

Optimierung von zweischaligen Bauteilen aus naturfaserverstärktem Kunststoff

Katherina Rurkowska, Sabine Langer

Institut für Angewandte Mechanik, 38106 Braunschweig, Deutschland, Email: infaminfo@tu-braunschweig.de

Einleitung

Seit vielen Jahren werden naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) mit zunehmendem Marktanteil erfolgreich eingesetzt. Unsere Motivation ist es, NFK Materialien zu identifizieren, die für den Einsatz als hochschalldämmenden flexible zweischalige Trennwände geeignet sind. Bisher erfolgt die Optimierung dieser Werkstoffe in der Regel lediglich hinsichtlich der mechanischen Festigkeiten. Im Folgenden werden daher Konzepte zur Modellierung der akustischen Eigenschaften dieser porösen Materialien vorgestellt und Prognoseverfahren präsentiert. Darauf aufbauend erfolgt eine Parameterstudie, die das Verhalten eines mehrschaligen hochschalldämmenden NFK-Bauteils verdeutlicht.

Schallausbreitung in poröse Materialien

Für die Prognose von porösen naturfaserverstärkten Kunststoffen ist das Biot-Modell geeignet, da es alle im Material auftretenden Wellen (zwei Longitudinalwellen und eine Transversalwelle) berücksichtigt. Biot formuliert das Problem der Schallausbreitung für einen mit einer viskosen Flüssigkeit gesättigten porösen elastischen Festkörper. Die Methode berücksichtigt die durchschnittliche Bewegung der beiden festen und flüssigen Phasen unabhängig voneinander und elastische sowie Trägheitseffekte zwischen den zwei verschiedenen Medien.

$$\operatorname{div} \hat{\sigma}^s(\mathbf{u}^s) + \tilde{\rho}\omega^2 \mathbf{u}^s + \tilde{\gamma} \operatorname{grad} p = 0 \quad (1)$$

$$\Delta p + \frac{\tilde{\rho}_{22}}{R} \omega^2 p + \frac{\tilde{\rho}_{22}}{\phi^2} \tilde{\gamma} \omega^2 \operatorname{div} \mathbf{u}^s = 0 \quad (2)$$

Gleichungen (1) und (2) beschreiben Fluid-Struktur Kopplung in Bezug auf die Verschiebungen der Festphase und des Porendrucks (\mathbf{u}^s, p) [1]. σ ist darin der Strömungswiderstand, der durch Messen des Druckverlustes beim Durchströmen einer Probe bestimmt werden kann. Die anderen Parameter wie Porosität Φ , Tortuosität α_∞ und die charakteristischen Längen Λ und Λ' sind von den komplex verteilten Porengeometrien innerhalb des Materials abhängig.

Schalldämm-Maß

Die wichtigste Kenngröße in der Bauakustik zur Beschreibung des Schalldämmverhaltens eines Bauteils ist das frequenzabhängige Schalldämm-Maß R [dB]. Das Schalldämmverhalten von einschaligen, homogenen und unendlich ausgedehnten Wänden wird vornehmlich durch deren Masse besteht. Das Massegesetz hat in einem gewissen Frequenzbereich Gültigkeit, insbesondere bricht in der Nähe der Koinzidenzfrequenz f_c die Schalldämmung

sehr stark ein, so dass diese nicht im bauakustisch relevanten Frequenzbereich liegen sollte [2]. Ein zweischaliges Bauteil besteht aus zwei massiven Schalen, welcher durch eine federnde Zwischenschicht aus elastischen Material getrennt sind. Dieser Aufbau entspricht physikalisch einem Masse-Feder-Masse-System, so dass die Schalldämmung zusätzlich bei der Masse-Feder-Masse-Resonanz einbricht.

Prognoseverfahren

Die einzusetzenden Verfahren zur Simulation der Transmission müssen in der Lage sein, durch Berechnung der Wellenausbreitung in den verschiedenen Medien Druck- bzw. Schnelleverteilungen vor, in und hinter plattenförmigen Bauteilen bestimmen zu können. In dieser Arbeit wird die Transfermatrixmethode herangezogen, um die Schalldämmwirkung zu prognostizieren. Wenn die Analyse von flankierenden und komplizierten Geometrien erforderlich ist, wird zusätzlich die Finite Elemente Methode verwendet [3].

Transfermatrixmethode

Mit der Transfermatrixmethode steht ein Verfahren zur Verfügung, welches durch Kombination der analytischen Lösungen in den verschiedenen Materialien eines geschichteten Bauteils das Verhalten des Gesamtaufbaus simulieren kann (Abbildung 1)

$$v(M_{2k-1}) = [T] v(M_{2k}). \quad (3)$$

Gleichung (3) stellt die Transfermatrixmethode dar, wobei M_{2k-1} und M_{2k} das akustische Feld auf den beiden Flächen beschreiben. Die Komponenten des Vektors v beschreiben das akustische Feld in einem Punkt M . Die Matrix T ist abhängig von der Dicke d und den physikalischen Eigenschaften der einzelnen Medien [1]. Die exakte Geometrie der Platte wird nicht berücksichtigt. Durch Kombination der Transfermatrizen aller Schichten kann der Transmissionskoeffizient und daraus das Schalldämmmaß bestimmt werden.

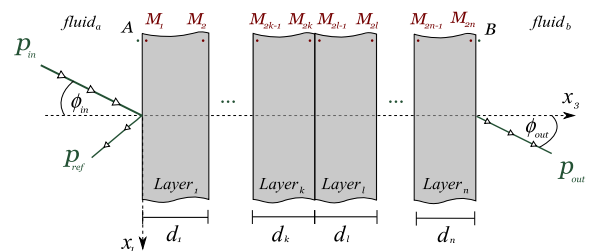


Abbildung 1: Wellenausbreitung in geschichteten Materialien mit Hilfe der Transfermatrixmethode

Parameterstudie

Die Materialeigenschaften sowie der Bauteilaufbau müssen in einem Optimierungsprozess derart gewählt werden, dass bei möglichst geringem Gewicht und Gesamtdicke ein hohes Schalldämm-Maß erreicht wird. Eine Parameterstudie zu einem zweischaligen Bauteil wurde mittels der Transfermatrixmethode durchgeführt. Hierbei wurden die Materialparameter sowie die geometrischen Parameter variiert, um den optimalen Wertebereich zu ermitteln. Die Modelle bestehen aus zwei naturfaserverstärkten Kunststoffplatten (NFK-Platten) sowie einer Zwischenraumstruktur. In Abbildung 2 ist das Modell dargestellt. Die zwei naturfaserverstärkten Kunststoffplatten (NFK-Platten) wurden mit einem viskoelastischen Material modelliert und die Zwischenschicht mit einem poroelastischen Material. Als variable Parameter wurden die Dichte ρ und das Elastizitätsmodul E für die poröse Hohlraumsschicht angenommen. Es wurden zwei Modelle berechnet. Das erste Modell besteht aus NFK-Platten mit einer Dicke von 5 mm. Bei dem Zweiten wurde eine Dicke von 7,5 mm gewählt. Für beide Modelle wurden Hohlraumsschichten von 60 mm bis 100 mm Dicke untersucht. Zur Beurteilung dient dann das bewertete Schalldämm-Maß, die Masse-Feder-Masse Resonanzfrequenz und die Koinzidenzfrequenz der zweischaligen Struktur. Für das zweischalige Bauteil muss die Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz so gering wie möglich sein und gleichzeitig die Koinzidenzfrequenz über 4000 Hz liegen, also außerhalb des bauakustische relevanten Bereich. Die durchgeführte Parameterstudie hat gezeigt, dass das nachfolgend dargestellte Modell (Abbildung 2 und Tabelle 1) mit einer Hohlraumdicke von 100 kg/m³ und einem E-Modul von 0,1MPa die Anforderungen am besten erfüllt.

	Platte	Poröse Hohlraumsschicht
$E [Pa]$	8×10^9	10000 – 100000
$\rho [kg/m^3]$	1120	100 – 1000
η	0.42	0.02
ν	0.21	0.18
$\rho_f [kg/m^3]$		1.21
$\sigma [kPa \cdot s/m^2]$		57.6
$\Phi [\%]$		87
α_∞		1.27
$\Lambda [\mu m]$		32.23
$\Lambda' [\mu m]$		134.13

Tabelle 1: Materialparameter

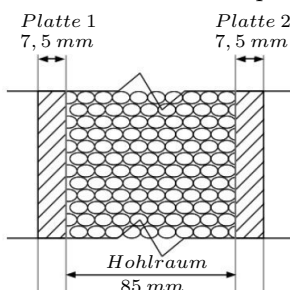


Abbildung 2: Zweischaliges Bauteilmodell

In Abbildungen 3a und 3b sind die Schalldämmkurven für vier verschiedene Elastizitätsmodule E dargestellt. Die Dichte des porösen Hohlraums ist auf $\rho = (100 - 400)kg/m^3$ eingestellt.

Wie zu erwarten ist, weisen die Konstruktionen mit höherem Elastizitätsmodul E eine niedrigere Koinzidenzfrequenz f_c auf. Die Einbrüche der Koinzidenzfrequenz f_c liegen außerhalb des bauakustischen Frequenzbereiches.

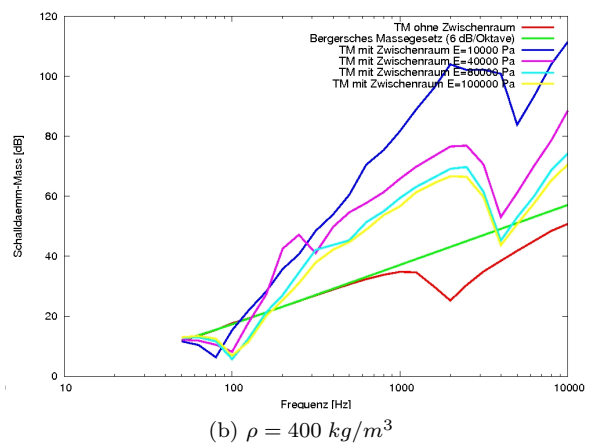
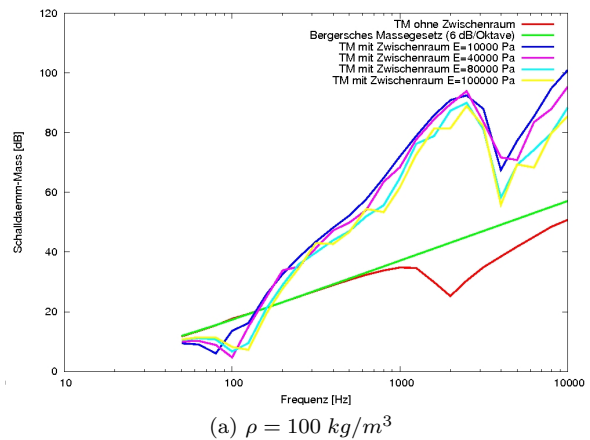


Abbildung 3: Vergleich der terzgemittelten Schalldämmkurven. Zweischaliges Bauteilmodell mit unterschiedlichem Elastizitätsmodul $E = (70000 - 100000)Pa$ des Hohlraummaterials

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind Teil des Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand ZIM-Kooperationsprojekts "Entwicklung mehrschaliger hochschalldämmender Bauteile aus naturfaserverstärktem Kunststoff-Composit" in Zusammenarbeit mit der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ), Institut für Produktionstechnik, der Firma TAC-Technische Akustik, Korschbroich, und der Firma HLK-HL Kunststofftechnik GmbH, Halle-Queis.

Literatur

- [1] J.F. Allard, N. Atalla: Propagation of Sound in Porous Media. John Wiley & Sons, Second Edition, United Kingdom (2009).
- [2] M. Möser: Technische Akustik, Springer, Berlin, Heidelberg, Germany (2005).
- [3] M. Wulka, S. Langer: Proc. of DAGA, Berlin (2010).