteilknoten aufgebracht werden. Die Aufbringung der Last auf den Bauteilknoten erfolgt stufenlos von 0-20t mittels zweier Hydraulik-Stempel (siehe Abbildung 3). Damit ergeben sich mögliche Lagerpressungen zwischen 0 und 0.82 N/mm^2 bei einer Lagerfläche von $2450 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$. Die gleichmäßige Lastverteilung auf den Knoten wird durch Stahlplatten und Holzstaffeln gewährleistet.



Abbildung 3: Einrichtung zur Pressung des Bauteilstoßes

1.3.2. Auflager

Die Messung des Stoßstellendämm-Maß nach ÖNORM EN ISO 10848-1:2018 erfordert eine, durch unerwünschte Schwingungstransmission zu den lastabtragenden Laborbauteilen, unbeeinflusste Messung der Kenngrößen. Diese idealisierten Randbedingungen unterscheiden sich zu denen in der Bausituation, ermöglichen allerdings eine von der Stoßstelle unabhängige und wiederholbare Ergebnisqualität.



Abbildung 4: Wandauflager (links) Deckenauflager (rechts)

Das untere Ende des Brettsperrholzwand-Bauteils wurde dazu, wie in Abbildung 4 dargestellt, elastisch auf zwei Lagen Elastomer (2 x 12.5 mm) gelagert. Zur besseren Lastverteilung auf den unebenen Betonuntergrund wurde eine Holzschwelle (50 mm x 100 mm) untergelegt. Die Wand wurde zusätzlich, zur Lagersicherung während der Umbaumaßnahmen an der Stoßstelle, mittels Wandsteher abgestützt.

Der Wandsteher wurde in der Verbindung zur Wand mittels Unterlage durch eine Elastomerschicht (1 x 12.5 mm) entkoppelt. In der Messsituation wurde die Verbindung zwischen Wandsteher und Wand gelockert, um die Schwingungen des Wandbauteils an diesem Befestigungspunkt nicht zu beeinflussen. Das von der Stoßstelle gegenüberliegende Ende der Brettsperrholzdecke wurde, wie in Abbildung 4 dargestellt, frei elastisch (2 x 12.5 mm Elastomer) gelagert. Beide Bauteilenden, sowohl Decke als auch Wand, sind somit frei gelagert und können damit frei schwingen. Durch die beschriebene Anordnung werden Schwingungstransmissionen zwischen den beiden Bauteilen, außer über die zu untersuchende Stoßstelle, vermieden.

1.4. Messtechnik

Das Stoßstellendämm-Maß \overline{K}_{ij} des Bauteilknotens wurde jeweils gemäß ÖNORM EN ISO 10848-3:2018 mit einer geeichten Messausrüstung des Typs „Sinus Messtechnik Soundbook_octav mit Software SAMURAI 1.7.14, geeicht als Schallpegelmesser der Klasse 0,7“ gemessen. Die Körperschallanregung erfolgte durch einen elektrodynamischen Schwing-Erreger des Typs „Type 4809 (B&K) (SN: 85008)“ unter stationärem, breitbandigem Rauschen. Der Schwing-Erreger wurde mittels im Bauteil verschraubten Stockschraube und Gewinde-Langmutter über einen Stinger (Länge 300 mm) befestigt (siehe Abbildung 6).



Abbildung 5: Messaufbau zur Bestimmung des Stoßstellendämm-Maßes entsprechend der Normenreihe ÖNORM EN ISO 10848 (Ausgabe 2018)

Die Messung der Schnellepegel an den Bauteiloberflächen erfolgte jeweils mit Schwingungsaufnehmern des Typs „Brüel & Kjaer Type 4370“ und Ladungsverstärkern „Brüel & Kjaer Type 2635“. Die Schwingungsaufnehmer wurden, entsprechend Abbildung 6, mittels Magneten, an den im Bauteil an den Messpositionen verschraubten Sechskantschrauben befestigt. Vor der Messung wurde die Messkette mit einer geeichten Körperschallquelle des Typs „Brüel & Kjaer TYP 4294“ kalibriert; nach der Messung erfolgte eine Kontrolle der Kalibrierung.

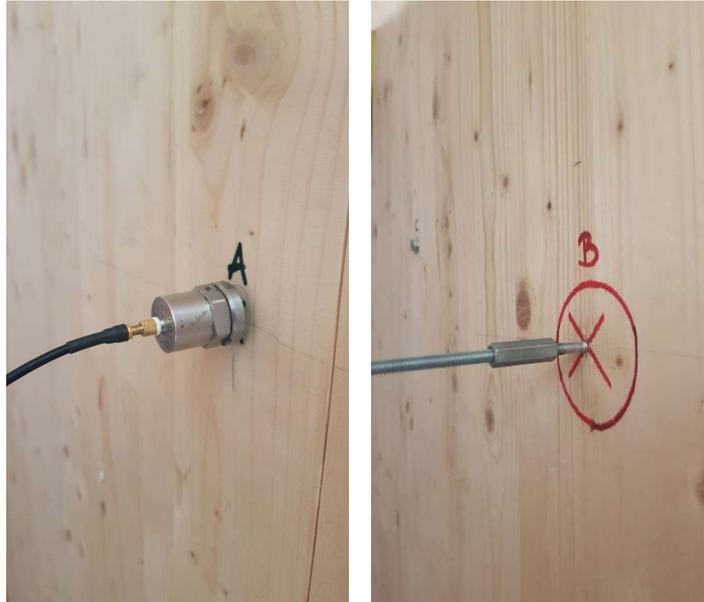


Abbildung 6 Beschleunigungsaufnehmer mittels Magnetes an Sechskantschraube befestigt (links) Stinger des Schwing-Erregers mittels Gewinde-Langmutter und Stockschraube an Bauteil befestigt (rechts)

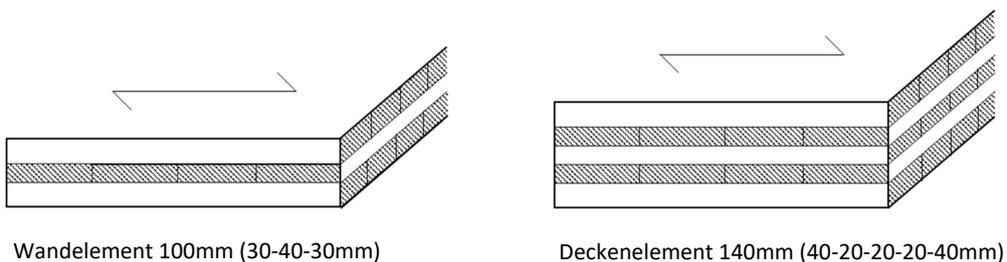
1.5. Messobjekte

1.5.1. Bauteile

Das Wandelement besteht aus einem dreilagigen Brettsperrholzelement mit einer Dicke von 100 mm. Die Bauteilabmessungen betragen 2450 mm in der Länge und 2520 mm in der Höhe. Die Sperrholz-Lagen sind aus Fichtenholz mit einer jeweiligen Dicke von 30 mm, 40 mm und 30 mm aufgebaut. Das Wandbauteil wurde als ein Element gefertigt und kommt somit ohne Breitenverbindungen aus.

Das Deckenelement besteht aus einem fünflagigen Brettsperrholzelement mit einer Dicke von 140 mm. Die Bauteilabmessungen betragen 3450 mm in der Länge und 2450 mm in der Breite. Die Sperrholz-Lagen sind aus Fichtenholz mit einer jeweiligen Dicke von 40 mm, 3x 20 mm und 40 mm aufgebaut. Das Deckenbauteil wurde als ein Element gefertigt und kommt somit ohne Breitenverbindungen aus.

Die beiden Bauteile verbindet somit ein 2450 mm langer L-Stoß, der in unterschiedlichen Konfigurationen aus Lagern und Verbindungsmitteln geprüft wurde.



Wandelement 100mm (30-40-30mm)

Deckenelement 140mm (40-20-20-20-40mm)

Abbildung 7: Untersuchte Bauteile des L-Stoßes. Wand 2450 mm x 2520 mm (links) Decke 2450 mm x 3450 mm (rechts)

1.5.2. Lager

Zur Entkopplung zwischen Wand- und Deckenelement wurden unterschiedliche Lager in den L-Stoß eingesetzt. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die dabei eingesetzten Materialien und deren wesentlichen Materialeigenschaften. Die einzelnen Lagermaterialien wurden zur besseren Ergebnisübersicht in einzelne Material-Typen zusammengefasst. Die einzelnen Materialtypen unterscheiden sich dabei wesentlich in der Materialstruktur.

Tabelle 1: Untersuchte elastische Lager zur Entkopplung der Stoßstelle zwischen Decke und Wand

Typ	anonymisierte Bezeichnung	Dicke in mm	E_{dyn} in N/mm ²	P_{opt} in N/mm ²
PU offen	Variante 1	12.5	11.0-16.5	0.85
	Variante 2	12.5	6.8-10.0	0.45
	Variante 3	6; 12.5	3.25	0.35
	Variante 4	6; 12.5		0.75
PU geschlossen	Variante 1	12.5	5.27	0.4
	Variante 2	6; 12.5	2.6-3.0	0.35
PU	-	12.5	3.53	0.38
Vollgummi	Variante 1	10	ca. 5.0	k.A.
	Variante 2	20	ca. 5.0	k.A.
Kork	-	10	k.A.	0.25
Andere	-	15	k.A.	0.29

1.5.3. Verbindungsmittel

Die konstruktive Verbindung des untersuchten Wand- und Deckenelements im L-Stoß erfolgte durch die in Tabelle 2 gelisteten Verbindungsmittel. Die Verbindungsmittel besitzen unterschiedliche Eigenschaften in Form, Anzahl und Entkopplungsmaßnahmen und bilden dadurch unterschiedlich steife Bauteilknoten im L-Stoß aus. Eine Kategorisierung nach Verbindungsmittel-Typ zur besseren Übersicht in der Ergebnisanalyse erfolgte durch die grundsätzliche Geometrie des Verbindungsmittels (siehe Abbildung 8).

Tabelle 2: Untersuchte Varianten der Verbindungsmittel zwischen Decke und Wand

Typ	anonymisierte Bezeichnung	Abstand in mm	Entkopplung	Dimensionen in mm
Winkel	Winkel 5(entkoppelt)	1225	zweifach	240 x 100 x 100
	Winkel 3(entkoppelt)	500	keine	110 x 90 x 50
	Winkel 2(entkoppelt)	500	keine	
	Winkel / Winkel 4(entkoppelt)	500	keine/einfach	100 x 100 x 90
	Winkel 6(entkoppelt)	487.5 - 1950	einfach	110 x 110 x 60
	Winkel 1(entkoppelt)	1225	einfach	200 x 70 x 70
	Winkel (nicht entkoppelt)	800	keine/einfach	200 x 100 x 85
Schrauben	Tellerkopfschraube	250 - 3000	keine/einfach	240 x 8
Schwelle	Verbinder u. Schraube	487.5-1950	einfach	110 x 40 x 18 / 240 x 8
Andere	Verbinder	975	keine	110 x 40 x 18

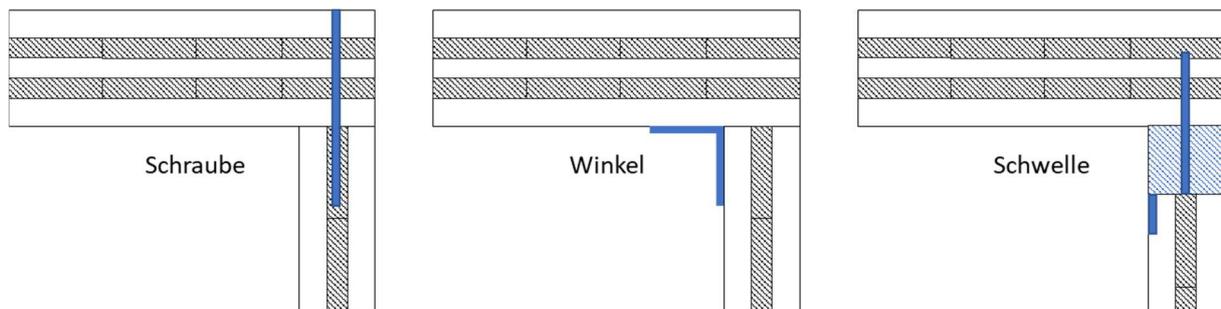


Abbildung 8: Schematische Darstellung der untersuchten Verbindungsmittel-Typen

1.6. Ergebnisse

1.6.1. Frequenzabhängig

1.6.1.1. Einfluss des Materials zur Entkopplung

Der untersuchte L-Stoß aus Brettsperrholzelement wurde zur Untersuchung des Einflusses von elastischen Zwischenschichten zur Entkopplung von Wand- und Deckenelement mit unterschiedlichen Materialien, siehe Tabelle 1, versehen. Abbildung 9 zeigt die mit unterschiedlichen Materialien gemessenen frequenzabhängigen Stoßstellendämm-Maße. Die meisten Varianten zeigen eine über den gesamten untersuchten Frequenzbereich mit der Frequenz steigende Verbesserung des Stoßstellendämm-Maß durch das Einlegen von elastischen Zwischenschichten. Je weicher die im L-Stoß eingebaute Zwischenschicht zur Entkopplung ist, desto stärker steigt das Stoßstellendämm-Maß mit der Frequenz. Die größeren Stoßstellendämm-Maße mit weicheren elastischen Zwischenschichten deuten somit auf eine bessere Entkopplung von Wand- und Deckenbauteil hin.

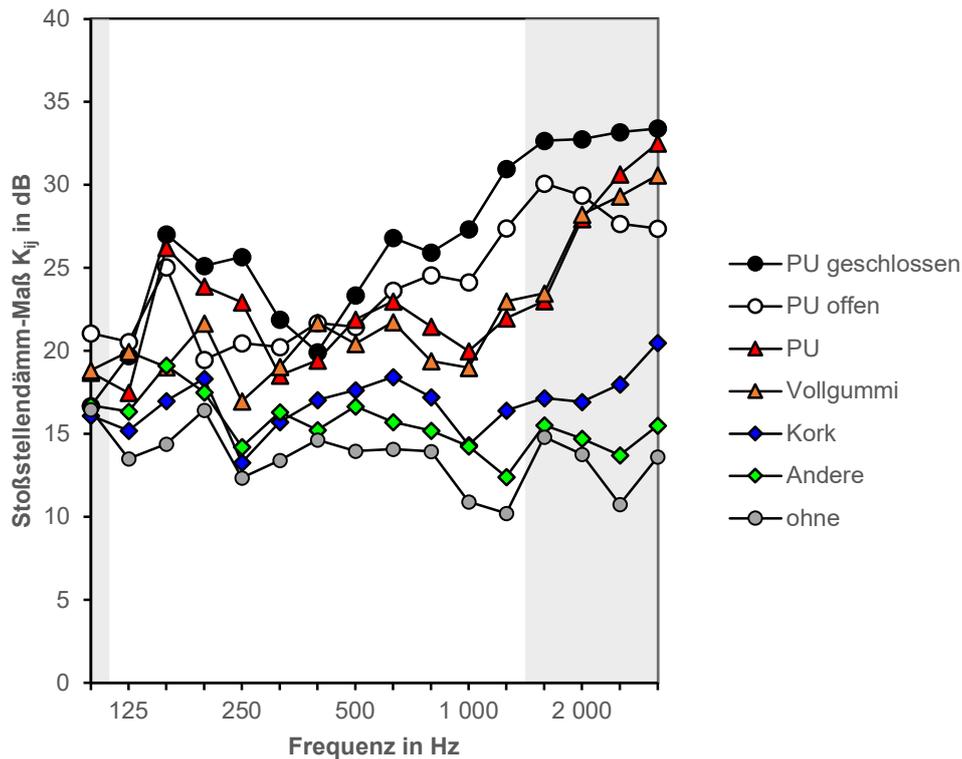


Abbildung 9: Einfluss des Materials der elastischen Zwischenschichte im L-Stoß zur Entkopplung von Wand- und Deckenbauteil auf das frequenzabhängige Stoßstellendämm-Maß K_{ij}

1.6.1.2. Einfluss der Pressung der elastischen Zwischenschichte auf das Stoßstellendämm-Maß

In den frequenzabhängigen Messungen des Stoßstellendämm-Maßes K_{ij} des L-Stoßes aus Wand- und Deckenbauteil mit elastischer Zwischenschicht ist zu erkennen, dass die Kopplung zwischen den beiden Bauteilen sich mit der Erhöhung der Auflast verbessert. Das ist vor allem in den Messungen der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz in Abbildung 10 (c) zu erkennen. Hier ist ein mit der Frequenz größer werdende Differenz zwischen den gemessenen Schnelle-Pegeln mit steigender Pressung zu beobachten. Mit der Aufbringung einer Last scheinen die Reibkräfte im Bauteilstoß groß genug zu sein, um zusätzliche translatorische Verschiebungen zwischen Lager und Bauteil zu verhindern. Die Annahme würde auch die mit der Auflast steigende Körperschallnachhallzeit in Abbildung 10 (b) erklären, da ohne diese Bewegungen auch weniger Reibungsverluste im Bauteilstoß auftreten. Die verbesserte Kopplung und die größere Körperschallnachhallzeit führen zu einem mit der Auflast sinkendem Stoßstellendämm-Maß K_{ij} in Abbildung 10 (a).

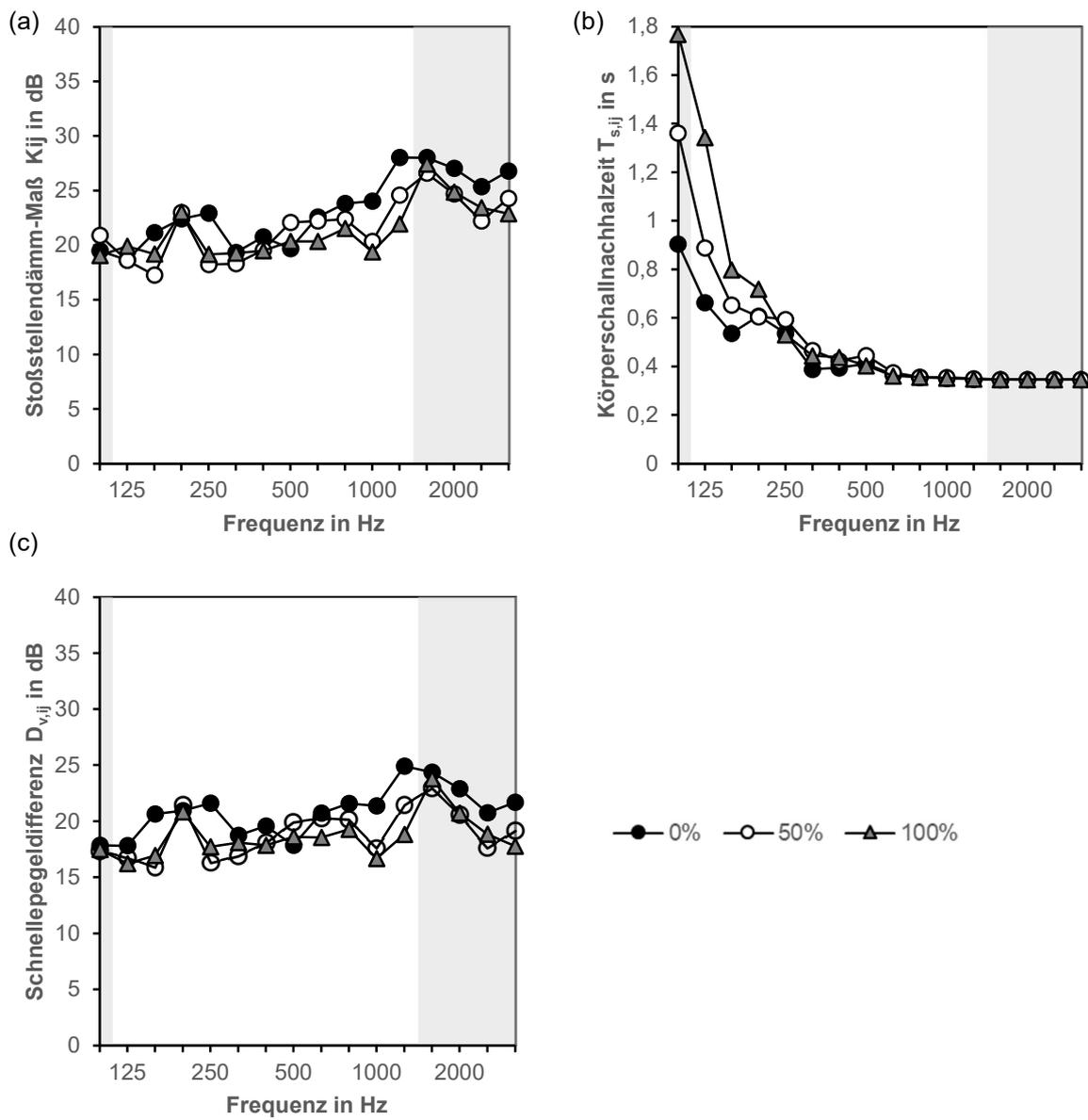


Abbildung 10: Darstellung des frequenzabhängigen Stoßstellendämm-Maß K_{ij} eines L-Stoßes mit elastischer Zwischenschicht aus offenzelligem geschäumtem Polyurethan mit 0-100% der optimalen Pressung (lt. Herstellerangabe)

1.6.1.3. Einfluss des Materials der elastischen Zwischenschicht auf das auflastabhängige Stoßstellendämm-Maß

Wie in 1.6.1.2. gezeigt hängt das Stoßstellendämm-Maß eines L-Stoßes mit elastischer Zwischenschicht von der Pressung des Lagers durch die Auflast auf den Bauteilknoten ab. Abbildung 11 zeigt diesen Einfluss mit unterschiedlichen Lager-Materialtypen. Zu erkennen ist, dass Materialien mit einer geringeren Steifigkeit, wie z.B. geschäumte Polyurethane, sensibler auf die Erhöhung der Auflast des Bauteilknotens reagieren als steifere Materialien, wie z.B. Kork. Dabei wird bei allen Varianten die grundsätzliche Charakteristik der Kurvenverläufe durch die Auflast kaum verändert. Nur die Veränderung in der Amplitude der Kurven wird durch die Variation des Lagermaterials und der Pressung beeinflusst.

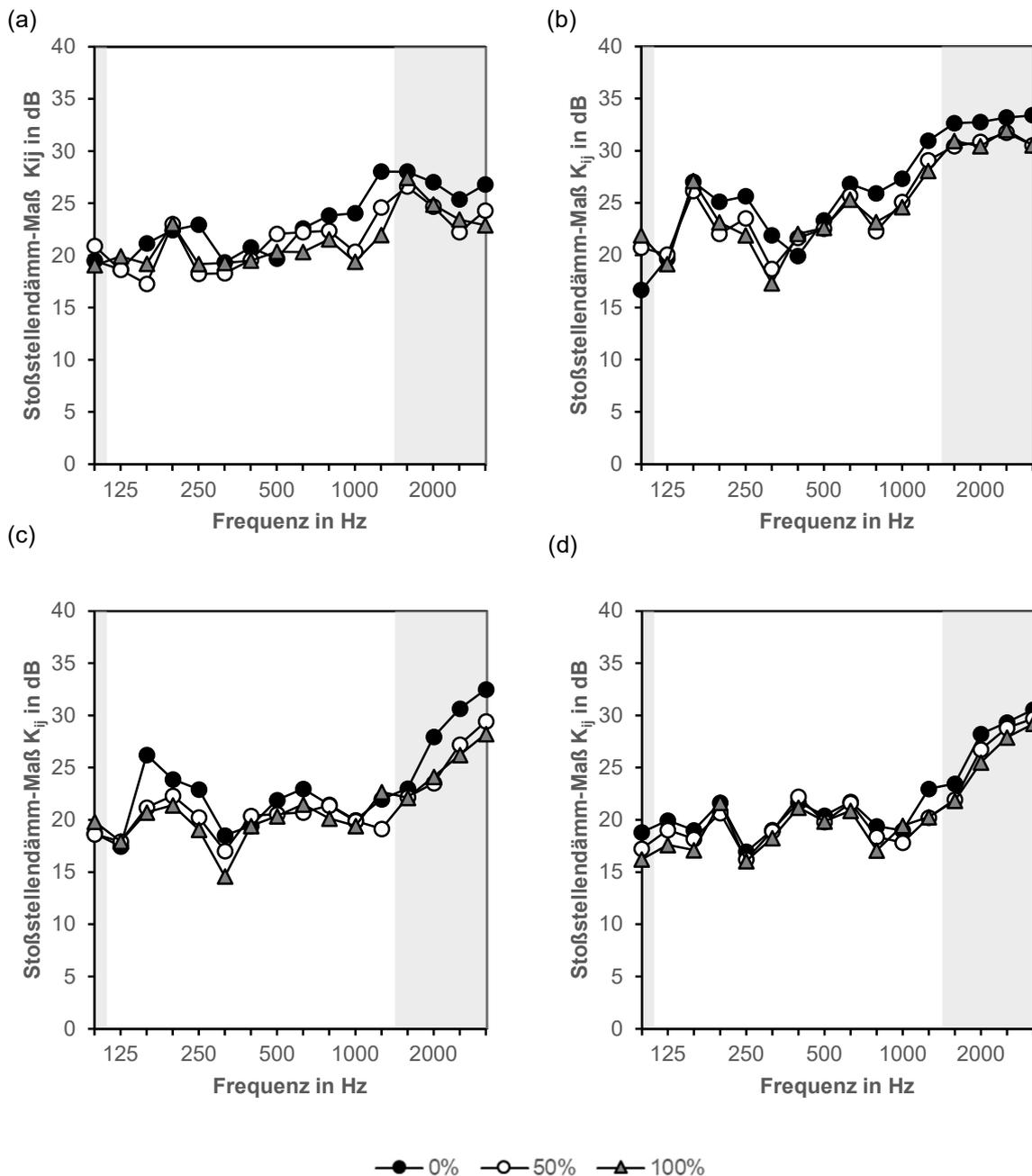


Abbildung 11: Darstellung des frequenzabhängigen Stoßstellendämm-Maß K_{ij} eines L-Stoßes mit elastischer Zwischenschicht aus) (a) offenzelligem geschäumten Polyurethan; (b) geschlossenzelligem geschäumten Polyurethan; (c) Vollgummi; (d) Kork mit 0-100% der optimalen Pressung (lt. Herstellerangabe)

Lagermaterialien mit einer geringeren Beeinflussung des Stoßstelldämm-Maßes durch ihre Pressung weisen ein grundsätzlich niedrigeres Niveau der Entkopplung zwischen Wand- und Deckenbauteil auf. Es lässt sich also aus den vorliegenden Daten Folgendes rückschließen: je höher das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} desto größer die Beeinflussung durch Lagerpressung (und damit Veränderungen der Auflast).

1.6.1.4. Einfluss von Entkopplungsmaßnahmen im L-Stoß

Abbildung 12 zeigt einen Auszug aus den Messergebnissen für ein geschäumtes offenzelliges Polymer als elastische Zwischenschicht im L-Stoß. Es ist zu erkennen, dass über den gesamten untersuchten Frequenzbereich von 100 - 3150 Hz durch das Einbringen einer elastischen Zwischenschicht eine mit der Frequenz steigende Verbesserung des frequenzabhängigen Stoßstellendämm-Maß K_{ij} von ca. 5-20 dB je Terzband erzielbar ist. Zurückzuführen ist diese Verbesserung vor allem im Frequenzbereich >500 Hz auf die Entkopplung und damit größere richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,lj}}$ (siehe Abbildung 12 c).

Es kann eine hohe Übereinstimmung in den charakteristischen Verläufen der Stoßstellendämm-Maße zwischen Variante mit und ohne elastische Zwischenschicht beobachtet werden. Das spricht dafür, dass das Schwingungsverhalten der Bauteile Wand und Decke nicht durch die Zwischenschicht beeinflusst wird, sondern lediglich deren Kopplung.

Die Körperschallnachhallzeit und damit der Gesamtverlustfaktor im Stoß wird durch die Einbringung der elastischen Zwischenschicht im L-Stoß ausschließlich im Frequenzbereich zwischen 100 und 500 Hz beeinflusst. Das ist vermutlich hauptsächlich auf die inneren Verluste in der elastischen Zwischenschicht zurückzuführen. Das Einbringen der elastischen Zwischenschicht reduziert die Körperschallnachhallzeit um ca. 0,3 s im Frequenzbereich 100-500 Hz.

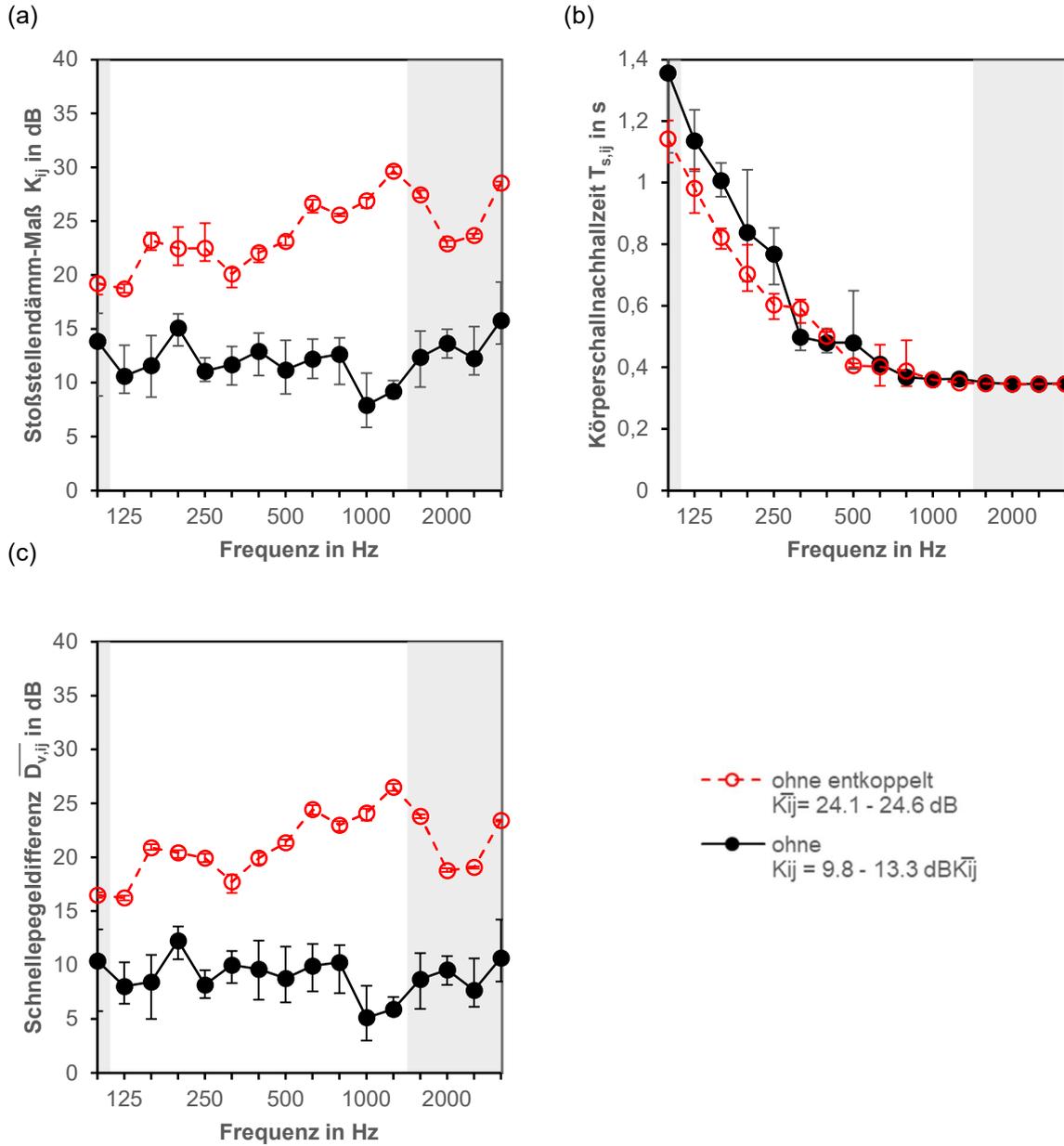


Abbildung 12: Einfluss der Einbringung einer elastischen Zwischenschicht im L-Stoß auf das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} (a) und dessen zu grundlegenden Parameter der Körperschallnachhallzeit $T_{s,ij}$ (b) und der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D}_{v,ij}$ (c)

1.6.1.5. Einfluss von Verbindungsmitteln

Durch die Kopplung von Wand- und Deckenelement im L-Stoß durch Verbindungsmittel wird in der Regel die Wirksamkeit von elastischen Zwischenlagern reduziert. Die Art der Ausbildung des Verbindungsmittels hat einen Einfluss auf die Steifigkeit des Bauteilknotens und damit auf die Übertragung von Schwingungen von einem zum anderen Bauteil. Dieser Einfluss ist in Abbildung 13 für das Verbindungsmittel „Schraube“ (Schraubabstand 500 mm) und „Winkel (Verbindungsmittelabstand 500 mm) dargestellt.

Erkennbar ist, dass die Schraubverbindung bis 250 Hz kaum eine negative Beeinflussung des Stoßstellendämm-Maßes verursacht. Eine Erklärung könnte dafür die geringe Steifigkeit der Schraubverbindung normal zur Schraubenachse liefern. Durch die Übermaßvorbohrung der Decke wird die Schwingungsenergie lediglich durch den Schraubenkopf und die Schraube selbst übertragen. Die Umwandlung der Longitudinal- und Transversalwellen in BiegeWellen, die normal zur Bauteiloberfläche die wesentlichen Schwingungsamplituden bedingen, kann im Bauteilknoten aufgrund der geringen Steifigkeit nur schlecht erfolgen. Der Winkel als Verbindungsmittel bietet hingegen in diese Belastungsrichtung, parallel zum Bauteilstoß, eine sehr große Steifigkeit. Dadurch reduziert sich das gemessene Stoßstellendämm-Maß in allen Terzbändern um bis zu 10 dB.

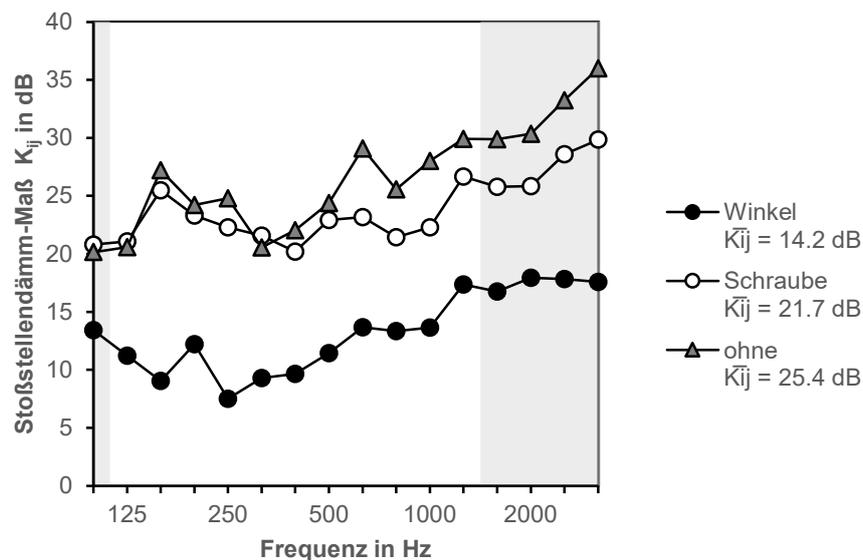


Abbildung 13: Einfluss des Verbindungsmitteltyps auf das frequenzabhängige Stoßstellendämm-Maß K_{ij} eines L-Stoßes aus Brettsperrholzelementen

Erkennbar ist dieses Phänomen auch in der Darstellung der frequenzabhängigen Schnellepegeldifferenzen in Abbildung 14. Die normal zu den Bauteilen gemessene Schnellepegeldifferenz ist bei der Variante mit dem Verbindungsmittel am geringsten. Damit wird im Bauteilknoten am meisten Schwingungsenergie durch den Winkel übertragen, was, wie zuvor beschrieben, vermutlich auf die hohe Steifigkeit (im Vergleich zur Schraube) parallel zum Bauteilstoß zurückzuführen ist. Die Körperschallnachhallzeit zeigt sich durch die wechselnden Verbindungselemente nur sehr geringfügig beeinflusst. Es sind Unterschiede von bis zu 0.2s gemessen worden. Die geringe Differenz im tiefen Frequenzbereich könnte ebenso auf die durch die geringe Steifigkeit der Schraubverbindung parallel zur Stoßstellenfuge zurückzuführen sein. Hier können sich die Bauteile relativ zueinander verschieben, wodurch Reibungsverluste im Bauteilstoß auftreten, die die Körperschallnachhallzeit reduzieren.

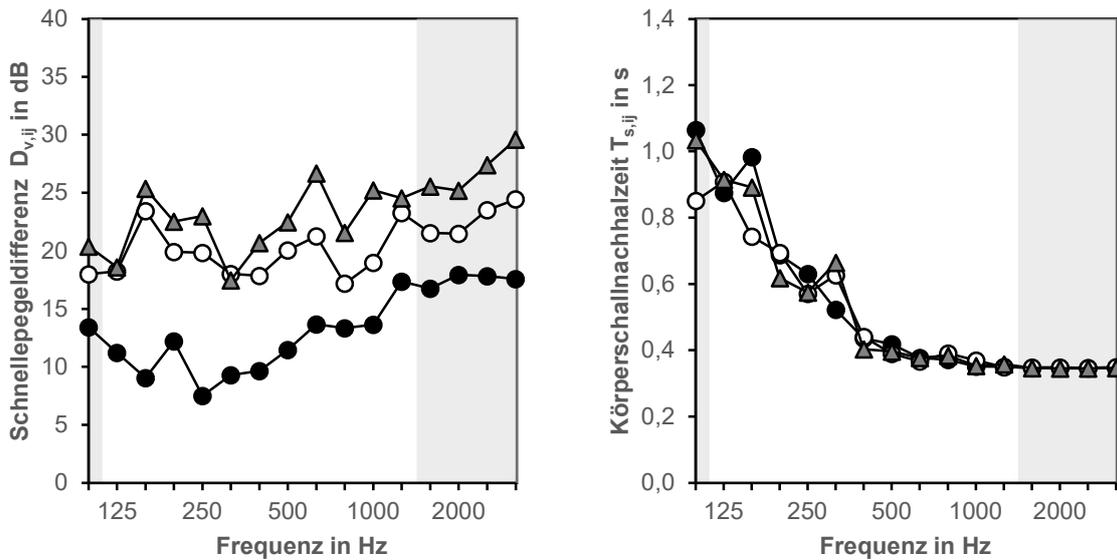


Abbildung 14: Einfluss des Verbindungsmitteltyps auf die frequenzabhängige Schnellepegeldifferenz $D_{v,ij}$ und die mittlere Körperschallnachhallzeit $T_{s,ij}$ der Bauteile eines L-Stoßes aus Brettsperrholzelementen

1.6.1.6. Einfluss von Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel

Entkopplungsmaßnahmen im Bauteilstoß durch elastische Lagerung können wesentlich durch Verbindungsmittel in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt werden (siehe Abschnitt 1.6.1.1). Um diese durch den Kurzschluss der entkoppelten Bauteilfuge durch die Verbindungsmittel zu reduzieren, können in Verbindungsmitteln auch Maßnahmen zur Entkopplung getroffen werden. Bei Winkeln können elastische Zwischenschichten untergelegt (siehe Abbildung 15) und bei Schrauben elastische Beilagscheiben verwendet werden.



Abbildung 15: Beispiele von Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel beim Winkel (links) und der Tellerkopfschraube (rechts)

Abbildung 15 zeigt die Wirksamkeit der Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel in der Verbesserung des frequenzabhängigen Stoßstellendämm-Maß K_{ij} . Das Unterlegen einer elastischen Zwischenschicht aus geschäumtem Polymer verbessert das Stoßstellendämm-Maß über das gesamte betrachtete Frequenzspektrum. Es sind Verbesserungen von bis zu 10 dB zu beobachten. Trotz dieser Entkopplungsmaßnahme treten Differenzen von bis zu 6 dB zum Stoßstellendämm-Maß des unbeeinflussten Bauteilstoßes ohne Verbindungsmittel auf. Das Beilegen einer elastischen Scheibe zwischen Bauteil und Tellerkopfschraube verbessert das Stoßstellendämm-Maß um bis zu 7 dB. Durch diese Maßnahme kann fast das Niveau eines unbeeinflussten Bauteilstoßes ohne Verbindungsmittel erzielt werden.

Diese Verbesserung des Stoßstellendämm-Maßes K_{ij} ist ausschließlich auf die verbesserte Entkopplung und damit größeren mittleren Schnellepegeldifferenz $D_{v,ij}$ zurückzuführen, da die Körperschallnachhallzeit $T_{s,ij}$ durch die Entkopplungsmaßnahmen fast unverändert bleibt.

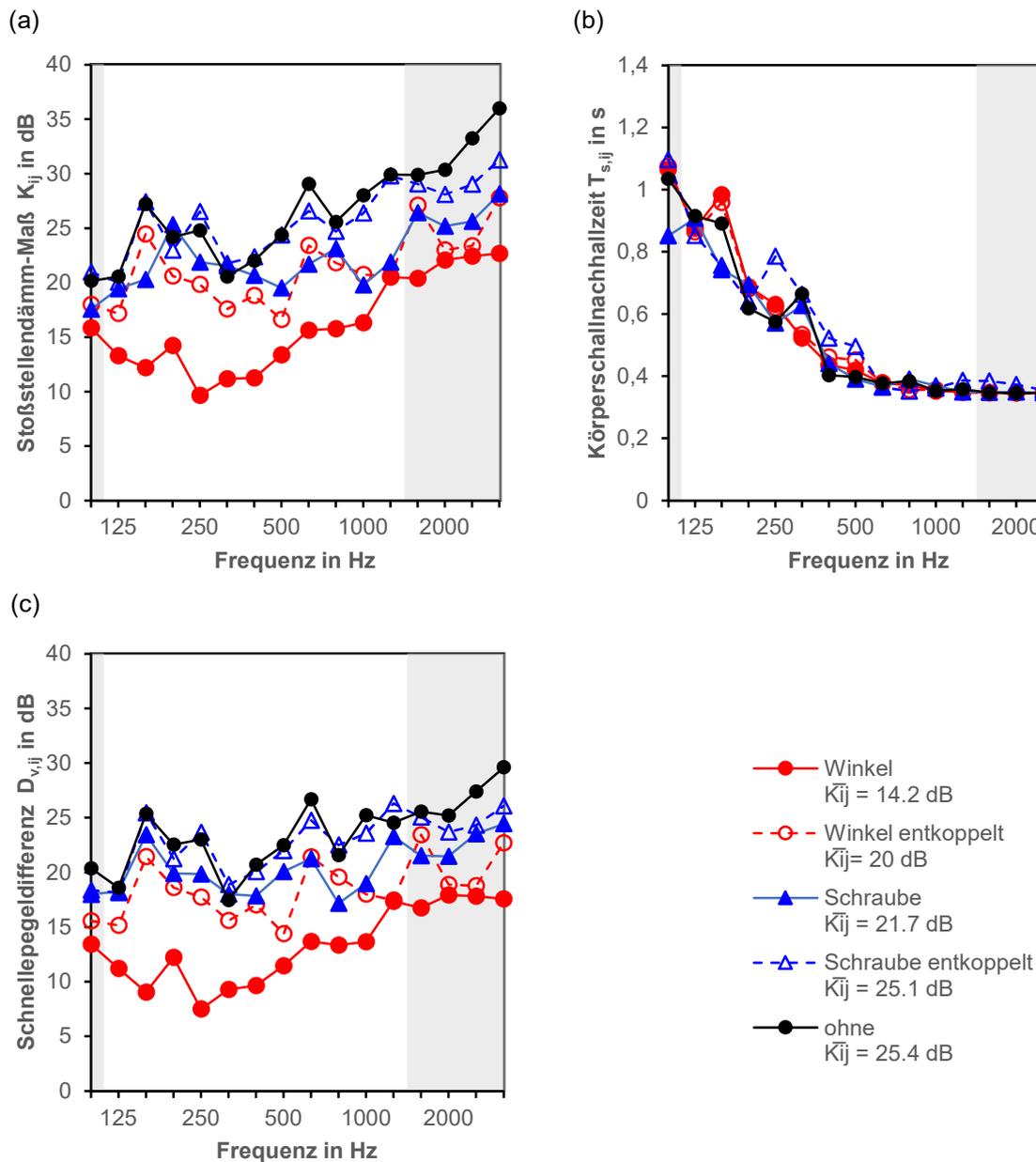


Abbildung 16: Einfluss von Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel des L-Stoßes auf das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} (a) und dessen zu grundlegenden Parameter der Körperschallnachhallzeit $T_{s,ij}$ (b) und der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $D_{v,ij}$ (c)

1.6.2. Einzahlwerte

Dieser Abschnitt stellt Analysen unterschiedlicher Gruppen von Verbindungsmitteln und Lagern zur Entkopplung im L-Stoß von Massivholzbauteilen dar. Es wurden nach Abschnitt 1.2.3 die Einzulangaben $\overline{K_{ij}}$ als arithmetischer Mittelwert der Terzbänder im Frequenzbereich zwischen 200 und 1250 Hz gebildet und in unterschiedlichen Vergleichen zur Darstellung von Einflüssen wie Lastaufbringung, Entkopplungsmaterial, Verbindungsmitteltyp etc. dargestellt.

Die frequenzabhängige ganzheitliche Darstellung aller gemessenen Ergebnisse kann unter <https://acom-research.eu/stossstellen/> eingesehen werden.

1.6.2.1. Einfluss des Materials zur Entkopplung

Der Vergleich der Einzulangaben der Stoßstellendämm-Maße in Abbildung 17 zeigt, dass durch elastische Zwischenlager eine Verbesserung von $\overline{K_{ij}} = 9,8 - 13,3$ dB auf bis zu $\overline{K_{ij}} = 26,1$ dB möglich ist. Diese Verbesserung ist stark materialabhängig. Auch innerhalb einer Gruppe eines Materialtyps sind Schwankungen durch Auflast und Materialsteifigkeit von bis zu 6 dB zu beobachten. Die größte mittlere Verbesserung kann mittels geschäumter Polyurethane (offen- und geschlossenzellig) von bis zu 15 dB erzielt werden. Die geringste Verbesserung von ca. 4 dB in der Einzulangabe des Stoßstellendämm-Maßes wurde bei steiferen (Kork und „anderen“) Produkten zu Entkopplung gemessen. Die Entkopplung der beiden Bauteile Wand und Decke ist somit stark von der Materialwahl des Lagers abhängig, wobei ein direkter Zusammenhang mit der Steifigkeit zu beobachten ist.

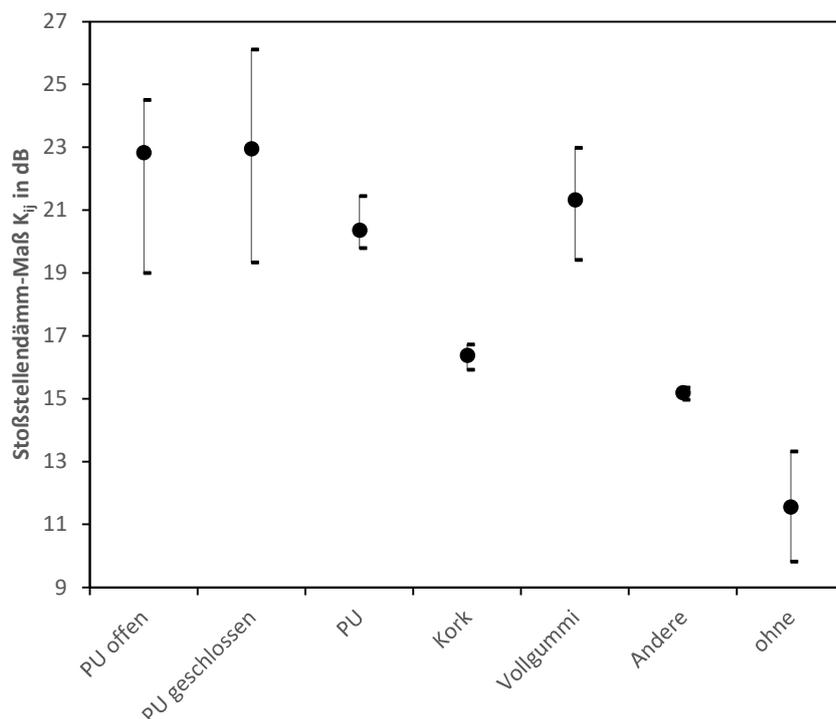


Abbildung 17: Vergleich der gemessenen Einzulangaben des Stoßstellendämm-Maßes $\overline{K_{ij}}$ (Max, Min, und Mittelwert) in Abhängigkeit des Materialtyps und Pressung des Lagers

Der Zusammenhang zwischen der dynamischen Steifigkeit des Lagers zur Entkopplung von Decken- und Wandbauteilen im L-Stoß und dem zu erzielenden Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij}}$ ist in Abbildung 18 dargestellt. Es ist erkennbar, dass mit steigender dynamischer Steifigkeit eine schlechtere Entkopplung der Bauteile und damit ein geringeres Stoßstellendämm-Maß gemessen wurde. Die gezeigten Daten

sprechen in dem untersuchten Bereich der dynamischen Steifigkeit für einen linearen Zusammenhang zwischen dynamischer Steifigkeit und Stoßstellendämm-Maß. Trotz der dominanten Abhängigkeit des Stoßstellendämm-Maßes von der dynamischen Steifigkeit des Lagermaterials wurden bei ähnlicher oder gleicher dynamischer Steifigkeit unterschiedliche Stoßstellendämm-Maße gemessen. Das zeigt, dass neben der dynamischen Steifigkeit auch andere Eigenschaften wie z.B. Dämpfung, Materialdicke etc. eine Rolle spielen können.

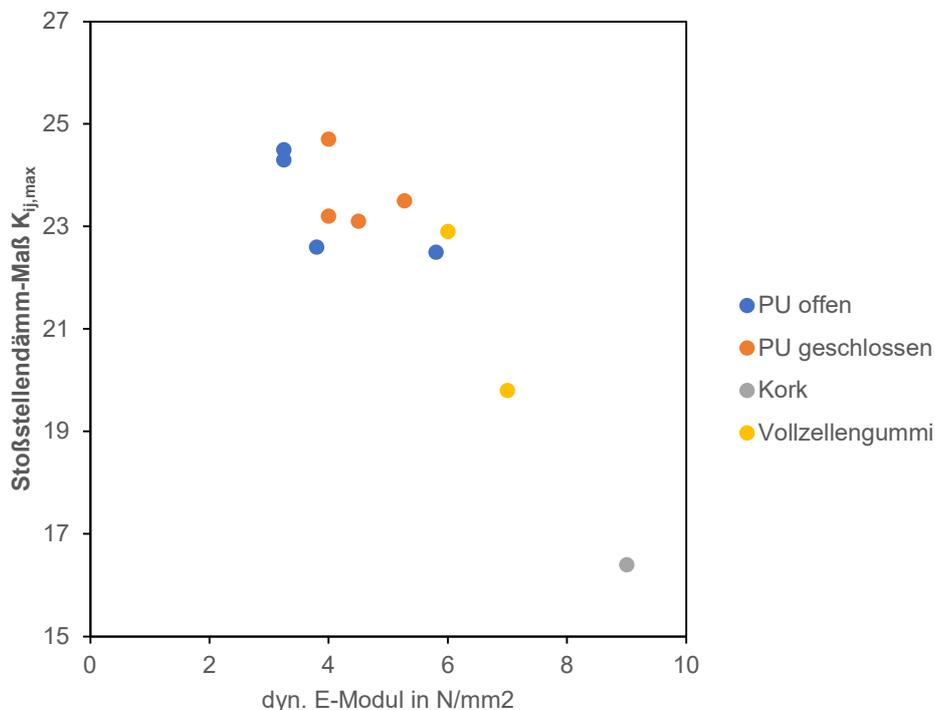


Abbildung 18: Darstellung des Zusammenhangs zwischen dynamischen E-Modul des Lagers im L-Stoß und Einzlangabe des mit dem Materialtyp maximal gemessenen Stoßstellendämm-Maßes $\overline{K_{ij}}$

1.6.2.2. Einfluss der Materialstärke

Die Materialstärke eines Lagers zur Entkopplung hat einen Einfluss auf die dynamische Steifigkeit des Lagers und damit auf die Entkopplung zwischen Wand- und Deckenelement. In Abbildung 19 ist der Einfluss der Materialstärke auf das Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij}}$ im L-Stoß eines Wand- und Deckenelements dargestellt. Die Messungen wurden jeweils mit drei verschiedenem Auflasten durchgeführt.

Es zeigt sich, dass in Abhängigkeit des Materialtyps, das Stoßstellendämm-Maß mit einer Verdopplung der Lagerdicke von 6 mm auf 12,5 mm eine Verbesserung von bis zu 2,5 dB erzielbar ist. Geschlossenzellige geschäumte Polyurethane haben sich dabei als sensibler auf die Dickenänderung gezeigt als offenzelliges geschäumte Polyurethane. Bei diesen wurde mit Verdopplung der Lagerdicke eine Verbesserung des Stoßstellendämm-Maßes im Mittel von nur 1 dB beobachtet. Für alle Materialtypen ist eine größere Spreizung der gemessenen $\overline{K_{ij}}$ unter variierender Auflast mit dickerer Materialstärke zu beobachten. So wurden mit 6,5 mm Materialstärke rund 0,5 dB Spreizung zwischen $\overline{K_{ij,max}}$ und $\overline{K_{ij,min}}$ gemessen und bei 12,5 mm vergrößert sich diese Spreizung auf rund 3 dB. Dickere Lager erzielen somit zwar höhere Stoßstellendämm-Maße im L-Stoß sind aber wesentlich sensibler auf Veränderungen ihrer Pressung durch Auflast im Bauteilstoß.

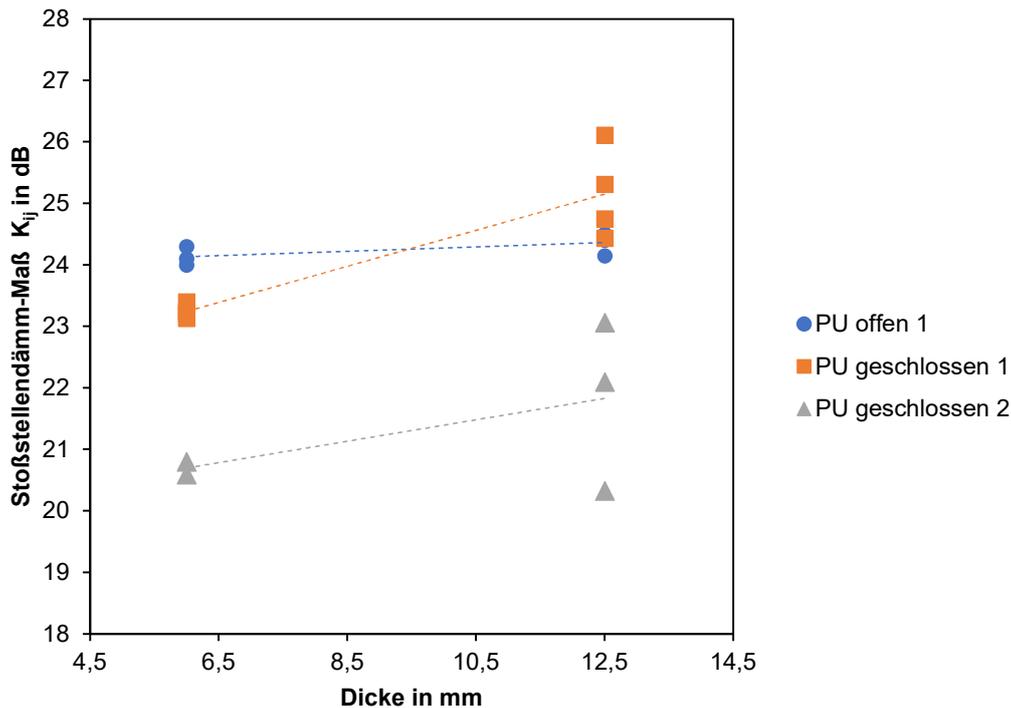


Abbildung 19: Einfluss der Materialstärke des Lagers in unterschiedlichen Materialtypen auf das Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij}}$ eines L-Stoßes unter variierender Pressung

1.6.2.3. Lastabhängigkeit von elastischen Lagerungen

Wie sich bereits in der Untersuchung zur Materialstärke von Lagern zur Entkopplung eines Wand- und Deckenbauteils im L-Stoß gezeigt hat, ist das erzielbare Stoßstellendämm-Maß von der Pressung des Lagers durch eine Auflast im Bauteilstoß abhängig. Abbildung 20 zeigt die Abhängigkeit der maximalen Reduktion des Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij,max}}$ durch Pressung des Lagers. Es zeigt sich, dass sich die Resilienz, gegenüber Abweichungen von der optimalen Pressung im Stoß, für elastische Lager mit dem Materialtyp verändert. Die größte Reduktion des gemessenen Stoßstellendämm-Maß zeigen die Materialien mit der besten Performance. Lagertypen mit geringen Stoßstellendämm-Maß zeigen in der vorliegenden Untersuchung auch eine geringe Reduktion.

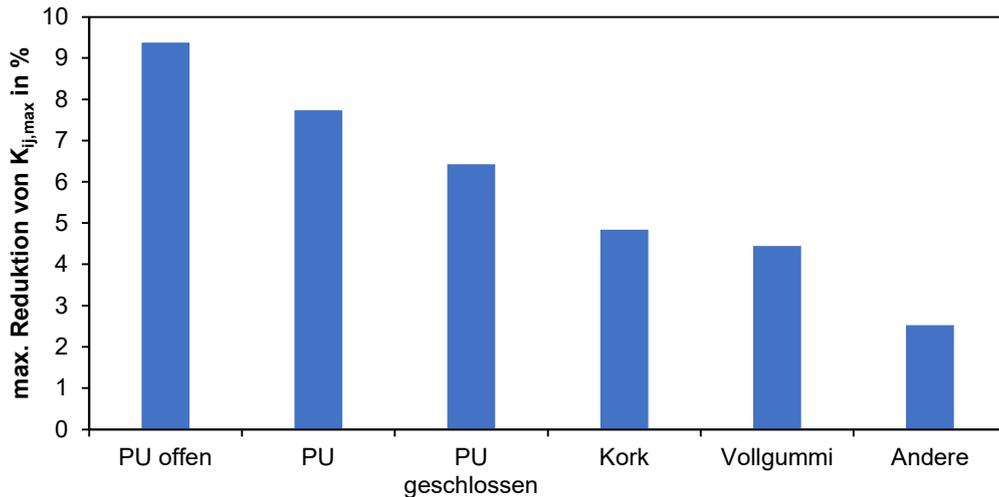


Abbildung 20: Abhängigkeit der maximalen Reduktion des Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij,max}}$ durch Pressung des Lagers im L-Stoß vom Materialtype des Lagers

Abbildung 21 zeigt, dass die Pressung des Lagers einen Einfluss auf das maximal zu erzielende Stoßstellendämm-Maß besitzt. Weiters wurde festgestellt, dass Reduktionen um bis zu 10% von $\overline{K_{ij,max}}$ eines Lagertyps möglich sind. Für alle Lagertypen lässt sich ein genereller Trend beobachten, dieser weist ein sinkendes K_{ij} mit steigender Pressung auf. Hingegen weist die in Abbildung 21 gezeigte vertikale Spreizung der Messdaten darauf hin, dass dieser generelle Zusammenhang das Materialverhalten der Lager in unterschiedlichen Materialtypen nicht genau genug begründet werden kann. So sind z.B. bei 0.4 N/mm² Reduktionen von $\overline{K_{ij,max}}$ von 0 - 8% und somit fast über den gesamten beobachteten max. Bereich des Einflusses von 0 - 10% gemessen worden.

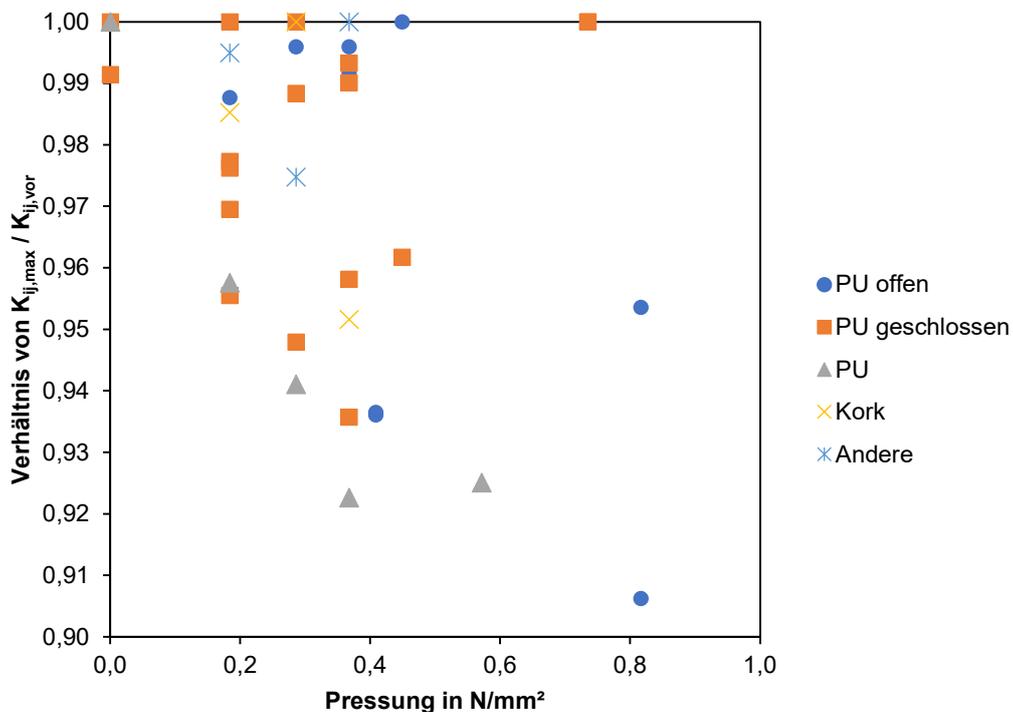


Abbildung 21: Einfluss der Pressung des Lagers im L-Stoß auf das Verhältnis von dem maximal gemessenen $\overline{K_{ij,max}}$ und dem mit der vorhandenen Pressung gemessenen $\overline{K_{ij,vor}}$

Eine bessere Korrelation ist zwischen dem Verhältnis der optimalen Pressung P_{opt} und der vorhandenen Pressung $P_{vorhanden}$ auf das Verhältnis von dem maximal gemessenen $\overline{K_{ij,max}}$ und dem mit der vorhandenen Pressung gemessenen $\overline{K_{ij,vor}}$ in Abbildung 22 zu erkennen. Die polynomischen Ausgleichskurven der unterschiedlichen Materialtypen zeigen ein ähnliches Verhalten für die Materialtypen der geschäumten Polymere und für Kork. Für diese Materialtypen zeigt sich, dass, wenn die Pressung des Lagers im Bereich des Optimums der vom Hersteller angegebenen Bereichs liegt, auch das höchste Stoßstellendämm-Maß vorliegt. Eine Überpressung des Lagers von rund 180% der optimalen Pressung führt zu einer Reduktion des Stoßstellendämm-Maß von bis zu 2,5 dB – gegenüber einer Unterpressung des Lagers, wo nur Reduktionen von bis zu rund 1,0 dB zu beobachten sind. Die untersuchten Lager reagieren somit gegenüber einer negativen Abweichung von der optimalen Pressung resilienter in ihrer Entkopplungsperformance als gegenüber einer positiven und somit einer Überpressung.

Für die beiden Materialtypen „PU“ und „Andere“ ist ein von dem Verhalten der anderen Materialtypen divergierendes Verhalten mit Veränderung der Auflast zu beobachten. Das Stoßstellendämm-Maß des L-Stoßes mit den Materialtypen „PU“ ist am größten bei keiner Lagerpressung und sinkt mit der steigenden Auflast um bis zu 1,6 dB. Der Materialtyp „Andere“ zeigt nur eine sehr geringe Beeinflussung des Stoßstellendämm-Maß durch die Veränderung der Pressung im L-Stoß. Die gemessene Varianz von ca. 0,5 dB liegt innerhalb der Messungenauigkeit. Daher lässt sich abseits der geringen Beeinflussung durch Auflast zu dem Lastverhalten dieses Materialtyps keine weitere Aussage tätigen.

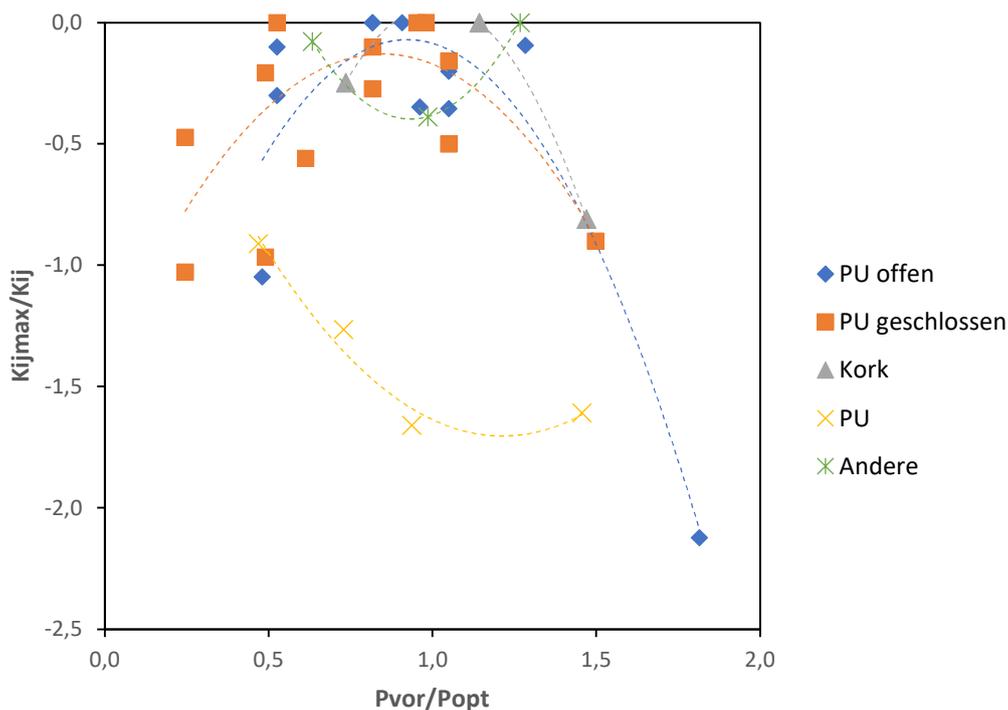


Abbildung 22: Einfluss des Verhältnisses der optimalen Pressung P_{opt} und der vorhandenen Pressungen $P_{vorhanden}$ auf das Verhältnis von dem maximal gemessenen $\overline{K_{ij,max}}$ und dem mit der vorhandenen Pressung gemessenen $\overline{K_{ij,vor}}$

1.6.2.4. Einfluss des Verbindungsmittels

Verbindungsmittel im L-Stoß zur statischen Lastabtragung von Quer- und Schubkräften reduzieren im Allgemeinen das Stoßstellendämm-Maß durch Kopplung des Decken- und des Wandelements. Sie schließen damit in ihrem Einflussbereich die Entkopplung der Bauteile durch ein elastisches Lager im Stoß kurz. Dieser Einfluss auf das Stoßstellendämm-Maß ist für die untersuchten Verbindungsmittel in Abbildung 23 dargestellt. Es ist die Differenz der gemessenen Einzahlangaben der Stoßstellendämm-Maße in dB im L-Stoß mit elastischer Entkopplung durch ein Lager mit und ohne Verbindungsmittel dargestellt. Durch die untersuchten Verbindungsmittel sinkt das gemessene Stoßstellendämm-Maß in Abhängigkeit von dem Verbindungsmitteltyp um 1-10 dB. Es ist somit möglich, durch die Wahl des Verbindungsmittels in Kombination mit dessen Entkopplung, Verbindungen im L-Stoß zu erzeugen, die praktisch keine negative Beeinflussung der Performance der elastischen Lagerung des Stoßes hervorrufen.

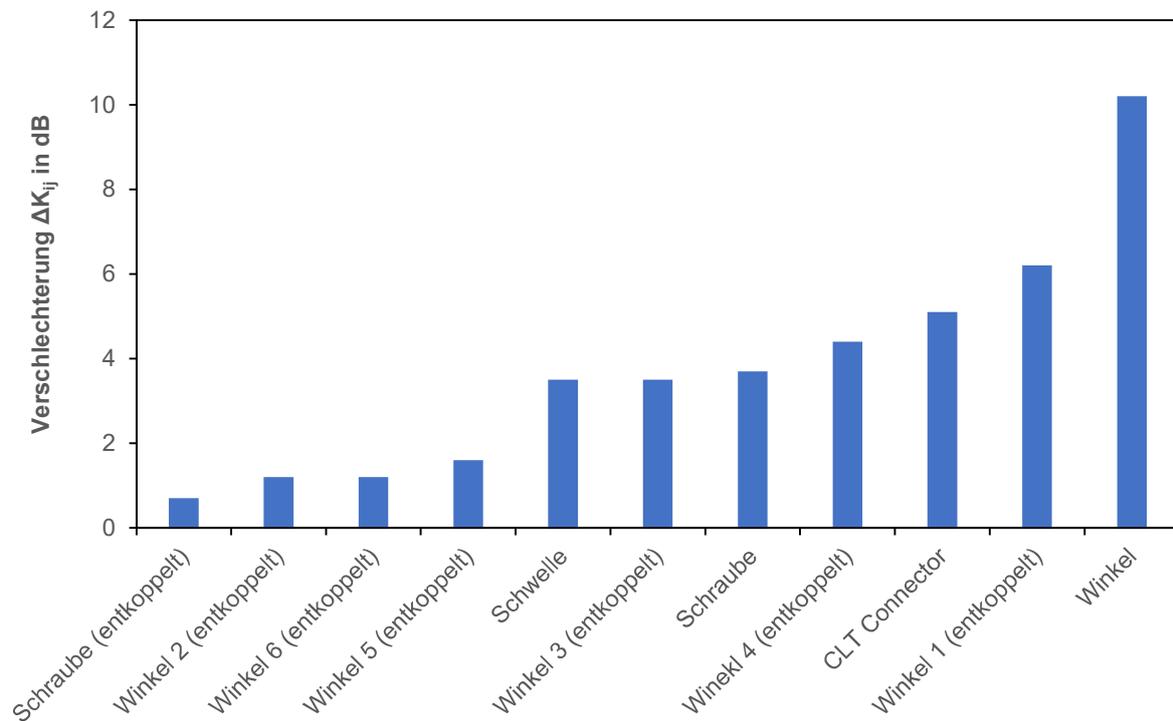


Abbildung 23: Verschlechterung der gemessenen Einzahlangaben der Stoßstellendämm-Maße in dB im L-Stoß mit elastischer Entkopplung durch ein Lager durch Verbindungsmittel

Grundsätzlich ist zu beobachten, dass Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel durch Einlage von elastischen Materialien im Verbindungsmittel deutliche Verbesserungen dieser Beeinflussungen durch das Verbindungsmittel zu erzielen sind. So können für Winkel Verbesserungen von 4 - 6 dB durch diese Entkopplung im Stoßstellendämm-Maß erzielt werden. Die Schraube (siehe Tabelle 2) zeigt gegenüber Winkeln „entkoppelt“ und „nicht entkoppelt“ die beste Performance. Das ist vermutlich auf die nur punktuelle Verbindung der Bauteile zurückzuführen. Die eingesetzten Winkel stellen mit Breiten von bis zu 200 mm und max. je ca. 60 Schraubverbindungen eine deutlich steifere Verbindung dar, wodurch die Umsetzung im Bauteilstoß von Biegewelle, Longitudinalwelle und Transversalwelle verlustfreier stattfinden kann.

1.6.2.5. Einfluss des Verbindungsmittelabstands

Aufgrund von unterschiedlichen statischen Anforderungen werden in Regel Verbindungsmittel in unterschiedlichen Abständen in Holzmassivbauteilstößen eingesetzt. Der Abstand des Verbindungsmittels beeinflusst das Stoßstellendämm-Maß im L-Stoß aufgrund der dadurch unterschiedlichen steifen Ausbildung des Bauteilknotens und durch das Vergrößern der übertragenen Schwingungsenergie über das Verbindungsmittel zwischen Wand- und Deckenbauteil. Dieser Einfluss ist für drei Verbindungsmitteltypen untersucht worden und in Abbildung 24 dargestellt. Untersucht wurden die Verbindungsmittel im L-Stoß mit jeweils unterschiedlichen Lagern im Bauteilstoß, wodurch ein absoluter Vergleich der gemessenen Stoßstellendämm-Maße nicht möglich ist. Allerdings zeigt Abbildung 24, dass mit steigendem Verbindungsmittelabstand das Stoßstellendämm-Maß zunimmt. Am größten mit ca. 3 dB ist diese Zunahme mit einem Verbindungsmittelabstand von 0,3-3 m bei der „Schraube“.

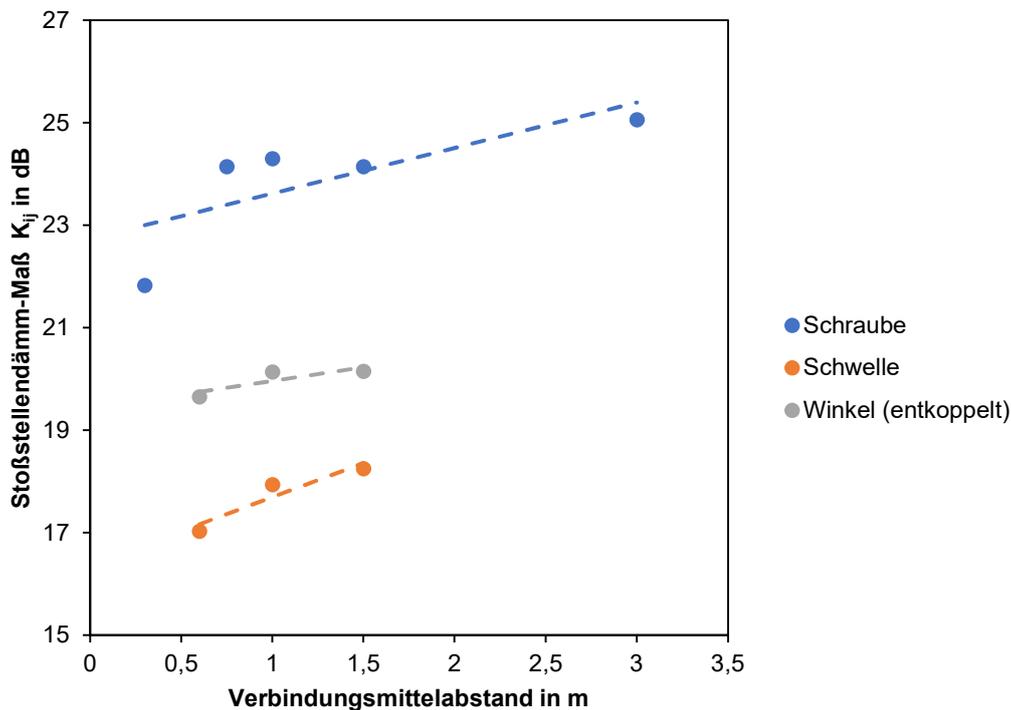


Abbildung 24: Einfluss des Verbindungsmittelabstands auf die gemessenen Einzulangaben der Stoßstellendämm-Maße $\overline{K_{ij}}$ eines L-Stoßes mit elastischer Entkopplung und unterschiedlichen Verbindungsmittel

Bei Darstellung der Ausgleichsgeraden der gemessenen Daten je Verbindungsmitteltyp zeigt sich, dass beim Typ „Schwelle“ das Stoßstellendämm-Maßes am stärksten mit ca. 1,3 dB/m mit einem größer werdenden Verbindungsmittelabstand zunimmt. Der „Winkel (entkoppelt)“ zeigt den geringsten Einfluss des Verbindungsmittelabstands im Stoßstellendämm-Maß mit ca. 0,5 dB.

1.6.2.6. Einfluss von Entkopplung von Verbindungsmitteln

Wie bereits in den voran gezeigten Ergebnisanalysen erkennbar war, kann die Verschlechterung des Stoßstellendämm-Maß durch Verbindungsmittel im L-Stoß von Holzmassivbauteilen durch Vorsehen von Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel verringert werden. Die Schraubverbindungen wurden dabei mit Beilagscheiben aus geschäumtem Polyurethan und Übermaßvorbohrung vom Deckenelement entkoppelt. Winkel wurden mit unterschiedlichen elastischen Materialien von einem der beiden Bauteile (Wand- oder Deckenelement) entkoppelt. Die Entkopplungsmaßnahmen besitzen einen (in der gegenständlichen Untersuchung nicht betrachteten) Einfluss auf die statische Wirksamkeit. In der Regel bedingt die Entkopplungsmaßnahme eine Verschlechterung der statischen Tragfähigkeit der Verbindungsmittel. Die Ziele zwischen der bauakustischen und statischen Planung stehen dabei in einem konträren Verhältnis und benötigen eine integrale Betrachtung mit Kompromissfindung.

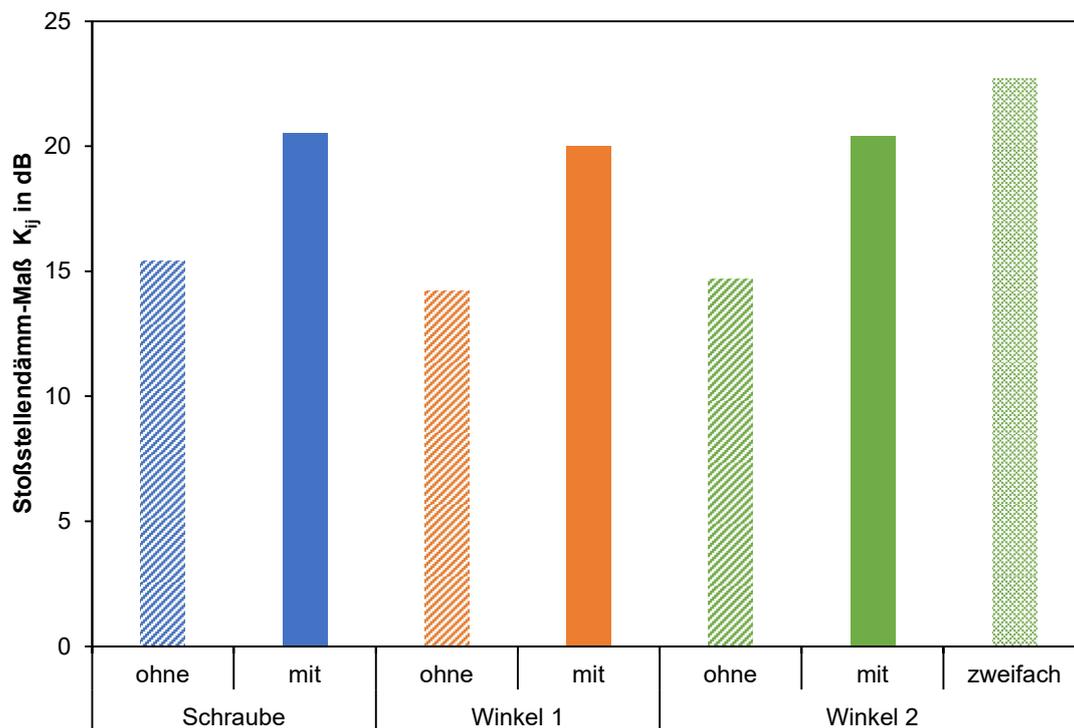


Abbildung 25: Einfluss von Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel auf die Einzahlangabe des Stoßstellendämm-Maßes \overline{K}_{ij} eines L-Stoßes aus Massivholzbauteilen mit elastischem Lager

Abbildung 25 zeigt den Vergleich der Wirksamkeit dieser Maßnahmen zur Entkopplung der Verbindungsmitteln bei unterschiedlichen Verbindungsmitteltypen. Eine einfache Entkopplung führt bei Winkel- ebenso wie bei Schraubverbindungen zu einer Verbesserung der Einzahlangabe des Stoßstellendämm-Maßes \overline{K}_{ij} von ca. 5 dB. Eine Entkopplung des Winkels durch eine zweilagige Anordnung von elastischen Schichten, wodurch die Schraubenköpfe der Schrauben, die den Winkel an dem Bauteil befestigt, ebenso entkoppelt gelagert sind, führt zu einer weiteren Verbesserung um ca. 2 dB.

1.6.2.7. Einfluss der Auflast auf Verbindungsmittel

Die Pressung des L-Stoßes durch Auflast und die Auswirkung auf dessen Stoßstellendämm-Maß K_{ij} ohne Verbindungsmittel wurde bereits in Abschnitt 1.6.1.2 diskutiert und es wurde gezeigt, dass das maximal erzielbare Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij,max}}$ mit einem elastischen Lager von der Pressung abhängt. Abbildung 26 zeigt die Abhängigkeit der maximalen Reduktion des Stoßstellendämm-Maß $\overline{K_{ij,max}}$ durch Pressung des Lagers und damit die Resilienz unterschiedlicher Verbindungsmittel auf Laständerungen. Grundsätzlich zeigt sich eine Reduktion der Einzahlangabe des Stoßstellendämm-Maßes von ca. 2 - 14% durch variierende Pressung im Bauteilstoß.

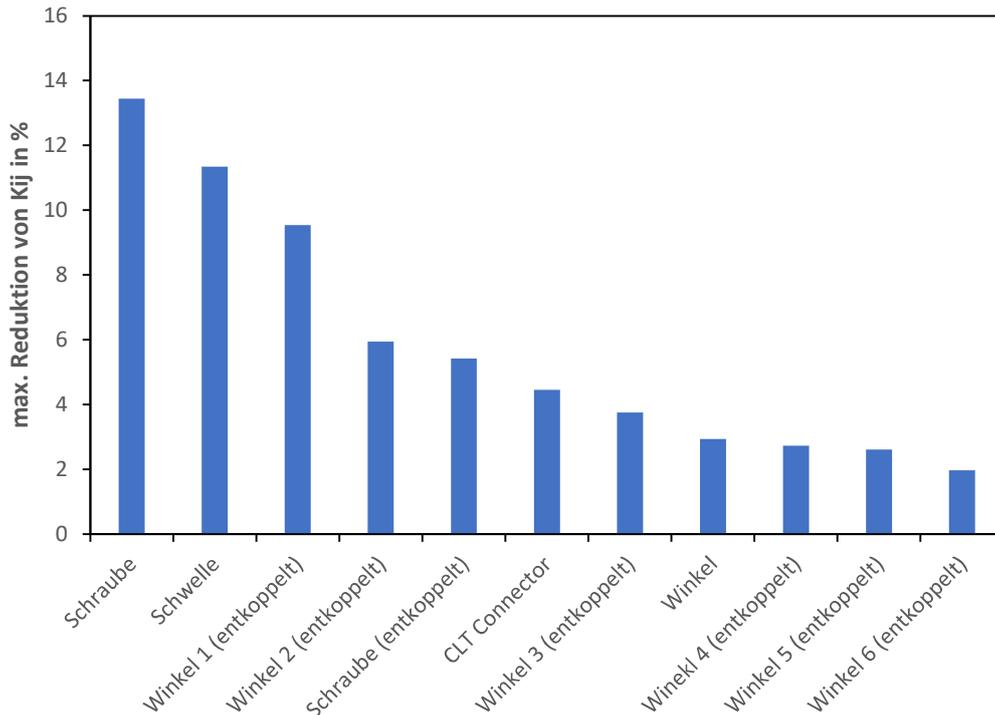


Abbildung 26: Abhängigkeit der maximalen Reduktion der Einzahlangabe des Stoßstellendämm-Maßes $\overline{K_{ij,max}}$ durch Pressung des Lagers im L-Stoß vom Verbindungsmitteltyp

Auffällig stellt sich in Abbildung 26 dar, dass Schraubverbindungen deutlich sensibler auf die Veränderung der Auflast in der Veränderung des Stoßstellendämm-Maßes reagieren. Das K_{ij} wird dabei um bis zu 14% reduziert. In Kombination mit Abbildung 23 lässt sich vermuten, dass die max. Reduktion von K_{ij} von der Güte der Entkopplung des Verbindungsmittels abhängt. So weisen Verbindungsmittel mit besserer Kopplung zwischen Wand- und Deckenelement, und damit niedrigen Stoßstellendämm-Maßen, eine größere Beeinflussung durch die Pressung des Stoßes auf.

1.7. Zusammenfassung

Es können aus Abschnitt 6 für den Einfluss von Lagern auf das Stoßstellendämm-Maß eines L-Stoßes aus Brettsperreholzelementen mit elastischer Zwischenschicht folgende wesentlichen Rückschlüsse zusammengefasst werden.

1.7.1. Lager

- Durch das Einlegen von elastischen Lagern kann ein einzahlbewertetes Stoßstellendämm-Maß \overline{K}_{IJ} von 16 dB bis 26 dB erzielt werden. Die Größe dieses Stoßstellendämm-Maßes ist stark abhängig von dem gewählten Material zur Entkopplung.
- Das Stoßstellendämm-Maß des Bauteilstoßes mit elastischer Zwischenlage ist abhängig von der durch Auflast hervorgerufenen Pressung der elastischen Zwischenlage in der Stoßstellenfuge. Es wurde eine Reduktion des maximal gemessenen einzahlbewerteten Stoßstellendämm-Maßes \overline{K}_{IJ} von bis zu 2-10% gemessen. Diese Reduktion ist von dem Materialtyp des Lagers abhängig. Materialien mit dem größten Potential zur Steigerung des Stoßstellendämm-Maßes zeigten dabei die größte Beeinflussung durch Pressung.
- Eine vergrößerte Lagerdicke kann bei gleichbleibenden Materialien eine positive Beeinflussung des Stoßstellendämm-Maßes bedingen. Es konnten bei Verdopplung der Lagerdicke Verbesserungen des Stoßstellendämm-Maßes von bis zu 2 dB gemessen werden.

1.7.2. Verbindungsmittel

- Entkopplungsmaßnahmen im Bauteilstoß durch elastische Lagerung können wesentlich durch Verbindungsmittel in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt werden. Abhängig vom Verbindungsmitteltyp ist eine Verschlechterung des Stoßstellendämm-Maßes von bis zu 10 dB möglich. Hierbei hat sich gezeigt, dass Verbindungsmittel mit einer hohen Steifigkeit parallel zur Stoßstellenfuge eine besonders große Verschlechterung des Stoßstellendämm-Maßes eines L-Stoßes bedingen.
- Der Verbindungsmittelabstand spielt dabei eine wesentliche Rolle, da die Knotensteifigkeit mit reduziertem Abstand zunimmt und damit die Kopplung zwischen Decken- und Wandbauteil verbessert wird. Die Verschlechterung des einzahlbewerteten Stoßstellendämm-Maßes nimmt linear mit der Reduktion des Verbindungsmittelabstandes zu und beträgt bei einer Halbierung des Abstandes etwa 1,5 dB. Die Verschlechterung ist vom Verbindungsmitteltyp (Winkel, Schwelle, Schraube) unabhängig.
- Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsmittel können den Einfluss des Verbindungsmittels auf das Stoßstellendämm-Maß nahezu eliminieren. Das Stoßstellendämm-Maß konnte durch die untersuchten Maßnahmen im Schnitt um 5 dB verbessert werden. Dabei haben sich Maßnahmen, die die Steifigkeit des Verbindungsmittels parallel zur Stoßstellenfuge reduzieren als besonders effektiv gezeigt.
- Das Stoßstellendämm-Maß des Bauteilstoßes mit elastischer Zwischenlage mit Verbindungsmittel ist abhängig von der durch Auflast hervorgerufenen Pressung der elastischen Zwischenlage in der Stoßstellenfuge. Es wurde eine Reduktion des maximal gemessenen Einzahlangebe des Stoßstellendämm-Maßes \overline{K}_{IJ} von bis zu 2-14% gemessen.

2. STOSSSTELLEN IM HOLZRAHMENBAU

2.1. Einleitung

Eine wesentliche Kenngröße in der Planung von Gebäuden und zur Prognose der Flankenübertragung von Tritt- und Luftschall in der Normenreihe ÖNORM EN ISO 12354-2 ist das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} . Für den Leichtbau (Bauteile des Typs B gemäß ÖNORM EN ISO 10848-1) ist die Bestimmung der Körperschallnachhallzeit nicht zuverlässig möglich. Daher ist es nicht möglich, Stoßstellendämm-Maße für Bauteilknoten aus solchen Bauteilen wiederholbar mit ausreichender Genauigkeit zu messen. Die Kenngröße, welche in ÖNORM EN ISO 12354-2 zur Berechnung des Norm-Trittschallpegels unter Berücksichtigung von Flankenübertragungswegen verwendet wird, ist die normalisierte richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij,n}}$.

Diese Berechnungsmethode ist für den mineralischen Massivbau seit vielen Jahren etabliert und es gibt normierte Prognosemodelle für dessen Eingangsgrößen. Die Anwendbarkeit der ÖNORM EN ISO 12354-2 im Holzrahmenbau ist aus der Sicht der Autoren noch nicht gesichert und gehört zu den derzeit aktuellen Fragestellungen der Wissenschaft. Neben der grundsätzlichen Anwendbarkeit sind für den Holzleichtbau derzeit keine normierten Berechnungsmodelle für die Prognose von $\overline{D_{v,ij,n}}$, des wesentlichen Eingangsparameters, vorhanden.

Die in dem Projekt durchgeführten Arbeiten stellen diese Anwendbarkeit anhand des Vergleichs des gemessenen und nach EN ISO 12354-2 prognostizierten Norm-Flankentrittschallpegels $L_{n,f}$ zur Diskussion. Dazu wurde die normalisierte richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij,n}}$ eines T-Stoßes gemessen. Für denselben T-Stoß wurde die Deckenunterseite abgeschirmt und der resultierende Norm-Flankentrittschallpegel gemessen.

2.2. Messmethode

Die Bewertung der Bauteil- und Stoßstellenkennwerte wurde nach den derzeit gültigen österreichischen und internationalen Normen durchgeführt. Als wesentliche Norm zur Messung der Schnellepegeldifferenzen und der Norm-Flankentrittschallpegel wurde die ÖNORM EN ISO 10848 verwendet. Die beiden Kenngrößen, die zur Charakterisierung des Schallübertragungsverhaltens des T-Stoßes gemessen werden sollen, sind die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$ und der Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$.

2.2.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$

Die räumliche Mittelung des Schnellepegels erfolgte je Anrege-Position an vier Messpositionen an der jeweiligen Bauteiloberfläche. Die Körperschallanregung erfolgte an vier Positionen je Übertragungsrichtung. Die an beiden Bauteilen gleichzeitig senkrecht zur Bauteiloberfläche gemessene Oberflächenschnelle dient zur Bestimmung der Schnellepegeldifferenz nach Gleichung (5).

$$D_{v,ij} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (D_{v,ij})_{mn} \quad (5)$$

Mit der Anzahl M der Anregungspunkte am Bauteil i, N der Anzahl der Messpositionen an jedem Bauteil für jeden Anregungspunkt, der Schnellepegeldifferenz $(D_{v,ij})_{mn}$ für nur einen Anregungspunkt und ein Messpositionspaar in dB. Gemäß ÖNORM EN ISO 10848-3:2018 erfolgt die Messung in beide Übertragungsrichtungen. Die Mittlungen beider Schnellepegeldifferenzen erfolgt nach Gleichung (6).

$$\overline{D_{v,ij}} = \frac{1}{2} (D_{v,ij} + D_{v,ji}) \quad (6)$$

2.2.2. Norm-Trittschallpegel L_n und Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$

Der Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$ bzw. der Norm-Trittschallpegel L_n wurde durch die räumliche und zeitliche Mittelung des Schalldruckpegels L_2 im Empfangsraum, der durch ein Hammerwerk auf dem Deckenbauteil erzeugt wird, bestimmt. Die Deckenunterseite im Empfangsraum wurde zur Messung von $L_{n,f}$ durch eine freitragende Unterdecke (80 mm Luftraum, 12,5 mm Gipsfaserplatte) in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 10848-1:2018 abgeschirmt. Wodurch die Schallübertragung nur über den Übertragungsweg Decke-Wand stattfinden konnte. Diese Abschirmung wurde zur Bestimmung von $L_{n,f}$ der Rohdecke wieder demontiert. Die Messung von L_2 erfolgt durch Mittelung des an drei Messpositionen mittels Drehgalgen bestimmten Schalldruckpegels.

$$L_{n,f} = L_2 + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (7)$$

Die für die Berechnung notwendige äquivalente Absorptionsfläche A wurde durch Messung der Nachhallzeit im Empfangsraum bestimmt.

2.2.3. Berechnungsmethode

Die Berechnung des Norm-Flankentrittschallpegels erfolgt nach EN ISO ÖNORM 12354-2:2017 „Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen“ aus der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$ und dem normierten Trittschallpegel der Decke $L_{n,i}$. Weiters gehen die beiden Bauteilflächen der Decke S_i und der Wand S_j ein. Alle anderen Terme in Formel (8) können vernachlässigt werden, da keine Vorsatzschalen vorliegen, damit ist $\Delta L_i = 0$ und $\Delta R_i = 0$ und das Luftschalldämm-Maß beider Bauteile R_i und R_j in etwa gleich groß. Da dieselbe Konfiguration der Bauteile und Bauteilabmessungen zur Bestimmung von $\overline{D_{v,ij}}$ als auch für die Messung von $L_{n,f}$ eingesetzt wurde, entfällt die ansonsten notwendige Umrechnung von $\overline{D_{v,ij}}$ zu $\overline{D_{v,ij,situ}}$.

$$L_{n,f} = L_{n,i} - \Delta L_i + \frac{R_i - R_j}{2} - \Delta R_i - \overline{D_{v,ij}} - 10 \lg \left(\sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \right) \quad (8)$$

2.3. Prüfstand

Der Aufbau des Prüfstandes erfolgte in Anlehnung an die Normenreihe ÖNORM EN ISO 10848. Der Prüfstand besteht aus einem Wandelement (2530 x 3100 mm, Holzriegelkonstruktion d = 100 mm) und einem Deckenelement (3100 x 3550 mm Holzriegelkonstruktion d = 100mm). Die Prüfstands-Ränder sind mittels Elastomer-Lagern von den tragenden Elementen entkoppelt gelagert. Der Empfangsraum unterhalb des Deckenbauteils ist zweiseitig durch Hochlochziegelmauern und einseitig durch eine mit Gipsfasern beplankte Holzriegelkonstruktion räumlich abgeschlossen. Dies ergibt ein Empfangsraum-Volumen von ca. 28 m³.

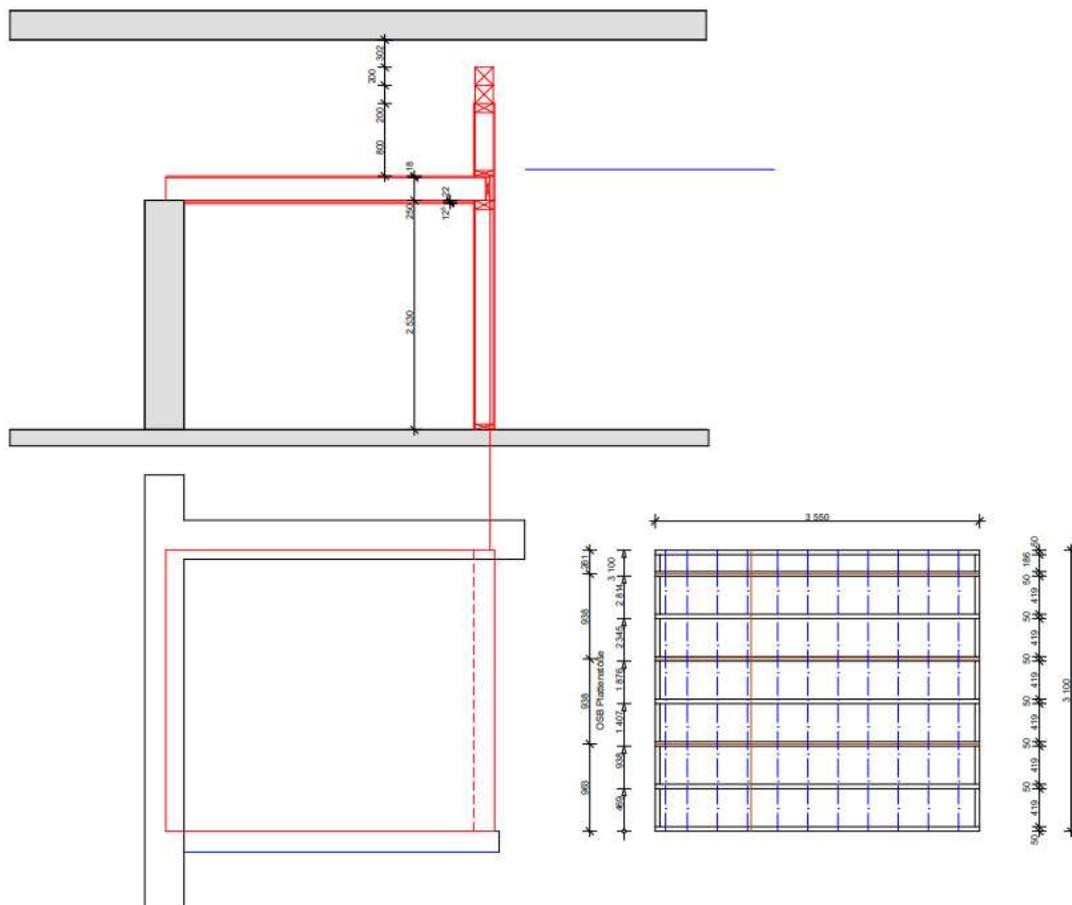


Abbildung 27: Plandarstellung (oben: Schnitt, unten links: Draufsicht, unten rechts: Deckenschnitt) des Prüfstandes zur Bestimmung der normalisierten richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D}_{v,l,n}$ und des Norm-Flankentrittschallpegels $L_{n,f}$ eines T-Stoßes in Holzrahmenbauweise für den Übertragungsweg Decke-Wand

Durch die in Abbildung 27 dargestellte Geometrie der zu prüfenden Bauteile entsteht ein T-Stoß aus zwei Wandbauteilen und ein Deckenbauteil. Alle anderen Wandkonstruktionen sind mittels elastischer Zwischenschichten entkoppelt und tragen nicht zum Schallübertragungsverhalten des T-Stoßes oder der Decke bei. Der aufgesetzte 1200 mm hohe Wandstummel in Holzriegelbauweise dient vorrangig zur Verteilung der durch die Hydraulik-Stempel auf den Knoten aufgebrachte Last. Eine Messung der Schalllängsleitung ist aufgrund der kleinen Geometrie und der daraus resultierenden inhomogenen Schwingungsfelder im Wandstummel nicht möglich.



Abbildung 28: (oben) Unbeplankter Prüfstandsaufbau ohne Decke; (unten) Fertiger Prüfstandsaufbau eines T-Stoßes und geschlossenem Empfangsraum in Holzrahmenbauweise

2.3.1. Abschirmung

Zur Messung des Norm-Flankentrittschallpegels $L_{n,f}$ ist es notwendig, den direkten Trittschallübertragungsweg durch die Decke auszuschalten. Ziel ist es, nur den, aufgrund der von der Flanke abgestrahlten Schallenergie angeregten, resultierenden Schalldruckpegel im Empfangsraum zu messen. Angelehnt an die Empfehlungen in ÖNORM EN ISO 10848-1:2018 wurde dazu eine freitragende Unterdecke unterhalb der Deckenkonstruktion angebracht. Dazu wurden Staffeln (50 mm x 80 mm) an die seitlich empfangsraumabschließenden Wenden montiert, wodurch keine mechanische Verbindung zwischen Unterdecke und Deckenkonstruktion notwendig ist. Diese Holzkonstruktion wurde mit einer 12,5 mm starken Gipsfaserplatte ($m' = 17\text{kg/m}^2$) beplankt. Der entstehende Hohlraum wurde mit Mineralwolle bedämpft (siehe Abbildung 29).



Abbildung 29: Montage der freitragenden abgehängten Unterdecke im Empfangsraum

2.3.2. Einrichtung zur Pressung des Bauteilstoßes

Zur Untersuchung des Einflusses der Pressung im T-Stoß auf die Schnellepegeldifferenzen und des Norm-Flankentrittschallpegels, ist eine Einrichtung zur Lastaufbringung im Labor am Technischen Gewerbemuseum (TGM) entwickelt worden. Durch die in Abbildung 30 dargestellte Konstruktion kann eine linienförmige Auflast auf den Bauteilknoten aufgebracht werden. Die Aufbringung der Last auf den Bauteilknoten erfolgt stufenlos von 0-20 t mittels zweier Hydraulik-Stempel (siehe Abbildung 30). Damit ergeben sich mögliche Lagerpressungen zwischen 0 und $0,67 \text{ N/mm}^2$ bei einer Lagerfläche von $3000 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$. Die gleichmäßige Lastverteilung auf den Knoten wird durch Holzstaffeln gewährleistet.



Abbildung 30: Einrichtung zur Pressung des T-Stoßes in Holzriegelbauweise

2.4. Messtechnik

Die zu bestimmenden Größen zur Charakterisierung der Stoßstelle sind die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $D_{v,ij}$ und der Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$. Beide Kenngrößen können entsprechend ÖNORM EN ISO 12354-2 zur Berechnung des Norm-Trittschallpegels L'_n unter Berücksichtigung der Flankenübertragung verwendet werden. Die Messung des Norm-Flankentrittschallpegels erfordert einen geschlossenen Empfangsraum und eine Isolierung des Flankenübertragungsweges durch Abschirmung, womit der Versuchsaufbau bedeutend größer ist als für die messtechnische Bestimmung der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $D_{v,ij}$.

2.4.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$

Die Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz des Bauteilknotens wurde jeweils gemäß ÖNORM EN ISO 10848-3:2018 mit einer geeichten Messausrüstung des Typs „Sinus Messtechnik Soundbook_octav mit Software SAMURAI 1.7.14, geeicht als Schallpegelmesser der Klasse 0,7“ gemessen. Die Messung der Schnellepegel an den Bauteiloberflächen erfolgte jeweils mit Schwingungsaufnehmern des Typs „ENDEVCO ISOTRON 65-10-Z“. Die Schwingungsaufnehmer wurden, entsprechend Abbildung 32, mittels Bienenwachses an den Messpositionen des jeweiligen Bauteils befestigt. Vor der Messung wurde die Messkette mit einer geeichten Körperschallquelle des Typs „Bruel & Kjaer TYP 4294“ kalibriert; nach der Messung erfolgte eine Kontrolle der Kalibrierung.



Abbildung 31: Messaufbau zur Bestimmung der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$ entsprechend der Normenreihe ÖNORM EN ISO 10848 (Ausgabe 2018)

Die Anregung erfolgte jeweils an Bauteilaußen- und Bauteilunterseite mittels Kleinhammerwerk „System Gössele“. Das Hammerwerk führt mittels Stößel eine impulsartige Anregung mit einer Frequenz von 10 Hz aus. Der Nennhub der 22 g schweren Hammermasse beträgt dabei rund 5 mm. Die Oberflächenschnellen wurden an jeweils vier Messpositionen an Wand- und Deckenbauteil gemessen. Mit der nach Abbildung 32 dargestellten Anordnung von Anregung und Messpositionen wird gewährleistet, dass das Bauteilverhalten bei der Ermittlung der Schnellepegeldifferenz miterfasst wird.

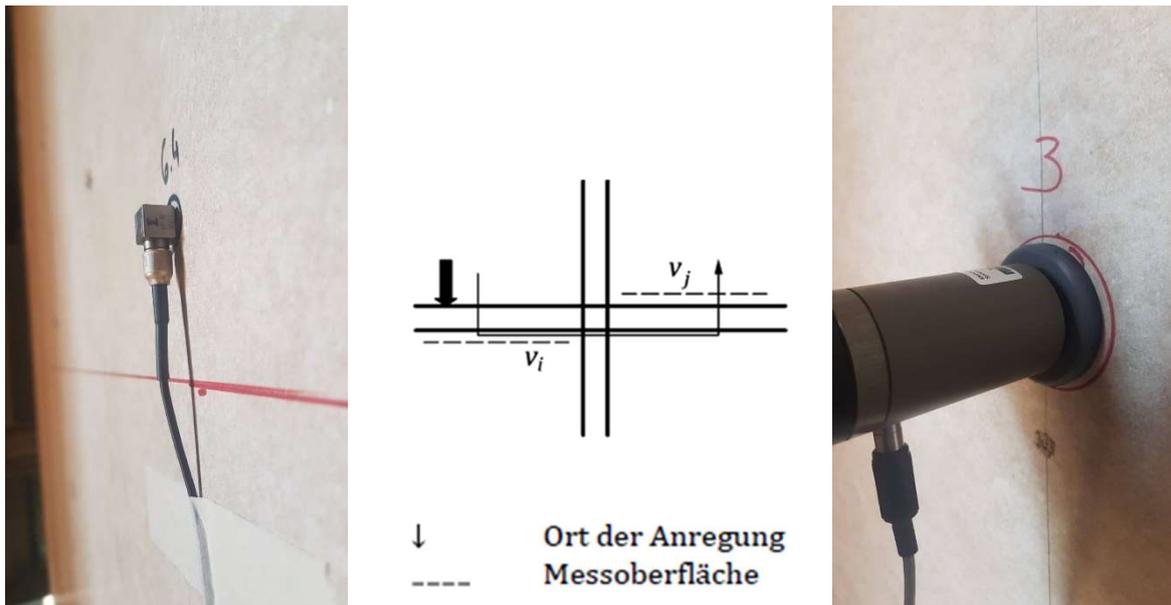


Abbildung 32: (links) Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers an der Bauteiloberfläche; (Mitte) Messprinzip zur Bestimmung der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $D_{v,i,j}[XXX]$; (rechts) Anregung des Bauteils mittels Kleinhammerwerk „System Gössele“

2.4.2. Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$

Die Messung des Norm-Flankentrittschallpegels erfolgte jeweils gemäß der Normenserie ÖNORM EN ISO 10848 mit einer geeichten Messausrüstung des Typs „Norsonic Dual Channel Real Time Analyzer Type 830“. Die Trittschallanregung erfolgte jeweils mit einem Normhammerwerk des Typs „Norsonic“.

Die Geräuschanregung zur Messung der Nachhallzeit erfolgte jeweils mit stationärem, breitbandigem Rauschen.



Abbildung 33: (links) Norm-Hammerwerk auf der zu untersuchenden Holzrahmendecke; (rechts) Drehgalgenmikrofon zur Schalldruckpegelmessung im Empfangsraum

Die Messung der empfangsseitigen Schalldruckpegel erfolgte jeweils mit einem geeichten 1/2" Kondensatormikrofon („Brüel & Kjaer Condenser Microphone Type 4165“, „Brüel & Kjaer Preamplifier Type 2639“ und „Brüel & Kjaer Microphone Power Supply Type 2804“). Vor jeder Messung wurde die Messkette mit einer geeichten Prüfschallquelle des Typs „Norsonic Type 1251“ kalibriert; nach jeder Messung erfolgte eine Kontrolle der Kalibrierung.

Die räumliche Mittelung des Schalldruckpegels erfolgte jeweils durch Mittelwertbildung über 6 Mikrofonpositionen, die Mittelungszeit betrug pro Position 32 s. Für die Messung der Nachhallzeit wurde jeweils die Anregungszeit mit 5 s festgelegt. Die Mittelwertbildung der Nachhallzeit erfolgte jeweils über 6 Abfälle je Position und an allen Mikrofonpositionen. Alle Messungen erfolgten mit Terzfiltern im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz.

2.5. Messobjekte

2.5.1. Wand

Das untersuchte Wandbauteil ist eine Holzziegelkonstruktion mit den Abmessungen von 3000 mm x 2530 mm. Sie besteht aus einem Ständerwerk (60 mm x 200 mm) mit einem Achsabstand von $e = 367$ mm. Das Holzständerwerk ist beidseitig mit 15 mm starken Gipsfaserplatten beplankt. Als Hohlraumbedämpfung wurde der Steherzwischenraum mit Mineralwolle (200 mm) ausgefüllt.

Tabelle 3: Schichtaufbau der untersuchten Wandkonstruktion

Schichtdicke in mm	Benennung	Bemerkung ²
15	Gipsfaserplatte	$m' = 20 \text{ kg/m}^2$
200	Holzsteher	60mm x 200mm; $e = 367 \text{ mm}$
Dazwischen 200mm	Mineralwolle	$\rho < 30 \text{ kg/m}^3$
15	Gipsfaserplatte	$m' = 20 \text{ kg/m}^2$

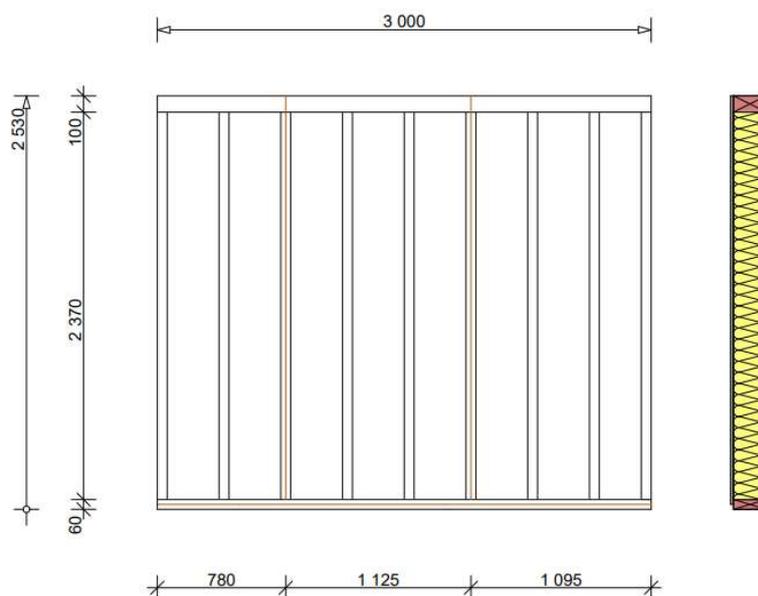


Abbildung 34: Wandbauteil – Ansicht und Schnitt

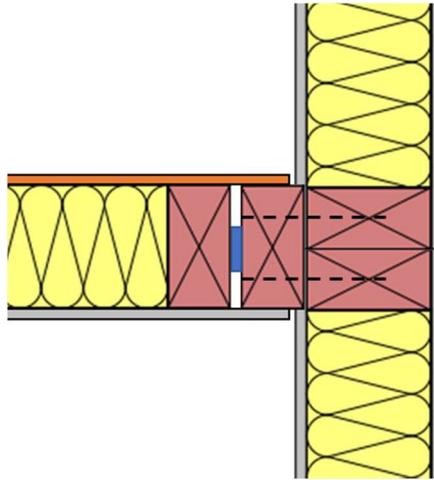


Abbildung 36: Schnitt durch den T-Stoß aus Wand- und Deckenbauteilen

2.6. Ergebnisse

Die Untersuchungen der T-Stoßstelle in Holzrahmenbauweise dienen zur Überprüfung der Anwendbarkeit der ÖNORM EN ISO 12354-2 im Holzleichtbau. Dazu wurde die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,i,j}}$ ermittelt und als Eingangsparameter in Formel 8 verwendet, um den Norm-Flankentrittschallpegel zu prognostizieren. Dieses Rechenergebnis wird anschließend mit dem gemessenen Norm-Flankentrittschallpegel verglichen.

2.6.1. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,i,j}}$

Abbildung 37 zeigt die gemessenen Schnellepegel auf der Oberfläche der Bauteile bei Anregung mittels Kleinhammerwerk. Es ist zu erkennen, dass die gemessenen Pegel über den gesamten betrachteten Frequenzbereich (50 - 5000 Hz) oberhalb des Rauschpegels des Messsystems, der sich bei ca. 60 dB befindet, liegt und somit über den gesamten Frequenzbereich zur Berechnung der Schnellepegeldifferenz herangezogen werden kann.

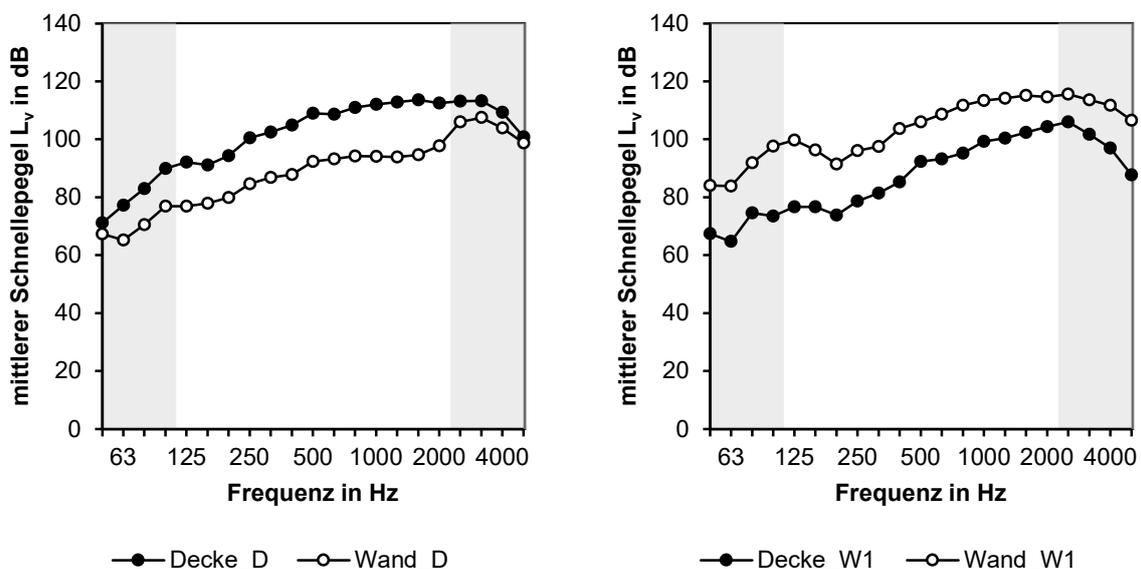


Abbildung 37: Frequenzabhängige mittlere Schnellepegel normal zur Bauteiloberfläche eines T-Stoßes in Holzrahmenbauweise (links) bei angeregtem Deckenbauteil; (rechts) bei angeregtem Wandbauteil

Die mittels den Schnellepegel aus Abbildung 37 berechnete richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz ist in Abbildung 38 dargestellt. Im für die Einzahlbewertung wesentlichen Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 1250 Hz verläuft die Kurve mit ± 3 dB horizontal, womit die Verwendung der Einzahlangabe nach ÖNORM EN ISO 10848-1:2018 zulässig ist. Die Schwankungen sind teils durch das modale Schwingungsverhalten der Bauteile und durch das inhomogene Schwingungsfeld in den unterschiedlichen Gefachen zurückzuführen.

Unter- und oberhalb dieses Frequenzbereichs fällt die Kurve um ca. 7 dB ab. Im tiefen Frequenzbereich ist dieser Effekt auf den stark reduzierten Signal-Rauschpegelabstand zurückzuschließen, der bei 50 Hz nahezu < 6 dB beträgt. Oberhalb von 1250 Hz nimmt die Schnellepegeldifferenz vor allem aufgrund des im Empfangsraum durch das Kleinhammerwerk hervorgerufenen Luftschalls ab. Dabei strahlt die mittels Kleinhammerwerk angeregte Decke Schallenergie in den Empfangsraum ab und bringt damit unabhängig vom Flankenübertragungsweg die Wandoberfläche zum Schwingen. Die Körperschallübertragung über die Stoßstelle wird somit durch eine Luftschallübertragung beeinflusst. Zu erkennen ist diese Korrelation in Abbildung 37. Der Schnellepegel an der Wandoberfläche nimmt ab 1250 Hz steiler zu als jener an der Deckenoberfläche.

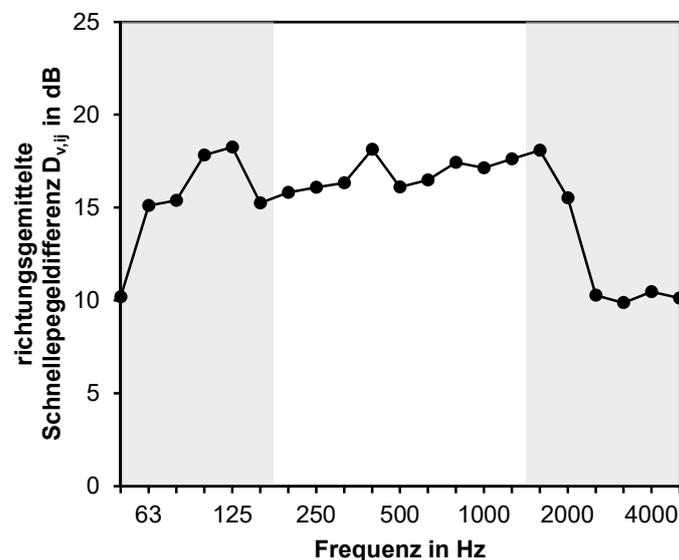


Abbildung 38: Frequenzabhängige richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,i,j}}$ eines T-Stoßes in Holzrahmenbauweise für den Übertragungsweg Decke-Wand

2.6.2. Lastabhängigkeit von $\overline{D_{v,i,j,n}}$

Wie in Abbildung 30 gezeigt wurde der Bauteilknoten mittels Hydraulikstempel mit bis zu 10 t belastet. Die Auswirkung dieser Pressung in der Stoßstelle auf die normalisierte richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz ist in Abbildung 30 dargestellt. Die aufgebrachte Last wird direkt, ohne die Verbindung zwischen Wand und Decke zu beeinflussen, über den Längsstoß beider Wandbauteile abgetragen. Aufgrund dieser Konfiguration des untersuchten Bauteilknotens mit eingehängter Deckenkonstruktion hat die Pressung auf den Wandstummel keinen nennenswerten Einfluss auf das Schallübertragungsverhalten.

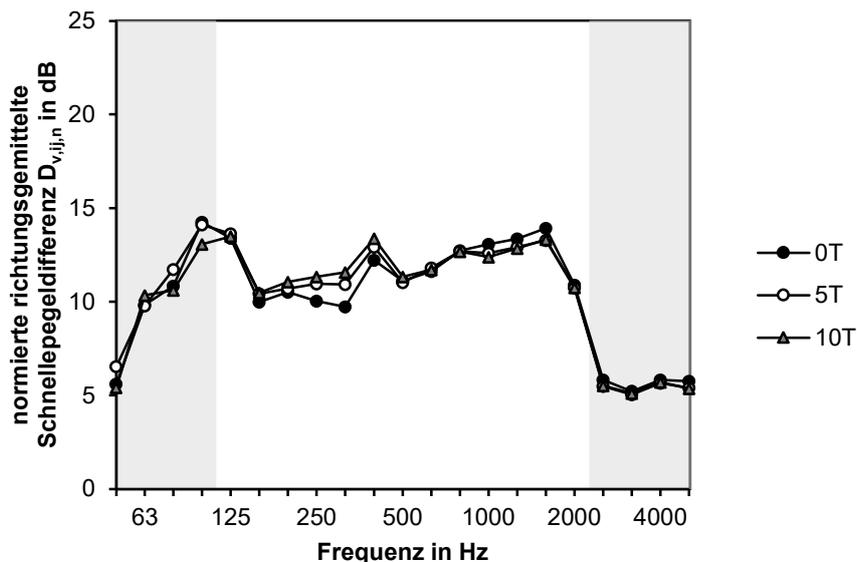


Abbildung 39: Frequenzabhängige richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,i,j}}$ eines T-Stoßes in Holzrahmenbauweise unter unterschiedlichen Auflasten für den Übertragungsweg Decke-Wand

2.6.3. Trittschallpegel

In Anlehnung an ÖNORM EN ISO 10140-3 wurden die Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion mit und ohne freitragende Unterdecke gemessen. Diese Ergebnisse dienen als Ausgangsbasis für die Berechnung des Norm-Flankentrittschallpegels. Unter der Annahme, dass mit freitragender Unterdecke lediglich Schall über die Flanke in den Empfangsraum abgestrahlt wird, bildet dieser Trittschallpegel mit freitragender Unterdecke den Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,f}$ ab.

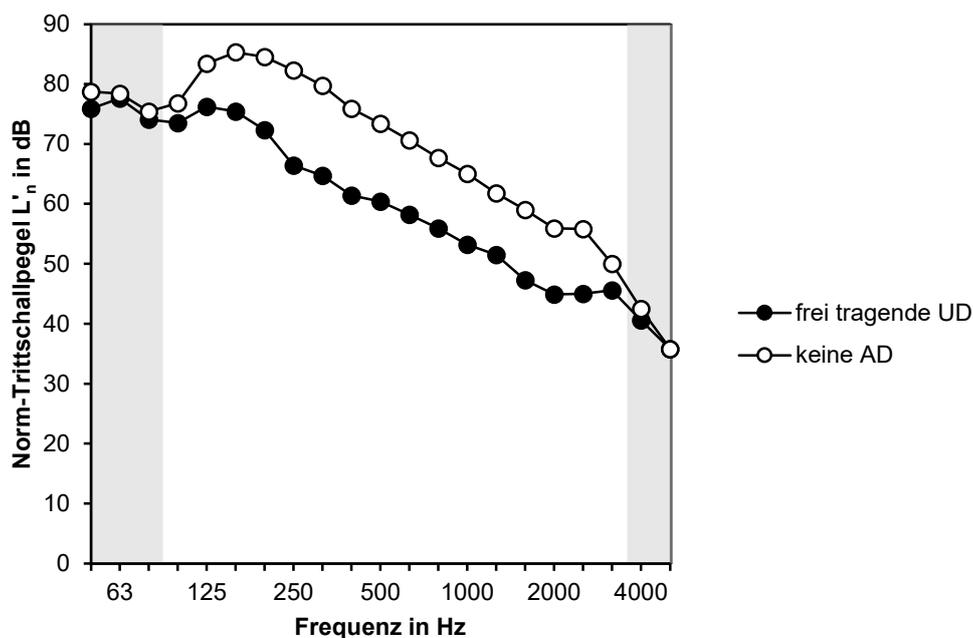


Abbildung 40: Frequenzabhängiger Norm-Trittschallpegel L'_n einer Holzrahmendecke mit unterschiedlichen Deckenuntersichten und mit angeschlossener Holzrahmenwand

Für die Berechnung des Norm-Flankentrittschallpegels nach ÖNORM EN ISO 12354-2 wird für die Messung ohne abgehängte Decke angenommen, dass die Flankenübertragung keine wesentliche Rolle spielt und somit das Messergebnis als Norm-Trittschallpegel der untersuchten Deckenkonstruktion angesehen werden kann.

Der Vergleich der beiden Norm-Trittschallpegel zeigt eine Wirksamkeit der abgehängten Deckenkonstruktion ab 100 Hz. Darunter ist der Norm-Trittschallpegel für beide Deckenkonstruktionen gleich und damit die abgehängte Deckenkonstruktion unwirksam. Eine Gegenüberstellung dem berechneten Norm-Flankentrittschallpegels ist daher unter 100 Hz basierend auf den gezeigten Messergebnissen nicht möglich.

2.6.4. Flankentrittschallpegel $L'_{n,f}$

Der Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Norm-Flankentrittschallpegel $L'_{n,f}$ zeigt, dass zwischen 125 Hz und 3150 Hz eine sehr gute Übereinstimmung der Pegel mittels der Berechnungsmethode nach ÖNORM EN ISO 12354-2 erzielbar ist. Unterhalb von 125 Hz ist die Messung von $L'_{n,f}$ nicht möglich gewesen, da die Wirksamkeit der Abschirmung durch die freitragende Deckenuntersicht in diesem Frequenzbereich nicht groß genug ist und damit $L'_{n,f}$ in der Messung deutlich überschätzt wird. Ab 3150 Hz kommt die in Abschnitt 1.2.6.1 besprochene Problemstellung zu tragen, dass die gemessene richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz in diesem Frequenzbereich durch den im Empfangsraum induzierten Luftschall beeinflusst ist. Dadurch ist eine Abweichung des Berechnungsergebnisses von dem Messergebnis in diesem Frequenzbereich erklärbar.

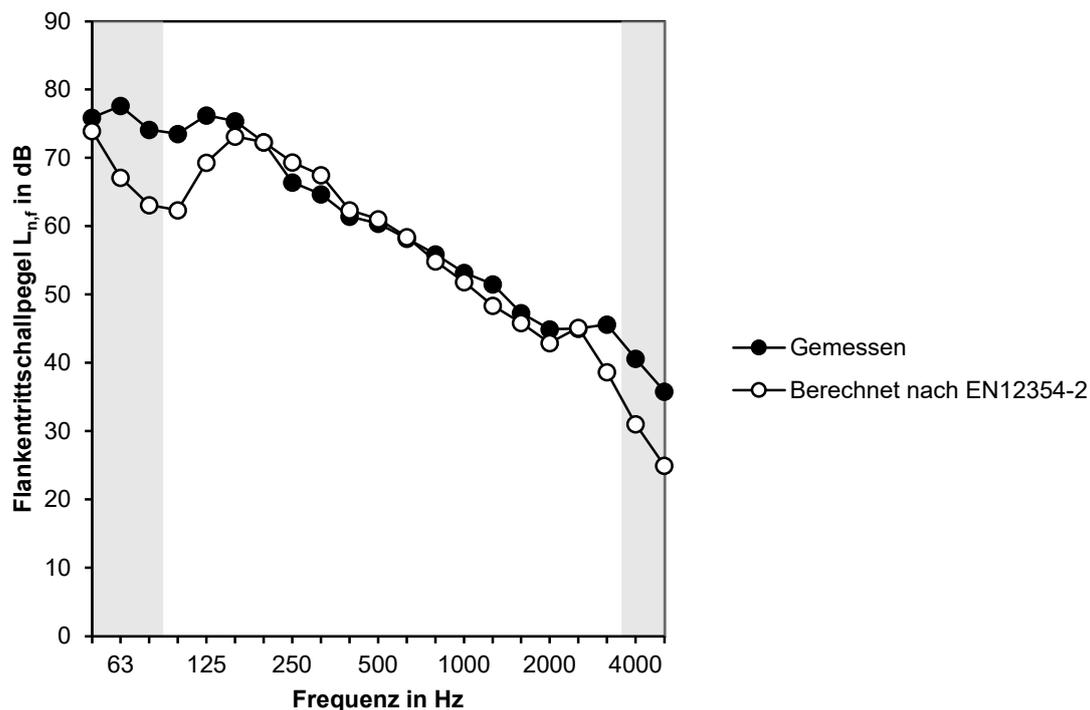
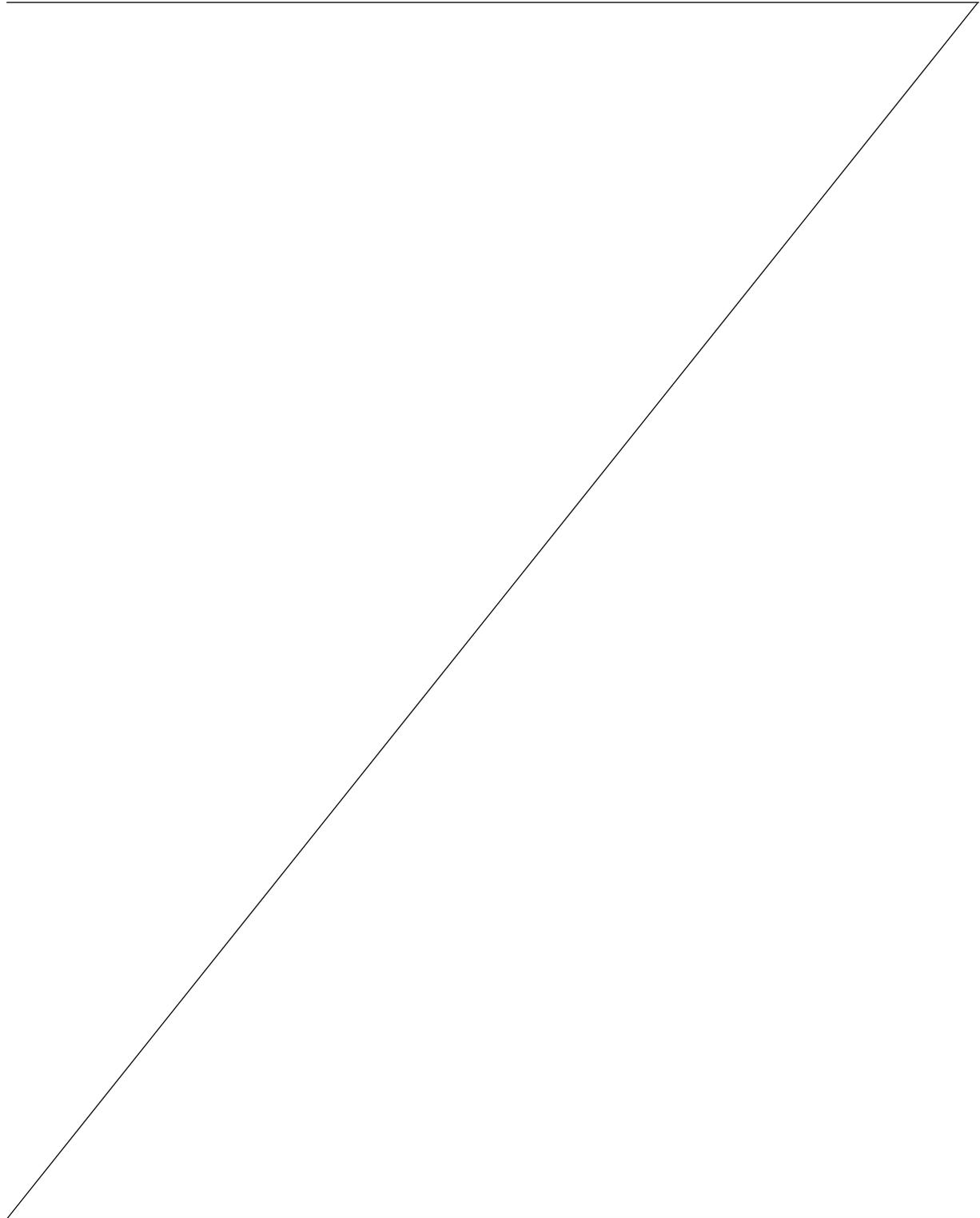


Abbildung 41: Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Norm-Flankentrittschallpegels $L'_{n,f}$ einer Holzrahmendecke mit angeschlossener Holzrahmenwand

2.7. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass für einen T-Stoß in Holzrahmenbauweise eine Berechnung des Norm-Flankentrittschallpegels zur Berücksichtigung der Flankenübertragung in der Planungsphase auf Basis der normalisierten richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,lj,n}}$ mit einer ausreichenden

Genauigkeit (Abweichungen <3 dB) möglich ist. Limitiert wird die Berechnung durch die Validität der Eingangparameter, dessen Messung möglichst unbeeinflusst durch andere Übertragungswege stattfinden sollte. Eine besondere Herausforderung bei der Messung von der normalisierten richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,l,n}}$ stellt der Luftschallübertragungsweg zwischen Decke und Wand im geschlossenen Empfangsraum dar. Eine Verbesserung der Messgenauigkeit ist hierbei mit der Verwendung eines Shakers anstelle des Kleinhammerwerks zu erwarten, wodurch weniger Luftschall im Empfangsraum induziert wird.



3. STROH IM HOLZBAU

3.1. Einblasstroh in Holzrahmenwandkonstruktionen

3.1.1. Einleitung

Im Holzriegelbau ist die Methode der Einblasdämmung zur Erzielung der thermischen Anforderungen an Außen- und Trennbauteile im Rahmenholzbau etabliert und besitzt einen wesentlichen Marktanteil. Als Dämmstoffe der mittels Einblastechnik in den Balken- bzw. Riegelzwischenraum stellt Zellulose den größten Marktanteil. Das Unternehmen Sonnenklee GmbH bietet mittels Verarbeitung von BIO-Stroh eine qualitätsgesicherte Alternative zu konventionellen Einblasdämm-Materialien. Durch den bis dato einzigartigen Herstellungsprozess kann das Stroh in einer wesentlich höheren Dichte in das Bauteil eingebracht werden. Diese Eigenschaft der fertigen Dämmebene im inhomogenen Bauteilaufbau verspricht einen thermischen Vorteil durch die erhöhte Speichermasse und damit verbesserte Performance im Rahmen der sommerlichen Überwärmung. Die Entwicklung des Herstellungsprozesses und der Verarbeitung des Produktes BIO-Stroh als Einblasdämmung hatten bis dato die ökologischen und thermischen Eigenschaften im Fokus.

Zurzeit existieren zu den möglichen positiven Einflüssen der Materialeigenschaften von Stroh als Hohlraumbedämpfung in Holzriegelaufbauten keine nachvollziehbaren publizierten Ergebnisse. Das gegenständliche Projekt, hat das Ziel diese Eigenschaften (z.B. erhöhtes Flächengewicht) und das gewonnene Potential in anderen bauphysikalischen Eigenschaften innerhalb des Schallschutzes zu quantifizieren und die Auswirkungen des Einsatzes von BIO-Stroh als Einblasdämmung für die bauakustische Performance von Außen- und Trennbauteilen zu optimieren. Das Unternehmen gewinnt durch die Projektergebnisse ein Verständnis von der Wirkung von Stroh als Einblasdämmung auf den Schallschutz und kann Planende dabei unterstützen, ihr Produkt nachweislicher unter Anforderungen an den Schallschutz einzusetzen. Dem Planer bzw. der Planerin wird ermöglicht, Gebäude mit den untersuchten Aufbauten hinsichtlich des Schallschutzes zu beschreiben und einzustufen. Die überprüften und optimierten Aufbauten können damit als differenzierbarer Schutz vor Geräuschen aus benachbarten Nutzungseinheiten oder von außen eingesetzt werden.

3.1.2. Literaturrecherche

Die durchgeführten Arbeiten beinhalten eine Literaturrecherche zu den optimalen Eigenschaften und Einflüssen von Materialien zur Hohlraumbedämpfung auf das Schalldämm-Maß von Doppelständerwandkonstruktionen. Als wesentliche Eigenschaften des Materials können ausgehend von dem Ergebnis der Literaturrecherche der Strömungswiderstand, die Dichte und die dynamische Steifigkeit des eingebauten Materials genannt werden. Anschließend zeigen die dargestellten Ergebnisse unterschiedlicher Publikationen den Einfluss und die ideale Größe dieser Eigenschaften.

3.1.2.1. Strömungswiderstand

Untersuchungen in [1] haben gezeigt, dass je höher der Strömungswiderstand des Dämmstoffes im Ständerzwischenraum ist, desto steiler steigt das Schalldämm-Maß bzw. desto höher ist die Abweichung zwischen den Kurven oberhalb des Frequenzbereichs von 400 Hz. Diese Frequenz entspricht zirka der Frequenz, bei der die halbe Luftschallwellenlänge der Hohlraumtiefe entspricht und somit erste stehende Wellen, sogenannte Hohlraumresonanzen, auftreten.

Sowohl die systematische Erhöhung über einen bestimmten Frequenzbereich als auch die systematisch steigende Abweichung in Abhängigkeit vom Strömungswiderstand sind charakteristisch und auch in [3] zu beobachten. Die untersuchten Quellen zeigten auf, dass es für Materialien, die für die Hohlraumbedämpfung und somit der Unterdrückung von Hohlraumresonanzen dienen, einen optimalen Wertebereich des Strömungswiderstandes gibt. Dieser liegt nach [1,3] bei ca. 5 kPa·s/m².

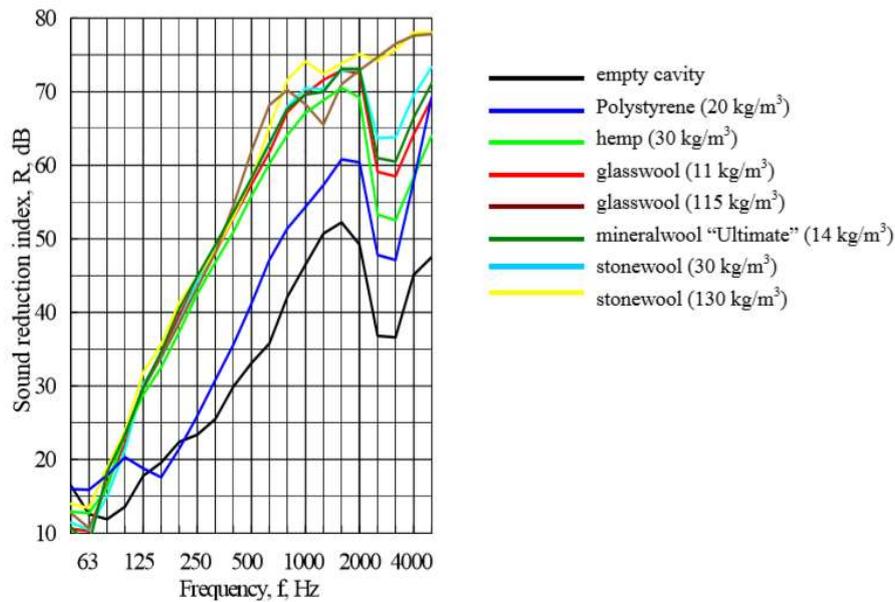


Abbildung 42 Frequenzabhängiger Verlauf des Schalldämm-Maßes einer Doppelständerwand unter dem Einfluss unterschiedlicher Dämmstoffmaterialien zur Hohlraumbedämpfung [1]

3.1.2.2. Dynamische Steifigkeit

Eine explizite Untersuchung des Einflusses der dynamischen Steifigkeit von Materialien zur Hohlraumbedämpfung von Doppelständerwänden konnte im Rahmen der Literaturrecherche nicht gefunden werden. Das ist damit zu begründen, dass derzeit am Markt etablierte Produkte, wie z.B. Mineralfasermatten, eine dynamische Steifigkeit aufweisen, die unterhalb des Messbereichs üblicher Messeinrichtungen zur Bestimmung dieser Kenngröße liegt. Sie sind also sehr weich und beeinflussen die resultierende gesamte Steifigkeit des Hohlraums, bestehend aus Luft und Dämmstoff, kaum. In etablierten Planungsrichtlinien wird daher eine Ermittlung der dynamischen Steifigkeit des gedämmten Hohlraums entsprechend [6] für alle Dämmstoffe proportional zu der Dicke und nur geringfügig abweichend von der Steifigkeit einer geschlossenen Luftschicht angegeben.

Mit diesem gegebenen Zusammenhang sind Untersuchungen zum Einfluss der Hohlraumtiefe eine veritable Quelle zur Bestimmung des Einflusses der dynamischen Steifigkeit des Hohlraums. [3] zeigt, dass sich entsprechend der Verringerung der Hohlraumtiefe und damit einer Erhöhung der dynamischen Steifigkeit die Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz f_0 im Frequenzspektrum nach oben schiebt. Bei mehrschaligen Konstruktionen stellt sich die Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch die Entkopplung des Schwingungsverhaltens der einzelnen Schalen erst über der Masse-Feder-Masse-Resonanz ein. Durch die Erhöhung der dynamischen Steifigkeit des Dämmstoffes kommt es zu einer deutlichen Reduktion des Schalldämm-Maßes über gesamte Frequenzspektrum oberhalb von f_0 . Für die Kenngröße der dynamischen Steifigkeit von Materialien zur Hohlraumbedämpfung sind somit kleinstmögliche Werte zu empfehlen, zumindest solche, die in Zusammenhang mit der restlichen Wandkonstruktion in einer Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz von <50 Hz resultieren.

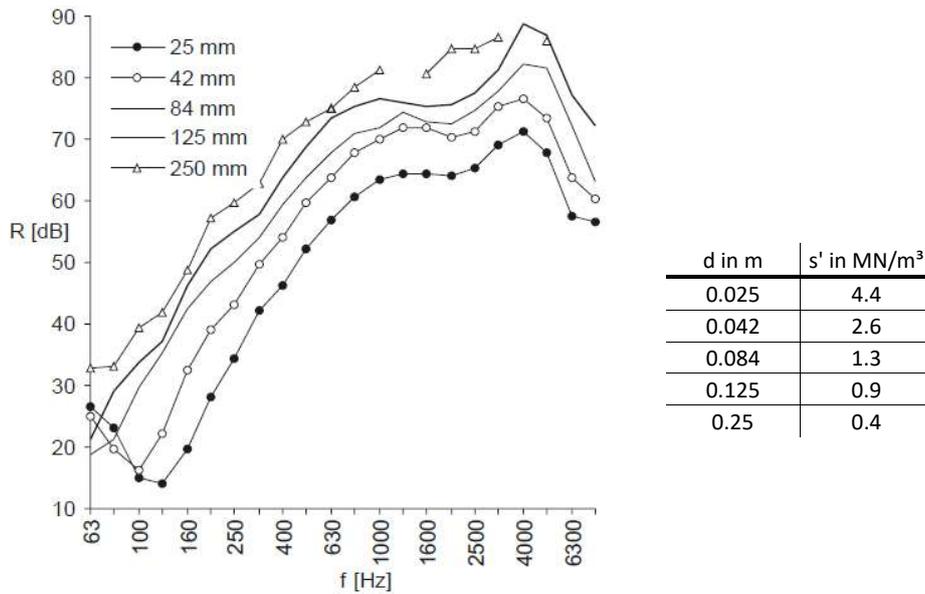


Abbildung 43 Frequenzabhängiger Verlauf des Schalldämm-Maßes einer Doppelständerwand unter dem Einfluss unterschiedlicher Hohlraumtiefen [3] und nach [6] berechnete dynamische Steifigkeiten der Luftschicht

3.1.2.3. Dichte

Wenn die einzelnen flächenbezogenen Massen von mehrschaligen Wänden erhöht werden, nimmt die Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz ab, wodurch eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes erzielt wird. Eine weitere Verbesserung um mehrere Dezibel ist zu beobachten, wenn die globale Masse des Systems in diesem Bereich erhöht wird. Diese Verbesserung ist in der Erhöhung der Impedanz der einzelnen Schichten begründet und ist mit dem Masse-Gesetz von Berger abschätzbar.

Die Einbrüche der Schalldämmung in höheren Frequenzen entsprechen den Resonanzfrequenzen des Lufthohlraums. Die Positionen der Einbrüche im Frequenzspektrum sind nicht von den flächenbezogenen Massen abhängig. Grundsätzlich ist somit eine möglichst hohe Dichte und somit flächenbezogene Masse der Gesamtwandkonstruktion anzustreben.

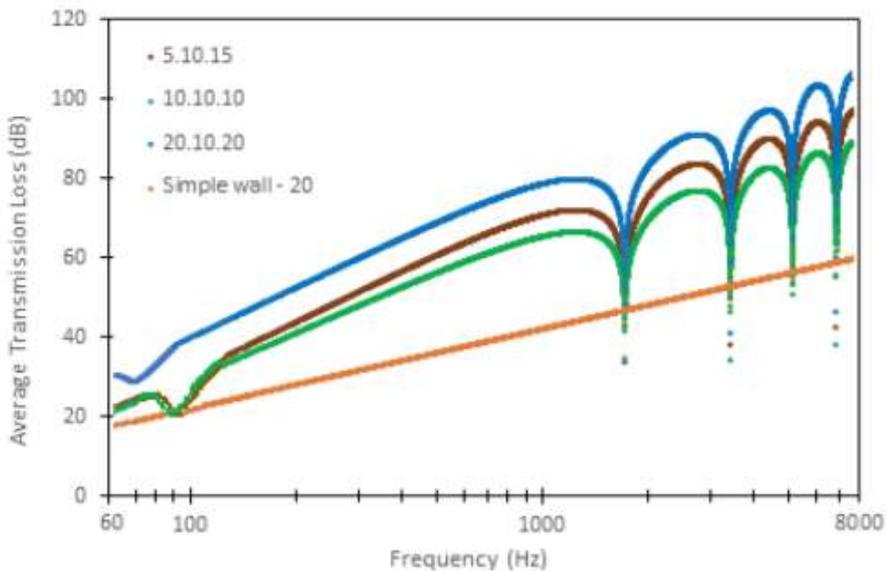


Abbildung 44 Frequenzabhängiger Verlauf des Schalldämm-Maßes einer Doppelständerwand unter dem Einfluss unterschiedlicher flächenbezogener Massen der Wandbildner [2]

3.1.3. Variantenstudie

Gegenstand war die Messung der Luftschalldämmung einer 20,5cm dicke Metalldoppelständerwand mit unterschiedlichen Materialien zur Hohlraumbedämpfung. Die Metallständerwand, rd. 10,4 m², wurde zwischen zwei Hallräumen im Wandprüfstand der TGM Versuchsanstalt, Prüfstand nach (ÖNORM) EN ISO 10140-5¹, eingebaut. Der Aufbau der Metallständerwand (Bezeichnungen und Daten teilweise lt. Auftraggeber) war wie folgt gegeben:

**205 mm dicke Metalldoppelständerwand mit rd. 2 x 75 mm UW/CW-Profil e = 62,5 cm,
beplankt mit rd. 2 x 12,5 mm Rigips Vario 12,5 RB**

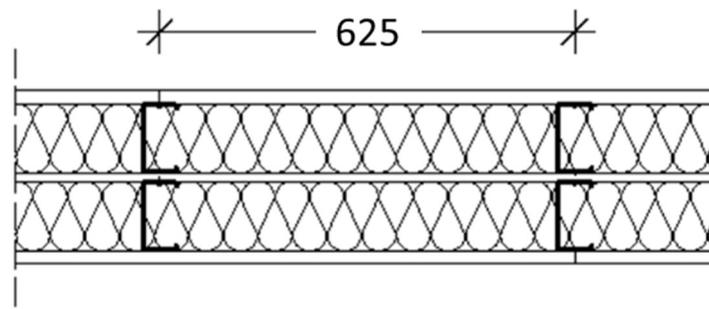


Abbildung 45 Horizontaler Schnitt durch die untersuchte Doppelständerwandkonstruktion

12,5	mm	Gipskartonplatte „Rigips Vario 12,5 RB“
12,5	mm	Gipskartonplatte „Rigips Vario 12,5 RB“
75,0	mm	Metallständerprofil UW/CW, e = 62,5 cm
5,0	mm	Schaumstoffklebeband
75,0	mm	Metallständerprofil UW/CW, e = 62,5 cm
12,5	mm	Gipskartonplatte „Rigips Vario 12,5 RB“
12,5	mm	Gipskartonplatte „Rigips Vario 12,5 RB“
205,0	mm	gesamte Dicke

Tabelle 5 Aus der Einfüllmenge berechnete Dichte des eingebrachten Dämmstoffes zur Hohlraumbedämpfung

Hohlraumbedämpfung	Dichte in kg/m ³
Mineralwolle	13
Cellulose	46
Stroh	128
Holzfasern	40

¹ (ÖNORM) EN ISO 10140-5 „Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen – Regenschall“, Ausgabe 2014

3.1.4. Versuchsdurchführung

Im Hohlraum der beschriebenen Doppelständerwandkonstruktion wurden unterschiedliche Dämmstoffe eingebracht und das Luftschalldämm-Maß gemessen. Hierzu wurde im oberen Bereich der Wand eine abnehmbare ca. 30 cm breite in Wandlängsrichtung durchgehende Öffnung geschaffen, die nach Einbringen des Dämmstoffes mit Gipskarton wieder verschlossen wurde. Die Fugen wurden mit einem Klebeband luftdicht abgeklebt.

Die Luftschalldämmung der Wandkonstruktion wurde jeweils gemäß (ÖNORM) EN ISO 10140-2² mit einer geeichten Messausrüstung des Typs „Norsonic Dual Channel Real Time Analyzer Type 830“ gemessen. Die Geräuschanregung erfolgte mit stationärem, breitbandigem Rauschen; der Frequenzgang dieses Signals wurde jeweils durch einen Terzfiltersatz des Typs „Norsonic Spectrum Shaper Type 731“ nach den Anforderungen der Norm sowie nach den praktischen Erfordernissen eingestellt.

Die Messung der Schalldruckpegel sendeseitig sowie empfangsseitig erfolgte jeweils mit einem geeichten 1/2" Kondensatormikrofon („Brüel & Kjaer Condenser Microphone Type 4165“, Preamplifier „Brüel & Kjaer Type 2639“, „Brüel & Kjaer Microphone Power Supply Type 2804“). Vor der Messung wurde die Messkette mit einer geeichten Prüfschallquelle des Typs „Norsonic Type 1251“ kalibriert; nach der Messung erfolgte eine Kontrolle der Kalibrierung.

Die räumliche Mittelung des Schalldruckpegels erfolgte jeweils durch die Verwendung eines an einem Drehgalgen befestigten Mikrofons (Umlauf- sowie Mittelungszeit an 3 Positionen betrug jeweils 64 s, sowohl im Sende- als auch im Empfangsraum). Für die Messung der Nachhallzeit wurde jeweils die Anregungszeit mit 5 s festgelegt. Die Mittelwertbildung der Nachhallzeit erfolgte jeweils über 6 Abfälle je Position und an allen Drehgalgenpositionen. Alle Messungen erfolgten mit Terzfiltern im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz.



Abbildung 46 Prüfaufbau entsprechend ÖNORM EN ISO 10140-2 zur Messung des Luftschalldämm-Maßes der Wandkonstruktion

² (ÖNORM) EN ISO 10140-2 „Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung“, Ausgabe 2010

3.1.5. Ergebnisse

Abbildung 47 zeigt die Messergebnisse in Form des frequenzabhängigen Schalldämm-Maßes der untersuchten Doppelständerwandkonstruktion. Die Kurvenverläufe sind für derartige Konstruktionen als klassisch einzustufen. Im Bereich von 125 Hz und 63 Hz sind die jeweiligen Masse-Feder-Masse-Resonanzen der Varianten „Stroh“ und „Holzfaser“ zu erkennen. Die beiden Masse-Feder-Masse-Resonanzen der Varianten „Mineralwolle“ und „Cellulose“ befinden sich unterhalb des bauakustisch relevanten Messbereichs von <50 Hz. Die unterschiedliche Lage der Masse-Feder-Resonanz lässt sich nur durch die unterschiedliche dynamische Steifigkeit der Dämmstoffmaterialien erklären. Ausgehend von den in Abschnitt 3.1.2.2 dargestellten Zusammenhängen ist davon auszugehen, dass die dynamische Steifigkeit von Stroh deutlich höher ist als die der anderen untersuchten Dämmstoffmaterialien.

Interessant ist, dass das Schalldämm-Maß bei ca. 800 Hz unabhängig von der Hohlraumbedämpfung ca. 68 dB beträgt (außer für die Variante „Stroh“). In diesem Frequenzbereich wechselt die Art der Schwingung der beiden äußeren Paneele von massengesteuerter Schwingung (Zwangsschwingung) zu steifigkeitsgesteuerter Schwingung (Resonanz). Da Stroh durch die hohe dynamische Steifigkeit die gesamte Steifigkeit der Wand wesentlich beeinflusst, ist vermutlich dieser Einbruch im Schalldämm-Maß der Variante „Stroh“ nicht zu erkennen. Der Einbruch bei 3150 Hz stellt den Koinzidenzeinbruch der Gipskartonbeplankung dar, der für alle Varianten in etwa gleich stark ausgeprägt ist. Eine geringfügige Beeinflussung ist hier durch unterschiedliche interne Verlustfaktoren und damit in einen resultierenden geringeren Einbruch des Schalldämm-Maßes zu erklären. Die deutlich höhere Dichte und die damit zu erwartenden Verbesserungen des Schalldämm-Maßes sind in dem dargestellten Vergleich nicht zu erkennen.

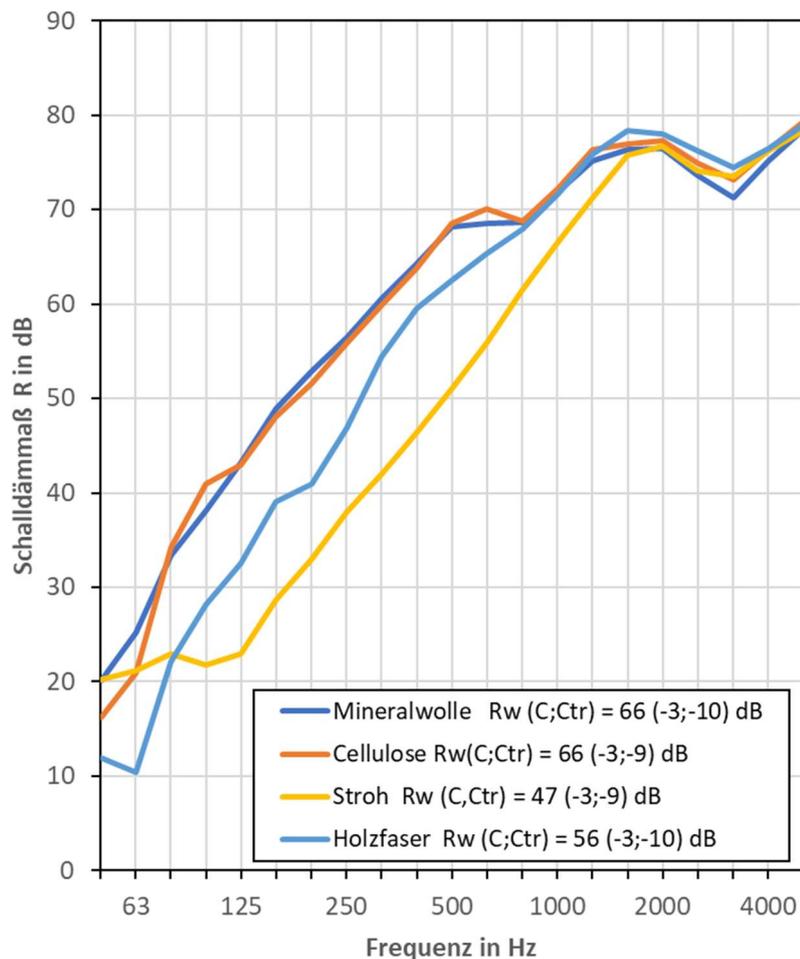


Abbildung 47 Frequenzabhängiger Verlauf des Schalldämm-Maßes einer Doppelständerwand unter dem Einfluss unterschiedlicher Dämmstoffmaterialien zur Hohlraumbedämpfung

Als Mittel aus mehreren Messreihen (verschiedene Lautsprecher- und Drehgalgenstellungen) ergaben sich für den untersuchten Wandaufbau die in Abbildung 47 dargestellten Werte des Schalldämm-Maßes in Abhängigkeit von der Frequenz.

Der nach (ÖNORM) EN ISO 717-1³ ermittelte Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w sowie die Werte der Spektrum-Anpassungswerte C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{50-5000}$ und $C_{tr,50-5000}$ sind in der nachstehenden Tabelle 6 angegeben⁴.

Tabelle 6 Messergebnisse des Schalldämm-Maßes der untersuchen Doppelständerwand nach ÖNROM EN ISO 10140-2 mit unterschiedlicher Hohlraumbedämpfung

Hohlraumbedämpfung	R_w	C	C_{tr}	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{tr,50-5000}$
Mineralwolle	66	-3	-10	-10	-23	-9	-23
Zellulose	66	-3	-9	-13	-27	-12	-27
Stroh	47	-3	-9	-3	-11	-2	-11
Holzfasern	56	-3	-10	-12	-25	-11	-25

3.1.6. Materialeigenschaften

Zur Abklärung der in der Variantenstudie beobachteten Phänomene wurden die wesentlichen Materialeigenschaften von eingeblasenem Stroh im Zwischenraum von Ständerkonstruktionen bestimmt. Es wurden entsprechend Abbildung 48 jeweils 3 Proben entnommen, versiegelt und zu den Materialuntersuchungen transportiert. Da es sich bei Stroh als Einblasdämmung um loses Material handelt und die Materialeigenschaften vermutlich stark mit den Einbaubedingungen in die jeweiligen Prüfkörper schwanken, soll diese Form der Probenentnahme für den eingebauten Zustand repräsentative Messergebnisse gewährleisten.



Abbildung 48 Probenentnahme für die Messung der dynamischen Steifigkeit und des Strömungswiderstands aus einem ausgeblasenen und wieder geöffneten Hohlraum einer Holzständerwand

³ (ÖNORM) EN ISO 717-1 „Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung“, Ausgabe 2013

⁴ Gemäß (ÖNORM) EN ISO 12999-1 „Akustik – Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik - Teil 1: Schalldämmung“, Ausgabe 2015, ergibt sich für Vergleichsbedingungen im Wandprüfstand eine Standardunsicherheit für R_w von $\sigma_R = 1,2$ dB, für $R_w + C$ von $\sigma_R = 1,3$ dB, für $R_w + C_{tr}$ von $\sigma_R = 1,5$ dB, für $R_w + C_{50-3150}$ von $\sigma_R = 1,3$ dB, für $R_w + C_{tr,50-3150}$ von $\sigma_R = 1,5$ dB, für $R_w + C_{50-5000}$ von $\sigma_R = 1,3$ dB sowie für $R_w + C_{tr,50-5000}$ von $\sigma_R = 1,5$ dB

3.1.6.1. Dynamische Steifigkeit

Die Messung der dynamischen Steifigkeit erfolgte in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 29052-1. Da nach dem vorliegenden Messverfahren nur plattenartige Materialien gemessen werden können, wurde die Messung in einem Rahmen aus Stahlblech durchgeführt. Die Materialprobe wurde im Zuge des Messverfahrens mit einer definierten Masse beaufschlagt und die Masse-Feder Resonanz des entstehenden Systems bestimmt. Ausgehend von der Lage dieser Resonanz im Frequenzbereich wurde die dynamische Steifigkeit berechnet.



Abbildung 49 Messung der dynamischen Steifigkeit in Anlehnung an ÖNORM EN 29052-1 – Messapparatur (links); Probekörper (rechts)

Die Messergebnisse für die 3 Proben liegen über oder am Rand des Messbereichs des Systems. Nur bei einer Probe konnte eine Resonanz von 81 Hz im untersuchten Masse-Feder-System gemessen werden, was insgesamt für eine dynamische Steifigkeit spricht, die deutlich über $s' > 50 \text{ MN/m}^3$ liegt. Die Ausprägung der Masse-Feder-Masse-Resonanz in Abbildung 47 bestätigt dieses Ergebnis. Die dynamische Steifigkeit der Mineralwolle liegt bei gleicher Dicke bei ca. 1 MN/m^3 , was in einer deutlich niedrigeren Masse-Feder-Masse-Resonanz resultiert und damit einem verbesserten Schalldämm-Maß. Tabelle 7 zeigt den Bereich der dynamischen Steifigkeit der anderen untersuchten Dämmstoffmaterialien auf Basis von Produktdatenblättern.

Tabelle 7 Vergleich der dynamischen Steifigkeiten s' der eingesetzten Materialien zur Hohlraumbedämpfung

Hohlraumbedämpfung	s' in MN/m^3
Mineralwolle [6]	1
Cellulose [4]	3-7
Stroh	>50
Holzfasern [5]	10-15

Eine Verbesserung der Schalldämmung einer Doppelständerwand mit Stroh als Hohlraumbedämpfung wäre somit durch eine Reduktion der dynamischen Steifigkeit im eingebauten Zustand möglich.

3.1.6.2. Strömungswiderstand

Die Messung des Strömungswiderstandes erfolgte in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 9053-1. Hierbei wird die Probe in einen Metallzylinder eingebaut und mit einer Druckdifferenz zwischen der Ober- und Unterseite des Metallzylinders beaufschlagt. Aufgrund der durchströmenden Luftmenge bei unterschiedlichen Druckdifferenzen lässt sich der Strömungswiderstand des zu prüfenden Materials bestimmen.



Abbildung 50 Messung des Strömungswiderstandes in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 9053-1 – Messapparatur (links); Probekörper (rechts)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt. Der Strömungswiderstand von BIO-Stroh im eingeblasenen Zustand liegt mit $5 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ in dem für Anwendungen als Absorptionsmaterial im Hohlraum von Doppelständerwänden idealen Bereich. Ein mögliches Potential zur Steigerung der bauakustischen Performance liegt somit hier nicht vor.

Tabelle 8 Gemessener längenbezogener Strömungswiderstand gemäß ÖNORM EN ISO 9053-1

Probe	d in mm	ρ in kg/m^3	σ in $\text{kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
1	140	135	7.3
2	137	112	3.7
3	140	121	3.9
Mittel	139	123	5.0

3.1.7. Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen im Vergleich zu bereits am Markt etablierten Einblasdämm-Materialien eine schlechtere Performance in Form des Schalldämm-Maßes der untersuchten Doppelständerkonstruktion. Gegenüber der innerhalb der Varianten-Studie gemessenen Doppelständerkonstruktion mit Mineralfaserdämmung, die das beste Ergebnis in Form des bewerteten Schalldämm-Maßes erzielte, ist eine Reduktion der Schalldämmung in der bewerteten Einzahlgroße von 19 dB durch das Einbringen von BIO-Stroh als Hohlraumbedämpfung gemessen worden. Im Zuge vertiefender Untersuchungen wurde der Strömungswiderstand und die dynamische Steifigkeit des eingeblasenen Strohs untersucht, um Gründe und mögliche Potentiale zur Verbesserung der bauakustischen Performance zu bestimmen.

Es zeigte sich, dass der Strömungswiderstand, der mitunter ausschlaggebend für das Schalldämm-Maß einer Doppelständerkonstruktion ist, sich in einem optimalen Bereich für Materialien als Hohlraumbedämpfung befindet. Die Messungen der dynamischen Steifigkeit in Anlehnung an die ÖNORM EN 29052-1 zeigten, dass die dynamische Steifigkeit so hoch liegt, dass sie außerhalb des Messbereichs der verwendeten Messvorrichtung liegt und damit jedenfalls größer als $s' > 50 \text{ MN/m}^3$ ausfällt. Dieses Messergebnis ist aufgrund des gemessenen frequenzabhängigen Verlaufs des Schalldämm-Maßes schlüssig, da sich die erkennbare Masse-Feder-Masse-Resonanz in einem deutlichen höheren Frequenzbereich ausbildet als es bei der Variante mit Mineralfaser oder Cellulose im Hohlraum der Fall ist. Durch die höhere Lage dieser Resonanz bildet sich die Verbesserung des Schalldämm-Maß durch die der Entkopplung der zweiten Schale der Wandkonstruktion ebenso in einem deutlichen höheren Frequenzlage aus. Dieses Phänomen führt zu dem deutlich niedrigen Schalldämm-Maß als mit den anderen gemessenen Dämmstoffmaterialien.

3.1.8. Ausblick

Der Projektpartner Sonnenklee GmbH hat im Projekt erste Erkenntnisse über die Performance von BIO-Stroh als Einblasdämmung in Doppelständerwänden als Hohlraumbedämpfung gewonnen. Neben dem Vergleich zu bereits auf dem Markt etablierten Einblasdämm-Materialien wurden klare Verbesserungspotentiale aufgezeigt. Durch eine Anpassung der Verarbeitung und eine dadurch mögliche Reduktion der resultierenden dynamischen Steifigkeit des Dämmmaterials könnten deutliche Verbesserungen im Schalldämmverhalten einer Doppelständerwand mit BIO-Stroh als Einblasdämm-Material erzielt werden. Die erzeugten Ergebnisse bieten eine Basis für Forschungs- und Entwicklungsarbeit um BIO-Stroh als Einblasdämm-Material auf dem Markt mit optimalen bauakustischen Eigenschaften zu platzieren.

3.1.9. Literatur

- [1] Stani, Müllner, Plotzlin: Sound Insulation of Plasterboard Walls and Airflow Resistivity: An Empirical Examination with Respect to Practical Applications, Forum Acusticum, 2005
- [2] Adria: Sound transmission through simple and double infinite covers, Treballs Finals de Grau de Fisica, Facultat de Fisica, Universitat de Barcelona, Any: 2015,
- [3] Hongisto, Lindgren, Helenius: Sound Insulation of Double Walls – An Experimental Parametric Study, ACTA Acustica, Vol.88, 2002
- [4] <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/zellulose.html> ; Stand 17.03.2020
- [5] Bonn, Wuppertal: Holzfaserdämmstoffe: Eigenschaften – Anforderungen – Anwendungen, Holzbau Handbuch, Reihe 4, Teil 5, Folge 2, 2007
- [6] ÖNORM EN ISO 8115-4:2003 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen“

3.2. Strohballenbau

3.2.1. Einleitung

Die steigende Nachfrage nach Gebäuden mit möglichst geringem Primärenergiebedarf in der Herstellung, sowie einer umweltgerechten Rückbaubarkeit bzw. Entsorgung erfordert neue Entwicklungen. Stroh als nahezu endlos verfügbares Nebenprodukt der Getreideerzeugung wäre grundsätzlich für viele Anwendungen im Baubereich verwendbar.

Die Strohballenbauweise ist eine der Bauweisen, die dieses Potential nutzt. Der Strohballenbau gilt als ökologisch und ökonomisch vielversprechende Bauweise, deren Verbreitung aufgrund unzureichender Kenntnisse gehemmt ist. In den vorherrschenden Strukturen der industriellen Baustoffhersteller werden umfassende Zertifizierungen und Nachweise den Planenden, Verarbeitenden und den Behörden zur Verfügung gestellt, die für den Strohballenbau noch nicht vorhanden sind. Bisher gibt es in Österreich eine Europäische Technische Bewertung für Baustrohballen und damit die Möglichkeit im Rahmen dieser Bewertung Baustrohballen im Außenwandaufbau einzusetzen. Die Auswirkung des Strohballens auf die Schalldämmung der Außenwand ist allerdings eine bis dato kaum wissenschaftlich beleuchtete Thematik. Durch die neuen Erkenntnisse sollten in Zukunft auch großvolumigere (Wohn-)Bauten mit Strohdämmung im Außenwandbereich und möglicherweise auch Trennwände ausgeführt werden können.

Dieses Forschungsvorhaben soll somit zur Erweiterung der Erkenntnisse der bauphysikalischen Eigenschaften von Strohballenbau und damit zu seiner Verbreitung beitragen. Das Ziel ist es erste Schritte für die Entwicklung eines unter den aktuellen Anforderungen des Schallschutzes in Österreich funktionstüchtigen Außenwandaufbau in Strohballenbauweise zu setzen. Somit könnten zukünftig nicht nur Kleinprojekte im privaten Einfamilienhausbereich mit besonders nachhaltiger, zertifizierter Strohdämmung versorgt werden, sondern der besonders wachsende Markt für großvolumigen Wohnbau könnte auch ökologischer und ressourcenschonender werden.

3.2.2. Literaturrecherche

Die durchgeführten Arbeiten beinhalten eine Literaturrecherche zu Untersuchungen, die die bauakustische Qualität von Wandkonstruktionen in Strohballenbauweise quantifizierten. Da Strohballen im Vergleich zu anderen Gebäudekomponenten (z.B. Dach, Boden) hauptsächlich nur in einem Wandsystem verwendet werden, konzentrierten sich die meisten Studien auf die Luftschalldämmung. Abbildung 51 zeigt die Messergebnisse zur Schalldämmung von Strohballenwandprototypen nach ISO 10140-2 [1,2,3]. In [1,2] wurde gezeigt, dass die Schalldämmleistung einer Strohballenwand hauptsächlich von der Deckschicht und weniger vom Strohballen selbst abhängig ist. Grundsätzlich ist durch die stark schwankende Verarbeitungsqualität und der Dokumentation in den Untersuchungen nur eine diffuse Aussage zur Allgemeinen bauakustischen Leistungsfähigkeit von Strohballenwänden ableitbar. Eine direkte Quantifizierung der bauakustischen Leistungsfähigkeit von Wänden in Strohballenbauweise ist daher nicht ableitbar und somit auch keine Vorteile bestimmte Verarbeitungsmerkmale für den Auftraggeber.

Tabelle 9 Literaturwerte des Schalldämm-Maßes von unterschiedlichen Strohwänden

Beschreibung	R _w	C	C _{tr}	C ₅₀₋₃₁₅₀	C _{tr,50-3150}	C ₅₀₋₅₀₀₀	C _{tr,50-5000}
450mm Ballen, 30mm Putz [1]	52	-3	-8	x	x	x	x
450mm Ballen, 30mm Putz, Putz nicht fertig [1]	47	-2	-5	-2	-7	-1	-7
460mm Ballen, 25/35mm Putz [2]	50	-2	-6	-2	-7	-1	-7
350mm Ballen, 20-30mm Putz [3]	54	-1	-5	x	x	x	x

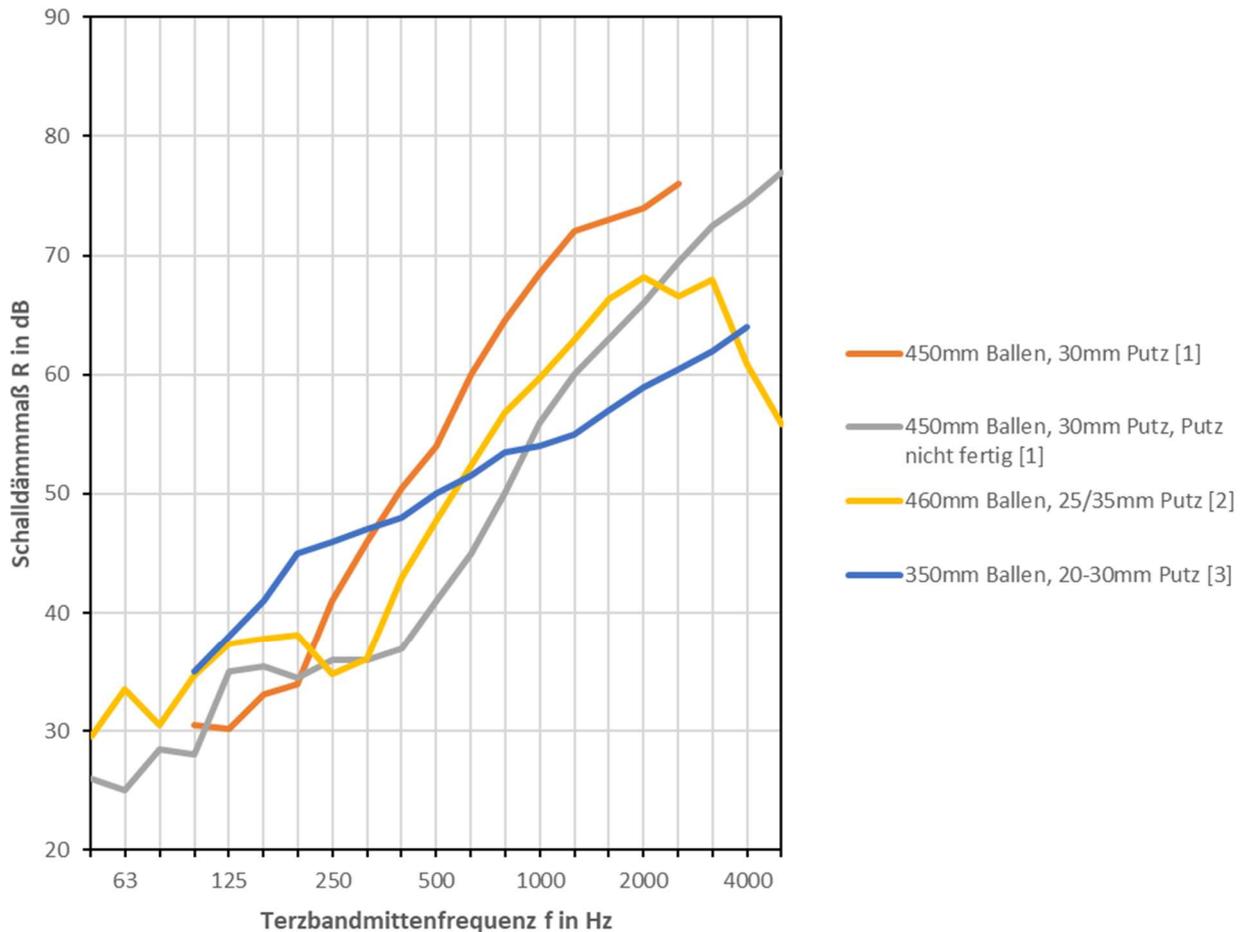


Abbildung 51 Frequenzabhängiger Verlauf des Schalldämm-Maßes unterschiedlicher Wände in Strohballenbauweise [1,2,3]

3.2.3. Variantenstudie

Gegenstand war die Messung der Luftschalldämmung einer 430mm dicken Strohballenwand mit Lehmputzdicken von 0-30 mm als äußere Deckschicht und Holzständerkonstruktion als Grundgerüst. Die Wand, rd. 10,4 m², wurde zwischen zwei Hallräumen im Wandprüfstand der TGM Versuchsanstalt, Prüfstand nach (ÖNORM) EN ISO 10140-5⁵, eingebaut. Der Aufbau der Metallständerwand (Bezeichnungen und Daten teilweise lt. Auftraggeber) war wie folgt gegeben:

430 mm dicke Strohballenwand mit Lehmputzdicken von 0-30 mm als äußere Deckschicht und Holzständerkonstruktion als Grundgerüst

⁵ (ÖNORM) EN ISO 10140-5 „Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen – Regenschall“, Ausgabe 2014

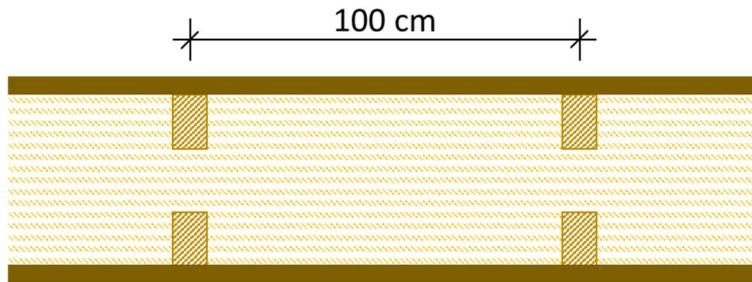


Abbildung 52 Horizontaler Schnitt durch die untersuchte Wandkonstruktion

0-30	mm	Lehmputz
80	mm	50/80 mm Holzstaffel, e = 100 cm / dzw. Strohballen
210	mm	Strohballen
80	mm	50/80 mm Holzstaffel, e = 100 cm / dzw. Strohballen
0-30	mm	Lehmputz
<hr/>		
430	mm	gesamte Dicke

3.2.3.1. Versuchsdurchführung

Die Holzständerkonstruktion wurde entsprechend Abbildung 52 zwischen Empfangs- und Senderraum aufgebaut und an den entkoppelten Rahmen angedübelt. Anschließend wurden die Strohballen zwischen den Holzstaffeln eingespannt und mit Lehm verputzt. Der Putz wurde in zwei Arbeitsschritten mit dazwischenliegender Trocknungszeit von ca. 4 Wochen aufgebracht. Die letzte Schicht wurde mittels Kunststoffgitter armiert.

Die Luftschalldämmung der Wandkonstruktion wurde zwischen den Arbeitsschritten jeweils gemäß (ÖNORM) EN ISO 10140-2⁶ mit einer geeichten Messausrüstung des Typs „Norsonic Dual Channel Real Time Analyzer Type 830“ gemessen. Die Geräuschanregung erfolgte mit stationärem, breitbandigem Rauschen; der Frequenzgang dieses Signals wurde jeweils durch einen Terzfiltersatz des Typs „Norsonic Spectrum Shaper Type 731“ nach den Anforderungen der Norm sowie nach den praktischen Erfordernissen eingestellt.

Die Messung der Schalldruckpegel sendeseitig sowie empfangsseitig erfolgte jeweils mit einem geeichten 1/2" Kondensatormikrofon („Brüel & Kjaer Condenser Microphone Type 4165“, Preamplifier „Brüel & Kjaer Type 2639“, „Brüel & Kjaer Microphone Power Supply Type 2804“). Vor der Messung wurde die Messkette mit einer geeichten Prüfschallquelle des Typs „Norsonic Type 1251“ kalibriert; nach der Messung erfolgte eine Kontrolle der Kalibrierung.

Die räumliche Mittelung des Schalldruckpegels erfolgte jeweils durch die Verwendung eines an einem Drehgalgen befestigten Mikrofons (Umlauf- sowie Mittelungszeit an 3 Positionen betrug jeweils 64 s, sowohl im Sende- als auch im Empfangsraum). Für die Messung der Nachhallzeit wurde jeweils die Anregungszeit mit 5 s festgelegt. Die Mittelwertbildung der Nachhallzeit erfolgte jeweils über 6 Abfälle je Position und an allen Drehgalgenpositionen. Alle Messungen erfolgten mit Terzfiltern im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz.

⁶ (ÖNORM) EN ISO 10140-2 „Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung“, Ausgabe 2010



Abbildung 53 Prüfaufbau entsprechend ÖNORM EN ISO 10140-2 zur Messung des Luftschalldämm-Maßes der unverputzten Wandkonstruktion



Abbildung 54 Prüfaufbau entsprechend ÖNORM EN ISO 10140-2 zur Messung des Luftschalldämm-Maßes der fertigen Wandkonstruktion

3.2.4. Ergebnisse

Als Mittel aus mehreren Messreihen (verschiedene Lautsprecher- und Drehgalgenstellungen) ergaben sich für die untersuchten Wandaufbauten die in Abbildung 55 dargestellten Werte des Schalldämm-Maßes in Abhängigkeit von der Frequenz.

Der Kurvenverlauf und das bewertete Schalldämm-Maß in Tabelle 10 der unverputzten Strohwandkonstruktion zeigt, dass die Konstruktion keine durchgängigen Luftkanäle aufweist und das Schalldämm-Maß nicht ab einer in Abhängigkeit der Größe dieser Luftkanäle bestimmten Frequenz abflacht, sondern über den gesamten Kurvenverlauf ansteigt. Mit dem Aufbringen der ersten Putzschicht von etwa 20 mm ist ein deutlicher Anstieg des Schalldämm-Maßes von 30 dB zu beobachten. Die dabei noch nasse Putzschicht weist aufgrund ihrer höheren Masse (Wassergehalt) und ihrer Biegeweichheit bessere akustische Eigenschaften auf und es kommt durch die Trocknung zu einer Reduktion des Schalldämm-Maßes von 3 dB. Grundsätzlich zeigt die einmalig verputzte Konstruktion noch nicht den klassischen Verlauf des Schalldämm-Maßes einer zweischaligen Wandkonstruktion. Es findet keine deutliche Ausprägung der Masse-Feder-Masse-Resonanz statt und der Anstieg des Schalldämm-Maßes ist mit 10 dB/Oktave für eine zweischalige Konstruktion zu flach.

Nach dem Aufbringen der zweiten Putzschicht zeigt sich sowohl in der nassen als auch trockenen Prüfkörpervariante der typische Verlauf des Schalldämm-Maßes einer zweischaligen Wandkonstruktion. Die Masse-Feder-Masse-Resonanz der untersuchten Wandkonstruktion wird wesentlich durch Steifigkeit der Strohballen und des Flächengewichts der Putzschicht beeinflusst. Der Masse-Feder-Masse-bedingte Einbruch des Schalldämm-Maßes ist bei ca. 150 Hz für beide Varianten sehr deutlich ausgeprägt. Wie zu erkennen ist, führt die Trocknung der Putzschicht zu einer leichten Erhöhung dieser Resonanzfrequenz. Danach findet ein für zweischalige Wandkonstruktionen typischer Anstieg des Schalldämm-Maßes von 18 dB/Oktave statt. Alle Varianten zeigen bei etwa 2000 Hz einen Koinzidenzeinbruch im Schalldämm-Maß. Dieser ist bei der Varianten mit der 30 mm, nassen Putzschicht am deutlichsten ausgeprägt.

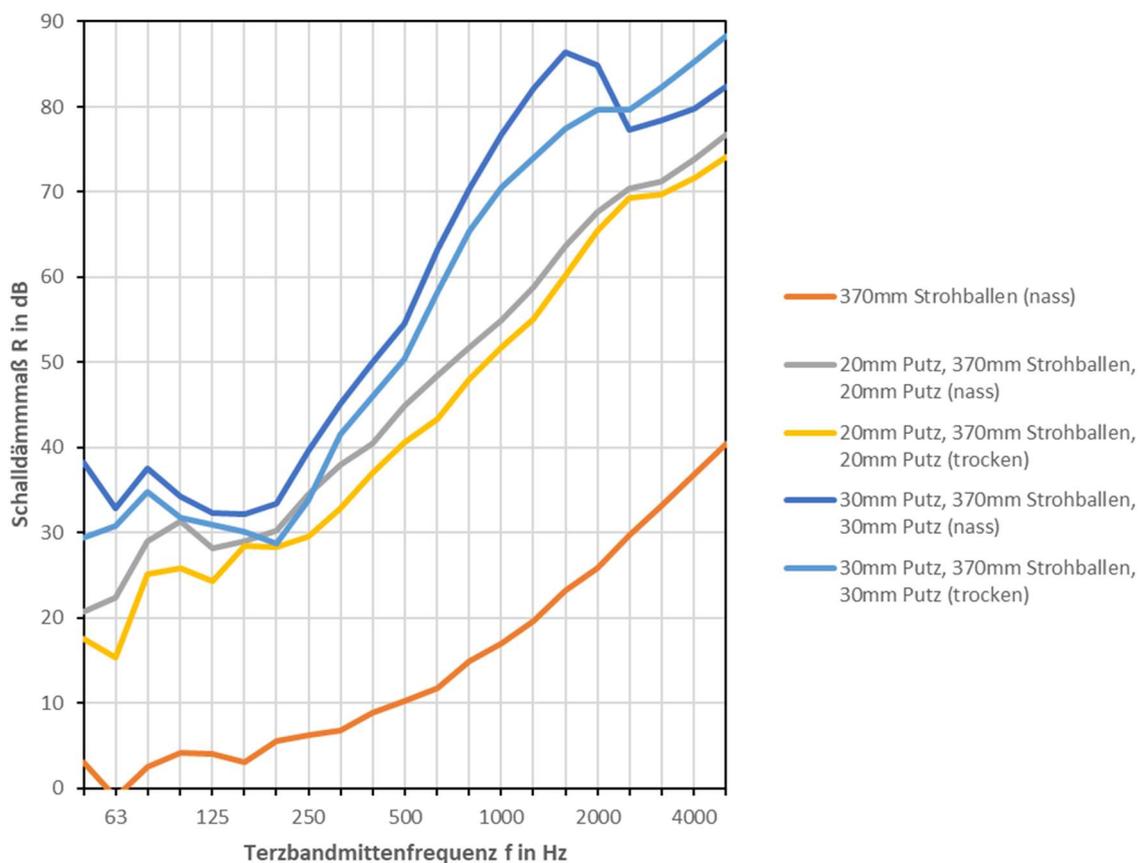


Abbildung 55 Frequenzabhängiger Verlauf des Schalldämm-Maßes der untersuchten Wandkonstruktionen

Der nach (ÖNORM) EN ISO 717-1⁷ ermittelte Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w sowie die Werte der Spektrum-Anpassungswerte C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{50-5000}$ und $C_{tr,50-5000}$ sind in der nachstehenden Tabelle 10 angegeben⁸.

Tabelle 10 Messergebnisse des Schalldämm-Maßes der untersuchten Strohballenwand nach ÖNORM EN ISO 10140-2

Beschreibung	R_w	C	C_{tr}	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$C_{50-5000}$	$C_{tr,50-5000}$
370mm Strohballen	16	-1	-4	-1	-5	0	-5
20mm Putz, 370mm Strohballen, 20mm Putz (nass)	46	-1	-6	-2	-8	-1	-8
20mm Putz, 370mm Strohballen, 20mm Putz (trocken)	43	-2	-6	-2	-9	-1	-9
30mm Putz, 370mm Strohballen, 30mm Putz (nass)	52	-2	-8	-3	-8	-2	-8
30mm Putz, 370mm Strohballen, 30mm Putz (trocken)	49	-3	-8	-3	-9	-2	-9

3.2.5. Einfluss von Material- und Wandeigenschaften auf das Schalldämm-Maß

Zur Abklärung der in der Variantenstudie beobachteten Phänomene wurden wesentliche Materialeigenschaften der Putzschichten und der Strohballen bestimmt. Es wurden entsprechend der Möglichkeiten Proben aus der aufgebauten Wandkonstruktion entnommen oder eigene Probekörper aus Restmaterialien des Aufbaus hergestellt.

3.2.5.1. Dynamisches E-Modul und Dichte des Lehmputzes

Die Messung des dynamischen Biegemoduls erfolgte durch die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von quasi-longitudinal Wellen in einem aus Lehm hergestellten Balkens. Abbildung 56 zeigt das dabei angewendete Messprinzip und die Positionierung der Beschleunigungsaufnehmer an den Enden des Balkens. Die Anregung erfolgte durch Hammerschläge an den Enden des Balkens. Die in Tabelle 811 dargestellten Werte ergeben sich aus jeweils 3 Messungen in 2 unterschiedliche Richtungen. Für die Berechnung des dynamischen Biegemoduls wurde die Dichte des Balkens mit 1728 kg/m^3 bestimmt und mittels Zusammenhangs aus Formel [1] berechnet.

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \quad [1]$$

⁷ (ÖNORM) EN ISO 717-1 „Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung“, Ausgabe 2013

⁸ Gemäß (ÖNORM) EN ISO 12999-1 „Akustik – Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik - Teil 1: Schalldämmung“, Ausgabe 2015, ergibt sich für Vergleichsbedingungen im Wandprüfstand eine Standardunsicherheit für R_w von $\sigma_R = 1,2 \text{ dB}$, für $R_w + C$ von $\sigma_R = 1,3 \text{ dB}$, für $R_w + C_{tr}$ von $\sigma_R = 1,5 \text{ dB}$, für $R_w + C_{50-3150}$ von $\sigma_R = 1,3 \text{ dB}$, für $R_w + C_{tr,50-3150}$ von $\sigma_R = 1,5 \text{ dB}$, für $R_w + C_{50-5000}$ von $\sigma_R = 1,3 \text{ dB}$ sowie für $R_w + C_{tr,50-5000}$ von $\sigma_R = 1,5 \text{ dB}$

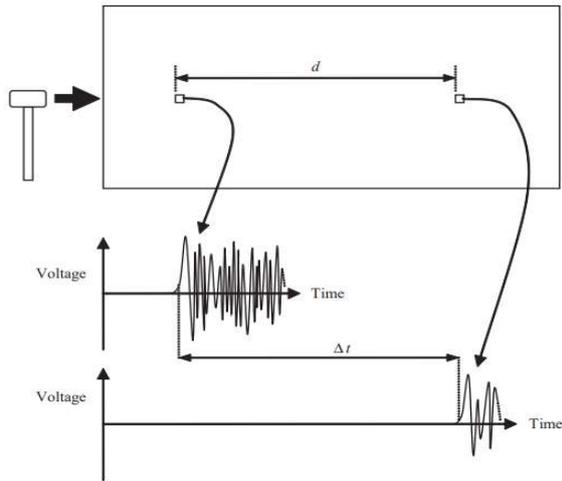


Abbildung 56 Messung der Laufzeitunterschiede der quasi-longitudinalen Wellen im Balken zur Berechnung des dynamischen E-Moduls (links - Messprinzip, rechts – Beschleunigungsaufnehmer am Balkenende)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt. Das dynamische E-Modul ergibt sich aus den in zwei Richtungen gemittelten Messungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit der quasi-longitudinal Wellen zu $3,72 \cdot 10^9$ Pa.

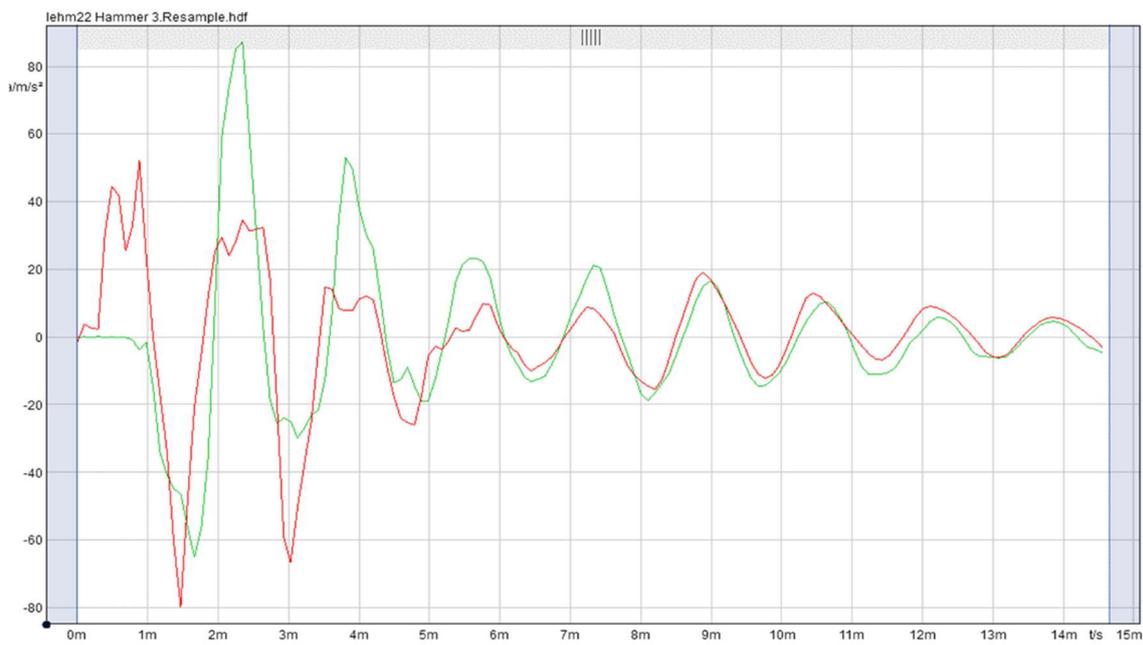


Abbildung 57 Darstellung der Pegelzeitverläufe der an den Balkenenden angebrachten Beschleunigungsaufnehmer (rot – Anregeseite, grün – Empfangsseite)

Tabelle 11 Gemessene Laufzeitunterschiede der quasi-longitudinalen Wellen im Balken und die daraus errechneten dynamische E-Module

Messung	Laufzeit in s	longitudinale Wellengeschwindigkeit c_L in m/s	Dyn. E-Modul in Pa
1.1	0,000672	1488	3,83E09
1.2	0,000686	1458	3,67 E09
1.3	0,000695	1439	3,58 E09
2.1	0,00068	1471	3,74 E09
2.2	0,00068	1471	3,74 E09
2.3	0,00068	1471	3,74 E09
Mittel	0,00068217	1466	3,72E09

3.2.5.2. Rohdichte der Strohballen

Es wurden vor dem Einbau drei Strohballen als Probekörper aus der angelieferten Menge zufällig gezogen und deren Geometrie und Gewicht bestimmt. Die aus den drei Messungen ergebende Dichte der Strohballen beträgt $119,7 \text{ kg/m}^3$.

Tabelle 12 Gemessene Geometrie und Masse der verbauten Strohballen anhand von 3 Probekörpern

Probe	Gewicht in kg	Höhe in m	Breite in m	Länge in m	Dichte in kg/m^3
1	16,6	0,4	0,5	0,8	114,1
2	17,5	0,4	0,5	0,8	120,7
3	18,1	0,4	0,5	0,8	124,4
Mittelwert	17,4	0,4	0,5	0,8	119,7

3.2.5.3. Putzdicke

Es wurden an unterschiedlichen Stellen mittels Lochsäge Putzproben aus der fertig verputzten und getrockneten Wandkonstruktion entnommen, um die Putzdicke festzustellen. Die entnommenen Proben zeigten Putzdicken von rd. 1-7 cm. Die inhomogene Putzdicke ist auf den unebenen Putzuntergrund der Strohballen und das Ziel einer ebenen fertigen Wandoberfläche zurückzuführen. Die insgesamt aufgetragene Lehmmenge errechnet sich für die beiden Arbeitsschritte zu rd. 20 mm und rd. 30 mm.



Abbildung 58 Entnommene Lehmputzproben (links), Entnahme der Putzproben im Empfangsraum (rechts)

3.2.6. Interpretation

Grundsätzlich ist der Verlauf des frequenzabhängigen Schalldämm-Maßes der untersuchten Strohwand mit 30 mm Putzdicke für einen doppelschaligen Bauteil als klassisch zu beurteilen. Es kommt im tiefen Frequenzspektrum zu einer Masse-Feder-Masse-Resonanz, die in Abhängigkeit von Dämpfung im Strohballen mehr oder weniger tief ausgeprägt ist. Diese Masse-Feder-Masse Resonanz lässt sich auch mittels simplen Prognosemodell [7] nachvollziehen. Aufgrund der vermutlich stark schwankenden Steifigkeit der unterschiedlichen Strohballen ist dieser Einbruch sehr breit im Frequenzspektrum zu beobachten. Nach diesem Einbruch kommt es für doppelschalige Bauteile zu dem klassischen Anstieg des Schalldämm-Maßes von 18 dB/Oktave. Der Vergleich gegenüber dem Massegesetz zur Berechnung des Schalldämm-Maßes einer homogenen Konstruktion mit demselben Flächengewicht zeigt die hierbei erzielte Verbesserung durch die Mehrschaligkeit. Bei ca. 2000 Hz kommt es zum Koinzidenzeinbruch im Schalldämm-Maß. Dieser ist in der Prognose deutlicher ausgebildet als in der Messung. Dieses Phänomen ist durch die inhomogene Putzdicke und die Risse in der Putzschicht, wodurch es zu keiner homogenen Ausbreitung der BiegeWellen kommt, zu erklären.

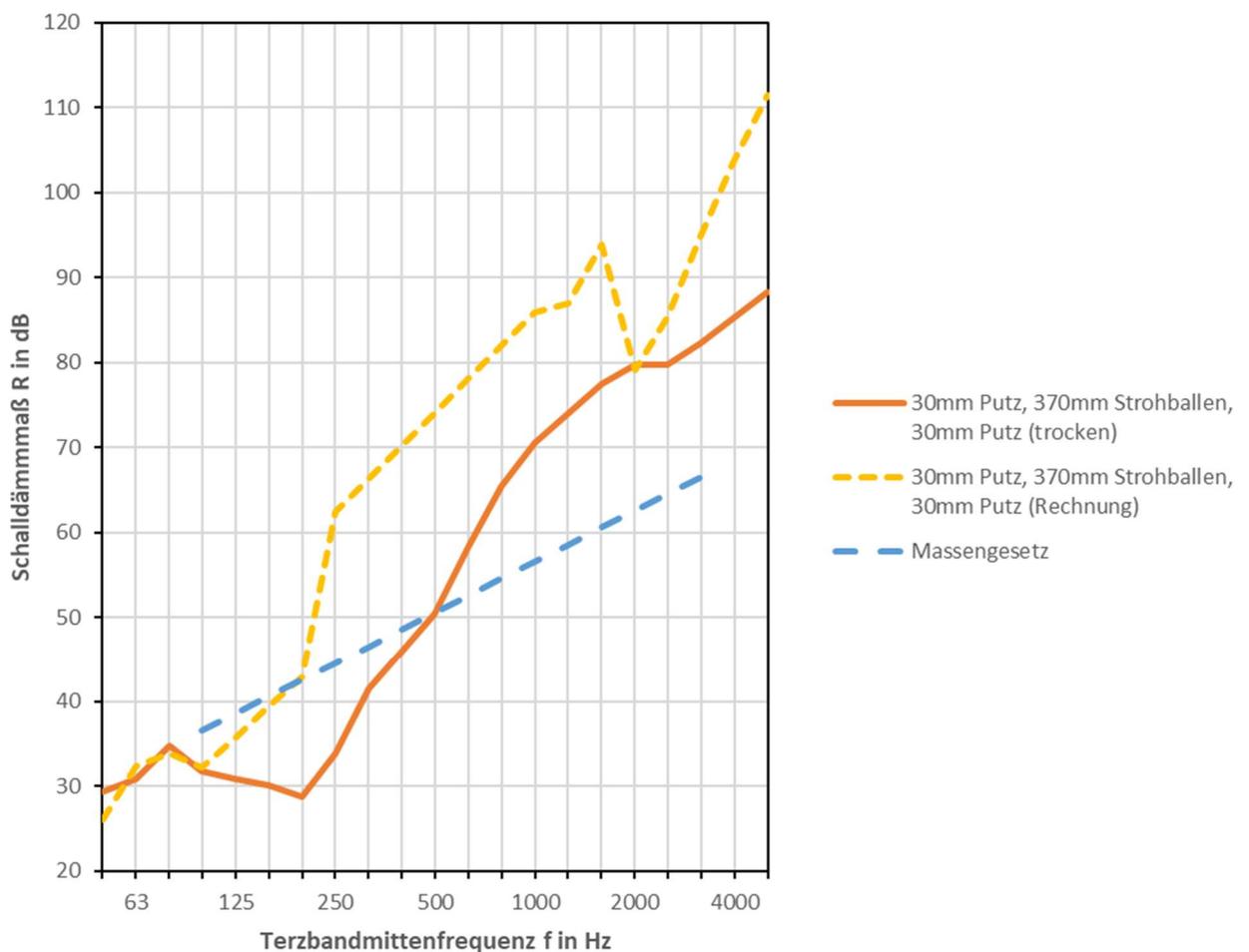


Abbildung 59 Vergleich von nach [7] berechneten und gemessenen frequenzabhängigen Verläufen des Schalldämm-Maßes von Strohwänden und dem Massegesetz

Die Gegenüberstellung mit den in der Literaturrecherche gefunden Datensätzen für das Schalldämm-Maß und den im Projekt gemessenen Werten zeigt, dass die untersuchte Wandkonstruktion am unteren Spektrum des gefunden Schallschutzniveaus liegt. Der Vergleich der frequenzabhängigen Verläufe der Schalldämm-Maße in Abbildung 60 zeigt das verursachende Phänomen. Bei der untersuchten Wandkonstruktion ist die Ausprägung der Masse-Feder-Masse-Resonanz deutlicher und in einem tieferen Frequenzbereich ausgeprägt als bei den Wänden in der Literatur. Das kann bei ähnlichen Eigenschaften der Putzschichte (E-Modul und Dichte) nur auf eine höhere Steifigkeit der im Projekt verbauten Strohballen schließen. Der restliche Verlauf zeigt sich deutlich positiver als jener der Literaturwerte. Es kommt zu einem steileren und größeren Anstieg des Schalldämm-Maßes im Frequenzspektrum und zeigt damit eine gute Entkopplung der beiden Putzschichten durch den Strohballen. Ebenso ist der Koinzidenzeinbruch weniger stark ausgeprägt als bei den Datensätzen der Literatur. Das kann im Wesentlichen auf die Inhomogenität der Putzschicht zurückgeführt werden.

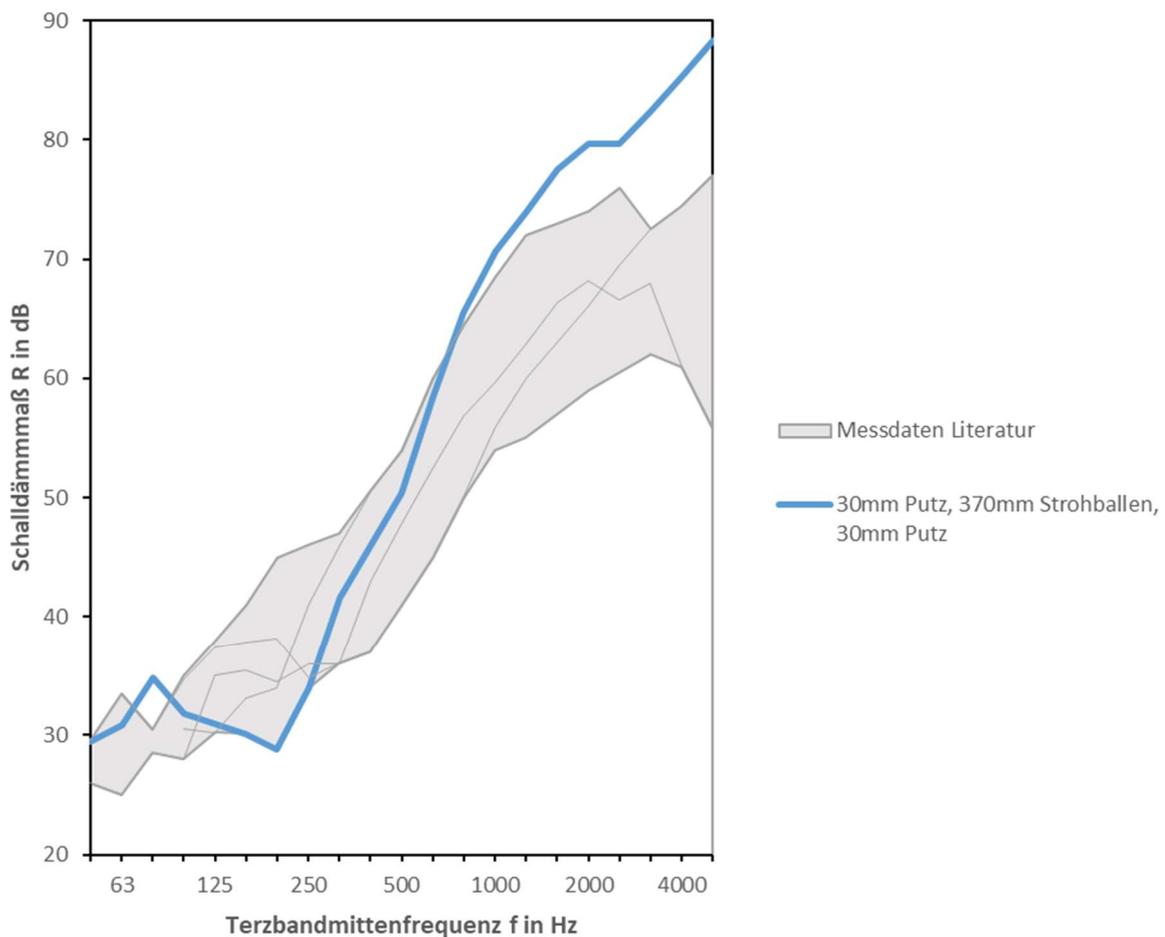


Abbildung 60 Vergleich der in der Literatur gefundenen und im Projekt gemessenen frequenzabhängigen Verläufe des Schalldämm-Maßes von Strohwänden

Die Messergebnisse in Tabelle 13 zeigen, dass Wände in der untersuchten Bauweise mit 30 mm Putzdicke lt. OIB RL 5:2019 bis zu einem maßgeblichen Außenlärmpegel von 76 dB bei Tag und 66 dB bei Nacht als Außenwand zulässig sind. Das entspricht in etwa lt. ÖNORM B 8115-4:2003 einer 12 cm dicken Betonwand.

Tabelle 13 Vergleich der Messergebnisse des Schalldämm-Maßes der untersuchten Strohwand nach ÖNORM EN ISO 10140-2 mit Literaturwerten

Beschreibung	R _w	C	C _{tr}	C ₅₀₋₃₁₅₀	C _{tr,50-3150}	C ₅₀₋₅₀₀₀	C _{tr,50-5000}
450mm Ballen, 30mm Putz [1]	52	-3	-8	x	x	x	x
450mm Ballen, 30mm Putz, Putz nicht fertig [1]	47	-2	-5	-2	-7	-1	-7
460mm Ballen, 25/35mm Putz [2]	50	-2	-6	-2	-7	-1	-7
350mm Ballen, 20-30mm Putz [3]	54	-1	-5	x	x	x	X
20mm Putz, 370mm Strohballen, 20mm Putz (trocken)	43	-2	-6	-2	-9	-1	-9
30mm Putz, 370mm Strohballen, 30mm Putz (trocken)	49	-3	-8	-3	-9	-2	-9

3.2.7. Zusammenfassung

Es konnte erfolgreich gezeigt werden, dass mittels Strohballen Außenwände hergestellt werden können, die bei erhöhten Außenlärmpegeln lt. OIB RL 5:2019 ein zulässiges Schalldämm-Maß aufweisen. Zur weiteren Verbesserung des Schalldämm-Maßes ist eine Reduktion der Steifigkeit der Strohballen und damit Senkung der Masse-Feder-Masse-Resonanz notwendig. Ein ähnliches Ergebnis könnte auch durch die Vergrößerung der Putzdicke erzielt werden. Neben diesen Maßnahmen ist für hochschalldämmende Wände, wie z.B. Trennwände im Gebäudeinneren, eine weitere Mehrschaligkeit zu empfehlen. Das könnte durch eine Luftschicht zwischen zwei Strohballen in Wanddickenrichtung erzielt werden. Die Ergebnisse dienen dem Projektpartner als Grundlage für die Erstellung von für die Planung valider Produktdaten (siehe Anhang 1) und der weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um die bauakustische Leistungsfähigkeit weiter zu steigern und das erforderlicher Schallschutzniveau z.B. einer Gebäudetrennwand zu erzielen.

3.2.8. Literatur

- [1] J. Teslik, R. Fabian, B. Hrubá, Determination of the airborne sound insulation of a straw bale partition wall, *Civil Environ. Eng.* 13 (1) (2017) 20–29, <https://doi.org/10.1515/cee-2017-0003>.
- [2] B. Marques, A. Tadeu, J. Almeida, J. Antonio, J. Brito, Characterisation of sustainable building walls made from rice straw bales, *J. Build. Eng.* 28 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101041> 101041.
- [3] Katharine Wall, Pete Walker, Christopher Gross, Craig White, Tim Mander, Development and testing of a prototype straw bale house, *Proc. Inst. Civil Eng. - Construction Mater.* 165 (6) (2012) 377–384, <https://doi.org/10.1680/coma.11.00003>.
- [4] Rupper Jeff, Straw-bale Sound Isolation and Acoustics – TLS #53, The Last Straw, The international journal of straw bale and natural building, 2013
- [5] Hohn Chuen Koh, Dimitros Karaniotis, A review of material properties and performance of straw bale as building material, *Construction and Building Materials*, Issue 259, 2020
- [6] ÖNORM EN ISO 8115-4:2003 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen“
- [7] F.G. Leppington et al: Resonant and non-resonant acoustic properties of elastic panels. I. The radiation problem. *Proc. R. Soc. Lond. A* 406 (1986) 139-171.

4. HOLZBALKEN- UND BRETTSPERRHOLZDECKEN

4.1. Einleitung

Die normgemäß durchgeführten messtechnischen Untersuchungen erfolgten nach ÖNORM EN ISO 10140-3 in einem Deckenprüfstand gemäß ÖNORM EN ISO 10140-5.

4.2. Vergleich der Wirksamkeit von Trockenestrichsystemen

Die nachfolgende Tabelle 14 zeigt den Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der im Projekt eingesetzten Holzbalken- und Brettsperrholz-Rohdecke mit unterschiedlich ausgeführten Untersichten.

Tabelle 14: Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit der in den Untersuchungen eingesetzten Rohdecken

Ausführung der Untersicht	Rohdeckentype	
	Holzbalkendecke $L_{n,w} (C_i, C_{1,50-2500})$ in dB	14 cm CLT-Decke $L_{n,w} (C_i, C_{1,50-2500})$ in dB
1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte auf Lattung	77 (0; 0)	-
2 x 12,5 mm Gipsfaserplatte auf Lattung	75 (0; 0)	-
keine	-	90 (-6; -6)
1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte auf abgehängter Lattung	-	70 (-1; 0)
2 x 12,5 mm Gipsfaserplatte auf abgehängter Lattung	62 (0; 3)	-

Untersucht wurde die Wirksamkeit von Trockenestrichaufbauten bestehend aus 2 Lagen 10 mm dicken Gipsfaserplatten auf unterschiedlichen Trittschalldämmplatten, die aufgrund ihrer Materialbeschaffenheit jeweils unterschiedliche dynamische Steifigkeiten erwarten lassen. Verwendet wurden Platten aus Holzweichfaser, Steinwolle, Glaswolle und Polystyrol.

In

Tabelle 15 sind der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ sowie die Spektrum-Anpassungswerte C_i und $C_{1,50-2500}$ in Abhängigkeit von der Rohdeckenbauart und dem Trockenestrichaufbau zum Vergleich aufgelistet.

Tabelle 15: Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit von Trockenestrichaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten mit und ohne zusätzlichen Auflastplatten auf einer Holzbalken- und Brettsperrholz-Rohdecke

ohne Schüttung			Rohdeckentype	
Trockenestrich	zusätzliche Auflast	Trittschall-Dämmplatte	Holzbalkendecke L _{n,w} (C ₁ , C _{1,50-2500}) in dB	14 cm CLT-Decke L _{n,w} (C ₁ , C _{1,50-2500}) in dB
-	-	-	75 (0; 0)	90 (-6; -6)
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	-	30 mm Holz-Weichfaser	66 (1; 3)	65 (1; 2)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Holz-Weichfaser	-	58 (2; 4)
	-	30 mm Steinwolle EP3	63 (2; 4)	62 (0; 3)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Steinwolle EP3	-	59 (0; 2)
	-	30 mm Glaswolle TDPS	62 (0; 4)	59 (1; 5)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten verschraubt	30 mm Glaswolle TDPS	54 (1; 5)	-
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten verklebt	30 mm Glaswolle TDPS	55 (0; 5)	53 (2; 6)
	-	30 mm EPS-T 650	-	68 (0; 0)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm EPS-T 650	-	61 (1; 2)

Die trittschalldämmtechnische Wirksamkeit der Trockenestrichaufbauten wurde auch in Kombination mit loser Kies- und mit gebundener Basaltsplitt-Schüttung untersucht. Estrichaufbauten wurden darüber hinaus auch mit Perlite- und Zellulosepellet-Schüttung in die messtechnischen Betrachtungen mit einbezogen. Die Einzahlwerte der jeweils erzielten Trittschalldämmung in Wechselwirkung mit den unterschiedlichen Rohdeckenbauarten sind in Tabelle 16,

Tabelle 17 und Tabelle 18 zum Vergleich angeführt.

Tabelle 16: Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit von Trockenestrichaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten mit und ohne zusätzlichen Auflastplatten über einer 80 mm hohen losen Kiesschüttung auf einer Holzbalken- und Brettspertholz-Rohdecke

mit 80 mm lose Kies-Schüttung			Rohdeckentype	
Trockenestrich	zusätzliche Auflast	Trittschall-Dämmplatte	Holzbalkendecke $L_{n,w} (C_1, C_{1,50-2500})$ in dB	14 cm CLT-Decke $L_{n,w} (C_1, C_{1,50-2500})$ in dB
-	-	-	75 (0; 0)	90 (-6; -6)
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	-	30 mm Holz-Weichfaser	-	57 (0; 1)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Holz-Weichfaser	-	50 (0; 4)
	-	30 mm Steinwolle EP3	54 (4; 5)	55 (-1; 2)
	30 mm Granitplatte	30 mm Steinwolle EP3	-	49 (0; 5)
	-	30 mm Glaswolle TDPS	-	51 (0; 4)
	30 mm Granitplatte	30 mm Glaswolle TDPS	-	44 (1; 6)

Tabelle 17: Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit von Trockenestrichaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten mit und ohne zusätzlichen Auflastplatten über einer 80 mm hohen gebundenen Basaltsplitt-Schüttung auf einer Holzbalken- und Brettsperrholz-Rohdecke

mit 80 mm gebundene Basalt-Schüttung			Rohdeckentype	
Trockenestrich	zusätzliche Auflast	Trittschall-Dämmplatte	Holzbalkendecke L _{n,w} (C ₁ , C _{1,50-2500}) in dB	14 cm CLT-Decke L _{n,w} (C ₁ , C _{1,50-2500}) in dB
-	-	-	75 (0; 0)	90 (-6; -6)
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	-	30 mm Holz-Weichfaser	-	53 (1; 5)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Holz-Weichfaser	-	48 (1; 6)
	-	30 mm Steinwolle EP3	54 (4; 6)	52 (1; 5)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Steinwolle EP3	-	49 (0; 5)
	-	30 mm Glaswolle TDPS	48 (4; 8)	46 (2; 9)
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Glaswolle TDPS	-	42 (1; 10)
	30 mm Granitplatte	30 mm Glaswolle TDPS	-	41 (1; 9)
	-	13 mm Elastomer	56 (3; 5)	-

Tabelle 18: Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit von Trockenestrichaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten über Perlite- und Zellulose-Pellet-Schüttung auf einer Holzbalken-Rohdecke

mit Perlite- bzw. Zellulosepellets-Schüttung			Rohdeckentype
Trockenestrich	Trittschall-Dämmplatte	Schüttung	Holzbalkendecke L _{n,w} (C ₁ , C _{1,50-2500}) in dB
-	-	-	75 (0; 0)
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	30 mm Steinwolle EP3	80 mm Perlite-Schüttung Thermo-Plan	59 (1; 3)
	8 mm HWF „A8“	102 mm Perlite-Schüttung Thermo-Plan	62 (1; 3)
	30 mm Steinwolle EP3	80 mm Zellulose-Pellets-Schüttung	57 (2; 4)

Die frequenzabhängige ganzheitliche Darstellung aller gemessenen Ergebnisse kann unter <https://acom-research.eu/trittschall/> eingesehen werden.

Im Zuge der Untersuchungen sollte ein zur Anwendung von Federschienen alternatives Abhängesystem der Deckenuntersicht prototypisch erprobt werden. Die alternative Ausführung sollte einerseits zimmereitechnisch umgesetzt werden und andererseits eine Vorfertigung im Herstellerwerk ermöglichen. Die so vorgefertigten Deckenelemente müssen daher inklusive der abgehängten Untersicht stapel- und transportfähig sein. Dafür wurde ein Lattensystem mit speziell über Elastomer-Beilagscheiben (12 mm Regufoam 680) in Sackbohrungen gelagerte Tellerkopfschrauben (Schmid Schrauben Hainfeld GmbH) entwickelt. Das stapel- und transportfähige Abhängesystem ist in der Abbildung 61 im Detail dargestellt. Abbildung 62 zeigt die Dimensionen der verwendeten Tellerkopfschrauben und Abbildung 63 die Anordnung des abgehängten Lattensystems vor der Montage der Untersicht-Beplankung.

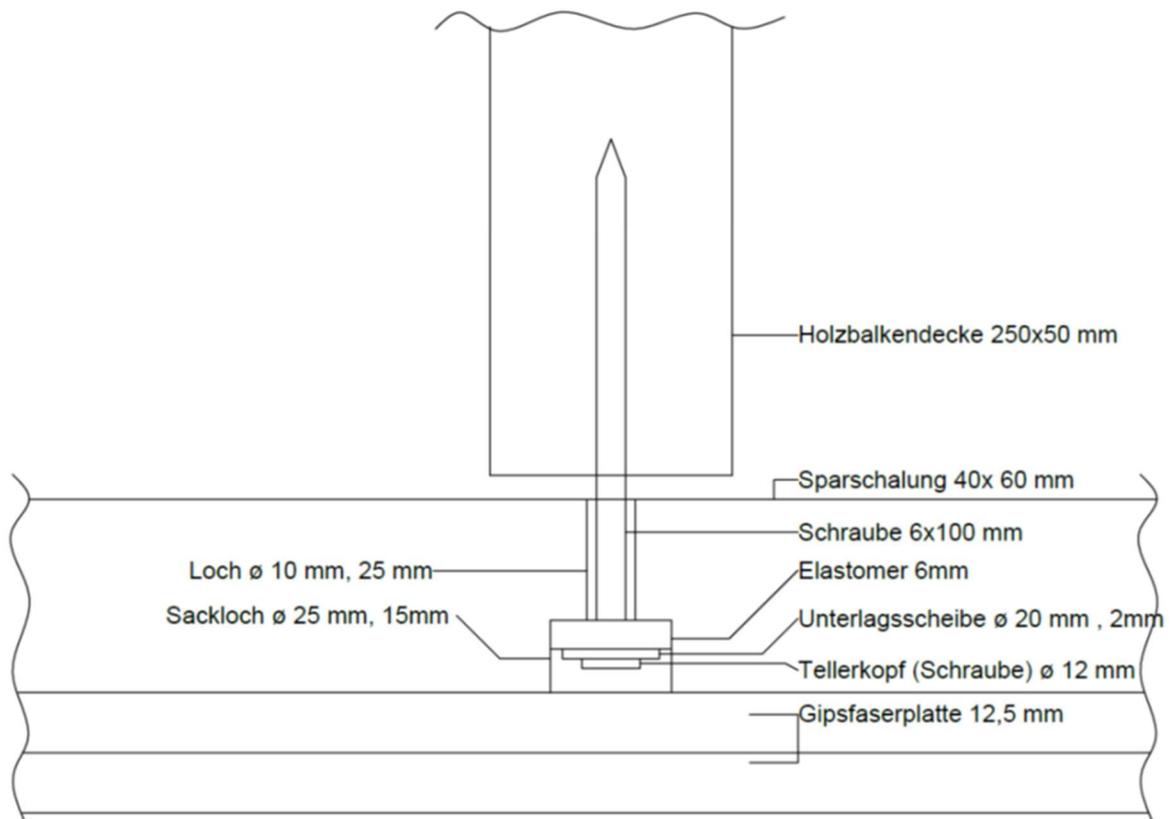


Abbildung 61: Darstellung der Ausführung des abgehängten Lattensystems mit Sackloch und über elastischer Beilagscheibe gelagerte Tellerkopfschraube (Fa. Schmid Schrauben Hainfeld GmbH)

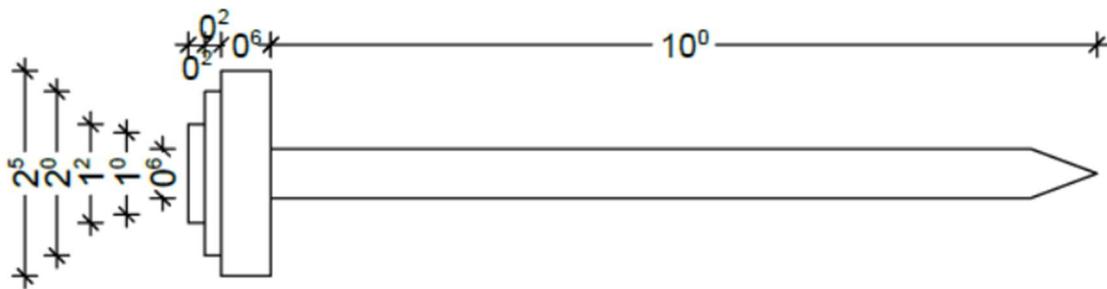


Abbildung 62: Darstellung der der verwendeten Tellerkopfschraube (Fa. Schmid Schrauben Hainfeld GmbH)



Abbildung 63: Ansicht des abgehängten Lattensystems vor der Montage der Beplankung

Die Erhöhung der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit durch Anwendung des alternativen Abhängesystems sowohl für Holzbalken- als auch für Brettsperrholzrohdecke ist in Abbildung 64 in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt (vgl. dazu auch in Tabelle 14 den dazugehörigen Vergleich der Einzulangaben der Trittschalldämmwerte der Rohdecken).

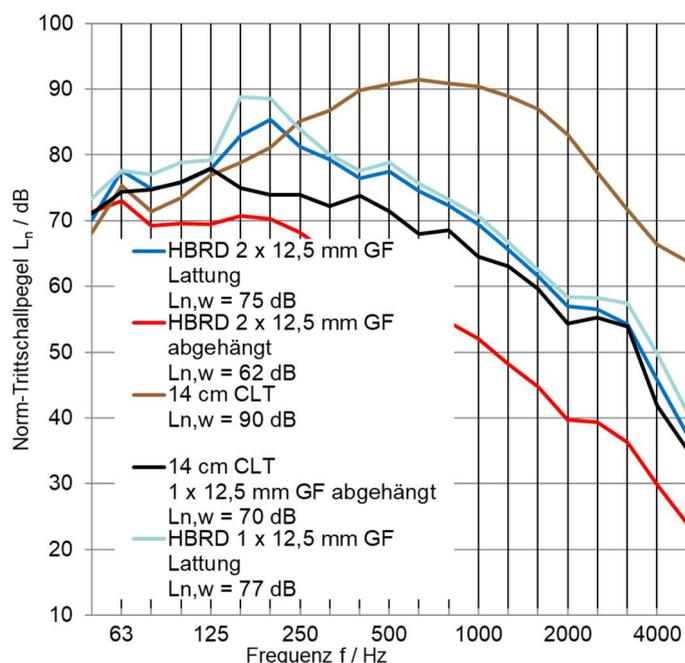


Abbildung 64: Trittschalldämmtechnische Potenzialerhöhung einer Holzbalken- sowie Brettsperrholzdecke durch die Anwendung des alternativen Abhängesystems im Vergleich mit der klassischen Ausführung der Deckenuntersicht

Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt die Einzulangaben der Trittschalldämmung für die in Kombination mit dem alternativen Abhängesystem ausgeführten Decken- bzw. Estrichbauarten.

Tabelle 19: Vergleich der trittschalldämmtechnischen Leistungsfähigkeit von Trockenestrichaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten mit und ohne zusätzlichen Auflastplatten über Schüttung auf einer Holzbalken- und Brettsperrholz-Rohdecke mit jeweils abgehängter Untersicht

Trockenestrich	zusätzliche Auflast	Trittschall-Dämmplatte	Rohdeckentype	
			Holzbalkendecke $L_{n,w} (C_1, C_{1,50-2500})$ in dB	14 cm CLT-Decke $L_{n,w} (C_1, C_{1,50-2500})$ in dB
-	-	-	-	70 (-6; -6)
mit 80 mm lose Kies-Schüttung abgehängte Untersicht RD 1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte				
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Glaswolle TDPS	-	39 (2; 10)
mit 80 mm gebundene Basalt-Schüttung abgehängte Untersicht RD 1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte				
-	-	-	-	70 (-6; -6)
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	-	30 mm Steinwolle EP3	44 (3; 13)	-
mit 80 mm gebundene Basalt-Schüttung abgehängte Untersicht RD 2 x 12,5 mm Gipsfaserplatte				
-	-	-	62 (0; 3)	-
2 x 10 mm Gipsfaserplatten	-	30 mm Steinwolle EP3	41 (4; 12)	-
	2 x 18 mm Gipsfaserplatten	30 mm Steinwolle EP3	39 (3; 12)	-

4.3. Interpretation der Ergebnisse

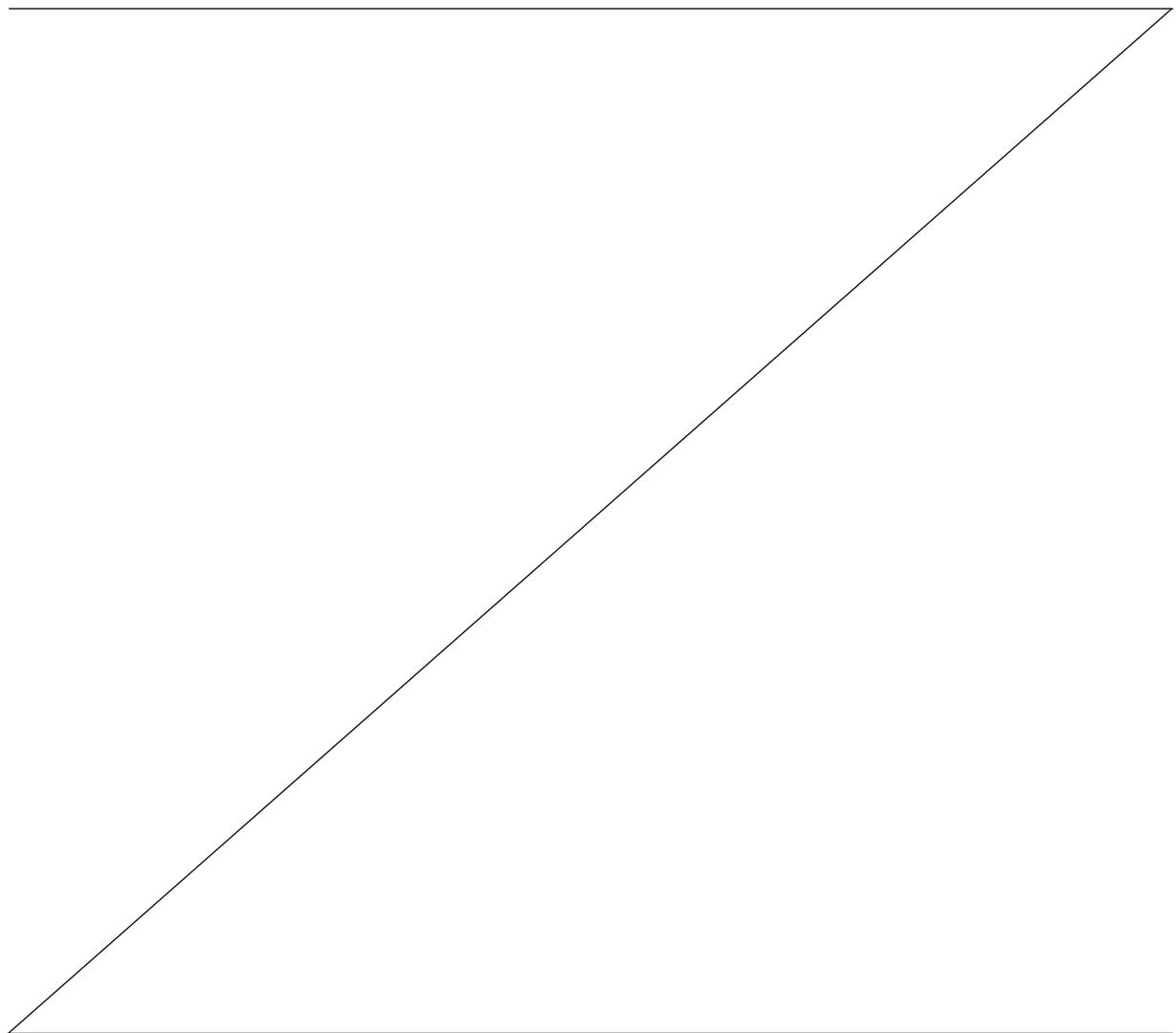
Die Messungen mit dieser speziellen Abhängung der Untersicht zeigen eine Reihe von Vorteilen:

- Erhöhung des Vorfertigungsgrades durch die Möglichkeit die Untersicht bereits werkseitig herzustellen
- Verbesserung der Logistik und Manipulation, da die Untersicht mit der Decke geliefert und verbaut wird
- Durch die entkoppelte Lagerung der Abhängung wird mit einfachen Mitteln dauerhaft eine gleichbleibende Absenkung der Schallübertragung sichergestellt.

Die Erkenntnisse dieser ersten Messungen zeigen das Potential des gewählten Lösungsansatzes und bieten noch Raum für eine spezifische Detailentwicklung.

4.4. Zusammenfassung

Mithilfe der entkoppelten vorgefertigten Untersicht wird das schalldämmende Potential von Deckenkonstruktionen deutlich erhöht. Durch die Erhöhung des Vorfertigungsgrades kann die Produktivität der Fertigung im Herstellwerk ohne Einfluss der Witterung zu einer Beschleunigung der Bauzeiten führen, dabei entfallen die „Überkopf“-Arbeiten auf der Baustelle.



ecoplus. Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH
Niederösterreich-Ring 2, Haus A
3100 St. Pölten, Österreich
Tel.: +43 2742 9000-19650
bauenergieumwelt@ecoplus.at
bauenergieumwelt.at

**Raiffeisenlandesbank
Niederösterreich-Wien**



Kofinanziert von der
Europäischen Union

