



*Hans-Martin Tröbs
Student, FH-Rosenheim
Rosenheim, Deutschland*

Schalllängsleitung im Holzbau

**Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem
Leichtbauprüfstand**

Schalllängsleitung im Holzbau

Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Leichtbauprüfstand

Einleitung

Die Schalldämmung und Schalllängsleitung bzw. Flankenschallübertragung im Massivbau ist mit der europäischen Norm EN ISO 12354 [1] gut zu prognostizieren. Bis heute ist es jedoch noch nicht möglich den Leichtbau, insbesondere den inhomogenen Holzbau in dieses Prognosemodell zu integrieren.

Aus diesem Grund ist es unumgänglich die Schallübertragung in den inhomogenen Bauteilen von Holzbaukonstruktionen näher zu untersuchen.

In Kooperation mit der EMPA in Dübendorf betreibt die Berner Fachhochschule, BFH-AHB, zu diesem Zweck einen neuen Prüfstand, den sogenannten Leichtbauprüfstand.

Ziel dieses neuen Prüfstandes ist die Messung der Direkt- sowie Flankenschallübertragung in Holzbaukonstruktionen. Die gemessenen Daten finden Eingang in einen Bauteilkatalog der künftig Planern zur Verfügung stehen soll. Des Weiteren dienen diese Daten zur Entwicklung eines Prognosemodells für den Schallschutz im Holzbau.

In diesem Bericht werden die ersten Resultate bezüglich einer Vorsatzschale vor einer Holzständerwand vorgestellt und mit der Prognose aus EN ISO 12354 verglichen.

Die Resultate werden abschließend für ein Beispiel aus der Baupraxis herangezogen und den Anforderungen der SIA 181 gegenüber gestellt.

Aufbau des Prüfstandes

Zur Untersuchung der Flankenschallübertragung über einen Wand-Deckenknoten wurden zwei Prüfräume übereinander angeordnet. Als Trenndecke wurde eine Holz-Hohlkastendecke mit Mineralwollfüllung, 60 mm dicke Betonsteinwerkplatten als Beschwerung, 20 + 30 mm dicke, zweilagige Trittschalldämmung sowie eine 80 mm dicke Unterlagsbodenplatte eingebaut.

Unterseitig wurde eine 120 mm, mit 15 mm dicken Gipsfaserplatten doppelt beplankte Unterdecke an Federhängen montiert, mit 40 mm Mineralwolle als Dämmung im Deckenhohlraum.

Die raumabschließenden Wände, die sogenannten Default-Elemente, sind zweischalig in Massivholz ausgeführt. Zwei dieser Default-Elemente wurden nach erfolgter Einmessung des Prüfstandes zur Bestimmung der Grenzschalldämmung ausgetauscht wie in Abbildung 1 und 2 zu sehen ist. Die Grenzschalldämmung des Grundprüfstandes mit Defaultelementen wird als Referenz für die künftigen Untersuchungen herangezogen.



Abbildung 1: Prüfstand mit Defaultelementen zur Einmessung, zwei Räume übereinander angeordnet



Abbildung 2: Die stirnseitigen Defaultelemente sind gegen zwei Prüfwände ausgetauscht worden

Grenzschalldämmung

Als maximale Luftschalldämmung des Prüfstandes kann ein bewertetes Schalldämm Maß $R_w = 85$ dB, für den minimalen Norm-Trittschallpegel von $L_{n,w} = 23$ dB, ausgewiesen werden, wie in Abbildung 3 und Abbildung 4 zu sehen ist.

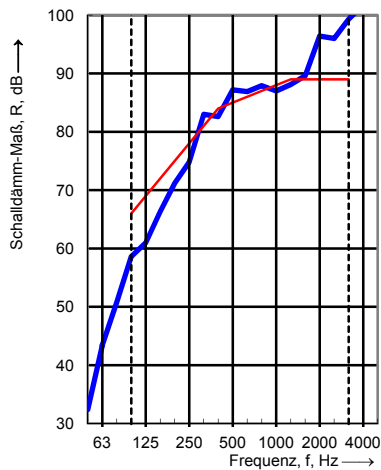


Abbildung 3: Schalldämm Maß nach EN ISO 10140-2 [2] für die Terzintervalle zwischen 50 Hz und 5000 Hz, $R_w(C;C_{tr}) = 85,6$ (-4,1; -10,9) dB, $C_{50-5000} = -14,7$ dB

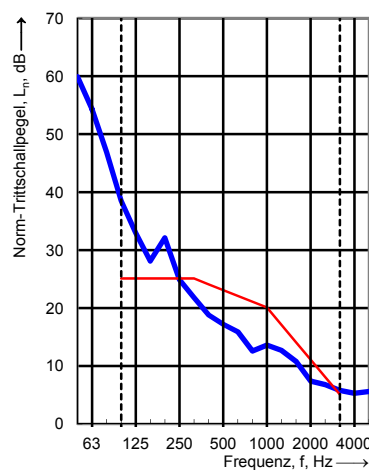


Abbildung 4: Norm-Trittschallpegel nach EN ISO 10140-3 [3] für die Terzintervalle zwischen 50 Hz und 5000 Hz, $L_{n,w}(C_l) = 23,3$ (2,3) dB, $C_{l\ 50-2500} = 23,2$ dB

Wandaufbau



Abbildung 5: Horizontalschnitt durch die untersuchten Wandaufbauten, von oben nach unten: Grundwand, zusätzlich eine 15mm dicke Gipsfaserplattenlage, Vorsatzschale einlagig beplankt mit 15 mm Gipsfaser, Vorsatzschale zweilagig beplankt mit 15 mm Gipsfaser

Die stirnseitig eingebauten Prüfwände, im Folgenden als Grundwände bezeichnet, werden mit unterschiedlichen Aufbauten in beiden Prüfräumen versehen.

Die Grundwand besteht aus 240x60 mm Holzständern, innen mit 15 mm OSB, außen mit 15 mm Gipsfaser beplankt. Der Hohlraum ist mit 240 mm Mineralwolle gedämmt.

Abbildung 2 zeigt die zwei übereinander eingebauten Grundwände im Leichtbauprüfstand. Die Verschraubung der Elemente erfolgte im Abstand von 30 cm.

Diese Grundwand wird im Folgenden mit einer weiteren, 15 mm Gipsfaserbeplankung (2), einer Vorsatzschale mit 15 mm Gipsfaserbeplankung auf 60x40 mm Lattung und 40mm Mineralwolle im Hohlraum (3), sowie einer zusätzlichen Lage 15 mm Gipsfaser (4) ertüchtigt (Abbildung 5).

Aus den Unterschieden der Messresultate von Aufbau 1-4 können die erzielten Verbesserungen errechnet werden.

Messungen

Abbildung 6 zeigt die Grundwand, die baugleich in einen Metallrahmen des Wandprüfstandes der Empa eingebaut wurde. Damit wurden die Verbesserungen der Vorsatzschalen bei der Direktschallübertragung bestimmt. In diesem Wandprüfstand wird das Schalldämm Maß der Wandkonstruktionen ohne Flankenanteile, die sog. Direktschalldämmung D_d bestimmt. Dabei bedeutet großer Buchstabe Senderaumseite, kleiner Empfangsraumseite.

Der Weg D_d beschreibt somit die Schallenergie, die direkt durch das Bauteil in den Empfangsraum eingebracht wird. Die Flankenschallübertragung lässt sich mit dem Weg F_f beschreiben. Dies ist die Schallenergie die nur über die Flanken übertragen wird.

Die gemessenen Verbesserungen durch die Vorsatzschalen bei der Direktschallübertragung im Wandprüfstand werden mit den Resultaten aus dem Leichtbauprüfstand verglichen. Dort erfolgt die Schallübertragung fast ausschließlich über eine Flanke.



Abbildung 6: Grundwand im Wand- bzw. Direktschallprüfstand, Fläche 12,2 m²

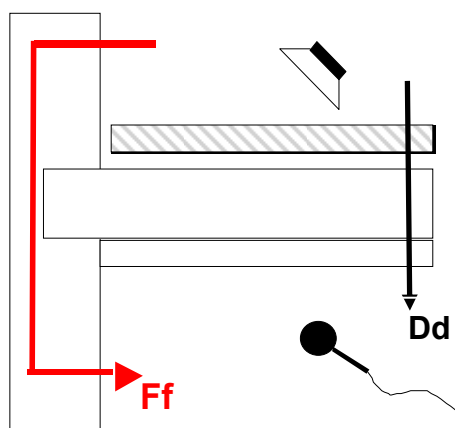


Abbildung 7: Die untersuchten Übertragungswege, Dd alleine im Wandprüfstand, Dd+Ff im Leichtbauprüfstand

In Abbildung 7 sind die betrachteten Schallübertragungswege im Leichtbauprüfstand dargestellt. Die Messergebnisse im Leichtbauprüfstand setzen sich aus Flankenschallübertragung und Direktschallübertragung zusammen. Der Weg Dd im Leichtbauprüfstand, durch die Trennplatte, kann vernachlässigt werden, solange das gemessene Bau Schalldämm Maß ca. 10 dB kleiner ist als die Grenzschalldämmung des Prüfstandes.

Somit kann der Weg Ff durch Umstellung der Formel (1) nach der Flankendämmung R_{Ff} berechnet werden (2). Für $R_{Dd+Rest}$ wird die zuvor beschriebene Grenzschalldämmung eingesetzt, R' ist das jeweils gemessene Bauschalldämm Maß des untersuchten Aufbaus.

$$R' = -10 \log (10^{-0,1R_{Dd+Rest}} + 10^{-0,1R_{Ff}}) \quad (1)$$

$$R_{Ff} = -10 \log (10^{-0,1R'} - 10^{-0,1R_{Dd+Rest}}) \quad (2)$$

In Tabelle 1 werden die bewerteten Schalldämm Maße R_w aus dem Wandprüfstand sowie die bewerteten Bau-Schalldämm Maße R'_w aus den Messungen im Leichtbauprüfstand gezeigt.

Tabelle 1: Messwerte der Schalldämm Maße im Wand- und Leichtbauprüfstand

Aufbau	Wandprüfstand; R_w	Leichtbauprüfstand; R'_w
Grundwand	46 dB	64 dB
Grundwand+15 mm Gipsfaser	50 dB	73 dB
Grundwand+60 mm Vorsatzschale einl.	53 dB	76 dB
Grundwand+60 mm Vorsatzschale zweil.	55 dB	~80 dB

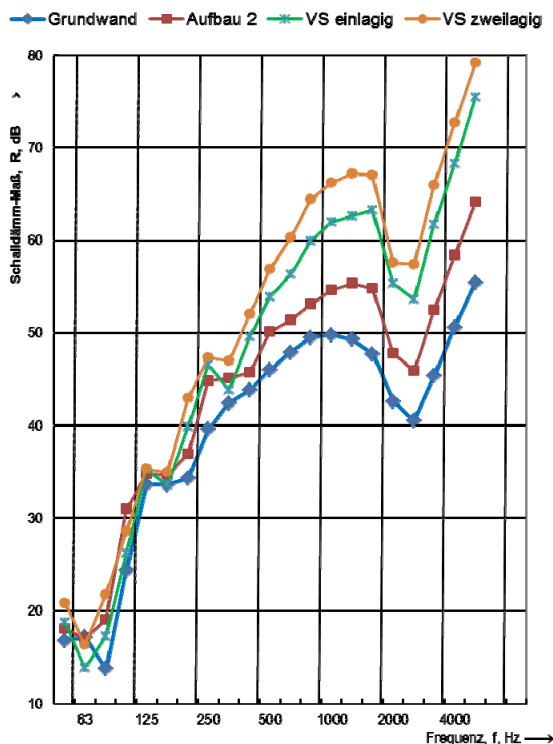


Abbildung 8: Verlauf der Schalldämmung der Aufbauten 1-4 bei direkter Schallübertragung im Wandprüfstand

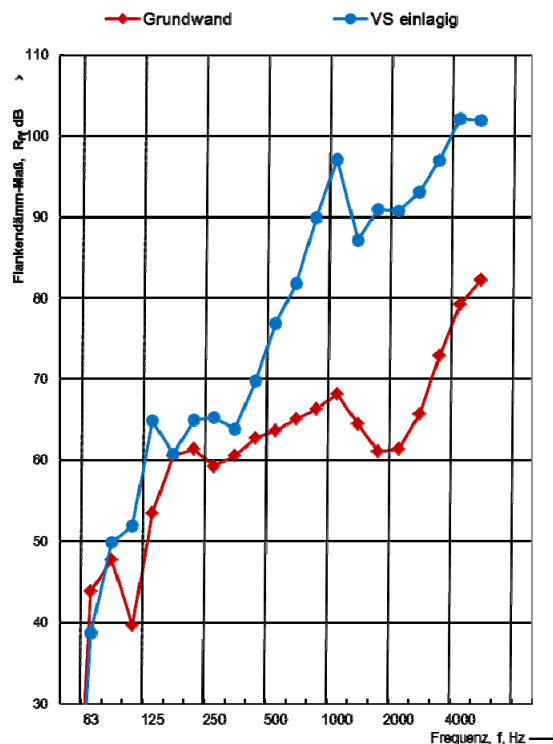


Abbildung 9: Verlauf der Flankenschalldämmung von der Grundwand und der Grundwand mit einlagiger Vorsatzschale bei vertikaler Schallübertragung im Leichtbauprüfstand, $R_{F,w} = 64$ dB für die Grundwand, 77 dB mit einlagiger Vorsatzschale

Die spektralen Verläufe der Schalldämm Maße im Wandprüfstand für die verschiedenen Aufbauten sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Verbesserungen durch die Vorsatzschalen sind deutlich zu erkennen.

Abbildung 9 zeigt die errechnete Flankenschalldämmung für die Grundwand und für die Grundwand mit einlagiger Vorsatzschale. Die errechnete Flankendämmung $R_{F,w} = 64$ dB der Grundwand stimmt mit dem gemessenen Abbildung 9 bewerteten Bau-Schalldämm Maß von $R_w^i = 64$ dB aus Tabelle 1 überein.

Dies bedeutet, dass die komplette Schallenergie über die eine Flanke in den Empfangsraum übertragen wird. Aus den Differenzen der Aufbauten 1-4 können die Verbesserungen im Schalldämm Maß ΔR der einzelnen Konstruktionen errechnet werden.

Vergleich der Verbesserungen

In Formel 3 ist die Berechnung der Flankendämmung R_{ij} nach EN ISO 12354-1 [1] dargestellt. Mit R_i für das Schalldämm Maß des sendeseitigen Bauteils, R_j für das Schalldämm Maß des empfangsseitigen Bauteils. K_{ij} ist das Stoßstellendämm Maß des untersuchten Wand-Deckenknotens. Der letzte Term ist eine Korrekturgröße, die Kopplungslänge der Flanke, bezogen auf die Trennbauteilfläche S_s , hier die Deckenfläche.

Demnach können diese Verbesserungen ΔR sowohl im Senderraum als auch auf der Empfangsraumseite angesetzt werden. Somit müsste die Verbesserung über die Flanke 2x den in den Direktschallmessungen ermittelten Werten entsprechen.

$$R_{ij} = \frac{R_i}{2} + \Delta R_i + \frac{R_j}{2} + \Delta R_j + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_{ij}} \text{ dB} \quad (3)$$

In Abbildung 10 ist der spektrale Verlauf der Verbesserung der einschaligen Vorsatzschale im Wandprüfstand dargestellt. In der Kurve ΔR VS einzeln ist die zusätzliche Verbesserung durch die 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung aus Aufbau 2 herausgerechnet. Somit gibt diese Kurve die Verbesserung der Vorsatzschale auf der Grundwand an. Die theoretisch mögliche Verbesserung $\Delta R_{\text{Theorie}}$ dieser Vorsatzschale kann nach Formel 4 berechnet werden. Dabei ist f_0 die Resonanzfrequenz und D die innere Dämpfung des Materials. Der Formel liegt ein Modell nach (4) zugrunde.

$$\Delta R = \sqrt{\frac{1 + 4D^2 \frac{f^2}{f_0}}{\left(1 - \left(\frac{f^2}{f_0}\right)^2\right)^2 + 4D^2 \frac{f^2}{f_0}}} \quad (4)$$

Diese Berechnung berücksichtigt keine Faktoren aus geometrischen Größen wie modale Einflüsse, sowie die Koinkidenzgrenzfrequenz. Somit ist der stetige Anstieg der Theorie-Kurve zu erklären. Der Einbruch bei ca. 80 Hz von ΔR ist auf Doppelschalen-Resonanz f_0 zurückzuführen.

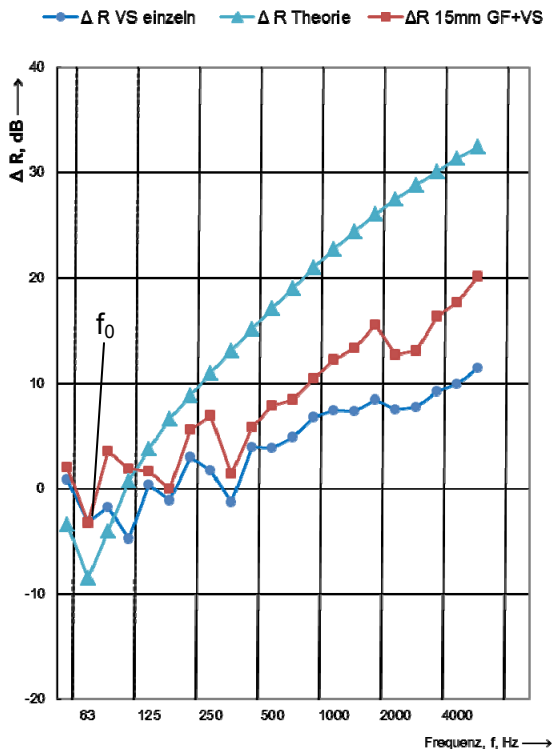


Abbildung 10: Verbesserung ΔR VS einzeln der einlagigen Vorsatzschale auf der Grundwand im Wandprüfstand. Die theoretische Kurve nach (4) zeigt den prinzipiellen Verlauf oberhalb von f_0 . ΔR 15mm GF+VS zeigt die Verbesserung mit der zusätzlichen 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung unter der Vorsatzschale von Aufbau 2.

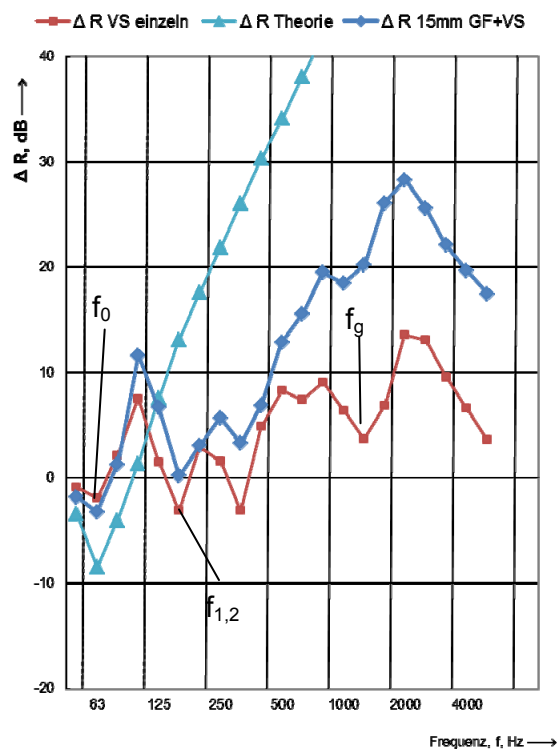


Abbildung 11: Verbesserung ΔR der einlagigen Vorsatzschale auf der Grundwand im Leichtbauprüfstand. Die theoretische Kurve ist doppelt angesetzt da 2 Vorsatzschalen berücksichtigt werden. Wie in der nebenstehenden Grafik zeigt ΔR 15mm GF+VS die Kurve mit der zusätzlichen 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung unter der Vorsatzschale von Aufbau 2.

Abbildung 11 zeigt die Verbesserung ΔR_{Ff} im Leichtbauprüfstand. Deutlich sichtbar der starke Anstieg der Schalldämmung oberhalb der Doppelwandresonanz f_0 , limitiert durch die Schallübertragung über die Ständer sowie Platteneigenresonanzen, z.B. $f_{1,2}$. Die Koinzidenzgrenzfrequenz f_g der OSB-Platte ist ebenfalls deutlich erkennbar.

Der Abfall oberhalb von 2000 Hz ist auf die Koinzidenzgrenzfrequenz f_g der raumseitigen Gipsfaserplatte und die schon sehr hohe Schalldämmung im Bereich der Grenzschalldämmung des Aufbaus in diesen Frequenzen zurückzuführen. Eine Verbesserung ist dann nicht mehr möglich.

Anwendung in der Baupraxis

Im Leichtbauprüfstand wurde die Übertragung nur über eine Flanke untersucht. In der Praxis liegen aber meist 4 Flanken vor. Der vertikale Schallschutzes von Raum zu Raum mit 4 gleichen Flankenübertragungswegen mit und ohne Vorsatzschale wird für im Folgenden für den untersuchten Wandaufbau berechnet. Mit der Formel 1 kann dies berechnet werden.

Die zuvor errechnete Flankendämmung R_{Ff} wird dabei viermal berücksichtigt. Für $R_{Dd+Rest}$ wird die zuvor beschriebene Grenzschalldämmung von $R_w = 85$ dB eingesetzt.

Mit Vorsatzschale ergibt sich

$$R' = -10Lg \left(10^{-0,1 \cdot 85} + 4(10^{-0,1 \cdot 77}) \right) \text{ dB} = 70,8 \text{ dB} \quad (3)$$

und ohne Vorsatzschale

$$R' = -10Lg \left(10^{-0,1 \cdot 85} + 4(10^{-0,1 \cdot 64}) \right) \text{ dB} = 58,0 \text{ dB} \quad (4)$$

In dieser Berechnung (4) ist die 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung, die direkt auf der OSB-Platte der Grundwand montiert ist, mit berücksichtigt. Da dies bei Verwendung einer Vorsatzschale nicht üblich ist kann dieser Aufbau 2 mit -9 dB herausgerechnet werden (siehe Tabelle 2).

Bei der Montage der Vorsatzschale direkt auf die Grundwand ergibt sich daraus ein bewertetes Bau-Schalldämm Maß $R'_{w'} = 70,8 \text{ dB} - 9,0 \text{ dB} = 61,8 \text{ dB}$.

Mit dem Raumvolumen von ca. 63 m^3 und einer Trennbauteilfläche von $22,3 \text{ m}^2$ ergibt sich nach aus SIA 181 [5] eine bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ von

$$D_{nT,w} = R' + 10Lg \left(\frac{V}{S} \right) - 4,9 \text{ dB} = R' + 10Lg \left(\frac{63}{22,3} \right) - 4,9 \text{ dB} = 61,4 \text{ dB} \quad (5)$$

Ohne Vorsatzschalen wird eine bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w} = 57,6 \text{ dB}$ erreicht.

Die Anforderung an den Schutz gegen Luftschall von internen Quellen werden in der SIA 181 [5] als Standard-Schallpegeldifferenz D_i ausgegeben. Der Gesamtwert für die Luftschalldämmung interner Quellen wird mit $D_{i,tot}$ (total) bezeichnet. Es gilt: $D_{i,tot} \geq D_i$

$D_{nT,w}$ und $D_{i,tot}$ stehen im folgendem Zusammenhang.

$$D_{i,tot} = D_{nT,w} + C - C_V \text{ dB} \quad (6)$$

Der Spektrum-Anpassungswert C der Trenndecke beträgt $-4,1 \text{ dB}$. Die Volumenkorrektur C_V ist bei $V < 200 \text{ m}^3 = 0$.

Damit wird ein $D_{i,tot}$ von $61,4 \text{ dB} - 4,1 \text{ dB} = 57,3 \text{ dB}$ erreicht. Dies erfüllt die erhöhten Anforderungen an die Luftschalldämmung bei mässiger Lärmbelastung und hoher Lärmempfindlichkeit nach SIA 181 [5].

Für einen Deckenaufbau mit einem bewertetem Schalldämm Maß von $R_w = 62$ dB ergibt sich mit der einlagig beplankten Vorsatzschale auf der Grundwand und 4 Flankenwegen ein bewertetes Bau-Schalldämm Maß $R'_w = 57,1$ dB.

Daraus ergibt sich eine bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w} = 56,7$ dB.

Für die horizontale Schallübertragung von Raum zu Raum sind in Tabelle 2 die bewerteten Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$ der verschiedenen Aufbauten aufgelistet. Die Werte beziehen sich auf eine Bauteilfläche von $12,2 \text{ m}^2$ und 63 m^3 Raumvolumen und es werden 2 Flanken mit einem Flankendämm Maß $R_{Ff} = 60$ dB berücksichtigt.

Wandaufbau	$D_{nT,w}$
Grundwand	47,9 dB
Grundwand + 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung	51,4 dB
Grundwand + 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung + Vorsatzschale einlagig	53,7 dB
Grundwand + Vorsatzschale einlagig	50,6 dB
Grundwand + 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung + Vorsatzschale zweilagig	55,1 dB
Grundwand + Vorsatzschale zweilagig	52,2 dB

Tabelle 2: Bewertete Standard-Schallpegeldifferenzen der untersuchten Wandaufbauten mit Annahme von zwei Flanken mit einer Flankendämmung von $R_{Ff} = 60$ dB

Der Spektrum-Anpassungswert C der Wandaufbauten liegt bei -3 dB. Die Vorgabe der SIA 181 [5] von 52 dB für mässige Lärmbelastung und den gewählten Randbedingungen wird mit Aufbau 4 erreicht (Vorsatzschale doppelt beplankt und 15 mm Gipsfaserplattenbeplankung auf der Grundwand).

Fazit

Die Verbesserungen durch die einlagigen Vorsatzschalen im Leichtbauprüfstand sind nicht doppelt so groß wie die im Wandprüfstand, in beiden Fällen ist ΔR ca. 3 dB. Bei einer doppelt beplankten Vorsatzschale werden ca. 5 dB im Wandprüfstand, und ca. 7 dB flankierend erreicht. Somit ist es nicht möglich die Verbesserung durch die Vorsatzschalen doppelt zu berücksichtigen wie in EN 12354-1 [1] dargestellt. Bei Aufbau 4 ist das Verhältnis ca. 1:1,4.

Bei vertikaler Schallübertragung und unter Berücksichtigung von 4 Flankenwegen kann der Aufbau mit der einlagigen Vorsatzschale und einem $R_w = 62$ dB für das Trennbauteil die Anforderungen der SIA 181 [5] von 52 dB erfüllen. Bei horizontaler Schallübertragung erfüllt diese Anforderung alleine nur die doppelt beplankte Vorsatzschale (Aufbau 4). Die einlagige Vorsatzschale erfüllt die Anforderungen nur in Verbindung mit der zusätzlichen Beplankungslage von Aufbau 2.

In weiteren Aufbauten werden z. Z. entkoppelte Vorsatzschalen untersucht. Messungen zur Reduzierung der Flankenschallübertragung durch Entkopplungssysteme im Wand-Deckenknoten werden folgen.

Literaturverzeichnis

- [1] EN 12354-1, „Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften -Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen,“ Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2000.
- [2] EN ISO 10140-2, „Akustik- Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand- Teil 2: Messung der Luftschalldämmung,“ Beuth, Berlin, 2010.
- [3] EN ISO 10140-3, „Akustik- Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand- Teil 3: Messung der Trittschalldämmung,“ Beuth, Berlin, 2010.
- [4] A. Rabold, C. Wissel, U. Schanda und J. Hessinger, „Prognose der Schalldämmung von leichten Trennwänden,“ ift, Rosenheim, 2010.
- [5] SIA 181, „Schallschutz im Hochbau,“ Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2006.

