

Marktgerechte Akustikputzsysteme mit hoher thermischer Effizienz

Kurzbericht

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert.
(Aktenzeichen: SF - 10.08.18.7-11.15 /

II 3-F20-10-1-007)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Der Bericht umfasst

8 Seiten Text

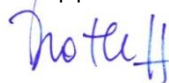
1 Tabellen

9 Abbildungen

Roman Wack

Stuttgart, 29. Juli 2013

Gruppenleiter



Dipl.-Ing (FH) M.Sc.

H. Drotleff

Bearbeiter



Dipl.-Ing (FH)

R. Wack

1 Ziel des Vorhabens

Deckenkonstruktionen im Büro- und Verwaltungsbau werden zunehmend multifunktional ausgestattet. In diesem Vorhaben wurden Typen mit akustischer und wärmetechnischer Funktion untersucht, deren Ansichtsfläche einheitlich mit fugenlosen Putzen gestaltet werden. Betrachtet wurden bauteilaktivierte Decken mit Schallabsorberstreifen [1], wie in Bild 1 skizziert, Akustik-Kühldecken und Akustikdecken ohne Kühlfunktion.

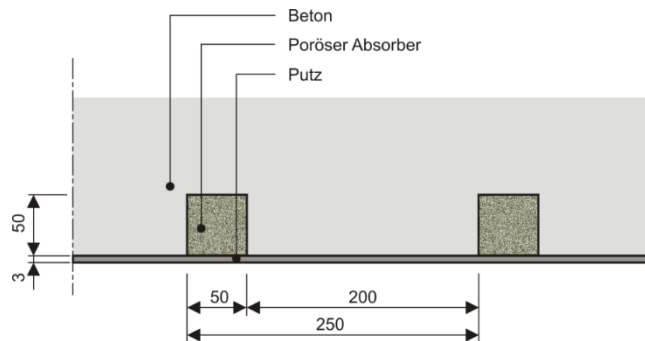
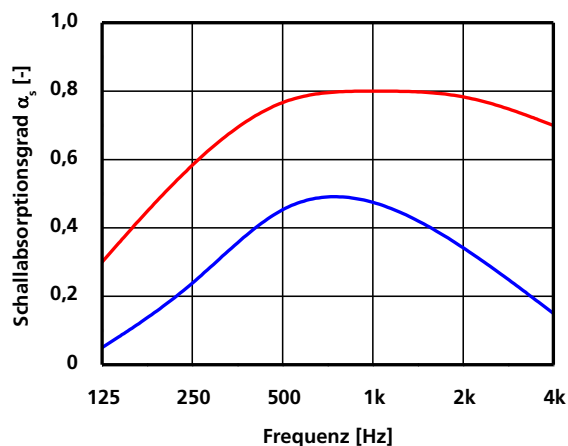


Bild 1:
Aufbau der bauteilaktivierten Decke mit Absorberstreifen.

Für diese Systemtypen sollten Putzsysteme entwickelt werden, die so eingestellt werden können, dass einerseits die in Bild 2 gezeigten Schallabsorptionsspektren erreicht werden. Andererseits sollte sich der thermische Wirkungsgrad um nicht mehr als 10 Prozent im Vergleich zur unverputzten Konstruktion verschlechtern.



— Systemtyp 1: Absorberstreifen in bauteilaktivierter Decke
— Systemtyp 2 & 3: Unterdecken

Bild 2:
Angestrebte Schallabsorptionsgrade bei diffusem Schalleinfall für die drei Systemtypen.

2 Durchführung

Kern des akustischen Teils war die theoretische Modellierung der Schallausbreitung in der Putzschicht und daran anschließende rechnerische Parameterstudien zum Absorptionsvermögen der verputzten Aufbauten. Zur Modellierung der Putzschichten selbst wurde zunächst ein klassisches Absorbermodell verwendet. Die erforderlichen Eingangsdaten wurden direkt gemessen oder indirekt durch Anpassung an gemessene Absorptionsgrade bestimmt.

Daneben kam eine neue Methode zur Analyse und parametrischen Synthese der Porenmorphologie zum Einsatz. Hierbei wurden Mikrotomografien von Putzproben segmentiert, sodass der Materialanteil in einem Voxelraster vorlag. Eine integralgeometrische Analyse lieferte anschließend charakteristische Abmessungen, wie z. B. Korngrößen-Verteilungen von rekonstruierten Granulaten. Mit diesen Parametern wurde ein Geometriemodell des Material generiert, das einfach variiert werden kann. Im resultierenden Porenvolumen wurde abschließend Strömungs- und Diffusionsfelder simuliert, aus denen die Eingangsdaten für ein Absorbermodell gewonnen wurden.

Mit bekannter Schallausbreitung im Putz wurde das Absorptionsvermögen der Unterdecken mit gängigen Rechenmodellen für Schichtungen berechnet. Für die Streifendecke wurde ein vorhandenes Rechenmodell um zusätzliche vollflächige Putzschichten erweitert und neu implementiert. Eine rechnerische Parametervariation lieferte anschließend optimale Bereiche für die akustisch entscheidenden Materialkenngrößen abgestimmt auf die jeweiligen Systemtypen.

Messtechnisch wurde das Schallabsorptionsvermögen der Putzschichten und Aufbauten bei senkrechtem Schalleinfall im Kundt'schen Rohr untersucht. Vom Projektpartner Sto AG wurden Proben aus drei unterschiedliche Putzsystemen zur Verfügung gestellt. Ein erheblicher Teil der Messungen diente der Auswahl einer für die Untersuchung geeigneten Trägerplatte. Letztlich wurden die Putze auf eine Mineralfaserplatte appliziert. Zum Messen wurden sie von dieser getrennt und vor unterschiedlich dicken rückseitigen Luftschichten untersucht.

Der wärmetechnische Teil stützte sich auf Berechnungen mittels Finite Elemente-Methode. Dabei wurden bauteilbezogen Wirkungsgrade berechnet, indem mittlere Oberflächentemperaturen der verputzten und unverputzten Bauteile ins Verhältnis gesetzt wurden.

3 Ergebnisse

3.1 Schallausbreitung in der Putzschicht

Von drei unterschiedlichen Putzsystemen wurden Schallabsorptionsgrade bei senkrechtem Schalleinfall gemessen. Ergebnisse liegen jeweils für die separaten Putzschichten mit vier unterschiedlich dicken rückseitigen Luftschichten vor. Ausgehend von gemessenen Strömungswiderständen wurden die restlichen

Eingangsdaten für das Modell des homogenen Strömungsabsorbers nach [2] indirekt so bestimmt, dass sich möglichst gute Übereinstimmung mit den gemessenen Absorptionsgraden ergibt. Bild 3 zeigt die Übereinstimmung beispielhaft für die vier Wandabstände. Sie war bei allen Putzsystemen vergleichbar gut, sodass das Absorbermodell als grundsätzlich geeignet angesehen werden kann.

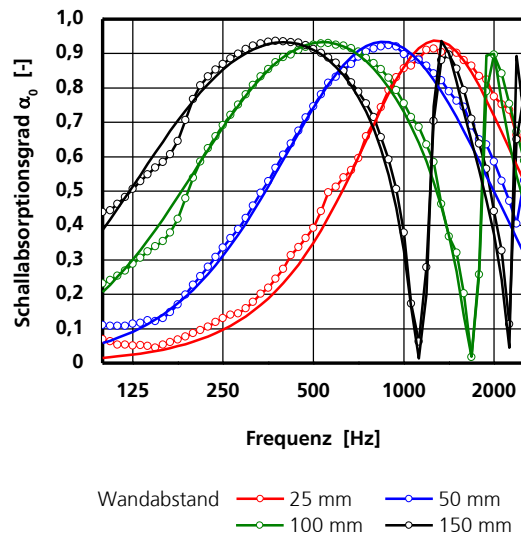


Bild 3: Vergleich der gemessenen (Punkte) und berechneten (durchgezogene Linien) Schallabsorptionsgrade einer Probe des Putzes FH vor unterschiedlichen Luftschichten.

Daneben wurde eine weitere Beschreibung der Schallausbreitung im Putz über eine Synthese der Mikrostruktur versucht. Hierzu wurden von allen Putzsystemen Mikrotomografien erstellt. Allerdings war es nur bei dem im Folgenden dargestellten Putz FH möglich, die Graustufenbilder sinnvoll zu segmentieren, d.h. mit Methoden der Bildbearbeitung eine Trennung von Porenvolumen und Material zu erreichen. Der Aufbau der anderen Putze mit mehreren Zuschlagsarten, die Röntgenstrahlen sehr unterschiedlich absorbieren, führte zu stark veräuschten Tomografien.

Für den Putz FH wurde die Skelettgeometrie analysiert und Partikelgrößen und ihre Verteilungen rekonstruiert. In dem Programm GeoDict wurden diese Partikel anschließend synthetisiert und auf die gleiche Massivität wie die Tomografie zusammengefügt. Bild 4 zeigt die Morphologie aus einer Tomographie und die Synthese in GeoDict. Für beide Geometrien wurden die akustischen Verhältnisse simuliert. Das Resultat sind Eingangsdaten für das Johnson-Allard-Modell (Tabelle 1).

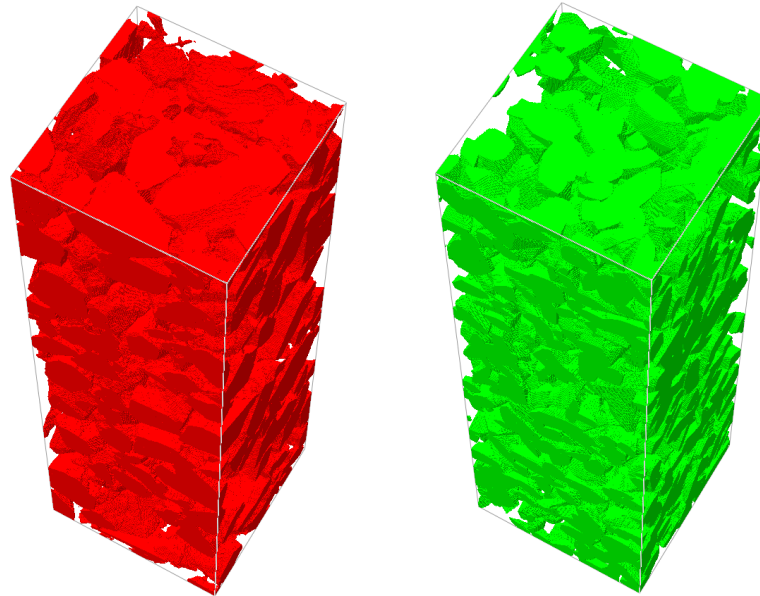


Bild 4:
Vergleich der tomografierten (links) und synthetisierten (rechts) Skelettmorphologie am Beispiel des Putzes FH.

Probe		Tomografie	Synthese
Volumenporosität	[—]	0,52	0,53
Tortuosität	[—]	1,9	1,6
Strömungswiderstand	[kPa s/m ²]	87,1	86,0
Viskose charakteristische Länge	[m]	$5,69 \cdot 10^{-5}$	$6,50 \cdot 10^{-5}$
Thermische charakteristische Länge	[m]	$9,42 \cdot 10^{-5}$	$8,22 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 1:
Aus der Porengeometrie berechnete Eingangsdaten für das Johnson-Allard-Modell des Putzes FH.

Die Werte der Synthese stimmen gut mit denen der Tomografie überein. Die Unterschiede, die sich daraus im Absorptionsgrad ergeben, liegen im Bereich der Messgenauigkeit der Kundt'schen Rohr-Messung, wie Bild 5 entnommen werden kann. Bild 5 zeigt allerdings auch, dass die Übereinstimmung mit den gemessenen Absorptionsspektren unbefriedigend ist. Die Methode der Synthese ist demnach grundsätzlich brauchbar. Mit den zur Verfügung stehenden Tomografien war eine erfolgreiche Modellierung jedoch möglich.

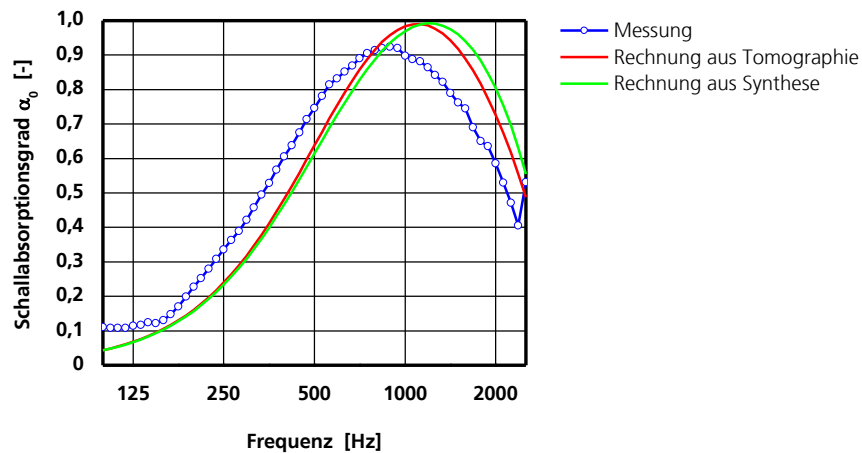


Bild 5:
Vergleich der Schallabsorptionsgrade bei senkrechtem Schalleinfall von Putz FH bei 50 mm Luftabstand.

3.2 Akustische Untersuchungen an Systemaufbauten

Mit kleinformatigen Proben wurden die Absorptionsgrade einiger Aufbauten für die Systemtypen gemessen. Als Beispiel ist in Bild 6 und 7 ein Aufbau mit Absorberstreifen gezeigt.



Bild 6:
Probe aus Holzwerkstoff (Multiplex) und Absorberstreifen aus offenzelligem Glasschaum mit lose aufgelegter Glasschaum-Platte und Putzschicht.

Mit der Modellierung des Putzes als homogener Strömungsabsorber ergab sich auch bei den Systemaufbauten eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung (Bild 7).

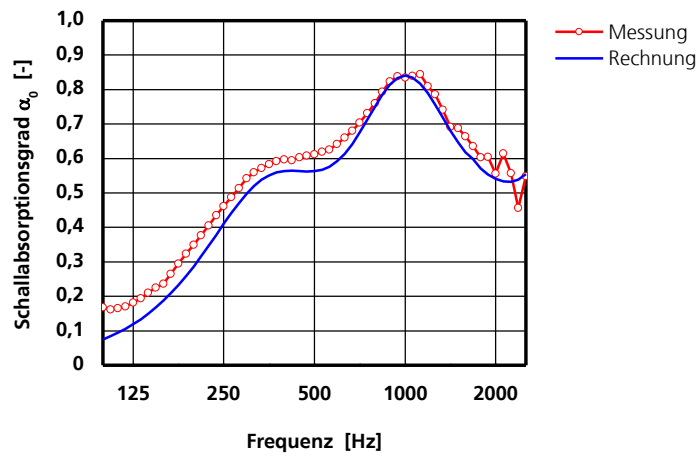


Bild 7: Gemessene und berechnete Schallabsorptionsgrade bei senkrechtem Schalleinfall des Putzes A3.4 BH auf einer vollflächigen Glasschaumplatte auf einem Streifenbau gemäß Bild 6 (Glasschaumstreifen Breite 67 mm, Höhe 50 mm, Periode 200 mm).

Damit war es möglich, rechnerische Parametervariation durchzuführen. Aus diesen ergaben sich für alle Aufbauten folgende wesentlichen Aussagen:

- Eine offene Volumenporosität über 40 Prozent hat keine nennenswerten Vorteile.
- Entscheidend ist der Gesamtströmungswiderstand der Putzschicht. Ein schichtweiser Aufbau mit unterschiedlichen Strömungswiderständen hat keinen Vorteil. Daraus ergibt sich ein großer Spielraum, die Putzlagen nach bautechnischen Gesichtspunkten aufzubauen.

Für die Systemtypen ergab sich:

- Bauteilaktivierte Streifendecke: Optimal ist ein Putz mit vergleichbaren akustische Eigenschaften wie das Absorberstreifen-Material selbst. Ein akustisch transparenter Putz ist nicht erforderlich.
- Abgehängte Unterdecke: Bei tieferen Frequenzen ist ein deutliches Verbesserungspotential durch den Putz gegeben.

3.3 Thermische Untersuchungen an Systemaufbauten

Die Finite Elemente-Berechnungen zur thermisch aktivierten Streifendecke zeigen die Auswirkungen der Schichtdicke und der Wärmeleitfähigkeit der Putzschicht auf die Kühlleistung. Das Beispiel in Bild 8 verdeutlicht die ausgleichende Wirkung dickerer Putzschichten auf die Temperaturspitzen im Bereich der Absorberstreifen. Die Verschlechterung durch den separaten Einfluss dünnerer Putzschichten liegt bei üblichen Schichtdicken unter einem Prozent. Die Variation der Wärmeleitfähigkeit in Bild 9 verdeutlicht, dass der Wirkungsgrad

bei hochwärmedämmenden Putzschichten sehr stark abnimmt.

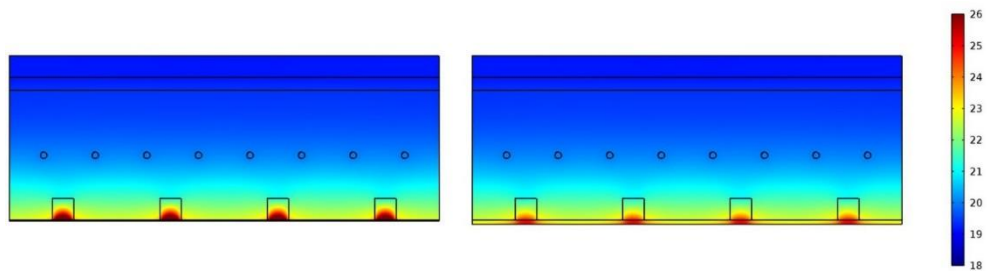


Bild 8:
Verteilungen der simulierten Bauteiltemperatur in Grad Celsius nach 156 Stunden (12 Uhr mittags). Putz FH mit halberter Wärmeleitfähigkeit und 2,5 mm Schichtdicke (links) sowie mit verdoppelter Wärmeleitfähigkeit und 10 mm Schichtdicke (rechts).

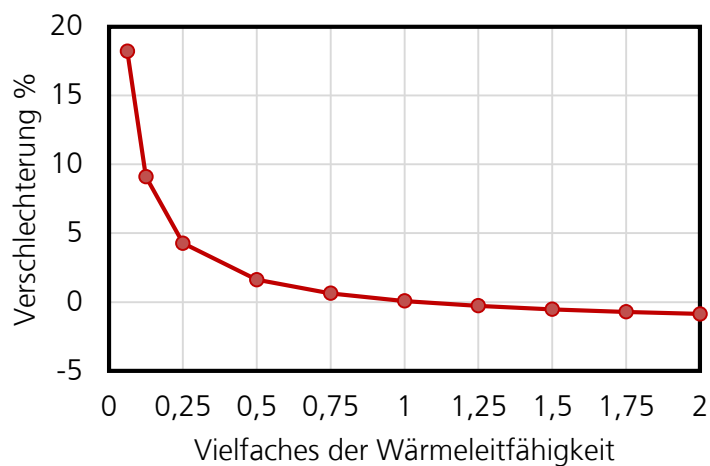


Bild 9:
Prozentuale Verschlechterung zur unverputzten Streifendecke mit 5 mm dicken Putzen unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit als Vielfache des Wertes von Putz FH ($0,49 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$).

3.4 Empfehlungen zur Wahl des Putzsystems

Bei allen Putzen sollte eine Porosität von ca. 40 Prozent eingestellt werden. Höhere Werte haben akustisch keinen Vorteil. Der längenbezogene Strömungswiderstand kann in erster Näherung über die Korngrößen der Zuschläge abgeschätzt werden, indem von einer Kugelschüttung ausgegangen wird. Für die einzelnen Systemtypen wurden folgende Empfehlungen erarbeitet:

Absorberstreifendecke:

Es wird empfohlen, die Putzdicke auf das bautechnische Minimum zu begrenzen und die Korngrößen nur soweit zu erhöhen, wie es Verarbeitung, Festigkeiten u.ä. erlauben. Wenn ausschließlich massive Zuschläge verwendet werden können, sollte die thermische Leistungsfähigkeit etwa im Bereich des untersuchten Putzes FH von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ sein.

Abgehängte Unterdecke:

Die optimalen Strömungswiderstände für diese Systemtypen liegen deutlich höher als bei Systemtyp 1. Sie können daher mit massiven Zuschlägen allein erzielt werden, deren Durchmesser deutlich unter einem Millimeter liegen. Für den thermisch aktivierten Systemtyp 2 wird daher die ausschließliche Verwendung massiver Zuschläge empfohlen. Für Systemtyp 3 können auch porösierte Zuschläge zum Einsatz kommen. Ein akustischer Vorteil kann aus dieser Untersuchung jedoch nicht abgeleitet werden.

- [1] Fraunhofer-Institut für Bauphysik: Abschlussbericht: Integrale Akustiksysteme für thermisch aktive Betonbauteile - Akustik in Betondecken. Durchgeführt im Auftrag des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung im Rahmen der Forschungsinitiative „ZukunftBau“, Z 6 – 10.08.18.7- 07.35/ II 2 – F20-07-41. Juni 2009.
- [2] Mechel, F. P.: Schallabsorber, Bd.2, Innere Schallfelder, Strukturen. Stuttgart, Hirzel, 1995
- [3] Johnson, D. L.; Koplik, J.; Dashen, R.: Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media. J. Fluid Mechanics, 176 (1987), 379-402