

Mehrkammer-Rohrschalldämpfer mit Mikroperforation

Peter Brandstät, Karlheinz Bay, Norbert Rambauek

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

Einleitung

Schalldämpfer mit Mikroperforation (MPA-SD) stellen eine interessante Alternative zu konventionellen Lösungen dar, da sie ohne Fasermaterial wartungsfrei in feuchter, staubiger oder hygienisch anspruchsvoller Umgebung eingesetzt werden können. Für Rohr-Schalldämpfer mit Mikroperforation als innerer Berandung der ansonsten mit Absorbermaterial gefüllten Kammer, siehe Abbildung 1, existieren bereits Erfahrungen für verschiedene Ausführungsvarianten [1], die hier um Mehrkammeranordnungen ergänzt werden.



Abbildung 1: Ansichten eines geöffneten MPA-SD und verschiedene MPA Innenrohre.

Berechnung

Die Eingangsimpedanz einer mikroperforierten Schicht im Abstand d vor einer schallharten Wand kann mit der Plattendicke t , Lochdurchmesser b und Lochabstand a nach [2] berechnet werden mit den Anteilen für die flächengemittelte Impedanz der Lochplatte und des dahinter liegenden Wellenleiters. Die Berechnung der Dämpfung für die ebene Welle im Innenrohr, und im einfachsten Fall für eine Hohlkammer, erfolgt durch Kopplung der Schallfelder im Innenrohr und im Hohlraum über die Impedanz der mikroperforierten Schicht (Abbildung 2) mit dem Ansatz $p_1(z) - p_2(z) = \rho c Z_{\text{MPA}}(z) v(z)$. Unter Verwendung bekannter Verfahren, z.B. [3, 4] lässt sich der Schalldämpfer als Element TF einer 2×2 Übertragungsmatrix beschreiben und daraus unter Einbeziehung der Anschlüsse (Z_{cin} und Z_{Aus}) die Einfügungsdämpfung D_e berechnen. Bei einer Anordnung mit mehreren Kammern ist für jede Kammer ein entsprechendes Matrixelement zu berechnen und damit die Gesamtübertragungsmatrix T aufzubauen.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ Z_{\text{Ein}} & 0 \end{bmatrix} \cdot TF_1 \cdot TF_2 \cdot \dots \cdot TF_n \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_{\text{Aus}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$D_e = 20 \log \left(\frac{T_{1,1} + T_{1,2} + T_{2,1} + T_{2,2}}{2} \right) \quad (2)$$

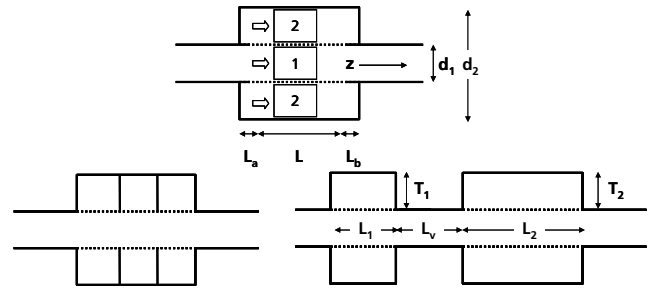


Abbildung 2: Definition des Einkammersystems und Mehrkammervarianten.

Dies eröffnet vielfältige Möglichkeiten zur Gestaltung von Schalldämpfern mit verschiedenen Kammergeometrien und Mikroperforationen, sowie die Kombination mit klassischen Verbindungselementen, wie geraden Rohrstücken.

Beispiele

In Abbildung 3 werden anhand von Messungen verschiedener Konfigurationen eines Einzelkammer-Schalldämpfers die sich daraus ergebenden Wirkungen ersichtlich.

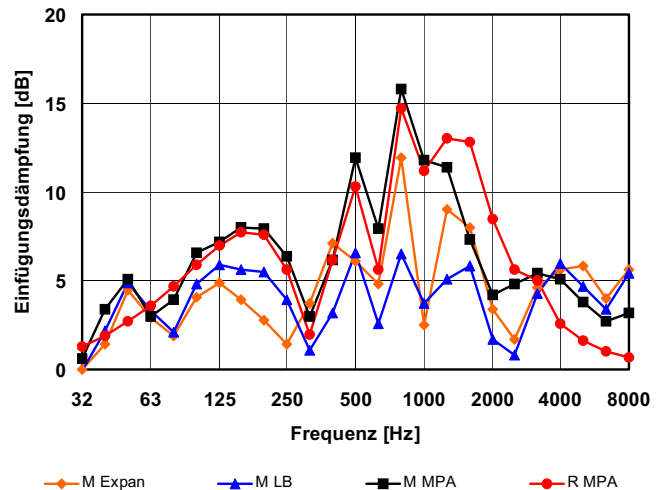


Abbildung 3: Messung (M) an Schalldämpfern als reiner Expansionskammer, mit Lochblech (LB) und Mikroperforation (MPA) als Innenrohr sowie Berechnung (R) des MPA-Schalldämpfers.

Schalldämpfer: $d_1 = 130$ mm, $d_2 = 250$ mm, $L = 540$ mm
 Lochblech: $t = 0,8$ mm, $a = 8$ mm, $b = 5$ mm;
 MPA: $t = 0,5$ mm, $a = 5$ mm, $b = 0,5$ mm

Dabei weisen die reine Expansionskammer und die Ausführung mit Lochblech-Innenrohr die niedrigsten, durch Längsresonanzen in der Hohlkammer geprägte Dämpfungen auf. Bei der Ausführung mit MPA-Innenrohr erhöht sich die Dämpfung der Grundresonanz der Kammer bei ca. 200 Hz. Zusätzlich nimmt die Dämpfung vor allem bei höheren Fre-

quenzen deutlich zu. Die der Rechnung zugrunde liegende Theorie gilt für die ebene Welle im Innenrohr, im vorliegenden Fall bis ca. 1500 Hz. Messung und Rechnung zeigen für diesen Frequenzbereich gute Übereinstimmung.

Das Beispiel in Abbildung 4 gilt für einen Schalldämpfer gleicher Geometrie wie in Abbildung 3. Zusätzlich wurde die Hohlkammer durch Schottblechringe in drei gleiche Teilkammern unterteilt, wie in Abbildung 2 skizziert, und ein mikroperforiertes Innenrohr verwendet.

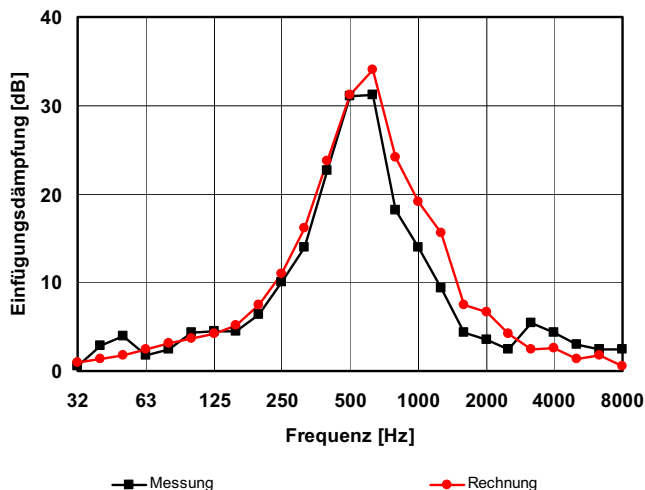


Abbildung 4: Schalldämpfer mit 3 Kammern gleicher Größe und mit mikroperforiertem Innenrohr.

Durch die Kassettierung bilden sich die zuvor vorhandenen tieffrequenten Längsresonanzen in der Hohlkammer nicht mehr aus. Die Schallausbreitung in der Hohlkammer wird dadurch auf die radiale Richtung beschränkt und entspricht dem senkrechten Schalleinfall auf die mikroperforierte Schicht. Über die geometrischen Daten der Mikroperforation und der Kammertiefe werden die Resonanzfrequenz und damit das Dämpfungsmaximum bestimmt. Auch für diesen Fall liefert die Theorie gute Übereinstimmung mit dem Messergebnis.

Das abschließende Beispiel in Abbildung 5 zeigt Rechenergebnisse von Mehrkammeranordnung mit einem dazwischen liegenden schallharten Verbindungsrohr nach Abbildung 2. Die Varianten R1 und R2 sind bis auf die Kammertiefen (und damit den Außenradius d_2) identisch. Variante R1 besteht aus gleich tiefen Kammern, bei Variante R2 sind die Kammertiefen verschieden. Bei Variante R3 wurden sowohl die Kammertiefen als auch die Länge des Verbindungsrohres verändert.

Die Dämpfung der Schalldämpfer entsteht durch die Überlagerung der zuvor beschriebenen Anteile. Die unterschiedlichen Kammerlängen führen zu verschiedenen Längsresonanzen, während die Lage des Absorptionsmaximums der Mikroperforation maßgeblich von der Kammertiefe abhängt. Mit der Länge des Verbindungsrohres, in dem ebenfalls Längsresonanzen auftreten, kann die Dämpfung vor allem zu tiefen Frequenzen erweitert werden. Mit zunehmender Länge nimmt aber die Dämpfung im gesamten Frequenzbereich ab und es können Einbrüche im Dämpfungsspektrum auftre-

ten, so dass alle Parameter aufeinander abgestimmt werden müssen. Aufgrund der großen Anzahl an freien Parametern bei den Mehrkammeranordnungen empfiehlt sich der Einsatz eines Simulationsprogramms für die Optimierung.

Bei Variante 3 wurden eine Kammer mit 200 mm Tiefe verwendet, die zu einem Dämpfungsmaximum bei ca. 250 Hz führt. Das Verbindungsrohr konnte verkürzt werden, so dass in der Kombination ein Dämpfungsverlauf ohne nennenswerte Einbrüche entsteht.

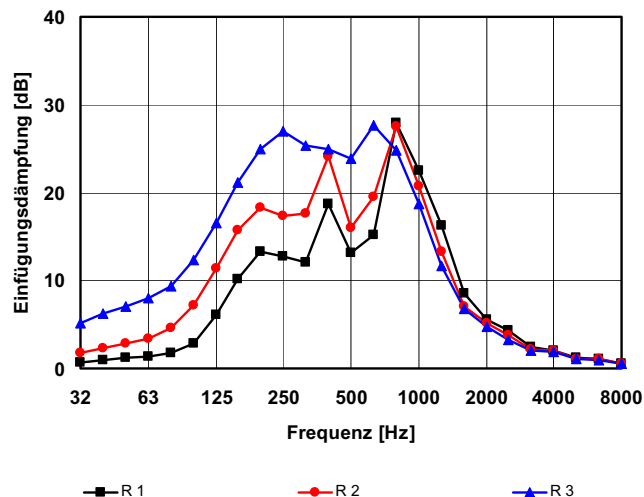


Abbildung 5: Schalldämpfer mit 2 getrennten Kammern, und Verbindungsrohr, Mikroperforation und d_1 wie zuvor. Alle Maße in mm.

R1: $L_1 = 180$, $L_2 = 300$, $L_v = 500$, $L_{ges} = 980$, $T_1 = T_2 = 60$
 R2: wie R 1 aber $T_1 = 50$, $T_2 = 100$
 R3: wie R 1 aber $T_1 = 70$, $T_2 = 200$, $L_v = 350$, $L_{ges} = 830$

Fazit

Die Beispiele zeigen im Vergleich von Messung und Rechnung gute Übereinstimmung und bestätigen damit das Berechnungsverfahren. Die Varianten in Abbildung 4 und 5 verdeutlichen die Möglichkeiten der Abstimmung auf verschiedene Frequenzbereiche. Vor allem die Schalldämpfervarianten in Abbildung 5 liefern, je nach Abstimmung, im wichtigen ansteigenden Ast der Dämpfungskurve bereits ab 100 Hz mehr als 10 dB bei einer Gesamtlänge von unter einem Meter.

Literatur

- [1] Brandstät, P. et al.: Mikroperforierter Absorber als Schalldämpfer. Fortschritte der Akustik - DAGA 2006, Braunschweig, Berlin: DEGA e.V., S. 641- 642
- [2] Maa, D.Y.: Microperforated-Panel Wideband Absorbers. Noise Control Engineering Journal 29 (1987) 3, S. 77-84
- [3] Munjal, M.L.: Acoustics of Ducts and Mufflers. Wiley & Sons New York 1987
- [4] Peat, K. S.: A numerical decoupling analysis of perforated pipe silencer elements. Journal of Sound and Vibration, 123 (1988) 2, S. 199 - 212