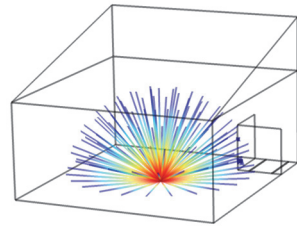


Simulation des akustischen Absorptionsverhaltens im Raum anhand von Labormaßstabsergebnissen

Rehmet, R.; Lohrengel, A.



Die Qualifizierung von Werkstoffen als Schallabsorber findet in einem Hallraumversuch statt. Derartige Versuche erfordern zum einen sehr speziell ausgestaltete Messräume, zum anderen sind große Schallabsorber-Proben erforderlich, mit denen der Messraum bestückt wird. Um Kosten für Untersuchungen im Hallraum während der Entwicklungsphase zu sparen, wird in diesem Forschungsansatz untersucht, ob eine Übertragung von Versuchsergebnissen im Labormaßstab auf die Akustik im Raum durch eine Simulation möglich ist.

To qualify acoustic absorber materials a measurement in a hall room is required. For this measurement method, a hall room and large specimen are required. To reduce the costs and time for the qualification of absorbing materials this approach is investigating how a simulation-based model can complement the development of acoustic materials.

Ansatz und Ziel der Simulation

Wenn Werkstoffe als Schallabsorber im Innenraum eingesetzt werden sollen, kommen für die Bewertung des Schallabsorptionsgrades je nach Fortschritt der Qualifizierung verschiedene Messverfahren zum Einsatz. In der ersten Entwicklung und grundsätzlichen Untersuchung der Anwendbarkeit als Schallabsorber kommt häufig ein Impedanzrohr nach /1/ zum Einsatz. Aus den gemessenen Schalldrücken in Phasen- und Amplitudengang kann die Schallabsorption bei senkrechtem Schalleinfall im Labormaßstab an kleinen Proben mit einem Durchmesser von z.B. 130 mm bestimmt werden. Das Messverfahren wird am Institut für Maschinenwesen genutzt, um ein neuartiges Material zu qualifizieren. Nach rechnerischer Auswertung der gemessenen Größen kann der Schallabsorptionswert α bestimmt werden. Der Aufbau wird in /2/ beschrieben.

Wenn die Produktentwicklung am Akustikmaterial abgeschlossen und erfolgreich ist, wird durch die Anwendung des oben genannten Messverfahrens eine Empfehlung ausgesprochen, welches Material sich für die Nutzung als Akustikabsorber besonders eignet und weitergehend qualifiziert werden sollte.

Die weitergehende Qualifizierung erfolgt in einem Hallraum nach /3/. Ein solcher Hallraum zeichnet sich durch ein großes Raumvolumen von über 200 m³ Luftraum und schallharte Wände aus. Die Wände sind so gestaltet, dass sie möglichst breitbandig den Schall im Raum reflektieren und bestehen z.B. aus porenversiegeltem Beton. Dabei ist das Ziel, dass der Raum selbst möglichst wenig Schall absorbiert oder transmittiert und damit möglichst nur der Einfluss des Absorbers gemessen wird. Zur Bestimmung der Absorption wird ein akustischer Impuls im Raum abgegeben und an mehreren Stellen mit Mikrofonen gemessen.

Die Kosten für die Herstellung eines oder mehrerer Impedanzrohre nach Norm DIN EN ISO 10534-2 sind im Vergleich zur Einrichtung eines Hallraums oder Beauftragung eines Prüflabors mit entsprechender Ausstattung sind vernachlässigbar. Daher wird in diesem Forschungsansatz geprüft, ob der Einsatz von Simulationssoftware in der Produktentwicklung von akustisch wirksamen Werkstoffen die Anzahl der Iterationsschleifen verringern kann. Die zugrundeliegende Fragestellung ist, ob Ergebnisse aus dem Impedanzrohr durch Simulation eines Hallraums zu vergleichbaren Ergebnissen führen. In Abbildung 1 ist schematisch dargestellt, wie sich der simulative Ansatz in die Produktentwicklung integriert.

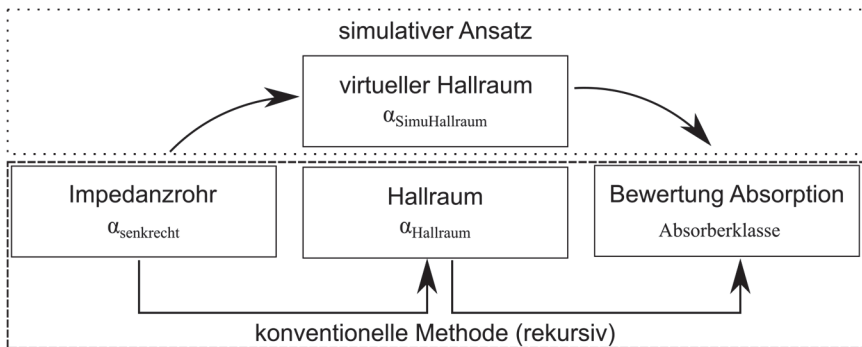


Abbildung 1: Ablaufschema zur Bestimmung der Absorptionsleistung eines Werkstoffes

Für die Qualifizierung des Materials als Büroschallabsorber wird ein vereinfachter Maßstab verwendet, der die Absorptionsleistung von vollständigen Produkten in einem System vergleichbar der Schulnoten angibt, vgl. /4/. Daher bietet ein Absorber der Klasse A eine möglichst gute Absorption in einem breitbandigen Bereich zwischen 125 und 6.000 Hz. Die Absorption wird in einzelnen Oktav-Frequenzbändern bewertet und liegt für einen A-Absorber zwischen 90 und 100% der Bezugskurve, die an das menschliche Gehör angepasst ist. Ein Absorber der Klasse E liegt in einem oder mehreren Oktavbändern in der Nähe von ca. 25% der Bezugskurve.

Ein ähnlicher Ansatz wird von Probst verfolgt, hier werden ermittelte Schallabsorptionskurven aus dem Hallraum als Datengrundlage verwendet, um im Hallraum die Anordnung der Materialien zu untersuchen /5/.

Im Bereich der normativen Anpassung schlägt Nocke vor, die Norm zur Messung im Hallraum unter simulativen Aspekten zu ergänzen. Es wird die Notwendigkeit eines Faktors zur Berücksichtigung der Form von tatsächlichen Absorbern, beispielsweise Schränken vorgeschlagen, die nicht an jeder Oberfläche mit schallabsorbierenden Materialien versehen sind und so zu einem Messfehler führen. Dieser Fehler wirkt sich auf die sogenannte akustisch wirksame Fläche des Absorbers negativ aus, diese Größe kommt im Umfeld von akustischen Raumsimulationen häufig zum Einsatz /6/.

Aufbau des Simulationsmodells zur Untersuchung der Anwendbarkeit des Ansatzes

Bedingt durch die Größe des Simulationsmodells in Kombination mit dem zu untersuchenden Frequenzbereich bietet sich die Nutzung von einem Modell auf Basis der geometrischen Akustik (Ray Acoustics) an. Dieser Ansatz beschreibt das Fortschreiten einer akustischen Welle auf Basis einer Linie (Trajektorie), entlang derer das Schallfeld berechnet wird. Durch diese Anpassung kann die Anzahl der Netzelemente im Luftraum reduziert werden.

Zur Implementierung der Simulation kommt das Ray Acoustics Modul von COMSOL Multiphysics 5.6 zum Einsatz. Das Modell zur Simulation besteht der Norm entsprechend aus einem Luftvolumen von 250 m³. An den Grenzflächen des Luftraums wird eine Bedingung gewählt, die eintreffende Schallwellen nach dem Lambertschen Gesetz reflektiert. Dabei findet kein Energieverlust statt, lediglich der Winkel der eintreffenden Wellen wird in einem Abstrahlwinkel-Bereich verändert.

Wenn plattenförmige Werkstoffe geprüft werden, schreibt die Norm zusätzlich zu den begrenzenden Wänden des Hallraums auch eine nicht absorbierende, räumliche Abtrennung des Prüfobjektes vor. Weiterhin ist die Fläche des absorbierenden Materials A durch die Norm begrenzt. Der Modellaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Als Datengrundlage für eine Verifizierung des Simulationsmodells wird ein Werkstoff gewählt, zu dem sowohl Absorptionskennlinien im Impedanzrohr ermittelt wurden, als auch im Hallraum. Ein in der Schallabsorption gängiges Material ist Melaminharzschaumstoff, zum Beispiel Basotect G. Aus dem Datenblatt /7/ werden zu Vergleichszwecken Absorptionskennwerte abgelesen, die in den beiden oben genannten Messverfahren ermittelt wurden. Dem virtuellen Absorber werden die Absorptionskennwerte aus dem Impedanzrohr zugeordnet. Die abgelesenen Absorptionskennwerte in Terzbändern sind für das jeweilige Messverfahren in Abbildung 3 eingetragen.

In der Abbildung 2 ist die Geometrie des virtuellen Hallraums sowie die Anordnung der Versuchsobjekte dargestellt. Als Schallquelle ist ein „virtueller Lautsprecher“ und als Schalldruckmessgerät ein „virtuelles Mikrofon“ eingetragen. Der virtuelle Lautsprecher ist eine Schallquelle mit semispherischer Wellenausgabe, das bedeutet, dass die Strahlen von einer Halbkugeloberfläche ausgehend ausgesendet werden. Es werden insgesamt 100 Wellenstrahlen pro Frequenz in den Hallraum

abgegeben. Die virtuellen Mikrofone überprüfen, ob in einem Radius um das Mikrofon herum die akustischen Strahlen die Messsphäre des Mikrofons passieren. Die Norm gibt vor, insgesamt 12 Kombinationen aus unterschiedlichen Mikrofonpositionen und Lautsprecherpositionen im Raum zu erstellen. Dies wird im Simulationsmodell durch zwei unterschiedliche Schallquellenpositionen und 6 verschiedenen Mikrofonpositionen implementiert.

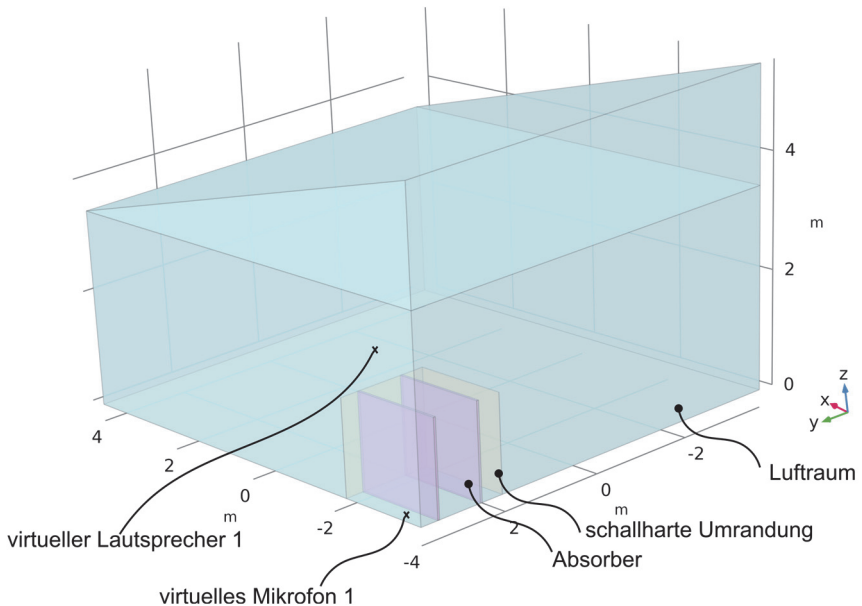


Abbildung 2: Simulationsmodell des Hallraums mit Plattenabsorbern

Aus den generierten Simulationsdaten werden Nachhallzeiten mit einem Abfall des Schallenergiepegels um 60 dB für jede Terzmittenfrequenz zwischen 100 Hz und 5000 Hz ermittelt. Hieraus wird nach Norm eine äquivalente Schallabsorptionsfläche A_T berechnet, die von weiteren Rechengrößen abhängt, vgl. Gleichung 1.

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3 \cdot V \cdot \left(\frac{1}{c_2 \cdot T_2} - \frac{1}{c_1 \cdot T_1} \right) - 4 \cdot V \cdot (m_1 - m_2) \quad 1$$

- mit
- A_i – Äquivalente Schallabsorptionsfläche bei Messung i
 - V – Luftvolumen im Messraum
 - c_i – Schallgeschwindigkeit bei Messung i
 - T_i – Nachhallzeit bei Messung i
 - m_i – Luftabsorptionskoeffizient bei Messung i
 - $i = 1$ – Vergleichsmessung ohne Prüfobjekt (Absorber)
 - $i = 2$ – Messung mit Prüfobjekt (Absorber)

Aus der äquivalenten Schallabsorptionsfläche wird mit Gleichung 2 der Schallabsorptionsgrad α_s bestimmt:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad 2$$

mit A_T – Äquivalente Schallabsorptionsfläche
 S – Gesamte Absorberfläche im Messraum

Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus dem Datenblatt der Firma BASF für die Hallraummessung (α_{Hallraum}), sowie die Ergebnisse aus dem Impedanzrohr ($\alpha_{\text{senkrecht}}$) sind in der folgenden Abbildung 3 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass es zwischen der Messung im Impedanzrohr und der Messung im Hallraum in diesem Fall vor allem im Bereich zwischen 100 und 1250 Hz eine Abweichung der gemessenen Absorption gibt. Ein möglicher Erklärungsansatz ist die nicht vollständige Ausbreitung von Schallwellen mit großer Wellenlänge in einem verhältnismäßig kleinen Versuchsaufbau eines Impedanzrohres.

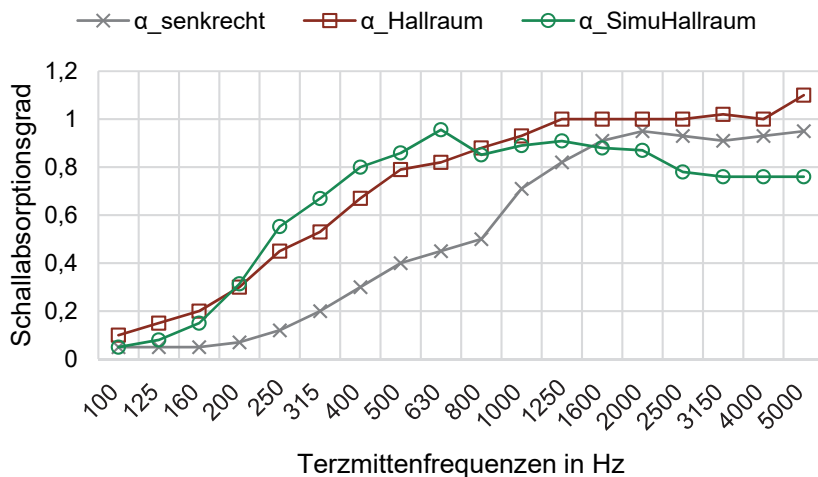


Abbildung 3: Darstellung der Absorptionskurven in den Mess- und der Simulationskonfigurationen

In der Abbildung sind neben den klassischen Versuchsergebnissen auch die Ergebnisse der Simulation dargestellt ($\alpha_{\text{SimuHallraum}}$). Für den Bereich zwischen 160 Hz und 1250 Hz trifft die Simulation das Hallraumergebnis gut, danach kommt es zu einem Abfall der Kurve. Ein möglicher Grund hierfür ist die Festlegung der

Anzahl an ausgesendeten Strahlen aus der virtuellen Schallquelle. Diese Anzahl hat im genutzten Simulationsmodell keinen Bezug zur Frequenz, sie ist als konstante festgelegt. Diese Einstellung kann zu einem verringerten, eingebrachten Energieeintrag im Frequenzbereich oberhalb von 1250 Hz führen.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Ansatz, Simulationen zur Verkürzung der Entwicklungszeit von akustischen Materialien einzusetzen, ist vielversprechend. Der Vergleich der Ergebnisse von schallabsorbierenden Materialien legen nahe, dass die Parametrisierung des Simulationsmodells ein wichtiger Faktor für die Anwendbarkeit darstellt.

Mögliche Ansatzpunkte zur Verbesserung der Parametrisierung, wie zum Beispiel die Anzahl der ausgesendeten Strahlen, eine Frequenzabhängigkeit der gegenwärtig optimal absorbierenden Wände oder auch der Einfluss der Mikrofonposition im virtuellen Modell müssen geprüft werden.

Ein weiterer Ansatz sieht die Integration von Rechenmodellen zur Vorhersage des Schallabsorptionskoeffizienten von porösen Materialien vor.

Literatur

- /1/ Norm DIN EN ISO 10534-2: Akustik – Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren, Beuth Berlin 2001
- /2/ Rehmet, R.; Freundt, F.; Weilandt, T.: Institutsmitteilung Nr. 44, Institut für Maschinenwesen, Technische Universität Clausthal 2019
- /3/ Norm EN ISO 354: EN ISO 354:2003 Messung der Schallabsorption in Hallräumen, Beuth Berlin 2003
- /4/ Norm EN ISO 11654: Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden, Beuth Berlin 1997
- /5/ Probst, W.: Die Bestimmung des Absorptionsgrads im „virtuellen“ Hallraum, Zeitschrift Lärmbekämpfung Bd. 10, Nr. 5, VDI Fachmedien Düsseldorf, 2015
- /6/ Nocke, C.: Akustikmöbel – Modellierung zur Simulation, Zeitschrift Lärmbekämpfung Bd. 12, Nr. 6, VDI Fachmedien Düsseldorf, 2017
- /7/ BASF SE GBU Specialty Plastics: Acoustics Basotect G. Technical Informatio, Online verfügbar unter <http://www.postacoustics.nl/wp-content/uploads/2014/05/Acoustic-properties-Basotect-G1.pdf>, BASF Ludwigshafen, 2009