Fraunhofer Institut Bauphysik

IBP-Mitteilung 405

29 (2002) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

R. Wack, H. Drotleff, H. Schmid

Absorbermodell für einen gesinterten Glasschaum

Der offenzellige Glasschaum REAPOR® ist ein faserfreies, poröses Material in der am Fraunhofer-IBP entwickelten ALFA-Familie (Alternative Faserfreie Absorber) [1, 2]. Zu seiner Herstellung wird ein thermisch geblähtes Glasgranulat verwendet, das üblicherweise als Zweikorngemisch angesetzt wird. Nach der Formgebung in Negativformen entsteht durch einen Sinterungsprozess ein druckfester Glasschaum. Die Materialeigenschaften können dabei gesteuert werden durch die Einstellung des Grob- und Feinkornanteils des Granulats sowie der Dichte des gesinterten Produkts. Aus der mikroskopischen Aufnahme in Bild 1 wird die Porenstruktur ersichtlich. Aufgrund der anorganischen Zusammensetzung zeichnet sich das Material durch hohe chemische Resistenz und Temperaturbeständigkeit aus. Es ist nicht brennbar und kreislaufgerecht. Darüber hinaus ermöglicht die Formstabilität wirtschaftlich vorteilhafte selbsttragende Konstruktionen. Das Absorptionsspektrum von REAPOR® weist im Vergleich zu anderen passiven Absorbermaterialien wie etwa künstlichen Mineralfasern einige Besonderheiten auf, sodass gängige Berechnungsmodelle für poröse Absorber [3, 4] ohne Anpassung keine zufriedenstellenden Resultate liefern. So wird das erste Absorptionsmaximum bereits bei tieferen Frequenzen erreicht. Bei höheren Frequenzen ist der Absorptionsgrad einer homogenen REAPOR®-Schicht allerdings nach einer Delle bei mittleren Frequenzen immer geringer als der eines faserförmigen Absorbers. Für die Anwendung des Materials als Schallabsorber erscheint es daher zweckmäßig, zu Schichtungen unterschiedlicher REAPOR®-Platten, zu perforierten Abdeckungen oder Streifenabsorbern nach [5] überzugehen. Für die effiziente Entwicklung solcher Schallabsorber-Elemente wäre die Möglichkeit einer zuverlässigen Vorhersage des Absorptionsgrades von Vorteil. Hierzu sollen vorhandene theoretische Ansätze zur rechnerischen Modellierung der Absorptionseigenschaften erweitert und angepasst werden [6].

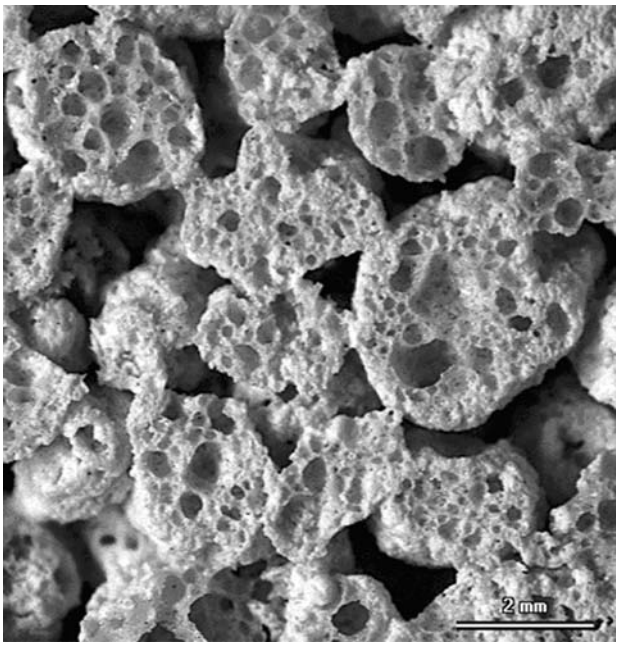

Bild 1: Mikroskopische Aufnahme des Glasschaum-Gefüges.

Messtechnische Untersuchungen

Der Herstellungsprozess gestattet eine gezielte Beeinflussung der Porenstruktur und damit der schallabsorbierenden Eigenschaften des Materials. Es werden Proben untersucht, die den herstellbaren Bereich von Körnungen und Plattendichten aufweisen. Bei den Eingangsparametern der Absorbermodelle wurden bislang die offene Volumenporosität und der Strömungswiderstand bei Gleichströmung durch Messung bestimmt. Die Spektren der schalltechnischen Kennwerte bei senkrechtem Schalleinfall werden im Kundt'schen Rohr bestimmt. Neben dem Absorptionsgrad und der Wandimpedanz werden auch die charakteristische Impedanz und Ausbreitungskonstante gemessen. Dabei ist eine hohe Korrelation zwischen den gemessenen Spektren und dem Fein- bzw. Grobkorngehalt sowie die Plattendichte feststellbar. Dagegen ist die Streuung bei Proben gleicher Körnung und Dichte vergleichsweise gering. Die schalltechnischen Kennwerte sind somit durch Herstellungsparameter festgelegt, was eine genauere rechnerische Modellierung der Schallabsorptionseigenschaften von REAPOR® sinnvoll macht.

Anpassung der Berechnungsmodelle

Die Auswahl der theoretischen Modelle erfolgt im Hinblick auf eine begrenzte Anzahl messbarer Eingangsparameter. Untersucht werden zwei Berechnungsmodelle mit starrem Skelett: das homogene Strömungsabsorber-Modell [3] und das Biot-Allard-Modell [7]. Beide Modelle berücksichtigen le-

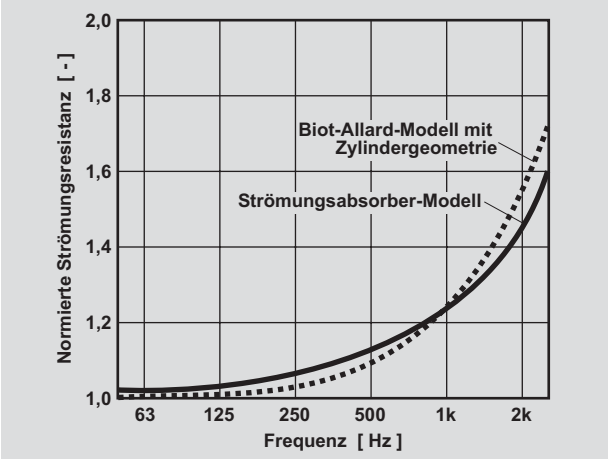

Bild 2: Frequenzabhängigkeit der Strömungsresistanz, normiert auf die Gleichströmungsresistanz.

diglich die Dämpfungsmechanismen des Schalls bei der Ausbreitung in den Poren des Materials. Eine Modellierung mit dem homogenen Strömungsabsorber-Modell liefert bei REAPOR® erst durch die Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit der Strömungsresistanz Ξ befriedigende Ergebnisse. Hierbei wird ein linearer Anstieg angesetzt. Damit ergibt sich die effektive Dichte, die die Verluste durch viskose Reibung des Fluids in den Poren beschreibt, zu:

$$\rho_{eff} = \rho_0 \left(\frac{\chi}{\sigma_v} - j \frac{\Xi(f)}{\omega \rho_0} \right) \qquad (1)$$

Darin sind $\rho 0$ die statische Dichte der Luft, χ der Strukturfaktor, σ_v die offene Volumenporosität und ω die Kreisfrequenz. Beim Biot-Allard-Modell folgt die Frequenzabhängigkeit des Strömungswiderstandes dagegen direkt aus der

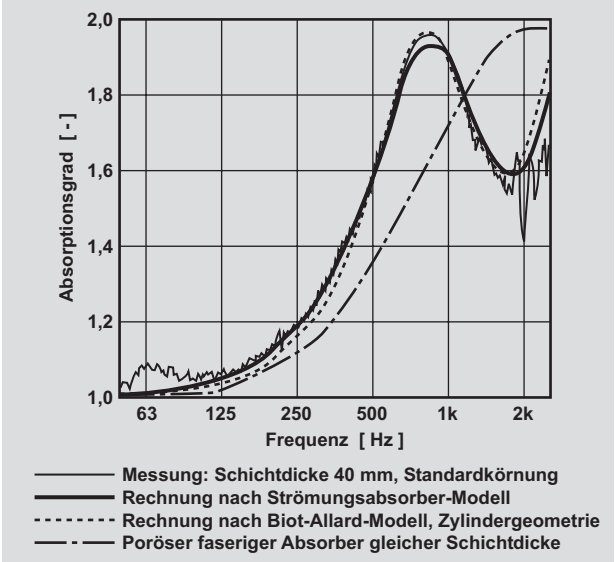

Bild 3: Gemessene und berechnete Absorptionsgrade einer 40 mm dicken REAPOR®-Schicht der Standardkörnung (Feinkornanteil 20 %, Plattendichte 250 kg/m³). Vergleich mit faserförmigem Absorber, Rechnung nach [4] mit Ξ = 10 kNsm^{-4}.

Geometrie einfach geformter Poren. Berücksichtigt werden Ansätze für Zylinder- und Spaltporen. Daraus wird die Viskositätskorrektur-Funktion F(λ) berechnet. Die effektive Dichte wird analog zu (1) berechnet nach:

$$\rho_{eff} = \rho_0 \left(\frac{\chi}{\sigma_v} - j \frac{\Xi}{\omega \rho_0} F(\lambda) \right) \qquad (2)$$

Für den Grenzfall der Gleichströmung ($\omega \rightarrow 0$) wird von einer Poisseuille-Strömung in den Poren ausgegangen. Die Funktion F(λ) beschreibt die Abweichung von der Poisseuille-Strömung mit steigender Frequenz. Dabei ist in dem dimensionslosen Parameter λ ein Porenformfaktor enthalten, der den Übergang von den idealisierten zu beliebigen (realen) Porengeometrien berücksichtigt. Für den Grenzfall sehr tiefer Frequenzen ergibt sich auch hier der messtechnisch bestimmbare Gleichströmungswiderstand. In Bild 2 ist der Anstieg der Strömungsresistanz beider Modelle für die übliche Körnung (Feinkornanteil 20 %, Plattendichte 250 kg/m³) gegenübergestellt. Es ergeben sich nur geringe Unterschiede zwischen beiden Ansätzen.

Die Übereinstimmung zwischen den Messungen und den berechneten Werten beider Modelle ist im untersuchten Frequenzbereich bis 2,5 kHz für die praktische Anwendung bereits ausreichend. Exemplarisch sind in Bild 3 die berechneten Absorptionsspektren einer 40 mm dicken Schicht für die übliche Körnung der Messung gegenübergestellt. Die Möglichkeit, die Absorptionseigenschaften einer homogenen Schicht vorab zu berechnen, gestattet so die Optimierung von Schallabsorber-Elementen aus REAPOR®. Dabei ergeben sich beispielsweise aus Schichtungen unterschiedlicher Platten [1] oder aus dem Prinzip des streifenförmigen Absorbers aussichtsreiche Ansätze.

Literatur

[1] Gödeke, H.; Fuchs, H. V.: Reapor – Sintered open-pore glass as an high-strength sound absorber. Glastechn. Ber. Sci. Technol. 71 (1998), H. 9, S. 282–284.

[2] Fuchs, H. V.: Alternative Fibreless Absorbers – New Tools and Materials for Noise Control and Acoustic Comfort. Acta acustica – Acustica 87 (2001), H. 1, S. 414–422.

[3] Cremer, L.; Müller, A.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Bd. 2, Wellentheoretische Raumakustik. Stuttgart: Hirzel, 1976, S. 104–147.

[4] Delany, M. E.; Bazley, E. N.: acoustical properties of fibrous absorbent materials. Appl. Acoust. 3 (1970), S. 105–116.

[5] Leistner, P.; Fuchs, H. V.: Schlitzförmige Schallabsorber. Bauphysik 23 (2001) H. 1, S. 333–337.

[6] Wack, R.: Absorbermodell für gesinterten Glasschaum. Diplomarbeit an der Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik (HfT), 2002.

[7] Champoux, Y.; Stinson, M. R.: On acoustical models for sound propagation in rigid frame porous materials and the influence of shape factors. J. Acoust. Soc. Am. 92 (1992), H. 2, S. 1120–1131.

Fraunhofer Institut Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0

Herstellung und Druck: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Satz- und Druckcenter

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik