

# Verbesserung der Schalldämmung von leichten Ständerwänden bei tiefen Frequenzen

Bernd Kaltbeitzel, Lutz Weber, Waldemar Maysenhölder

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, 70569 Stuttgart, E-Mail: bernd.kaltbeitzel@ibp.fraunhofer.de

## Einleitung

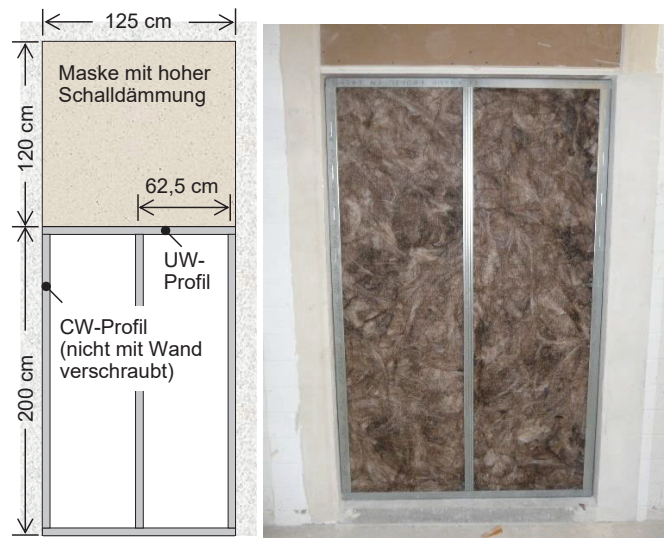
Leichte Ständerwände sind nicht nur im Büro- und Industriebau beliebt, sondern werden zunehmend auch im Wohnungsbau eingesetzt. Das gilt insbesondere für Gipskarton-Metallständerwände als die am weitesten verbreitete Variante dieser Bauweise. Obwohl ihre Masse im Vergleich zu Massivwänden erheblich geringer ist, sind sie im Hinblick auf den baulichen Schallschutz massiven Bauteilen im Normalfall durchaus ebenbürtig. Dennoch haben Wände in Ständerbauweise in akustischer Hinsicht einen schwerwiegenden Nachteil: unterhalb von etwa 250 Hz weisen sie gegenüber akustisch vergleichbaren Massivwänden eine deutlich geringere Schalldämmung auf. Um die Schalldämmung von Ständerwänden bei tiefen Frequenzen wirksam zu verbessern, sind die derzeit bevorzugt eingesetzten akustischen Verbesserungsmaßnahmen wie etwa die Beschwerung der Wandschalen (z. B. durch mehrlagige Beplankung der Ständer), die Erhöhung des Schalenabstandes sowie der Einsatz getrennter Ständer zur Unterbindung der Körperschallübertragung nur bedingt geeignet.

Daher wurden in einem Forschungsvorhaben [1] alternative Maßnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung betrachtet, die vor allem im Bereich tiefer Frequenzen wirksam sind. Es wurde dabei vor allem auf solche Maßnahmen zurückgegriffen, deren Grundprinzip bereits bekannt ist, deren Wirkung in Verbindung mit Ständerwänden aber bislang noch wenig oder gar nicht untersucht wurde.

## Vorgehensweise

### Messungen

Um zu untersuchen, wie sich die Schalldämmung von Ständerwänden bei tiefen Frequenzen am wirksamsten verbessern lässt, wurden die ausgewählten Maßnahmen durch Messungen in einem bauakustischen Prüfstand miteinander verglichen. Da Untersuchungen an Wänden normaler Größe zu aufwändig gewesen wären, wurden die Messungen an einem verkleinerten Wandausschnitt mit einer Fläche von ca. 2,5 m<sup>2</sup> (Abbildung 1) durchgeführt, was die Aussagefähigkeit der ermittelten Ergebnisse jedoch nicht beeinträchtigte. Die Wirkung der Maßnahmen lässt sich am besten beurteilen, wenn man die jeweiligen Schalldämmkurven direkt miteinander vergleicht. Zur besseren Übersicht ist es aber sinnvoll, die Messkurven außerdem in Einzahlangaben zusammenzufassen. Die wichtigste Einzahlangabe für den baulichen Schallschutz ist das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$ . Da es die Schalldämmung bei tiefen Frequenzen jedoch nur unzureichend berücksichtigt,



**Abbildung 1:** Einbau der Messwand in die Prüfföffnung zwischen Send- und Empfangsraum. (rechts: offene Wand mit Mineralwolle im Wandhohlraum).

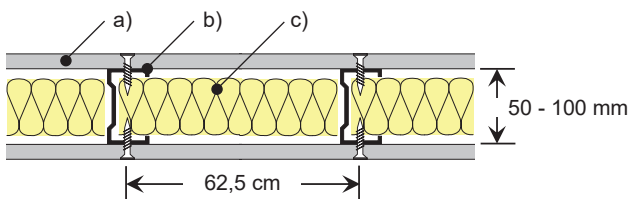
wird zur Beurteilung der untersuchten Maßnahmen neben dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$  zusätzlich auch noch die Summe aus  $R_w$  und dem Spektrum-Anpassungswert für tieffrequente Geräusche  $C_{tr,50-5000}$  herangezogen. Die Messung der Schalldämmung der untersuchten Wände erfolgte nach DIN EN ISO 10140 mit einem bewegten Lautsprecher. Da das Schallfeld in den Messräumen bei tiefen Frequenzen sehr ungleichmäßig verteilt ist, wurden nach Voruntersuchungen geeignete Mikrofonpositionen festgelegt. Letztendlich wurden für die Messung des Schallpegels im Send- und Empfangsraum jeweils sechs feste Mikrofonpositionen verwendet, wobei der über die verschiedenen Positionen gemittelte Schallpegel den mittleren Schallpegel im Raum optimal repräsentierte.

### Ausgewählte Maßnahmen

Im ersten Untersuchungsabschnitt wurden zunächst sechs unterschiedliche Maßnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung bei tiefen Frequenzen ausgewählt: Elementierung der Beplankung, Resonanzabsorber im Wandhohlraum, flächige Bedämpfung der Wandschalen mit Bitumenbelägen, Bedämpfung der Wandschalen mit Schwingungstilgern, Beschwerung der Beplankung durch periodisch angeordnete Linienmassen (streifenförmige Zusatzmassen) und Beschwerung der Beplankung durch ein periodisches Gitter von Punktmassen (rechteckige Zusatzmassen). Die ersten fünf Maßnahmen brachten, wie teilweise zu erwarten, bei tiefen Frequenzen nicht den gewünschten Effekt und wurden daher nicht weiterverfolgt. Sie werden deshalb hier auch nicht weiter beschrieben. Die Maßnahme mit den höchsten Erfolgsaussichten bildete somit die periodische Beschwerung der Beplankung mit Punktmassen.

**Grundaufbau**

Mit Ausnahme der Elementierung der Beplankung und der in den Wandhohlraum eingestellten Resonanzabsorber gingen alle anderen untersuchten Maßnahmen mit einer Beschwerung der Wand einher. Daher bot es sich an, als Vergleichsmaßstab für die Wirkung der untersuchten Verbesserungsmaßnahmen die Schalldämmung einer herkömmlichen Ständerwand (Abbildung 2) mit gleicher flächenbezogener Masse heranzuziehen. Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen, wurden die Maßnahmen so ausgelegt, dass ihre Gesamtmasse pro Flächeneinheit einem ganzzahligen Vielfachen von 8,5 kg/m<sup>2</sup> (das ist die flächenbezogene Masse der verwendeten Gipskartonplatten) entsprach. So lässt sich auf einfache Weise entscheiden, ob es günstiger ist, die untersuchte Maßnahme einzusetzen, oder ob eine herkömmliche Wand mit mehrlagiger Beplankung – bei insgesamt gleicher Masse – die bessere Lösung darstellt.



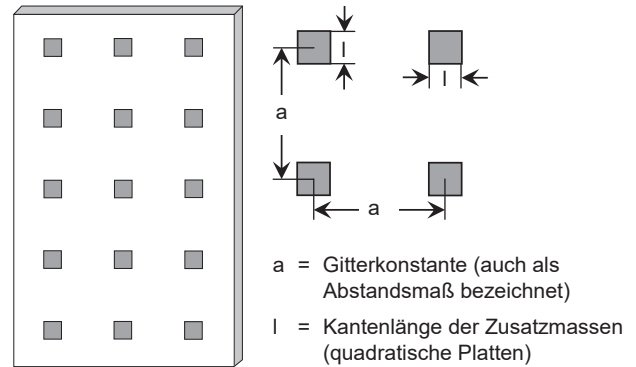
- a) Gipskartonplatte (d = 12,5 mm, m'' ≅ 8,5 kg/m<sup>2</sup>)
- b) CW-Profil (Stahlblech, d ≅ 0,6 mm)
- c) Mineralwolle-Trennwandplatte (längenbezogener Strömungswiderstand r ≥ 5 kNs/m<sup>4</sup>)

**Abbildung 2:** Aufbau der untersuchten Ständerwand. Die Wand wies einen Schalenabstand von 75 mm und eine Fläche von B x H = 125 cm x 200 cm auf.

**Periodische Beschwerung – Theorie**

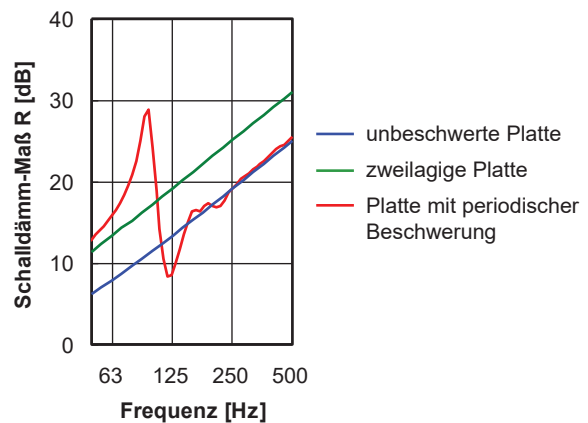
Durch die Beschwerung plattenförmiger Bauteile mit kleinflächigen Zusatzmassen, die auf einem periodischen Gitter angeordnet sind, lässt sich in einem begrenzten Frequenzbereich eine starke Verbesserung der Schalldämmung erreichen. Die theoretischen Grundlagen für diesen Effekt sind zwar schon längere Zeit bekannt [2], bislang fehlte es jedoch – abgesehen von Modellmessungen an Folienkonstruktionen – an der Umsetzung in die bauliche Praxis. Bei der periodischen Beschwerung einer Platte (Abbildung 3) bilden die Zusatzmassen und die dazwischenliegenden Plattenbereiche ein zweidimensionales Masse-Feder-System. Im Resonanzfall schwingen beschwerte und unbeschwerte Bereiche mit einer Phasenverschiebung von 180°. Das hat zur Folge, dass sich bei Mittelung der Schwingungsgeschwindigkeit über die gesamte Bauteiloberfläche im günstigsten Fall ein Wert von Null ergibt, weil sich die von den einzelnen Teilflächen erzeugten Schallanteile auslöschen. Da kein Schall abgestrahlt wird, wird die Schalldämmung – zumindest theoretisch – unendlich hoch. In der Praxis wird das Dämmungsmaximum aufgrund der in allen Bauteilen vorhandenen Dämpfung (innere Verluste des Plattenmaterials und Energieableitung an den Bauteilrändern) allerdings erheblich abgeschwächt. Oberhalb der Resonanz schwingen die Zusatzmassen mit zunehmender Frequenz im Verhältnis zur restlichen Platte immer weniger stark. Die Bewegung der

Zusatzmassen reicht dann nicht mehr aus, um die Schallabstrahlung der unbeschwerten Bereiche zu kompensieren, so dass die Schalldämmkurve ein Minimum durchläuft. Steigt die Frequenz noch weiter an, bewegen sich die Zusatzmassen schließlich praktisch gar nicht mehr. Die Schallübertragung erfolgt dann nur noch über die zwischen den Massen befindlichen Plattenbereiche, weshalb sich bei hohen Frequenzen in etwa die gleiche Schalldämmung wie für die unbeschwerte Platte ergibt (Abbildung 4).



**Abbildung 3:** Beispiel für die periodische Beschwerung eines plattenförmigen Bauteils mit Zusatzmassen in Form quadratischer Platten.

Die akustischen Eigenschaften von periodischen Beschwerungen hängen – neben Masse und Biegesteife der unbeschwerten Platte – vor allem von drei Parametern ab: dem Abstand a zwischen den einzelnen Massen sowie ihrem Gewicht m<sup>+</sup> und ihren Abmessungen l (Abbildung 3). Für die Gesamtmasse der Beschwerung je Flächeneinheit ergibt sich die Beziehung m''<sub>+</sub> = m<sup>+</sup> / a<sup>2</sup>.



**Abbildung 4:** Beispiel für die Schalldämmung einer periodisch beschwerten Gipskartonplatte. Die Kurven wurden mit dem Programm HYPERAKUS [3] für diffusen Schalleinfall berechnet. Die Beschwerung bestand aus 10 cm x 10 cm großen Platten mit einem Gewicht von 1,4 kg, die mit 40 cm Abstand auf einem quadratischen Gitter angeordnet waren. Die Gesamtmasse der Beschwerung betrug 8,75 kg/m<sup>2</sup> und war damit etwa ebenso groß wie die flächenbezogene Masse der unbeschwerten Platte.

Die Kenntnis der entsprechenden Werte bildet die wichtigste Voraussetzung, um die Schalldämmung periodisch beschwerter Platten zu berechnen. Eine Erhöhung des Rastermaßes oder der Masse verschiebt das Maximum der Schalldämmung zu tiefen Frequenzen. Eine größere Fläche der Massen bei gleichem Rastermaß schwächt den Effekt

insgesamt ab, weshalb die Fläche der Massen möglichst klein sein sollte.

### Periodische Beschwerung - Konstruktionen

Da die periodische Beschwerung am besten wirkt, wenn die Zusatzmassen kleine Abmessungen und ein hohes Gewicht aufweisen, wurden bei den meisten Messungen Stahlplatten zur Beschwerung der Wände verwendet. Alle periodischen Beschwerungen, an denen Messungen durchgeführt wurden, waren an einschaligen Platten aus Gipskarton befestigt. Die beschwerten Platten dienten entweder selbst als Prüfobjekt oder wurden in unterschiedlicher Kombination zur ein- oder beidseitigen Beplankung von Ständerwänden verwendet. Der Grundaufbau (d. h. Gipskartonplatte mit periodischer Beschwerung) war jedoch immer gleich und ist in Tab. 1 für die verschiedenen Varianten der Beschwerung dargestellt:

**Tabelle 1:** Aufbau der untersuchten periodischen Beschwerungen (alle Maße in mm). Bei Silentboard handelt es sich um spezielle Gipskartonplatten mit einer erhöhten Rohdichte von ca. 1400 kg/m<sup>3</sup>.

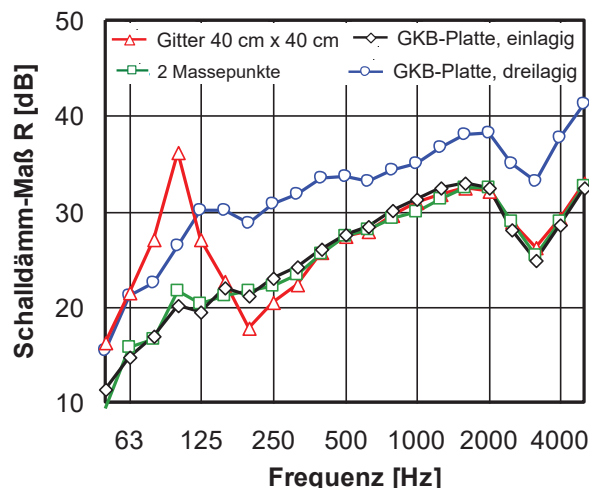
Nr.	Gitter-konst. a	Material	Kanten-länge l	m <sub>+</sub> [kg]	m'' <sub>+</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Kontakt-fläche
1	400	Stahl	100	1,40	8,42	100 x 100
2	400	Stahl	100	2,81	16,85	100 x 100
3	300	Stahl	100	0,78	7,49	100 x 100
4	300	Stahl	100	1,56	14,98	100 x 100
5	400	Silentboard	200	1,40	8,40	200 x 200
6	400	Silentboard	200	1,40	8,40	50 x 50

Normalerweise wurden die Zusatzmassen vollflächig starr auf die Vorderseite der Gipskartonplatten aufgeklebt, so dass die Kontaktfläche zwischen Masse und Plattenoberfläche (letzte Spalte in obiger Tabelle) mit der Fläche der Massen übereinstimmte. Eine Ausnahme hiervon bildet nur die in der untersten Tabellenzeile beschriebene Beschwerung, bei der die Zusatzmassen nur in ihrem zentralen Bereich Kontakt mit der Plattenoberfläche hatten.

### Messergebnisse

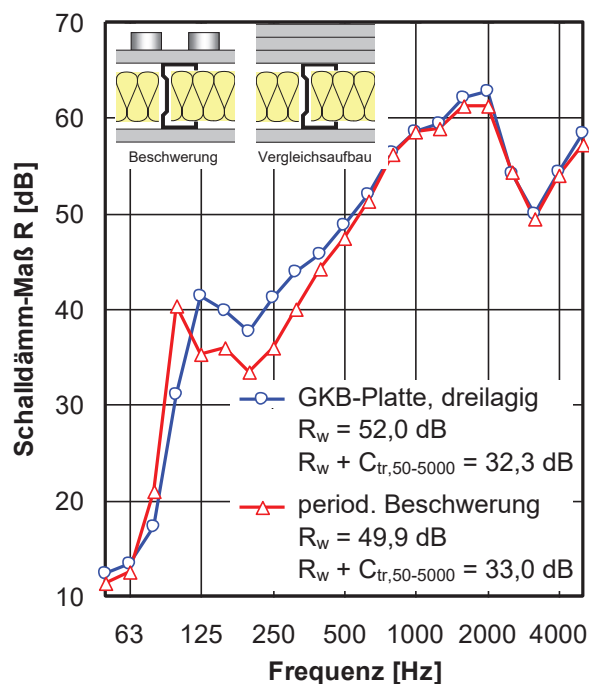
Es wurden zunächst einzelne Gipskartonplatten betrachtet, bevor die Untersuchungen im nächsten Schritt auf Ständerwände ausgedehnt wurden. Als Grundbauteil diente immer eine einschalige Platte aus Gipskarton, die so beschwert wurde, dass das Gesamtgewicht der Beschwerung in etwa der Masse der unbeschwerten Platte (im vorliegenden Fall 8,5 kg/m<sup>2</sup>) bzw. einem ganzzahligen Vielfachen davon entsprach. Auf diese Weise wurde erreicht, dass stets ein geeigneter Vergleichswert für die akustische Wirkung der Beschwerung zur Verfügung stand, indem die gemessenen Werte mit dem Schalldämm-Maß einer ein-, zwei- oder dreilagigen Wandschale aus Gipskartonplatten verglichen wurden. Bei den Messungen an einzelnen Platten mit periodischer Beschwerung konnte nachgewiesen werden, dass das akustische Prinzip der Maßnahme – entsprechend der Theorie – auch in Verbindung mit Gipskartonplatten funktioniert. Ein Beispiel hierfür ist die Messung an der Beschwerung Nr. 2 aus Tabelle 1, welche in Abbildung 5 (rote Kurve) dargestellt ist. Hier sind die von der Theorie vorhergesagten Effekte deutlich zu sehen und mit den

Berechnungen in Abbildung 4 im Grundsatz vergleichbar. Zusätzlich ist noch eine Messung dargestellt, bei welcher die zusätzliche Masse in zwei Punkten konzentriert wurde (grüne Kurve), wodurch die Wirkung im betrachteten Frequenzbereich vollständig verloren geht. Die unbeschwerte Platte (8,5 kg/m<sup>2</sup>, schwarze Kurve) und die dreilagige Platte (mit gleicher Masse wie die beschwerte Platte, blaue Kurve) sind zum Vergleich mit eingezeichnet.



**Abbildung 5:** Schalldämmung einer periodisch beschwerten Gipskartonplatte (rote Kurve). Die Gesamtmasse der Beschwerung betrug etwa 17 kg/m<sup>2</sup>.

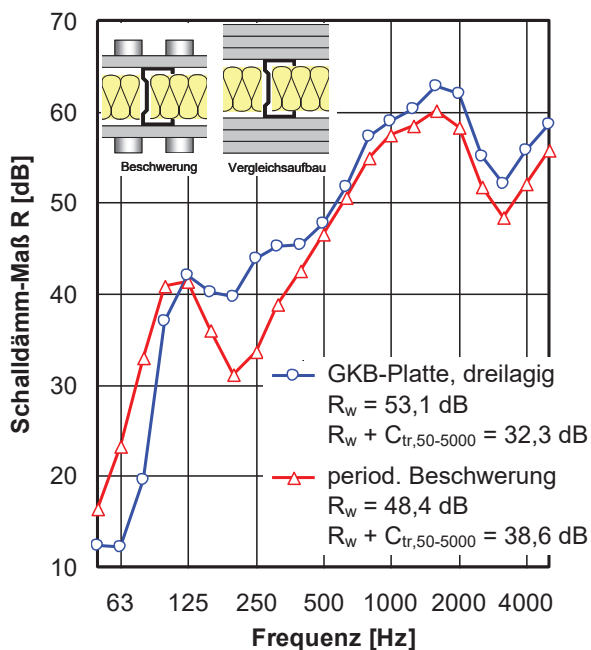
In Abbildung 6 ist das Ergebnis der gleichen Platte bei Einbau in eine Ständerwand dargestellt, wobei zum Vergleich eine herkömmliche Ständerwand mit gleicher Masse der Beplankung eingezeichnet ist. Bei einer Beschwerung mit einer Masse von 17 kg/m<sup>2</sup> ist der akustische Einfluss der Beschwerung auch hier deutlich erkennbar.



**Abbildung 6:** Schalldämmung einer einseitig periodisch beschwerten Gipskarton-Ständerwand. Die Beschwerung bestand aus Stahlplatten mit einer Gesamtmasse von etwa 17 kg/m<sup>2</sup>. Das Rastermaß des Gitters betrug 40 cm.

Ähnlich wie bei einschaligen Platten äußert er sich auch bei Ständerwänden in einer Verbesserung der Schalldämmung bei tiefen und in einer Verschlechterung bei mittleren und hohen Frequenzen. Die Verbesserung bei tiefen Frequenzen kommt auch in den zugehörigen Einzahlangaben zum Ausdruck: während sich  $R_w$  um etwa 2 dB vermindert, steigt  $R_w + C_{tr,50-5000}$  geringfügig an. Obgleich der Anstieg nur 0,7 dB beträgt, stellt dies doch ein Merkmal für die verbesserte Schallschutzwirkung bei tieffrequenten Geräuschen dar.

Wird auch die andere Seite der Wand mit einer periodischen Beschwerung versehen, so tritt eine weitere Verstärkung der akustischen Wirkung ein (Abbildung 7). Schon mit einer zusätzlichen Masse von nur  $8,5 \text{ kg/m}^2$  (auf jeder Seite der Wand) verbessert sich die Schalldämmung beidseitig beschwerter Ständerwände bei tiefen Frequenzen beträchtlich. Mit  $17 \text{ kg/m}^2$  wird eine sehr gute Verbesserung erreicht. Bezogen auf eine herkömmliche Ständerwand mit gleicher Masse bewirkt die beidseitige Beschwerung mit je  $17 \text{ kg/m}^2$  eine Erhöhung von  $R_w + C_{tr,50-5000}$  um mehr als 6 dB. Zwar vermindert sich  $R_w$  gleichzeitig um fast 5 dB, was wegen der vergleichsweise hohen Schalldämmung im Ausgangszustand in der Praxis aber zumeist nicht allzu problematisch ist. Im Vergleich zu einseitig beschwerten Wänden ist die Verschlechterung der Schalldämmung im mittleren und hohen Frequenzbereich bei beidseitiger Beschwerung ebenfalls merklich stärker ausgeprägt. Der Grund dafür besteht darin, dass beide Seiten der Wand nicht nur dem positiven, sondern auch dem negativen akustischen Einfluss der gleichen periodischen Beschwerung unterliegen.



**Abbildung 7:** Schalldämmung einer beidseitig periodisch beschwerten Gipskarton-Ständerwand (gleichartige Beschwerung beider Wandschalen). Die Beschwerung bestand aus Stahlplatten mit einer Gesamtmasse von jeweils etwa  $17 \text{ kg/m}^2$ . Das Rastermaß des Gitters betrug  $40 \text{ cm}$ .

Bei Verwendung von  $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$  großen Silent-board-Platten als Beschwerung bei gleichzeitig reduzierter Kontaktfläche von  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  (mittels dünner Kartonsstücke als Befestigungselement und Abstandshalter) ergaben

sich vergleichbare Ergebnisse wie mit den Stahlplatten. Die teilflächige Befestigung der Zusatzmassen stellt somit eine praxistaugliche Alternative zum Einsatz von Stahlplatten dar. Außerdem konnten die Massen auch erfolgreich mit gleichem Ergebnis im Wandhohlraum untergebracht werden. Detaillierte Ergebnisse hierzu sind dem Forschungsbericht [1] zu entnehmen.

## Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Vergleich zu herkömmlichen Ständerwänden mit gleicher flächenbezogener Masse bewirkt die periodische Beschwerung der Wandschalen eine Verbesserung der Schalldämmung bei tiefen und eine Verschlechterung bei mittleren und hohen Frequenzen. Dies führt zu einer Absenkung des bewerteten Schalldämm-Maßes bei gleichzeitiger Erhöhung von  $R_w + C_{tr,50-5000}$ , wobei die Zu- und Abnahme bei den untersuchten Wänden jeweils bis zu etwa 5 dB betrug. Die Verminderung von  $R_w$  stellt dabei einen unerwünschten, aber unvermeidlichen Nebeneffekt dar, der wegen der verhältnismäßig hohen Schalldämmung der beschwerten Wände in der Praxis jedoch zumeist noch akzeptabel ist. Dennoch ist die herkömmliche Vorgehensweise zur Verbesserung der Schalldämmung von Ständerwänden durch das Aufbringen zusätzlicher Beplankungslagen im normalen Büro- und Wohnungsbau in aller Regel als akustisch günstigste Lösung anzusehen, während die periodische Beschwerung eher speziellen Anwendungen vorbehalten ist. Für den praktischen Einsatz müsste außerdem zuerst noch ein Verfahren zur industriellen Fertigung periodisch beschwerter Beplankungsplatten entwickelt werden.

## Offene Fragen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden nur Ständerwände mit Einfachständern untersucht. Wie sich die Effekte der periodischen Beschwerung bei Wänden mit getrennten Ständern auswirken, ist derzeit noch offen. Außerdem wurden bislang nur Messungen an Wänden mit reduzierter Bauteilfläche durchgeführt. Theoretisch ist bei getrennten Ständern eine verstärkte Wirkung der periodischen Beschwerung zu erwarten und Gleiches gilt im Prinzip auch bei einer Vergrößerung der Wandfläche. Weitere mögliche Konstruktionsvarianten periodischer Beschwerungen, die bislang noch nicht untersucht wurden, sind unterschiedliche Raster bzw. Massen auf Vorder- und Rückseite der Wand.

## Literatur

- [1] Weber, L.; Kaltbeitzel, B.; Maysenhölder, W.: Verbesserung der Schalldämmung von leichten Ständerwänden bei tiefen Frequenzen. Bericht B-BA 2/2017 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP), März 2018.
- [2] Kurtze, G.: Light-weight walls with high transmission loss. *Acustica*, Vol. 9 (1959), S. 441 - 445.
- [3] Maysenhölder, W.: HYPERAKUS - ein Werkzeug zur Untersuchung der Schalldämmung von periodisch strukturierten Wänden. IBP-Mitteilung 330 (1998).