

20 (1993) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

W. Maysenhölder, H.M. Fischer

## Verfahren zur Beurteilung des schalltechnischen Verhaltens von Lochsteinen

### Einleitung

Leichte Außenwände aus gelochten Steinen zeichnen sich durch günstige Wärmedämmwerte aus, besitzen aber zum Teil verhältnismäßig schlechte schalltechnische Eigenschaften, insbesondere bei höheren Frequenzen oberhalb 500 Hz. Bei der Entwicklung neuer Steinformen wäre es von großem Vorteil, wenn man die zu erwartenden Schalldämmwerte der verschiedenen wärmetechnisch günstigen Varianten aufgrund der Eigenschaften eines einzelnen Steins vorhersagen und sich damit die Herstellung von vielen Prototyp-Steinen für eine Prüfwand ersparen könnte. Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Bauphysik der Außenwände" wurde dafür ein Prognoseverfahren entwickelt [1, 2]. Dem Verfahren zur Prognose der Schalldämmung gemauerter Wände liegt der Gedanke zugrunde, daß das akustische Verhalten einer solchen Wand durch das akustische Verhalten ihrer Bestandteile, Steine und Mörtel, sowie durch die Vermauerungsart vollständig bestimmt sein müßte. Dies klingt einleuchtend; eine praktische Umsetzung dieser Erkenntnis wird aber durch die außerordentliche Komplexität der Zusammenhänge erschwert. Das Problem einer exakten Berechnung der Schalldämmung aus den Stein- und Mörtel Eigenschaften ist deshalb bis heute nicht gelöst. Mit einigen vereinfachenden Annahmen und einer Kombination von Messung und Rechnung läßt sich jedoch eine Vorhersagegenauigkeit erzielen, die für viele Zwecke ausreicht.

### Beschreibung des Verfahrens

Um zu einem einfachen Verfahren zu kommen, werden drei Frequenzbereiche unterschieden, in denen jeweils verschiedene Methoden zur Anwendung kommen: Im unteren Frequenzbereich darf die Wand aus Lochsteinen als homogene (wenn auch anisotrope) Platte angesehen werden. Jeder Stein folgt in seiner Bewegung den Plattenschwingungen. Im mittleren Frequenzbereich beginnt sich die Inhomogenität der Wand, also ihr Aufbau aus Stein und Mörtel und vor allem die Hohlräume in den Steinen, akustisch bemerkbar zu machen. Dies äußert sich in ausgeprägten Schwingungen jedes einzelnen Steins, die näherungsweise als voneinander unabhängig betrachtet werden. Die Grenze zwischen unterem und mittlerem Frequenzbereich hängt natürlich von den Eigenschaften des Steins ab (Größe, Ma-

terial, Lochbild) und liegt typischerweise zwischen 500 Hz und 1 kHz. Im oberen Frequenzbereich schließlich liegen die Schwingungen so dicht beieinander, daß eine individuelle Berücksichtigung nicht mehr in Frage kommt und mit statistischen Methoden gearbeitet werden muß. Dieser Bereich beginnt etwa ein bis zwei Oktaven höher als der mittlere. Im unteren und oberen Frequenzbereich werden einfache, bewährte Methoden eingesetzt: für die tiefen Frequenzen die Näherung nach Gösele [3], in die lediglich die flächenbezogene Masse der Wand eingeht, für die hohen Frequenzen eine lineare Extrapolation des Schalldämmmaßes mit einer Steigung von ungefähr 3 dB pro Terz.

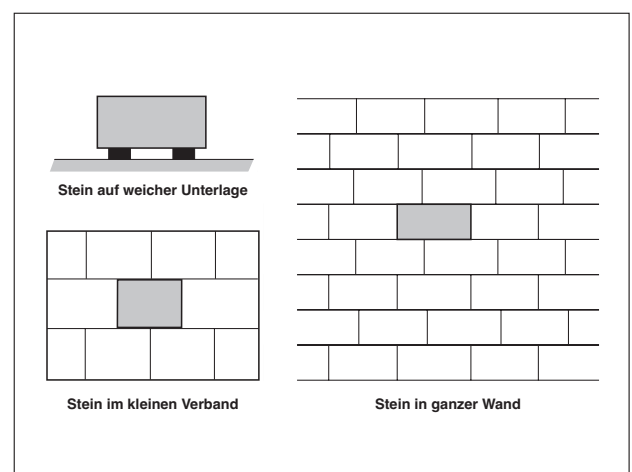


Bild 1: Versuchsanordnungen für die Modalanalyse an einem einzelnen Mauerstein.

Das Kernstück des Verfahrens betrifft den mittleren Frequenzbereich, in dem einzelne Steinresonanzen die Schalldämmung beträchtlich verschlechtern können. Zur Untersuchung dieses Bereichs bietet sich eine Modalanalyse an, mit der Frequenz, Dämpfung und Schwingungsform jeder Steinresonanz bestimmt werden. Sind diese modalen Daten bekannt, läßt sich die Schwingung des Steins für beliebige anregende Kräfte berechnen. Im Fall der Luftschalldämmung ergeben sich die anregenden Kräfte durch ein diffuses Luftschallfeld auf der Sendeseite, welches der Einfachheit wegen (vorläufig) durch eine schräg einfallende

ebene Welle simuliert wird. Diese Anregung des Steins auf der Sendeseite führt zu einer Schnelleverteilung auf der Empfangsseite des Steins, die unter der Annahme eines Abstrahlgrades von eins in ein Schalldämm-Maß umgerechnet werden kann.

Für die Zuverlässigkeit des Prognoseverfahrens entscheidend sind die Randbedingungen, unter denen die Modalanalyse am Lochstein durchgeführt wird. In Bild 1 sind verschiedene Versuchsanordnungen dargestellt. Der einfachste Fall einer weichen Lagerung des Steins mit nahezu "unbehinderten" Schwingungsmöglichkeiten liefert erwartungsgemäß andere Ergebnisse als eine Messung am Stein in einer ganzen Wand. Man stellt jedoch fest, daß die wichtigsten Schwingungsformen in beiden Fällen auftreten, wenn auch bei unterschiedlichen Frequenzen. Um die Randbedingungen für einen Stein in der ganzen Wand experimentell zu simulieren, muß ein kleiner Steinverband hergestellt werden, der die in der Wand vorherrschende "Einspannung" näherungsweise bewerkstelligt. Diese Anordnung, die den Aufbau einer ganzen Wand überflüssig macht, scheint den für ein Prognoseverfahren erforderlichen Genauigkeitsansprüchen zu genügen. Es ist allerdings denkbar, daß selbst dieser geringe handwerkliche Aufwand für den Steinverband in Zukunft entfällt, wenn es gelingt, die Randbedingungen in der Wand dem Stein auf der weichen Unterlage rechnerisch aufzuzwingen.

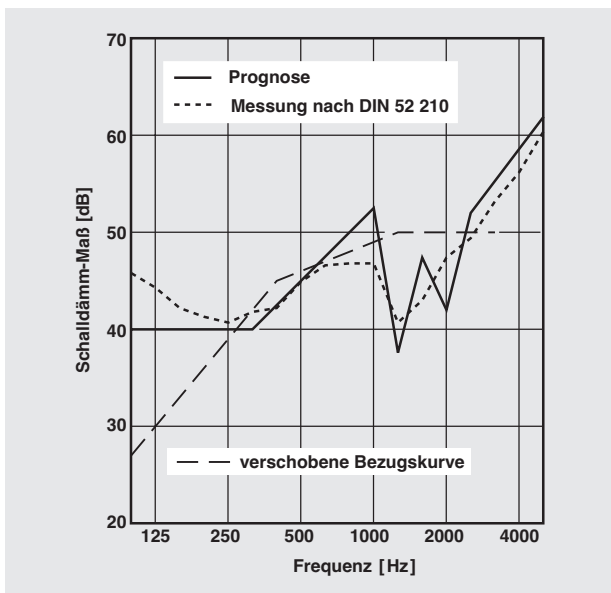


Bild 2: Prognose des Schalldämm-Maßes im Vergleich zur Messung. Das bewertete Schalldämm-Maß beträgt in beiden Fällen 46 dB.

### Verifizierung

Das Verfahren wurde an einer Mauerwerkswand aus Hochlochsteinen getestet. Zwischen 1 kHz und 2 kHz fand man bei der Modalanalyse eines Steins in der unverputzten Wand mehrere stark ausgeprägte Schwingungsmoden, die offensichtlich die Schalldämmung wesentlich verschlechtern. Ein beidseitiger Putz reduziert die Schwingungsamplitude bei fast allen Frequenzen deutlich, jedenfalls mehr als aufgrund des Massenzuwachses allein zu erwarten wäre;

lediglich die herausragende Mode bei 1270 Hz wird durch den Putz weniger stark beeinflusst. Bild 2 zeigt die nach dem Prognoseverfahren erhaltene Schalldämmung im Vergleich zu einer konventionellen Messung. Der grobe Verlauf wird gut wiedergegeben. Insbesondere stimmt das berechnete bewertete Schalldämm-Maß (46 dB) mit dem gemessenen überein. Ohne Putz ergibt sich ein um 4 dB geringerer Wert. Eine Prognose aufgrund einer Modalanalyse eines Steins in einem unverputzten kleinen Steinverband ergab entsprechend 42 dB. Dies darf als Bestätigung gewertet werden, daß eine zuverlässige Prognose mit Hilfe kleiner Steinverbände möglich ist. Da Putzschichten das Ergebnis wesentlich beeinflussen, sollten die Modalanalysen an verputzten Verbänden vorgenommen werden.

### Optimierung von Lochsteinen

Das beschriebene Verfahren eröffnet erstmals eine realistische Möglichkeit zur systematischen schalltechnischen Optimierung von Lochsteinen: Es erübrigt sich, für jede Lochbildvariante eine beträchtliche Anzahl von Prototypsteinen herzustellen, wie sie zum Aufbau einer Wand im Prüfstand benötigt wird. Anhand eines einzelnen Exemplars jeder Variante ist mit Hilfe des Prognoseverfahrens eine fundierte Beurteilung möglich. Mit Modalanalysen der Steine auf weicher Unterlage läßt sich schon eine grobe Vorauswahl treffen. Für die aussichtsreichsten Varianten wird eine zweite Modalanalyse im kleinen Verband durchgeführt und die Schalldämmung abgeschätzt. Eine ganze Wand muß schließlich nur einmal, nämlich für die als optimal eingeschätzte Variante, zur Messung nach DIN 52 210 im Prüfstand aufgebaut werden.

### Literatur

- [1] Maysenhölder, W.: Analyse und Prognose der Schalldämmung von gemauerten Außenwänden unter Berücksichtigung der periodischen Struktur und des Schwingungsverhaltens eines einzelnen Mauersteins. Bericht B-BA 14/1992 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (1992).
- [2] Maysenhölder, W.: Kann die Schalldämmung einer gemauerten Wand aus dem Schwingungsverhalten eines einzelnen Steins berechnet werden? Bauphysik 15 (1993), H.2, S. 50-57.
- [3] Gösele, K.: Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken. Acustica 20 (1968), S. 334-342.



Fraunhofer  
Institut  
Bauphysik

### FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis  
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00  
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0