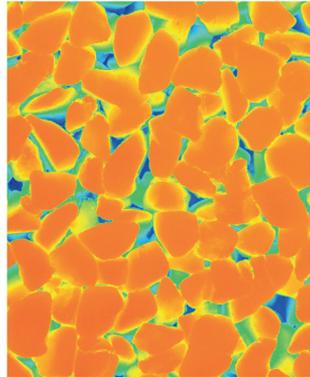


Schallabsorber-Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen

Rehmet, R.; Freundt, F.; Weilandt, T.

Akustisch wirksame Schalldämpfungsmaterialien sind in der Regel aus Materialien hergestellt, deren Ursprung synthetisch ist. Oftmals ist die Synthesierung solcher Stoffe energieaufwändig oder es werden Materialien eingesetzt, die aufgrund der Ressourcenknappheit nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen. In diesem Kontext setzt ein Forschungsprojekt an, in dem schalldämpfende Materialien hergestellt aus nachwachsenden Rohstoffen und als Schallabsorber qualifiziert werden.



Typically, sound absorbing materials are produced out of synthetic based materials. Often the production of these base materials is highly energy consumptive. In other cases scarce resources are needed to synthesize those base materials. In this context the project shall cover how effectively a new absorber material based on renewable resources can compete with existing absorber materials.

Motivation und Vorstellung des Projekts

Wenn ein Raum zum Nachhall voll Schall neigt, wird oft auf schalldämpfende Materialien zurückgegriffen. Weitläufig bekannt ist, dass Teppiche oder auch Gardinen den Nachhall im Raum mindern. Anders herum ist auch bekannt, dass ein Raum mit „nackten Wänden“ den Nachhall in einem Raum begünstigt. Dieses Phänomen ist zum Beispiel aus Kirchen bekannt, in diesen Räumen wird teils sogar Wert auf das Halten des Klanges gelegt.

Die Akustik in einem Raum ist gerade dann von gesteigertem Interesse, wenn der Raum als Arbeitsraum dient. In Großraumbüros wird durch den Einsatz von Sichtschutz mit teils akustisch wirksamer Füllung die Produktivität der Mitarbeiter nachweislich gesteigert. Üblicherweise wird diese Füllung auf petrochemischer Basis hergestellt. Hierzu wird zum Beispiel für gängige Absorber aus Melaminharzschaumstoff Erdgas zur Herstellung genutzt.

In einem laufenden Forschungsprojekt wird gemeinschaftlich mit der Arbeitsgruppe Chemie & Verfahrenstechnik von Verbundwerkstoffen der Georg-August-Universität Göttingen und einem Industriepartner ein stärkebasierter Akustikabsorber sowie ein Modell zur Vorhersage der akustischen Wirksamkeit entwickelt. Der Vorteil an der

Nutzung von Stärke als Porösabsorber liegt in der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen, statt zur Produktion von Lärmschutzprodukten auf fossile Energieträger zurückgreifen zu müssen.

Die Methodik im Forschungsprojekt sieht vor, ein umfangreiches Modell zur Vorhersage der akustischen Wirksamkeit zu erstellen. In Abhängigkeit der Fertigungsparameter soll das Verhalten des einzelnen Absorbers vorhergesagt werden. Weiterhin soll das messdatenbasierte Tool in der Lage sein, je nach Aufstellung und Raumgröße eine Abschätzung abzugeben, in wie weit eine Dämpfungswirkung in einem Raum unter Nutzung der Absorber erzeugt werden kann. Dieser „Absorberkonfigurator“ macht es für den Industriepartner möglich, dem Kunden seine Produkte nicht nur in einer optimalen Aufstellung von Absorbern im Raum anzubieten, sondern auch eine Low-Budget-Kombination von Absorbieren und Materialtypen, in der geringere Ansprüche an die akustische Wirksamkeit gestellt werden.

Der Einfluss von Fertigungsparametern wie der Schüttdichte des expandierten Granulats, den Verpressungsgrad oder auch die Größe der einzelnen Körner auf das akustisch-dämpfende Verhalten wird durch intensive Kooperation mit der Uni Göttingen ermittelt, die für die Entwicklung des Materials im Projekt verantwortlich ist. Der Zusammenhang zwischen den messbaren Größen und dem Absorptionsverhalten soll nach einer unten beschriebenen Methode gemessen und schließlich in Oktavbändern analysiert werden.

Messverfahren und Bewertung

Die Qualifizierung der Schalldämpfungswirkung erfolgt im ersten Schritt durch eine Messung der Materialien im Impedanzrohr. Das Messverfahren ist in der Norm DIN EN ISO 10534-1 beschrieben. Durch das Verfahren kann im Rohr bei bekannter Laufzeit des Luftschalls ein Rückschluss auf die Reflektion gezogen werden. Der Messaufbau besteht aus einer Stahlröhre, zwei Mikrofonen, einer Schallquelle und einer Probe auf der gegenüberliegenden Seite. Der Lautsprecher erzeugt ein Rauschsignal, das mit konstanter Amplitude über den Frequenzbereich von 10 Hz bis 20 kHz von einem Signalgenerator erzeugt wird. Der systematische Prüfaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.

Der auf das Material einfallende Schalldruck kann mathematisch beschrieben werden durch den Ausdruck in Formel 1:

$$p_{ein} = \hat{p}_{ein} \cdot e^{j \cdot k_o \cdot x} \quad 1$$

- mit:
- \hat{p}_{ein} – Druckamplitude der einfallenden Schallwelle
 - k_o – Wellenzahl in Abhängigkeit der Geometrie und der Schallgeschwindigkeit
 - x – Gemessener Schalldruck an der Stelle x (vgl. Abb. 1)
 - j – Imaginäre Zahl

Für den ausfallenden Schalldruck gilt analog der in Formel 2 genannte Zusammenhang:

$$p_{aus} = \hat{p}_{aus} \cdot e^{-j \cdot k_0 \cdot x} \quad 2$$

mit: \hat{p}_{aus} – Druckamplitude der ausfallenden Schallwelle

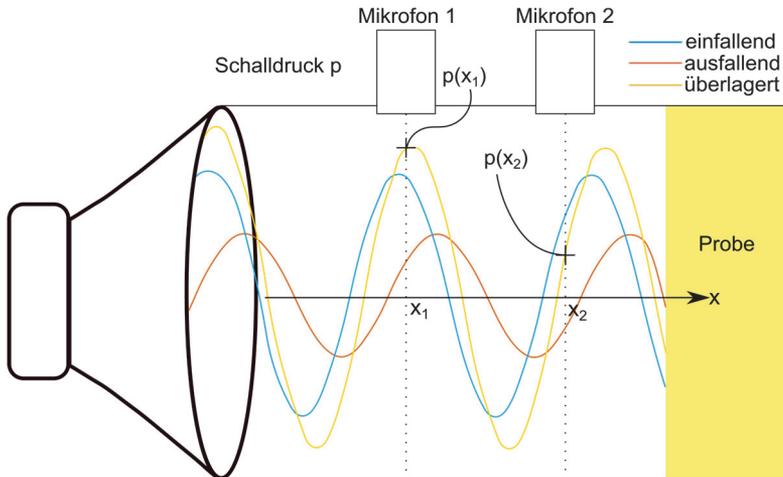


Abbildung 1: gemessene Schalldrücke im Impedanzrohr

An den Mikrofonorten kann aus ersichtlichen Gründen die Überlagerung des ein- und ausfallenden Schalldrucks gemessen werden, die sich für die Mikrofonorte 1 und 2 wie in den folgenden Formeln 3 und 4 darstellen lassen:

$$p_1 = \hat{p}_{ein} \cdot e^{j \cdot k_0 \cdot x_1} + \hat{p}_{aus} \cdot e^{-j \cdot k_0 \cdot x_1} \quad 3$$

$$p_2 = \hat{p}_{ein} \cdot e^{j \cdot k_0 \cdot x_2} + \hat{p}_{aus} \cdot e^{-j \cdot k_0 \cdot x_2} \quad 4$$

mit: x_1 – Abstand von der Probe zum ersten Mikrofon
 x_2 – Abstand von der Probe zum zweiten Mikrofon

Mithilfe der komplexwertigen Übertragungsfunktion kann schließlich ein mathematischer Ausdruck für die Schallreflexion bestimmt werden. Dieser ist, unter Definition weiterer, komplexwertigen Größen ein Ausdruck in Abhängigkeit von drei Übertragungsfunktionen, vgl. Formel 5.

$$r = f(H_{12}, H_I, H_R) \quad 5$$

- mit: H_{12} – Übertragungsfunktion der Schalldrücke p_1 und p_2 am ersten Mikrofon
 H_I – Übertragungsfunktion der einfallenden Schallwelle
 H_R – Übertragungsfunktion der reflektierten Schallwelle

Die auf ein Material eintretende Schwingung kann an der Grenzfläche auf drei Wege gewandelt werden: Zum einen durch Reflexion, die eine Schallabstrahlung vom Material zurück in Richtung der Schallquelle darstellt. Zum anderen kann Schwingenergie vom Material dissipiert werden. Im akustischen Bereich wird von Absorption gesprochen. Die dritte mögliche Wandelung stellt die Transmission dar, also die Weiterleitung der Schwingung an die von der Schallquelle abgewandte Seite des Körpers. Dieser Fall kann nur Auftreten, wenn keine nennenswerte Dissipation der Schwingenergie im Körper stattfindet. Die Energiebilanz an der Übergangsfläche lässt sich wie folgt darstellen, vgl. Formel 6-8:

$$P_{ein} = P_{ref} + P_{abs} + P_{trans} \quad 6$$

$$P_{ein} = P_{ein} \cdot (r + \alpha + \tau) \quad 7$$

$$1 = r + \alpha + \tau \quad 8$$

- mit: P_{ein} – auf die Fläche einfallende Schalleistung
 P_{ref} – von der Fläche reflektierte Schalleistung
 P_{abs} – vom Absorbermaterial absorbierte Schalleistung
 P_{trans} – vom Absorbermaterial transmittierte Schalleistung
 r – Reflexionsfaktor
 α – Absorptionsfaktor
 τ – Transmissionsfaktor

Da das Material aufgrund seiner Matrix keine ausgeprägte Materialsteifigkeit besitzt, wird der Anteil der Transmission vorerst als vernachlässigbar gegenüber den anderen Anteilen angenommen. In einem späteren Experiment soll der Anteil der Transmisson quantifiziert werden.

Mithilfe von Formel 8 lässt sich aus den erhobenen Messdaten der dimensionslose Schallabsorptionsfaktor α für den senkrechten Schalleinfall bestimmen. Für $\alpha = 1$ liegt vollständige Absorption vor, bei $\alpha = 0$ entsprechend vollständige Reflexion. Der Faktor α kann mit einer Korrekturfunktion in den Absorptionsfaktor α_{st} für diffusen Schalleinfall bestimmen. Eine alternative Herangehensweise zur Bestimmung des Absorptionsfaktors α_{st} ist die direkte Messung in einem Hallraum. In einer späteren Projektphase soll eine solche Messung im Hallraum entsprechend der Norm DIN EN ISO 354 durchgeführt werden.

Bewertung der Absorption im Hinblick auf die Nutzung als Raumschallabsorber

Um Möbel mit akustischer Wirksamkeit klassifizieren zu können, ist eine objektive Bewertung notwendig. Hierzu existiert die Norm EN ISO 354, anhand derer der Absorptionsfaktor α bewertet wird. Die Klassifizierung erfolgt anhand von Buchstaben, wobei ein „Klasse A“ – Absorberprodukt einen breitbandig hohen Absorptionswert zwischen 180 Hz und 6000 Hz aufweist, ein Absorberprodukt der „Klasse E“ hat entsprechend geringere Absorptionswerte (α zwischen 0,15 und

0,25). Hierzu liegen Bewertungsfunktionen zu Grunde, der Verlauf der gemessenen Schallabsorptionen muss, in den einzelnen Oktavbändern gemittelt oberhalb der Bewertungskurve liegen.

Erste Ergebnisse in Abhängigkeit der Porosität und Dicke

Die ersten, an der TU Clausthal im Impedanzrohr gemessenen Absorberprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen, die von der Uni Göttingen hergestellt wurden, verhalten sich erwartungsgemäß entsprechend folgender Prinzipien:

- Materialdämpfung durch Masse: steigt das Flächengewicht eines Absorbers, verschiebt sich das Schalldämmmaß in Richtung tieferen Frequenzen. Zur Dämpfung von tieferen Frequenzen wird somit Masse benötigt. Die erhöhte Masse sorgt gleichzeitig dafür, dass höhere Frequenzen schlechter absorbiert werden. /1/
- Luftdämpfung durch Reflexion in Hohlräumen: Poröse Strukturen weisen akustische Wirksamkeit auf. Einzelne Untersuchungen zeigen, dass diese Strukturen oberhalb von ca. 500 Hz Wirksamkeit zeigen. /2/

Die Parameter Masse und Porosität wurden in der ersten Versuchsreihe identifiziert und entsprechend der in der Norm genannten Absorberklassen klassifiziert.

In der gegenwärtigen Projektphase werden zunächst Fertigungsparameter auf Ihren Einfluss auf das Absorptionsverhalten untersucht. In einer späteren Projektphase kann bei nicht Erreichen einer zufriedenstellenden Absorberklasse auf weitergehende Schallabsorberkonzepte zurückgegriffen werden.

Quantifizierung der Porosität

Zur Bewertung der Porosität der Oberfläche wird im Verlauf des Projektes die Oberflächen-Porosität des Werkstoffes bewertet. Hierzu wird mit einem Laserscanning-Mikroskop eine dreidimensionale Punktwolke der Oberfläche angelegt. Durch Festlegung einer Fläche aus Höchspunkten der Struktur kann dann durch eine virtuelle Fläche der Anteil von Hohlräumen unter einem bestimmten Höhengrenzwert berechnet werden.

In Abbildung 2 ist beispielhaft eine Probe mit verhältnismäßig geringer Rohdichte dargestellt, die erwartungsgemäß eine bereits mit dem bloßen Auge erkennbare Porosität aufweist. Die auf diese Art gemessene Oberflächen-Porosität schwankt zwischen den bisher vermessenen Proben zwischen 0 und 40 Flächenprozent Hohlräumen (blau markierte Fläche). In Grau ist die Oberfläche des Materials im Laserscan dargestellt.

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben kommt der Porosität des Materials eine entscheidende Rolle zu. Durch dieses Verfahren kann sie zunächst in einem binären Kriterium bewertet werden. Weitergehend erlauben die Daten des Laserscanning-

Mikroskops auch eine Bewertung der tatsächlichen Geometrie der Hohlräume, die auch einen Einfluss auf die akustische Wirksamkeit haben.

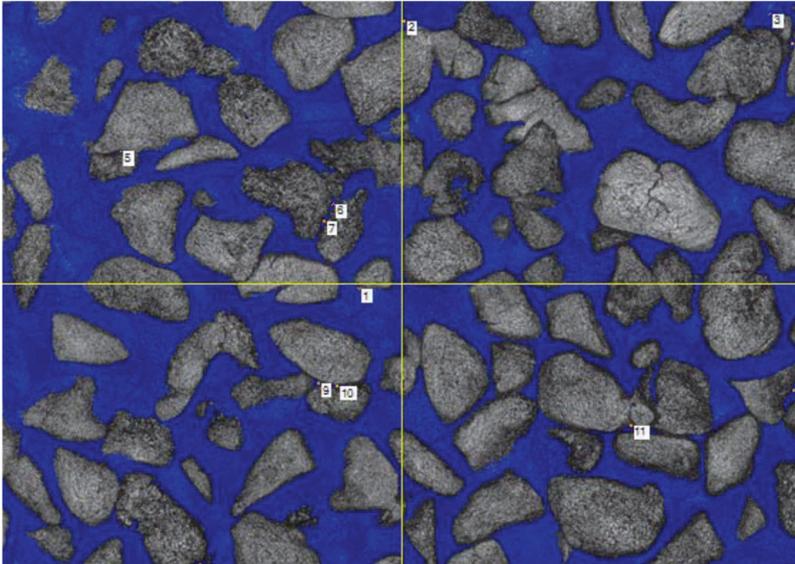


Abbildung 2: Porositätsanalyse des Materials erstellt mittels Laserscanning-Mikroskopie

Zusammenfassung

Die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen auf Basis von stärkehaltigen Granulats als Schallabsorber hat sich in Vorstudien, sowie auch ersten Versuchen als grundsätzlich machbar herausgestellt. Dabei können durch die Variation der Fertigungsparameter die schalldämpfenden Eigenschaften der Absorberprodukte maßgeblich verändert werden. Da konventionelle Absorberprodukte häufig unter anderem aus fossilen Energieträgern hergestellt werden, kann durch die Nutzung von stärkebasierten Absorbieren eine ökologische Alternative genutzt werden. Erste Messergebnisse, die in einem Impedanzrohr erhoben wurden, zeigen eine gute Eignung des Materials zur Nutzung als akustisch wirksames Absorbermaterial.

Literatur

- /1/ Moor, H., Zürcher, C.: physikalische Grundlagen: Leitfaden für Planung und Praxis, vdf Hochschulverlag 1993
- /2/ Zeller, P.: Handbuch Fahrzeugakustik, Vieweg+Teubner 2012