

# Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen im Holzmassivbau

Simon Mecking  
Kurz und Fischer GmbH  
Feldkirchen-Westerham, Deutschland



Tobias Mutter  
Kurz und Fischer GmbH  
Feldkirchen-Westerham, Deutschland



Andreas Rabold  
Technische Hochschule Rosenheim  
und ift Rosenheim  
Rosenheim, Deutschland





# Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen im Holzmassivbau

## 1. Einleitung

Zur Prognose des Einflusses von Vorsatzschalen auf das bewertete Schalldämm-Maß enthalten die Normen DIN 4109-34:2016-07 und DIN EN ISO 12354-1:2017-11 Berechnungsansätze. Diese gelten für frei stehende Konstruktionen ohne mechanische Verbindung zum Grundbauteil und Konstruktionen, bei denen die Vorsatzschale über eine Dämmschicht mit dem Grundbauteil verbunden wird. Die semiempirischen Prognoseansätze basieren auf Datengrundlagen aus dem konventionellen Massivbau. Validierungen zur Anwendung bei Massivholzelementen als Grundbauteile fehlen bislang. Die vorhandene Berechnungsgrundlage weist bei Vorsatzkonstruktionen, welche mit dem Grundbauteil konstruktiv verbundenen sind, eine Lücke auf. Das führt zu Prognoseunsicherheiten in der Planungspraxis.

Dieser Beitrag zeigt durch eine Analyse von Messdaten aus Prüfständen, wo Grenzen vorhandener Prognosen [1, 3] liegen und in welchen Anwendungsbereichen Modifikationen sowie Ergänzungen sinnvoll erscheinen.

## 2. Berechnung

Gemäß [1] berechnet sich die bewertete Verbesserung der Schalldämmung durch frei stehende, gedämmte Vorsatzschalen mit Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenzen  $f_0$  von 30 Hz bis 160 Hz nach dem semiempirischen Zusammenhang in Gleichung (1).

$$\Delta R_w(30 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 160 \text{ Hz}) = \max \begin{cases} 74,4 - 20 \lg f_0 - 0,5 R_w \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dabei ist  $R_w$  das bewertete Schalldämm-Maß des Grundbauteils. Das bewertete Luftschallverbesserungsmaß  $\Delta R_w$  von zweischaligen Bauteilen gegenüber der Schalldämmung des Grundbauteils ist maßgeblich abhängig von der Lage von  $f_0$  nach Gleichung (2). Die Resonanzfrequenz berechnet sich aus den beiden flächenbezogenen Massen der beteiligten Bauteile und der dynamischen Steifigkeit  $s'$  der Zwischenschicht [10]. Gleichung (2) ist die Grundlage für die Berechnungsverfahren zu Vorsatzschalen in [1, 3].

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (2)$$

In [2] wird für die dynamische Steifigkeit einer Luftschicht mit Dämmung ein pauschaler Wert von 0,111 MPa in Gleichung (3) angenommen. Dieser Wert wird in [3] zur Berechnung von  $f_0$  der Vorsatzschalen mit gedämmter Zwischenschicht verwendet. Der längenbezogene Strömungswiderstand eines geeigneten Dämmstoffes liegt im Bereich  $5 \text{ kPa s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa s/m}^2$  [vgl. 1].

Werden zur Befestigung der Vorsatzschalen am Grundbauteil elastische Verbindungsmittel eingesetzt, kann die Gesamtsteifigkeit aus der Summe der Steifigkeit des gedämmten Hohlraumes und der Steifigkeit aus den Verbindungsmitteln nach (3) berechnet werden [vgl. 8].

$$s' = \frac{0,111 \times 10^6}{d} + \begin{cases} 0 & \text{frei stehend} \\ n D & \text{punktförmig elast.} \\ \frac{D}{e} & \text{linienförmig elast.} \end{cases} \quad (3)$$

Dabei ist  $n$  die Anzahl der punktförmigen Verbinder je  $\text{m}^2$ ,  $e$  der Achsabstand der Federstreifen in m und  $D$  bzw.  $D_1$  die Federsteifigkeit des Verbindungsmittels.

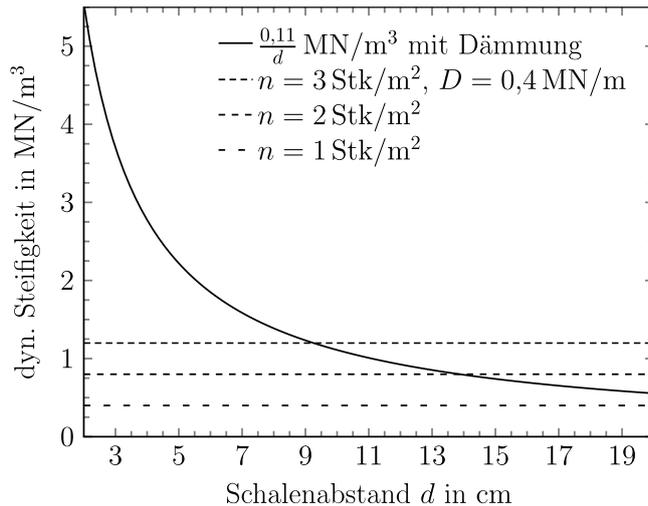


Abbildung 1: Dynamische Steifigkeit der Luftschicht in Abhängigkeit des Schalenabstandes im Vergleich zur *zusätzlichen* dynamischen Steifigkeit aus elastisch gekoppelten, punktförmigen Verbindungsmittel in Abhängigkeit von der Anzahl je Quadratmeter  $n$ . Als exemplarische Federsteifigkeit eines Verbindungsmittels wird  $D = 0,4 \text{ MN/m}$  verwendet.

## 2.1. Kennwerte elastischer Verbindungsmittel

In [8] wurden Federsteifigkeiten von Verbindungsmitteln ermittelt, welche zum Teil auch für die Befestigung von Vorsatzschalen an Wänden eingesetzt werden. Tabelle 1 zeigt Kennwerte basierend auf diesen Ergebnissen, die zur Berechnung von  $f_0$  in (2) und (3) verwendet wurden.

Tabelle 1: Federsteifigkeiten der punktförmigen und linienförmigen Verbindungsmittel [vgl. 5]

Verbindungsmittel	$D$	$D_1$	Einheit
Direktschwingabhänger (DSA)	0,19	-	MN/m
Befestigungs-Clip (BC)	0,35	-	MN/m
Schwingbügel (SB)	0,44	-	MN/m
Federschiene (FS)	-	0,38	MN/m <sup>2</sup>

Abbildung 1 zeigt die Größenordnung der Steifigkeitsanteile aus den elastischen Verbindungsmitteln im Vergleich zum Anteil der dynamischen Steifigkeit der Luftschicht im Hohlraum. Je geringer der Schalenabstand, desto höher ist der Steifigkeitsanteil aus der Hohlraumschicht im Vergleich zum Verbindungsmittelanteil. Daher beeinflussen elastische Verbindungsmittel bei Verwendung an Vorsatzschalen mit einem Schalenabstand von nur wenigen Zentimeter die kombinierte Steifigkeit lediglich geringfügig. Je größer der Schalenabstand, desto entscheidender wird der Anteil aus den elastischen Verbindungsmitteln.

## 2.2. Kennwerte Grundbauteile

Für Massivholzelemente mit und ohne biegeweicher Direktbeplankung kann das bewertete Schalldämm-Maß aus dem empirischen Zusammenhang in Gleichung (4) nach [6] basierend auf Prüfstandmessungen abgeschätzt werden. Die Anwendung von (4) ist beschränkt auf Elementdicken von 0,08 m bis 0,16 m sowie einer flächenbezogenen Masse von  $m'_{\text{tot}} = 35 \text{ kg/m}^2$  bis  $160 \text{ kg/m}^2$ .

$$R_w = 25 \lg \frac{m'_{\text{tot}}}{1 \text{ kg/m}^2} - 7 \quad (4)$$

## 2.3. Starre linienförmige Kopplungen

Nach Heckl [vgl. 5] kann im Spezialfall von Vorsatzschalen mit starren linienförmigen Verbindungen an dicken Einfachwänden mit niedriger Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  das Luftschallverbesserungsmaß oberhalb von  $f_0$  mit Gl. (5) berechnet werden. Der Massenterm mit  $m'_{\text{GW}}$  für die flächenbezogene Masse der Grundwand und  $m'_{\text{VS}}$  für die Vorsatzschale ist gegenüber [5] hier ergänzt [vgl. 9].

$$\Delta R = -10 \lg \left( \left( \frac{f_0}{f} \right)^4 + \frac{2 c_{\text{air}}}{\pi} \frac{1}{e f_c} \left( \frac{m'_{\text{GW}}}{m'_{\text{VS}} + m'_{\text{GW}}} \right)^2 \right) \quad (5)$$

Der Faktor vor dem Massenterm stellt den Transmissionsanteil für die Abstrahlung linienförmiger Brücken dar, welcher von der Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_c$  der Beplankung, dem Ständerabstand  $e$  sowie der Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft  $c_{\text{air}}$  abhängt. Der zweite Summand bestimmt gleichzeitig das theoretisch maximale, bewertete Luftschallverbesserungsmaß in (6) der starren, linienförmig gekoppelten Vorsatzschale. Dies kann bei starrer Kopplung erreicht werden, wenn die Resonanzfrequenz hinreichend tief ist ( $f_0 \ll 100$  Hz), sodass es für die Einzahlwertbildung irrelevant wird.

$$\Delta R_{\text{w,rigid,L}}(f_0 \ll 100 \text{ Hz}) \approx \max \Delta R(f) \approx 10 \lg(e f_c) - 23,4 + 20 \lg \left( \frac{m'_{\text{GW}} + m'_{\text{VS}}}{m'_{\text{GW}}} \right) \quad (6)$$

### 3. Messdaten aus Prüfständen

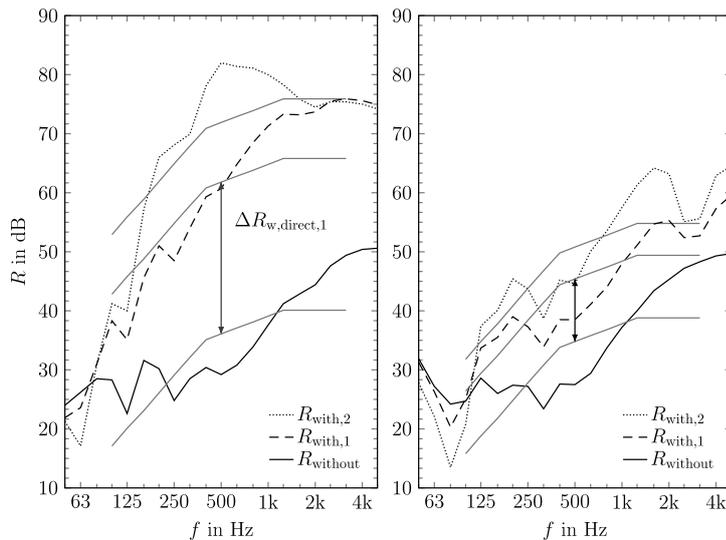
Die Messdaten wurden von Prüfinstituten, den Herstellern von Massivholzelementen und von Trockenbausystemen zur Verfügung gestellt. Die Zusammenstellung und Aufbereitung der Messdaten erfolgten in [7]. Insgesamt liegen 37 Datensätze zu einseitigen Vorsatzschalen und 21 Datensätze zu beidseitigen Vorsatzschalen vor. Dabei liegt jeweils die gemessene Luftschalldämmung des Grundbauteils und des zusammengesetzten Bauteils vor. Für die Analyse in diesem Beitrag sind nur Vorsatzschalen mit Hohlraumdämmung unter Ausschluss von Sonderkonstruktionen berücksichtigt. Damit verbleiben 32 Datensätze von einseitigen und 17 Datensätze zu beidseitigen Vorsatzschalen. Eine Konstruktionsübersicht zu den einseitigen Vorsatzschalen gibt Tabelle 2. Die Grundwände bestehen zu etwa 90 % aus Brettsperrholzelementen (CLT). Jeweils zwei Konstruktionen haben Brettstapel- oder OSB-Grundwände. Nur sehr wenige Grundwände weisen eine Direktbeplankung auf. Die überwiegende Anzahl der Vorsatzschalen sind zweilagig beplankt. Die Vorsatzschalen mit Holzlattung sind alle einlagig.

Tabelle 2: Konstruktionsübersicht zu Datensätzen mit einseitiger Vorsatzschale. Dabei ist  $d_{\text{GW}}$  die Dicke der Grundwand,  $d$  der Schalenabstand,  $m'_{\text{VS}}$  die flächenbezogene Masse der Vorsatzschale,  $n$  die Anzahl der punktförmigen und  $e$  der Abstand der linienförmigen Verbindungsmittel.

Gruppe	$N$	$d_{\text{GW}}$	$d$	$m'_{\text{VS}}$	$n$	$e$
	Stk	mm	mm	kg/m <sup>2</sup>	1/m <sup>2</sup>	cm
frei stehend	10	75–158	55–105	12–38	-	-
punktförmig	11	94–158	27–60	9–36	1–3	-
Federschiene	5	75–100	23–30	11–30	-	50–63
Holzlattung	6	90–135	35–80	9–11	-	62–63

Abbildung 2 zeigt Messdatensätze, bei denen jeweils die Grundwand allein sowie mit einseitiger und zweiseitiger Vorsatzschale gemessen wurde. Insbesondere bei Wänden mit beidseitig frei stehenden Vorsatzschalen ist bei höheren Frequenzen ein Einfluss durch die Maximalschalldämmung des Prüfstandes auf die Messergebnisse zu erwarten. Beide Beispiele zeigen, dass der Einsatz der Vorsatzschalen im mittleren und hochfrequenten Bereich die Luftschalldämmung im Gegensatz zur Grundwand erhöht. Unter 100 Hz führt der Einsatz der Vorsatzschalen aufgrund der Lage von  $f_0$  im Bereich von 63 Hz bis 80 Hz zum Teil zur deutlichen Verschlechterung der Luftschalldämmung. Ein symmetrischer Aufbau von beidseitigen Vorsatzschalen verstärkt diese Verschlechterung im Gegensatz zu einem asymmetrischen Aufbau.

Wie Abbildung 2(b) zeigt, reduziert die Befestigung der Vorsatzschale mit Holzlatten an der Grundwand die zu erwartende Verbesserung deutlich gegenüber der frei stehenden Variante in Abbildung 2(a). Grund hierfür ist der zusätzliche Übertragungsweg über die Holzlattung, welcher bei mittleren und höheren Frequenzen maßgeblich ist.



(a) CLT 94 mm,  
frei stehend,  $d = 85$  mm,  
 $2 \times 12,5$  mm GKB

(b) CLT 100 mm,  
Holzlattung,  $d = 50$  mm,  
 $e = 62$  cm, 12,5 mm GKF

Abbildung 2: Gemessene Schalldämm-Maße ohne, mit einseitiger (Index 1) und mit beidseitiger (2) Vorsatzschale. Hohlraumbedämpfung mit Faserdämmstoff. Die beidseitigen Vorsatzschalen sind symmetrisch aufgebaut.

## 4. Auswertung

Die bewerteten Schalldämm-Maße  $R_w$  können bei der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz in Abbildung 2 abgelesen werden. Die bewerteten Luftschallverbesserungsmaße aus Messungen werden nach [4] entsprechend der Gl. (7) auf eine Dezimalstelle bestimmt.

$$\Delta R_{w,\text{direct}} = R_{w,\text{with}} - R_{w,\text{without}} \quad (7)$$

Zur Analyse der Messdaten sind diese auf  $f_0$  normiert, dabei ist  $f_0$  differenziert nach Gleichung (3) berechnet. Die Abbildung 3(a), (c) und (e) und zeigen, dass die Berechnungen von  $f_0$  in dieser Darstellungsform plausibel erscheinen, da im Bereich von  $f/f_0 = 1$  die Einbrüche der Luftschallverbesserungen der Vorsatzschalen auftreten. Oberhalb von diesem Bereich entspricht der Anstieg  $40 \lg(f/f_0)$ .

Die Regressionsanalyse der bewerteten Luftschallverbesserungsmaße aus den Prüfstandmessungen erfolgt mit Gleichung (8), die auch in den Normen [1, 3] für Konstruktionen mit  $f_0$  von 30 Hz bis 160 Hz zugrunde liegt.

$$\Delta R_{w,\text{direct}} = a - b \lg f_0 - 0,5 R_{w,\text{without}} \quad (8)$$

Die Abbildungen 3(b), (d) und (f) zeigen die Ergebnisse für die Parameter  $a$  und  $b$  dieser Regressionsanalyse. Dazu sind die Einzahlwerte aus den Messergebnissen durch Umstellung von Gleichung (8) auf der  $y$ -Achse in Abhängigkeit der berechneten Resonanzfrequenz  $f_0$  auf der  $x$ -Achse aufgetragen. Im Fall frei stehender Vorsatzschalen in Abbildung 3(b) ist zusätzlich der semiempirische Zusammenhang, welcher in den Normen [1, 3] zur Verfügung steht, eingezeichnet. Der Vergleich der Normvariante mit den Ergebnissen der Regressionsanalyse auf Basis der Vorsatzschalen vor Holzmassivbau-Grundwänden zeigt, dass für  $f_0 < 70$  Hz die Vorsatzschalen im Holzmassivbau mit kleiner werdendem  $f_0$  tendenziell besser werden als nach [1, 3] prognostiziert. Insgesamt zeigen die Regressionsanalysen der Messdaten in Abbildung 3 mit Gleichung (8) hohe Bestimmtheitsmaße auf.

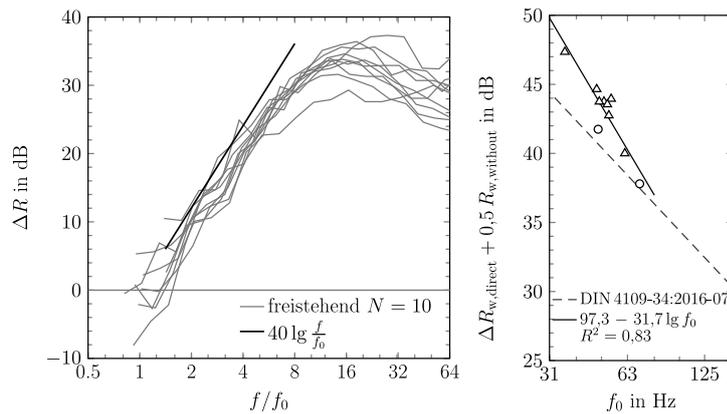
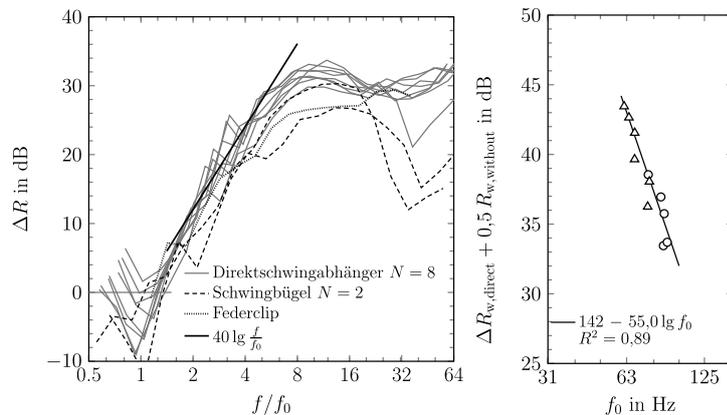
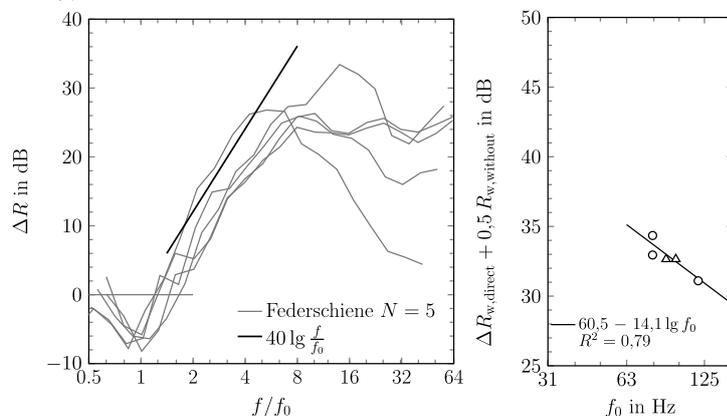
(a) frei stehend vor CLT, OSB  
 $f_0 = 36 \text{ Hz bis } 70 \text{ Hz}$ (b)  $N = 10$ (c) punktförmig vor CLT  
 $f_0 = 61 \text{ Hz bis } 91 \text{ Hz}$ (d)  $N = 11$ (e) Federschiene vor CLT, BST  
 $f_0 = 79 \text{ Hz bis } 118 \text{ Hz}$ (f)  $N = 5$ 

Abbildung 3: *Links*: Luftschallverbesserungsmaße einseitiger Vorsatzschalen mit normierter Frequenzachse. *Rechts*: Semiempirischer Zusammenhang nach Gleichung (8) bei Ausführung mit einfacher (Kreise) oder doppelter Beplankung (Dreiecke). Die dynamische Steifigkeit ist differenziert nach Gleichung (3) berechnet.

Der Zusammenhang der Differenzen zwischen den bewerteten Luftschallverbesserungsmaßen, ermittelt aus den Messergebnissen aus mit Holzlatten befestigten Vorsatzschalen, und den Rechenergebnisse nach Gleichung (6) zeigt nur ein geringes Bestimmtheitsmaß auf (Abbildung 4). Gleichzeitig liegt der Unterschied zwischen Messung und Berechnung im Bereich von  $-2,0 \text{ dB bis } 0,4 \text{ dB}$ . Aus den theoretischen Überlegungen erscheint eine direkte Prognose mit Gleichung (6) als hinreichend geeignet.

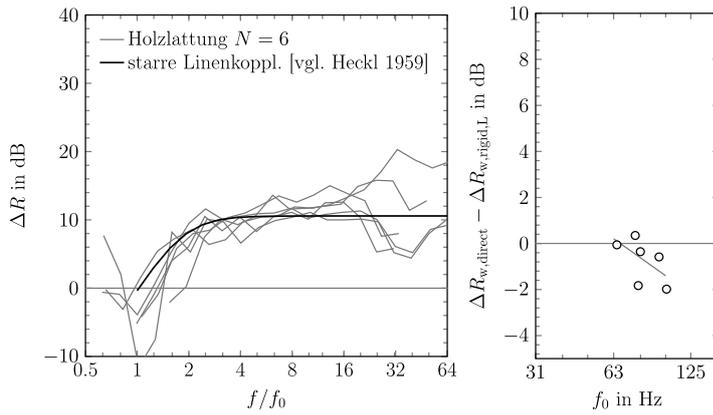
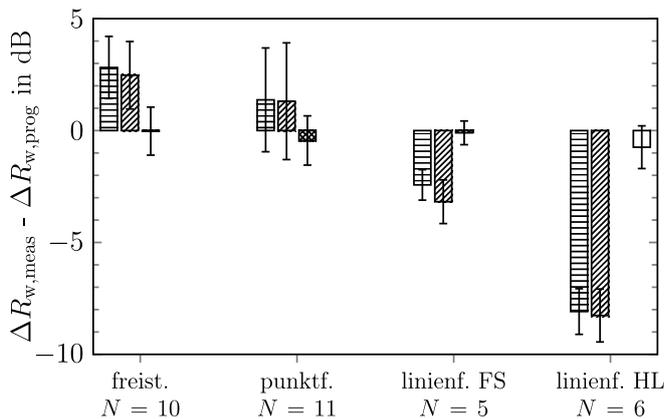
(a) frei stehend vor CLT, BST  
 $f_0 = 65 \text{ Hz bis } 101 \text{ Hz}$ (b)  $a = 14,6; b = 8,0;$   
 $R^2 = 0,33; N = 6$ 

Abbildung 4: (a) Luftschallverbesserungsmaße einseitiger Vorsatzschalen mit normierter Frequenzachse. (b) Zusammenhang zwischen Differenz aus Messung und Prognose von  $\Delta R_w$  nach Gleichung (6) einer starren linienförmigen befestigten einfachen Beplankung und  $f_0$ .

Eine Übersicht zu den mittleren Abweichungen zwischen den messtechnisch ermittelten, bewerteten Luftschallverbesserungsmaßen und den prognostizierten ist in Abbildung 5 dargestellt. Die horizontal schraffierten Balken können als Validierung des Normverfahrens auf Holzmassivbauteile an diesen Beispieldaten verstanden werden. Dabei ist zu beachten, dass die Prognose gemäß [1, 3] nur für frei stehende Vorsatzschalen anzuwenden ist. In dieser Darstellungsform geht allerdings die Information verloren, dass der Unterschied tendenziell abhängig von  $f_0$  ist (vgl. Abbildung 5). Der Unterschied zwischen den Balken mit horizontaler Schraffur und den mit diagonaler Schraffur ist, dass bei den letzteren für die Grundwand das Schalldämm-Maß mithilfe von Gleichung (4) abgeschätzt wurde, was zu geringen Unterschieden führt.

Die Balken mit kreuzweise diagonaler Schraffur ergeben sich bei Verwendung von  $a$  und  $b$  aus Abbildung 5. Dabei ist zu beachten, dass der Unterschied geringer werden muss, da die Grundlage für den Fit und der Vergleich der Messdaten auf denselben Daten beruht. Darum ist vor Verwendung für Prognosen eine Validierung an unabhängigen Daten nötig.



▨  $74,4 - 20 \lg f_0 + 0,5 R_{w, \text{without}, \text{meas}}$  [DIN 4109-34:2016-07]

▩  $74,4 - 20 \lg f_0 + 0,5 R_{w, \text{without}, \text{prog}}$  [DIN 4109-34:2016-07, Huber 2018]

▧  $a - b \lg f_0 + 0,5 R_{w, \text{without}, \text{meas}}$

□ starre Linienkoppl., [vgl. Heckl 1959]

Abbildung 5: Mittelwert und Standardabweichung der Abweichung von Messung zu Prognose des bewerteten Luftschallverbesserungsmaßes einseitiger Vorsatzschalen von Massivholzwänden bei differenzierter Berechnung von  $f_0$ . Zusammenhang aus [1, 3] ist nur für frei stehende Vorsatzschalen gültig. Kurzbezeichnungen: Feder-schiene (FS), Holzlattung (HL).

Bei mit Holzlatten befestigten Vorsatzschalen kann die Abweichung (Balken ohne Schraffur) in Abbildung 5 als Validierung von Gleichung (6) verstanden werden. Die mittlere Abweichung von  $-0,8$  dB bei einer Standardabweichung von  $1,0$  dB (Anzahl  $N = 6$ ) weist auf eine gute Prognoseeignung für Konstruktionen mit  $f_0 < 100$  Hz hin.

## 5. Zusammenfassung

Die Anwendung der Prognose gemäß [1, 3] für gedämmte, frei stehende, einseitige Vorsatzschalen konnte für den Holzmassivbau für Konstruktionen mit  $f_0 < 70$  Hz validiert werden. Dabei zeigte sich, dass die Prognose umso weiter auf der sicheren Seite liegt, desto kleiner  $f_0$  ist.

Eine Erweiterung für Konstruktionen mit elastisch gekoppelten, einseitigen Vorsatzschalen über punktförmige Verbindungen oder Federschienen ist möglich. Dazu kann die Gesamtsteifigkeit zur Bestimmung von  $f_0$  über die Federsteifigkeiten und Anzahl der Verbindungsmittel berechnet werden. Die Regressionsanalyse weist auch für diese Fälle einen anderen semiempirischen Zusammenhang zu  $f_0$  auf als in [1, 3]. Vor einer Anwendung für die Prognose ist eine Validierung an unabhängigen Daten erforderlich, um eine Eignung nachzuweisen.

Für einseitige Vorsatzschalen, die über Holzlatten befestigt sind, konnte die Eignung der Berechnung nach [5] für starre Linienverbindungen mit den vorliegenden Messdaten mit  $f_0 < 100$  Hz validiert werden.

Der Quotient aus der Verbesserung des bewerteten Luftschallverbesserungsmaßes durch eine zweite Vorsatzschale im Vergleich zur Ersten liegt im Bereich von  $1,2$  bis  $1,5$  und damit teilweise niedriger als  $1,5$  aus [1, 3].

## 6. Danksagung

Wir danken der CSTB, Huber & Sohn, dem ift Rosenheim, KLH, Knauf, Müller BBM, Stora-Enso und der TU Graz für das Bereitstellen der Messdaten.

## 7. Literatur

- [1] DIN 4109-34:2016-07, Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen.
- [2] DIN EN 29052-1:1992-08, Bestimmung der dynamischen Steifigkeit – Materialien die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden.
- [3] DIN EN ISO 12354-1:2017-11, Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Luftschalldämmung zwischen Räumen.
- [4] DIN EN ISO 717-1:2021-05, Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen.
- [5] Heckl, Manfred A. 1959. Untersuchungen über Die Luftschalldämmung von Doppelwänden mit Schallbrücken.
- [6] Huber, Anton. 2018. Ermittlung von Planungsdaten für den Schallschutz von Außenwänden in Holzbauweise mit unterschiedlichen Dämmstofftypen. Bachelorarbeit, HS Rosenheim.
- [7] Mutter, Tobias. 2021. Betrachtung von vereinfachten und frequenzabhängigen Modellen zur Berechnung des Luftschallverbesserungsmaßes von Vorsatzkonstruktionen vor Holzmassivbauelementen. Bachelorarbeit, TH Rosenheim.
- [8] Schödel, Benjamin. 2018. Ermittlung schalltechnischer Beurteilungskriterien für Unterdeckenabhängiger und Trittschalldämmplatten. Bachelorarbeit, TH Rosenheim.
- [9] Sharp, Ben H. 1978. Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements. *Noise Control Eng J* 11 (2): 53–63.
- [10] Wintergerst, E. 1932. Theorie der Schalldurchlässigkeit von einfachen und zusammengesetzten Wänden. *Die Schalltechnik* 5 (1).