

Messung des Einflusses von Dübeln zur Befestigung von Wärmedämmverbundsystemen auf das Luftschalldämmmaß von Außenwänden in Massivbauweise

Maximilian Neusser¹, Nicolaas Bernardus Roozen², Herbert Müllner³, Simon Hinterseer⁴

¹ ACOM Research, 2813 Thomasberg, E-Mail: maximilian.neusser@acom-research.eu

² KU Leuven, 3001 Leuven, E-Mail: bert.roozen@kuleuven.be

³ Technologisches Gewerbemuseum Wien, 1200 Wien, E-Mail: herbert.muellner@tgm.ac.at

⁴ Technische Universität Wien, 1040 Wien, E-Mail: simon.hinterseer@tuwien.ac.at

Einleitung

Aktuelle Veröffentlichungen haben gezeigt, dass die Befestigung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) auf dem tragenden Bauteil einen wesentlichen Einfluss auf das resultierende Luftschalldämmmaß des Gesamtbauteils haben. [1] Eine vollständige Erklärung und Quantifizierung dieser Phänomene konnten bis dato aber nicht geliefert werden. Die dargestellten Untersuchungen zeigen den Einfluss einer variierenden Anordnung der Dübel über das bauakustisch relevante Frequenzspektrum. Die Untersuchungen sind Teil des Projektes „Schall.Hoch.Bau“. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines frequenzabhängigen Modells zur Prognose des Luftschalldämmverbesserungsmaßes von WDVS und Vorhangfassaden. Neben den dafür notwendigen Datenbasis wurden Konstruktionsdetails von WDVS und Vorhangfassadensysteme hinsichtlich ihres Einflusses auf die Schalltransmission durch massive Außenbauteile untersucht.

Prüfkörpervarianten

Das gegenständliche Projekt umfasst eine Vielfalt an unterschiedlichen Materialien zur Bildung der Dämmstoffebene im Wärmedämmverbundsystem. Aufgrund des eingeschränkten Umfangs des Beitrags zeigen die dargestellten Ergebnisse nur die Ergebnisse mit unterschiedlichen Wandbildner und einem Wärmedämmverbundsystem aus EPS-F in einer Dämmstärke von 160 mm. Die Abhängigkeit der bauakustischen Performance des WDVS von den Eigenschaften des Wandbildners [3], bedingt die Durchführung der Untersuchungen auf unterschiedlichen Grundkonstruktionen.

Tabelle 1: Materialparameter der Wandbildner

	Dicke in m	Mittlere Dichte in kg/m ³	Flächengewicht in kg/m ²
Beton 1	0.15	2100	315
Beton 2	0.20	2150	430
Ziegel	0.32	722	231

Die Verläufe des Schalldämmmaßes in Abbildung 1 zeigen einen klassischen Verlauf monolithischer Bauteile und weisen im Terzband mit einer Mittenfrequenz von 63 Hz ihre erste Eigenmode auf. Die Koinzidenzgrenzfrequenz f_c liegt für alle untersuchten Wandbauteile im Terzband von 160 Hz. Oberhalb von 500 Hz zeigt die Hochlochziegelwand die für sie typischen Einbrüche im Schalldämmmaß, welche durch Steg- und Hohlraumresonanzen hervorgerufen werden.

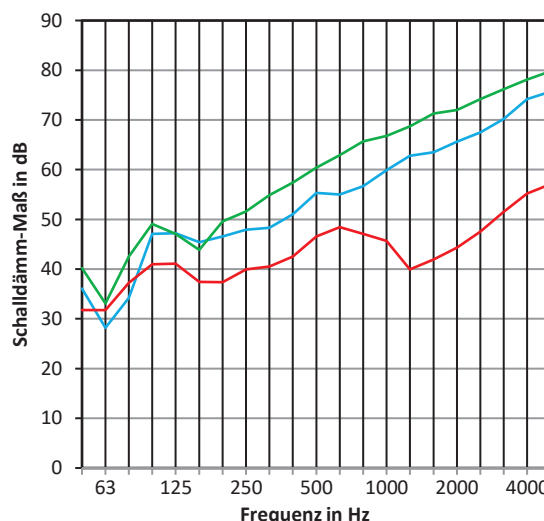


Abbildung 1: Darstellung der frequenzabhängigen Verläufe des Schalldämmmaßes der Grundbauteile (rot – Ziegel, blau – Beton 1, grün – Beton 2)

Die Österreichische Norm [2] zur Verarbeitung und Planung von WDVS kennt unterschiedliche Methoden zur Befestigung des Dämmstoffes auf den Wandbildner durch eine Kombination aus Dübel und zementgebunden Kleber. Abbildung 2 zeigt die möglichen Varianten und daraus resultierenden Anzahl an Dübel je m² Bauteil. Aufgrund der einfacheren Umsetzung und des daraus resultierenden geringen Zeitaufwandes wurden nur die Varianten a,c,d untersucht.

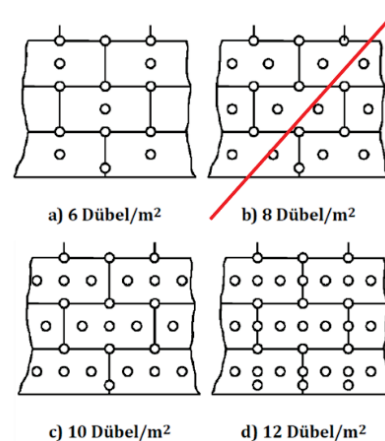


Abbildung 2: Mögliche Varianten der Anordnung von Dübeln zur Befestigung von WDVS auf den Wandbildner [2]

Messaufbau

Die Messungen des Schalldämmmaßes erfolgten nach ÖNORM EN ISO 10140-2:2016 in einem Prüfraum mit unterdrückter Flankenübertragung. Der Prüfaufbau besteht aus dem jeweiligen Wandbildner mit/ohne dem WDVS aus EPS-F, das mittels den in Abbildung 2 dargestellten Dübel-Anordnungen befestigt wurde. Zusätzlich wurde auf die Platten Kleber aufgebracht. Der Einfluss des Kleberflächenanteils wurde in [1] untersucht und stellt in der aktuellen Fassung der EN ISO 12354-1 einen Parameter in der Prognose des Luftschalldämmverbesserungsmaßes dar. Um diesen Einfluss konstant zu halten und reproduzierbare Ergebnisse zu erzeugen, wurde der Kleber mittels Schablone auf die Dämmstoffplatten aufgebracht. In Abbildung 3 ist die Methode dieser Prozedur zur Kleberaufbringung nach „Wulst-Punkt“ zu erkennen. Der Kleber wurde in einer Stärke von 12 mm aufgebracht.



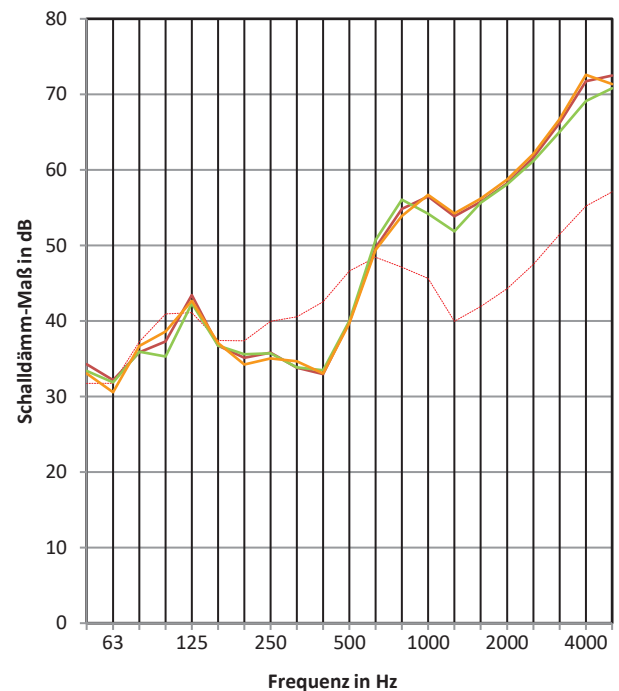
Abbildung 3: Kleberflächenanteil auf der EPS-F Platte

Die Ausführung des Putzes erfolgte in einer Stärke von ca. 4mm. Abbildung 4 zeigt den eingebauten Prüfkörper. Da das WDVS nicht bei jeder Änderung der Anordnung der Dübel neu aufgebaut werden konnte, musste eine Möglichkeit gefunden werden Dübel bei bereits ausgeführter Putzoberfläche zu setzen und entfernen zu können. Einmal wurde der Dübel dazu direkt auf den Putz gesetzt und einmal erfolgt die Montage durch eine mittels Lochsäge gebohrten Öffnung in dem Putz. Anschließend wurde die Öffnung mit dem Putzmaterial verspachtelt.



Abbildung 4: Eingebauter Prüfkörper mit bereits verspachtelten und noch unverspachtelten Öffnungen im Putz zur Montage der Dübel

Abbildung 5 zeigt den Einfluss der unterschiedlichen Methoden zur Setzung der Dübel auf das Luftschalldämmmaß der Außenwandkonstruktionen. Die Unterschiede sind in den resultierenden bewerteten Einzahlgrößen nicht erkennbar. Im frequenzabhängigen Verlauf des Schalldämmmaßes sind jedoch schmalbandige Unterschiede von bis zu 3dB festzustellen. Aufgrund der praxisnäheren Ausführung der Setzung des Dübels unterhalb der Putzoberfläche wurde für die weiteren Untersuchungen die Methode der Setzung des Dübels durch die geöffnete und anschließende verspachtelte Putzoberfläche gewählt.



- 32 cm HLZ, $R_w = 45$ dB
- 160 EPS-F, 40%, 6 Dübel, auf Putz, $R_w = 46$ dB
- 160 EPS-F, 40%, 6 Dübel versenkt, offen, $R_w = 46$ dB
- 160 EPS-F, 40%, 6 Dübel, geschl., trocken, $R_w = 46$ dB

Abbildung 5: Darstellung des Einflusses unterschiedlicher Varianten zur Dübel Befestigung auf das Luftschalldämmmaß des Außenwandbauteils mit WDVS

Neben den Luftschalldämmmaßen der Außenwände und den daraus berechneten Luftschalldämmverbesserungsmaßen wurde die Oberflächenschnelle mittels eines Laserdoppler - Vibrometersystems (LDV) gemessen. Die Messung erfolgte in einem Raster von 8cm x 8cm. Die Messergebnisse wurden verwendet um mittels DCM [4] das Abstrahlverhalten und den Abstrahlgrad des Bauteils zu bestimmen. Abbildung 6 zeigt die Messanordnung des Lasermesskopfes und den als Referenz dienenden Beschleunigungsaufnehmer auf der Putzoberfläche. Der vorhandene Messraster und die zu erwartenden Biegewellenlängen erlauben durch die DCM valide Aussagen bis ca. 1250 Hz. Oberhalb dieses Frequenzbereichs werden die auftretenden Biegewellen der Putzoberfläche nicht ausreichend durch Messpunkte aufgelöst.

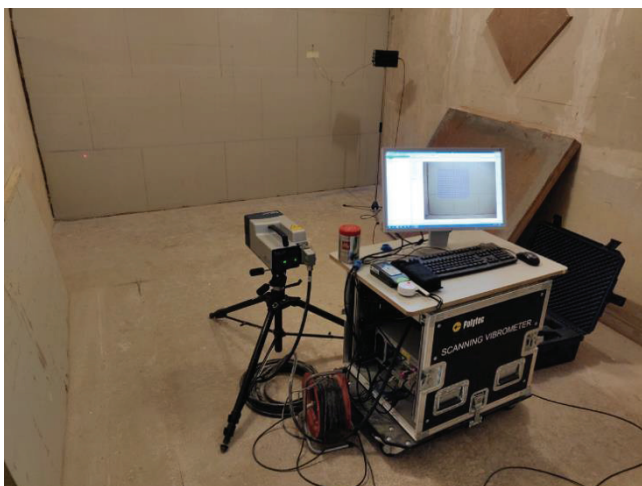


Abbildung 6: Prüfanordnung zur Messung der Oberflächenschnelle als Grundlage zur Ermittlung des Abstrahlgrades mittels optischer Schwingungsmessung

Ergebnisse

Abbildung 7 zeigt die nach ÖNORM EN ISO 10140-2:2016 bestimmten Luftschalldämmverbesserungsmaße des Wärmedämmverbundsystems (160mm EPS-F, 4mm Zementputz) auf einer Betonwand mit einer Wanddicke von 200mm mit unterschiedlicher Anordnung der Dübel. Für alle Varianten ist, das über das bauakustisch relevante Frequenzspektrum charakteristische Verhalten von WDVS Systemen zu erkennen. Da die Parameter, welche die Lage der Masse-Feder-Masse-Resonanz bestimmen und für alle Varianten unverändert bleiben, gilt für alle Varianten eine Resonanzfrequenz von $f_R = 417$ Hz.

Der Verlauf des Luftschalldämmverbesserungsmaßes lässt sich in drei charakteristische Bereiche in Abhängigkeit der Lage der Masse-Feder-Masse-Resonanz im Frequenzspektrum unterteilen. Im Bereich unterhalb der Masse-Feder-Masse -Resonanz ist kaum eine Beeinflussung des Schalldämmmaßes des Grundbauteils erkennbar. Charakteristisch und systematisch über die durchgeführten Untersuchungen sind geringe Verbesserungen, das bedeutet positive Werte des Luftschalldämmverbesserungsmaßes in Bereichen, in denen nicht resonante Schallübertragung stattfindet. Hingegen im Bereich mit resonanter Übertragung ist eine Verschlechterung erkennbar. Die Gründe hierfür konnten nicht vollends geklärt werden und werden im Zuge weiterführender Untersuchungen geklärt.

Im Frequenzbereich $f \approx f_R$ ist ein deutlicher Einfluss der unterschiedlichen Anordnungen der Dübel zu erkennen. Der Unterschied in der Luftschalldämmmaßverbesserung beträgt bis zu 3 dB. Es ist zu erkennen, dass eine höhere Anzahl der Dübel zu einer Verbesserung des Luftschalldämmverbesserungsmaßes führt. Abbildung 8 zeigt den mittels DCM und LDV bestimmten Schallabstrahlgrad der im Frequenzbereich der Masse-Feder-Masse-Resonanz keine Beeinflussung durch unterschiedliche Anordnungen der Dübel erkennen lässt. Trotz der Induktion von Singularitäten durch Dübel, die eine Auslöschung im abgestrahlten Nahfeld negativ beeinflussen, ist dieses Phänomen nicht in den

erzielten Ergebnissen erkennbar. Begründet werden kann dies, dass unterhalb und im Bereich von f_R die Biegeformen an der Putzoberfläche durch das Verhalten des Grundbauteils bestimmt wird. In diesem Fall liegt f_R oberhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz der Betonwand und der Abstrahlgrad ist dementsprechend für alle Varianten ca. 1dB. Der in Abbildung 7 erkennbare Unterschied im Bereich von f_R kann somit nicht auf einen sich mit der Anordnung der Dübel veränderten Abstrahlgrad zurückgeführt werden.

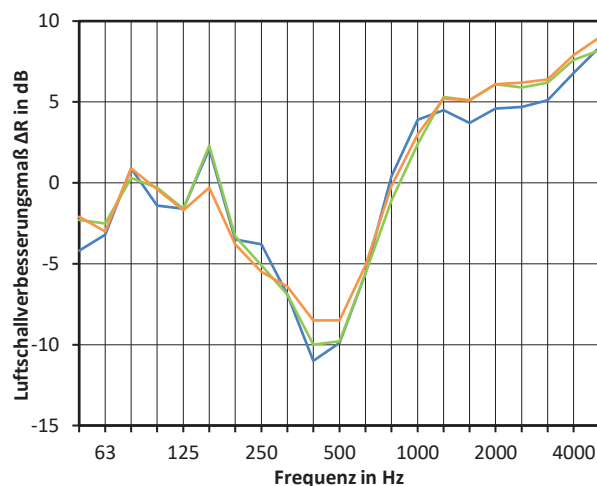


Abbildung 7: Darstellung der frequenzabhängigen Luftschalldämmverbesserungsmaße einer 200mm dicken Betonwand mit WDVS (160mm EPS-F, 4mm Putz) und unterschiedlichen Dübelanordnungen (blau – 0/m², grün – 6/m², orange – 12/m²)

Abbildung 10 zeigt die mittels des LDV-Systems gemessene mittleren Oberflächenschellpegel. Hier ist bei $f_R = 417$ Hz eine deutliche Beeinflussung durch die Anordnung der Dübel erkennbar. Zurückzuführen ist, dass dieses Phänomen auf die Beobachtung, dass im Einflussbereich des Dübels durch dessen Steifigkeit die hohen Schwingungsamplituden der Putzoberfläche unterdrückt werden.

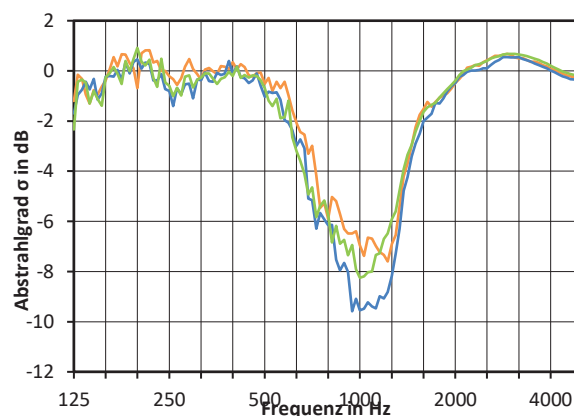


Abbildung 8: Darstellung des frequenzabhängigen Abstrahlgrades einer 200mm dicken Betonwand mit WDVS (160mm EPS-F, 4mm Putz) und unterschiedlichen Anordnungen der Dübel (blau – 0/m², grün – 6/m², orange – 12/m²)

Eine höhere Anzahl der Dübel pro m² bedeutet somit eine Reduktion der über die Bauteiloberfläche gemittelte Schnelle.

Erkennbar ist diese Reduktion der Oberflächenschnelle im Bereich der Dübel in Abbildung 9. Bei gleichem Abstrahlgrad und höherer Oberflächenschnelle strahlt die Variante ohne Dübel mehr Schall in den Empfangsraum ab. Unter gleicher einfallender Schallleistung bedeutet das ein reduziertes Schalldämmmaß.

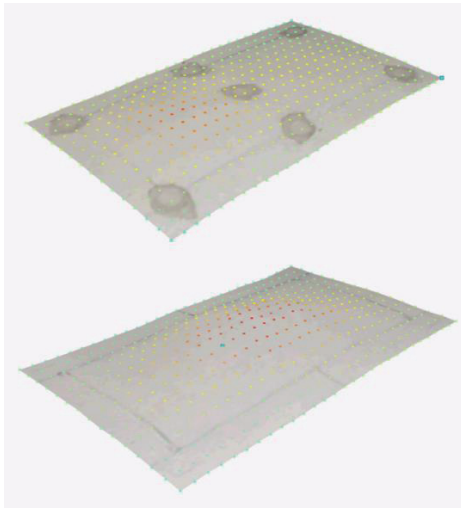


Abbildung 9: Darstellung der Oberflächenschnelle der einzelnen Scanpunkte über einen Wandausschnitt in Dämmplattengröße (oben- 6 Dübel/m², unten 0 Dübel/m²)

Ein weiterer markanter Punkt in dem Verlauf des Luftschallverbesserungsmaßes des WDVS in Abbildung 7 stellt die Änderung der Steigung der Kurven bei etwa 1000 Hz dar. In [5] wurde gezeigt, dass dieser Knick und das Niveau des Plateaus im Kurvenverlauf durch die kritische Frequenz der Putzschicht und den Grad des mechanischen Kontakts zwischen der Wand und der Auskleidung bestimmt wird. Die Putzschicht schwingt oberhalb von f_R unabhängig von dem Grundbauteil. Die sich ausbildenden Biegewellen, strahlen unterhalb der kritischen Frequenz durch die Nahfeldauslöschung des Putzes, Schall schlecht ab. Bei Erreichen der kritischen Frequenz des Putzes, stellt das WDVS nur eine zusätzliche Masse auf dem Grundbauteil dar und es tritt keine weiter über den Frequenzverlauf zunehmende Verbesserung ein. Nach [5] lässt sich das Niveau des Plateaus in wie folgt berechnen:

$$\Delta R = -10 \cdot \log \left[\left(\frac{f_R}{f} \right)^4 + n \cdot \frac{\tilde{u}_{2,B}^2}{\langle \tilde{u}_1^2 \rangle} \cdot \sigma_B \right] \quad (1)$$

Dabei ist $\langle \tilde{u}_1^2 \rangle$ das quadratische Mittel der Oberflächenschnelle des Grundbauteils $u_{2,B}$ die Schnelle an den Bauteilpunkten mit mechanischer Verbindung. σ_B ist der Abstrahlgrad einer Platte, die an n Punkten zu einer Biegewellenabstrahlung angeregt wird. Erkennbar ist dieses Phänomen auch in Abbildung 8. Der Abstrahlgrad fällt nach Erreichen von f_R stark ab und nimmt mit Zunahme der Frequenz bis zur kritischen Frequenz der Putzschicht zu und pendelt sich bei 1dB ein. Abweichend zu Formel 1 ist in den Messungen, siehe Abbildung 7, mit Zunahme der Anzahl der mechanischen Verbindungen eine Verbesserung des Luftschallverbesserungsmaßes zu erkennen. Eine Erklärung hierfür kann nach derzeitigem Wissensstand nicht gegeben werden.

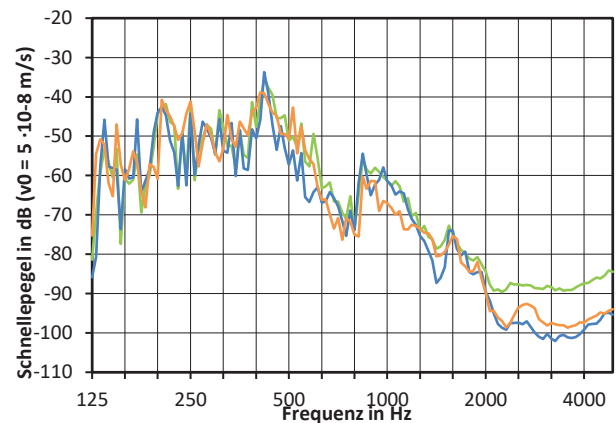


Abbildung 10: Darstellung der über die Bauteiloberfläche gemittelten Schnellepegel einer 200mm dicken Betonwand mit WDVS (160mm EPS-F, 4mm Putz) und unterschiedlichen Anordnungen der Dübel (blau – 0/m², grün – 6/m², orange – 12/m²)

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass die Anzahl der Dübel zur Befestigung eines WDVS auf einem massiven Grundbauteil einen signifikanten Einfluss auf den frequenzabhängigen Verlauf des Luftschalldämmverbesserungsmaßes hat. In dem untersuchten Variantenspektrum konnten Unterschiede im Schalldämmmaß von bis zu 3 dB gemessen werden. Im Bereich der Masse-Feder-Resonanz ist aufgrund der Verbindungssteifigkeit der Dübel und der gegenphasigen Schwingung von Putz und Grundbauteil mit einer Verbesserung des Schalldämmmaßes zu rechnen. Oberhalb von f_R konnte ein Einfluss der Anzahl der Dübel aufgezeigt werden. Dieser Einfluss widerspricht dem derzeitigen Wissensstand und benötigt zur Quantifizierung weitergehende Untersuchungen.

Danksagung

Das Projekt „Schall.Hoch.Bau“ wird durch den FFG gefördert. Der Zweit-Author (N.B. Roozen) wurde durch das H2020-MSCA-RISE-2015 project No. 690970 Papabuild, während seines Aufenthalts am TGM in Wien von September 2018 bis Oktober 2018 unterstützt.

Literatur

- [1] L. Weber, B. Kaltbeitzel: Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken durch optimierte Deckenauflagen, IBP-Bericht B-BA 3/2016, Stuttgart, 2017
- [2] ÖNORM B 6400-1:2017 Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) Teil 1: Planung und Verarbeitung
- [3] L. Weber, Y. Zhang, D. Brandstetter: Influence of Wall Construction on the Acoustical Behaviour of ETHICS, 2002
- [4] N. Hashimoto: Measurement of sound radiation efficiency by the discrete calculation method”, Appl. Acoust., 62, 429–446, (2001)
- [5] T. Vigran: Building Acoustics, Taylor & Francis, 2008