

Einfluss von Verschmutzung auf die Absorptionswirkung von porösen Materialien

Jan Klesa, Sabine Langer

Institut für Angewandte Mechanik, 38106 Braunschweig, E-Mail: s.langer@tu-braunschweig.de

Einleitung

Poröse Oberflächen haben positive akustische Eigenschaften und werden in verschiedenen technischen Anwendungen verwendet. Im Zuge des Gebrauchs bzw. des technischen Einsatzes und im Laufe ihrer Lebensdauer werden diese Materialien häufig verschmutzt, was sich auch nachteilig auf die akustischen Eigenschaften auswirken kann.

Im Speziellen ist dies im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 880 Hochauftrieb künftiger Verkehrsflugzeuge von Interesse, in dem u.a. die Integration des Propellerantriebs in die Oberseite des Tragflügels studiert wird, um eine Außengeräuschreduzierung am Boden zu bewirken. Hiermit sind potentiell Innengeräuschprobleme und eine Verstärkung des Schalls in andere Richtungen verbunden. Als Minderungsmaßnahme werden poröse Oberflächen eingesetzt, die den Strömungslärm positiv beeinflussen und die Anregung des Körperschalls verändern.

Verschmutzung poröser Oberflächen

Die Flügeloberfläche ist im Betrieb für Verschmutzung besonders exponiert. Die Verschmutzung kann aus der Atmosphäre (z.B. Wasser und Eis), vom Boden (z.B. Staub und Sand) oder den Systemen des Flugzeug (z.B. Öl und Kraftstoff) herrühren.

Im Rahmen des Projektes werden Langzeitexperimente durchgeführt, um Aufschluss über den Einfluss der Verschmutzung zu erhalten. Poröse Materialproben werden dazu auf dem Dachträger eines Versuchsfahrzeugs befestigt. Die Verschmutzung wird durch Fahrten mit diesem Fahrzeug simuliert. Die Proben werden hinsichtlich des Strömungswiderstands, der Porosität und der Porengeometrie jeweils vier Mal charakterisiert: Zunächst im unverschmutzten Zustand und dann, wenn sie 1, 6 und 12 Monate der Verschmutzung ausgesetzt sind.

Im Rahmen des SFB 880 werden zwei Typen von porösen Materialien untersucht: Sintervliese und perforierte Bleche (Abb. 1).

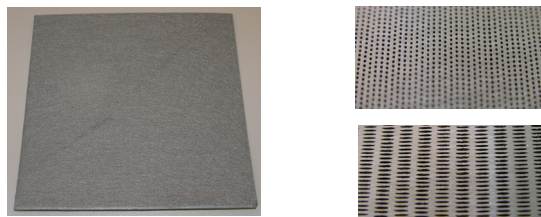


Abbildung 1: Links Sintervlies, rechts perforierte Bleche mit Rundlöchern (oben) und Schlitzlöchern (unten).

In der Tabelle 1 sind die Materialparameter von einem Sintervlies angegeben, das hier exemplarisch weiter untersucht wird. Die Materialparameter sind im Rahmen des Projektes

gemessen, dem Datenblatt [1] entnommen bzw. invers ermittelt (s. *) worden.

Tabelle 1: Materialparameter Sintervlies SIKA-FIL100

| Material | SIKA-FIL100 |
|--|-------------|
| Gewicht ^[1] [g·m ⁻²] | 450 |
| Dicke ^[1] [mm] | 0,9 |
| Porosität ^[1] [-] | 0,84 |
| Porengröße ^[1] [µm] | 38 - 112 |
| Strömungswiderstand einer Schicht [kg·s ⁻¹ ·m ⁻³] | 36,61 |
| Tortuosität* [-] | 1,24 |
| Viskose Länge* [µm] | 54,71 |
| Thermale Länge* [µm] | 89,12 |
| E-Modul [Gpa] | 210 |
| Poissonzahl [-] | 0,3 |
| Dichte der Festphase [kg m ⁻³] | 8000 |
| Verlustfaktor* [-] | 0,2 |

Modellierung der porösen Materialien

Poröse Materialien können mit Modellen unterschiedlichen Detaillierungsgrades berechnet werden [2]. Zunächst wurde hier studiert, mit welchem Materialmodell sich das Absorptionsverhalten des Sintervlieses prognostizieren lässt. Dafür wurde die Absorptionswirkung der porösen Materialien mit der hauseigenen Software OptiSTA mit der Transfermatrixmethode [3] berechnet und mit messtechnisch ermittelten Absorptionsgradkurven [4] verglichen (s. Abbildung 2).

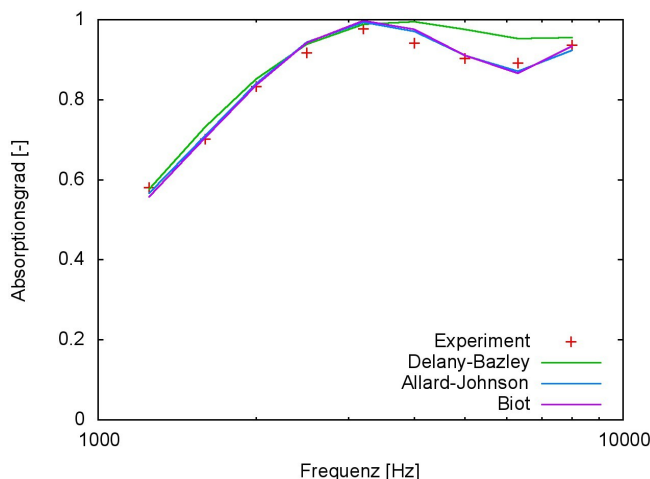


Abbildung 2: Vergleich des gemessenen und berechneten Absorptionsgrads (Sintervlies SIKA-FIL 100, unverschmutzt)

Während das Ein-Parameter-Modell nach Delany-Bazley die frequenzabhängige Absorptionsgradkurve nicht zutreffend abbilden kann, liefern sowohl das Allard-Johnson-Modell als auch das Biot'sche Materialmodell eine hervorragende Übereinstimmung mit den gemessenen Absorptionsgraden. Während es sich beim Modell von Allard-Johnson um einen äquivalenten Fluidansatz handelt, wird im Biot'schen Modell die Wellenausbreitung sowohl in der Fluid- als auch in der Festkörperphase vollständig beschrieben. Zukünftig wird im

Rahmen des Projektes nicht nur die Absorptionswirkung der porösen Materialien sondern insbesondere die Körperschallein- und weiterleitung und damit insbesondere auch die Wellenausbreitung in der Festkörperphase von Interesse sein. Daher wird für die folgenden Untersuchungen die Biot'sche Theorie herangezogen.

Anzumerken ist dabei, dass die für die Biot'sche Theorie erforderlichen Materialparameter für die Fluidphase zum jetzigen Projektzeitpunkt nur invers bestimmt werden konnten (s. Tabelle 1). Zukünftig werden sie durch Strömungssimulationen an REV der Materialproben ermittelt werden, die durch Tomographiemessungen erstellt werden.

Modell der Verschmutzung

Dem Modell für die Verschmutzung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Alle Poren weisen überall die gleiche Verschmutzungsschicht auf.
- Verschmutzung hat eine so kleine Steifigkeit, dass man diese vernachlässigen kann ($E_{Schmutz} = 0$).

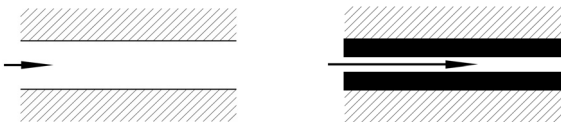


Abbildung 3: Modell der Verschmutzung der Poren. Der Schmutz bildet eine Schicht mit konstanter Dicke an der Porenwand.

Als Maßstab für die Verschmutzung wird der Parameter $\hat{\phi}$ eingeführt, der die Änderung der Porosität ϕ durch Verschmutzung beschreibt.

$$\phi_{verschmutzt} = \hat{\phi} \phi_{unverschmutzt} \tag{1}$$

Damit lässt sich der Einfluss von Verschmutzung auf den Strömungswiderstand folgendermaßen beschreiben.

$$\sigma_{verschmutzt} = \frac{\sigma_{unverschmutzt}}{\sqrt{\hat{\phi}}} \tag{2}$$

Die Festphase des verschmutzten Materials ist hier nun eine Mischung aus Stahl und Schmutz. Zur Bestimmung der Parameter der Festphase wird das Mischungsgesetz herangezogen.

$$\rho_{verschmutzt} = \frac{\rho_{unverschmutzt} (1 - \phi) + \rho_{Schmutz} (1 - \hat{\phi}) \phi}{1 - \phi \hat{\phi}} \tag{3}$$

$$E_{verschmutzt} = E \frac{1 - \phi}{1 - \phi \hat{\phi}} \tag{4}$$

$$V_{verschmutzt} = V_{unverschmutzt} \tag{5}$$

Aufgrund der getroffenen Annahmen bleibt die Porengeometrie bei der Verschmutzung ähnlich, deswegen ändern sich die Tortuosität sowie die thermale und viskose Länge des verschmutzten Materials nicht gegenüber dem unverschmutzten Zustand.

Einfluss der Verschmutzung

Der Einfluss der Verschmutzung auf die Absorptionswirkung der porösen Materialien wird exemplarisch für das Sintervlies SIKA-FIL 100 prognostiziert. Die Berechnung erfolgt mit dem hauseigenen Programm OptiSTA auf Basis der Transfermatrixmethode. Als Materialmodell wird wie ausgeführt das poroelastische Materialmodell nach Biot herangezogen. Eingangsdaten sind die gemessenen bzw. invers ermittelten Daten nach Tabelle 1 für den unverschmutzten Zustand bzw. die nach Gleichungen (1)-(5) modifizierten Parameter entsprechend dem formulierten Modell der Verschmutzung.

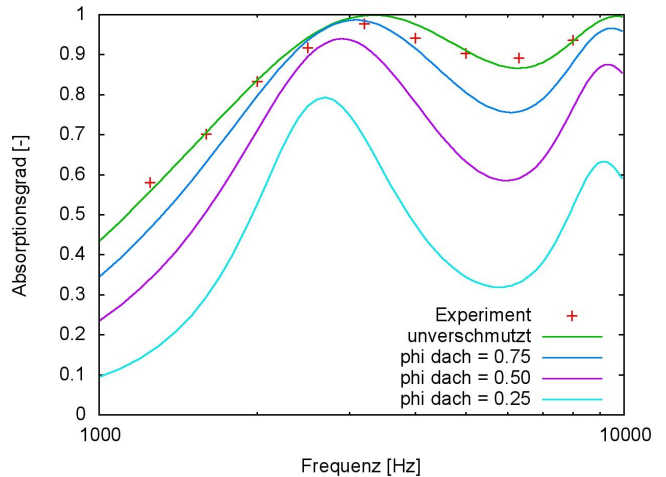


Abbildung 4: Prognose des Einflusses von Verschmutzung auf den Absorptionsgrad bei SIKA-FIL 100 ($\rho_{Schmutz} = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Die in Abb. 4 dargestellten Berechnungsergebnisse zeigen den deutlichen Einfluss der Verschmutzung auf die Absorptionswirkung. Bemerkenswert ist, dass sich der Absorptionsgrad nicht gleichmäßig vermindert, sondern sich die Frequenzabhängigkeit der Absorptionswirkung bei zunehmender Verschmutzung stark erhöht; die Absorptionsgradkurven zeigen einen zunehmend welligen Verlauf. Angenommen wurden hierbei Verschmutzungsparameter $\hat{\phi}$ von 0,25 bis 0,75. Inwieweit diese Annahme zutreffend ist, werden die Langzeitexperimente am Versuchsfahrzeug zeigen, die allerdings erst im April 2012 beginnen werden. Nach Auswertung dieser Versuche wird auch die Validierung des Verschmutzungsmodells möglich sein.

Literatur

- [1] Data Sheet SIKA-FIL, GKN Sinter Metals Filters GmbH
- [2] J.F. Allard, N. Atalla: Propagation of Sound in Porous Media. John Wiley & Sons, Second Edition, 2009.
- [3] Rurkowska, K; Langer, S.: Optimierung von zweischaligen Bauteilen aus naturfaserverstärktem Kunststoff. Proc. of DAGA 2012.
- [4] Lippitz, N.: Analyse der Schallabsorptionseigenschaften in Abhängigkeit der Struktur verschiedener metallischer Vliese, Studienarbeit, TU Braunschweig, 2011