Metamaterial Resonanz-Absorber für tiefe und breitbandige Schallabsorption

Tim Arne Krohn[1], Prof. Dr. Rolf Bader[2], Patrick Kontopidis[3]

[1 2 3] *Musikwissenschaftliches Institut der Universität Hamburg, 20354 Hamburg,*
[1] *E-Mail: tim.arne.krohn@gmail.com*
[2] *E-Mail: R_Bader@t-online.de*
[3] *E-Mail: patrick.kontopidis@uni-hamburg.de*

1. Akustische Metamaterialien

Der Forschungsgegenstand *Metamaterialien* erfährt in der technischen Akustik zunehmend an Aufmerksamkeit. Die Entwicklung akustischer Linsen, sowie neuer Resonanz-Absorber, kann mithilfe der Finite-Elemente-Methode und des 3-D Druckverfahrens beschleunigt werden. Hierbei werden zwecks Schallmodellierung komplexe, periodische Geometrien versuchsweise konzipiert, berechnet, hergestellt und in einem geeigneten Messstand untersucht. Die Proben erhalten dabei oftmals eine Labyrinthstruktur. Es konnten bereits durch [1] hohe frequenzabhängige Absorptionsgrade, im Vergleich zur Abmessung der Proben, erreicht werden. In diesem Kontext wurde ein Metamaterial Resonanz-Absorber an dem Institut für Systematische Musikwissenschaften der Universität Hamburg entwickelt, berechnet und gemessen. Zielsetzung war die Entwicklung eines Breitbandabsorbers mit Hilfe von Metamaterialien in kleinem Maßstab mit der Fragestellung, wie tieffrequenter Schall effektiv und platzsparend absorbiert werden kann. Die angewandten Methoden und die Ergebnisse sollen im Folgenden Manuskript vorgestellt werden.

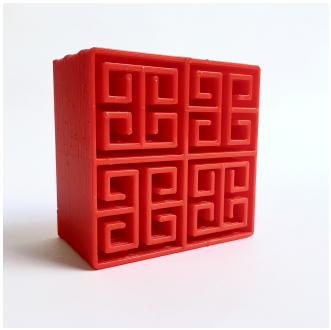


Abbildung 1: Metamaterial Resonanz-Absorber, erstellt mittels 3D-Druckverfahren

2. Konzeption und Methoden

Inspiration für die Konzeption periodischer Geometrien konnte in der klassischen Ornamentik gefunden werden. In Betracht kamen Ornamente, welche unter Berücksichtigung akustischer Aspekte vielversprechend erschienen. Diese wurden computergestützt zwei- und dreidimensional modelliert und mit Hilfe der Finite Elemente Methode (Comsol Multiphysics) auf ihre Eigenfrequenzen untersucht [2]. Hierbei konnten Strukturen mit außergewöhnlich tiefen Eigenfrequenzen gefunden werden. Die Herstellung der Resonatordesigns wurde mittels 3-D Druckverfahren realisiert. Die Proben wurden so dimensioniert, dass diese in einem Impedanzrohr mit Hilfe der Stehwellenmethode nach ISO 10534-1 [3] untersucht werden konnten. Das Impedanzrohr hat aufgrund der Maße 1 m mal 0,1 m einen Arbeitsbereich von 300 Hz bis 2000 Hz.

3. Ergebnisse der Berechnungen und Messungen

Es zeigte sich, dass der Metamaterial Resonanz-Absorber in einem zweidimensionalen Modell rechnerisch eine sehr niedrige Eigenfrequenz aufweist. Diese liegt bei 419 Hz und befindet sich somit im Subwellenlängenbereich, verglichen zu den Maßen des Materials mit den Abmessungen 7 cm x 7 cm x 4 cm.

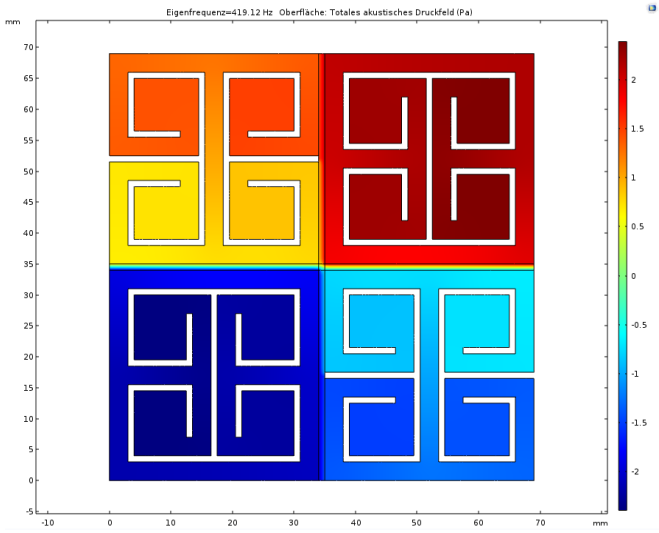


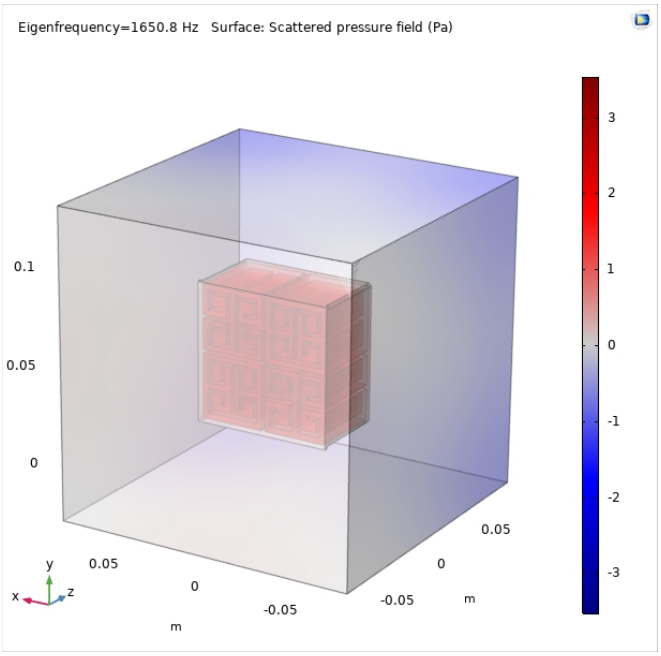
Abbildung 2: Metamaterial Resonanz-Absorber, zweidimensionale Eigenfrequenzanalyse FEM mit der tiefsten Eigenfrequenz von 419 Hz

Tabelle 1: Ergebnisse der zweidimensionalen Eigenfrequenzanalyse des akustischen Metamaterials

Eigenfrequenzen	
1.	**419 Hz**
2.	**437 Hz**
3.	**588 Hz**
4.	**971 Hz**
5.	**1007 Hz**
6.	**1010 Hz**
7.	**1014 Hz**

Da sich der frequenzielle Abstand der Partialtöne aufsteigend verringert [4], wurde angenommen, dass im mittleren und hohen Frequenzbereich breitbandige Resonanz stattfinden kann. Diese konnte rechnerisch nachgewiesen werden.

Ein FEM 3-D Modell mit zusätzlichem Druckfeld ergab, dass der Metamaterial Resonanz-Absorber in dem Arbeitsbereich des Impedanzrohres zwei Frequenzen, 1150 Hz und 1650 Hz, aufweist, bei dem der Resonator mit dem umgebenden Luftvolumen interagiert.



A b b i l d u n g 3 : Metamaterial Resonanz-Absorber, dreidimensionale Eigenfrequenzanalyse FEM, Interaktion mit dem umgebenden Luftvolumen bei 1650 Hz

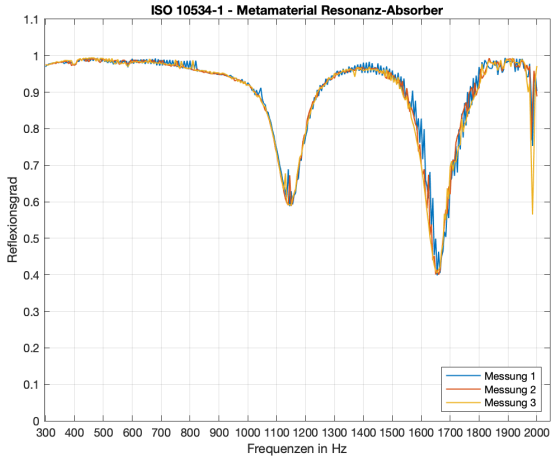


Abbildung 4: Messungen des Metamaterial Resonanz-Absorbers in einem Impedanzrohr nach ISO 10534-1. Reflexionsfaktor der Frequenz 1150 Hz bei 0,6, Reflexionsfaktor der Frequenz 1650 Hz bei 0,4

Die errechneten Frequenzen konnten durch Messungen in dem Impedanzrohr nachgewiesen werden. Der Reflexionsfaktor der Frequenz 1150 Hz liegt bei 0,6. Der Reflexionsfaktor der Frequenz 1650 Hz liegt bei 0,4. Hierdurch konnte eine akustische Wirksamkeit nachgewiesen werden, allerdings nicht in dem erwarteten Spektrum, welches aus der zweidimensionalen Berechnung hervorgeht.

4. Fazit

Zielsetzung der Studie war es, ein Material herzustellen, welches sich durch breitbandige Absorption, insbesondere im tieffrequenten Bereich, ähnlich dem Prinzip des Helmholtz-Resonators und des Plattenresonators, auszeichnet. Applikationen auf engem Raum, wie etwa in der Fahrzeug- und Medizintechnik, sind denkbar. Des Weiteren ist die Konstruktion materialunabhängig, da die Schallabsorption mit Hilfe des Luftvolumens innerhalb des Metamaterial Resonanz-Absorbers erzielt wird. Somit ergeben sich neue Möglichkeiten der innenarchitektonischen Gestaltung. Insbesondere ist der Ansatz von Interesse, Materialien zu entwickeln, die trotz kleiner Abmessungen einen hohen Absorptionskoeffizienten im tieffrequenten Bereich aufweisen.

5. Literatur

[1] Jiang, X., Liang, B., Li, R., Zou, X., Yin, L. & Cheng, J. (2014). Ultra- broadband absorption by acoustic metamaterials. APPLIED PHYSICS LET- TERS, 105(243505).

[2] Prof. Dr. Rolf Bader, Stefanie Gernert, Johannes Mischo. (2020). Metamaterial labyrinth wall for very low and broad-band sound absorption. https://doi.org/10.5281/zenodo.3870554

[3] Möser, M. (2015). Technische Akustik (VDI-Buch) (10. Aufl. 2015 Aufl.). Springer Vieweg.

[4] Lerch, R., Sessler, G. & Wolf, D. (2009). Technische Akustik: Grundlagen und Anwendungen (2009. Aufl.). Springer.