

# Schallschutz im Wohnungsbau in Verbindung mit regionalen und natürlich verfügbaren Lehmbaustoffen

Im Rahmen des Produktoptimierungsverfahrens und im Zuge der Erstellung einer neuen Norm für Lehm- bauplatten (DIN 1894X) wurden mit der Fa. WEM GmbH diverse Prüfungen durchgeführt um bauphysikalische Materialkennwerte zu erarbeiten. Neben physikalischen Größen wie z.B. Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Sorptionseigenschaften gehört auch das Schalldämm-Maß zu den zu ermittelnden Werten. Da die Normprüfkammer nach DIN EN ISO 10140 mit erheblichem Platz- und Kostenaufwand verbunden wäre, wurde im Rahmen einer hochschulinter- nen Forschungsarbeit eine demontierbare Prüfkam- mer entwickelt.

Die Schallprüfkammer wurde im Vergleich zum Normprüfstand ca. um den Faktor 5 verkleinert. Auch die Außenwände wurden, anstatt mit der empfo- henen verputzten Mauerwerkswand, mit einer voll gedämmten Holzrahmenkonstruktion erstellt. Der Schallprüfstand überzeugt durch enorme Kosten- und Platzeinsparung. Durch die demontierbaren Seg- mente erhält man zudem eine hohe Flexibilität und kann den Prüfstand einfach versetzen und den Prü- fanordnungen anpassen.

## Physikalische Grundlagen

Im nachfolgenden werden die physikalischen Grund- lagen und die Eckdaten der Prüfkammer erläutert.

### Schalldämm-Maß $R$ ([1]: S.12 f.)

Das Schalldämm-Maß  $R$  beschreibt das Verhältnis der auftretenden Schallenergie zu der auf der Rückseite eines Bauteils abgestrahlten Energie und wird in der Hilfsmaßeinheit [dB] angegeben.

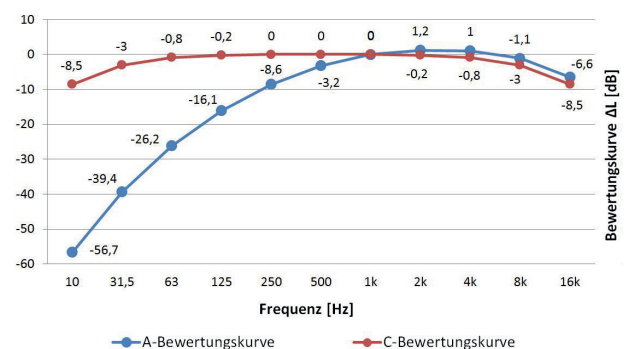
Man unterscheidet zwischen dem Schalldämm-Maß  $R$  in Prüfständen, bei dem der Schall ausschließ- lich durch das zu prüfende Bauteil übertragen wird (keine Flankenübertragung) und dem Bauschall-

dämm-Maß  $R'$ , bei dem zusätzlich die Schallübertra- gung über Flanken und andere Nebenwege berück- sichtigt wird. Beide Schalldämm-Maße hängen stark vom Frequenzbereich ab. Aus diesem Grund werden die Schallpegeldifferenzen bei Prüfstandmessungen in einem Frequenzbereich von 100 bis 5000 Hz in Terzen ermittelt und in Form einer Kurve in einem Diagramm in Abhängigkeit von der Frequenz  $f$  darge- stellt. Die aktuellen Änderungen (Juli. 2016) der DIN 4109 wurden hier noch nicht angewendet.

Im Vergleich zu den rein physikalischen Messwerten, werden einige Frequenzbereiche vom menschlichen Gehör unterschiedlich gut erfasst.

Die relevanten Frequenzbewertungskurven A und C sollen die Hörgewohnheit nachahmen und Schallpegel bewerten; unter der Berücksichtigung, dass bei gleichen Schallpegeln tiefe Töne leiser empfunden werden als hohe. International wird i.d.R. die Be- wertungskurve A zur Messung der Stärke eines Ge- räuschs benutzt. Der hieraus gewonnene Messwert wird als bewerteter Schallpegel  $L_A$  in dB(A) angege- ben und drückt ungefähr die durch das menschliche Ohr empfundene Störwirkung aus. Die gemessenen Pegel werden somit durch die o.g. „Bewertungskur- ve“ korrigiert.

Abb. 1 A- und C-Bewertungskurven ([2], S. 31)



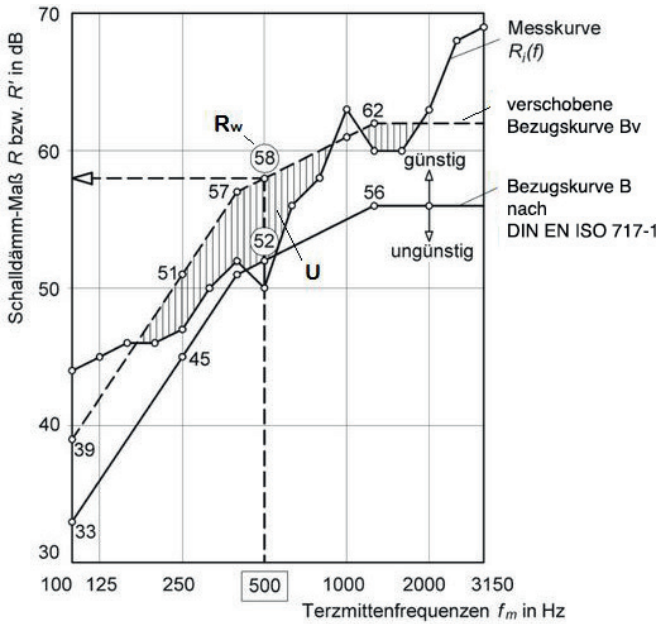


Abb. 2 Definition des bewerteten Schalldämm-Maßes  $R_w$  ([1]: S.15)

**Bewertetes Schalldämm-Maß  $R_w$**  ([1]: S.15)

Gute schalldämmende Eigenschaften von Wandkonstruktionen in tiefen Frequenzbereichen gleichen sich **nicht** mit schlechten schalldämmenden Eigenschaften in hohen Frequenzbereichen aus. Mit Hilfe einer Bezugskurve  $B$  (nicht zu verwechseln mit den o.g. Korrekturkurven), die den stilisierten Kurvenverlauf der Schalldämmung einer 24 cm dicken Ziegelwand darstellt, wird aus der Messkurve  $R_i(f)$  eine Bewertungskurve  $B_v$  gebildet. Hierbei werden nur die Messungen der 16 Terzen zwischen 100 und 3150 Hz beachtet. Die Bezugskurve  $B$  (Abb. 2) wird in Richtung niedriger Dämmwerte solange verschoben, bis die Summe der Unterschreitungen zwischen der verschobenen Bezugskurve  $B_v$  und der Messkurve  $R_i(f)$  maximal 32 dB beträgt. Der mit Hilfe der Bezugskurve

$B_v$  ermittelte Wert (in Dezibel), bei 500 Hz, stellt dann die Einzahlangabe des bewerteten Schalldämm-Maßes  $R_w$  eines Bauteils dar.

**Schalltechnisches Verhalten einschaliger massiver Bauteile** ([3]: S.13)

Das schalltechnische Verhalten einschaliger Bauteile kann durch das sogenannte Massegesetz nach BERGER einfach beschrieben werden, welches besagt, dass die Schalldämmung mit der flächenbezogenen Masse  $m'$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) und mit wachsender Frequenz zunimmt. Die erreichbare Schalldämmung ist somit umso besser, je schwerer das einschalige Bauteil und je höher die Frequenz des zu dämmenden Geräusches ist. Bei einer Frequenz unterhalb von etwa 200 Hz spricht man von biegesteifen Bauteilen (z.B. KS-Wände), sowie von biegeweichen Bauteilen, falls sie oberhalb von etwa 1600 Hz liegt.

**Schalltechnisches Verhalten von Vorsatzschalen auf massiven Bauteilen**

Eine weitere akustisch günstige Kombination ist die Wand mit sog. Vorsatzschale. Hierunter versteht man zweischalige Wandkonstruktionen aus einer biegesteifen und einer biegeweichen Schale. Im Hinblick auf eine möglichst niedrige Resonanzfrequenz ( $f_r < 80$  Hz ist anzustreben) liegt der optimale Abstand zwischen den Schalen bei 40 bis 80 mm. Zu beachten ist weiterhin, dass man bei einer direkten Befestigung der Vorsatzschale auf der biegesteifen Wand Schallbrücken durch Körperschallübertragung produzieren würden. Damit wäre der Vorteil einer Vorsatzschale aufgehoben. Günstig ist eine Befestigung mittels freistehender, meist hölzerner oder metallischer Ständerwerke.

Tabelle 1 Verbesserungsmaße  $\Delta R_{ij,w}$  von Vorsatzkonstruktionen gemäß Weber [9]

Aufbau	$\Delta R_{ij,w}$
Freistehende Gipskarton-Vorsatzschale, bestehend aus: 175 mm Kalksandvollstein ( $m' = 335 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) 50 mm freistehendes Metallständerwerk dazwischen 40 mm Mineralwolle lose eingestellt 12,5 mm Gipskartonplatte	10,5 dB
Gipskarton-Sandwichplatte, bestehend aus: 175 mm Kalksandvollstein ( $m' = 335 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) 50 mm expandierter Polystyrolhartschaum EPS ( $s' = 4 \text{ MN}/\text{m}^3$ ) 12,5 mm Gipskartonplatte	7,0 dB
Gipskarton-Sandwichplatte, bestehend aus: 175 mm Kalksandvollstein ( $m' = 335 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) 20 mm Mineralwolle ( $s' = 10 \text{ MN}/\text{m}^3$ ) 12,5 mm Gipskartonplatte	- 0,4 dB

**Typische Verbesserungsmaße für Vorsatzschalen**

**Der Einfluss von stehenden Wellen auf die Raumcharakteristik**

Die Messgenauigkeit eines Prüfraumes kann durch stark ausgeprägte stehende Wellen, welche sich vor allem in der Nähe von reflektierenden Wänden einstellen, beeinflusst werden. Diese Wellen entstehen besonders dann, wenn die ankommende und entgegengesetzte gerichtete Welle die gleiche Frequenz und Amplitude besitzt und sich phasengleich überlagert. [101]

Bei der demontierbaren Schallprüfkammer hat sich durch die Messungen gezeigt, dass die Raumgeometrie stehende Wellen im tieffrequenten Bereich (< 250 Hz) begünstigt.

Treten in Räumen starke Schwankungen des Schalldruckpegels infolge übermäßig stark ausgeprägter stehender Wellen auf, können Diffusoren ein homogenes Schallfeld schaffen ([4]: S.8). Diffusoren stellen eine definierte Unebenheit der Wandoberfläche dar und reflektieren in so viele Richtungen wie möglich.

Je nach Frequenzbereich des auftreffenden Geräusches können auch Schallabsorber zum Einsatz kommen. Diese sollen die Reflexion von Schall an Bauteilen verringern.

Man unterscheidet prinzipiell zwischen Resonanzabsorber und porösen Absorber. Poröse Absorber weisen viele kleine Hohlräume auf, in denen sich die Schallenergie abbauen kann. ([5]: S.185).

Resonanzabsorber stellen ein Feder-Masse-System dar und lassen sich weiter in Plattenschwinger und Lochplattenschwinger (Helmholtz-Resonatoren) unterteilen.

Abb. 3 Plattenschwinger [102]

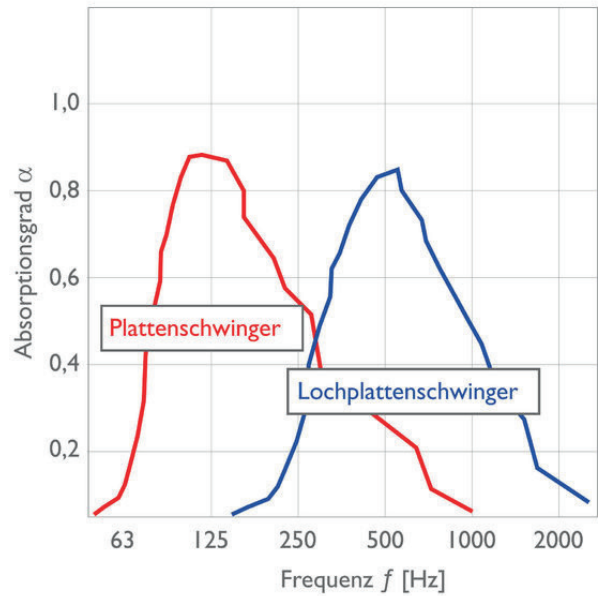
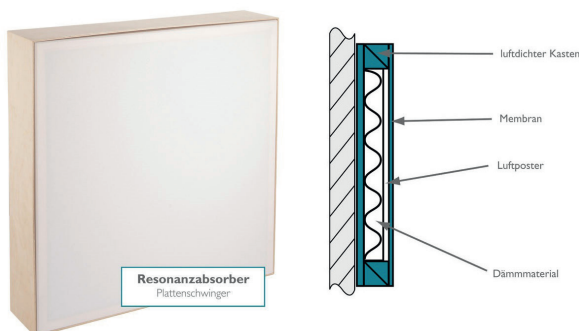


Abb. 5 frequenzabhängiger Vergleich der Absorber (Herstellerangaben [102])

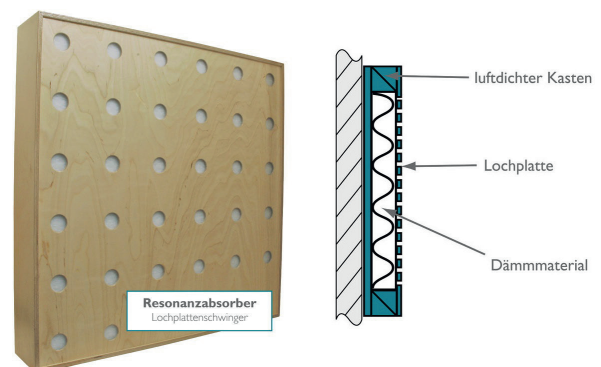
Lochplattenabsorber haben Ihr Resonanzmaximum in der Regel bei höheren Frequenzen als Plattenschwinger. Im Gegensatz zu porösen Absorbieren können Resonanzabsorber tiefe Frequenzen gut absorbieren.

Die Außenwände der Prüfkammer können durch ihre Bauweise als Plattenschwinger angesehen werden und tragen somit zu einer leichten Absorption der tiefen Frequenzen bei.

**Spektrum-Anpassungswerte**

Durch die Einführung sogenannter Spektrum-Anpassungswerte C und C<sub>tr</sub> in der DIN EN ISO 717-1 können die in der Realität auftretenden Eigenarten unterschiedlicher Geräuschkennlinien berücksichtigt werden. Die Anwendung der Spektrums-Anpassungswerte ist von der Art der Geräuschquelle abhängig und in der Tabelle 2 dargestellt.

Abb. 4 Lochplattenschwinger [102]



Art der Geräuschquelle	Entsprechender Spektrum-Anpassungswert
Wohnaktivitäten (Unterhaltung, Musik, TV), spielende Kinder	C (Spektrum 1)
Städtischer Straßenverkehr, Discomusik, Propellerflugzeug, Schienenverkehr in großem Abstand	$C_{tr}$ (Spektrum 2)

Tabelle 2 Auszug der Spektrum-Anpassungswerte versch. Arten von Geräuschquellen ([7]: S.15)

Die Spektrum-Anpassungswerte werden zur Einzahlangabe der Schalldämm-Maße als separate Angaben ergänzt (z.B.:  $R_w (C; C_{tr}) = 55 (-2; -4)$  dB). Bauteile mit besonderen Schwächen gegenüber diesen speziellen Geräuschen erhalten entsprechend große negative C- und  $C_{tr}$ -Werte als Zuschlag zu  $R_w$ .

Im Rahmen der ersten Versuchsmessungen konnte festgestellt werden, dass im tieffrequenten (< 250 Hz) Bereich stehende Wellen auftreten. Die verfügbaren Spektrum-Anpassungswerte dienen also lediglich der Information und müssen ggf. noch angepasst werden. Hier muss im Rahmen weiterer Prüfungen und Forschungsarbeiten die Raumcharakteristik optimiert werden.

Bei Prüfstandmessungen werden Mithilfe definierter Schallquellen Geräuschspektren erzeugt. Als „*Weißes Rauschen*“ (engl. white noise) bezeichnet man ein akustisches Signal, bei dem alle hörbaren Frequenzen mit zufälligen, sich ständig ändernden, im Mittel aber gleich hohen Schalldruckpegeln vertreten sind. Dabei ist der Energiegehalt der verschiedenen Frequenzbänder gleich groß (z.B. liegt im Bereich von 100–200 Hz genauso viel Leistung wie im Bereich 2000–2100 Hz).

„*Rosa Rauschen*“ (engl. pink noise) dagegen hat eine mit der Frequenz abnehmende Energiedichte. Der Schalldruckpegel einer Oktave nimmt um ca. 3 dB gegenüber der vorhergehenden Oktave ab (frequenzabhängige Amplitude).

Aus diesem Grund hört sich „*weißes Rauschen*“ heller an als „*rosa Rauschen*“.

Während der durchgeführten Messungen wurde das digital erzeugte und jederzeit reproduzierbare „*weiße Rauschen*“ verwendet.

### Beschreibung des demontierbaren Schallprüfstandes

Der entwickelte Schallprüfstand setzt sich aus einem Sende- und einem Empfangsraum zusammen, welche aus separat gefertigten Modulen in Holzrahmenbauweise errichtet wurden. Die Räume sind jeweils durch eine luftdichte Brandschutztür zugänglich. Zwei Stahlbetonfertigteilewände ( $d = 18$  cm,  $\rho = \text{ca. } 2.400 \text{ kg/m}^3$ ) trennen die Räume voneinander. Der Mindestabstand von 50 [mm] zwischen den Wänden ist mit Mineralwolle gefüllt und mit diffusionsdichtem Klebeband abgedichtet. Die Stahlbetonwände weisen eine „spezielle kleine“ Prüföffnung für Prüfbauteile auf und wurden auf den Rauminnenseiten in Sichtbetonqualität ausgeführt, um eine reflektierende Oberfläche zu gewährleisten ([4]: S.12). Die einzelnen Holzrahmenmodule bestehen aus Konstruktionsvollholz (Fichte) und sind an den Außenseiten mit 18 mm einfach und an den Innenseiten mit 15 mm starken OSB-Platten zweifach beplankt. Zur Vermeidung von störenden Fugenbildern, welche einen negativen Einfluss auf die Luftdichtigkeit der Prüfräume hätten, wurden die OSB-Platten mit einem Nut- und Federsystem eingebaut und abgedichtet. Der Hohlraum der Holzrahmenmodule wurde vollständig ausgedämmt.

Die Wand- und Boden- bzw. Deckenmodule sind mithilfe von Spanngurten und Ratschen als Zugbänder miteinander verbunden und die Anschlüsse mit Zellkautschuk-Dichtband (Elastomerlagern) schalltechnisch entkoppelt. Die Schallprüfkammer kann über Außensteckdosen an ein Stromnetz angeschlossen werden.

Um eine Beeinflussung des Schallfeldes zu vermeiden, dürfen sich Personen während den Messungen nicht im Sende- und Empfangsraum aufhalten. Aus diesem Grund befinden sich in der Außenwand von beiden Räumen abgedichtete Leerrohre, durch die Lautsprecher- und Mikrofonkabel ins Rauminnere verlegt werden können. Alle innenliegenden Bauteilanschlüsse wurden mit diffusionsdichten Klebeband

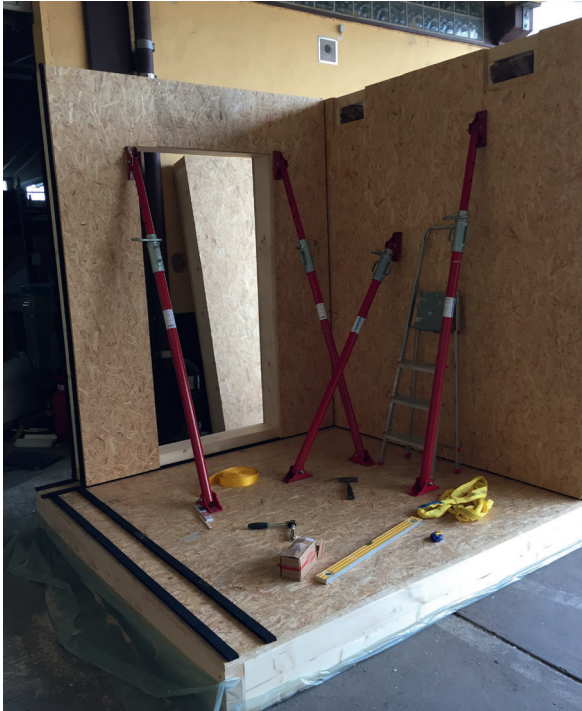


Abb. 6 Übersichtsbild Aufbau



Abb. 7 Innenansicht Schallprüfstand

abgedichtet um die Luftdichtigkeit der Prüfräume zu erhöhen.

**Abweichungen des Schallprüfstandes von den Anforderungen an Normprüfstände**

Aufgrund der nötigen Demontierbarkeit des Schallprüfstandes ergeben sich Abweichungen zu den in der Norm festgeschriebenen Anforderungen an Prüfstände, die in Tabelle 2 dargestellt sind. Die in den Klammern angegebenen Seitenzahlen und Abschnitte verweisen auf die jeweiligen Stellen der Anforderungen in der DIN EN ISO 10140-5:2014 [4].

Gemäß den Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen in der DIN EN ISO 10140-5 sollte die auf indirektem Wege (Nebenwege) übertragene

Schalleistung in Prüfständen, im Vergleich zu der durch das Prüfbauteil übertragenen Schalleistung, vernachlässigbar sein. „Der Ansatz, dies im Prüfstand zu erreichen, besteht darin, dass für eine ausreichende Körperschalldämmung zwischen Senderraum und Empfangsraum gesorgt wird.“

Um die Bauteile schalltechnisch zu entkoppeln wurden alle Anschlüsse mit „Kompribändern“ und Dichtband versehen, auf diese Weise können Flankenübertragung weitgehend ausgeschlossen werden. Beim Einbau von Prüfbauteilen in der Prüföffnung wurden diese umlaufend auf Dichtbänder gesetzt. Auf eine weitere Erläuterung der Nebenwege wird deshalb verzichtet.

Abb. 8 schematische Darstellung der inneren Abmessungen der Räume

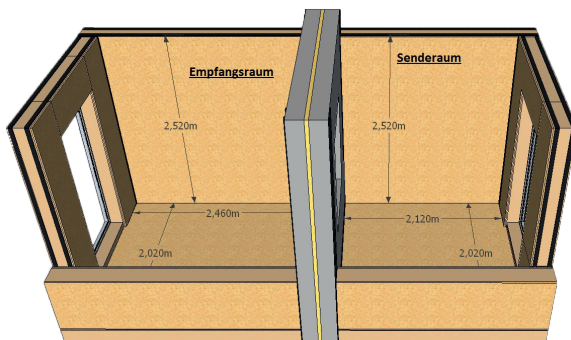


Abb. 9 demontierbarer Schallprüfstand



Anforderungen nach DIN EN ISO 10140-5	Demontierbarer Schallprüfstand
Volumen der Prüfräume > 50 m <sup>3</sup> (S.8 Abs. 3.2.1)	Volumen Senderaum: ca. 11 m <sup>3</sup> Volumen Empfangsraum: ca. 13 m <sup>3</sup>
Der Senderaum sollte der größere Raum sein (S.15 Abs. 5.1)	ca. gleichgroß
Maße der speziellen kleinen Prüföffnung (S.12 Abs. 3.3.3) b = 1250 mm ± 50 mm h = 1500 mm ± 50 mm	Maße der speziellen Prüföffnung: Brutto Maße b = 1020 mm h = 1220 mm Netto Maße b = 1000 mm h = 1200 mm
Abgestufte Nischen an den Seiten und Oberseite der Prüföffnung (S.12f. Abs.3.3.3)	Keine Abstufung der Nischen an den Seiten und Oberseite der Prüföffnung
Die Wände des Prüfstandes sollten homogen und massiv ausgeführt sein, z.B. Schwerbeton oder Ziegelmauerwerk	Die Wände sind aus einzelnen Holzrahmenmodulen gefertigt
Nachhallzeit sollte zwischen 1 und 2 Sekunden betragen (S.9 Abs.3.2.3)	Nachhallzeit beträgt 0,5–1,1 Sekunden
Mindestabstände der Mikrofonpositionen: (DIN EN ISO 10140-4 S.8 Abs.4.2.2)  0,7 m zwischen einer Mikrofonposition und den Raumgrenzen 1,0 m zwischen einer Mikrofonposition und dem Prüfbauteil 1,0 m zwischen einer Mikrofonposition und der Schallquelle	Aufgrund der Raumgeometrie sind die Mindestabstände der Mikrofonpositionen nicht realisierbar, es werden Ersatzgrößen benannt. 0,5 m zwischen einer Mikrofonposition und den Raumgrenzen 0,8–1,0 m zwischen einer Mikrofonposition und dem Prüfbauteil 0,8–1,0 m zwischen einer Mikrofonposition und der Schallquelle

Tabelle 3 Abweichungen: Schallprüfstandes vs. Anforderungen an Normprüfstände

### Messung der Luftschalldämmung

Im Rahmen dieser empirisch angelegten Messungen wurden Versuchsreihen ausgewählt, die eine direkte Vergleichbarkeit untereinander sowie mit dem gewählten Norm-Referenzbauteil gewährleisten. Des Weiteren wurden praxisrelevante Prüfbauteile verwenden.

Hierfür wurden die nachfolgend vorgestellten Prüfbauteile in die „spezielle kleine“ Prüföffnung zwischen den beiden Prüfräumen eingebaut und untersucht.

Um die Messergebnisse miteinander vergleichen und eventuelle Erkenntnisse und Zusammenhänge gewinnen zu können, wurden die verschiedenen Vorsatzkonstruktionen und anderen Bauteile an drei unterschiedlichen Grundwänden (KS-Wand, Holz100 Brettschichtholz, Holzrahmenbau mit Wärmedämmung) geprüft. Auf den nächsten Seiten sind die Grundbauteile und die Prüfbauteile vorgestellt.

### Durchführung der Messungen

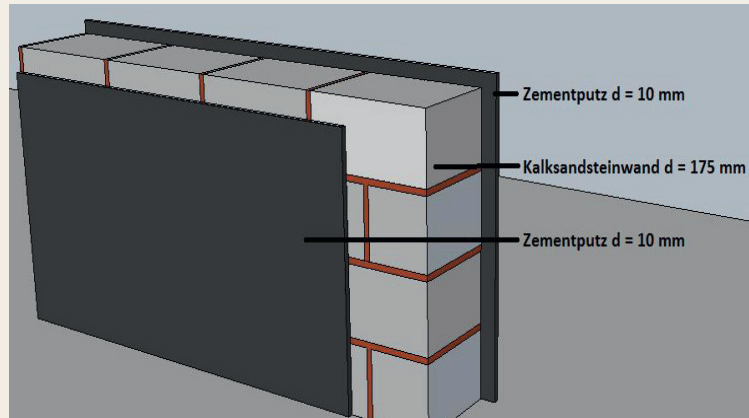
Gemäß den Empfehlungen der DIN EN ISO 10140-3-5 ([4]: S.15) erfolgte die Geräuschanregung im Senderaum unter Verwendung des weißen Rauschens über den stationären Bauakustik-Dodekaeder mit einem Leistungsverstärker. Durch die Verwendung des Dodekaeders, wurde eine gleichmäßige und diffuse Verteilung der Schallenergie erzeugt. Die Messung der Schalldruckpegel erfolgte mehrkanalig in Echtzeit auf der Sende- sowie Empfangsseite mit 1/2"-Messmikrofonen (Klasse 1) an vier festen Mikrofonpositionen.

Der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Sende- und im Empfangsraum wurde nach Gleichung 1.1 berechnet:

$$(1.1) \quad L = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}}$$

Dabei sind  $L_1, L_2, \dots, L_n$  die Schalldruckpegel an  $n$ -Positionen im Raum.

Abb. 10 KS – Grundbauteil



**1 – Kalksandstein-Wand**

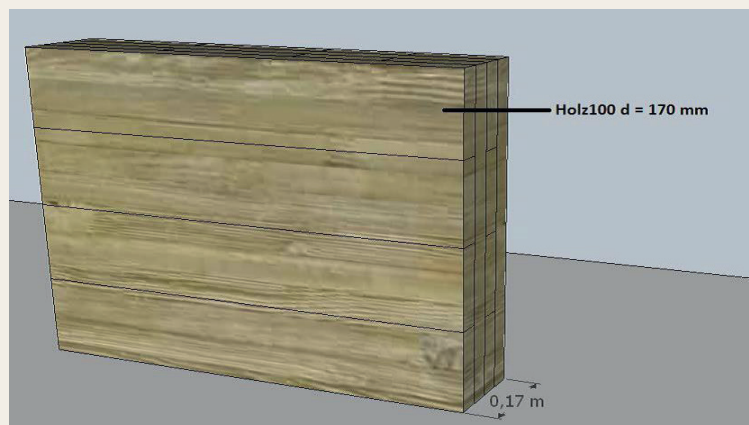
Rohdichteklasse 2,0 mit Normalmörtel,  $d = 175 \text{ mm}$   
 $\rho_w = 1900 \text{ kg/m}^3$ , beidseitig je 1,0 cm Zementputz  
 $m'_{\text{p}} = 18 \text{ kg/m}^2$  ([6]:10.63)

Berechnung der flächenbezogenen Masse des Grundbauteils:

Masse des Mauerwerks	$0,175 \text{ m} \times 1900 \text{ kg/m}^3$	= 332,5	kg/m <sup>2</sup>
Zementputz	$2 \times 18 \text{ kg/m}^2$	= 36,0	kg/m <sup>2</sup>
$m'$		= 368,5	kg/m <sup>2</sup>

Die Wand erfüllt die Vorgaben der DIN EN ISO 10140:5 ([4]: S.21) als Norm-Grundbauteil mit einer flächenbezogenen Masse von  $350 \pm 50 \text{ kg/m}^2$ , welches für die Anwendung von Vorsatzschalen empfohlen wird. Sie wurde in die Öffnung der Stahlbetonwand des Empfangsraumes auf EPDM Zellkautschukstreifen errichtet und beidseitig verputzt um die Luftdichtigkeit zu erhöhen.

Abb. 11 Holz100–Grundbauteil



**2 – Holz100 Brettschichtholz Grundbauteil**

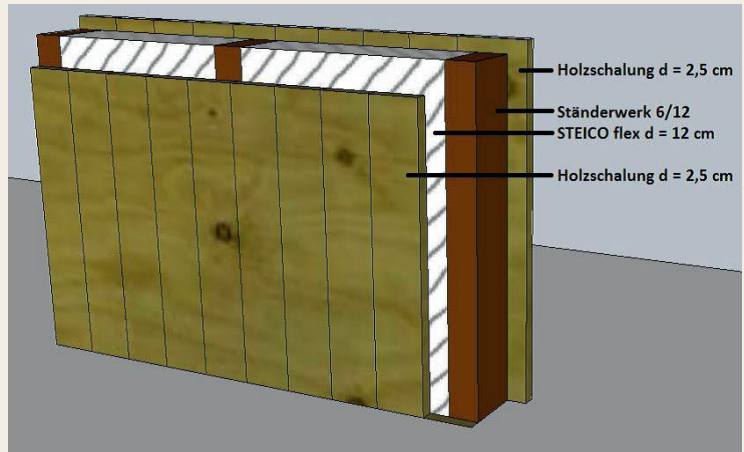
$d = 170 \text{ mm}$ ,  $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $h = 1200 \text{ mm}$ ,  $\rho \approx 450 \text{ kg/m}^3$

Berechnung der flächenbezogenen Masse des Grundbauteils:

$$m' = 0,17 \text{ m} \times 450 \text{ kg/m}^3 = 76,5 \text{ kg/m}^2$$

Das Grundbauteil besteht aus mehreren Lagen KVH aus Fichte und Tanne. Es wurde auf der Unterseite mit dünnem Kompribändern und an den restlichen Seiten mit EPDM-Dämmung von der Stahlbetontrennwand schalltechnisch entkoppelt. Zusätzlich wurden alle Bauteilränder mit einer Acrylnaht versehen und anschließend von jeder Seite mit luftdichtem Kleband abgedichtet. Auf der Empfangsseite wurde ein Abstand von 3,5 cm zur Stahlbetonwandkante gelassen, um beim Einbau der Vorsatzschalen einen bündigen Abschluss gewährleisten zu können.

Abb. 12 Holzrahmen-Grundbauteil



**3 – Holzrahmenbau mit Wärmedämmung**

d = 170 mm, b = 1000 mm, h = 1200 mm

Berechnung der flächenbezogenen Masse des Grundbauteils:

Zollschalung	$0,025 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^3$	= 12,5	kg/m <sup>2</sup>
Ständerwerk	$0,06 \times 0,12 \times 500 \text{ kg/m}^3 / 0,625$	= 5,76	kg/m <sup>2</sup>
STEICOflex	$0,565 \times 0,12 \times 50 \text{ kg/m}^3 / 0,625$	= 5,424	kg/m <sup>2</sup>
Zollschalung	$0,025 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^3$	= 12,5	kg/m <sup>2</sup>
	m'	= 36,18	kg/m <sup>2</sup>

Das Holzrahmen-Grundbauteil wurde wie das zuvor genannte Holz100-Grundbauteil eingebaut. Zusätzlich wurden alle Kanten mit einer Acrylnaht versehen und anschließend von jeder Seite mit luftdichtem Klebeband abgedichtet. Der Abstand auf der Empfangsseite zur Stahlbetonkante betrug ebenfalls 3,5 cm.

Vor jeder Messreihe wurden die Messmikrofone kalibriert. Zusätzlich wurden Messungen der Hintergrundgeräuschpegel durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Messwerte im Empfangsraum hierdurch nicht beeinflusst wurden.

Der Hintergrundgeräuschpegel muss in jedem Frequenzband mindestens 6 dB unter dem Pegel der Kombination aus Signal und Hintergrundgeräusch liegen ([7] S.9).

Bei Pegeldifferenzen zwischen 6 bis 15 dB berechnen sich die Korrekturen des Signalpegels nach Gleichung 1.2.

$$(1.2) \quad L_{2,k} = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right)$$

mit:  $L_{2,k}$  der korrigierte Signalpegel im Empfangsraum, in dB

$L_2$  der Pegel der Kombination aus Signal und Hintergrundgeräusch, in dB

$L_b$  der Hintergrundgeräuschpegel, in dB

Das Schalldämm-Maß  $R$  zwischen den Prüfräumen des Prüfstandes wurde mit folgender Gleichung ermittelt ([8]: S.7):

$$R = L_1 - L_{2,k} + 10 \lg * \frac{S}{A}$$

mit:  $L_1$  der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Senderaum, in dB

$L_{2,k}$  der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Empfangsraum(korrigiert), in dB

$S$  die Fläche der freien Trennwand, inklusive Prüfbauteil, in m<sup>2</sup>

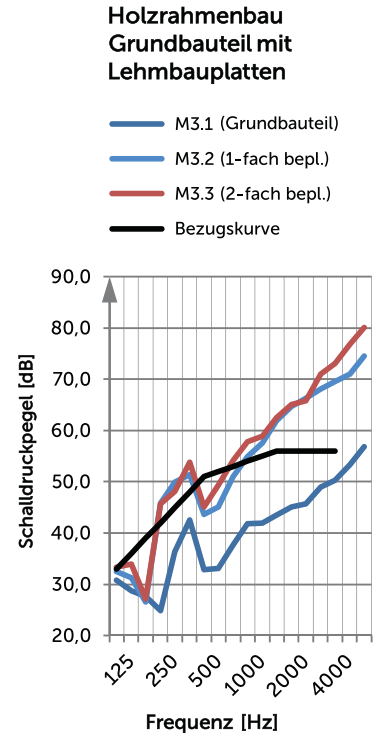
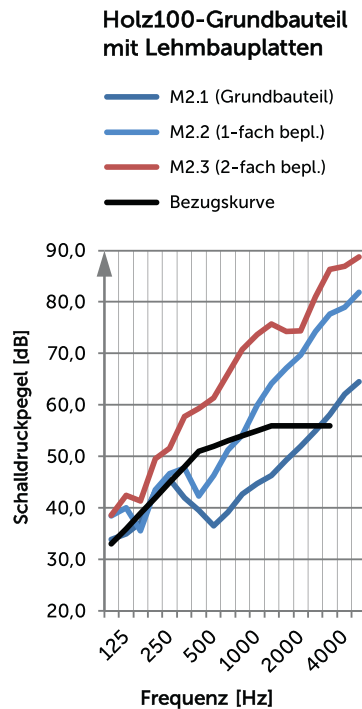
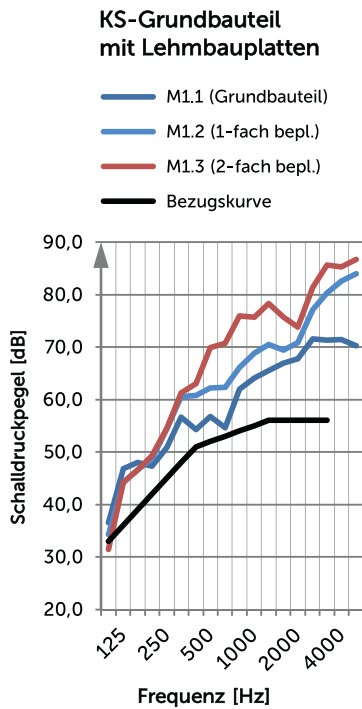
$A$  die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum, ermittelt über die gemessene Nachhallzeit  $T$ , in m<sup>2</sup>



**Ergebnisse – Massivbauteil ohne Vorsatzschale**

Durch das Aufbringen einer Lehmbauplatte und einer dünnen Lehmputzschicht erhöhen sich die Schalldämmwerte der Messkurven M2.2 und M3.2 signifikant. Ursache für die Verbesserung der Schalldäm-

mung ist in erster Linie die Erhöhung der flächenbezogenen Masse der Wände. Beim Holz100-Grundbauteil zeigt sich der Einfluss einer Biegesteifen Grundwand in Verbindung mit einer Vorsatzschale.



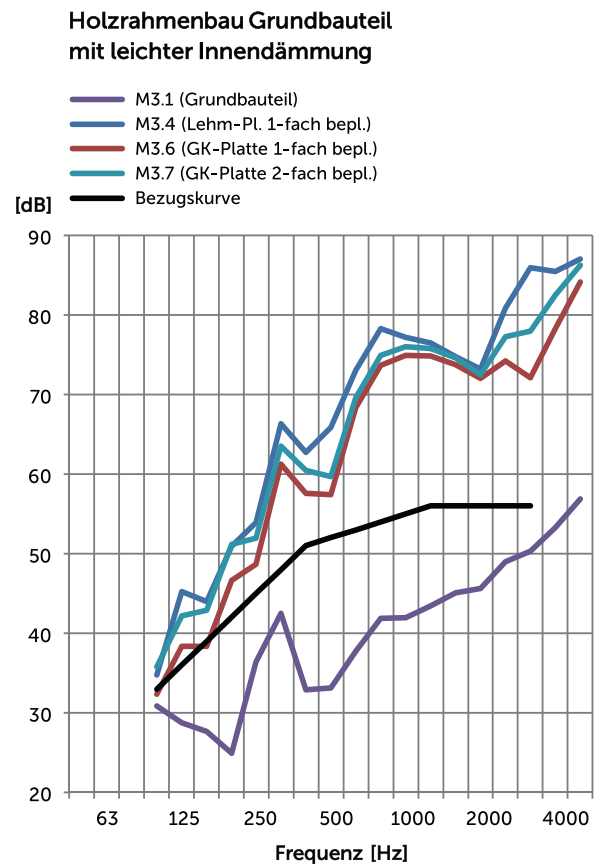
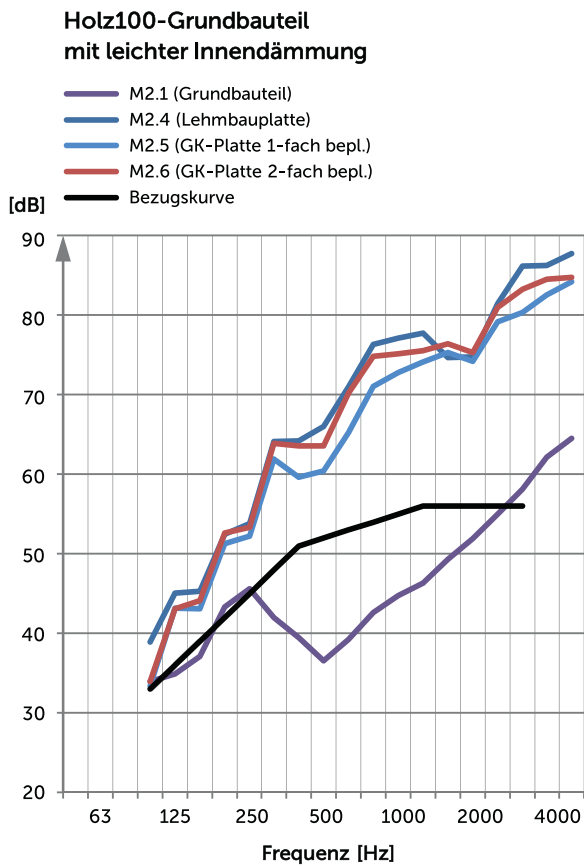
	Vorsatzkonstruktion in mm	
Messnummer	25 Lehmplatte	50 Lehmplatte
$R_{w,res}   R_{w,prüf}$	8 Lehmputz	16 Lehmputz
(C ; $C_{tr}$ )		
$\Delta R_{w,direct}$	$m' = +45 \text{ kg/m}^2$	$m' = +90 \text{ kg/m}^2$

KS-Grundbauteil	M1.1	M1.2	M1.3
10 mm Zementputz	61,1   55,0 dB	63,8   57,8 dB	64,5   58,5 dB
175 mm KSV, $\rho=1900 \text{ kg/m}^3$	(-2 ; -7)	(-4 ; -11)	(-6 ; -14)
10 mm Zementputz, $m'=365,5 \text{ kg/m}^2$		2,8 dB	3,5 dB
Holz100-Grundbauteil	M2.1	M2.2	M2.3
170 mm KVH	45,4   39,3 dB	53,9   47,8 dB	63,0   56,9 dB
$m'=76,5 \text{ kg/m}^2$	(-1 ; -3)	(-1 ; -4)	(-2 ; -6)
		8,5 dB	17,6 dB
Holzrahmenbau	M3.1	M3.2	M3.3
2,5 cm Holzschalung	41,4   35,0 dB	51,7   45,6 dB	53,8   47,7 dB
Ständerwerk 6/12, STEICOflex 120 mm	(-2 ; -5)	(-4 ; -9)	(-5 ; -10)
2,5 cm Holzschalung, $m'=36,2 \text{ kg/m}^2$		10,6 dB	12,7 dB

**Ergebnisse – Massivbauteil mit 80 mm Innendämmung**

Die Messkurven M2.4 und M3.4 weisen im Vergleich zu ihren Grundkonstruktionen eine deutlich höhere Schalldämmung auf. Beim Austausch der Lehmbauplatte durch zwei GK-Platten verringert sich das be-

wertete Schalldämm-Maß der Messungen M2.6 und M3.7 um ca. 2 dB, was durch das geringere Flächen-gewicht von ca. 25 kg/m<sup>2</sup> zu erklären ist.



**Vorsatzkonstruktion in mm**

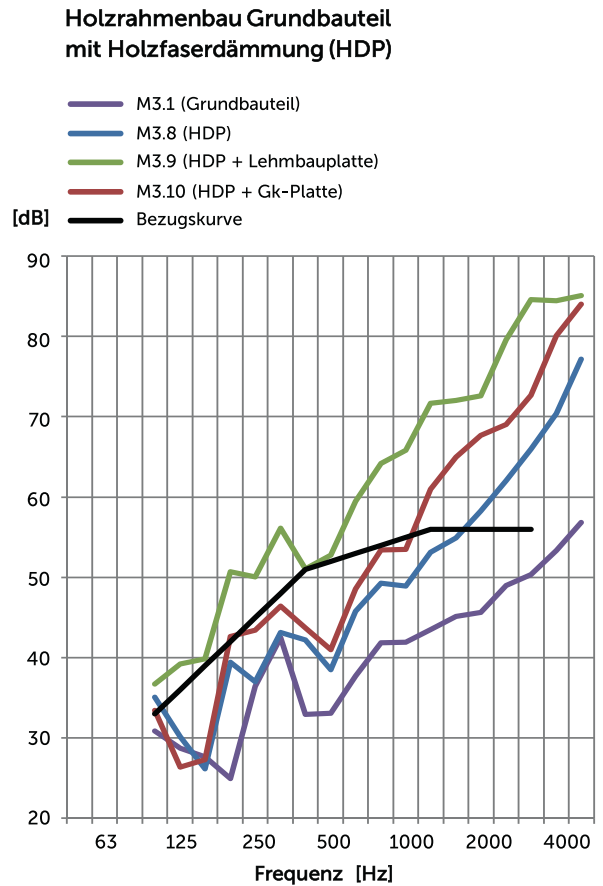
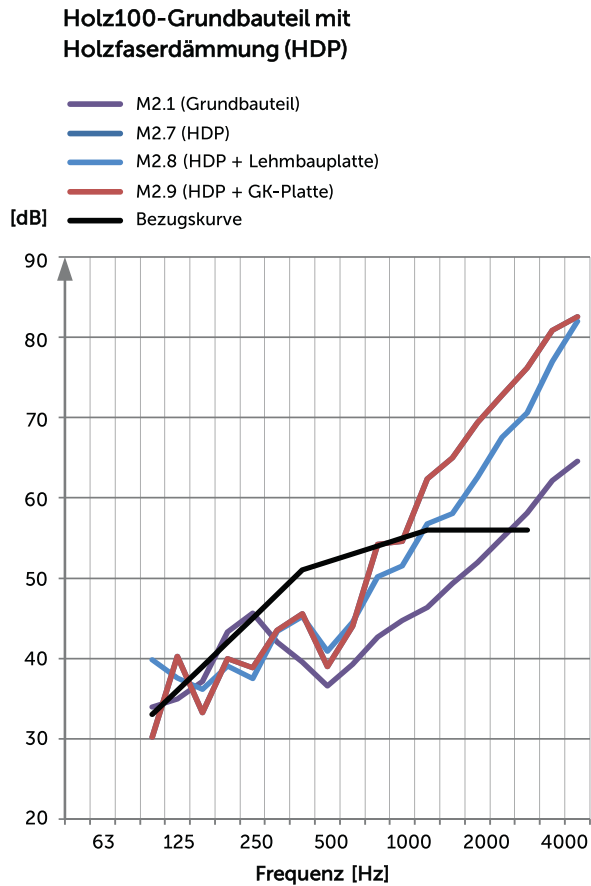
Messnummer	80 Innendämmung	80 Innendämmung	80 Innendämmung
$R_{w,res}   R_{w,prüf}$	25 Lehmplatte	12,5 GK-Platte	25 GK-Platte
(C ; C <sub>tr</sub> )	8 Lehmputz		
$\Delta R_{w,direct}$	m' = +50 kg/m <sup>2</sup>	m' = +15 kg/m <sup>2</sup>	m' = +25 kg/m <sup>2</sup>

Holz100-Grundbauteil	M2.1	M2.4	M2.5	M2.6
170 mm KVH	45,4   39,3 dB	66,2   60,2 dB	63,0   56,9 dB	64,6   58,6 dB
m' = 76,5 kg/m <sup>2</sup>	(-1 ; -3)	(-3 ; -9)	(-4 ; -11)	(-5 ; -12)
		20,9 dB	17,6 dB	19,3 dB
Holzrahmenbau	M3.1	M3.4	M3.6	M3.7
2,5 cm Holzschalung	41,4   35,0 dB	64,9   58,9 dB	59,6   53,5 dB	63,1   57,0 dB
Ständerwerk 6/12, STEICOflex 120 mm	(-2 ; -5)	(-4 ; -12)	(-3 ; -10)	(-3 ; -10)
2,5 cm Holzschalung, m' = 36,2 kg/m <sup>2</sup>		23,9 dB	18,5 dB	22,0 dB

**Ergebnisse – Massivbauteil mit 140 mm Innendämmung**

Die Schalldämmwerte der Kurven M2.8 und M2.9 weisen im Vergleich zu den übrigen Kurven einen deutlich höheren Messwert bei der Bandmittenfrequenz 100 Hz auf. Die Überprüfung der Messwerte ergab, dass die Schallpegel im Senderraum bei beiden Messungen höher lagen als üblich. Bei Verwendung der

leichten Innendämmung mit Lehm- bauplatte konnte die beste Schalldämmung erzielt werden. Der Unterschied zwischen den beiden Holzgrundbauteilen mit verputzter Lehm- bauplatte (M2.4 und M3.4) und doppelt beplankter GK- Platte (M2.6 und M3.7) betrug + 1,6 dB bzw. + 1,9 dB.



Messnummer	Vorsatzkonstruktion in mm		
	140 HWF	140 HWF	140 HWF
$R_{w,res}   R_{w,prüf}$		25 Lehmplatte	12,5 GK-Platte
(C ; C <sub>tr</sub> )		8 Lehmputz	
$\Delta R_{w,direct}$	m' = +22,4 kg/m <sup>2</sup>	m' = +67,4 kg/m <sup>2</sup>	m' = +32,4 kg/m <sup>2</sup>

Holz100-Grundbauteil	M2.1	M2.7	M2.8	M2.9
170 mm KVH	45,4   39,3 dB	49,9   43,8 dB	55,5   49,4 dB	49,9   43,8 dB
m' = 76,5 kg/m <sup>2</sup>	(-1 ; -3)	(-2 ; -5)	(-2 ; -6)	(-2 ; -6)
		4,5 dB	10,1 dB	4,5 dB
Holzrahmenbau	M3.1	M3.8	M3.9	M3.10
2,5 cm Holzschalung	41,4   35,0 dB	47,5   41,4 dB	59,4   53,3 dB	49,5   43,4 dB
Ständerwerk 6/12, STEICOflex 120 mm	(-2 ; -5)	(-3 ; -7)	(-2 ; -8)	(-3 ; -8)
2,5 cm Holzschalung, m' = 36,2 kg/m <sup>2</sup>		6,4 dB	18,3 dB	8,4 dB

Bei den Wandaufbauten mit Außendämmung ergab sich für das Holzrahmenbau-Grundbauteil mit Lehm- bauplatte die beste Schalldämmung (M3.9). Die Ver- besserung der Schalldämmung durch das Anbringen der GK-Platte war im Vergleich deutlich niedriger.

### Resümee und Ausblick

Bei dem vorliegenden Bericht handelt es sich um die Darstellung von ersten Zwischenergebnissen einer größeren Mess- und Versuchsreihe. Durch eine er- höhte Anzahl von Messergebnissen lassen sich die Unsicherheiten reduzieren und die Sicherheitsbei- werte exakter bestimmen.

Erwartungsgemäß konnte nachgewiesen werden, dass die spezifische Massenerhöhung durch die auf- gebrachten Lehm- bauplatten einen signifikanten Vor- teil gegenüber leichteren Systemen aufweist. Dies lässt sich durch das "Berger'sche Massengesetz" er- klären. Auch die bekannten schallschutzrelevanten Vorteile von Vorsatzschalen konnte bei den Mes- sungen bestätigt werden. Somit ist es von Vorteil die guten schallschutztechnischen Eigenschaften der Lehm- bauplatten mit einer energetischen Innendäm- mung zu kombinieren.

In diesem Bericht konnte nicht auf die schallschutz- relevanten Eigenschaften der Absorptiongrade (Rau- makustik) sowie der frequenzabhängigen Wirkung einer Oberflächenveredelung (z.B. Farben, Tapeten, Spachtelungen) eingegangen werden. Geplant ist die Bestimmung der absoluten Absorptiongrade und die Erfassung der direkten Einflüsse auf die Raumakustik von Lehm- bauplatten sowie die Entwicklung von Trittschallmessungen nach DIN EN 16205:2013 durch die Prüfungen in der Schallprüfkammer.

Des Weiteren werden die Problemstellungen im tief- frequenten Bereich durch den geeigneten Einsatz von Schallabsorbieren und Reflektoren bearbeitet und die Messreihen weitergeführt.

### Referenzen

- [1] Fischer/Jenisch/Stohrer et al.: Lehrbuch der Bauphysik, 6. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag (2008)
- [2] Nocke, Christian: Raumakustik im Alltag, Fraunhofer IRB Verlag
- [3] Fischer M.: Kalksandstein Schallschutz-Bewer- tung und Bemessung, Bau + Technik GmbH Verlag (Okt. 2010)

- [4] DIN EN ISO 10140-5:2014-09–Anforderungen an Prüf- stände und Prüfeinrichtungen
- [5] Lübbe E: Klausurtraining Bauphysik, 4.Auflage, Springer Vieweg Verlag (2009)
- [6] Schneider K. (Hrsg.)–Bautabellen für Ingenieure, 20. Auflage, Werner Verlag(2012)
- [7] DIN EN ISO 717-1:2013-06–Bewertung der Schalldäm- mung von Bauteilen
- [8] DIN EN ISO 10140-2:2010-12–Messung der Luftschall- dämmung
- [9] Weber, L., Buchele, A.: Akustische Sanierung von Wohn- gebäuden mit Vorsatzschalen und Vorsatzkonstrukti- onen – Berechnung, Planung, Optimierung. IBP-Bericht B-BA 2/2008, Stuttgart 2009 aus: Willems, W.A.: Lehr- buch der Bauphysik, 7. Auflage, Springer
- [10] M. Eng. Kretschmann T.: Master Thesis–Entwicklung eines modulierten und demontierbaren Prüfraums zur Bestimmung bauakustischer Kennwerte (2015)
- [11] M. Eng. Nick M.: Master Thesis–Bestimmung des Schalldämm- Maßes und der Spektrum- Anpassungs- werte einer Massivwand mit unterschiedlichen Lehm- bauplatten-Vorsatzschalen in dem demontierbaren Schallprüfraum (2016)

### Verzeichnis der verwendeten Internetquellen

- [12] <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/akusti- sche-phanomene>
- [13] [https://m.thomann.de/lu/onlineexpert\\_page\\_studio\\_ akustik\\_technische\\_hilfsmittel\\_zu\\_verbesserung\\_der\\_ raumakustik\\_02\\_absorber.html](https://m.thomann.de/lu/onlineexpert_page_studio_ akustik_technische_hilfsmittel_zu_verbesserung_der_ raumakustik_02_absorber.html)