

Literaturstudie über den Einfluß der  
Lochung auf die Schalldämmung und  
Schall-Längsdämmung von Mauersteinen

**T 2777**

T 2777

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1998, ISBN 3-8167-5401-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail [irb@irb.fhg.de](mailto:irb@irb.fhg.de)

URL <http://www.irb.fhg.de>

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

**IBP-Bericht B-BA 6/1996**

**Literaturstudie über den Einfluß der Lochung  
auf die Schalldämmung und Schall-Längsdämmung von Mauersteinen**

von

L. Weber  
W. Scholl

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik**  
(Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. K. Gertis)



# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis  
Amtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten  
Forschung · Entwicklung · Prüfung · Demonstration · Beratung

**IBP-Bericht B-BA 6/1996**

## **Literaturstudie über den Einfluß der Lochung auf die Schalldämmung und Schall-Längsdämmung von Mauersteinen**

im Auftrag des  
Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Berlin

Az.: IV 1-5-809/96

Projekt-Nr: 422002

Dieser Bericht umfaßt:

- 19 Seiten Text
- 4 Tabellen
- 10 Bilder
- 3 Anhänge

Stuttgart, den 17. April 1997  
Wb

Bearbeiter:

Dr. rer. nat. L. Weber

Abteilungsleiter:

i. V.

Dr.-Ing. W. Scholl

Institutsleiter:

Prof. Dr. Dr. h.c. mult.  
Dr. E.h. mult. K. Gertis

**Inhalt:**

1.	Einleitung	4
2.	Vorgehensweise	6
3.	Grundlagen	8
4.	Schalldämmung von Lochsteinwänden	10
4.1	Einfluß der Vermörtelung	11
4.2	Einfluß der Fugenbreite	11
4.3	Einfluß der Putzstärke	12
4.4	Einfluß des Steinformats	12
5.	Diskussion der Meßergebnisse	13
6.	Verbesserungsmaßnahmen	15
7.	Zusammenfassung	17
8.	Verzeichnis der Tabellen, Bilder und Anhänge	19

Tabellen und Bilder

Anhänge

## 1. Einleitung

Lochsteine werden wegen ihrer hohen Wärmedämmung in zunehmendem Maße für den Bau von Außenwänden verwendet. Hierbei entstehen jedoch häufig schalltechnische Probleme, da Lochsteinwände vielfach eine erheblich geringere Schalldämmung als gleich schwere Wände aus homogenem Material aufweisen. Dies betrifft vor allem Wände aus leichten Steinen (mit einer Rohdichte von weniger als etwa  $1 \text{ kg/dm}^3$ ) und gilt sowohl für die Durchgangsdämmung als auch für die horizontale und vertikale Schall-Längsdämmung. Ein Überblick über die Schalldämmung von Lochsteinwänden in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse ist in Bild 1 dargestellt. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, liegt die Durchgangsdämmung zum Teil mehr als 15 dB unter den Werten gleich schwerer Massivwände.

Die verringerte Schalldämmung von Lochsteinen kann leicht zu Planungsfehlern führen, da beim rechnerischen Schallschutznachweis nach DIN 4109 als einzige Einflußgröße die flächenbezogene Masse der Wände herangezogen wird. Zwar findet sich in Beiblatt 1 zu DIN 4109 folgender Hinweis: "Die Werte in Tabelle 1 gelten nicht, wenn einschalige flankierende Bauteile in Steinen mit einer Rohdichteklasse  $\leq 0,8$  und in schallschutztechnischer Hinsicht ungünstiger Lochung verwendet werden." Es wird jedoch nicht erklärt, was unter schalltechnisch ungünstiger Lochung zu verstehen ist und wie sie sich auf die Schalldämmung auswirkt.

Da die resultierende Schalldämmung der Außenbauteile im allgemeinen von den Fenstern bestimmt wird, wirkt sich die verringerte Durchgangsdämmung der Außenwände in der Praxis zumeist nicht nachteilig aus. Anders verhält es sich jedoch mit der verminderten Schall-Längsdämmung, durch die die Schalldämmung der angrenzenden Bauteile (wie z.B. Wohnungstrennwände und -decken) infolge Flankenübertragung erheblich herabgesetzt wird. Dies führt häufig dazu, daß die Anforderungen der DIN 4109 in Innenbereich nicht eingehalten werden.

Dieses Problem ist seit längerem bekannt und wurde bereits mehrfach untersucht. Die Untersuchungen ergaben, daß die niedrige Schalldämmung von Lochstein-Wänden hauptsächlich auf die verminderte Steifigkeit der Steine senkrecht zur Wandfläche zurückzuführen ist. Die geringe Steifigkeit ist die Ursache für das Auftreten von Dickenschwingungen, die zu einem Einbruch der Schalldämmung bei der Resonanzfrequenz führen.

Bei den Dickenschwingungen handelt es sich um eine Schwingungsform, bei der sich gegenüberliegende Oberflächenpunkte der Wand jeweils gegenphasig zueinander bewegen. Die einzelnen Steine schwingen getrennt voneinander, wobei der Fugenbereich weitgehend in Ruhe verbleibt. Die Wandschwingung läßt sich somit gleichsam aus Schwingungen einzelner Steine zusammensetzen.

Die Anregung von Dickenschwingungen äußert sich in einem charakteristischen Resonanzeinbruch der Durchgangsdämmung, der bei Hochlochziegeln im allgemeinen bei etwa 1000 bis 2000 Hz auftritt. Ein typisches Beispiel für einen solchen Resonanzeinbruch ist in Bild 2 wiedergegeben. Auf dem Bild ist außerdem zu erkennen, daß der Resonanzeinbruch durch schalltechnisch günstige Lochung der Steine (durchgehende anstatt versetzte Stege) vermieden werden kann.

Wie sich Bild 3 entnehmen läßt, ist der Resonanzeinbruch bei der Schall-Längsdämmung im Gegensatz zur Durchgangsdämmung lediglich andeutungsweise zu erkennen. Obwohl sich die Dickenschwingungen im Frequenzverlauf nicht direkt bemerkbar machen, ist dennoch eine erhebliche Verminderung der Schall-Längsdämmung im Vergleich zu einer gleich schweren Massivwand zu verzeichnen. Die Verminderung (bezogen auf das bewertete Schalldämm-Maß) ist häufig sogar noch höher als bei der Durchgangsdämmung.

Das Schwingungsverhalten der einzelnen Steine wird hauptsächlich durch ihr Lochbild bestimmt, wobei der genaue Zusammenhang noch unklar ist. Rückschlüsse von der Beschaffenheit des Lochbildes auf die Schalldämmung von

Wänden sind derzeit nur in qualitativer Form möglich. So ist z.B. bekannt, daß sich Lochsteine mit durchlaufenden Stegen wegen ihrer höheren Steifigkeit im allgemeinen schalltechnisch günstiger verhalten als solche mit versetzten Stegen. Da letztere jedoch eine höhere Wärmedämmung aufweisen, stehen schall- und wärmetechnische Anforderungen im Widerspruch.

Um die Schalldämmung von Lochsteinwänden zuverlässig vorhersagen zu können, muß zunächst der Zusammenhang zwischen dem Lochbild und den schalltechnischen Eigenschaften der Steine geklärt werden. Die vorliegende Literaturstudie soll hierzu einen Beitrag leisten. Ihr Ziel besteht darin, die vorhandenen Erkenntnisse zu sammeln und auszuwerten, um auf diese Weise den derzeitigen Kenntnisstand aufzuzeigen und darauf aufbauend weitere Aussagen über die schalltechnischen Eigenschaften von Lochsteinen zu ermöglichen. Die Untersuchungsergebnisse sollen als Grundlage zur Festlegung schalltechnischer Anforderungen in bauaufsichtlichen Zulassungsverfahren dienen.

Dickenschwingungen treten im übrigen nicht nur bei Lochsteinwänden sondern auch bei homogenen Wänden mit geringer Rohdichte (z.B. bei Wänden aus Porenbeton) auf. Derartige Wände werden im vorliegenden Bericht jedoch nicht untersucht.

## **2. Vorgehensweise**

Der erste Schritt der Untersuchung bestand im Anlegen einer Literatursammlung. Hierzu wurde eine Literaturrecherche in der Datenbank des Informationszentrums Raum und Bau (IRB) durchgeführt. Aus den Literaturverzeichnissen der vorhandenen Publikationen ergaben sich Hinweise auf weitere Veröffentlichungen zum gleichen Thema. Als wichtige Quelle erwies sich auch die Prüfberichte-Sammlung der Abteilung Bauakustik im Fraunhofer-Institut für Bauphysik, aus der mehr als die Hälfte der gesammelten Meßdaten stammt.

Die auf diese Weise zusammengetragene Literatur (Veröffentlichungen, Vorträge, Diplomarbeiten und Prüfberichte) wurde nach Autoren geordnet und in alphabetischer Reihenfolge in ein Literaturverzeichnis eingegeben. Das Literaturverzeichnis enthält insgesamt 52 Einträge und liegt diesem Bericht als Anhang bei. Weitere Hinweise zum Literaturverzeichnis sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die gesammelte Literatur wurde gesichtet und im Hinblick auf die untersuchte Fragestellung ausgewertet. Hierbei wurden neben dem Lochbild der Steine auch andere Einflußgrößen, die sich auf die Schalldämmung auswirken, berücksichtigt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung abgeleitet. Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse werden in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

Den Schwerpunkt der Untersuchung bildete die Zusammenstellung und Auswertung der in der Literatur enthaltenen Meßergebnisse. Leider war die Ausbeute an verwertbaren Daten vergleichsweise gering. Dies lag daran, daß die Beschreibung der Meßobjekte häufig sehr unvollständig war, so daß eine sinnvolle Auswertung nicht durchgeführt werden konnte. (Um die Meßdaten verwenden zu können, mußten zumindest Angaben über das Lochbild und die flächenbezogene Masse vorhanden sein.) Die Meßdaten und die Beschreibung der Meßobjekte wurden in eine Übersichtstabelle eingetragen, die in Anhang 2 wiedergegeben ist. Die zugehörigen Lochbilder sind in Anhang 3 dargestellt. Ausführliche Erläuterungen zur Auswertemethode und den verwendeten Abkürzungen sind in den Tabellen 2 und 3 enthalten.

Da die Digitalisierung der Meßkurven zu aufwendig gewesen wäre, wurden jeweils nur die bewerteten Schalldämm-Maße angegeben. Bei den Meßwerten, die aus Prüfberichten entnommen wurden, wurde wegen der Vertraulichkeit der Daten auf die Darstellung des Lochbildes verzichtet, sofern keine Zustimmung des Auftraggebers vorlag. Um die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse zu gewährleisten, wurden Messungen der Schall-Längsdämmung nur dann verwendet, wenn die Verzweigungsdämmung des Trennwandanschlusses zu vernachlässigen war. Bei Steinen, für die mehrere Messungen

vorlagen, wurde im allgemeinen nur ein Meßwert angegeben. Auf die übrigen Messungen wurde durch Fußnoten hingewiesen.

### 3. Grundlagen

Wie durch mehrere Untersuchungen bestätigt wurde, ist die verringerte Schalldämmung von Lochsteinwänden hauptsächlich auf Dickenschwingungen zurückzuführen [Gö3, Gö4, Ko1; Ko2, Ma1, Ma2, Ma3]. Im Gegensatz zu den normalen Biegeschwingungen findet hier eine gegenphasige Bewegung der beiden Stirnflächen der Steine statt, wobei der Fugenbereich weitgehend in Ruhe verbleibt. Es handelt sich somit um Schwingungen einzelner Steine, die von den Dickenschwingungen homogener Wände, an denen die gesamte Wandfläche beteiligt ist, zu unterscheiden sind. Beispiele für die möglichen Schwingungsformen von Lochsteinen sind in Bild 4 schematisch dargestellt. Die Form der gezeigten Schwingungen läßt sich auch meßtechnisch nachweisen, indem die Oberfläche des schwingenden Steins mit einem Körperschallaufnehmer abgetastet wird. Ein Beispiel für eine derartige Messung ist in Bild 5 wiedergegeben.

Bei Dickenschwingungen wirken die äußeren Schalen der Lochsteine, zusammen mit der elastischen Stegstruktur, als Masse-Feder-System. Wegen der komplizierten Steinstruktur ist die theoretische Beschreibung dieses Systems sehr aufwendig. Als einfache Näherung können jedoch die Dickenschwingungen in einer homogenen Wand betrachtet werden, die sich als Longitudinalwellen senkrecht zur Wandfläche ansehen lassen. Als Resonanzbedingung für diese Longitudinalwellen ergibt sich folgende Beziehung:

$$n \times \lambda/2 = d, \tag{1}$$

wobei  $n = 1, 2, 3$ , usw. eine ganze Zahl,  $d$  die Wanddicke und  $\lambda$  die Longitudinalwellenlänge senkrecht zur Wandfläche bezeichnet. Durch Umformung der obigen Gleichung erhält man für die Resonanzfrequenzen der Dickenschwingungen  $f_{D,n}$  folgenden Ausdruck:

$$f_{D,n} = \frac{n}{2d} c_L \cong \frac{n}{2d} \sqrt{E/\rho}, \quad (2)$$

mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen  $c_L$ , dem Elastizitätsmodul  $E$  und der Steinrohddichte  $\rho$ .

Da Gleichung 2 auf einem stark vereinfachten Modell beruht, beschreibt sie das Schwingungsverhalten von Lochsteinen nur unvollkommen. Dies ist z.B. aus dem Verhältnis der Resonanzfrequenzen  $f_{D,2} / f_{D,1}$  zu erkennen, das theoretisch bei 2 / 1 liegen müßte, während es in der Praxis etwa 5 / 4 beträgt (vgl. z.B. Bild 5). Die Gleichung ist jedoch gut geeignet, um die praktischen Verhältnisse zu veranschaulichen: Bei Wänden aus steifem Material, wie z.B. Beton, ist das Elastizitätsmodul sehr groß, so daß die Frequenz der Dickenschwingungen weit oberhalb des bauakustischen Frequenzbereichs von 100 bis 3150 Hz liegt. Die Dickenschwingungen, die im übrigen auch hier vorhanden sind, haben somit keinen Einfluß auf die gemessene Schalldämmung. Lochsteine mit schalltechnisch ungünstiger Lochung weisen hingegen ein sehr geringes Elastizitätsmodul senkrecht zur Wandfläche auf. Hierdurch verschieben sich die Dickenresonanzen zu tiefen Frequenzen, wodurch der bekannte Einbruch der Schalldämmkurve entsteht.

Für den Einbruch der Schalldämmkurve ist hauptsächlich die Dickenschwingung mit  $n = 1$  (Grundschiwingung) verantwortlich. Durch Einsetzen der gemessenen Resonanzfrequenz in Gleichung 2 läßt sich daher der Elastizitätsmodul der Lochsteine abschätzen. Für Hochlochziegel mit einer Rohddichte von  $\rho \cong 0,8 \text{ kg/dm}^3$  wurden von K. Gösele auf diese Weise Werte von  $E \cong 1500 \text{ MN/m}^2$  (durchgehende Stege) und  $E = 50$  bis  $150 \text{ MN/m}^2$  (versetzte Stege) ermittelt [Gö4]. Der obere Wert stimmt recht gut mit dem entsprechenden Materialwert überein [Su5]. Für die im vorliegenden Bericht untersuchten Steine ergaben sich Werte von  $E = 400$  bis  $1300 \text{ MN/m}^2$ . Die Resonanzfrequenz der Dickenschwingungen lag zwischen 800 und 2000 Hz.

Die Tiefe des Resonanzeinbruchs läßt sich nach [He1] folgendermaßen abschätzen:

$$\Delta R \cong [20 \lg(N)] \text{ dB}, \quad (3)$$

wobei  $\Delta R$  die Abnahme des Schalldämm-Maßes bei der Resonanzfrequenz und  $N$  die Anzahl von Lochebenen (Anzahl gekoppelter Ebenen gleicher Dicke) innerhalb des Steins bezeichnet. Die obige Beziehung erklärt, warum sich grob strukturierte Lochsteine im allgemeinen schalltechnisch günstiger als Steine mit filigranem Lochbild verhalten.

Soweit es sich bei den Dickenschwingungen in Lochsteinwänden um Resonanzen einzelner Steine handelt, sind die Schwingungen in Längsrichtung praktisch nicht ausbreitungsfähig. Der Einfluß der Dickenresonanzen auf die Schall-Längsdämmung ist deshalb nicht ohne weiteres zu verstehen. Hier spielt möglicherweise die verringerte Steifigkeit von Lochsteinwänden eine Rolle, die gemäß der Beziehung

$$f_g \approx \frac{1}{d} \sqrt{\rho/E} \quad (4)$$

zu einer Erhöhung der Grenzfrequenz der Wand  $f_g$  führt.

#### 4. Schalldämmung von Lochsteinwänden

Die Schalldämmung von Lochsteinwänden hängt nicht nur vom Lochbild der Steine, sondern von zahlreichen weiteren Einflußgrößen wie der Art der Vermörtelung oder der Putzdicke ab. Diese Einflußgrößen, die teilweise zusammenwirken, sind in ihrer Gesamtheit für die Schalldämmung ebenso wichtig, wie die Beschaffenheit des Lochbildes. Die Auswirkungen der verschiedenen Einflußgrößen auf die Schalldämmung sind in Tabelle 4 als Übersicht zusammengestellt. Die in der Tabelle genannten Werte wurden aus Messungen entnommen, die im folgenden näher erläutert werden.

#### 4.1 Einfluß der Vermörtelung

Der Einfluß des Mauermörtels auf die Schalldämmung wurde erstmals von J. Lang untersucht, indem ansonsten gleiche Lochsteinwände mit unterschiedlichem Mörtel vermauert und schalltechnisch vermessen wurden [La3]. Hierbei wurde festgestellt, daß sich die gemessene Durchgangsdämmung bei Verwendung härteren Mörtels um bis zu 4 dB erhöhte. Die entsprechenden Meßkurven sind in Bild 6 wiedergegeben. Die dargestellten Messkurven zeigen eine ausgeprägte Dickenresonanz, die sich bei hartem Mörtel zu höheren Frequenzen verschiebt. Abgesehen von der Lage und der Tiefe des Resonanzeinbruchs ändert sich der Frequenzverlauf der Schalldämmung nur geringfügig. Dies ist ein Hinweis dafür, daß der härtere Mörtel im wesentlichen eine Versteifung der Steine senkrecht zur Wandfläche bewirkt.

Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch bei Messungen im Fraunhofer-Institut für Bauphysik (unveröffentlicht). Die letztgenannten Messungen erfolgten an Zahnziegeln mit unvermörtelten Stoßfugen (Fugen knirsch gestoßen), so daß die Änderung der Schalldämmung allein auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Lagerfugen zurückzuführen war.

Aus schalltechnischer Sicht ist daher die Verwendung harten Mörtels vorzuziehen. Dies steht jedoch im Widerspruch zu den wärmetechnischen Anforderungen, da harter Mauermörtel in der Regel eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit aufweist.

Hinweise über den Einfluß der Stoßfugenvermörtelung auf die Schall-Längsdämmung finden sich in mehreren Arbeiten [Kö1, Sn2, Ve1]. Hierbei wurde übereinstimmend eine Erhöhung der Schall-Längsdämmung bei unvermörtelten Stoßfugen festgestellt. Die Erhöhung beträgt maximal etwa 4 dB und wird hauptsächlich auf die Zunahme der Ausbreitungsdämpfung zurückgeführt.

#### 4.2 Einfluß der Fugenbreite

Außer von der Härte des Mörtels wird die Steifigkeit der Steine auch von der Breite der Lagerfugen bestimmt. Eine Vergrößerung der Fugenbreite bewirkt eine Versteifung des Steingefüges. Die aus wärmetechnischen Gründen be-

vorzuzugte Dünnbettvermörtelung (Fugenbreite ca. 1 mm) erweist sich daher im Hinblick auf den Schallschutz als ungünstig. Ein Beispiel hierfür ist in Bild 7 dargestellt. Wie sich der Abbildung entnehmen läßt, erhöht sich die Schalldämmung beim Übergang von der Dünnbettvermörtelung auf eine normale Fugenbreite um 6 dB [Sn2]. Im Gegensatz zu den Meßkurven in Bild 6 wird die hier abgebildete Kurve nicht nur im Bereich der Dickenresonanz sondern im gesamten dargestellten Frequenzbereich verschoben. Dies deutet darauf hin, daß die Erhöhung der Fugenbreite nicht nur die einzelnen Steine sondern die gesamte Wand versteift.

#### **4.3 Einfluß der Putzstärke**

Der Einfluß der Putzstärke auf die Schalldämmung von Lochsteinwänden wurde von M. Schneider und P. Lutz meßtechnisch untersucht [Sn2]. Es ist klar, daß eine Vergrößerung der Putzstärke schon wegen der Zunahme der Wandmasse eine Erhöhung der Schalldämmung bewirkt. Wie sich Bild 8 entnehmen läßt, wächst die Schalldämmung bei Vergrößerung der Putzstärke jedoch weit stärker an, als dies aufgrund der Massenzunahme zu erwarten wäre. Die Erhöhung der Schalldämmung erfolgt hauptsächlich im Bereich der Dickenresonanz. Es fällt auf, daß sich nur die Tiefe, nicht aber die Frequenz des Resonanzeinbruchs verändert. Die Ursache hierfür ist zur Zeit noch unklar.

Die Stärke des Putzes wirkt sich außerordentlich stark auf die Schalldämmung von Lochsteinwänden aus. Gemäß Bild 2 wird das bewertete Schalldämm-Maß durch das Aufbringen einer Putzschicht mit einer Stärke von insgesamt 42 mm (12 mm innen und 30 mm außen) gegenüber der unverputzten Wand um 12 dB erhöht. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß unverputzte Wände häufig nicht völlig schalldicht sind.

#### **4.4 Einfluß des Steinformats**

Da die äußeren Abmessungen der Steine ihre Steifigkeit beeinflussen, wirkt sich das Steinformat auch auf die Schalldämmung aus. Entsprechende Untersuchungen sind in [Sn2] beschrieben. Bei den Untersuchungen wurde sowohl die Steinbreite (horizontale Ausdehnung parallel zur Wandfläche) als auch die

Steintiefe (Ausdehnung senkrecht zur Wandfläche) variiert. Den zugehörigen Meßergebnissen in den Bildern 9 und 10 läßt sich entnehmen, daß sich die Schalldämmung bei Verringerung der Steintiefe nur geringfügig verändert. Die Veränderung besteht hauptsächlich in einer Frequenzverschiebung der Dickenresonanz, die durch die Abnahme der Wanddicke hervorgerufen wird. Das Verhältnis der Resonanzfrequenzen entspricht etwa dem umgekehrten Verhältnis der Wanddicken (s. Gleichung 2).

Im Gegensatz hierzu erhöht sich die Schalldämmung bei Verminderung der Steinbreite erheblich (die Änderung des bewerteten Schalldämm-Maßes beträgt 5 dB). Daß die Änderung nicht nur den Bereich der Dickenresonanz sondern den gesamten bauakustischen Frequenzbereich umfaßt, weist darauf hin, daß neben den einzelnen Steinen auch das Gefüge der Wand versteift wird, wodurch eine Absenkung der Grenzfrequenz erfolgt.

## **5. Diskussion der Meßergebnisse**

Die gesammelten Meßergebnisse über die Schalldämmung von Lochsteinwänden sind in Anhang 2 in tabellarischer Form zusammengestellt. In der Tabelle sind - soweit verfügbar - alle maßgeblichen Informationen über die Lochsteine, den Wandaufbau und die schalltechnischen Eigenschaften der Wände enthalten. Die Tabelle besteht aus 26 Zeilen, wobei jede Zeile die Daten einer Wand enthält. In den Zeilen 1 bis 8 werden Lochsteine mit durchgehenden Stegen, in den übrigen Zeilen solche mit versetzten Stegen beschrieben. Die zugehörigen Lochbilder sind in Anhang 3 dargestellt. Die Zuordnung der Lochbilder zu den Meßdaten erfolgt mit der in Spalte 3 aufgeführten Lochbild-Nummer, die zugleich die Reihenfolge der Meßobjekte innerhalb der Tabelle festlegt. Weitere Erläuterungen zur Auswertung und Darstellung der Meßergebnisse sind den Tabellen 2 und 3 zu entnehmen.

Wie die Durchsicht der in Anhang 3 enthaltenen Daten zeigt, ist zwischen den Lochbildern und der Schalldämmung kein eindeutiger Zusammenhang erkennbar. Es ist zwar richtig, daß sich Steine mit durchgehenden Stegen im

allgemeinen schalltechnisch günstiger verhalten als solche mit versetzten Stegen. Es gibt jedoch auch zahlreiche Ausnahmen, die ein entgegengesetztes Verhalten zeigen. So liegt die Schalldämmung des in Zeile 3 beschriebenen Steines 11 dB unter der einer gleich schweren Massivwand, obwohl es sich um einen Stein mit durchgehenden Stegen handelt. Für den Stein in Zeile 4 ergibt sich ein ähnliches Bild. Hingegen erreichen Steine mit versetzten Stegen in einigen Fällen nahezu die gleiche Schalldämmung wie massive Wände. Beispiele hierfür sind die Steine in den Zeilen 18 und 22.

Ein großes Problem beim Vergleich der Meßdaten besteht darin, daß sich die Randbedingungen der Messungen, soweit sie überhaupt bekannt sind, häufig stark unterscheiden. Dies hat zur Folge, daß sich nicht entscheiden läßt, ob Änderungen der Schalldämmung auf Unterschiede im Lochbild oder die Variation anderer Einflußgrößen wie z.B. Vermörtelung und Putzstärke zurückzuführen sind. Erschwerend macht sich auch die begrenzte Meßgenauigkeit bemerkbar. Dies äußert sich darin, daß für gleichartige Wände zum Teil unterschiedliche Meßergebnisse vorliegen. Die Abweichungen im bewerteten Schalldämm-Maß betragen bis zu 4 dB (vgl. Fußnote C in Anhang 2)

Aus den genannten Gründen sind der Verwendbarkeit der Meßdaten enge Grenzen gesetzt. Es lassen sich lediglich allgemeine Schlußfolgerungen über die Schalldämmung von Lochsteinen ziehen. So ist die Aussage, daß durchlaufende Stege eine schalltechnisch günstige Lochung darstellen in dieser allgemeinen Form, wie zahlreiche Ausnahmen zeigen, nicht zutreffend. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für Steine mit versetzten Stegen, die sich keineswegs immer schalltechnisch ungünstig verhalten müssen. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn die Dickenresonanz zu hohen Frequenzen verschoben oder stark bedämpft ist. Die genauen Ursachen für das beschriebene Verhalten sind derzeit noch unklar.

Neben der Anordnung der Löcher spielt auch der Lochflächenanteil und die Rohdichte der Steine eine maßgebende Rolle. Schwere Steine mit geringem Lochflächenanteil weisen in der Regel eine hohe Schalldämmung auf. Gleiches gilt auch für grob strukturierte Steine mit großen Löchern und breiten

Stegen. Im Gegensatz hierzu sind filigrane Lochbilder als schalltechnisch eher ungünstig anzusehen. Über den Einfluß der Lochung auf die Schall-Längsdämmung sind derzeit keine zuverlässigen Aussagen möglich.

## **6. Verbesserungsmaßnahmen**

Aus den über die schalltechnischen Eigenschaften von Lochsteinen gewonnenen Erkenntnissen lassen sich geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Schalldämmung ableiten. Das Ziel besteht darin, eine Verbesserung der Schalldämmung ohne wesentliche Beeinträchtigung der Wärmdämmung zu erreichen. Im folgenden werden einige der wichtigsten Maßnahmen in kurzer Form beschrieben.

Zur Verbesserung der Schalldämmung muß in erster Linie das Auftreten von Dickenresonanzen vermieden werden. Die wirkungsvollste Art dies zu erreichen besteht darin, die Steifigkeit der einzelnen Steine senkrecht zur Wandfläche zu erhöhen, um dadurch die Resonanzfrequenz zur Obergrenze des bauakustischen Frequenzbereichs zu verschieben. Eine Erhöhung der Steifigkeit läßt sich durch eine entsprechende Gestaltung des Lochbildes erreichen, wobei folgenden Möglichkeiten bestehen:

- Einbau von durchgehenden Stegen. Es genügen im allgemeinen wenige Stege, so daß sich die Wärmedämmung nur unwesentlich verschlechtert.
- Versteifung und Beschwerung der Stirnflächen der Lochsteine (nach [He1] haben beide Maßnahmen den gleichen Einfluß). Dies kann z.B. dadurch erfolgen, daß der Lochflächenanteil im Bereich der Stirnflächen vermindert wird.
- Verringerung der Steinbreite. Hierdurch erhöht sich die Anzahl der Stoßfugen, was sich negativ auf die Wärmedämmung auswirkt. Dies läßt sich durch den Einsatz von Zahnziegeln vermeiden, bei denen eine Vermörtelung der Stoßfugen nicht erforderlich ist. Die Verwendung derartiger Ziegel hat überdies den Vorteil einer erhöhten Schall-Längsdämmung.

- Verminderung der Anzahl von Lochebenen innerhalb des Steins. Fili-grane Lochungen verhalten sich im allgemeinen schalltechnisch un-günstiger als großflächige Strukturen.

Ein Beispiel für ein schalltechnisch optimiertes Lochbild bildet der in Zeile 26 in Anhang 2 beschriebene Stein (Lochbild-Nr. TU1). Bei diesem Stein wurde die Schalldämmung durch das Einfügen eines zentralen durchgehenden Steges und die Versteifung der Stirnflächen (durch kürzere Lochabstände) gegenüber dem Ausgangszustand um 3 dB verbessert.

Eine weitere Möglichkeit zur Versteifung der Steine besteht in der Verwen-dung eines härteren Rohmaterials, was zum Beispiel durch geeignete Zu-schlagstoffe und entsprechende Herstellungsverfahren (z.B. Erhöhung der Brenntemperatur) erreicht werden kann. In ähnlicher Weise kann auch die innere Dämpfung der Steine erhöht werden, wodurch sich die Tiefe des Re-sonanzeinbruchs vermindert.

Eine Erhöhung der Steifigkeit wird auch durch die Verwendung harten Mörtels in den Lagerfugen und die Vergrößerung der Fugenbreite erreicht. Beide Maßnahmen haben den Nachteil, daß sie zugleich die Wärmedämmung der Wand verschlechtern. Wenn die Lochsteine im wärmetechnisch günstigen Dünnbettverfahren vermauert werden, sollten die schalltechnischen Nachteile der schmalen Fugen durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. eine erhöhte Putzstärke, ausgeglichen werden.

Die Erhöhung der Putzstärke stellt eine besonders wirksame Maßnahme zur Verbesserung der Schalldämmung von Lochsteinwänden dar. Sie bewirkt eine Beschwerung und Versteifung der Stirnflächen der Steine. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, daß die Wärmedämmung nicht beeinträchtigt wird. Au-ßerdem kann die Putzstärke auch nachträglich erhöht werden, so daß die Möglichkeit besteht, schalltechnisch mangelhafte Wände mit vergleichsweise geringem Aufwand zu sanieren.

## 7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Literaturstudie wurde der Einfluß der Lochung auf die Schalldämmung und Schall-Längsdämmung von Mauersteinen untersucht. Die gesammelte Literatur wurde gesichtet, ausgewertet und in dem beigefügten Literaturverzeichnis dokumentiert. Des weiteren wurde eine Sammlung von Meßdaten angelegt, in der alle schalltechnisch bedeutsamen Angaben einschließlich Lochbildern zusammengestellt sind. Diese Datensammlung diene als Grundlage zur schalltechnischen Beurteilung der Lochbilder.

Die durchgeführte Untersuchung erbrachte neue Erkenntnisse über den Zusammenhang von Lochung und Schalldämmung und über den schalltechnischen Einfluß des Wandaufbaus. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Die Schalldämmung von Lochstein-Wänden hängt außer vom Lochbild in starkem Maße vom Wandaufbau (Vermörtelung, Putzstärke, etc.) ab.
- Neben dem Lochbild der Steine stellt auch das Steinformat eine wichtige Einflußgröße dar.
- Im Gegensatz zur vorherrschenden Ansicht sind durchgehende Stege schalltechnisch nicht immer vorteilhaft. Auch Steine mit durchgehenden Stegen weisen teilweise erheblich verringerte Schalldämm-Maße auf. Die Ursache hierfür ist derzeit noch unklar.
- Die wirksamste Maßnahme zur Verbesserung der Schalldämmung besteht in der Versteifung der einzelnen Steine senkrecht zur Wandfläche. Hierdurch kann das Auftreten von Dickenresonanzen weitgehend vermieden werden.
- Im Gegensatz zur Durchgangsdämmung zeigt die Schall-Längsdämmung von Lochsteinwänden im allgemeinen einen glatten Frequenzverlauf ohne ausgeprägten Resonanzeinbruch. Dennoch ist auch die Schall-Längsdämmung meist erheblich geringer als bei gleich schweren Wänden aus homogenem Material. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Durchgangs- und Längsdämmung ist aus den vorliegenden Meßdaten nicht zu erkennen.

- Im Gegensatz zu dem entsprechenden Hinweis im Beiblatt 1 zu DIN 4109, kann auch bei Lochsteinen mit einer Rohdichte von mehr als  $0,8 \text{ kg/dm}^3$  eine erhebliche Verminderung der Schalldämmung auftreten. (Beispiele hierfür sind die Steine in den Zeilen 14 und 20 in Anhang 2.)
- Die Schalldämmung läßt sich ohne Beeinträchtigung der Wärmedämmung durch Optimierung des Lochbildes und der Vermauerungstechnik wirksam verbessern. Eine besonders wirkungsvolle Maßnahme stellt in diesem Zusammenhang auch die Erhöhung der Putzstärke dar.

Genauere Aussagen über den Zusammenhang zwischen dem Lochbild und den schalltechnischen Eigenschaften der Steine waren auf der Grundlage der vorliegenden Meßdaten nicht möglich. In dieser Beziehung sind nach wie vor viele Fragen offen. Gleiches gilt auch für den Einfluß der Lochung auf die Schall-Längsdämmung und die schalltechnischen Eigenschaften homogener Wände mit geringer Rohdichte, bei denen gleichfalls Dickenschwingungen auftreten. Zur Beantwortung dieser Fragen sind zusätzliche Untersuchungen sowohl theoretischer als auch meßtechnischer Art erforderlich.

## 8. Verzeichnis der Tabellen, Bilder und Anhänge

- Tabelle 1 Erläuterungen zum Literaturverzeichnis in Anhang 1.
- Tabelle 2 Erläuterungen zur Übersichtsdarstellung in Anhang 2.
- Tabelle 3 Erläuterungen zu den Lochbildern in Anhang 3.
- Tabelle 4 Einfluß der Steingeometrie und der Vermauerung auf die Schalldämmung von Lochsteinwänden.
- Bild 1 Bewertetes Schälldämm-Maß von Wänden aus Hohlziegeln in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse.
- Bild 2 Schalldämmung von Mauerwerk aus Hochlochziegeln.
- Bild 3 Schalldämmung und Schall-Längsdämmung von Wänden aus Lochsteinen.
- Bild 4 Schematische Darstellung einiger Schwingungsformen eines Lochsteins.
- Bild 5 Ortsabhängigkeit des Schnellepegels auf der Stirnseite eines Lochsteins.
- Bild 6 Schalldämmung von Wänden aus jeweils gleichen Hochlochziegeln aufgemauert mit unterschiedlichen Mörtelarten.
- Bild 7 Schalldämmung von Wänden aus Hochlochziegeln mit unterschiedlich breiten Lagerfugen.
- Bild 8 Schalldämmung einer Wand aus Hochlochziegeln in Abhängigkeit von der Putzstärke.
- Bild 9 Schalldämmung von Wänden aus Hochlochziegeln mit unterschiedlicher Steinbreite.
- Bild 10 Schalldämmung von Wänden aus Hochlochziegeln mit unterschiedlicher Steintiefe.
- Anhang 1 Literaturverzeichnis.
- Anhang 2 Übersicht über die akustischen Daten der untersuchten Steine.
- Anhang 3 Lochbilder.

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik****Tabelle 1** Erläuterungen zum Literaturverzeichnis in Anhang 1

Spalte Nr.	Bezeichnung	Erläuterung
1	Nr.	Referenz-Nummer der jeweiligen Literaturstelle. Die Referenz-Nummer setzt sich aus zwei Buchstaben (Anfangsbuchstaben des Nachnamens des ersten Autors) und einer Ziffer (laufende Nummer bei mehreren Veröffentlichungen des gleichen Autors) zusammen. Da im Text nicht auf alle aufgeführten Literaturstellen Bezug genommen wird, wurde das Literaturverzeichnis alphabetisch nach Referenz-Nummern geordnet.
2	Autoren	Namen der Autoren.
3	Titel	Vollständiger Titel der jeweiligen Literaturstelle.
4	Quelle	Quellenangaben zu den Literaturstellen.

## Fraunhofer-Institut für Bauphysik

**Tabelle 2** Erläuterungen zur Übersichtsdarstellung in Anhang 2

Spalte Nr.	Bezeichnung	Erläuterung
1	Zeile	Zeilen-Nummer.
2	Ref. Nr.	Verweis auf das Literaturverzeichnis in Anhang 1. Die Ziffern in Klammern kennzeichnen verschiedene Meßwerte der gleichen Literaturstelle.
3	Lochbild Nr.	<p>Verweis auf das Verzeichnis der Lochbilder in Anhang 3. Die Lochbild-Nummer dient zur Klassifizierung der Lochsteine und bestimmt deren Reihenfolge in der Tabelle. Sie setzt sich aus zwei Buchstaben und einer Ziffer (z.B. DR2) zusammen. Der erste Buchstabe hat folgende Bedeutung:</p> <p>D - durchlaufende Stege,  V - versetzte Stege,  T - teils durchlaufende und teils versetzte Stege.</p> <p>Der zweite Buchstabe kennzeichnet die Form der Löcher:</p> <p>R - Rechteck,  E - Ellipse oder Rhombus,  P - Parallelogramm,  L - Langloch,  U - unterschiedliche Löcher im gleichen Stein.</p> <p>Die Ziffer bezeichnet die Nummer des Steines innerhalb der durch die beiden Buchstaben festgelegten Gruppe.</p>
4	Stege	Anordnung der Stege (durchgehend oder versetzt).
5	Lochquerschnitt	Genaue Bezeichnung der Lochform.
6	Steintyp, Material	<p>Es werden folgende Abkürzungen verwendet:</p> <p>HLZ - Hochlochziegel,  KSL - Kalksand-Lochstein.</p>
7	Maße (B x T x H in mm)	<p>Äußere Abmessungen der Lochsteine. Um Verwechslungen zu vermeiden werden einheitlich folgende Bezeichnungen verwendet:</p> <p>B - Breite (horizontale Ausdehnung parallel zur Wandfläche)  T - Tiefe (Ausdehnung senkrecht zur Wandfläche),  H - Höhe der Steine.</p>

Fortsetzung nächste Seite

## Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Fortsetzung von Tabelle 2

Spalte Nr.	Bezeichnung	Erläuterung
8	Rohdichte in $\text{kg}/\text{dm}^3$	Werte mit einer Nachkommastelle bezeichnen die Rohdichteklasse nach DIN 18151 / 1987. Bei zwei Nachkommastellen handelt es sich um die tatsächliche Rohdichte der Steine in $\text{kg}/\text{dm}^3$ .
9	Dicke in mm	Gesamtdicke der Wand (einschließlich Putz).
10	Masse in $\text{kg}/\text{m}^2$	Flächenbezogene Masse der Wand (Gesamtmasse einschließlich Putz).
11	Putz innen / außen	Beschaffenheit und Stärke des Putzes (soweit vorhanden bzw. bekannt).
12	Lager- und Stoßfugen vermörtelt?	Die Buchstaben "J" (Ja) und "N" (Nein) zeigen an, ob die jeweiligen Fugen vermörtelt sind oder nicht. Die Buchstaben in Klammern beschreiben die Art der Vermörtelung: L - Leichtmörtel, D - Dünnbettmörtel, M - normaler Mauermörtel. Weitere Angaben zur Vermörtelung sind in Anhang 3 enthalten.
13	$R'_w$ in dB	Meßwert des bewerteten Schalldämm-Maßes mit Flankenübertragung (für eine mittlere flächenbezogene Masse der flankierenden Bauteile von $300 \text{ kg}/\text{m}^2$ ). Messungen ohne Flankenübertragung wurden nach Beiblatt 3 zu DIN 4109 / 1989 umgerechnet. Die Buchstaben in Klammern haben folgende Bedeutung: M - Messung mit Flankenübertragung, O - Messung ohne Flankenübertragung, K - Körperschallmessung.
14	$\Delta R'_w$ in dB	Differenz zwischen dem gemessenen und dem für eine gleich schwere Massivwand zu erwartenden Wert von $R'_w$ . Der zu erwartende Wert wurde anhand der Tabelle 1 in Beiblatt 1 zu DIN 4109 / 1989 ermittelt, wobei die in der Tabelle angegebenen Rechenwerte um das Vorhaltemaß von 2 dB erhöht wurden.

Fortsetzung nächste Seite

## Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Fortsetzung von Tabelle 2

Spalte Nr.	Bezeichnung	Erläuterung
15	$\Delta R_w$ in dB	Die Separation der Nebenwege erfolgt durch Angabe der Schalldämmung ohne Flankenübertragung $R_w$ . Aufgeführt ist die Differenz zwischen dem gemessenen und dem für eine gleich schwere Massivwand zu erwartenden Wert. Messungen mit Flankenübertragung wurden nach Beiblatt 3 zu DIN 4109 / 1989 umgerechnet. Zur Bestimmung des zu erwartenden Werts wurde zunächst $R'_w$ ermittelt (nach Tabelle 1 in Beiblatt 1) und anschließend in $R_w$ umgerechnet (nach Anhang A in Beiblatt 3).
16	$R_{L,w}$ in dB	Meßwert des bewerteten Labor-Schall-Längsdämm-Maßes in horizontaler Richtung nach DIN 52217 / 1984 (mit leichter Trennwand, d.h. vernachlässigbarer Verzweigungsdämmung). Das Schall-Längsdämm-Maß ist definiert als: $R_L = L_1 - L_2 + 10 \times \lg (S_0 / A)$ mit $L_1$ = Schallpegel im Senderraum, $L_2$ = Schallpegel im Empfangsraum, A = Äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum, $S_0$ = Bezugs-Trennfläche (10m <sup>2</sup> ) und entspricht somit der Längs-Norm-Schallpegeldifferenz nach DIN 52210 / 1984 Teil 1.
17	$\Delta R_{L,w}$ in dB	Differenz zwischen dem gemessenen und dem für eine gleich schwere Massivwand zu erwartenden Labor-Schall-Längsdämm-Maß. Das zu erwartende Schall-Längsdämm-Maß wurde anhand der Tabelle 25 in Beiblatt 1 zu DIN 4109 / 1989 ermittelt, wobei die in der Tabelle angegebenen Rechenwerte um das Vorhaltemaß von 2 dB erhöht wurden.
18	$f_R$ in Hz	Frequenz des Einbruchs in der Schalldämm-Kurve (entspricht der Resonanzfrequenz der Dickenschwingungen).
19	Prüfstand, Bemerkungen	Art des Prüfstandes in dem gemessen wurde. Die Buchstaben in Klammern beziehen sich auf die Fußnoten unterhalb der Tabelle.

## Fraunhofer-Institut für Bauphysik

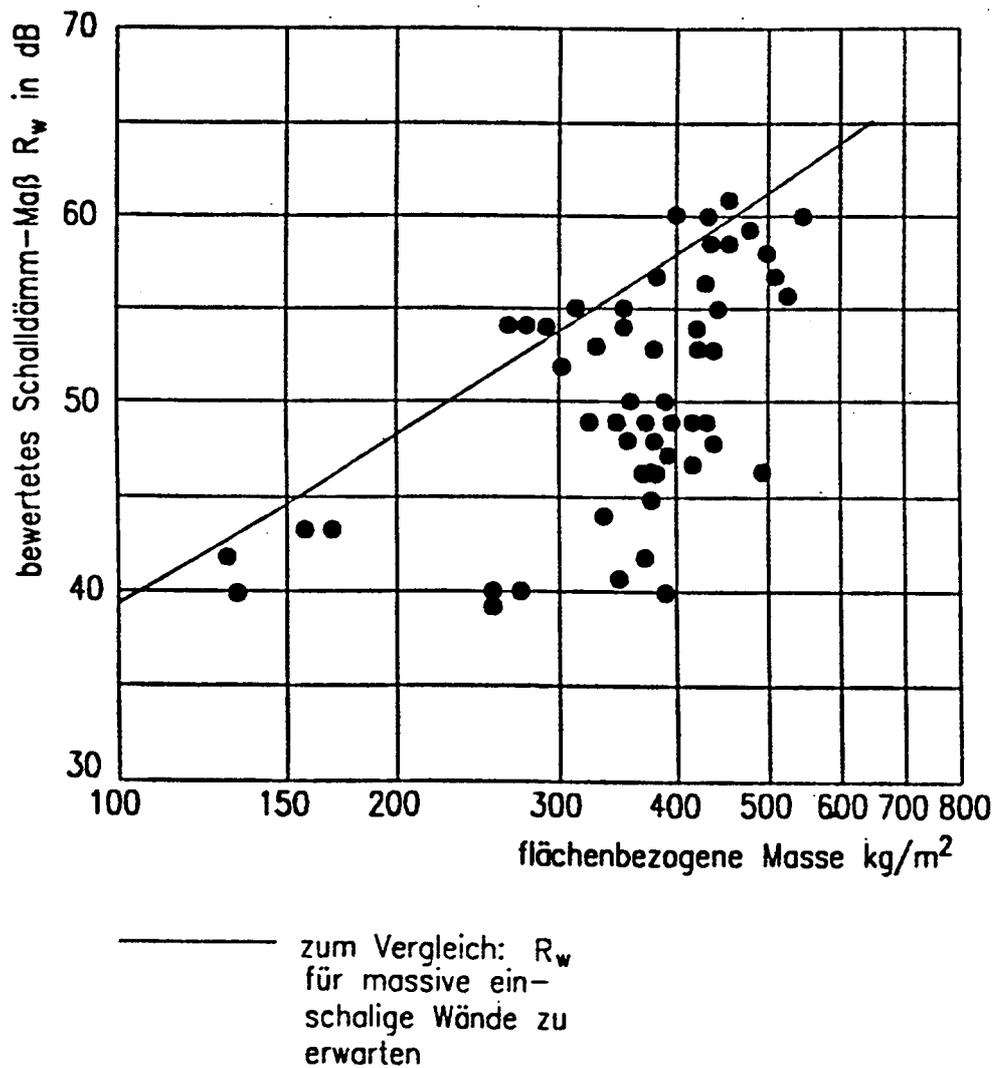
**Tabelle 3** Erläuterungen zu den Lochbildern in Anhang 3

Spalte Nr.	Bezeichnung	Erläuterung
1	Nr.	Lochbild-Nummer aus Anhang 2. Ausführliche Beschreibung siehe Tabelle 2.
2	Lochbild	<p>Grafische Darstellung des Lochbildes. Das Lochbild stellt in der Regel ein eindeutiges Kennzeichen des jeweiligen Steines dar. Sofern unveröffentlichte Prüfberichte als Datenquelle herangezogen wurden, war die Wiedergabe des Lochbildes aus Gründen der Vertraulichkeit nur mit Zustimmung des Auftraggebers möglich. Wenn keine Zustimmung vorlag, wurde das Lochbild durch den Text "nicht zur Veröffentlichung freigegeben" ersetzt. Allgemeine Angaben zum Lochbild (Anordnung der Stege und Lochform) sind in Anhang 2 enthalten.</p> <p>Bei den gezeigten Lochbildern handelt es sich Querschnitte durch die untersuchten Steine. Sie wurden so dargestellt, daß die lange Seitenfläche in waagrechter Richtung verläuft. Die Orientierung der Steine innerhalb der Wand ergibt sich im allgemeinen eindeutig aus ihrer äußeren Form (Verzahnung, Mörteltaschen, etc.). Sollte dies nicht der Fall sein (z.B. bei ausschnittsweiser Darstellung), so läßt sich die Orientierung der Steine aus dem ersten Buchstaben der Lochbild-Nummer (V für versetzte und D für durchgehende Stege) in Verbindung mit dem Lochbild entnehmen.</p>
3	Weitere Angaben zur Wand	Zusätzliche Angaben zur Meßwand (Abmessungen, massebezogene Feuchte, Putz- und Mörtelart) für die in Anhang 2 nicht genügend Platz vorhanden war. Die genannten Wandabmessungen beziehen sich auf die Messung der Durchgangsdämmung. Für die Messung der Schall-Längsdämmung im Diagonalprüfstand ist etwa von der doppelten Wandfläche (Summe der Flächen vor und hinter der Trennwand) auszugehen.

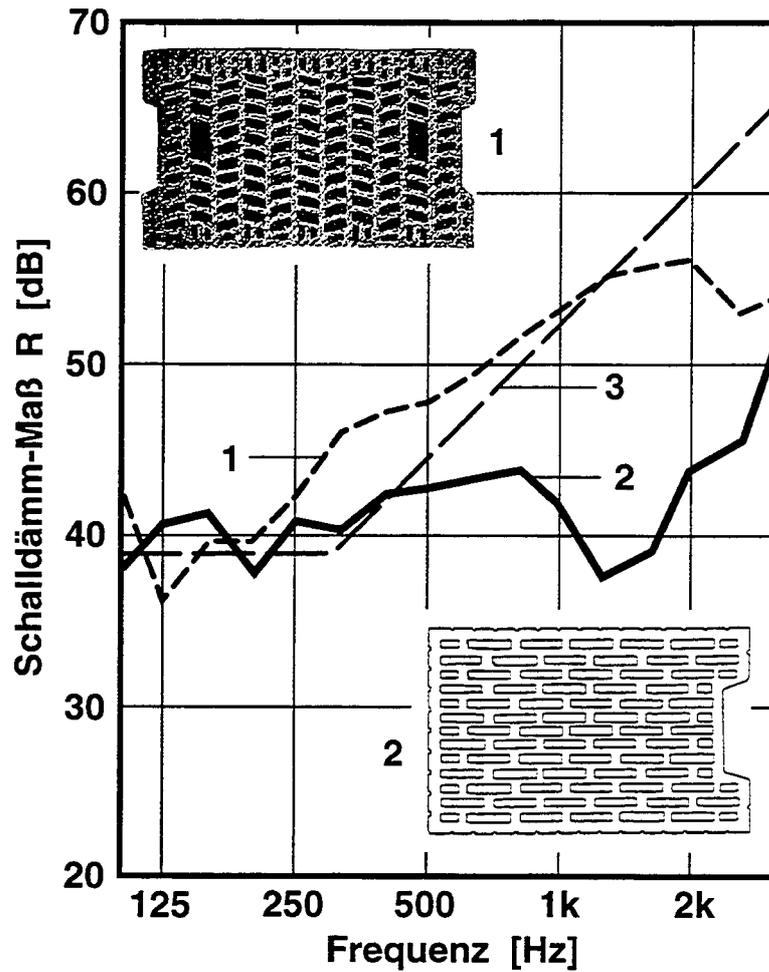
**Fraunhofer-Institut für Bauphysik****Tabelle 4** Einfluß der Steingeometrie und der Vermauerung auf die Schalldäm-mung von Lochsteinwänden

Einflußgröße	$\Delta R_{\max}$ in dB
Lochbild	10 bis 15 dB
Mörtelart	ca. 5 dB
Breite der Lagerfugen	ca. 5 dB
Putzstärke	5 bis 10 dB
Steinformat	ca. 5 dB

Angegeben ist maximale Änderung der Schalldämmung  $\Delta R_{\max}$ , die bei Veränderung der jeweiligen Einflußgröße bei gleichbleibender Wandmasse in den vorliegenden Meßdaten aufgetreten ist.

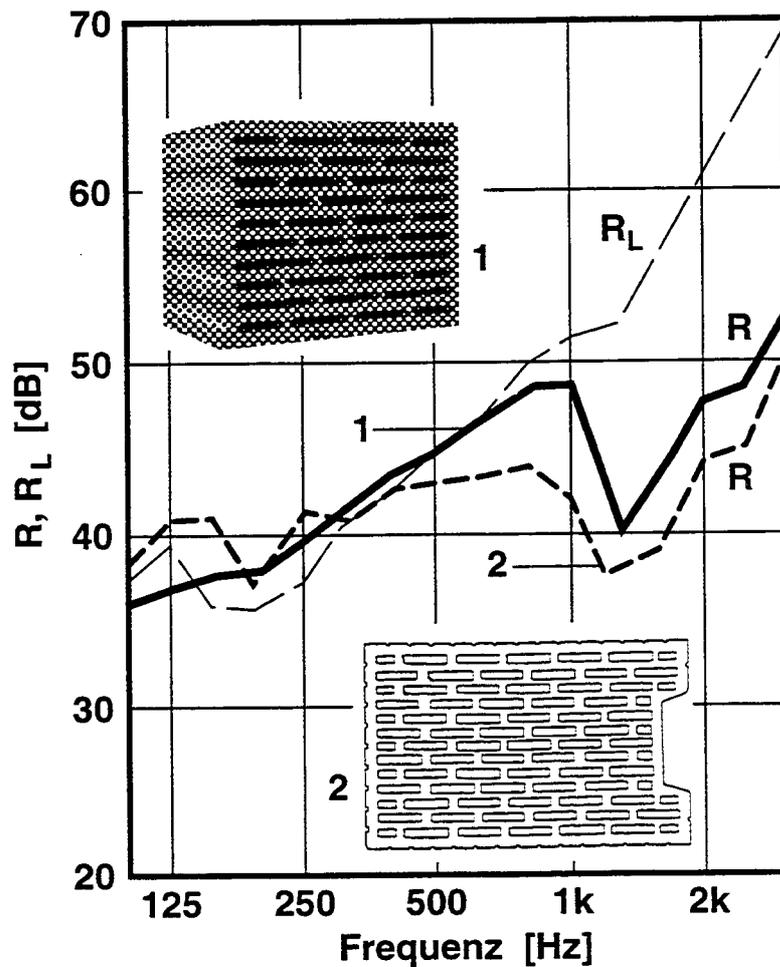


**Bild 1** Bewertetes Schälldämm-Maß von Wänden aus Hohlziegeln in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse nach [La2].



**Bild 2** Schalldämmung von Mauerwerk aus Hochlochziegeln nach [Ko4]

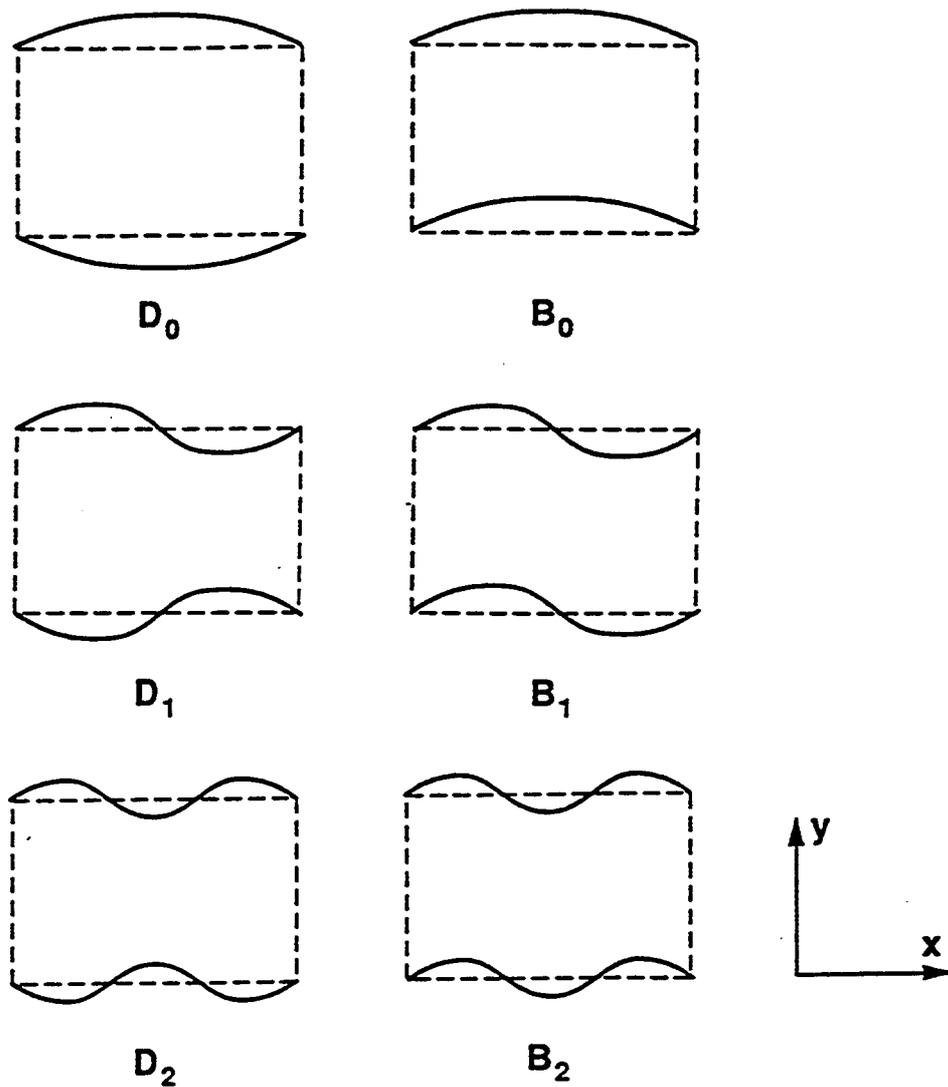
- 1: durchgehende Stege,  $m'' = 290 \text{ kg/m}^2$ ,  $R_W = 52 \text{ dB}$ .
- 2: versetzte Stege,  $m'' = 302 \text{ kg/m}^2$ ,  $R_W = 43 \text{ dB}$ .
- 3: idealisierter Schalldämmverlauf für  $m'' = 300 \text{ kg/m}^2$ .



**Bild 3** Schalldämmung  $R$  und Schall-Längsdämmung  $R_L$  von Wänden aus Lochsteinen nach [Ko4]. Die Werte in Klammern bezeichnen die Abweichung gegenüber einer gleich schweren Massivwand ohne Dickenresonanz.

1: Kalksandstein,  $m'' = 320 \text{ kg/m}^2$ ,  $R_W = 46 \text{ dB}$  ( $\Delta R_W = -7 \text{ dB}$ ),  
 $R_{L,W} = 49 \text{ dB}$  ( $\Delta R_{L,W} = -12 \text{ dB}$ ).

2: Hochlochziegel,  $m'' = 302 \text{ kg/m}^2$ ,  $R_W = 43 \text{ dB}$  ( $\Delta R_W = -9 \text{ dB}$ ).

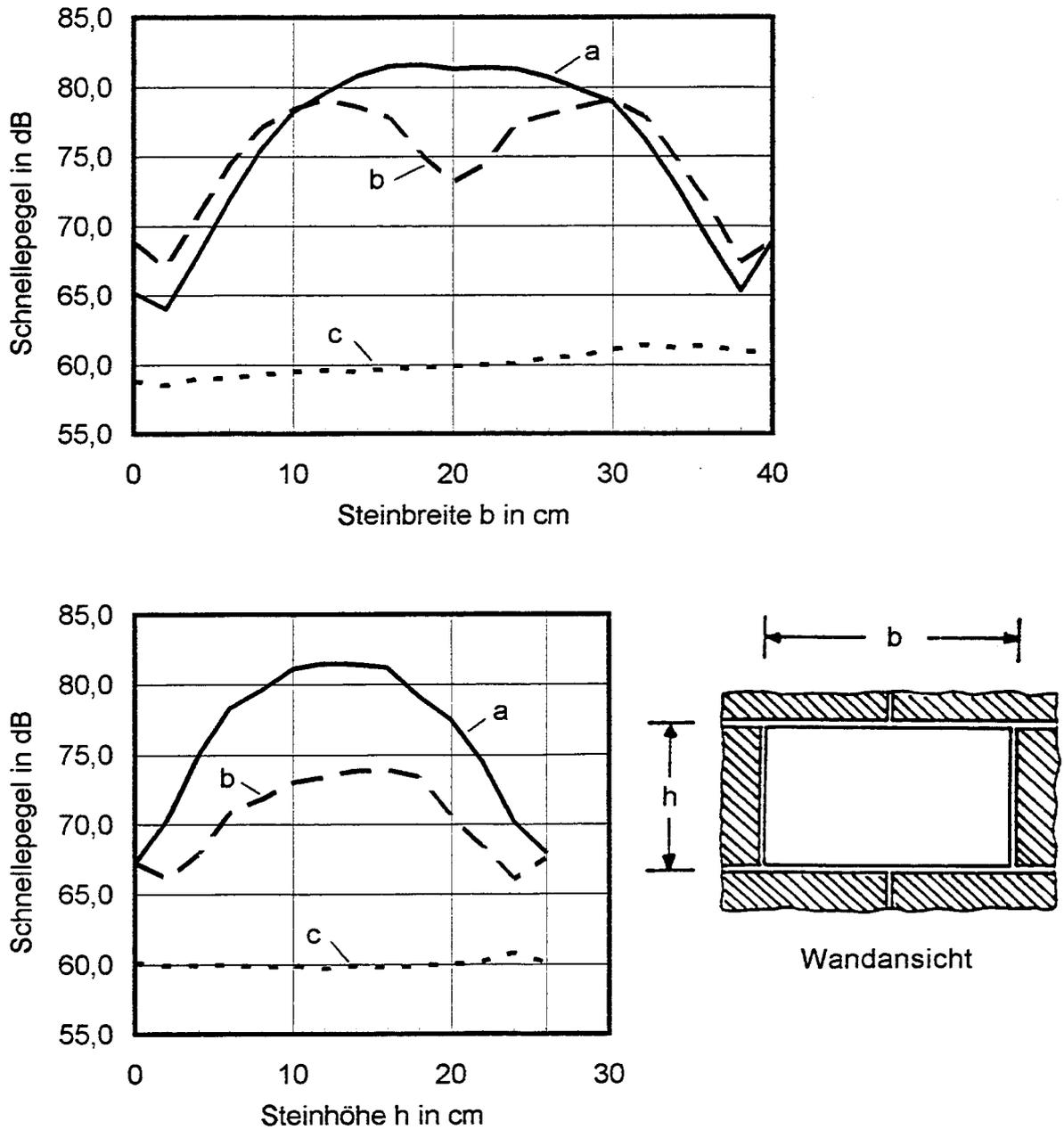


**Bild 4** Schematische Darstellung einiger Schwingungsformen eines Steins (horizontaler Schnitt) nach [Ma1].

D<sub>i</sub>: Dickenschwingungen.

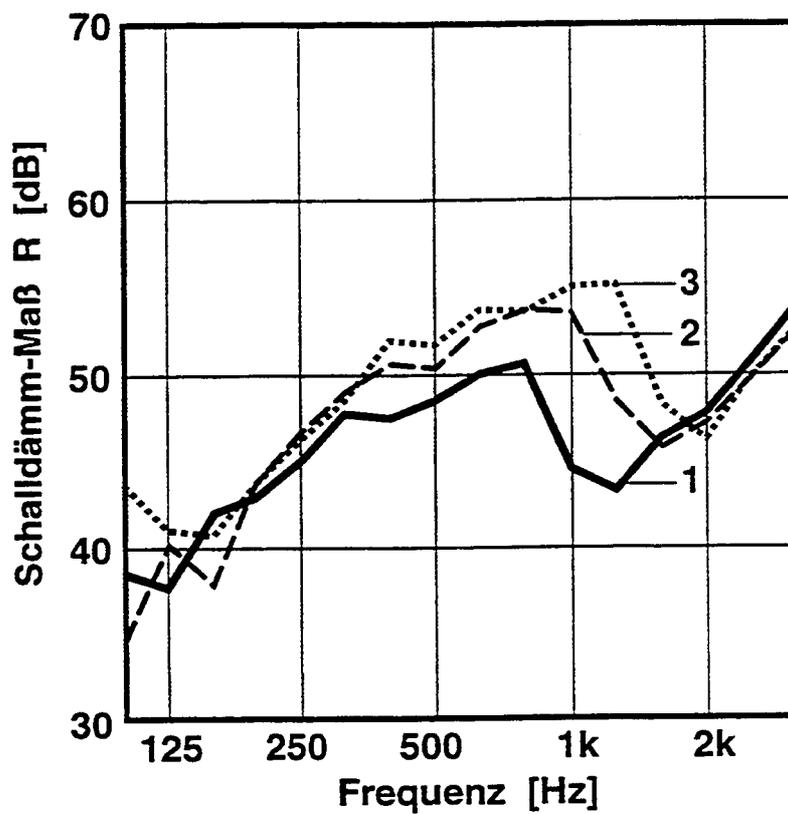
B<sub>i</sub>: Biegeschwingungen.

i: Anzahl vertikaler Knotenlinien auf einer Stirnseite.



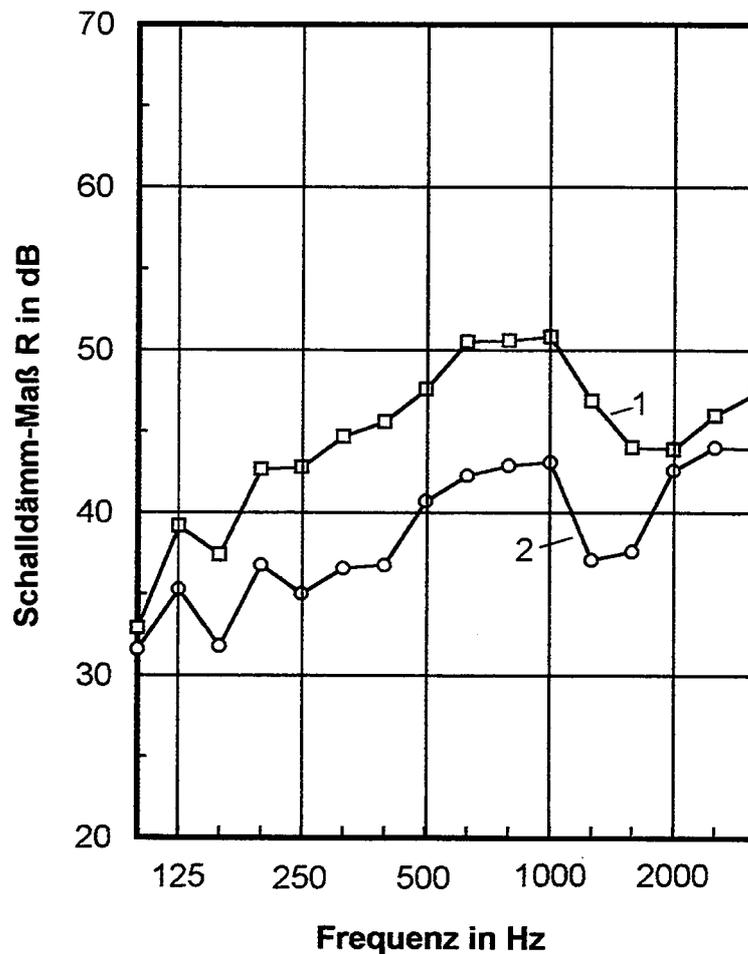
**Bild 5** Ortsabhängigkeit des Schnellepegels auf der Stirnseite eines Steins in einer Wand aus Hochlochziegeln in horizontaler Richtung (oben) und vertikaler Richtung (unten) nach [Sn2]. Die Messung erfolgte bei unterschiedlichen Frequenzen:

- a:  $f = 1600 \text{ Hz}$ .
- b:  $f = 2000 \text{ Hz}$ .
- c:  $f = 500 \text{ Hz}$ .



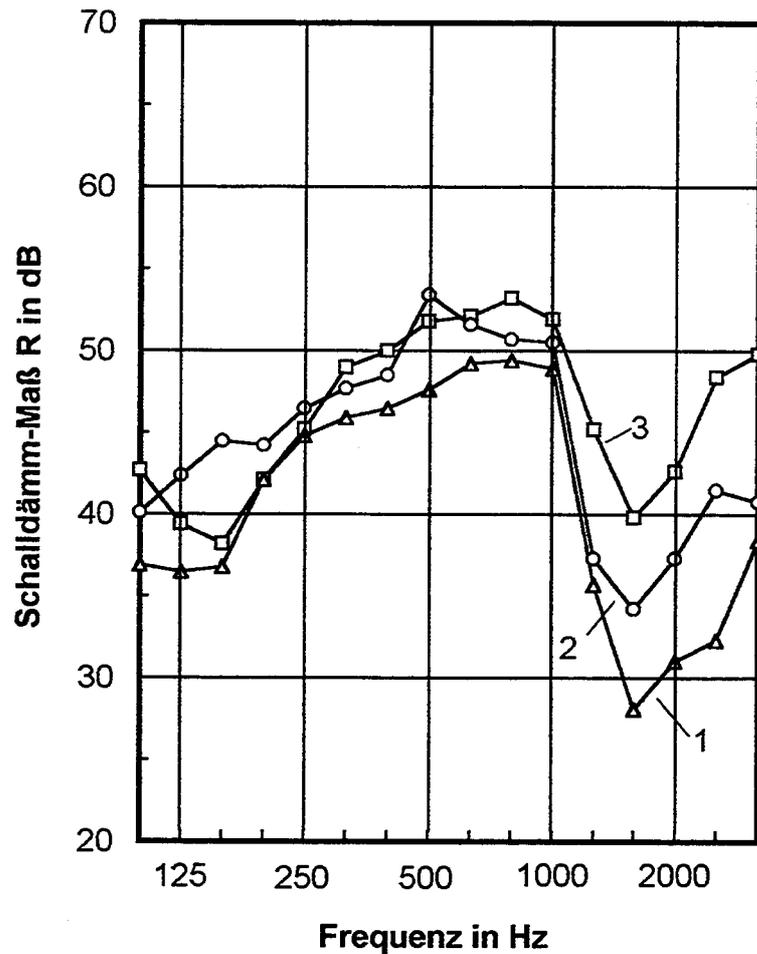
**Bild 6** Schalldämmung von Wänden aus jeweils gleichen Hochlochziegeln aufgemauert mit unterschiedlichen Mörtelarten, nach [La3].

- 1: Leichtmauermörtel LM 21 nach DIN 1053 Teil1 ( $R_w = 48$  dB).
- 2: Leichtmauermörtel LM 36 nach DIN 1053 Teil1 ( $R_w = 50$  dB).
- 3: Kalkzementmörtel ( $R_w = 52$  dB).



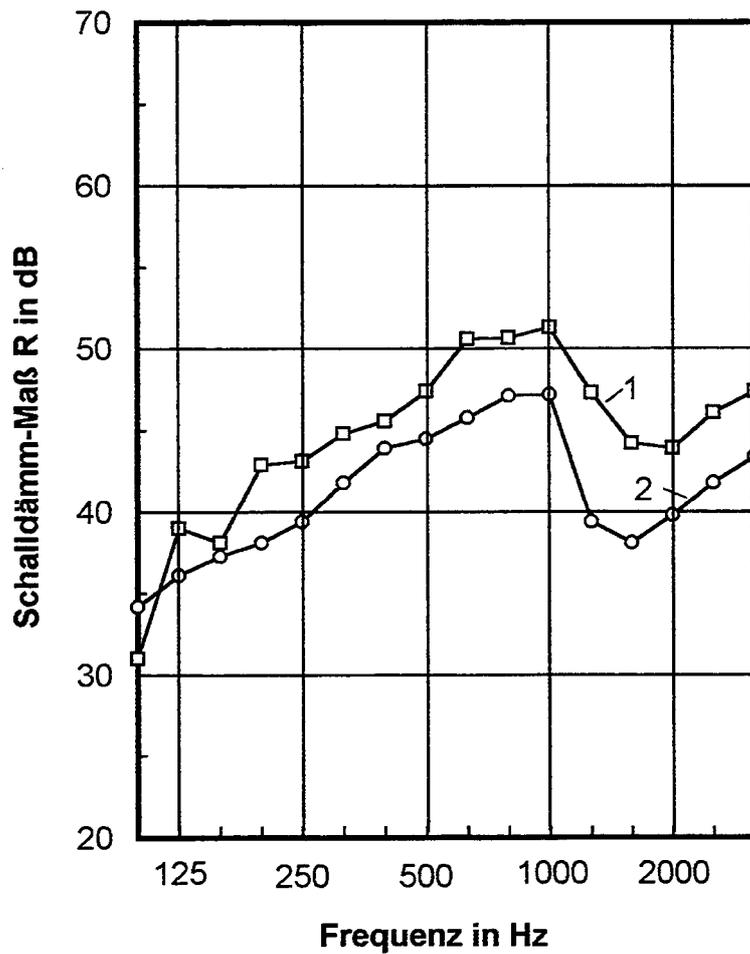
**Bild 7** Schalldämmung von Wänden aus Hochlochziegeln (elliptische Lochung, versetzte Stege) mit unterschiedlich breiten Lagerfugen unter ansonsten gleichen Bedingungen. Körperschallmessungen nach [Sn2].

- 1: normale Fugenbreite (Leichtmauermörtel LM 36, Steinformat B x T x H = 247 mm x 300 mm x 238 mm),  $R_W = 47$  dB.
- 2: Fugenbreite ca. 1 mm (Dünnbettmörtel, Plansteine im Format B x T x H = 248 mm x 300 mm x 248 mm),  $R_W = 41$  dB.

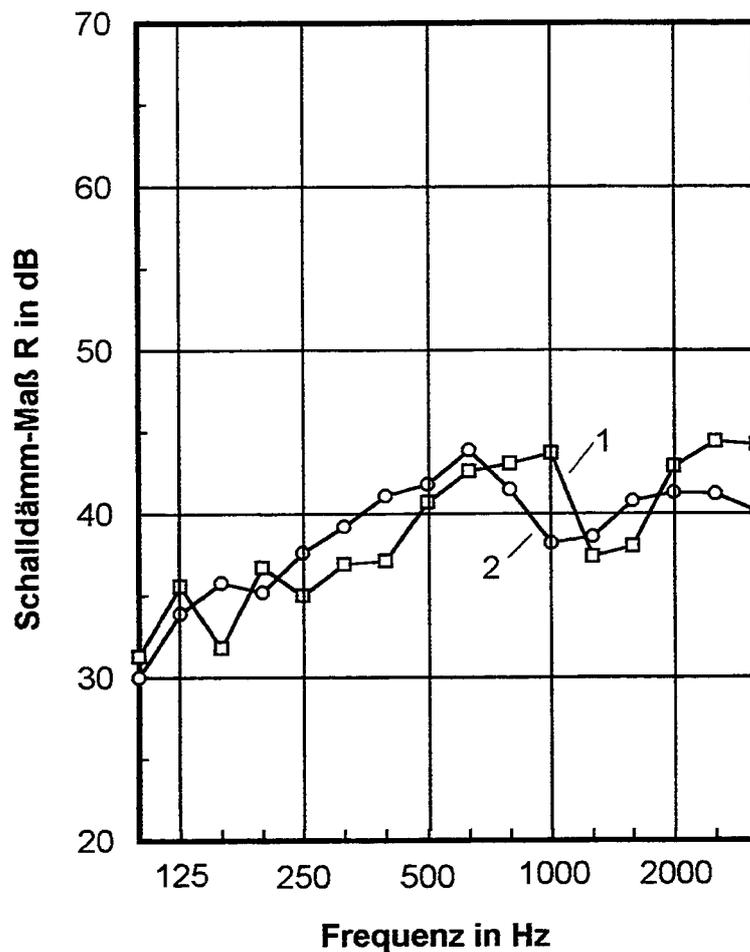


**Bild 8** Schalldämmung einer Wand aus Hochlochziegeln (elliptische Lochung, versetzte Stege) in Abhängigkeit von der Putzstärke aus Körperschallmessungen nach [Sn2].

- 1: unverputzt ( $R_w = 35$  dB).
- 2: Putzstärke beidseitig je 12 mm ( $R_w = 40$  dB).
- 3: Putzstärke 12 mm innen und 30 mm außen ( $R_w = 47$  dB).



**Bild 9** Schalldämmung von Wänden aus Hochlochziegeln (elliptische Lochung, versetzte Stege) mit unterschiedlicher Steinbreite unter ansonsten gleichen Bedingungen. Körperschallmessungen nach [Sn2].  
 1: Steinformat (B x T x H in mm): 247 x 300 x 238,  $R_w = 47$  dB.  
 2: Steinformat (B x T x H in mm): 372 x 300 x 238,  $R_w = 42$  dB.



**Bild 10** Schalldämmung von Wänden aus Hochlochziegeln (elliptische Lochung, versetzte Stege) mit unterschiedlicher Steintiefe unter ansonsten gleichen Bedingungen. Körperschallmessungen nach [Sn2].

1: Steinformat (B x T x H in mm): 248 x 300 x 249,  $R_w = 41$  dB.

2: Steinformat (B x T x H in mm): 248 x 365 x 249,  $R_w = 40$  dB.

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

## Literaturverzeichnis

Nr.	Autoren	Titel	Quelle
Er1	H. Ertel und W. Maysenhölder	Einfluß neuer Vermauerungstechniken und Bausteine auf die Schalldämmung zwischen Räumen	Vortrag auf VDI-Tagung, Düsseldorf 1989
Er2	H. Ertel	Direkt- und Längsschalldämmung - der Einfluß neuer Bausteinentwicklungen und Vermauerungstechniken	VDI-Tagung Düsseldorf 1989
Fr1	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 56/1996 (1996)
Fr2	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 385/1994 (1994)
Fr3	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 78/1993 (1993)
Fr4	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 77/1993 (1993)
Fr5	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 17/1991 (1991)
Fr6	—	Schalldämm-Maß und Schall-Längsdämm-Maß in Anlehnung an DIN 52210 Teil 3 bzw. 7	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht GS 142/89 (1989)
Fr7	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 113/1991 (1991)
Fr8	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht P-BA 355/1995 (1995)
Fr9	—	Schalldämm-Maß und Schall-Längsdämm-Maß in Anlehnung an DIN 52210 Teil 3 bzw. 7	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht GS 113/89 (1989)
Fr10	—	Schalldämm-Maß und Schall-Längsdämm-Maß in Anlehnung an DIN 52210 Teil 3 bzw. 7	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht GS 112/89 (1989)
Fr11	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht GS 11/78 (1978)
Fr12	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht GS 203/85 (1985)
Fr13	—	Schalldämm-Maß nach DIN 52210 Teil 3	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Prüfbericht GS 78/86 (1986)
Gö1	K. Gösele	Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken aus Gasbeton	Forschungsbericht für Forschungsvereinigung Gasbeton Nr. 124a/83 (1983), Leinfelden
Gö2	K. Gösele	Berechnung der Luftschalldämmung von Massivbauten unter Berücksichtigung der Schall-Längsleitung	Bauphysik 6 (1984), H. 3, S. 79 - 84 und H. 4 S. 121 - 126
Gö3	K. Gösele	Zur Längsleitung über leichte Außenwände	Bauphysik 12 (1990), H. 5, S. 145 - 150
Gö4	K. Gösele	Verringerung der Luftschalldämmung von Wänden durch Dickenresonanzen	Bauphysik 12 (1990), H. 6, S. 187 - 191
Gö5	K. Gösele und R. Kurz	Schall-Längsdämmung von leichten, massiven Außenwänden bei übereinanderliegenden Räumen	Bauphysik 14 (1992), H. 2, S. 33 - 38
Gö6	K. Gösele	Schallschutz mit Porenbeton	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Porenbeton Bericht 13 (1994)
He1	M. Heckl und M. Lewitt	Luftschalldämmung von Vielschichtplatten mit zahlreichen Schallbrücken	Fortschritte der Akustik - DAGA '90 (1990), S. 199 - 203
Ko1	S. Koch und W. Maysenhölder	Zur Schalldämmung von Außenwänden aus Lochsteinen	IBP-Mitteilung 18 (1991), Nr. 215
Ko2	S. Koch und W. Maysenhölder	Zur Schalldämmung von Mauerwerk - Einfluß des Steinmaterials und der Steingeometrie	Fortschritte der Akustik - DAGA '90, Bad Honnef: DPG-GmbH, Wien: IAP-TU, 1990, S. 203 - 206

Fortsetzung nächste Seite

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Fortsetzung von Anhang 1

Nr.	Autoren	Titel	Quelle
Ko3	S. Koch	Wände aus Mauerwerk mit hoher Schalldämmung	IBP-Mitteilung 14 (1987), Nr. 146
Ko4	S. Koch	Auswirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung auf den Schallschutz von Gebäuden	Bericht aus dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, B-BA 2/1996 (1996)
Kö1	W. Körner, K. Kneiper und R. Ziegelmeyer	Schall-Längsdämmung porosierter Außenmauerwerke in Abhängigkeit der Stoßstellenausbildung	GSA Limburg, Abschlußbericht des Forschungsvorhabens P 8866 (1993)
Ku1	R. Kurz	Außenbauteile in Massiv- und Skelettbauweise Schallschutz, Längsleitung und Schutz gegen Außenlärm	BmK 6 (1994), S. 11 - 18
La1	J. Lang	Planung der Erfüllung des normgemäßen Schallschutzes im Gebäude	wksb 31 (1986), H. 21, S. 25 - 32
La2	J. Lang	Messung der Schalllängsleitung im Prüfstand	Technologisches Gewerbemuseum Wien, Bericht Nr. 7220/WS (1990)
La3	J. Lang	Die neue ÖNORM B 8115, Teil 4 - Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen	Neues vom Bau 37 (1991), H. 1/2, S. 3 - 8 und H. 3/4, S. 1 - 9
La4	J. Lang	Measurement of Flanking Transmission in Outer Walls in Test Facilities	Applied Acoustics 40 (1993), S. 239 - 254
La5	J. Lang	Wirtschaftliche Erfüllung des normgemäßen Schallschutzes im Wohnungsbau	Forschungsarbeit 5160/WS, Fachverband der Stein- und Keramischen Industrie Österreichs, Wien
La6	J. Lang	Neue Anforderungen an den baulichen Schallschutz	Neues vom Bau, H. 1/2 (1982), S. 4 - 12
Lo1	G. Lott und P. Lutz	Einfluß der Dickenresonanz leichter Außenwände auf die Schalllängsleitung	Veröffentlichungen der Fachhochschule für Technik Stuttgart, Band 12 (1991), S. 87 - 104
Lu1	P. Lutz	Der Forschungsschwerpunkt "Schalllängsleitung"	Fachhochschule für Technik Stuttgart, FHT-Bericht 1/92 (1992), S. 22 - 24
Lu2	P. Lutz	Neue Erkenntnisse zur Schalllängsleitung durch leichte wärmedämmende Außenwände	Vortrag auf Tegernseer Bau fachtagen 1992, DIAA München
Lu3	P. Lutz	Untersuchungen zur Verbesserung der Schalldämmung und Schall-Längsleitung von Außenwänden aus porosierten Hochlochziegeln	Abschlußbericht IBL-FEB 5/94 im Rahmen des Forschungsauftrages 942/92 der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V. (1994)
Ma1	W. Maysenhölder	Kann die Schalldämmung einer gemauerten Wand aus dem Schwingungsverhalten eines einzelnen Steins berechnet werden?	Bauphysik 15 (1993), H. 2, S. 50 - 57
Ma2	W. Maysenhölder und H. M. Fischer	Verfahren zur Beurteilung des schalltechnischen Verhaltens von Lochsteinen	IBP-Mitteilung 20 (1993), Nr. 231
Ma3	W. Maysenhölder	Erster experimenteller Nachweis eines Sperrbandes für Dickenschwingungen in einer gemauerten Wand	Bericht aus dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, B-BA 3/1991 (1991)
Ri1	W. Rieck	Schalllängsleitung von leichten, massiven, wärmedämmenden Außenwänden aus Kalksandstein	Diplomarbeit im Studiengang Bauphysik an der Fachhochschule für Technik Stuttgart bei Prof. Lutz, Sommersemester 1992
Sn1	M. Schneider	Einfluß von Resonanzerscheinungen bei Außenwänden aus porosierten Leichtziegeln auf die Schalllängsleitung	Diplomarbeit im Studiengang Bauphysik an der Fachhochschule für Technik Stuttgart bei Prof. Lutz, Wintersemester 1991/1992
Sn2	M. Schneider und P. Lutz	Konstruktive Maßnahmen zur Verringerung der Schalllängsleitung bei leichten wärmedämmenden Außenwänden	Veröffentlichungen der Fachhochschule für Technik Stuttgart, Band 16 (1992), S. 78 - 103
Sn3	M. Schneider	Schalldämmung von hochwärmedämmenden Ziegeln - Neue Forschungen und Erkenntnisse für die Praxis	Vortrag auf der unipor-Fachtagung 1995, Tagungshandbuch S. 9 - 30

Fortsetzung nächste Seite

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Fortsetzung von Anhang 1

Nr.	Autoren	Titel	Quelle
Su1	R. Schumacher und F. P. Mechel	Der Schallschutz von Fassaden	Bauphysik-Taschenbuch (Hrsg. Sälzer / Grothe), Bauverlag Wiesbaden und Berlin (1983)
Su2	R. Schumacher und D. Müller	Schall-Längsleitung bei leichten Außenwänden	FASE Symposium Thessaloniki 1985
Su3	R. Schumacher und D. Müller	Verschlechterung der Transmissionsdämmung durch die Flankenübertragung leichter Außenbauteile	Fortschritte der Akustik - DAGA '86 (1986), S. 295 - 298
Su4	R. Schumacher	Längsschalldämmung bei Leichtziegelwänden	Forschungsbericht Nr. FA 862/84, Forschungsstelle des Bundesverbandes der deutschen Ziegelindustrie 1985 - 1989 (unveröffentlicht)
Su5	R. Schumacher	Zur Längsschalldämmung leichter Außenwände	wksb-Sonderausgabe, September 1990, S. 45 - 58
Su6	R. Schumacher	Zur Transmissions- und Längsschalldämmung leichter Außenwände und Fassaden	Veröffentlichungen der Fachhochschule für Technik, Stuttgart, Band 12 (1991), S. 25 - 57
Ve1	E. Veres	Einfluß der Vermauerungsart und der Knotenpunkt-Ausbildung auf die Längs- Schalldämmung von Kalksandsteinwänden	Bericht aus dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, BS 181/88 (1988)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Zusammenfassung der Messergebnisse an Lochstein-Wänden

Zelle	Ref. Nr.	Steine				Wand				Schalldämmung				Prüfstand, Bemerkungen		
		Lochbild Nr.	Lochquer-schnitt	Steintyp, Material	Maße B x T x H in mm	Roh-dichte in kg/dm <sup>3</sup>	Dicke in mm	Masse in kg/m <sup>2</sup>	Putz innen / Putz außen	Lager- und Stoßfugen vermerkt?	R <sub>w</sub> in dB	ΔR <sub>w</sub> in dB	R <sub>L,w</sub> in dB		ΔR <sub>L,w</sub> in dB	f <sub>r</sub> in Hz
1	F10	DP1	durchgehend	Parallelogramm	HLZ	495 x 300 x 240	0,8	320	290	beidseitig 10 mm Gipsputz	J (L) / J (L)	52 (M)	+1	51	-9	Diagonalprüfstand
2	Sn1 (1)	DP2	durchgehend	Parallelogramm	HLZ	373 x 240 x 238	0,8	240 + Putz	200	verputzt / ?	J / N	47 (K)	0	---	1600	Messung am Bau (A)
3	F2	DR1	durchgehend	Rechteck	HLZ	241 x 365 x 249	0,76	395	345	10 mm Kalkgipsputz / 20 mm Kalk-Zementmörtel	J (D) / N	42 (M)	-11	---	800	DIN 52210-PFL-W (B)
4	F3	DR2	durchgehend	Rechteck	Plan-HLZ	248 x 365 x 242	0,78	395	373	10 mm Kalkgipsputz / 20 mm Kalk-Zementmörtel	J (D) / N	46 (M)	-8	---	---	DIN 52210-PFL-W
5	F4	DR2	durchgehend	Rechteck	HLZ	248 x 365 x 240	0,78	395	385	10 mm Kalkgipsputz / 20 mm Kalk-Zementmörtel	J (L) / N	50 (M)	-4	---	---	DIN 52210-PFL-W, gleiche Lochung wie Fr3
6	F7	DR3	durchgehend	Rechteck	HLZ	300 x 175 x 238	1,62	190	326	15 mm Kalkzementputz / Stoßfugen geschlämmt	J (M) / J (M) (nur Taschen)	48 (O)	-4	---	---	DIN 52210-P-W
7	F11	DR4	durchgehend	Rechteck	HLZ	500 x 300 x 240	0,75	330	307	20 mm Kalkzementputz / 10 mm Leichtputz	J (L) / ?	52 (M)	+1	---	---	DIN 52210-PFL-W
8	La2 (2)	DR5	durchgehend	Rechteck	HLZ	300 x 250 x 235	0,98	250 + Putz	250	beidseitig verputzt	J (L) / ?	50 (O)	+1	55	-3	Diagonalprüfstand
9	F1	VE1	versetzt	Rhombus	HLZ	248 x 365 x 238	0,58	400	308	15 mm Kalkgipsputz / 20 mm mineral. Leichtputz	J (L) / N	45 (M)	-7	---	1250	DIN 52210-PFL-W
10	F5	VE2	versetzt	Ellipse	HLZ	248 x 300 x 238	0,76	300	300	kein Putz, Stoßfugen beidseitig geschlämmt	J (L) / N	44 (O)	-7	---	1250	DIN 52210-P-W
11	Sn1 (2)	VE3	versetzt	Ellipse	HLZ	373 x 240 x 238	0,8	240 + Putz	200	verputzt / ?	J / N	44 (K)	-3	---	1600	Messung am Bau (C)
12	Sn1 (3)	VE3	versetzt	Ellipse	HLZ	373 x 300 x 238	0,8	300 + Putz	246	verputzt / ?	J / N	47 (K)	-2	---	2000	Messung am Bau, gleiche Lochung wie Sn1(2)
13	F6	VL1	versetzt	Langloch	KSL	375 x 300 x 238	0,97	320	326	beidseitig 10 mm Gipsputz	J (L) / J (L) (nur Taschen)	48 (O)	-4	52	-9	Diagonalprüfstand
14	F9	VL2	versetzt	Langloch	KSL	375 x 300 x 238	0,97	320	320	beidseitig 10 mm Gipsputz	J (D) / N	44 (O)	-8	51	-10	Diagonalprüfstand
15	La1 (2)	VL3	versetzt	Langloch	Beton-hohlstein	?	?	?	500	einseitig verputzt	?	53 (O)	-4	---	1250 ?	
16	La1 (3)	VL4	versetzt	Langloch	HLZ	?	?	?	420	beidseitig verputzt	?	48 (O)	-7	---	1000 ?	
17	La1 (4)	VL5	versetzt	Langloch	HLZ	?	?	?	410	?	?	50 (O)	-5	---	2000 ?	

Fortsetzung nächste Seite

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

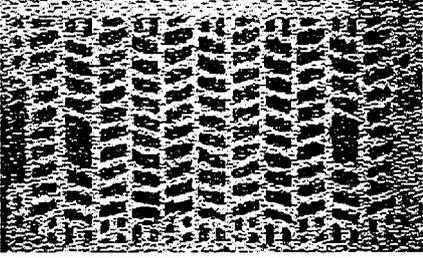
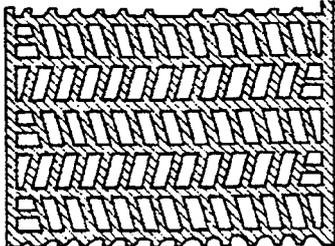
Fortsetzung von Anhang 2

Zeile Nr.	Ref. Nr.	Steine			Wand				Schalldämmung				Prüfstand, Bemerkungen			
		Loch- bild Nr.	Lochquer- schnitt	Steintyp- Material	Maße B x T x H in mm	Roh- dicke in kg/dm <sup>3</sup>	Dicke in mm	Masse in kg/m <sup>2</sup>	Putz innen / Putz außen	Lager- und Stoßfugen vermörtelt?	R <sub>w</sub> in dB	ΔR <sub>w</sub> in dB		R <sub>L,w</sub> in dB	ΔR <sub>L,w</sub> in dB	f <sub>R</sub> in Hz
18	Fr8	VR1	versetzt	Rechteck	HLZ	495 x 300 x 238	0,74	334	290	beidseitig 17 mm Kalk- zementputz	J (M) / J (M) (nur Taschen)	49	-2	---	2000	DIN 52210-PFL-W
19	Fr12	VR2	versetzt	Rechteck	HLZ	500 x 300 x 238	1,01	300	314	nicht verputzt	N / N (nur mittl. Hohlr.)	48	-4	---	1250	DIN 52210-PFL-W
20	Fr13	VR3	versetzt	Rechteck	HLZ	372 x 240 x 238	1,0	270	302	beidseitig 15 mm Gipsputz	J / J (nur Taschen)	43	-8	---	1250	DIN 52210-P-W
21	La1 (1)	VR4	versetzt	Rechteck	Beton- hohlstein	?	?	?	300	einseitig verputzt	?	49	-2	---	1600	?
22	La1 (5)	VR5	versetzt	Rechteck	HLZ	?	?	?	435	?	?	55	-1	---	---	?
23	La2 (1)	VR6	versetzt	Rechteck	HLZ	?	?	380 + Putz	350	beidseitig verputzt	?	41	-12	-14	1000	?
24	La2 (3)	VR7	versetzt	Rechteck	HLZ	250 x 380 x 220	0,81	380 + Putz	420	beidseitig verputzt	J (M) / ?	52	-3	-6	1600	Diagona prüfstand
25	La1 (6)	VU1	versetzt	unter- schiedlich	Beton- hohlstein	?	?	?	470	?	?	56	-1	0	---	?
26	Sn3	TU1	teilweise versetzt	unter- schiedlich	HLZ	247 x 365 x 238	0,8	365 + Putz	320	verputzt / ?	J (L) / ?	52	0	0	1600	?

- A) Anmerkung zu Zeile 2: Messungen an einer ähnlichen Wand werden in [Gö5] beschrieben (Körperschallmessungen am Bau). Die Schalldämmung beträgt R<sub>w</sub> = 47 dB. Beim Frequenzverlauf bestehen große Unterschiede.
- B) Anmerkung zu Zeile 3: Durch Modifikation von Putz und Mörtel konnte die Schalldämmung der Wand auf ΔR<sub>w</sub> = -5 dB verbessert werden (unveröffentlichte Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik).
- C) Anmerkung zu Zeile 11: Messungen an einer ähnlichen Wand werden in [Gö5] beschrieben (Körperschallmessungen am Bau). Die Schalldämmung beträgt R<sub>w</sub> = 40 dB. Beim Frequenzverlauf bestehen große Unterschiede.

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

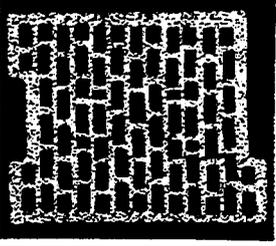
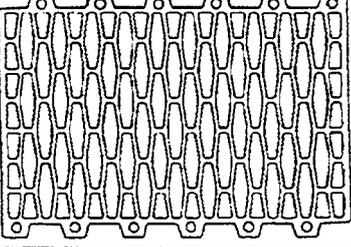
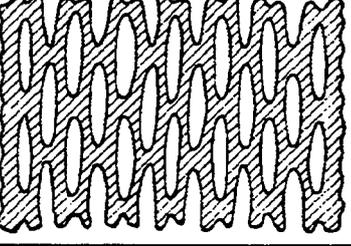
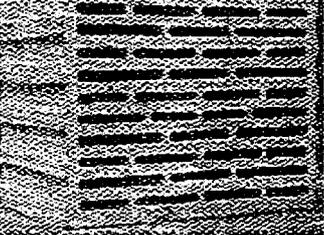
## Lochbilder der Steine

Nr.	Lochbild	Weitere Angaben zur Wand
DP1		Maße (B x H): ca. 5,0 m x 3,0 m, Lagerfugen: Leichtmörtel (Wärmedämmmörtel), Stoßfugen: Leichtmörtel (Wärmedämmmörtel)
DP2		
DR1	nicht zur Veröffentlichung freigegeben	Maße (B x H): 3,71 m x 2,95 m, Lagerfugen: Dünnbettmörtel, Stoßfugen: nicht vermörtelt, massebezogene Feuchte: 3,3 %
DR2	nicht zur Veröffentlichung freigegeben	Maße (B x H): 3,71 m x 2,95 m, Lagerfugen: Dünnbettmörtel (Fr3) bzw. Leichtmauermörtel (Fr4), Stoßfugen: nicht vermörtelt, massebezogene Feuchte: 2,2 % (Fr3) bzw. 3,8 % (Fr4)
DR3	nicht zur Veröffentlichung freigegeben	Maße (B x H): 4,25 m x 3,11 m, Lagerfugen: Normalmauermörtel, Stoßfugen: nicht vermörtelt, Putz innen: 15 mm Kalkzementputz, Putz außen: nicht verputzt aber geschlämmte Stoßfugen
DR4	nicht zur Veröffentlichung freigegeben	Wandfläche: 8,8 m <sup>2</sup> , Lagerfugen: Kalkzementmörtel, Stoßfugen: Kalkzementmörtel nur in Mörteltaschen, massebezogene Feuchte: 5,7 %

Fortsetzung nächste Seite

## Fraunhofer-Institut für Bauphysik

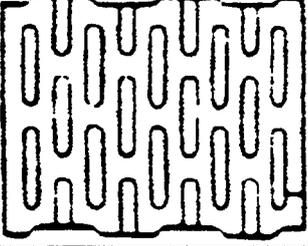
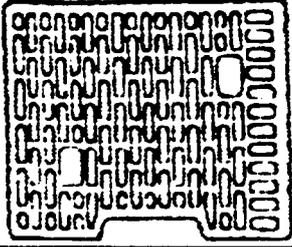
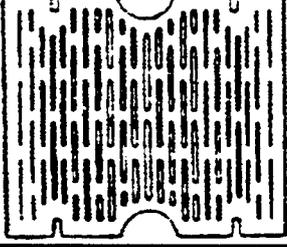
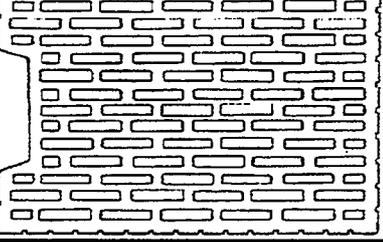
Fortsetzung von Anhang 2

Nr.	Lochbild	Weitere Angaben zur Wand
DR5		Maße (B x H): 4,0 m x 2,7 m, Lagerfugen: Leichtmörtel
VE1		Maße (B x H): 3,71 m x 2,95 m, Lagerfugen: zementgebundener Leichtmauermörtel, Stoßfugen: nicht vermörtelt, massebezogene Feuchte: 9,7 %
VE2	nicht zur Veröffentlichung freigegeben	Maße (B x H): 4,25 m x 3,11 m, Lagerfugen: Leichtmauermörtel, Stoßfugen: nicht vermörtelt, Putz innen und außen: nicht verputzt aber beidseitig geschlämmte Stoßfugen
VE3		
VL1	nicht zur Veröffentlichung freigegeben	Maße (B x H): ca. 5,0 m x 3,0 m, Lagerfugen: Leichtmörtel, Stoßfugen: Leichtmörtel nur in Mörteltaschen
VL2		Maße (B x H): ca. 5,0 m x 3,0 m, Lagerfugen: KS-Dünnbettmörtel, Stoßfugen: nicht vermörtelt

Fortsetzung nächste Seite

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

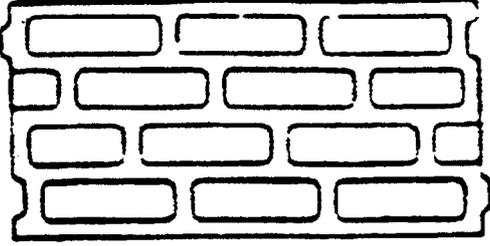
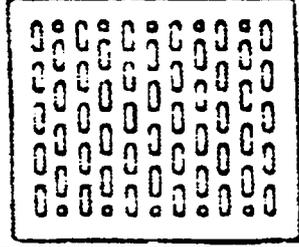
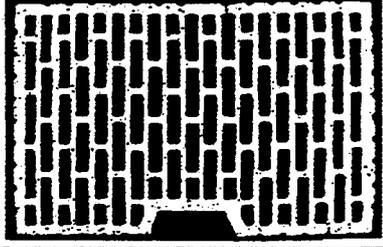
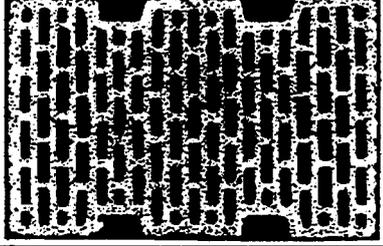
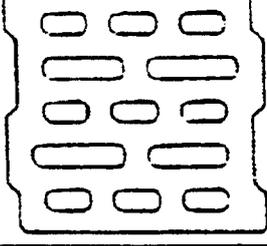
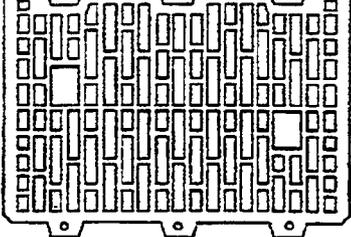
Fortsetzung von Anhang 2

Nr.	Lochbild	Weitere Angaben zur Wand
VL3		
VL4		
VL5		
VR1	<p>nicht zur Veröffentlichung freigegeben</p>	<p>Maße (B x H): 3,71 m x 2,96 m, Lagerfugen: Normalmörtel, Stoßfugen: Normalmörtel nur in Mörteltaschen, massebezogene Feuchte: 10,7 %</p>
VR2	<p>nicht zur Veröffentlichung freigegeben</p>	<p>Maße (B x H): 3,71 m x 2,96 m, Lager- und Stoßfugen: nicht ver- mörtelt aber mittlerer Hohlraum (schraffierte Fläche in Abbildung) mit Sand-Mauermörtel vergossen, Putz innen und außen: nicht verputzt</p>
VR3		<p>Maße (B x H): 4,25 m x 2,97 m</p>

Fortsetzung nächste Seite

## Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Fortsetzung von Anhang 2

Nr.	Lochbild	Weitere Angaben zur Wand
VR4		
VR5		
VR6		
VR7		Maße (B x H): 4,0 m x 2,7 m, Lagerfugen: ISOMUR-HD-Mauer- mörtel
VU1		
TU1		Lagerfugen: Leichtmörtel