

Aufbau eines adaptiven Helmholtzresonators zur gezielten Frequenzgangbeeinflussung

Christian Thyes¹, Oliver Heuss², Tim Bastian Klaus², Joachim Bös¹, Holger Hanselka^{1,2}

¹ LOEWE-Zentrum AdRIA, Fachgebiet SzM, TU Darmstadt

² LOEWE-Zentrum AdRIA, Fraunhofer LBF, Darmstadt

thyес@szm.tu-darmstadt.de

Einleitung

Der vorliegende Artikel beschreibt die Auslegung, den Aufbau und die Validierung eines adaptiven Helmholtzresonators. Durch ihn wird es möglich, ungewünschte Resonanzüberhöhungen in schwach gedämpften Luftvolumina zu beeinflussen.

Der Akustik-Demonstrator

Am LOEWE-Zentrum AdRIA wurde ein Demonstrator zur Untersuchung von Fluid-Struktur-Interaktion aufgebaut. Dieser ist in Abbildung 1 gezeigt. Im Frequenzbereich bis 500 Hz können seine fünf Seitenwände als nahezu ideal steif angesehen werden. Zusätzlich besitzt er einen Deckel aus wahlweise flexiblem oder steifem Material. Ein akustisch wirksamer Innenraum wird umschlossen.

Für die folgenden Untersuchungen des Luftvolumens wird die steife Variante des Deckels verwendet.



Abbildung 1: Akustik-Demonstrator

Auslegung und Fertigung des Helmholtzresonators

Die sehr steifen und glatten Wände können näherungsweise als ideal schallhart angenommen werden. Aufgrund dieser nahezu ideal schallharten Wände und der damit verbundenen geringen Dämpfung bilden sich ausgeprägte akustische Raummoden im Inneren aus. Diese Raummoden können mit der Wellengleichung aus [1] zu

$$f = f_{l,m,n} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (1)$$

berechnet werden. Dabei stellen L_x , L_y und L_z die Ausdehnungen des Luftvolumens in den drei Raumrichtungen

dar, l , m und n die Indizes in den jeweiligen Raumrichtungen und c entspricht der Schallgeschwindigkeit.

Zur gezielten Frequenzgangbeeinflussung werden für mechanische Strukturen wie Brücken meist mechanische, gedämpfte Tilger eingesetzt. In der Akustik können Helmholtzresonatoren zur Tilgung von Eigenfrequenzen eingesetzt werden. Sie funktionieren in ähnlicher Weise wie ein mechanischer Tilger, nutzen aber ausschließlich die Luft, um Steifigkeit und Masse abzubilden.

Die Eigenfrequenz eines Helmholtzresonators kann in erster Näherung nach [2] zu

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{F}{V(l + \alpha)}} \quad (2)$$

angegeben werden. Zur Berechnung geht die Fläche F und Dicke l der Halsöffnung, das Luftvolumen V sowie eine Halskorrektur α ein. Die Halskorrektur α berücksichtigt die mitschwingende Luft außerhalb des Halses sowie die Halsgeometrie und liegt in der gleichen Größenordnung wie die Dicke l .

Besteht der Wunsch einer Tilgung unterschiedlicher Moden, muss eine Stimmbarkeit des Tilgers vorgesehen werden. Dafür kann beim aufgebauten Helmholtzresonator sowohl das akustisch wirksame Luftvolumen im Resonatorhals als auch das Volumen im Korpus verändert werden. Im ersten Fall werden unterschiedliche Deckel eingesetzt, im zweiten Fall wird ein im Resonator befindlicher Kolben bewegt. Die Fertigung des in Abbildung 2 gezeigten Resonators erfolgte mit einem Rapid-Prototyping-Verfahren [3].

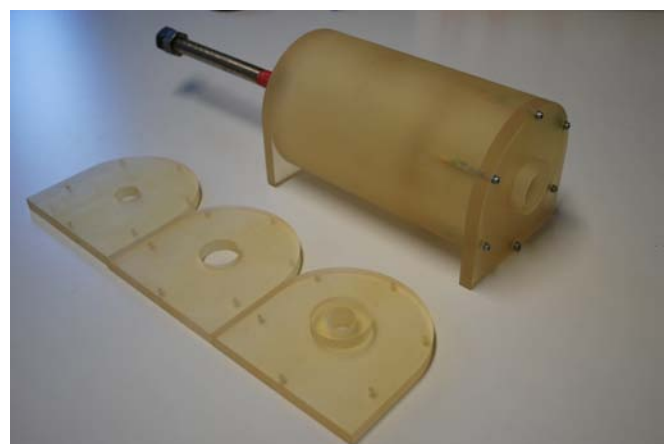


Abbildung 2: Adaptiver Helmholtzresonator

Simulation und Validierung

Es wird ein Versuchsaufbau gewählt, bei dem die akustische Anregung mit einer Volumenschallquelle in einer Ecke des Demonstrators und die Schalldruckmessung in der gegenüberliegenden Ecke des Demonstrators stattfindet. Dieser Aufbau liegt sowohl physikalisch als auch in der vibroakustischen Simulationsumgebung *Virtual.Lab* vor.

Zur Überprüfung des prinzipiellen Aufbaus wird das Spektrum des Schalldruckpegels in der Finite-Elemente-Simulationsumgebung berechnet. Die Anregung erfolgt dabei mit einem akustischen Monopol (Punktschallquelle). Die Amplitude A des Zentrums der Quelle wird dabei zu eins gewählt. Der berechnete Frequenzgang wird in Abbildung 3 gezeigt. Dabei stimmen die Resonanzfrequenzen mit den Lösungen der analytischen Gleichung aus (1) in sehr guter Näherung überein.

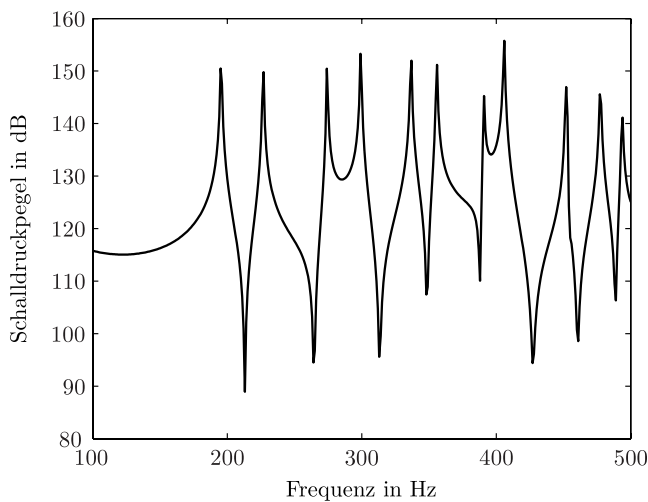


Abbildung 3: Berechnetes Spektrum des Schalldruckpegels

Da der adaptive Helmholtzresonator unterschiedliche Resonanzfrequenzen einnehmen kann, wird beispielhaft ein Experiment (numerisch als auch experimentell) mit einer Abstimmung auf die erste Hohlraummode des Volumens durchgeführt. Dafür wird der Resonator in den Demonstrator integriert und das akustisch wirksame Volumen des Resonators mit Gleichung (2) eingestellt. Abbildung 4 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des Frequenzgangs aus der numerischen Simulation von 150 bis 250 Hz und aus dem Experiment. Dargestellt ist der Schalldruckpegel an der Mikrofonposition umgerechnet auf eine Anregungsamplitude A von eins.

In Abbildung 4 ist dabei die qualitative Übereinstimmung der numerischen Simulation und des Experiments gut zu erkennen. Durch das Einbringen des Resonators wird es möglich, die Resonanzüberhöhung im Frequenzgang maßgeblich zu beeinflussen. Die Verschiebung in den Amplituden zwischen Experiment und numerischer Simulation sind Grundlage für weitere Untersuchungen.

Fazit

In diesem Beitrag wurde die Auslegung und numerische und experimentelle Validierung eines Helmholtzresonators gezeigt. Beispielhaft wurde eine einzelne Mode beeinflusst. Die Beeinflussung einer Mode mit Hilfe eines Helmholtzresonators beeinflusst weitere Moden kaum. Es scheint daher möglich, in einem nächsten Schritt eine Kombination aus mehreren Helmholtzresonatoren zur Beeinflussung unterschiedlicher Eigenfrequenzen aufzubauen.

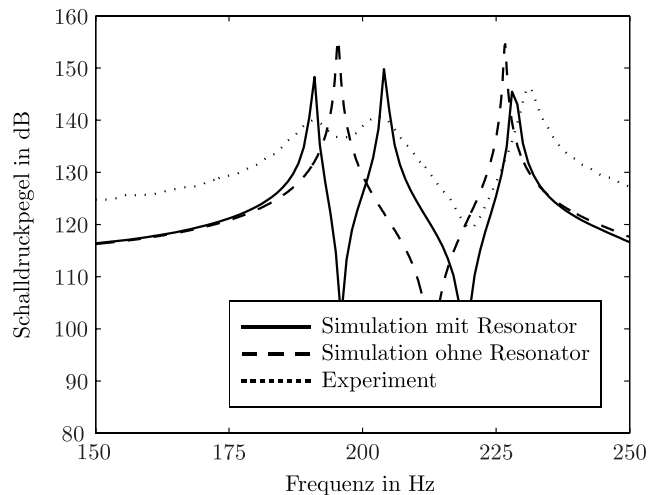


Abbildung 4: Ausschnitt der Spektren des Schalldruckpegels der numerischen Simulationen und des Experiments

Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Forschungsarbeiten wurden möglich durch LOEWE-Mittel des Landes Hessen.

Literatur

- [1] Möser, Michael: Technische Akustik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2009
- [2] Alster, M.: Improved Calculation of Resonant Frequencies of Helmholtz Resonators. Journal of Sound and Vibration, 1972
- [3] Klaus, Tim Bastian: Entwurf eines geregelten Helmholtz-Resonators zur aktiven Beeinflussung von Hohlraumsvingungen. Diplomarbeit, Technische Universität Darmstadt, 2010