

Akustische Freifeldeigenschaften komplexer Materialsysteme im geschlossenen Akustik-Rohr

Michael M. Becker¹, Lea Kollmannsperger¹, Sarah C.L. Fischer¹

¹ Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, 66123 Saarbrücken,
E-Mail: michael.becker@izfp.fraunhofer.de

Einleitung

Raumakustik, akustische Abstrahlung und deren Modulation durch gezielte Material- und Geometrie-Anpassungen sind heute essentieller Bestandteil der meisten Entwicklungs- und Designprozesse von Produkten. Die Möglichkeiten zur numerischen Abbildung akustischer Eigenschaften wachsen stetig und deren Vorhersagequalität wächst ebenfalls. Hierbei stellen die Untersuchungen der Freifeldeigenschaften sowie die Bestimmung der akustischen Impedanz wichtige Kenngrößen zur Verfügung, um einerseits genaue numerische Vorhersagen zu treffen und andererseits eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Werkstoffen gleicher Geometrie herzustellen. Vor dem Hintergrund der räumlichen und technischen Anforderungen der beiden Methoden steht die gezielte Entwicklung komplexer Materialsysteme und Werkstoffverbunde vor der Herausforderung, die angestrebten schnellen und kosteneffizienten Entwicklungszyklen einzuhalten während die notwendigen quantitativen Untersuchungen nicht im erforderlichen Maße jederzeit zur Verfügung stehen. Mit diesem Beitrag wird dieses Thema in der Form adressiert, dass ein Ansatz vorgestellt wird, wie im Rahmen von Messung in einem spezialisierten geschlossenen Akustik-Rohr einerseits grundlegende Impedanz und andererseits Freifeldeigenschaften vergleichbar zwischen unterschiedlichen Materialsystemen bestimmt werden können. Von besonderem Interesse sind hier Materialsysteme, die selektiv resonant und absorbierend agieren können und dadurch spezielle Anforderungen an die Prüfumgebung hinsichtlich der Quantifizierbarkeit der Ergebnisse stellen.

Akustisch aktive Metamaterialien (AAMM)

Akustisch aktive Metamaterialien sind Gegenstand der Forschung in der Materialwissenschaft und Werkstoffentwicklung. Sie sind künstlich hergestellte hoch strukturierte Werkstoffe, die speziell so konzipiert sind, dass sie Schallwellen auf eine Weise manipulieren können, die über die konventionellen akustischen Eigenschaften des Grundwerkstoffs oder der Grundwerkstoffe hinaus gehen [1,3].

Die einzigartigen Eigenschaften von akustisch aktiven Metamaterialien ergeben sich aus ihrer Struktur, die auf einer Skalenebene vorliegt, die bedeutend kleiner als die Wellenlänge der akustischen Wellen ist, mit welchen die Wechselwirkung stattfinden soll. Diese Struktur ermöglicht es diesen Werkstoffen in einem Maße Schallwellen gezielt zu absorbieren, zu beugen, zu fokussieren oder auszulöschen, die den Grundwerkstoff und vorzugsweise vergleichbare technische Lösungen übertrifft. Dies kann in einer Vielzahl

von Anwendungen genutzt werden, von der Schallisolierung über die Verbesserung der Raumakustik bis hin zur Optimierung von Ultraschallanwendungen [1,2].

Ein Beispiel für den Einsatz akustisch aktiver Metamaterialien sind Schallabsorber. Hierbei ist das Material so konzipiert, dass es Schallwellen effizient absorbiert und so die Reflexion und Transmission von Schall minimiert wird. Dies kann beispielsweise in Gebäuden oder Fahrzeugen verwendet werden, um unerwünschte Geräusche zu reduzieren oder richtungsabhängiges Verhalten zu erzeugen[2].

Weitere mögliche Forschungsfelder sind so genannte „akustische Tarnkappeneigenschaften“, die durch gezielte Schallumleitung, die geringe Reflexion bei geringer Absorption von Schallenergie ermöglichen sollen [1].

Herausforderungen bei der systematischen Entwicklung der AAMM

Die Forschung und Entwicklung von akustisch aktiven Metamaterialien ist ein sich schnell entwickelndes Feld, welches aufgrund der Vielfalt möglicher Anwendungen eine Vielzahl an Forschungsthemen, Materialklassen und Einsatzbereiche umfasst. Mit dem Ziel, Schallabsorption, Schalltransmission und Schallreflexion auf neue Arten, in anderen Geometrien oder durch andere Materialien zu realisieren, werden oftmals auch Herstellungsverfahren und Werkstoffe an ihre technischen Grenzen gebracht und darüber hinaus weiterentwickelt. Gerade diese multimodal verknüpfte Forschung zu Effekt, Werkstoff und Herstellung führen dazu, dass die Größe, Menge oder Reproduzierbarkeit der Proben im Labormaßstab liegen. Eine reine Bestimmung der akustischen Impedanz im Impedanzrohr ist zumeist für Absorbereigenschaften noch umsetzbar. Jedoch entsteht ein Konflikt mit den Anforderungen, dass akustische Eigenschaften von Oberflächen und Strukturmaterialien, die im Bereich unter 1000 Hz wirksam sein sollen schwer bis gar nicht qualitativ und quantitativ auf ihre komplexen funktionalen Zusammenhänge hin untersucht werden können. Folgende Randbedingungen der AAMM erfordern besondere Herangehensweisen bei der quantitativen Bestimmung von Eigenschaften und Herstellung von Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Lösungen:

- Komplexe innere Strukturen und/oder gradierter anisotroper Aufbau
- Kombinationen aus schallharten, absorbierenden und dämpfenden Strukturen
- Frequenzabhängiges und/oder zeitlich veränderliches Verhalten

- Struktur- und Probengrößen mit zu geringer Größe für Freifeldvermessung ihrer raumakustischen Eigenschaften

Qualitative und quantitative Bewertung in kompakter Freifeld-ähnlicher Umgebung

Um die schnelle und gezielte Entwicklung von AAMM zu unterstützen und perspektivisch die Qualitätssicherung in seriennahen und Serienprozessen sicherzustellen beschäftigen sich die Autoren mit der Entwicklung von freifeld-ähnlichen Messmethoden in einem geschlossenen Rohr mit endlicher Probengeometrie und einem breiten Frequenzspektrum. Hierbei ist das Ziel eine umfassende Charakterisierung mit Einzeltönen, Rauschen und anwendungsnahen Geräuschen umzusetzen und hierbei folgende Eigenschaften zu vermessen:

- Reflexionsverhalten
- Transmissionsverhalten
- Absorptionsverhalten
- Zeitabhängige Veränderung von Eigenschaften

Abbildung 1 zeigt eine Skizze des möglichen Aufbaus für ein solches Akustikrohr.

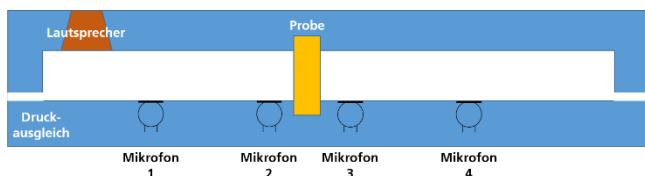


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Akustikrohrs mit Proben- und Messpositionen sowie senkrecht einschallende Schallquelle.

Hierbei ist zu beachten, dass das gesamte Rohr schallabsorbierend ausgeführt und die Frequenzbereiche in denen eine Freifeld-ähnliche Messung möglich ist direkt mit diesem Material und möglichen Reflexionen in Verbindung stehen. Alle Mikrofone, Schallquellen und Proben sind direkt mit dem Absorptionsmaterial verbunden und nutzen dessen Eigenschaften zur Unterdrückung von Geräuschen aus der Trägerstruktur. Die beiden Enden vor und hinter der Probe sind druckausgleichend, aber absorbierend ausgeführt.

Es werden aktuell 4 Mikrofone eingesetzt, wobei unterschiedliche Ziele mit den Messpositionen verfolgt werden:

- Mikrofon 1: Aufnahme Sendesignal und Reflexionserkennung von Seiten der Probe
- Mikrofon 2 und 3: Messstellen für Reflexion und Transmission
- Mikrofon 4: Plausibilität des Freifeld-Amplitudenverlaufs, Rauschpegelbestimmung, Störgeräuschermittlung

Über die beschriebene Anordnung werden Messungen an den ortsfesten Mikrofonpositionen ausgeführt, die in ein Verhältnis mit bekannten geometrischen und/oder

werkstofflichen Grenzfällen gesetzt werden. Hierbei sind eine genaue Kenntnis der Proben- und Mikrofonposition erforderlich. Diese Informationen zusammen mit Referenzwerten für ideale Absorption und Reflexion der Schallenergie werden zur Quantifizierung der Anteile der Schallenergie verwendet. Als Vergleichsmethoden werden je nach Metamaterialsystem Impedanzrohrmessungen oder mechanische Tests auf Schwingungsmessständen herangezogen.

Die Herausforderungen in der Entwicklung und Qualifizierung der Untersuchungsmethoden liegen in:

- Geringer Anzahl möglicher quantitativer Vergleichsmethoden
- Absicherung der zulässigen Frequenzbereiche für Einzeltöne
- Schallsysteme für Geräusche und Rauschmessungen
- Analytische Lösungen zur Berechnung bei komplexen Oberflächengeometrien

Fazit

Der Bedarf nach flexibler und angepasster Methodik für die Untersuchung des AAMM ist offensichtlich. Die hieraus resultierenden Anforderungen an frühe Tests über akustische Impedanzwerte hinaus sind bekannt und können aus Sicht der Autoren mit der vorgestellten Variante der pseudo-Freifeldmessung im Akustikrohr adressiert werden.

Die größte Herausforderung in der Forschung und Entwicklung dieser Lösung liegt in der Quantifizierbarkeit der Ergebnisse, um eine Vergleichbarkeit zwischen Werkstoffklassen und Metamaterialstrukturen herzustellen.

Literatur

- [1] TUM - Prof. Dr.-Ing. Steffen Marburg: Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme – Akustische Metamaterialien, URL: <https://www.epc.ed.tum.de/vib/forschung/akustische-metamaterialien/>
- [2] Fraunhofer LBF - Dipl.-Ing. Heiko Atzrodt: Vibroakustische Metamaterialien zur Schwingungs- und Lärminderung, URL: <https://www.lbf.fraunhofer.de/de/forschungsbereiche/adaptronik/vibroakustische-metamaterialien.html>
- [3] TUM – Prof. Müller: Lehrstuhl für Baumechanik - Akustische Metamaterialien & periodische Strukturen, URL: <https://www.cee.ed.tum.de/bm/forschung/forschungsbereiche/akustische-metamaterialien/>