

Schalldämmung von Lochsteinwänden

L. Weber, W. Scholl

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. K. Gertis

1 Einleitung

Bekanntlich ist die Schalldämmung von Lochsteinwänden häufig erheblich geringer als aufgrund ihrer Flächenmasse zu erwarten wäre. Der Grund hierfür ist die verringerte Steifigkeit des Steingefüges, durch die sich die Eigenschwingungen der Steine in den bauakustischen Frequenzbereich hinein verschieben und neben den Biegeschwingungen der Wand einen zusätzlichen Beitrag zur Schallübertragung liefern. Obgleich es sich hierbei um ein Problem von großer praktischer Bedeutung handelt, gibt es bislang noch kein Berechnungsverfahren, mit dem sich die Schalldämmung von Lochsteinwänden zuverlässig vorhersagen läßt. Wir berichten über die im Fraunhofer-Institut für Bauphysik zu diesem Thema durchgeführten Forschungsarbeiten.

2 Vorgehensweise

Es gibt verschiedene Methoden, um das akustische Verhalten von gelochtem Mauerwerk mathematisch zu beschreiben. Im Fraunhofer-Institut für Bauphysik werden hierzu Finite-Elemente- und Homogenisierungs-Modelle verwendet. Als Planungsinstrument für Architekten und Bauingenieure sind diese Verfahren jedoch zu kompliziert und aufwendig. Deshalb wird außerdem an einer einfachen Vorhersagemethode auf empirischer Grundlage gearbeitet. Diese Methode, die im folgenden näher erläutert wird, sieht eine Prognose des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w in drei Genauigkeitsstufen vor. Ist das ermittelte Ergebnis nicht eindeutig, ist jeweils die Stufe mit der nächst höheren Vorhersagegenauigkeit anzuwenden. Die drei Genauigkeitsstufen beruhen auf folgender Vorgehensweise:

1. Stufe: Recherische Abschätzung von R_w mittels leicht zugänglicher Bauteildaten. Die Berechnung erfolgt mit Einzahlangaben.
2. Stufe: Frequenzabhängige Berechnung der Schalldämmung auf der Grundlage von Schwingungsmessungen an Einzelsteinen.
3. Stufe: Schalldämm-Messung an einer Wand im Prüfstand.

Die beiden ersten Genauigkeitsstufen werden im folgenden genauer betrachtet.

3 Abschätzung von R_w aus Bauteildaten

Die Berechnung von R_w erfolgt nach der Beziehung

$$R_w = R_{w,o} - \Delta R_w, \quad (1)$$

mit $R_{w,o}$ = bewertetes Schalldämm-Maß einer gleich schweren Wand ohne Lochung (z. B. nach Tabelle 1 in Beiblatt 1 zu DIN 4109),

ΔR_w = Ausdruck zur Berücksichtigung der akustischen Besonderheiten von gelochtem Mauerwerk.

Zur Bestimmung von ΔR_w wurde eine Berechnungsformel aufgestellt, die alle maßgeblichen Einflußgrößen enthält und sie nach experimentell bekannten Zusammenhängen miteinander verknüpft. Hierbei sind zwei Anteile zu unterscheiden: Während K_{Stein} die Eigenschaften der einzelnen Steine (Lochbild, Abmessungen, Rohdichte, etc.) beschreibt, berücksichtigt K_{Wand} den Wandaufbau (Art der Vermörtelung, Putzstärke, etc.). Die beiden Anteile lassen

sich nicht einfach addieren, da sie sich gegenseitig beeinflussen. So kann z. B. ein geeigneter Wandaufbau (dicker Putz, starre Vermörtelung) schalltechnische Schwächen der Steine weitgehend ausgleichen. Um dies in der Berechnungsformel zum Ausdruck zu bringen, wird ΔR_w gemäß

$$\Delta R_w = K_{\text{Stein}} (1 - K_{\text{Wand}}) \quad \text{mit } 0 \leq K_{\text{Wand}} \leq 1 \quad (2)$$

gebildet. Die Anteile K_{Stein} und K_{Wand} setzen sich jeweils additiv aus Beiträgen der einzelnen Einflußgrößen zusammen. So lautet z. B. die entsprechende Formel für K_{Stein} :

$$K_{\text{Stein}} = K_F + K_E + K_R + K_S + K_A + K_D \geq 0, \quad (3)$$

mit K_F = Korrektur für den Lochflächenanteil,
 K_E = Korrektur für die Anzahl von Lochebenen,
 K_R = Korrektur für die Scherbenrohichte,
 K_S = Korrektur für Steifigkeit des Steins,
 K_A = Korrektur für die Steinlänge,
 K_D = Korrektur für die Anzahl durchgehender Stege.

Da nicht auf alle Beiträge in obiger Gleichung eingegangen werden kann, sei als Beispiel die Korrektur für die Steifigkeit des Steins

$$K_S = 10 (0,7 - B/s) \text{ dB} \quad (4)$$

genannt. Hierbei ist B die Steinbreite, während s den kürzesten Weg von der Vorder- zur Rückseite des Steins entlang der Querstege bezeichnet:

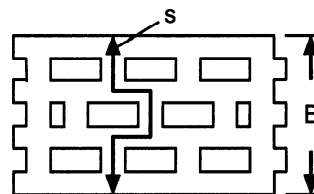


Bild 1 Bestimmung des Verhältnisses B/s .

Die übrigen Beiträge in Gleichung 3 werden in ähnlicher Weise nach einfachen Beziehungen aus leicht bestimmbareren Eingangsgrößen gebildet. Das Gewicht der einzelnen Beiträge wird durch die jeweiligen Vorfaktoren (im Beispiel von K_S die Werte 10 und 0,7) bestimmt. Für diese Vorfaktoren wurden zunächst Schätzwerte eingesetzt. Um die Berechnungsformel zu optimieren, wurden die Faktoren anschließend mit einem numerischen Variationsverfahren so angepaßt, daß sich eine minimale Abweichung zwischen Messung und Rechnung ergab. Die numerische Optimierung wurde für einen Datensatz aus zwanzig repräsentativen Lochsteinwänden (in der Mehrzahl Wände aus Hochlochziegeln) durchgeführt und versuchsweise auf einige weitere Wände übertragen.

Wie aus den Ergebnissen in Bild 2 hervorgeht, beschreibt die optimierte Berechnungsformel die Schalldämmung von Lochsteinwänden weit besser als die in DIN 4109 angegebenen Werte, die allein auf der Flächenmasse der Wände beruhen. Die Formel ist daher als ein erfolgversprechender Ansatz zur Vorhersage der Schalldämmung von Lochsteinwänden anzusehen. Vor dem praktischen Einsatz sind allerdings noch weitere Vorarbeiten (Erweiterung der Datengrundlage, Abgrenzung des Anwendungsbereichs und Ermittlung der Vorhersagegenauigkeit) zu leisten.

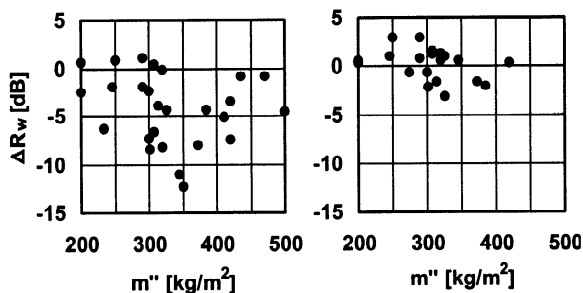


Bild 2 Differenz zwischen gemessenem und berechnetem Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes, $\Delta R_w = R_{w,mess} - R_{w,rech}$, in Abhängigkeit von der Flächenmasse. Die Berechnung erfolgte nach DIN 4109 (links) und mit einer optimierten Formel (rechts).

4 Berechnung von R_w aus Schwingungsmessungen

Da man die Bewegungen der Wand und die Schwingungen der einzelnen Steine in erster Näherung als unabhängig ansehen kann, läßt sich die Schalldämmung von Lochsteinwänden in zwei Anteile zerlegen:

$$R = -10 \lg(10^{-R_{BS}/10\text{dB}} + 10^{-R_{DS}/10\text{dB}}) \text{ dB}, \quad (5)$$

mit R_{BS} = Dämmungsanteil infolge von BiegeWellen auf der Wand,

R_{DS} = Dämmungsanteil durch Eigenschwingungen der Steine (insbesondere Dickenschwingungen).

Der Anteil R_{BS} hängt im wesentlichen nur von der Flächenmasse der Wand ab und kann mit bekannten Formeln - z. B. nach [1] oder [2] - berechnet werden. Ist auch der Anteil R_{DS} bekannt, so läßt sich nach Gl. (5) die Schalldämmkurve und daraus das bewertete Schalldämm-Maß bestimmen. In Bild 3 ist diese Berechnung an einem vereinfachten Beispiel veranschaulicht:

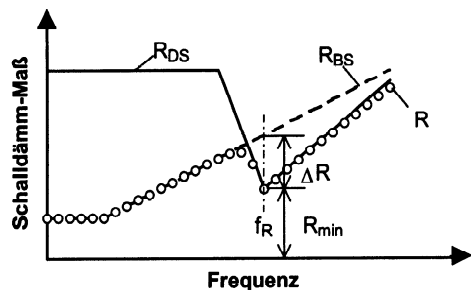


Bild 3 Berechnung von R aus R_{BS} und R_{DS} (idealisiert Fall) mit Darstellung der Eingangsgrößen f_R (Resonanzfrequenz der Steine) und ΔR (Tiefe des Resonanzeinbruchs).

Eine einfache Möglichkeit zur Ermittlung von R_{DS} bilden Schwingungsmessungen an vermauerten Einzelsteinen, wozu schon kleine Steinverbände aus nur sieben Steinen ausreichen [3]. Der Frequenzverlauf von R_{DS} weist eine typische Form mit dem Charakter eines Resonanzvorgangs auf und hat, wie aus der normierten Darstellung in Bild 4 hervorgeht, bei den meisten Lochsteinwänden ein ähnliches Aussehen. Unterschiede bestehen hauptsächlich hinsichtlich Frequenz und Stärke der Resonanz, die von den Grundschwingungen der Steine bestimmt wird. Zur Berechnung von R genügt es demnach, die Resonanzfrequenz f_R und die Tiefe des Dämpfungseinbruchs $\Delta R = R_{BS}(f_R) - R_{min}$ (siehe Bild 3) zu ermitteln, was mittels der erwähnten Schwingungsmessungen erfolgen kann. Ein Beispiel für das Ergebnis einer derartigen Berechnung ist in

Bild 5 dargestellt. Obgleich zwischen gemessener und berechneter Kurve einige Unterschiede bestehen, stimmen die bewerteten Schalldämm-Maße bis auf 1 dB überein.

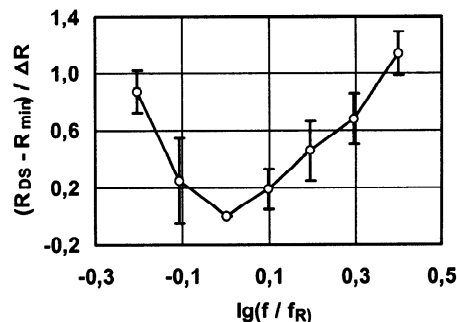


Bild 4 Normierter Frequenzverlauf von R_{DS} (Erläuterung der Achsenbeschriftung in Bild 3). Die dargestellte Kurve stellt einen Mittelwert über zehn verschiedene Lochsteinwände dar. Die Länge der eingezeichneten Fehlerbalken entspricht der doppelten Standardabweichung der Meßwerte.

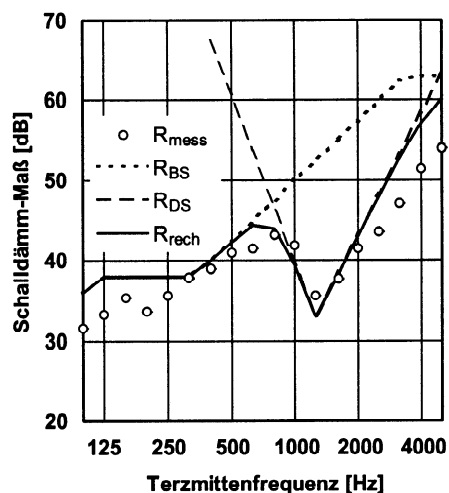


Bild 5 Schalldämm-Maß einer Lochsteinwand mit einer Flächenmasse von 240 kg/m^2 in Abhängigkeit von der Frequenz. Dargestellt sind eine im Prüfstand gemessene und eine aus Schwingungsmessungen an einzelnen Steinen berechnete Kurve. Die bewerteten Schalldämm-Maße betragen: $R_{w,mess} = 41 \text{ dB}$ und $R_{w,rech} = 42 \text{ dB}$.

5 Zusammenfassung

Es wurden zwei einfache Verfahren entwickelt, mit denen sich die Schalldämmung von Lochsteinwänden mit verbesserter Genauigkeit vorhersagen läßt. Der erforderliche Meß- und Berechnungsaufwand ist verhältnismäßig gering. Die ersten Tests erbrachten positive Resultate. Bis zur Anwendungsreife sind jedoch noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (z. B. zur Berücksichtigung von Unterschieden zwischen Steinen gleicher Sorte) erforderlich.

6 Literatur

- [1] Fasold, W., Sonntag, E., Winkler, H.: Bauphysikalische Entwurfslehre - Bau- und Raumakustik. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1987, Abschn. 7.5.1.4.
- [2] Gösele, K.: Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken. Acustica 20 (1968), S. 334 - 342.
- [3] Weber, L., Bückle, A.: Schalldämmung von Lochsteinen - neue Erkenntnisse. Bauphysik 20 (1998), H. 6, S. 239 - 245.