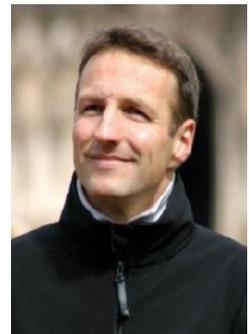


Luftschalldämmung von Brettsperrholzwänden mit Wärmedämmverbundsystem

Dr. Franz Dolezal
IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Wien, Österreich



Niko Kumer
Stora Enso Wood Products GmbH
Österreich



Luftschalldämmung von Brettsperrholzwänden mit Wärmedämmverbundsystem

Nachdem Massivholzkonstruktionen, bestehend aus Brettsperrholz (BSP/CLT), vermehrt in mehrgeschoßigen Gebäuden mit Wohn- und Büronutzung, aber vor allem auch für Sonderbauten wie etwa Schulen Verwendung finden, steigt auch der Bedarf nach einem umfassenden, akustischen Verständnis für diese Bauweise.

Besondere Bedeutung kommt dabei den Außenwänden zu, welche die Menschen vor den akustischen Belastungen des steigenden Verkehrsaufkommens schützen sollen, nachdem Verkehrslärm in vielen Studien als die primäre Lärmquelle identifiziert wurde.

Eine weitere wesentliche Funktion der Außenwände besteht im Wärmeschutz zur Vermeidung bzw. Reduktion von Energieverlusten. Dieser wird in Österreich in den meisten Fällen mit einem sogenannten Wärmedämmverbundsystem (WDVS) erfüllt. Dies sind Dämmplatten die auf die Unterkonstruktion geklebt (ev. gedübelt) werden und zugleich als Putzträger dienen. Das daraus resultierende Schwingensystem (CLT-WDVS-Putz) akustisch zu beschreiben und eine vereinfachte, praxisnahe Berechnungsmethode zur Verfügung zu stellen, wird im vorliegenden Beitrag versucht.

1. Einleitung

Wärmedämmung ist eine essentielle Komponente der typischen zentraleuropäischen Außenwandkonstruktionen, da das Klima durch kalte Winter und heiße Sommer geprägt ist. Eine Möglichkeit hierfür stellt das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) dar, welches die in Österreich, u.a. aus finanziellen Gründen, am häufigsten ausgeführte Dämm-Methode darstellt. Allerdings hat ein Wärmedämmverbundsystem auch Auswirkungen auf den Schallschutz der gesamten Wand, und kann diesen sogar verschlechtern, wie beispielsweise Urban et al. in (2018a) eindrucksvoll errechnen.

Generell wird WDVS in erster Linie bei mineralischen Grundkonstruktionen ausgeführt, die Anwendung ist jedoch nicht auf massive Bauweise beschränkt, sondern mittlerweile auch im Holzrahmenbau als Zusatzdämmung und Putzträger üblich. Die Kombination WDVS mit CLT ist relativ neu, aufgrund der finanziell vorteilhaften Komponente nimmt jedoch die Häufigkeit der Ausführung zu.

Nachdem CLT eine signifikant geringere Masse als die üblichen mineralischen Wandkonstruktionen aufweist, können die üblichen Vorhersagemodelle (Weber et al. 2018, etc.) für die Kombination mit WDVS nicht angewendet werden. Darüber hinaus wird aktuell die schalltechnische Prognosenorm ÖNORM B 8115-4 überarbeitet und eine präzisere Prognosemethode für Holzbauteile mit WDVS und Vorsatzschalen gesucht.

2. Akustisches Verhalten der Komponenten

2.1. Akustische Performance von Brettsperrholz

CLT kann weder zu den schweren, noch zu den leichten Bauweisen gezählt werden. Während akustische Anforderungen von schweren Bauweisen durch deren Masse und jene von Pfosten-Riegel Konstruktionen durch die sehr niedrige Biegesteifigkeit der Beplankung erfüllt werden, zählt CLT zu keiner der beiden Kategorien. Üblicherweise reduziert sich die Schalldämmung um die Koinzidenzgrenzfrequenz, wobei schwere Elemente diese im sehr tiefen, Leichtbauteile im sehr hohen Frequenzbereich aufweisen.

In beiden Fällen findet sich diese außerhalb des bauakustischen Frequenzbereichs. In Brettsperrholzkonstruktionen ist die Koinzidenzgrenzfrequenz zwischen 100 und 500 Hz zu finden, also genau im bauakustisch relevanten Bereich (Dolezal 2010). Diese Tatsache muss berücksichtigt werden, wenn es darum geht einen Bauteil zu konfigurieren, mit dem ein zufriedenstellendes Schallschutzniveau und ein ausreichender Lärmschutz gewährleistet werden können.

2.2. Akustische Performance von Wärmedämmverbundsystemen

Die Anwendung von Wärmedämmverbundsystemen verändert das akustische Verhalten von Außenwänden signifikant. Nach dem Feder-Masse Prinzip, bestehend aus Brettsperrholzplatte – Wärmedämmung – Außenputz, führt der systemimmanente Resonanzeffekt zu einer reduzierten Schalldämmung rund um die Resonanzfrequenz, und einer erhöhten Schalldämmung im oberen Frequenzbereich. Nach (Urban et al. 2018a) sind Differenzen in der Einzahlangabe aufgrund des kombinierten Einflusses von Wärmedämmverbundsystemen bei hohen Frequenzen und der Resonanzfrequenz von -8 bis +19 dB gegenüber der Grundwand möglich. Genannte Ergebnisse resultieren aus Untersuchungen von Grundwänden aus massiven, mineralischen Baustoffen. Dabei stellen die dynamische Steifigkeit der Dämmung sowie die Masse des Außenputzes die wesentlichen Parameter dar.

2.3. Materialien für das Wärmedämmverbundsystem

Ein WDVS besteht üblicher Weise aus einem mineralischen Kleber mit dem die Dämmplatte mit dem Untergrund verbunden wird. Die Dämmplatte selbst muss eine gewisse (höhere) Mindestfestigkeit aufweisen da das komplette Putzsystem von ihr getragen wird, muss Windkräften standhalten und hohe Auszugsfestigkeiten aufweisen. Verfügbare Materialien sind expandiertes Polystyrol (EPS-F), Mineralwolle, Kork, Holzweichfaser, Hanf und Mineralschaum. In Kombination mit CLT finden vor allem Polystyrol, Mineralwolle, Holzweichfaser und Hanf Anwendung. In der vom IBO und Stora Enso Wood Products durchgeführten Studie wurden für die einzelnen WDVS-Dämmstoffe die (akustisch relevanten) Kennwerte gemäß Tabelle 1 für die dynamische Steifigkeit ermittelt. Diese Werte stellen nur einen Ausschnitt der möglichen Größenordnung der einzelnen Materialien dar und können natürlich bei anderen Herstellern des gleichen Materials abweichen. Darüber hinaus ist s' der Quotient aus dem dynamischen Elastizitätsmoduls E_{dyn} und der Dicke d , und somit von der Dämmstoffstärke abhängig.

Tabelle 1: Dynamische Steifigkeiten s' (gerundet) von WDVS-Dämmstoffen (lt. Messungen in der Studie)

	Polystyrol EPS-F	Mineralwolle	Holzweichfaser	Hanf
s' in MN/m ³	6, 16, 26, 22	5	23	5, 3, 2

Weiters erfordert ein WDVS einen Unterputz in den das Bewehrungsgitter aus Glasfasergewebe eingebettet wird. Darüber wird nach einer Vorbehandlung des Untergrundes der Oberputz gespachtelt, welcher zumeist entsprechend eingefärbt ist. Abhängig vom Dämmstoff sind Mindeststärken des Unterputzes von 3, 5 oder 8 mm zulässig. Oberputze weisen für gewöhnlich Stärken von 1 bis 2 mm auf. Die mittlere Rohdichte von Kleber und Putzschichten liegt bei 1400 kg/m³.

2.4. Bestimmung des dynamischen Verhaltens des Dämmstoffes

Die wichtigste Eigenschaft von WDVS Dämmstoffen hinsichtlich der Akustik ist die dynamische Steifigkeit s' (MN/m³) mit signifikantem Einfluss auf die Luftschalldämmungseigenschaften von Außenwänden. Das Spektrum des Schalldämm-Maßes von Außenwänden mit WDVS zeigt einen Einbruch bei der Masse-Feder-Masse Resonanz entsprechend der Masse des CLT und dem Außenputz sowie der als Feder agierenden Dämmplatte.

Untersuchungen hinsichtlich der dynamischen Steifigkeit von WDVS Platten aus expandiertem Polystyrol (EPS-F - das mit Abstand am häufigsten verwendete Material) wurden in (Kernöcker et al. 2017) vorgenommen. Die Autoren stellten an einem EPS-Block mit den Abmessungen 1,27 x 1,02 x 4,02 m (Produktionsergebnis bevor die Platten daraus zugeschnitten werden) fest, dass die Dichte und die dynamische Steifigkeit der daraus resultierenden Dämmplatten variieren. Dabei war zu erkennen, dass Proben aus dem oberen Bereich des Blockes ein höheres s' aufweisen, wobei ebenfalls eine gewisse, jedoch recht schwache Korrelation zwischen der dynamischen Steifigkeit und der Dichte der Probe nachweisbar war. Daraus wurde abgeleitet, dass bei diesem spezifischen Material, allein innerhalb einer Produktionscharge (ein Block), s' eine Streuung um den Faktor 1,5 aufweist (s' von 40,4 bis 61,4 MN/m³).

Bestimmt wird s' gemäß EN 29052-1, wobei ein 2016 durchgeführter Ringversuch Ergebnisdifferenzen bis zu 55 % ergab wenn die Standardmethode angewendet wurde und bis zu 300% wenn Spachtelung und Kitt nicht mit gleich hoher Präzision verarbeitet wurden

(Urban et al. 2018b). Berücksichtigt man diese Größenordnungen, so ist abzusehen, dass selbst Messergebnisse nicht absolut zuverlässig sind, was auch Einfluss auf die Zuverlässigkeit etwaiger Prognosemodelle haben muss.

3. Methode für ein vereinfachtes Prognosemodell

Ausgehend von dem Ziel, den Zusammenhang zwischen Schalldämmeigenschaften und der Masse des Elements zu finden, quasi ein Bergersches Massegesetz für CLT wie es gemäß EN 12354-1 seit Jahren im mineralischen Massivbau erfolgreich angewendet wird, wurde damit begonnen Messergebnisse von Brettsperrholzplatten die von Stora Enso Wood Products, zur Verfügung gestellt wurden, auszuwerten.

Der nächste Schritt ist der Aufbau einer umfassenden Datenbank für das bewertete Schalldämm-Maß R_w von Außenwänden aus CLT mit Wärmedämm-Verbundsystem. Basierend auf dieser Datenbank und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass verschiedene Parameter dieses Schwingensystems variiert werden können, wird die Resonanzfrequenz f_R gemäß Gleichung 1 als Basis für die Berechnung herangezogen. Dabei sind s' die dynamische Steifigkeit des Dämmstoffs, m'_{CLT} die Masse des Brettsperrholzes und $m'_{plaster}$ die Masse des Putzes.

$$f_R = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{s' * \left(\frac{1}{m'_{CLT}} + \frac{1}{m'_{plaster}}\right)} \text{ in Hz} \quad (1)$$

Die verschiedenen existierenden Prognosemodelle zur Vorhersage der Schalldämmung von BSP mit WDVS wurden angewandt und mit den Messergebnissen verglichen. Nachdem die dynamische Steifigkeit den Parameter mit der größten Auswirkung und der Größenva-riation darstellt, wurden Messergebnisse ohne zuverlässiger Spezifikation von s' aus dem Modell ausgeklammert. Zuletzt wird die Standardabweichung des neuen Einzahlmodells für CLT mit WDVS berechnet und Anwendungsgrenzen definiert.

4. Existierende Einzahl-Vorhersagemodelle

Verschiedene Modelle zur Vorhersage des bewerteten Schalldämm-Maßes von CLT aus dessen Masse wurden bereits publiziert (Rabold 2018, Di Bella et al. 2018). Dabei gelten die Ergebnisse bei (Rabold 2018) auch für beplankte CLT-Wände, gleichwohl limitiert auf 160 mm Stärke, und jene von Di Bella für Plattenstärken von 78 bis 245 mm, also auch für Decken.

Modelle für die Einzahlberechnung des Schalldämm-Maßes von Wänden mit Wärmedämmverbundsystem gibt es seit langem für den mineralischen Massivbau (Weber 2018, etc.) und haben es auch in die Normung (EN 12354-1) geschafft. Diese Modelle sind jedoch auf den mineralischen Massivbau beschränkt und deren Anwendung auf CLT nicht möglich, da die Massendifferenz der Grundkonstruktion und des Putzes gegenüber mineralischen Baustoffen viel geringer ist.

In Holtz et al. 2006 wird erstmals ein Prognosemodell für Massivholz mit WDVS präsentiert, welches sich mit den uns zur Verfügung stehenden Messergebnissen aus verschiedenen Prüfständen nicht gut deckt.

5. Vereinfachtes Prognosemodell

Das neue, vereinfachte Prognosemodell wurde exklusiv für die Anwendung von CLT bzw. CLT mit WDVS zur thermischen und akustischen Verbesserung entwickelt. Daher konnte die Komplexität im Vergleich zu herkömmlichen akustischen Modellen reduziert werden, da nur eine Art von Grundwand mit den am häufigsten ausgeführten Befestigungsmethoden zu betrachten war.

5.1. Prognosemodell für die Schalldämmung von Brettsperrholz

In Abbildung 1 sind Mittelwerte (und Messwertbereich bei mehreren Messungen) diverser Ergebnisse von Messungen der Luftschalldämmungen von Brettsperrholz unterschiedlicher Stärke dargestellt.

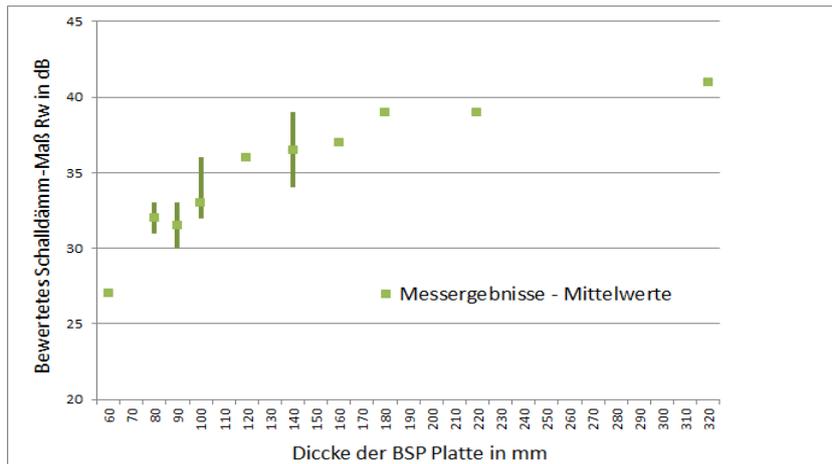


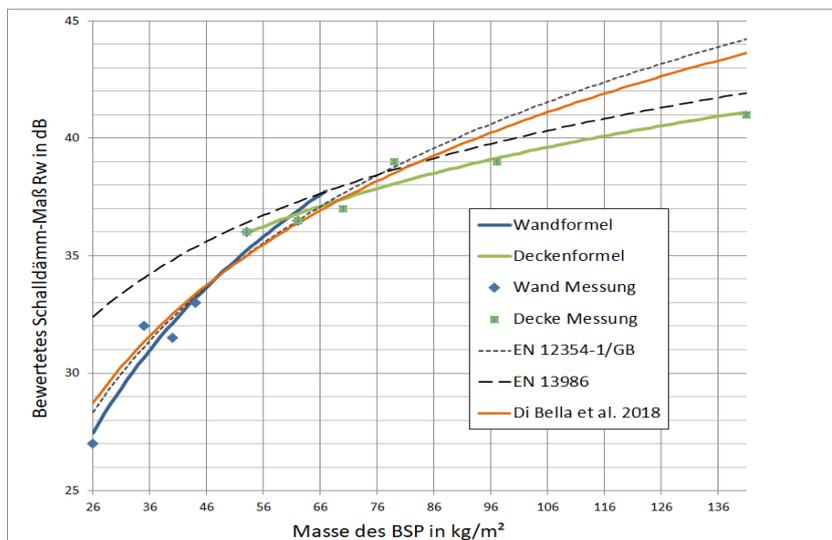
Abbildung 1: Messergebnisse (Mittelwerte und Bereiche) der Luftschalldämmung von BSP

Die Masse der Platten wurde aus einer durchschnittlichen Rohdichte von 440 kg/m^3 errechnet. Das stellt die Basis für die Gleichung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w dar. Darüber hinaus wurde berücksichtigt, dass der Einbauwinkel einen wesentlichen Einfluss auf die Schalldämmung hat (Thorsson 2016), weshalb 2 Gleichungen (eine für Wände und eine für Decken), unter Berücksichtigung der üblichen Stärken bei der jeweiligen Anwendung, entwickelt wurden. Das «Massegesetz für CLT» wurde aus den Mittelwerten der verfügbaren Messergebnisse abgeleitet, wobei besondere Ausreißer (Ursache den Autoren bekannt) ausgeklammert wurden. Gleichungen 2 und 3 stellen die jeweilige Masseformel für Wände und Decken dar.

$$R_{w,CLT,wall} = 25 \lg m'_{CLT} - 8 \text{ in dB (anwendbar für CLT Wände von 60 bis 150 mm)} \quad (2)$$

$$R_{w,CLT,fl oor} = 12,2 \lg m'_{CLT} + 15 \text{ in dB (anwendbar für CLT Decken von 120 bis 320 mm)} \quad (3)$$

Das Ergebnis aus der Anwendung der beiden Gleichungen 2 und 3 ist in Abbildung 2 dargestellt. Darüber hinaus wurden auch weitere Berechnungsmethoden des bewerteten Schalldämm-Maßes wie etwa in EN 12354-1, EN 13986 und (Di Bella 2018) darin skizziert.

Abbildung 2: Messergebnisse (Punkte) und Ergebnisse verschiedener Prognosemodelle (Linien) für R_w

5.2. Prognosemodell für die Schalldämmung von CLT mit WDVS

Für gegenständliches Prognosemodell wurden nur Messergebnisse herangezogen, bei denen s' des tatsächlich verwendeten Dämmstoffs zuverlässig gemessen wurde. Generell wurde besonderes Augenmerk auf die Materialeigenschaften der einzelnen Schichten gelegt, wobei sämtliche Messungen von Stora Enso Wood Products zur Verfügung gestellt wurden. Zuerst muss die Resonanzfrequenz f_R des Schwingensystems gemäß Gleichung 1

unter Berücksichtigung der Massen des CLT und des Putzes sowie der dynamischen Steifigkeit der Dämmung ermittelt werden. Im Anschluss erfolgt die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w des Außenbauteils, bestehend aus CLT und WDVS gemäß der vereinfachten Gleichung 4.

$$R_w = -30 \lg f_R + 110 \text{ in dB} \quad (4)$$

Abbildung 3 zeigt die Messergebnisse der Luftschalldämmung von Außenbauteilen aus CLT mit WDVS und das Berechnungsergebnis aus dem vereinfachten Berechnungsmodell in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz f_R .

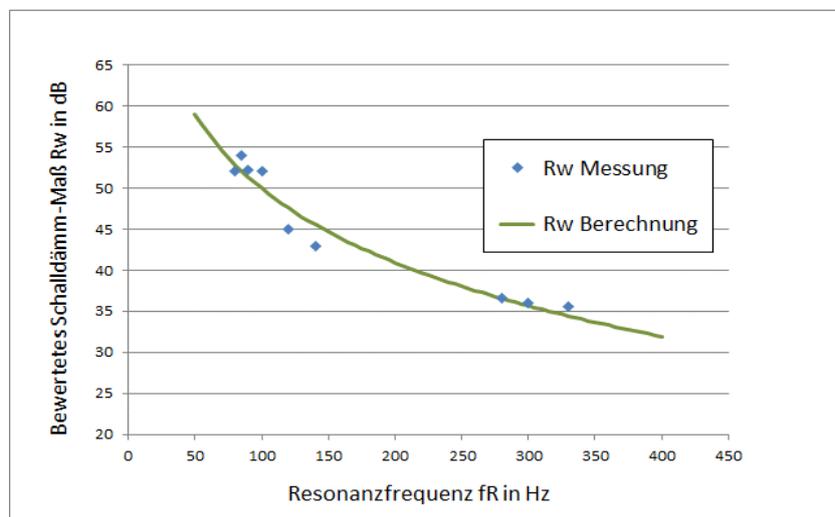


Abbildung 3: Messung (Punkte) und Berechnung (Linie) von R_w von CLT mit WDVS

5.3. Genauigkeit des Prognosemodells

Das beschriebene Prognosemodell für R_w basiert auf einem semiempirischen Zugang mit strikter Einschränkung auf Messgrundlagen mit zuverlässig ermittelter dynamischer Steifigkeit des Dämmstoffes, was zu einer reduzierten Anzahl zugrunde liegender Messungen führt. Die Gleichung 4 des Modells kann als offenes System betrachtet werden, welches sich durch Hinzufügen weiterer Messungen verfeinern lässt. Bereits jetzt ist die Genauigkeit des Modells mit einer Standardabweichung $\sigma = 1,6$ und maximale Abweichungen von $+ 2$ dB bzw. $-2,6$ dB (Abbildung 4) als ausreichend für bauakustische Anwendungen zu betrachten. Dies vor allem auch in Hinblick darauf, dass alleine bei der Messung der gleichen CLT-Platten in Prüfständen, Ergebnisdifferenzen von bis zu 4 dB, abhängig von den Randbedingungen, auftreten können (Dolezal 2018).

Wird eine genauere Bestimmung angestrebt, so können Außenwände mit WDVS auch frequenzabhängig mit dem Akustikmodul der Bemessungssoftware Calculatis von Stora Enso berechnet werden. Vergleichende Berechnungen haben gezeigt, dass sich dadurch die Standardabweichung des Einzelwertes auf 0,8 und die maximale Abweichung auf $+2$ und $- 0,5$ verringern lässt. Näheres hierzu kann Kapitel 6 entnommen werden.

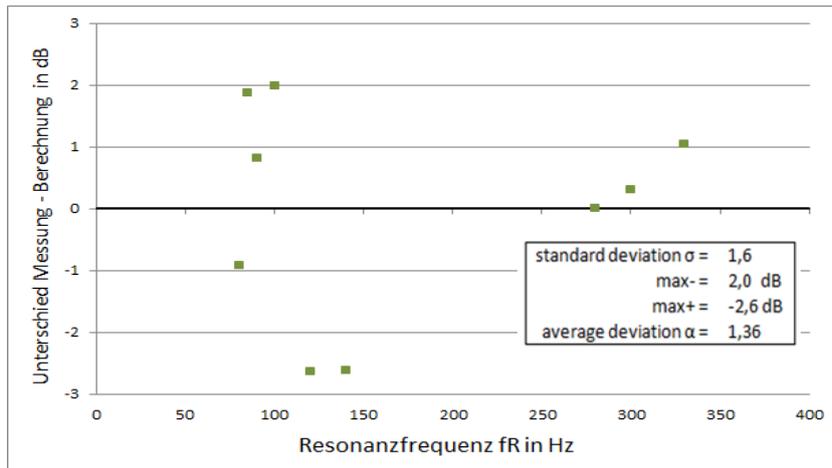


Abbildung 4: Unterschied zw. Messung und Berechnung im vereinfachten Modell

5.4. Zusätzliche Aspekte

Die Schalldämmung ändert sich mit der Befestigungsmethode des Wärmedämmverbundsystems. Für gegenständliches Modell wurde eine vollflächige (100 %) Verklebung zugrunde gelegt, was gemäß der Auskunft einer Reihe von Verarbeitern und Herstellern die aktuell übliche Methode darstellt. Dabei wird der Klebstoff mit einer Zahnspachtel aufgebracht. Untersuchungen haben ergeben, dass eine Verdübelung mit Abdeckung durch Dämmstoffrondellen kaum Auswirkungen auf das bewerteten Schalldämm-Maß hat, ebenso wenig wie die Anzahl der Dübel (in den üblicherweise verwendeten Mengen). Ohne Dübelabdeckung empfehlen die Autoren einen Abschlag vom errechneten R_w von 1 dB.

Ebenso wurden Untersuchungen zum Einfluss der Masse der Dämmplatten selbst durchgeführt. Deren Berücksichtigung hat jedoch nur eine minimale Erhöhung der Genauigkeit des Ergebnisses zur Folge, was in keiner Relation zum Aufwand hierfür steht.

Es wurden auch Messungen mit Gipsplattenbeplankungen analysiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine zusätzliche innenseitige Gipsplattenlage von 12,5 mm (Standardtype) zu einer Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes von + 1 dB führt. Eine weitere Lage (gesamt 2 x 12,5 mm) bringt ein weiteres dB (gesamt +2 dB).

Nachdem Verkehrsgeräusche die Hauptlärmquellen vor denen Außenwände schützen sollen darstellen, sind auch die Spektrum-Anpassungswerte – C_{tr} und $C_{tr,50-5000}$ – für Verkehrslärm zu beachten. Während diese für die Brettsperrholzplatte nur geringe Bedeutung haben (-2 bzw. -4 dB) so können die Ergebnisse von $C_{tr,50-5000}$, in Abhängigkeit vom Dämmstoff, durchaus Größenordnungen von bis zu - 23 dB erreichen. Näheres hierzu kann bei Interesse (Dolezal 2018) entnommen werden.

6. Vergleichsberechnungen mit dem Akustikmodul der Bemessungssoftware Calculatis von Stora Enso

Zwecks Darstellung komplexerer Berechnungswerkzeuge und weiterer Möglichkeiten die demnächst von Planern genutzt werden können, wurden auch Vergleichsberechnungen mit einem von Stora Enso entwickelten Berechnungsprogramm für das Schalldämm-Maß und den Normtrittschallpegel von Massivholzkonstruktionen durchgeführt. Dieses Tool berechnet den Frequenzverlauf der bauakustischen Deskriptoren, generiert daraus aber auch die Einzahlangabe gemäß EN ISO 717-1. Berechnet wurde der Luftschall mit exakt denselben Eingangsparametern wie auch bei der oben vorgestellten vereinfachten Einzahlermittlung. Aus Abbildung 5 kann die hervorragende Übereinstimmung der Einzahl-Berechnung nach Calculatis mit den Messergebnissen entnommen werden.

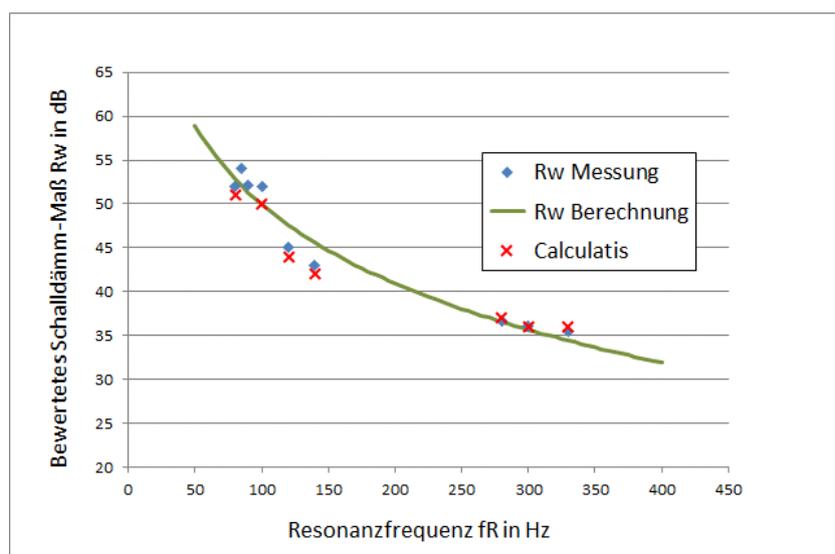


Abbildung 3: Messung (blaue Punkte), vereinfachte Berechnung (grüne Linie) und frequenzabhängige Berechnung mit Calculatis (rote Kreuze) von R_w von CLT mit WDVS

7. Literatur

Urbán D. et al. (a): *Influence of the Dynamic Stiffness of External Thermal Insulation on the Sound Insulation of Walls*, DAGA, München, 2018.

Weber L., Müller S., Kaltbeizel B.: *Einfluss von Wärmedämm-Verbundsystemen auf die Schalldämmung von Außenwänden*, Bauphysik 40 Heft 1, 2018.

ÖNORM B 8115-4: *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen*, ASI, Wien, 2003.

Dolezal F. et al.: *Flanking Transmission of Impact Noise at Solid Wood Structures*, WCTE, Riva, 2010.

Kernöcker R. et al.: *Systematische Untersuchung der dynamischen Steifigkeit von EPS-Fassadendämmplatten (EPS-F)*, HTL 1 Bau und Design, Linz, 2017.

EN 29052-1: *Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings*, 1992.

Urbán D. et al. (b): *On the Uncertainty of Dynamic Stiffness Measurements*, DAGA, München, 2018.

EN ISO 12354-1: *Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1 - Airborne sound insulation*, 2017.

Rabold A. et al.: *Mehrgeschosser in Massivholzbauweise. Teil 2: Schalltechnische Planung von Trennwänden*, Holzbau Quadriga, 2018.

Di Bella A. et al.: *Analysis of airborne sound reduction index of bare CLT walls*, WCTE, Seoul, 2018.

Holtz F. et al.: *Erarbeitung eines Prognoseverfahrens zur Bestimmung der Schalldämmung von Holzständerwänden auf der Grundlage der Konstruktion und der verwendeten Werkstoffe*, LSW, Abschlussbericht, Rosenheim, 2006

Thorsson P., Hagberg K., Golger A.: *Measurement Series to Verify the Accuracy of Stora Enso Acoustic Prediction Tool – SEAP*, ICA, Buenos Aires, 2016.

EN 13986: *Wood-based panels for use in construction. Characteristics, evaluation of conformity and marking*, 2004.

EN ISO 717-1: *Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Airborne sound insulation*, 2013.

Dolezal F., Kumer N.: *Semiempirical model for prediction of weighted sound reduction index of cross laminated timber walls with external thermal insulation composite systems*. Proceedings AAAA, Zagreb, 2018.