

Mikroperforierter Absorber als Schalldämpfer

Peter Brandstätt, Karlheinz Bay, Michael Krämer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: brandstaett@ibp.fhg.de

Einleitung

Absorber mit Mikroperforation (MPA) haben sich in der Raumakustik bewährt. Ihr Einsatz als Schalldämpfer ist auch für Heizungs- und Lüftungsanlagen möglich, erfordert aber angepasste Berechnungen, die vom Aufbau des Schalldämpfers abhängen. Der Beitrag geht auf das Wirkprinzip der Mikroperforation ein und stellt Berechnungsverfahren mit Ergebnissen für die Dämpfung vor. Vergleiche mit Messungen an Muster-Schalldämpfern zeigen die realisierbare Dämpfung und geben zusammen mit Parametervariationen Hinweise zum praktischen Einsatz.

Wirkung mikroperforierter Absorber

Die Wirkung beruht auf einem flächenhaften Helmholtzresonator, wenn die mikroperforierte Schicht der Dicke t vor einem abgeschlossenen Luftvolumen der Tiefe d angebracht wird. Zusätzlich entstehen in den regelmäßig im Abstand a angeordneten Löchern mit einem Durchmesser b von typischerweise 1 mm hohe Reibungsverluste, da der Lochradius in der Größenordnung der akustischen Grenzschicht für laminare Durchströmung liegt. Der Absorptionsgrad eines MPA kann mit der angepassten Theorie nach Maa [1] aus der Eingangsimpedanz berechnet werden, die sich aus den Anteilen für die flächengemittelte Impedanz der Lochplatte und des dahinter liegenden Wellenleiters (Wandabstand d) ergibt. Diese Berechnung hat sich vielfach bewährt und führt zu guter Übereinstimmung mit Messungen im Impedanzrohr.

Aufbau der Rohrschalldämpfer

Zur Herstellung der Rohrschalldämpfer dienen handelsübliche Gehäuse mit Außendurchmesser d_a und Länge L , bei denen das Innenrohr mit dem Durchmesser d_i durch verschieden mikroperforierte Rohre ersetzt wurde. Dadurch entsteht eine Hohlkammer, die, wie in Abbildung 1 dargestellt, nur mit Luft gefüllt ist und hier als homogener Aufbau bezeichnet wird. Die Kammertiefe T ergibt sich dabei durch $T=(d_a-d_i)/2$. Eine zweite Variante wurde durch Unterteilung der Hohlkammer mit Schottblechringen in mehrere gleich große Teilkammern realisiert. Diese Variante wird im Folgenden als kassetierter Aufbau bezeichnet.

Abschätzung der Dämpfung

Zur Abschätzung der Dämpfung wurde für den kassetierten Aufbau zum einen die Pieningschen Formel [2] verwendet, wobei für den dort einzusetzenden frequenzabhängigen Absorptionsgrad die nach [1] berechneten Werte für senkrechten Schalleinfall herangezogen werden. In einem weiteren Ansatz wurde nach dem in [3] für passive Schalldämpfer beschriebenen Kettenbruchverfahren aus der Eingangsimpe-

danz des MPA als Absorberfunktion die Lösung der komplexen axialen Wellenzahl für die ebene Welle im Innenrohr ermittelt und damit die Dämpfung berechnet.



Abbildung 1: Blick in einen geöffneten Rohrschalldämpfer mit mikroperforiertem Innenrohr.

Im Fall des homogenen Aufbaus wurde zunächst eine Abschätzung der Dämpfung für die Hohlkammer ohne Innenrohr durchgeführt. Dazu wird die Hohlkammer als Wellenleiter betrachtet, der aufgrund der unterschiedlichen Querschnitte von Kammer und Anschlussrohren einen Impedanzsprung an den Anschlüssen erfährt [4]. Des Weiteren wurde ein vollständiges Modell, basierend auf bekannten Verfahren z.B. nach [4, 5], entwickelt, bei dem die Schallfelder im Hohlraum und im Innenrohr über die Impedanz der mikroperforierten Schicht gekoppelt werden. Dies führt zur Beschreibung des Schalldämpfers als Element einer 2×2 Übertragungsmatrix, aus der unter Einbeziehung der ein- und auslassseitigen Kanalelemente die Dämpfung berechnet wird. Alle vorgestellten Verfahren liefern die Dämpfung der ebenen Welle im Innenrohr.

Vergleich mit Messungen

In Abbildung 2 ist der Vergleich der Messung eines Rohrschalldämpfers, der in drei gleich große Kammern unterteilt wurde, mit den Abschätzungen für den kassetierten Fall dargestellt. Die Wirkung des MPA ist deutlich ausgeprägt mit ca. 35 dB im Dämpfungsmaximum bei 400 Hz. Die einfache Abschätzung nach Piening führt zu erstaunlich guter Übereinstimmung, wenn der dort üblicherweise verwendete Faktor von 1.5 auf 1.8 angepasst wird. Größere Abweichungen ergeben sich bei Verwendung des zweiten Verfahrens, deren Ursachen wohl in der Herkunft von passiv wirkenden Schalldämpfern zu suchen sind.

Abbildung 3 zeigt analog den Vergleich für einen weiteren Schalldämpfer ohne Unterteilung der Hohlkammer mit den Berechnungen für den homogenen Fall. Der Verlauf der Dämpfungskurve wird dabei im Wesentlichen durch die Längsresonanzen der Hohlkammer bestimmt, wie der Vergleich mit der entsprechenden Berechnung belegt. Bei Verwendung des vollständigen Rechenmodells ist der zusätzli-

che Anteil des MPA erkennbar und führt zu guter Übereinstimmung mit den Messwerten.

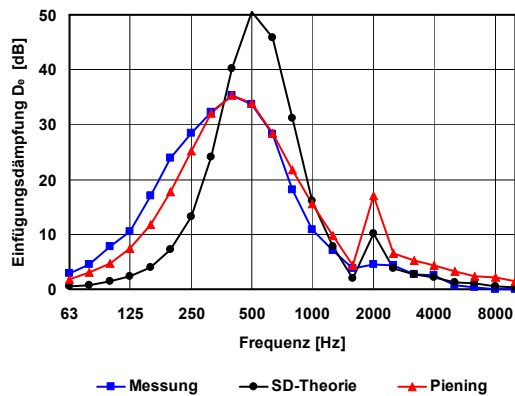


Abbildung 2: Vergleich von gemessener und berechneter Dämpfung für den kassettierten Fall mit $d_i = 100$ mm, $d_a = 300$ mm, $L = 500$ mm, $t = b = 0.5$ mm, $a = 5$ mm.

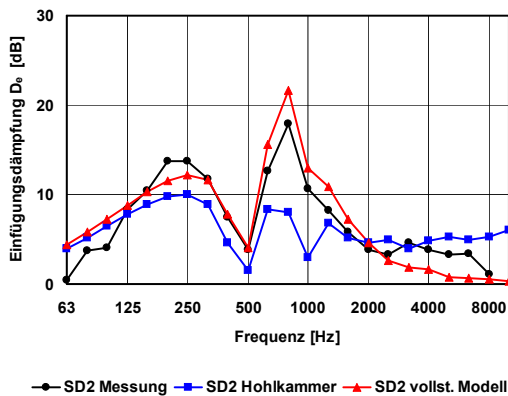


Abbildung 3: Vergleich von gemessener und berechneter Dämpfung für den homogenen Fall mit $d_i = 100$ mm, $d_a = 250$ mm, $L = 360$ mm, $t = 0.5$ mm, $b = 0.6$ mm, $a = 6$ mm.

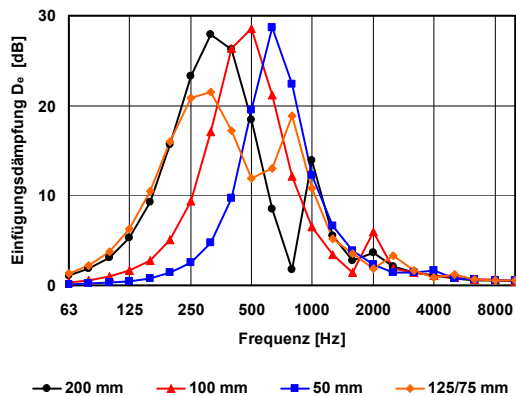


Abbildung 4: Berechnete Dämpfung des Schalldämpfers nach Abbildung 2 (theoretisches Modell) mit Kammertiefe T als Parameter.

Parametervariationen

Mit den vorgestellten Rechenverfahren und Messungen an weiteren Schalldämpfern wurden Parametervariationen durchgeführt, um Aufschluss über deren Einfluss auf das Dämpfungsspektrum zu erhalten. Beispielhaft sind in den Abbildungen 4 und 5 die Ergebnisse für zwei Parameter

herausgegriffen. Abbildung 4 zeigt für den kassettierten Schalldämpfer mit den in Abbildung 2 gegebenen Daten die Auswirkung der Kammertiefe und eines 2-lagigen mikroperforierten Aufbaus. Bei identischer Mikroperforation lässt sich damit die Lage des Dämpfungsmaximums einstellen oder, für den 2-lagigen Aufbau, eine Dämpfung mit breitbandigerem Verlauf realisieren. Die in Abbildung 5 dargestellten Dämpfungsspektren für den homogenen Schalldämpfer entstehen durch Änderung der Kammerlänge und verändern damit den gesamten Verlauf der Dämpfung. Die gedankliche Überlagerung der Kurven lässt als erste Näherung bereits das Potential hinsichtlich einer tieffrequenten und breitbandigen Dämpfung mehrerer hintereinander angeordneter und verschieden abgestimmter Kammern erkennen.

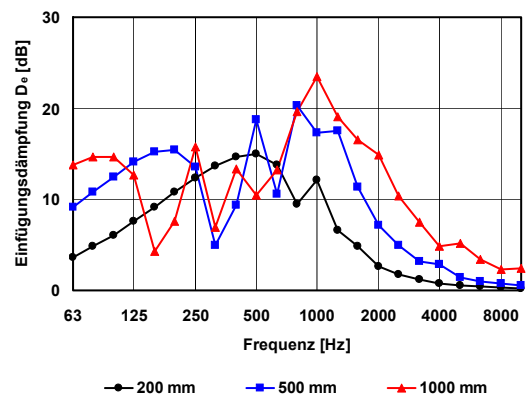


Abbildung 5: Berechnete Dämpfung des Schalldämpfers nach Abbildung 3 (vollständiges Modell) mit Länge L als Parameter.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Messungen an mikroperforierten Schalldämpfern haben gezeigt, dass sowohl die Wirkung der Mikroperforation als auch der Hohlkammer vorhanden und nutzbar sind. Mit den Modellierungen konnten diese Anteile identifiziert und quantifiziert werden. Damit stehen Schalldämpfer mit abstimmbarer Dämpfung zur Verfügung, die gänzlich ohne Absorptionsmaterial auskommen und dadurch leicht gereinigt werden können. Die weitere noch ausstehende Modellierung sieht die Kombination mehrerer Kammern und homogen geschichteter Aufbauten vor.

Literatur

- [1] Maa, D.Y.: Microperforated-Panel Wideband Absorbers. *Noise Control Engineering Journal* **29** (1987) 3, S. 77-84.
- [2] Brandstät, P.; Fuchs, H.V.: Erweiterung der Pieningschen Formel für Schalldämpfer. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* **44** (1997) 3, S. 93-95.
- [3] Frommhold, W.; Mechel, F.P.: Simplified methods to calculate the attenuation of silencers. *Journal of Sound and Vibration* **141** (1990) 1, S. 103-125.
- [4] Munjal, M.L.: *Acoustics of Ducts and Mufflers*, Wiley & Sons New York 1987.
- [5] Peat, K. S.: A numerical decoupling analysis of perforated pipe silencer elements. *Journal of Sound and Vibration*, **123** (1988) 2, S. 199-212.