

Schalldämmung von Massivwänden mit Vormauerschale – Labormessungen und DIN 4109-32

Martin Schneider¹, Andreas Ruff¹, Berndt Zeitler¹, Martin Schäfers²

¹Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart,

²Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover

E-Mail: martin.schneider@hft-stuttgart.de, andreas.ruff@hft-stuttgart.de, berndt.zeiler@hft-stuttgart.de, schaefers@kalksandstein.de

Einleitung

Im Juli 2016 ist die DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau als Gesamtpaket neu erschienen. Im Teil 2, der im Januar 2018 aktualisiert wurde [1] werden die Rechenverfahren beschrieben, während in den Teilen 31 bis 36 der DIN 4109, dem sogenannten Bauteilkatalog, die schalltechnischen Daten von Baukonstruktionen hinterlegt sind. Diese Bauteildaten stammen zum einen direkt aus Messungen in Prüfständen, zum anderen wurden die Daten aus anderen Dokumenten (z.B. DIN EN ISO 12354 Reihe sowie dem Beiblatt 1 zu DIN 4109-1989) übernommen.

Das bewertete Schalldämm-Maß von massiven Außenwänden aus Mauerwerk mit einer Vormauer- oder Verblendschale wird in DIN 4109-32 [2] entsprechend den Angaben in Beiblatt 1 zu DIN 4109 (von 1989) aus der flächenbezogenen Masse der beiden Wandschalen unter Berücksichtigung eines Zuschlages von 5 bzw. 8 dB ermittelt. Eine Übernahme dieser Werte erfolgte, da zum Zeitpunkt der Normerstellung keine neueren Messdaten für derartige Konstruktionen bekannt waren. Allerdings haben sich gegenüber den 1980er Jahren die Konstruktionen aufgrund gestiegener Anforderungen an den Wärmeschutz deutlich verändert. Die Dämmstoffdicke und damit der Abstand zwischen Hintermauerung und Verblendschale stiegen von ca. 50 mm auf heute übliche 200 mm an. An der HFT Stuttgart wurde im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens [3] eine solche Konstruktion im Wandprüfstand eingebaut und schalltechnisch untersucht. Neben den klassischen Messungen zur Bauakustik (Schalldämm-Maß, Körperschall-Nachhallzeit) wurden auch weitergehende Untersuchungen zum Schwingungsverhalten dieser Konstruktion durchgeführt.

In dem Beitrag werden erste Ergebnisse des Forschungsvorhabens vorgestellt und es wird ein Ausblick auf geplante Untersuchungen gegeben.

Versuchsaufbau

Im Rahmen des Projektes wurde eine erste Wandkonstruktion im Prüfstand eingebaut und schalltechnisch untersucht (Abbildung 1). Die Hintermauerung (HM) bestand dabei aus 175 mm Kalksandsteinmauerwerk der Rohdichteklasse 2.0 mit der Bezeichnung KS –R P 20 – 2,0 – 6 DF (175). Zwischen der Hintermauerung und der Verblendschale (VS) wurde eine 200 mm dicke Mineralwolle-Wärmedämmung (Anwendungsgebiet nach DIN 4108-10:WZ) eingebaut. Die Verblendschale bestand aus 115 mm Kalksandstein-Verblendmauerwerk mit der

Bezeichnung KS Vb 12 – 1,8 – 2 DF und wurde über 5 Dübelanker je m² mit der Hintermauerung verbunden. Die Anker waren 4 mm dicke Draht-Anker, die in der Hintermauerschale eingedübelt und in den Mörtel der Verblendschale eingelegt wurden. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde die Verbindung zwischen HM und VS durch zusätzliche Anker (insgesamt 9 je m²) sowie durch vier Gewindestangen verstärkt. Durch die vier Gewindestangen sollte eine Konsole, die z.B. oberhalb von Fensterstürzen eingesetzt wird, simuliert werden.



Abbildung 1: Einbau der Verblendschale in den Wandprüfstand

Modalanalyse

Für die an der Grundwand durchgeführte experimentelle Modalanalyse wurde auf der Wand ein Raster in Abständen von 21 cm aufgezeichnet. An den Rändern waren die Rasterabstände etwas kleiner. Daraus ergaben sich insgesamt 294 Messpunkte, an denen die Wand mittels Impulshammer zu Biegeschwingungen angeregt wurde. Ein Körperschall-aufnehmer befand sich dabei auf einer Höhe von 0,56 m und 2,39 m vom linken Wandrand entfernt. Zur Durchführung der experimentellen Modalanalyse auf der Wand mit Verblendschale wurden auf der Verblendschale zusätzlich zu den auf der Grundwand vorhandenen Messpunkten weitere 294 Messpunkte (Anregepunkte) auf der gegenüberliegenden Seite aufgezeichnet.

Der zweite Aufnehmer wurde auf der Verblendschale gegenüber dem ersten Aufnehmer angebracht. Aufgrund geltender Reziprozität im Übertragungssystem können zur Vereinfachung die Aufnehmer- und Anregepositionen

gedanklich vertauscht werden. Daraus ergibt sich für die experimentelle Modalanalyse der Wand jeweils eine Anregung auf der Verblendschale und eine auf der Hintermauerschale.

Die Auswertung der gemessenen Übertragungsfunktionen im Zuge der experimentellen Modalanalyse, wurden mit der Software „Me’ScopeVES“ durchgeführt. Die dabei ermittelten Eigenmoden, sind für die Hintermauerung bis 150 Hz dargestellt. Ebenfalls sind hier die Eigenmoden der Hintermauerung zu sehen, welche aus den Messungen vom Wandaufbau mit Verblendschale bestimmt wurden. Es ist anhand der Eigenschwingungsformen (siehe Abbildung 2) zu beobachten, dass die Wand im Prüfstand sich anders als eine ideale „gelenkig“ gelagerte Platte verhält. Die

angeschlossenen Bauteile schwingen bei tiefen Frequenzen mit. Die erste Biegeeigenmode, liegt bei der zweischaligen Wand bei 32 Hz. Die Eigenschwingungsformen der Hintermauerung mit Verblendschale liefern gegenüber nur der Hintermauerung bei den ersten beiden Moden die gleichen Schwingungsbilder. Allerdings liegen die ermittelten Eigenfrequenzen der Hintermauerung (HM) mit Verblendschale (VS) tiefer (Mode 1,1: HM: $f_{1,1} = 43$ Hz - HM+VS: $f_{1,1} = 32$ Hz; Mode 2,1: HM: $f_{2,1} = 65$ Hz - HM+VS: $f_{2,1} = 48$ Hz). In diesem Frequenzbereich sind die Schwingungen der Verblendschale und der Hintermauerung in Phase und die beiden Schalen scheinen durch die Steifigkeit der Dämmschicht (in Verbindung mit der Luft und den Drahtankern) starr gekoppelt zu sein. .

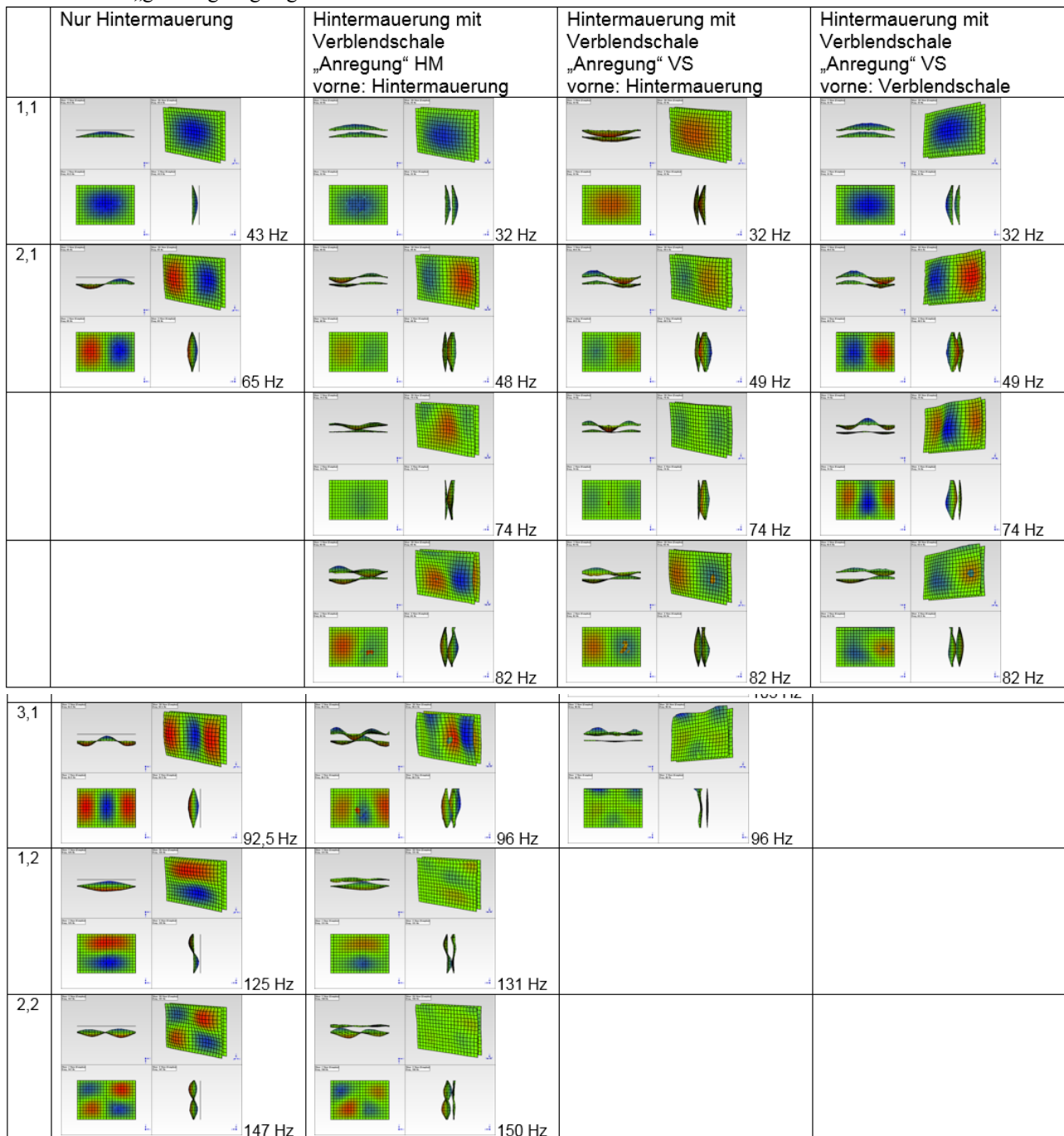


Abbildung 2: Schwingungsbilder mit den entsprechenden Frequenzen (in Hz) für die untersuchte Wandkonstruktion ohne und mit Verblendschale

Im Frequenzbereich zwischen 50 und 150 Hz scheinen die Schwingungsformen der beiden Schalen zwar immer noch gekoppelt zu sein, allerdings schwingen die beiden Schalen nun nicht mehr in Phase, sondern nahezu gegenphasig. Dabei weist die nicht „angeregte Schale“ mit zunehmender Frequenz immer geringere Amplituden auf.

Bei Frequenzen oberhalb 150 Hz werden die beiden Wandschalen immer mehr entkoppelt und beide Schalen schwingen mit nur geringer Rückwirkung fast unabhängig von der jeweils anderen Schale. Die in Abbildung 3 dargestellte mittlere Übertragungsfunktion entspricht der energetischen Mittelung von den auf einem Wandbauteil ermittelten Übertragungsfunktionen zwischen der an einem Referenzpunkt gemessenen Beschleunigung und der auf dem jeweiligen Rasterpunkt auf dem Bauteil anregenden Kraft. Die Übertragungsfunktion kann z.B. zur Ermittlung der Eigenmoden verwendet werden. In der hier dargestellten Einheit „m/s²N“ oder 1/kg beschreibt die Übertragungsfunktion die Anregbarkeit einer mechanisch schwingenden Struktur. Hohe Werte beschreiben dabei eine leichte Anregbarkeit der Struktur, z.B. im Bereich von Resonanzen oder Eigenmoden.

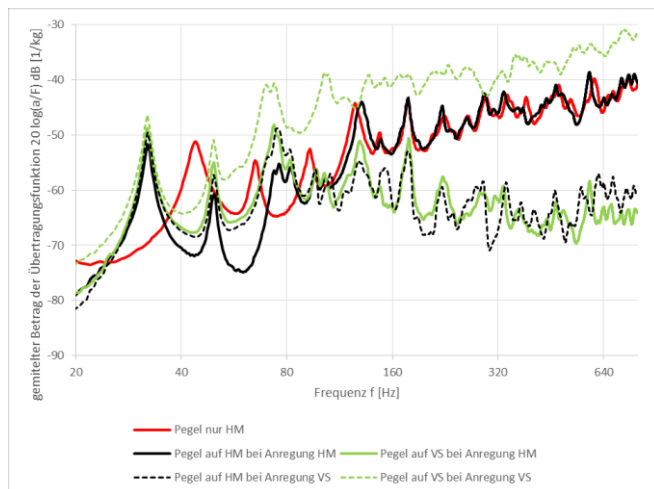


Abbildung 3: gemittelte Übertragungsfunktionen für die untersuchten Wandkonstruktionen für folgende Varianten:

- durchgezogene Linie: „Anregung“ der HM
- gestrichelte Linie: „Anregung“ der VS
- rot: nur Hintermauerung (ohne VS)
- schwarz: Pegel auf Hintermauerung
- grün: Pegel auf Verblendschale

Die in Abbildung 3 dargestellte mittlere Übertragungsfunktion der Hintermauerung ohne Verblendschale (rote Kurve) zeigt die Eigenmoden bei 43 Hz, 65 Hz, 92 Hz und 125 Hz. Mit dem Einbau der Verblendschale verschieben sich die ersten Eigenmoden zu tieferen Frequenzen (Mode 1,1 von $f_{1,1} = 43$ Hz auf $f_{1,1} = 32$ Hz und Mode 2,1 von $f_{2,1} = 65$ Hz auf $f_{2,1} = 48$ Hz). Die vier untersuchten Fälle mit Hintermauerung und Verblendschale bei Krafteinleitung auf beiden Bauteilen und Messung der Beschleunigung auf dem jeweils angeregten Bauteil sind ebenfalls in Abbildung 3 dargestellt.

Für die vier untersuchten Fälle mit Verblendschale ergibt sich für die ersten zwei Moden der gleiche Frequenzverlauf. Hier sind die Schwingungen der beiden Wandschalen

gekoppelt und nahezu in Phase und bis zur zweiten Mode nahezu mit der gleichen Amplitude. Allerdings laufen die Kurven dann immer weiter auseinander.

Bei der „Anregung“ der HM mit dem Pegel auf der HM sind die beiden Kurven (ohne und mit VS) oberhalb ca. 160 Hz nahezu deckungsgleich. Ab dieser Frequenz ist die VS von der Hintermauerung akustisch entkoppelt und die HM schwingt in beiden Fällen gleich (identische Schwingungsformen bei den gleichen Frequenzen). Oberhalb einer Frequenz von ca. 65 Hz (Resonanzfrequenz) werden die Unterschiede zwischen den Kurven deutlich größer. Die Übertragungsfunktionen von VS auf HM und vice versa (über die Fuge hinweg) führen in diesem Frequenzbereich (oberhalb der Resonanzfrequenz) zu deutlich kleineren Beschleunigungen auf der gegenüberliegenden Seite und damit (ab ca. 80 Hz) zu einer Verbesserung der Schalldämmung. Die größte Anregbarkeit ergibt sich für die „leichte“ Verblendschale im Bereich der Resonanzfrequenz von $f_r = 63$ Hz, wenn sie selbst angeregt worden ist.

Luftschalldämmung

Das bewertete Schalldämm-Maß der Hintermauerung (einschalige Wand) bezogen auf den Bauverlustfaktor beträgt $R_{w,Bau,ref} = 55,4$ dB. Dieser Wert liegt 0,7 dB unter dem rechnerisch, z.B. nach DIN 4109-32:2016-07, aus der flächenbezogenen Masse der Wand zu erwartenden Wert von $R_w = 56,1$ dB und damit im Rahmen der zu erwartenden Genauigkeit. Das bewertete Schalldämm-Maß von Grundwand und Verblendschale liegt bei $R_w = 70$ dB mit 5 Ankern je m² bzw. bei $R_w = 65$ dB mit 9 Ankern je m². Damit wird der rechnerisch, z.B. nach DIN 4109-32:2016-07, zu erwartenden Wert von $R_w = 70$ dB bei der Mindestanzahl der Anker erreicht. Durch die Verblendschale wird im gesamten Frequenzbereich die Schalldämmung verbessert. Allerdings wird durch den Einbau der zusätzlichen Anker die Schalldämmung im Frequenzbereich zwischen 80 Hz und 500 Hz sowie oberhalb von 2 kHz vermindert. Die Verminderung der Schalldämmung im unteren Frequenzbereich führt dann auch zu einem um 5 dB geringeren bewerteten Schalldämm-Maß der Wandkonstruktion.

Der Einbau der vier Gewindestangen (M12, d = 12 mm) zur Simulation einer Konsole ergab eine deutliche zusätzliche Verminderung der Schalldämmung im Frequenzbereich oberhalb von 1 kHz. Das bewertete Schalldämm-Maß reduzierte sich dabei auf 65 dB.

Die Gewindestangen (mit etwa der gleichen Querschnittsfläche wie die zusätzlichen Anker) vermindern als Schallbrücke die Schalldämmung vor allem im höheren Frequenzbereich, vermutlich aufgrund einer erhöhten Steifigkeit zwischen den Wandschalen. Die Anordnung von Konsolen erfolgt am Bau in der Regel nicht in die Hintermauerung sondern direkt in die Geschoßdecke. Diese Situation kann im Prüfstand allerdings nur bedingt abgebildet werden. In der Praxis ist deshalb vermutlich mit einer deutlich geringeren Reduzierung der Schalldämmung durch Konsolen o.Ä. zu rechnen.

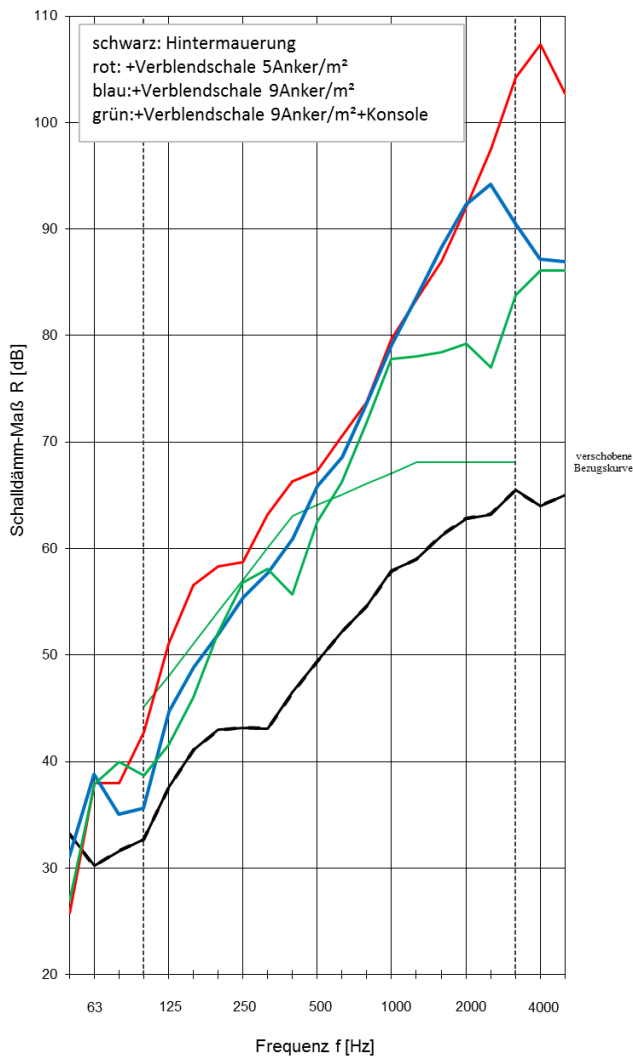


Abbildung 4: Schalldämm-Maß des untersuchten KS-Mauerwerks (HM) ohne VS (schwarz); mit VS, verbunden über 5 Anker/m² (rot); mit VS, verbunden über 9 Anker/m² (blau) und mit VS, verbunden über 9 Anker/m² und eine (durch Gewindestangen simulierte) Konsole (grün)

Die zusätzlichen Drahtanker vermindern dagegen auch im niederen Frequenzbereich die Schalldämmung. In Abbildung 4 sind die gemessenen Schalldämm-Maße für die vier untersuchten Hauptvarianten dargestellt. Es ist erkennbar, dass bei $f = 50$ Hz eine Minderung der Schalldämmung durch die Verblendschale auftritt. Insgesamt betrachtet ergibt sich jedoch bereits ab einer Terzmittefrequenz von $f = 63$ Hz eine deutliche Verbesserung der Schalldämmung durch die Verblendschale. Diese Verbesserung ist bei tiefen Frequenzen im Wesentlichen auf den Zuwachs an flächenbezogener Masse (von ca. 340 kg/m² auf 540 kg/m²) zurückzuführen.

Zusammenfassung

Die Wandkonstruktion aus Hintermauerung und Verblendschale, beide bestehend aus Kalksandstein-Mauerwerk, weist ein für zweischalige Konstruktionen typisches schalltechnisches Verhalten auf.

Das bewertete Schalldämm-Maß der Gesamtkonstruktion beträgt $R_w = 70$ dB und setzt sich aus der Dämmung der Hintermauerschale mit $R_w = 55$ dB und einer Verbesserung durch die Vorsatzschale von $\Delta R_w = 16$ dB zusammen. Durch zusätzliche Drahtanker und eine Kopplung der Schalen über eine simulierte Konsole vermindert sich die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion im Prüfstand vor allem bei höheren Frequenzen.

Die akustische Kopplung der beiden Schalen erfolgt dabei über die Drahtanker und die Dämmschicht, wobei die in den Mörtel eingelegten Drahtanker wesentlich die Gesamtsteifigkeit und damit die Lage der Resonanzfrequenz (bei ca. $f_r \approx 60$ Hz - 80 Hz) bestimmen. Unterhalb der Resonanzfrequenz sind die beiden Schalen starr gekoppelt, oberhalb der Resonanz werden die Schalen dagegen mit zunehmender Frequenz immer besser entkoppelt. Die ersten beiden ermittelten Eigen-Schwingungsformen lagen unterhalb der Resonanzfrequenz f_r und zeigen dabei ein nahezu phasengleiches Schwingen der beiden Schalen bei 32 Hz und 48 Hz. Die weiteren Eigen-Schwingungsformen zeigten eine deutliche Verschiebung der Phasenlage, mit einem zum größten Teil gegenphasigen Schwingen der Wandschalen, wobei die Differenz der Amplituden zwischen den Schalen mit zunehmender Frequenz immer größer wird.

Die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes von massivem Mauerwerk mit Verblendschalen, z.B. im Rahmen eines Schallschutznachweises, soll zukünftig entsprechend den normativen Vorgaben der DIN EN ISO 12354-1 [4] aus der Direktschalldämmung der Hintermauerung und einer Luftschallverbesserung durch die Vorsatzkonstruktion erfolgen. Wie eine Berechnung der bewerteten Verbesserung der Verblendschale erfolgen kann, ist durch weitere Messungen an solchen Konstruktionen zu ermitteln. Dabei soll die Abhängigkeit von der Masse der Hintermauerung und der Verblendschale sowie von der Kopplung der Schalen über die dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht und die sonstigen Verbindungen der beiden Schalen weiter untersucht werden. Das Ziel dabei ist die Etablierung eines abgesicherten Berechnungsverfahrens im deutschen Normenwerk.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4109-2: Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen, Januar 2018
- [2] DIN 4109-32: Schallschutz im Hochbau - Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) — Massivbau, Juli 2016
- [3] Forschungsvorhaben: „i_city: Intelligente Stadt“; vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 13FH9I011A gefördert
- [4] EN 12354-1: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen (ISO 12354-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 12354-1:2017