1
32. Jahrgang
Februar 2010, S. 17 – 26
ISSN 0171-5445
A 1879
Sonderdruck

Bauphysik

Wärme | Feuchte | Schall | Brand | Licht | Energie

Verlustfaktor-Korrektur der Schalldämmung bei gefülltem Ziegelmauerwerk

M.Sc. Dipl.-Ing. Martin Schneider
Dr.-Ing. Lutz Weber
Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer
Dipl.-Ing. Simon Müller
Dipl.-Ing. Michael Gierga

Ernst & Sohn
A Wiley Company

Martin Schneider
Lutz Weber
Heinz-Martin Fischer
Simon Müller
Michael Gierga

DOI: 10.1002/bapi.201010003

Verlustfaktor-Korrektur der Schalldämmung bei gefülltem Ziegelmauerwerk

In einem gemeinsamen Forschungsvorhaben der Hochschule für Technik Stuttgart und des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik wurden die akustischen Eigenschaften von mit Dämmstoffen gefüllten Lochziegeln systematisch untersucht. Hierbei zeigte sich, dass sich die gefüllten Steine in ihrem Verhalten nicht wesentlich von ungefüllten Ziegeln unterscheiden. Der wichtigste Unterschied besteht in einer größeren inneren Dämpfung und als Folge davon einer gegenüber gleichartigen ungefüllten Ziegeln um etwa 1 bis 2 dB erhöhten Schalldämmung. Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse wurde ein modifiziertes Verfahren zur Verlustfaktor-Korrektur der Schalldämmung von Hochlochziegel-Mauerwerk entwickelt, das für gefüllte und ungefüllte Steine gleichermaßen anwendbar ist.

Loss factor correction for hollow bricks filled with insulation material. *The acoustic properties of hollow bricks filled with insulation material were systematically investigated in a joint research project by the University of Applied Sciences in Stuttgart and the Fraunhofer Institute for Building Physics. The findings showed that the acoustic performance of filled bricks differs only slightly from that of non-filled bricks. The main difference is greater inner damping and a resulting increase in sound insulation of about 1 to 2 dB compared to non-filled bricks of the same type. Based on the results of the investigation a modified procedure for the loss factor correction of the sound insulation of vertically perforated hollow brick masonry was developed, which applies equally to filled as well as non-filled bricks.*

1 Einführung

Der Verlustfaktor von Bauteilen ist eine wichtige bauakustische Einflussgröße und hat erheblichen Einfluss auf die Schalldämmung. Im Massivbau wird der Verlustfaktor vor allem durch die Energieableitung an den Bauteilrändern bestimmt, so dass sich in Abhängigkeit von der vorhandenen Einbausituation (Art der flankierenden Bauteile, Verbindung zwischen Trennwand und flankierenden Bauteilen) für das resultierende Schalldämm-Maß unterschiedliche Werte ergeben. Das europäische Berechnungsverfahren für die Schallausbreitung in Bauten nach DIN EN 12354-1 [1] berücksichtigt den Einfluss des Verlustfaktors deshalb durch eine energetische Korrektur, die auch als In-situ-Korrektur bezeichnet wird, da sie vor allem dazu dient, in bauakustischen Prüfständen ermittelte Schalldämm-Maße in Werte am Bau (In-situ-Werte) zu überführen.

Bei massivem Mauerwerk liefert die In-situ-Korrektur im Allgemeinen zufriedenstellende Ergebnisse. Bei Lochsteinmauerwerk gibt es jedoch Einschränkungen, da hier Eigenschwingungen der einzelnen Steine auftreten, die neben den Biegewellen maßgeblich zur Schallübertragung beitragen. Dies gilt insbesondere bei hohen Frequenzen und verhindert in diesem Frequenzbereich die Anwendung des üblichen Korrekturverfahrens. Von der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) wurde deshalb im Jahr 2007 im Rahmen eines Forschungsvorhabens ein modifiziertes Verfahren für die In-situ-Korrektur bei Mauerwerk aus Hochlochziegeln entwickelt [2], [3].

Die für das modifizierte Verfahren herangezogenen Messergebnisse bezogen sich im Wesentlichen auf ungefüllte Ziegel, d. h. auf Steine, deren Hohlräume ausschließlich Luft enthielten. In den vergangenen beiden Jahren gingen die Hersteller jedoch in zunehmendem Maße dazu über, die Hohlräume der Ziegel zur Verbesserung der thermischen Isolation mit wärmedämmenden Materialien zu füllen. Durch die Füllung weisen derartige Steine eine höhere innere Dämpfung auf, so dass sie sich in ihren akustischen Eigenschaften von ungefüllten Ziegeln unterscheiden. Da über die akustische Wirkung der Füllung bislang nur wenig bekannt ist, wurde sie von der HFT in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben untersucht. Neben der Klärung der Zusammenhänge zwischen Füllung und Schalldämmung bestand das Ziel des Vorhabens vor allem darin, auf Grundlage der ermittelten Untersuchungsergebnisse ein Verfahren zur In-situ-Korrektur der Schalldämmung bei gefülltem Ziegelmauerwerk abzuleiten.

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens erfolgte arbeitsteilig durch HFT und IBP, wobei sich die HFT vor allem darauf konzentrierte, die innere Dämpfung und die Randverluste von Ziegelwänden zu separieren. Hierzu wurden zunächst Messungen an freistehenden Wänden durchgeführt, bei denen die Energieableitung an den Bauteilrändern weitgehend unterbunden war, so dass die innere Dämpfung des Mauerwerks die maßgebende Ursache für die verbleibenden Energieverluste bildete. Nachdem die Wände durch Vermörteln der Fugen starr mit dem Prüfstand verbunden worden waren, wurden die Messungen noch einmal wiederholt und aus der Differenz der Messwerte bei starrer und elastischer Anbindung der Anteil der

Randableitung am Verlustfaktor bestimmt. Der Schwerpunkt der im IBP durchgeführten Untersuchungen bestand vor allem darin, den Einfluss der Füllung auf den Verlustfaktor und die Schalldämmung von Ziegelmauerwerk zu ermitteln. Dies erfolgte durch vergleichende Messungen an Wänden aus gefüllten und ungefüllten Ziegeln, die abgesehen von der Füllung der Steine den gleichen Aufbau aufwiesen und auf gleiche Weise in den Prüfstand eingebaut waren.

Mit den von HFT und IBP gemeinsam ermittelten Untersuchungsergebnissen konnte das akustische Verhalten von gefülltem Ziegelmauerwerk weitgehend geklärt und darauf aufbauend ein geeignetes Verfahren zur In-situ-Korrektur der Schalldämmung entwickelt werden. Über die wichtigsten Ergebnisse des Forschungsvorhabens wird im Folgenden berichtet.

2 Grundlagen

Der Verlustfaktor η ist ein Maß für die Dissipation der in ein Bauteil eingeleiteten Schallenergie und lässt sich daher in Abhängigkeit von der Frequenz f gemäß

$$\eta_{tot} = \frac{2{,}2}{f\,T_s} \tag{1}$$

aus der gemessenen Körperschall-Nachhallzeit T_s bestimmen. Der Index „tot“ (für total) weist hierbei darauf hin, dass es sich bei der derart ermittelten Größe um einen Gesamtwert handelt, der innere Verluste, Strahlungsverluste und Randverluste umfasst. Da zwischen Schalldämmung und Verlustfaktor der Zusammenhang

$$R = R_0 + 10\lg\left(\frac{2\eta_{tot}}{\pi}\right)\mathrm{dB} \tag{2}$$

besteht (R_0 bezeichnet hierbei das Schalldämm-Maß des ungedämpften Bauteils) [4], ergibt sich für das Schalldämm-Maß bei unterschiedlichen Einbaubedingungen – hier ohne Beschränkung der Allgemeinheit mit „lab“ und „situ“ bezeichnet – die Beziehung

$$R_{situ} = R_{lab} + 10\lg\left(\frac{\eta_{tot,situ}}{\eta_{tot,lab}}\right)\mathrm{dB}, \tag{3}$$

was der In-situ-Korrektur nach DIN EN 12354-1 entspricht. Die Anwendung dieser Beziehung ist in der Praxis allerdings nur dann sinnvoll, wenn der Verlustfaktor – wie im Massivbau normalerweise der Fall – von den Energieverlusten an den Bauteilrändern bestimmt wird. Diese Voraussetzung ist jedoch nicht immer erfüllt, weshalb in DIN EN 12354-1 einige Fälle, wie z. B. Bauteile mit hoher innerer Dämpfung oder ohne feste Verbindung zu den Flankenbauteilen, von der Korrektur ausgenommen sind.

In DIN EN 12354-1 nicht explizit erwähnt, aber für die Anwendung der Verlustfaktor-Korrektur gleichfalls nicht geeignet, ist Mauerwerk, bei dem die Schallübertragung überwiegend durch Eigenschwingungen der einzelnen Steine erfolgt. Die Dämpfung der Steinschwingungen beeinflusst zwar die Schalldämmung, hängt aber im Gegensatz zu den Randverlusten nicht von den Einbaubedingungen ab, so dass eine In-situ-Korrektur hier ebenfalls nicht sinnvoll ist. Ein Beispiel hierfür ist gelochtes Ziegelmauerwerk, das im Vergleich zu gleich schweren massiven Wänden vielfach eine deutlich geringere Schalldämmung aufweist [5], [6], [7]. Dies gilt vor allem oberhalb der Resonanzfrequenz der Steine, die sich in der Schalldämmkurve häufig als ausgeprägter Dämmungseinbruch äußert. Bei Lochziegeln ist die Anwendbarkeit der Verlustfaktor-Korrektur deshalb auf den Bereich der Biegewellenübertragung unterhalb der ersten Resonanz beschränkt, während eine Korrektur bei hohen Frequenzen nicht zulässig ist. Hintergründe und Vorgehensweise zur Verlustfaktor-Korrektur bei Lochziegeln sind in [3] ausführlich erläutert.

Zur Durchführung der In-situ-Korrektur nach Gl. (3) wird der Verlustfaktor der betrachteten Wand am Bau benötigt, für den entsprechende Angaben zumeist nicht ohne Weiteres verfügbar sind. Umfangreiche Untersuchungen in Massivbauten unterschiedlicher Art zeigen jedoch, dass sich die Verlustfaktoren von Wänden in üblichen Wohngebäuden im Allgemeinen nur wenig voneinander unterscheiden [8], [9]. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, als Referenzwert für den Einsatz am Bau einen einheitlichen Verlustfaktor zu verwenden, der dem Mittelwert aus einer großen Anzahl von Messungen entspricht und als mittlerer Bauverlustfaktor $\eta_{Bau,ref}$ bezeichnet wird. Der mittlere Bauverlustfaktor gilt für alle Arten von Massivwänden und hängt lediglich von der flächenbezogenen Masse ab [10]:

$$10\lg(\eta_{Bau,ref}) = \left\{-12{,}4 - 3{,}3\lg\left(\frac{f}{100}\right)\right\}\mathrm{dB} \tag{4}$$

für $m'' \geq 150$ kg/m^2,

$$10\lg(\eta_{Bau,ref}) = \left\{-12{,}4 - 3{,}3\lg\left(\frac{f}{100}\right) + 10\lg\left(\frac{m''}{150}\right)\right\}\mathrm{dB} \tag{5}$$

für $m'' < 150$ kg/m^2.

In die beiden obigen Gleichungen sind die Frequenz f in Hz und die flächenbezogene Masse m'' in kg/m^2 einzusetzen. Bei den in dem Forschungsvorhaben betrachteten Bauteilen handelt es sich um Außenwände mit einer Dicke von 300 mm oder mehr, so dass die flächenbezogene Masse ausnahmslos über 150 kg/m^2 liegt und zur Berechnung des mittleren Bauverlustfaktors generell Gl. (4) zur Anwendung kommt. Der nach dieser Gleichung berechnete Wert weist einen ähnlichen Frequenzverlauf wie der Mindest-Verlustfaktor η_{min} nach DIN EN ISO 140-1 auf [11], liegt jedoch im Mittel 1,3 dB höher ($\eta_{Bau,ref}$ und η_{min} sind in Bild 7 aufgetragen).

Der Vorschlag zur Verwendung eines einheitlichen Bauverlustfaktors wurde zwischenzeitlich in die nationale und internationale Normung eingebracht. Er dient in erster Linie zur Vereinfachung der bauakustischen Planung und zur Verringerung des Berechnungsaufwandes, kann aber auch dazu verwendet werden, die Ergebnisse von Schalldämm-Messungen, die unter verschiedenen baulichen Randbedingungen durchgeführt wurden, zu vereinheitlichen. So ist es mit Hilfe des auf den mittleren Bauverlustfaktor bezogenen Schalldämm-Maßes

$$R_{Bau,ref} = R_{lab} + 10\lg\left(\frac{\eta_{Bau,ref}}{\eta_{tot,lab}}\right)\mathrm{dB} \tag{6}$$

möglich, Messwerte aus unterschiedlichen bauakustischen Prüfständen direkt miteinander zu vergleichen, was die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse merklich verbessert [12], [13]. Gleichzeitig erhält man für die

Schalldämmung einen praxisnahen Wert, wie er unter normalen Bedingungen in üblichen Wohngebäuden zu erwarten ist. In den nachfolgenden Diagrammen ist der mittlere Bauverlustfaktor $\eta_{Bau,ref}$ als Orientierungshilfe und Vergleichsmaßstab deshalb stets mit aufgeführt.

Neben den ermittelten Messkurven sind in den Diagrammen zur leichteren Beurteilung der Ergebnisse jeweils auch die zugehörigen Einzahlangaben mit angegeben. Für die Schalldämmung ist dies wie üblich das bewertete Schalldämm-Maß R_w. Da für den Verlustfaktor bislang keine genormte Einzahlangabe existiert, wird hier ersatzweise der mittlere Verlustfaktor η_m (Angabe in dB) verwendet, der durch arithmetische Mittelung der logarithmierten Terzwerte 10 lg(η) im bauakustischen Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz bestimmt wird.

3 Untersuchte Steine

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden an zehn verschiedenen hochwärmedämmenden, mit Dämmstoff gefüllten Hochlochziegeln die Schalldämmung und der Verlustfaktor ermittelt. Messungen wurden an Einzelsteinen, an Steinverbänden und an kompletten Wänden im Wandprüfstand durchgeführt, wobei an Einzelsteinen und Steinverbänden mit und ohne Füllung gemessen wurde.

Die untersuchten Hochlochziegel werden vor allem im Geschosswohnungsbau in einer Wandstärke von d = 300 mm und d = 365 mm für einschaliges Außenmauerwerk eingesetzt. Die Prüfungen erfolgten ebenfalls an Wänden in diesen Wandstärken, wobei einige der Steine in beiden Wandstärken geprüft wurden. Die von unterschiedlichen Herstellern gelieferten gefüllten Lochsteine sind zum größeren Teil bereits über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung auf dem Markt erhältlich. Die Füllung mittels Wärmedämm-Material erfolgt zur weiteren Verbesserung des Wärmeschutzes des Mauerwerks. Bei den untersuchten Hochlochziegeln mit Füllung beträgt die Wärmeleitfähigkeit λ des Mauerwerks zwischen 0,07 und 0,14 W/(m K).

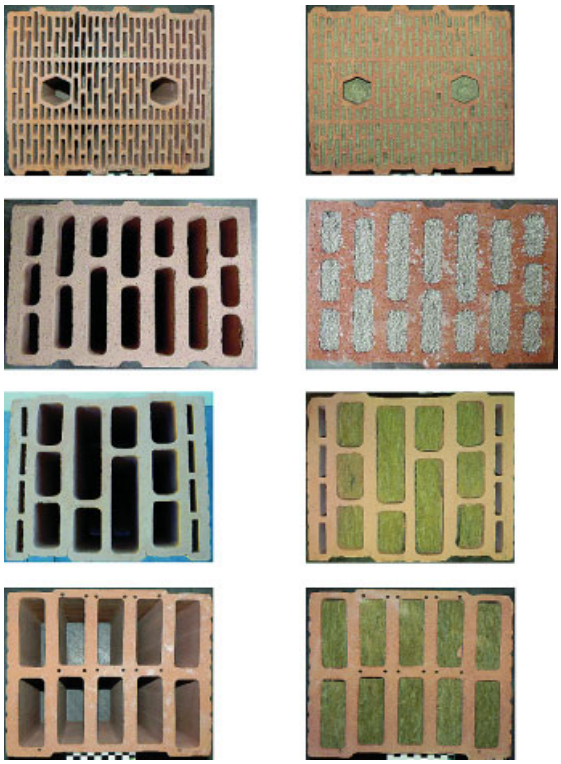


Bild 1. Vier für die Untersuchungen beispielhafte Lochbilder (links: ungefüllt, rechts: gefüllt)
Fig. 1. Four of the hollow brick types used for the study, shown here as examples (left: non-filled, right: filled)

Die Lochsteine können dabei bezüglich des Füllmaterials (Mineralfaser und Perlite) sowie bezüglich ihrer Lochgröße (Großkammer und filigrane Lochstruktur) unterschieden werden (siehe Bild 1). Die Großkammersteine sind entweder mit Mineralfaserdämmstoff als Plattenware oder mit Perliten verfüllt. Ein mit zementgebundenem Polystyrol gefüllter Großkammerstein wurde ebenfalls untersucht. Die Lochsteine mit der filigranen Lochgeometrie sind mit granulierter Mineralfaser gefüllt.

Das Mauerwerk ist mit Dünnbettmörtel errichtet und mit ca. 10 bis 15 mm Innenputz (Gipsputz) und 15 bis 20 mm Außenputz (mineralischer Leichtputz) versehen. Die Stoßfugen des Mauerwerks sind verzahnt und bleiben unvermörtelt. Die Hochlochziegel haben eine Länge von ca. 245 mm und eine Steinhöhe von ca. 249 mm. Die Rohdichte der verfüllten Steine liegt zwischen 510 kg/m^3 und 850 kg/m^3 und entspricht damit den Rohdichteklassen zwischen 0,55 und 0,85. Die flächenbezogene Masse der verputzen Wände liegt zwischen 216 und 375 kg/m^2.

4 Energieverluste an den Bauteilrändern

Das Schalldämm-Maß eines massiven Bauteils wird durch die Energieverluste des Bauteils in die umgebenden Bauteile beeinflusst. Für jede Einbausituation ergibt sich aufgrund der vorhandenen Stoßstellendämmung an den Bauteilrändern eine unterschiedliche Energieableitung in die angrenzenden Flankenbauteile und damit eine unterschiedliche Schalldämmung. Im Prüfstand nach ISO 140-1 sind die massiven flankierenden Bauteile und somit auch die Energieverluste der Trennbauteile mit ähnlichen flächenbezogenen Massen nahezu konstant. Um eine unterschiedliche Energieableitung im gleichen Prüfstand für eine identische Prüfwand zu erzwingen, werden deshalb die Prüfwände nicht nur wie üblich starr an den Prüfstand angeschlossen, sondern auch durch eine hoch elastische Zwischenschicht vom Prüfstand getrennt. Mit diesem elastischen Anschluss wird die Energieableitung von der Prüfwand auf den Prüfstand minimiert.

Im Wandprüfstand der HFT Stuttgart wurden die Schalldämmung und der Verlustfaktor von acht Mauerwerkswänden aus gefüllten Lochsteinen bei diesen unterschiedlichen Randanbindungen ermittelt. Hierzu wird in einem ersten Schritt die Hochlochziegelwand dreiseitig (links, rechts und oben) ohne starre Verbindung zum Prüfstand in den Prüfstand eingebaut. Diese Einbausituation wird nachfolgend mit „elastisch“ bezeichnet. Die Trennung erfolgt dabei über 30 mm Mineralfaserdämmstoff, welcher auch den auf die Wand aufgebrachten Putz vom Prüfstand trennte. Nach einer Trockenzeit von 2 Wochen werden Schalldämm-Maß und Verlustfaktor bestimmt. Nach den Messungen wird die Mineralfaser zwischen Prüfstand und Prüfwand entfernt und der entstandene Hohlraum mit Mörtel verfüllt. Diese zweite Einbausituation wird nachfolgend mit „starr“ bezeichnet. Nach einer Wartezeit von einer weiteren Woche werden Schalldämm-Maß und Verlustfaktor

erneut messtechnisch bestimmt. Die beiden Einbausituationen der Wand im Prüfstand sind in Bild 2 skizziert.

Aufgrund der unterschiedlichen Anbindung der Wand an den Prüfstand ändern sich allerdings nicht nur die über die In-situ-Korrektur berücksichtigten Energieverluste der Wand in den Prüfstand, sondern auch die Einspannbedingungen der Wand (freie Platte beim „elastischen“ Einbau – gelenkig gelagerte Platte beim „starren“ Einbau) und damit vor allem im tiefen Frequenzbereich die Frequenz und die Form der Eigenmoden sowie das Abstrahlverhalten der Wand. Diese Effekte verändern ebenfalls das Schalldämm-Maß des Bauteils, werden allerdings rechnerisch hier nicht berücksichtigt.

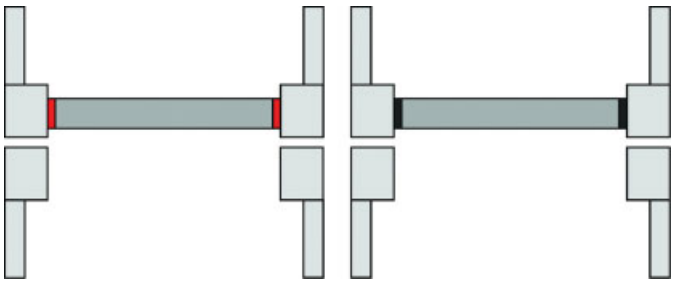


Bild 2. Skizze des Wandprüfstandes mit den getrennten Einbaurahmen aus Stahlbeton (horizontaler Schnitt); links: „elastischer“ Einbau der Wand mit Zwischenschicht (rot); rechts: „starrer“ Einbau mit Mörtel (schwarz). Die eingebauten Vorsatzschalen zur Unterdrückung der Nebenwege sind nicht dargestellt
Fig. 2. Diagram of the wall test stand with the separate reinforced concrete frames (horizontal section); left: “elastic” wall installation with interlayer (red); right: “rigid” installation with mortar (black). The facing panels for blocking the secondary paths are not illustrated

In Bild 3 sind das Schalldämm-Maß und der Verlustfaktor einer Wand aus gefülltem Hochlochziegelmauerwerk (Lochbild gemäß Bild 1, Zeile 2) mit elastischer und starrer Anbindung an den Prüfstand dargestellt. Im Frequenzbereich zwischen 50 und 200 Hz ergibt sich die größte Änderung des Schalldämm-Maßes in den einzelnen Terzen, allerdings auch eine große Schwankung dieser Änderung. Die ersten Eigenmoden der elastisch angeschlossenen Wand liegen gegenüber der starr angeschlossenen Wand deutlich niedriger. In diesem Frequenzbereich wird die Schalldämmung durch die Lage der einzelnen Moden der Wand und deren Kopplung mit den Raummoden bestimmt. Hierdurch ergeben sich zwar große aber nicht unbedingt systematische Änderungen der Schalldämmung. Eine systematische Veränderung der Schalldämmung ergibt sich aufgrund der verstärkten Schallabstrahlung des freien Plattenrands der elastisch angeschlossenen Wand. Dieser führt zu einer stärkeren Abstrahlung unterhalb und im Bereich der Koinzidenz-Grenzfrequenz. Damit erklärt sich in diesem Frequenzbereich die starke Änderung aber auch die Minderung der Schalldämmung der elastisch angeschlossenen Wand. Im mittleren Frequenzbereich von 200 Hz bis zum Beginn des Dämmungseinbruchs des Lochsteines bei ca. 1 kHz ergeben sich bei starrem Einbau der Wand wegen der größeren Randverluste systematisch höhere Schalldämm-Maße. Im Frequenzbereich des durch Steinresonanzen bedingten Dämmungseinbruchs und darüber ändert sich die Schalldämmung aufgrund der unterschiedlichen Einbaubedingung nicht. Die Änderung der Schalldämmung des gefüllten Ziegelmauerwerks aufgrund der unterschiedlichen Randanbindung ist mit den Ergebnissen für ungefülltes Mauerwerk vergleichbar [3].

Der Verlustfaktor der starr eingemörtelten Wand liegt im mittleren Frequenzbereich bei dem als Referenzwert

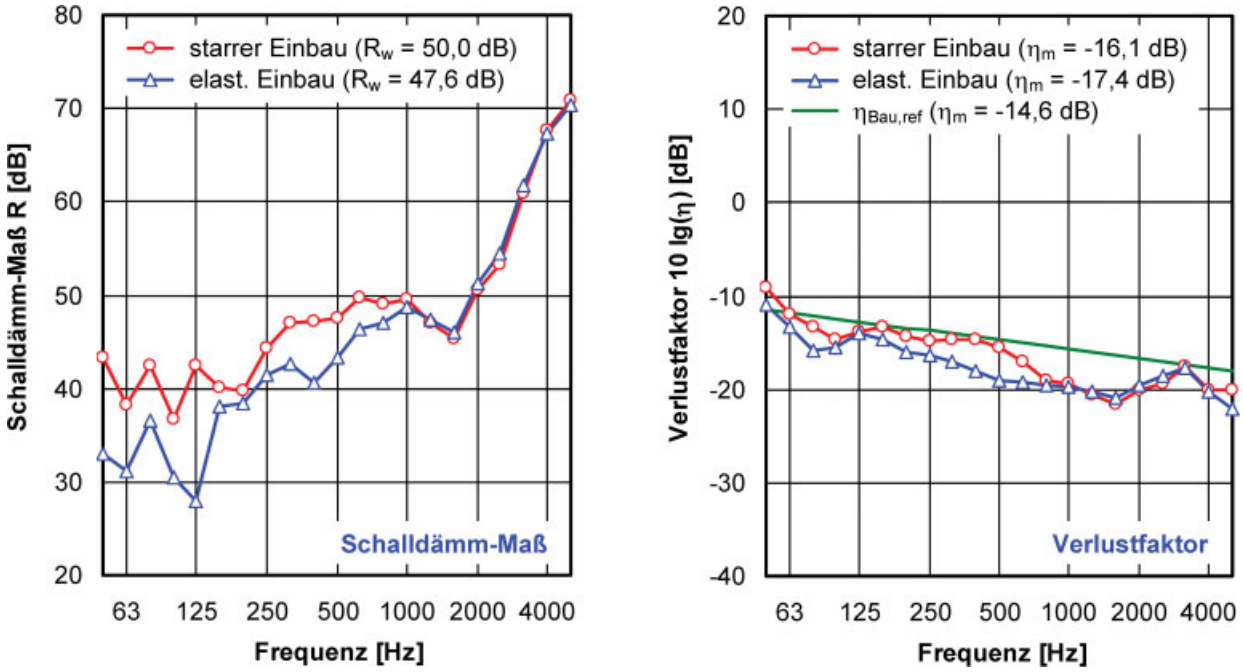


Bild 3. Schalldämm-Maß (links) und Verlustfaktor (rechts) einer mit Perlite gefüllten Hochlochziegelwand bei „elastischem“ Einbau mit Zwischenschicht und „starrem“ Einbau mit Mörtel
Fig. 3. Sound reduction index (left) and loss factor (right) of a wall of vertically perforated bricks filled with perlite, installed “elastically” with interlayer and “rigidly” with mortar

verwendeten mittleren Bauverlustfaktor, im Bereich der Steinresonanzen etwas niedriger. Die ermittelten Verlustfaktoren der elastisch eingebauten Wand liegen bis zu einer Frequenz von f = 800 Hz unter den Werten der starr angemörtelten Wand. Hierbei sind die Unterschiede im Frequenzbereich bis 200 Hz deutlich kleiner. Oberhalb von 800 Hz, dem Frequenzbereich der verminderten Direktschalldämmung der Wand aufgrund der Steinresonanzen, ergeben sich wie zu erwarten keine Unterschiede im Verlustfaktor aufgrund der Anbindung der Wand. Die Änderung im gemessenen Verlustfaktor aufgrund der unterschiedlichen Anbindung ist gegenüber der Änderung im Schalldämm-Maß deutlich geringer. Auch die Änderung des Verlustfaktors des gefüllten Ziegelmauerwerks aufgrund der unterschiedlichen Randanbindung ist mit der Änderung bei ungefülltem Ziegelmauerwerk vergleichbar [3].

In Bild 4 sind der Mittelwert sowie die zugehörige Standardabweichung der Differenz der Schalldämm-Maße und Verlustfaktoren für die acht untersuchten Wände aufgrund der unterschiedlichen Anbindung dargestellt. Bei der Schalldämmung ergeben sich im Mittel zwischen 50 und 100 Hz nur geringe Unterschiede. Zwischen 125 und 500 Hz liegen die Schalldämm-Maße der starr angeschlossenen Wände im Mittel ca. 5 dB höher. Oberhalb von ca. 1000 Hz sind keine signifikanten Unterschiede im Schalldämm-Maß aufgrund der unterschiedlichen Randanbindung zu erkennen.

Die große Standardabweichung im Frequenzbereich unter 400 Hz ergibt sich durch die individuelle Abweichung in der Schalldämmung aufgrund der Veränderung des Schwingungs- und Abstrahlverhaltens der Wand durch die Änderung der Einspannbedingung der Prüfwand. Ab 400 Hz zeigt die geringe Standardabweichung, dass sich die Schalldämmung in einem sehr engen Band ändert. Diese Änderung von 5 dB bei 400 Hz und von ca. 2 dB bei 800 Hz ergibt sich dadurch, dass das ähnlich schwere massive Hochlochziegelmauerwerk im gleichen Wandprüfstand eingebaut und durch die Entkopplung die Energieableitung in den Prüfstand bei allen Wänden in einem sehr ähnlichen Maß vermindert wird. Im Frequenzbereich über 1250 Hz weisen alle untersuchten Wände keine systematische Änderung der Schalldämmung aufgrund der unterschiedlichen Randanbindung auf.

Für den Mittelwert sowie die Standardabweichung der Differenz der Verlustfaktoren der Wände aufgrund der unterschiedlichen Einbaubedingungen ergibt sich im Frequenzbereich von 125 bis ca. 500 Hz für die starr angeschlossene Wand aufgrund der höheren Energieverluste in die Ränder ein um 3 dB höherer Verlustfaktor. Ab 630 Hz ergibt sich nahezu keine Veränderung des Verlustfaktors durch das Anmörteln der Wand. Bei 2 kHz zeigt sich im Mittel sogar ein etwas höherer Verlustfaktor der elastisch eingebauten Wand, vermutlich aufgrund einer Bedämpfung der Steinschwingungen der äußeren Steine durch die Mineralfaser im Bereich des Prüfstandes. Die Standardabweichung als Maß für die Streuung der Differenzen aufgrund des Randeinflusses ist über den gesamten Frequenzbereich gering.

Neben den Messungen im Labor konnte an einer Wand (Lochbild gemäß Bild 1, Zeile 3) der Verlustfaktor der gefüllten Ziegelwand am Bau ermittelt werden. In Bild 5 sind die Messwerte des Verlustfaktors der Wand, ermittelt an zwei Außenwänden am Bau, den Werten vom Labor (starr und elastisch) gegenübergestellt.

Die Wände am Bau und im Labor weisen im Frequenzbereich oberhalb von 500 Hz nahezu gleiche Verlustfaktoren auf. Unterhalb von 500 Hz liegt der Verlustfaktor der elastisch angeschlossenen Wand im Labor deutlich niedriger. Die im Labor ermittelten Verlustfaktoren der starr angebunden Wand liegen in diesem Frequenzbereich in der gleichen Größenordnung wie die am Bau ermittelten Werte. Die Verlustfaktoren der Wände am Bau und der starr angeschlossenen Prüfwand liegen auch im gleichen Bereich wie der mittlere Bauverlustfaktor. Bei der untersuchten Wand liegen die gemessenen Verlustfaktoren im Frequenzbereich zwischen 630 und 800 Hz sogar etwas über dem mittleren Bauverlustfaktor. Diese hohen Verluste sind, da sie auch bei der freien Prüfwand auftreten,

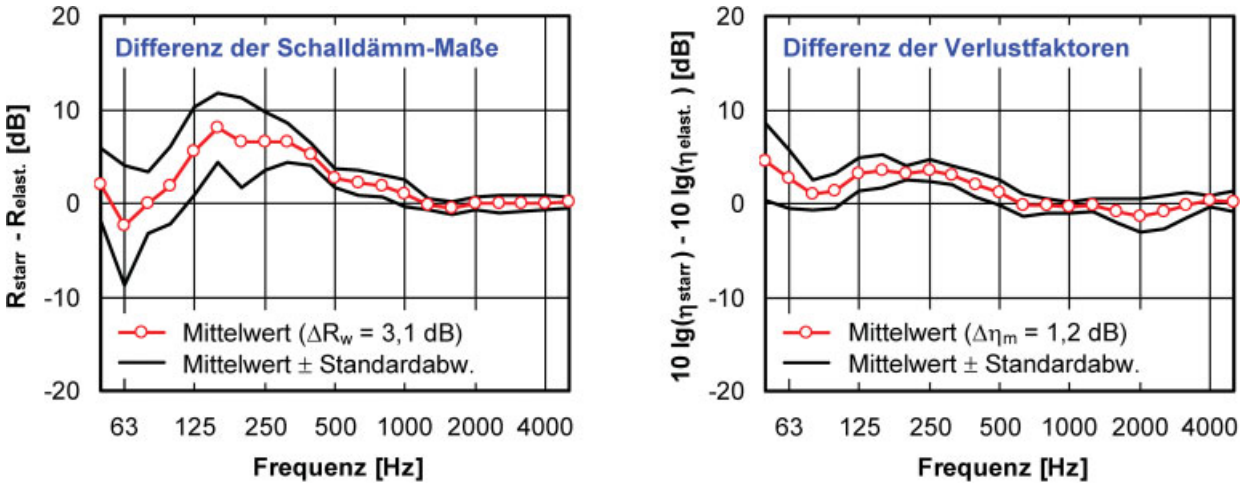


Bild 4. Mittelwert und Mittelwert ± Standardabweichung der Differenz aus dem Schalldämm-Maß (links) sowie dem Verlustfaktor (rechts) der untersuchten acht Wände bei „starrem" Einbau mit Mörtel und bei „elastischem" Einbau mit Zwischenschicht

Fig. 4. Mean value and mean value ± standard deviation of the difference from the sound reduction index (left) and the loss factor (right) of the examined eight walls installed "rigidly" with mortar and "flexibly" with interlayer

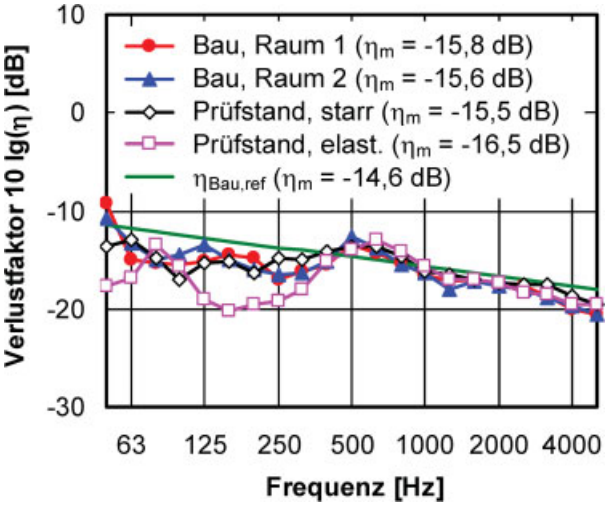


Bild 5. Verlustfaktor einer mit Dämmstoff gefüllten Hochlochziegelwand, ermittelt im Labor bei unterschiedlichen Bauverlustfaktor $\eta_{Bau,ref}$
Fig. 5. Loss factor of a wall of vertically perforated bricks filled with insulation material measured in the laboratory under different installation conditions and on site compared to the mean building loss factor $\eta_{site,ref}$

auf hohe interne Verluste dieses Hochlochziegeltyps zurückzuführen.

Mit den durchgeführten Messungen der Schalldämmung und des Verlustfaktors an starr und elastisch angeschlossenen gefüllten Hochlochziegelwänden konnte gezeigt werden, dass die Schalldämmung dieser Wände im Frequenzbereich unterhalb der Steinresonanzen vom Verlustfaktor mitbestimmt wird. In diesem Frequenzbereich bestimmen die Randverluste den Gesamtverlustfaktor und eine Korrektur gemäß den Vorgaben von EN 12354-1 kann durchgeführt werden. Bestimmen die Steinschwingungen die Schalldämmung der Lochsteinwand, ergeben sich keine Unterschiede in der Schalldämmung und im Verlustfaktor der Wand aufgrund einer unterschiedlichen Randanbindung. In diesem Frequenzbereich der verminderten Direktschalldämmung der Wand ist deshalb keine Verlustfaktor-Korrektur des Schalldämm-Maßes durchzuführen.

5 Einfluss der Füllung auf den Verlustfaktor

Um den Einfluss der Füllung auf die akustischen Eigenschaften von Lochziegeln zu untersuchen, wurden Messungen an gleichartigen Steinen mit und ohne Füllung durchgeführt, wobei jeweils Schalldämmung und Körperschall-Nachhallzeit bestimmt wurden. Abgesehen von der Füllung der Steine stimmten Aufbau, Abmessungen und Einbaubedingungen der untersuchten Wände genau überein, so dass die Unterschiede zwischen den Messwerten mit Ausnahme der unvermeidlichen Messunsicherheit allein auf den Einfluss der Füllung zurückführen waren. Die Untersuchungen erfolgten an zehn verschiedenen Typen von Lochziegeln, die wie oben beschrieben mit unterschiedlichen Dämmstoffen gefüllt waren.

Um den Aufwand für den Aufbau und Abriss der untersuchten Wände zu verringern und die für die Trocknung des Mauerwerks erforderlichen Wartezeiten zu verkürzen, wurden die Messungen nicht in einem Wand- sondern in einem Fensterprüfstand durchgeführt. Statt Wänden üblicher Größe (Fläche ca. 10 m^2) kamen hierbei Steinverbände mit den Abmessungen B × H = 1,20 m × 1,45 m zum Einsatz, was einer Bauteilfläche von ca. 1,75 m^2 entspricht. Die untersuchten Steinverbände wurden außerhalb des Prüfstands aufgemauert und verputzt und nach einer Trocknungszeit von ca. zwei Wochen mit dem Gabelstapler in die Prüföffnung des Fensterprüfstands (Abmessungen B × H = 1,25 m × 1,50 m) gehoben. Sie wurden direkt (ohne Unterlage) auf dem Boden der Prüföffnung abgesetzt und umlaufend mit plastischem Material (Terostat) abgedichtet. Die Messung von Schalldämmung und Körperschall-Nachhallzeit erfolgte normgerecht nach DIN EN ISO 140-3 und DIN EN ISO 10848-1 [14], [15], mit dem einzigen Unterschied, dass die Prüffläche nicht den Anforderungen entsprach und dass bei den Körperschallmessungen nach DIN EN ISO 10848-1 die Mindestabstände zwischen Anrege- und Messpunkten nicht eingehalten werden konnten. Der Einbau der untersuchten Steinverbände in die Prüföffnung ist in Bild 6 schematisch dargestellt.

Die Vorteile des Messaufbaus im Fensterprüfstand bestehen vor allem in dem weitaus geringeren Aufwand für

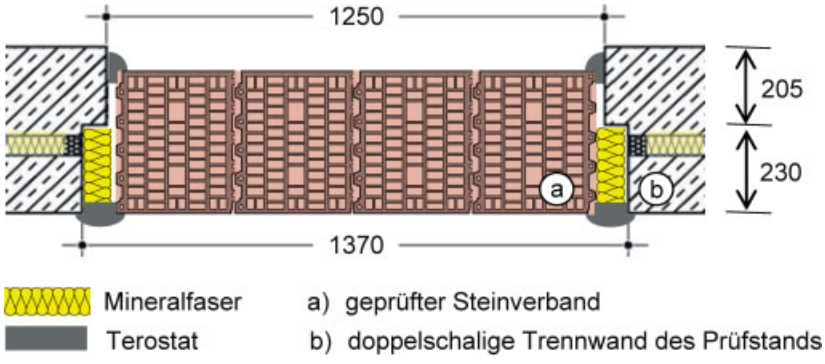


Bild 6. Einbau der untersuchten Steinverbände in die Öffnung des Fensterprüfstandes (horizontaler Schnitt, Maße in mm). Die Verbände standen unmittelbar auf dem Betonboden der Prüföffnung. Die oben und seitlich verbleibenden Fugen wurden mit Mineralfaser gefüllt und sende- und empfangsraumseitig mit plastischem Dichtstoff (Hersteller Teroson, Produktbezeichnung Terostat) verschlossen
Fig. 6. Sets of bricks installed into the opening of the window test stand (horizontal section, dimensions in mm). The sets were laid directly on the concrete base of the test opening. The remaining top and side joints were filled with mineral fibre and sealed with plastic sealant (manufactured by Teroson, product reference: Terostat) on the sides of the source room and receiving room

den Aufbau und Abriss der Prüfkörper, der bei Schalldämm-Messungen an Massivwänden den Hauptteil der Prüfkosten ausmacht. Des weiteren entfällt die Prüfstandsbelegung während der Trocknungsphase, so dass im gleichen Zeitraum sehr viel mehr Messungen als in einem normalen Wandprüfstand durchgeführt werden können. Das Verfahren ist deshalb insbesondere für Mess-Serien zum Vergleich und zur Optimierung verschiedener Arten von Steinen und Mauerwerk geeignet. Da für die Prüfkörper nur verhältnismäßig wenige Steine benötigt werden, können nicht nur bereits auf dem Markt verfügbare Produkte, sondern auch Steine aus Vorserien geprüft werden. Die Nachteile des Verfahrens bestehen neben der nicht normgerechten Prüffläche vor allem in der erhöhten Messunsicherheit bei tiefen Frequenzen, die auf die verminderte Modendichte infolge der geringen Bauteilfläche zurückzuführen ist. Außerdem ist das Verfahren für schwere Wände und Bauteile mit hoher Schalldämmung nur beschränkt geeignet.

Obgleich Wand-Messungen im Fensterprüfstand wegen der abweichenden Bauteilfläche im Allgemeinen nicht für den Nachweis von Schallschutzanforderungen herangezogen werden können, stimmen die gemessenen Schalldämm-Maße zumeist recht gut mit normgerechten Messergebnissen aus Wandprüfständen überein. Dies gilt insbesondere für Lochsteinwände, da hier die Schallübertragung bei mittleren und hohen Frequenzen überwiegend durch Schwingungen der einzelnen Steine erfolgt und somit im Gegensatz zur Biegewellenübertragung weitgehend unabhängig von den Bauteilabmessungen und der Randeinspannung ist.

Ein Beispiel für Messungen an gleichem Mauerwerk im Wand- und Fensterprüfstand ist in Bild 7 dargestellt. Bei mittleren und hohen Frequenzen unterscheiden sich die in den beiden Prüfständen ermittelten Schalldämm-Maße nur geringfügig. Eine bessere Übereinstimmung wäre auch dann nicht zu erwarten, wenn beide Messungen normgerecht in Wandprüfständen durchgeführt worden wären. Bei tiefen Frequenzen treten hingegen erwartungsgemäß größere Abweichungen auf, die in Zusammenhang mit den unterschiedlichen Bauteilabmessungen und Einbaubedingungen stehen (Art und Dichte der Eigenmoden der Wände).

Der Verlustfaktor im Fensterprüfstand liegt trotz des elastischen Einbaus des Prüfkörpers bei fast allen Frequenzen überraschenderweise deutlich über dem im Wandprüfstand gemessenen Wert und übertrifft im Mittel sogar den mittleren Bauverlustfaktor $\eta_{Bau,ref}$. Wie sich aus in anderem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungen ergibt, liegt die Ursache hierfür vor allem in dem zur Abdichtung der Fugen verwendeten plastischen Dichtstoff Terostat. Dieser Dichtstoff weist eine hohe innere Dämpfung auf und bewirkt trotz der vorhandenen Trennfuge Energieverluste an den Bauteilrändern in gleicher Größenordnung, wie sie unter üblichen Einbaubedingungen am Bau zu erwarten wären. Neben dem Einfluss des Terostats spielt bei dem beschriebenen Effekt möglicherweise auch die erhöhte Randlänge des Steinverbandes im Verhältnis zur Bauteilfläche eine Rolle (bei Verkleinerung der Fläche nimmt das Verhältnis von Umfang zu Inhalt zu).

Vergleicht man Schalldämmung und Verlustfaktor von Mauerwerk aus gefüllten und ungefüllten Ziegeln miteinander, so ist eine starke Streuung der Ergebnisse zwischen den verschiedenen Steintypen festzustellen. Dies ist auch nicht verwunderlich, da sich die Lochbilder der unter-

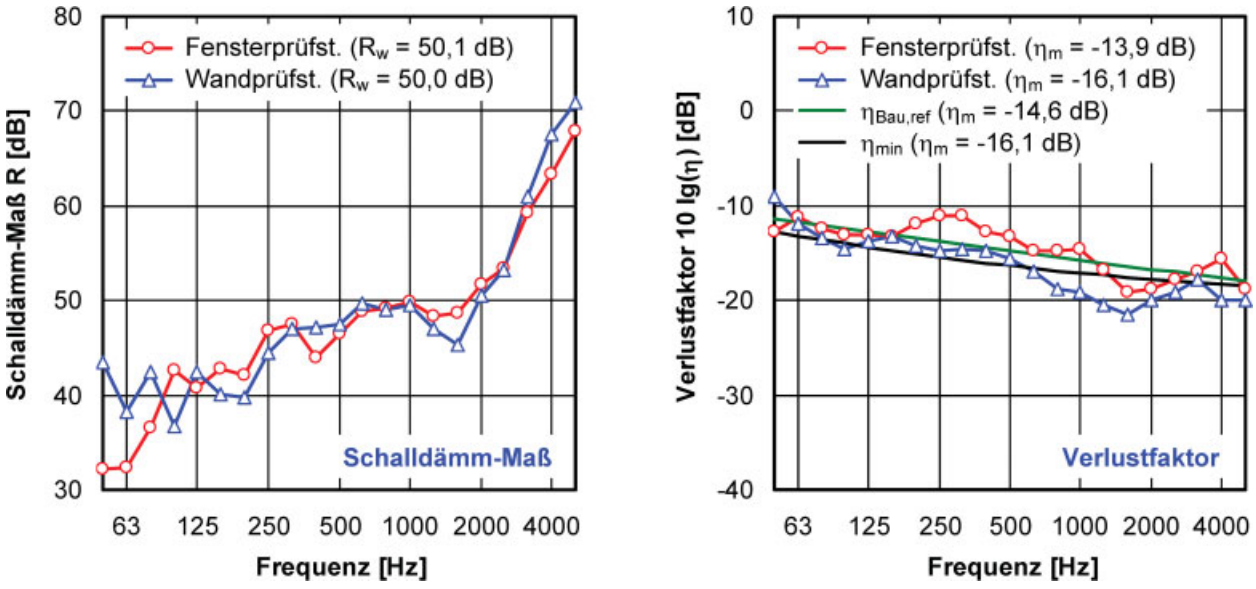


Bild 7. Schalldämmung (links) und Verlustfaktor (rechts) von Mauerwerk aus mit Perlite gefüllten Lochziegeln bei Messung im Wand- und im Fensterprüfstand. Der untersuchte Stein ist in Bild 1, Zeile 2 dargestellt. Die Bauteilabmessungen betrugen B × H = 4,13 m × 2,75 m ≅ 11,4 m² (Wandprüfstand) bzw. B × H = 1,20 m × 1,45 m ≅ 1,75 m² (Fensterprüfstand). Der Einbau in den Wandprüfstand erfolgte mit starrer Anbindung an die Flankenbauteile. Neben dem mittleren Bauverlustfaktor $\eta_{Bau,ref}$ ist im rechten Bild zum Vergleich außerdem der Mindest-Verlustfaktor η_{min} nach DIN EN ISO 140-1 aufgetragen
Fig. 7. Sound insulation (left) and loss factor (right) of masonry consisting of perlite-filled hollow bricks measured in a wall and a window test stand. The brick examined is illustrated in Fig. 1, row 2. The component dimensions were B × H = 4.13 m × 2.75 m ≅ 11.4 m² (wall test stand) and B × H = 1.20 m × 1.45 m ≅ 1.75 m² (window test stand). The specimens were installed into the wall test stand, using rigid connections to the flanking components. Besides the mean building loss factor $\eta_{site,ref}$ the Fig. on the right also shows the minimum loss factor η_{min} according to DIN ISO 140-1 for comparison

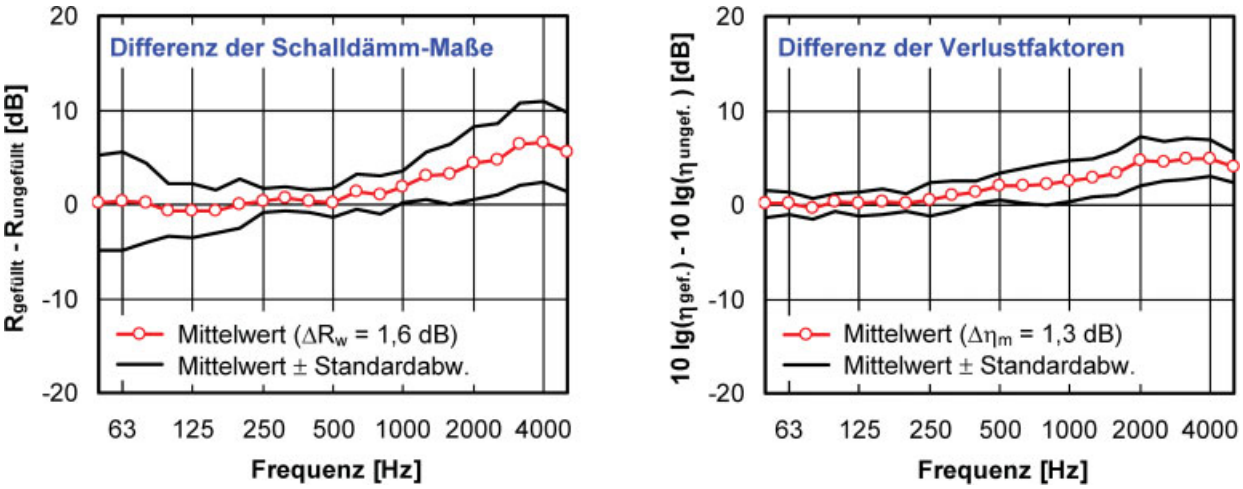


Bild 8. Differenz der Messergebnisse für Mauerwerk aus Lochziegeln im gefüllten und ungefüllten Zustand der Steine unter ansonsten gleichen Bedingungen (links: Schalldämm-Maß, rechts: Verlustfaktor). Die dargestellten Messkurven repräsentieren den Mittelwert der Ergebnisse für zehn verschiedene Steinsorten. Die verhältnismäßig hohe Streuung der Werte ist auf die große Diversität der Lochbilder und Füllstoffe zurückzuführen
Fig. 8. Difference of the measurement results for masonry of hollow bricks in their filled and non-filled states under otherwise identical conditions (left: sound reduction index, right: loss factor). The illustrated measuring curves represent the mean value of the results for ten different types of bricks. The relatively wide variance of the values is caused by the great diversity of the layout of the perforations and filling materials

suchten Ziegel ebenso wie die verwendeten Füllmaterialien gemäß Abschnitt 3 stark voneinander unterscheiden. Bildet man jedoch die Differenz der in gefülltem und ungefülltem Zustand ermittelten Messergebnisse und führt eine Mittelung über die zehn untersuchten Steinsorten durch, so ergibt sich gemäß Bild 8 für die akustischen Zusammenhänge ein verhältnismäßig klares und eindeutiges Bild.

Aus den in Bild 8 dargestellten Messergebnissen lassen sich folgende Aussagen entnehmen:

- Im Bereich tiefer Frequenzen bis zu etwa 500 Hz wirkt sich die Füllung der Steine mit thermisch isolierenden Dämmstoffen so gut wie nicht auf die Schalldämmung aus.
- Oberhalb von 500 Hz tritt durch die Füllung eine Verbesserung der Schalldämmung ein, die mit zunehmender Frequenz kontinuierlich ansteigt und im Bereich hoher Frequenzen einen Wert von etwa 6 bis 7 dB erreicht. Dies entspricht im Wesentlichen den Erwartungen, da die akustische Wirkung der Füllung vor allem auf der Erhöhung der inneren Dämpfung beruht und diese zu hohen Frequenzen hin zunimmt.
- Für das bewertete Schalldämm-Maß des Mauerwerks ergibt sich durch die Füllung der Steine im Mittel eine Erhöhung von $\Delta R_w \cong 1{,}6$ dB.
- Der Verlustfaktor nimmt durch die Füllung der Steine erwartungsgemäß zu, wobei sich ein ähnlicher Frequenzverlauf wie für die Schalldämmung ergibt. Allerdings setzt die Zunahme hier bei etwas tieferen Frequenzen ein und verläuft insgesamt ein wenig flacher. Die resultierende Erhöhung des mittleren Verlustfaktors beträgt $\Delta\eta_m \cong 1{,}3$ dB.

6 Verfahren zur Verlustfaktor-Korrektur

Die Anbindung einer Hochlochziegelwand an die umgebenden Bauteile beeinflusst im Labor und am Bau die Energieableitung und damit die Schalldämmung. Für die untersuchten mit Wärmedämmstoffen gefüllten Hochlochziegelwände gilt dies jedoch nur im Frequenzbereich, in welchem die Schalldämmung noch nicht durch Eigenschwingungen der Lochsteine vermindert wird. Im darüber liegenden durch Steinresonanzen geprägten Frequenzbereich ergibt sich für die untersuchten Hochlochziegelwände durch Änderungen der Anschlussbedingungen keine signifikante Veränderung der Schalldämmung und des Verlustfaktors. Damit kann in diesem Frequenzbereich das Schalldämm-Maß der Hochlochziegelwand als unabhängig von der jeweiligen Einbausituation betrachtet werden, so dass das am Bau zu erwartende Schalldämm-Maß der Hochlochziegelwand dem im Labor ermittelten Wert entspricht. Damit ist in diesem Frequenzbereich das Schalldämm-Maß nicht über die Randverluste zu korrigieren.

Das akustische Verhalten von ungefüllten und gefüllten Hochlochziegeln stimmt den durchgeführten Untersuchungen zufolge in den Grundzügen weitgehend überein. Der wichtigste Unterschied besteht darin, dass gefüllte Ziegel eine deutlich höhere innere Dämpfung aufweisen. Das in [3] für die In-situ-Korrektur bei ungefüllten Ziegeln entwickelte Verfahren kann daher für gefüllte Ziegel übernommen werden, sofern der Frequenzbereich, in dem die Korrektur erfolgt, entsprechend angepasst wird. Hierzu wird vorgeschlagen, die Korrektur auf den Bereich zu beschränken, in dem die Randverluste die Gesamtverluste des Bauteils bestimmen. Bei mit Dämmstoff gefüllten Hochlochziegeln ist dies bis einschließlich der dritten Terz unterhalb der Resonanzfrequenz der Steine der Fall. Oberhalb dieses Bereichs erfolgt keine Korrektur. Die Resonanzfrequenz der Steine ergibt sich aus dem maßgeblichen Resonanzeinbruch in der Schalldämmkurve (Minimum der Schalldämmung). Lässt sich diese Resonanzfrequenz nicht eindeutig ermitteln, wird ersatzweise mit einem Wert von 630 Hz gerechnet. In Bild 9 wird das Verfahren zur Verlustfaktorkorrektur von Ziegelmauerwerk am Beispiel

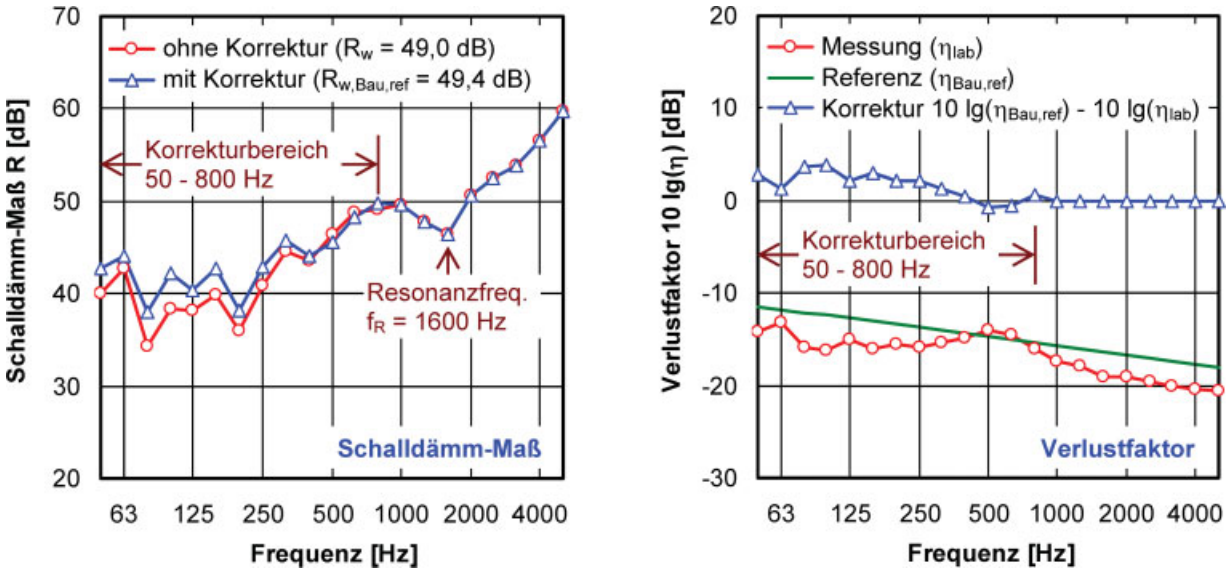


Bild 9. In-situ-Korrektur des Schalldämm-Maßes am Beispiel einer mit Dämmstoff gefüllten Hochlochziegelwand (Lochbild gemäß Bild 1, Zeile 3). Links: Die maßgebliche Resonanzfrequenz f_R der Lochsteinwand beträgt. f_R = 1600 Hz. Die Korrektur. $R_{Bau,ref} = R_{lab} + 10$ lg $\eta_{Bau,ref}/\eta_{lab}$) erfolgt bis einschließlich 800 Hz (dritte Terz unterhalb der Resonanzfrequenz f_R). Rechts: Im Prüfstand gemessener Verlustfaktor 10 lg (η_{Lab}) sowie mittlerer Bauverlustfaktor 10 lg $\eta_{Bau,ref}$) und daraus bestimmter Korrekturterm 10 lg $\eta_{Bau,ref}$) – 10 lg (η_{Lab}) für die in-situ-Korrektur des Schalldämm-Maßes im Bild links. Der Korrekturbereich ergibt sich aus der Resonanzfrequenz der Steine (siehe linkes Bild)
Fig. 9. In situ correction of the sound reduction index, using the example of a wall of vertically perforated bricks filled with insulation material (perforation layout according to Fig. 1, row 3). Left: the significant resonance frequency f_r of the hollow brick wall is f_R = 1600 Hz. Correction: $R_{site,ref} = R_{lab} + 10$ lg $\eta_{site,ref}/\eta_{lab}$) is made up to and including 800 Hz (third octave below resonance frequency f_R). Right: the 10 lg loss factor (η_{lab}) measured in the test stand, also the mean building loss factor 10 lg $\eta_{site,ref}$) and the correction term 10 lg $\eta_{site,ref}$) 10 lg (η_{lab}) determined from this for the in situ correction of the sound reduction index is in the Fig. on the left. The correction range results from the resonance frequency of the bricks (see Fig. on the left)

eines Lochsteines (Lochbild gemäß Bild 1, Zeile 3) beschrieben.

Der Anwendungsbereich der Korrektur umfasst alle Hochlochziegel mit einer Dicke von mehr als 240 mm und einer Rohdichteklasse von ≤ 0,9. Zur Vereinfachung des Verfahrens wird vorgeschlagen, die Korrektur für ungefüllte und gefüllte Ziegel in gleicher Weise wie oben beschrieben durchzuführen. Im Fall der ungefüllten Ziegel besteht der Unterschied gegenüber dem in [3] beschriebenen Verfahren darin, dass in den beiden Terzen unterhalb der Steinresonanz auf eine Verlustfaktor-Korrektur verzichtet wird. Die unterschiedliche Vorgehensweise bei diesen beiden Terzen führt in der Regel zu einer etwas geringeren Schalldämmung, so dass sich ein zusätzlicher Sicherheitsspielraum ergibt. Der Unterschied ist allerdings so gering, dass er in der Praxis so gut wie keine Rolle spielt.

Um die Auswirkungen des vorgeschlagenen Verfahrens zur Verlustfaktor-Korrektur in der Praxis zu erproben, wurde eine Umrechnung für 45 Hochlochziegelwände durchgeführt, für die Prüfstandsmessungen von Schalldämmung und Verlustfaktor vorlagen. Durch die Umrechnung ergeben sich aus den Einzahlangaben im Labor $R_{w,lab}$ bezogen auf den mittleren Bauverlustfaktor im Mittel um 0,5 dB höhere Werte des bewerteten Schalldämm-Maßes $R_{w,Bau,ref}$. Die Standardabweichung dieser Differenz liegt ebenfalls bei 0,5 dB. Die geringen Unterschiede zwischen den im Labor gemessenen bewerteten Schalldämm-Maßen und den korrigierten bewerteten Schalldämm-Maßen ergeben sich aus dem Frequenzverlauf des Schalldämm-Maßes der Hochlochziegel. Bei der Bestimmung der Einzahlangabe liegt die Unterschreitung der Messkurve gegenüber der Bezugskurve wesentlich im Frequenzbereich der verminderten Direktdämmung des Lochsteines. In diesem Bereich erfolgt jedoch gemäß obigem Vorschlag keine Korrektur, so dass sich die bewerten Einzahlangaben aufgrund der In-situ-Korrektur nur wenig ändern.

7 Zusammenfassung

In dem durchgeführten Forschungsvorhaben wurde untersucht, wie sich die Füllung von Hochlochziegeln mit thermisch isolierenden Materialien auf die akustischen Eigenschaften (Schalldämmung und Verlustfaktor) des Mauerwerks auswirkt. Die Untersuchungen erfolgten durch die Hochschule für Technik Stuttgart in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik und konzentrierten sich zum einen auf den Einfluss der Randverluste auf die Schalldämmung des Mauerwerks und zum anderen auf die akustischen Unterschiede zwischen gefüllten und ungefüllten Ziegeln. Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

– Das akustische Verhalten von gefüllten und ungefüllten Ziegeln stimmt in den Grundzügen weitgehend überein. Der wichtigste Unterschied besteht darin, dass gefüllte Ziegel eine höhere innere Dämpfung aufweisen. Hierdurch verbreitert sich der Frequenzbereich, in welchem die Gesamtverluste des Mauerwerks nicht durch die Randverluste bestimmt werden. Die Resonanzfrequenz der Steine ändert sich durch die Füllung hingegen nur verhältnismäßig wenig.

- Die Erhöhung des Verlustfaktors durch die Füllung der Steine beschränkt sich auf den Bereich mittlerer und hoher Frequenzen und steigt mit zunehmender Frequenz kontinuierlich an.
- Die Zunahme des Verlustfaktors bewirkt einen Anstieg der Schalldämmung, der in Höhe und Frequenzverlauf in etwa mit der Zunahme des Verlustfaktors korreliert. Das bewertete Schalldämm-Maß erhöht sich durch die Füllung der Steine im Mittel um etwa 1 bis 2 dB.
- Analog zu ungefüllten Ziegeln erfolgt die Schallübertragung bei hohen Frequenzen hauptsächlich durch Schwingungen der einzelnen Steine. In diesem Frequenzbereich, in dem die innere Dämpfung den Gesamtverlustfaktor bestimmt, haben die Einbaubedingungen keinen Einfluss auf die Schalldämmung, so dass eine Verlustfaktor-Korrektur nicht statthaft ist. Unterhalb der Resonanzfrequenz der Steine und dem hierdurch verursachten Dämmungseinbruch liegt Biegewellenübertragung vor und der Verlustfaktor wird durch Energieableitung an den Bauteilrändern bestimmt. Die Korrektur des Schalldämm-Maßes kann hier in üblicher Weise wie bei homogenem massivem Mauerwerk erfolgen.
- Das auf den mittleren Bauverlustfaktor $\eta_{Bau,ref}$ bezogene bewertete Schalldämm-Maß eines Bauteils $R_{w,Bau,ref}$ ist zur Berechnung der Schallausbreitung in Bauten nach DIN EN 12354-1 zu verwenden und ersetzt die dort als Eingangswert herangezogene Größe $R_{w,situ}$, die die Schalldämmung unter den tatsächlichen Einbaubedingungen beschreibt.

Auf Grundlage der oben aufgeführten Forschungsergebnisse wurde ein modifiziertes Verfahren zur Verlustfaktor-Korrektur bei Mauerwerk aus Hochlochziegeln entwickelt, das für gefüllte und ungefüllte Steine gleichermaßen anwendbar ist. Der Unterschied gegenüber dem bisherigen Verfahren, das im Jahr 2007 für ungefüllte Steine vorgeschlagen wurde, besteht lediglich darin, dass die Korrektur statt bis zur ersten nur bis zur dritten Terz unterhalb der Resonanzfrequenz der Steine durchgeführt wird. Die übrige Vorgehensweise bleibt hingegen unverändert.

Danksagung

Das durchgeführte Forschungsvorhaben wurde von der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. initiiert und finanziell gefördert. Wir bedanken uns außerdem für die Unterstützung bei der Koordination des Messprogramms und die Bereitstellung der untersuchten Ziegel.

Literatur

[1] DIN EN 12354-1:2000-12 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Berlin: Beuth-Verlag, 2000.

[2] *Schneider, M., Fischer, H.-M.*: Korrektur des Verlustfaktors bei der Schalldämmung von Ziegelwänden. Bericht Nr. HfT 122 004 05P im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e. V., Juni 2007.

[3] *Schneider, M., Fischer, H.-M.*: Einfluss des Verlustfaktors auf die Schalldämmung von Lochsteinmauerwerk. Bauphysik 30 (2008), H. 6, S. 453–462.

[4] *Cremer, L.*: Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Schalleinfall. Akustische Zeitschrift (1942), H. 7, S. 81–104.

[5] *Scholl, W., Weber, L.*: Einfluss der Lochung auf die Schalldämmung und Schall-Längsdämmung von Mauersteinen – Ergebnisse einer Literaturauswertung. Bauphysik 20 (1998), H. 2, S. 49–55.

[6] *Weber, L., Bückle, A.*: Schalldämmung von Lochsteinwänden – neue Erkenntnisse. Bauphysik 20 (1998), H. 6, S. 239–245.

[7] *Weber, L.*: Kriterien für die schalltechnisch günstige Ausführung von Wänden aus gelochten Mauersteinen – 1. und 2. Projektabschnitt. IBP-Berichte B-BA 3/2002 und 3/2003 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), April 2002 und September 2003.

[8] *Fischer, H.-M., Schneider, M., Blessing, S.*: Einheitliches Konzept zur Berücksichtigung des Verlustfaktors bei Messung und Berechnung der Schalldämmung massiver Wände. Fortschritte der Akustik, DAGA 2001, Hamburg.

[9] *Späh, M., Fischer, H.-M.*: Abgesicherte Eingangsdaten für die Berechnung des Schallschutzes nach DIN EN 12354-1. Veröffentlichungen der Hochschule für Technik Stuttgart, Band 54 – Bauphysikertreffen 2001.

[10] *Schneider, M., Fischer, H.-M.*: Direkt- und Flankendämmung von Hochlochziegelmauerwerk – Teil 1: Neue Entwicklungen und normative Umsetzung. Veröffentlichungen der Hochschule für Technik Stuttgart, Band 81 – Bauphysikertreffen 2006, S. 31–41.

[11] DIN EN ISO 140-1:2005-03 Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung. Berlin: Beuth-Verlag, 2005.

[12] *Schmitz, A., Meier, A., Raabe, G.*: Inter-laboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls. Part I – Preliminary Test. Building Acoustics 6 (1999), pp. 159–169.

[13] *Meier, A., Schmitz, A., Raabe, G.*: Inter-laboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls. Part II – Results of Main Test. Building Acoustics 6 (1999), pp. 281–295.

[14] DIN EN ISO 140-3:2005-03 Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen. Berlin: Beuth-Verlag, 2005.

[15] DIN EN ISO 10848-1:2006-08 Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1: Rahmendokument. Berlin: Beuth-Verlag, 2006.

Autoren dieses Beitrages:
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Martin Schneider, Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer,
Beide:
Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
Dr. Lutz Weber, Dipl.-Ing. (FH) Simon Müller,
Beide:
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Dipl.-Ing. Michael Gierga, Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e. V.,
Schaumburg-Lippe-Straße 4, 53113 Bonn