

Entwicklung von anwendungs- angepassten akustischen Absorbern unter Nutzung von Simulations- technik

Rehmet, R.; Lohrengel, A.

Innerhalb eines Forschungsprojekts in Kooperation mit der Universität Göttingen wurden im Projekt Abocorn Absorbermaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen qualifiziert. Im Rahmen von weiteren Studien werden die Materialien und Modelle weiter angepasst, um eine bestmögliche Konstellation eines akustischen Absorbers herzustellen.



Within a research project in cooperation with the University of Göttingen, absorber materials made of renewable raw materials were qualified in the Abocorn project. In the course of further studies, the materials and models will be further adapted to produce the best possible constellation of an acoustic absorber.

Ausgangslage

Lärm macht krank – diese These wurde durch verschiedenste Studien belegt. Beispielsweise wird in der medizinischen Studie von Maschke et al. belegt, dass es einen Zusammenhang zwischen dauerhafter Lärmexposition am Wohnort und der Anzahl von Erkrankungen am Herz-Kreislauf-System gibt, vgl. /1/. Zur Senkung der Lärm-Exposition an Arbeitsplätzen oder auch im privaten Umfeld existieren verschiedenste Konzepte. Weit verbreitet ist die Nutzung von Schallabsorbern aus Materialien, die aufgrund ihrer mechanischen Beschaffenheit als Absorber besonders geeignet sind. Solche akustischen Absorber kommen dann zum Einsatz, wenn es durch bereits festgelegte, bauliche Randbedingungen zu einer ungeeigneten Raumakustik kommt. Zusätzlich zu den baulichen Randbedingungen wird die ungünstige Raumakustik zum Problem, wenn durch Maschinen und Geräte, Bediener:innen, Kolleg:innen, Gespräche und Telefonate der Pegel im Raum zu hoch wird. Das Arbeiten an einem Büroarbeitsplatz oder ohne Gehörschutz in einer Fertigungshalle wird dann zu einem Gesundheitsrisiko.

Übliche passive Schallabsorber aus faserigen oder offenporigen Materialien werden auf Basis von Mineralien wie Stein, Glas, Holz oder Kunststoffschäumen hergestellt. Weit verbreitet ist zum Beispiel ein Schaum aus Melaminharz, das auf Basis von fossilen Brennstoffen hergestellt wird.

Im abgeschlossenen ZIM-geförderten Projekt Abocorn wurden Materialien aus Popcorn als akustische Absorber qualifiziert. Hierzu wurden die Platten in unterschiedlichen Material- und Herstellungsparametern produziert. Durch die Variation dieser Parameter können für Absorber hochrelevante Einflussgrößen geändert und damit das akustische Verhalten eines Absorbers angepasst werden, vgl. /2/.

In dem grundlagenorientierten Projekt wurde das neuartige Material experimentell qualifiziert, die Qualifizierung erfolgte durch Versuche im Impedanzrohr nach DIN EN ISO 10534-2. Variiert wurden die Dicke und die Dichte der Absorberplatten, die Zusammensetzung des Bindemittels und die Größe und Geometrie des aufgepufften Korns.

Mess-und Zielgrößen

Für die akustische Erstqualifizierung des Materials wird eine Messung im Impedanzrohr durchgeführt. Dabei werden zwei Schalldrücke an definierten Positionen gemessen. Durch das Superpositionsprinzip können die Schalldrücke in eine auf den Absorber einfallende und eine ausfallende Welle zerlegt werden. Der Messaufbau und weitere Randbedingungen der Messung sind in EN ISO 10534-2 und /2/ beschrieben. Das Material wird in einem festgelegten Parameterplan qualifiziert, es werden die Parameter Dichte, Dicke, Bindemittelzusammensetzung und Korngröße variiert.

Als Ergebnisgröße des Versuchs im Impedanzrohr wird der Absorptionskoeffizient α bestimmt. Um diese Größe bestimmen zu können, wird zunächst der Reflektionskoeffizient aus den Übertragungsfunktionen zwischen den Mikrofonorten berechnet. Bei Annahme einer vernachlässigbar kleinen Transmission aufgrund des Messaufbaus kann der Absorptionskoeffizient direkt bestimmt werden, Gleichung (1):

$$\alpha = 1 - r \quad (1)$$

Der Absorptionskoeffizient ist eine Funktion der Frequenz, am Markt befindliche Akustik Absorber werden mit gemessenen Absorptionskurven ausgeliefert. Je nach Einsatzzweck können diese Kurven genutzt werden, um die Eignung am Einsatzort festzustellen, z. B. mit einer Absorberklasse „A“ bis „E“ nach EN ISO 11654 für den Einsatz in Innenräumen oder am Arbeitsplatz. Für diese Bewertung ist es entscheidend, dass über ein Frequenzband zwischen 250 und 4000 Hz ein möglichst konstanter Absorptionskoeffizient erzielt wird.

Theoretischer Hintergrund und Ergebnisse

Die Variation der Dicke des Absorbers liefert Ergebnisse, die mit Ergebnissen aus der Literatur übereinstimmen. In Abbildung 1 ist der theoretische Einfluss der Absorberdicke auf das Absorptionsverhalten dargestellt. Im Vergleich mit Abbildung 2, die Messdaten aus dem Projekt darstellt, wird deutlich, dass sich das untersuchte Popcorn-Material bei steigender Dicke ähnlich Verhält: Bei Steigerung der Dicke von 20 auf 55 mm verschiebt sich der Anstieg der Absorptionskurve in einen niederfrequenten Bereich.

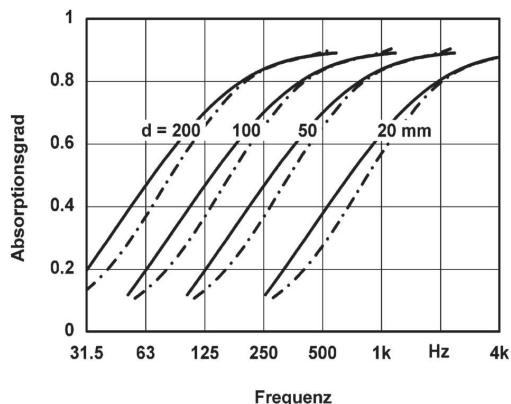


Abbildung 1: Absorptionsgrad α für faserige u. poröse Absorber bei senkrechtem (Linienart - -) bzw. diffusem Schalleinfall (Linienart -) /4/

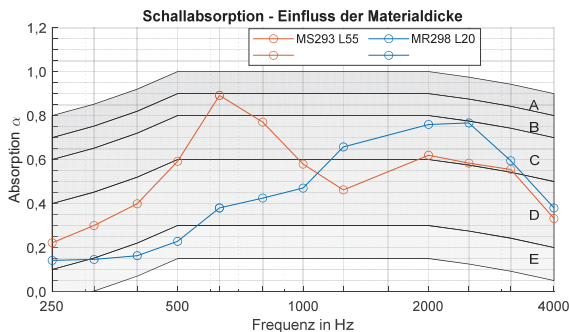


Abbildung 2: Absorptionsgrad von Abocorn bei Variation der Absorberdicke

Gleichzeitig fällt die Verschiebung und leichte Erhöhung des Hochpunktes der Absorptionskurve auf. Obwohl bei diesen beiden Proben dieselbe Rohdichte des

Materials genutzt wurde, wird durch die veränderten Bedingungen beim Pressen der Platte die lokale Dichte variiert.

Es kommt zu einer Dichteverteilung über die Dicke, die sich in einer Änderung der Porengeometrie niederschlägt.

Bei Veränderung der Porengeometrie ändern sich wesentliche Faktoren, die das Absorptionsverhalten maßgeblich beeinflussen:

- Porosität, also Verhältnis zwischen verbundenen Luftvolumina zu Festkörpervolumen
- Strömungswiderstand
- Turtosität, auch Grad der Verschlungenheit der Transportwege

Im direkten Vergleich können für das untersuchte Material eine hohe und eine geringe Rohdichte hinsichtlich der Absorptionskurve verglichen werden, vgl. Abbildung 3. Die Einflüsse der oben genannten Parameter lassen sich nicht isoliert betrachten, da bedingt durch das Fertigungsverfahren mehrere Parameter gleichzeitig verändert werden.

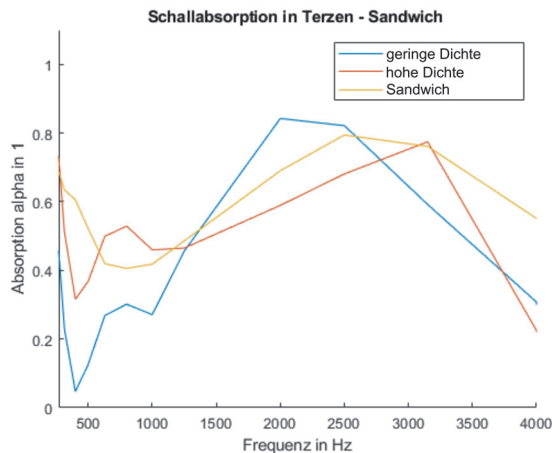


Abbildung 3: Nutzung von Sandwichaufbauten aus Popcornabsorbern /3/

Die Nutzung einer Kombination aus Absorber mit hoher Porosität in der vorderen Lage, also der Schallquelle zugewandt, und einem Absorber mit höherem Flächengewicht in der hinteren Lage ist nach ersten Erkenntnissen vielversprechend. Ein solcher Sandwichaufbau ist in Abbildung 3 dargestellt. Das vorteilhafte Absorptionsverhalten der Platte mit einem höheren Grad an Porosität durch geringe Rohdichte zeigt sich zwischen 1500 Hz und 2500 Hz, während der Anteil der Platte mit höherer Dichte, also mit höherem Strömungswiderstand und

höherem Turtositätsgrad sich in Frequenzbereichen zwischen 200 Hz und 1500 Hz zeigt. Durch die Nutzung der Platten als Sandwichabsorber kann ein breitbandiger Absorber durch einen „akustischen Absorberbaukasten“ umgesetzt werden.

Simulationstechnik

Die Erkenntnisse aus der experimentellen Phase des Projektes können genutzt werden, um eine weitergehende Analyse der Wirksamkeit und der Abhängigkeit von physikalischen Absorberparametern umzusetzen. Diese Entwicklung wird durch die Nutzung von Simulationstechnik unterstützt.

Hierzu wird ein Simulationsmodell genutzt, dass die Absorptionskurve des Materials auf Basis von einigen Eingangsparametern, unter anderem die oben genannten Größen, vorhersagt. Das Modell zur Berechnung basiert auf den Erkenntnissen von Champoux, Allard et. al /5/ und benötigt sechs Eingangsparameter um das komplexe Schubmodul und die dynamische Massendichte zu bestimmen. Aus diesen Größen kann die Impedanz, der Reflektions- und Absorptionskoeffizient abgeleitet werden. Ziel der Anwendung der Simulationstechnik ist die Erarbeitung eines Zusammenhangs zwischen akustisch relevanten Absorberparametern und Fertigungsparametern, um eine Optimierung der Fertigungsparameter zu erreichen. Durch Anwendung eines parametrischen Modells zur Berechnung des Absorptionsverhaltens kann ein vollfaktorielles Feld bestimmt und der Absorptionskoeffizient berechnet werden. Das Ziel ist hierbei, einen Zusammenhang zwischen Messdaten und Simulationsdaten, sowie zwischen Materialparametern und Simulationsparametern, herzustellen.

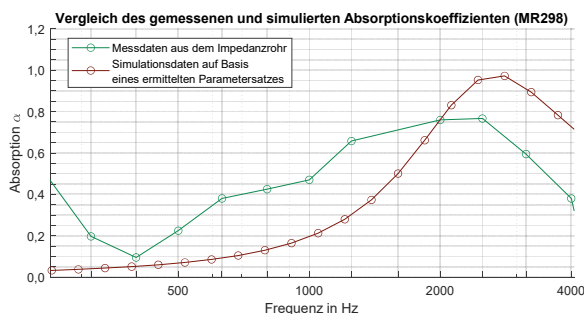


Abbildung 4: Vergleich zwischen Impedanzrohrdaten und Simulationsansatz

In der folgenden Abbildung 4 sind exemplarisch die Daten eines Impedanzrohrversuches aus dem Projekt und dem Simulationsansatz dargestellt. Zur Ermittlung der Simulationsparameter wurden die Ergebnisdaten aus dem vollfaktoriellen Modell genutzt und die bestmöglichen Parameter gefittet. Neben der Parameterfittung-Methode existieren weitere, vielversprechende Ansätze zur Generierung von Parametersets für die Simulation des Absorptionsverhaltens.

Zusammenfassung

Im abgeschlossenen Projekt Abocorn wurden Absorptionsdaten zu einem Absorber entwickelt, der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird. Es wurden Materialeigenschaften und akustische Eigenschaften ermittelt, um Absorbermaterialien durch Nutzung einer Datenbank so herzustellen, dass sie dem Anforderungsprofil entsprechen.

Mithilfe dieser Datenbank wird ein Simulationsmodell abgeglichen, um weitere Erkenntnisse über die notwendige Materialbeschaffenheit und Fertigungsempfehlungen zu generieren. Durch die Nutzung von Sandwich-Materialien kann der Absorptionskoeffizient weiter angepasst werden.

Literatur

- /1/ Maschke, C.; Wolf, U.; Leitmann, T.: WaBoLu-Hefte. Bd. 02/2003: Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose: Abschlussbericht. Umweltbundesamt, 2003, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/epidemiologische-untersuchungen-einfluss-von>
- /2/ Rehmet, R.; Freundt, F.; Weilandt, T.: Schallabsorber-Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen: Institutsmitteilung Nr. 44, Seite 81-86, IMW TU-Clausthal, 2019, ISSN 0947-2274
- /3/ Rehmet, R.; Lohrengel, A.; Freundt, F.; Kharazipour, A.: Akustische Qualifizierung von neuartigen Verbundwerkstoffen auf Basis von stärkehaltigen Granulaten: 18. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT 2020), Duisburg, 2020, ISBN: 978-3-940402-43-1
- /4/ Raum-Akustik und Lärminderung; Fuchs, H. V.; Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch); Berlin, Heidelberg; 2017
- /5/ Champoux, Yvan; Allard, Jean-F.: Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media;: Journal of Applied Physics, 1991, doi.org/10.1121/1.419690