

34 (2007) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefasst

Peter Brandstätt, Karlheinz Bay, Norbert Rambausek

Mehrkammer-Rohrschalldämpfer mit Mikroperforation

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 **Bild 1**, existieren bereits Erfahrungen für verschiedene Ausführungsvarianten [1], die hier um Mehrkammeranordnungen ergänzt werden.



Bild 1: Ansichten eines geöffneten Schalldämpfers und verschiedene Innenrohre mit Mikroperforation.

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. 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 (**Bild 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_{Ein} 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.

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

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

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

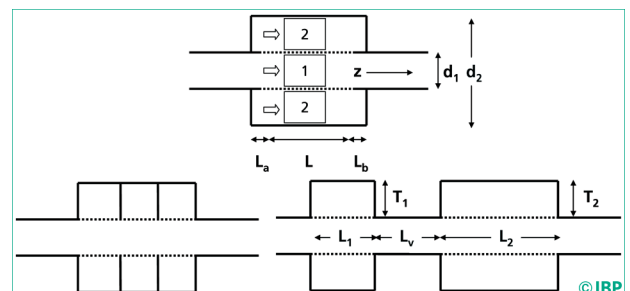


Bild 2: Definition des Einkammersystems und Mehrkammervarianten.

Beispiele

In **Bild 3** werden anhand von Messungen verschiedener Konfigurationen eines Einzelkammerschalldämpfers ($d_1 = 130$, $d_2 = 250$, $L = 540$ mm) die sich damit ergebenden Wirkungen ersichtlich. Dabei weisen die bloße Kammer ohne Innenrohr und die Ausführung mit Lochblech-Innenrohr ($t = 0,8$, $a = 8$, $b = 5$ mm) die niedrigsten, durch Längsresonanzen in der Hohlkammer geprägten Dämpfungen auf. Bei der Ausführung mit MPA-Innenrohr ($t = 0,5$, $a = 5$, $b = 0,5$ mm) erhöht sich die Dämpfung der Grundresonanz der Kammer bei ca. 200 Hz. Zusätzlich nimmt die Dämpfung vor allem bei höheren Frequenzen 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 **Bild 4** gilt für einen Schalldämpfer gleicher Geometrie wie in **Bild 3**. Zusätzlich wurde die Hohlkammer durch Schottblechringe in drei gleiche Teilkammern unterteilt, wie in **Bild 2** skizziert, und ein mikroperforiertes Innenrohr verwendet.

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 **Bild 5** zeigt Rechenergebnisse von Mehrkammeranordnung mit einem dazwischen liegenden schallharten Verbindungsrohr nach **Bild 2**. Die Varianten R1 ($L_1 = 180$, $L_2 = 300$, $L_v = 500$, $L_{ges} = 980$, $T_1 = T_2 = 60$ mm) und R2 ($T_1 = 50$, $T_2 = 100$ mm) sind bis auf die Kammertiefen identisch. Bei Variante R3 wurden sowohl die Kammertiefen als auch die Länge des Verbindungsrohres verändert ($T_1 = 70$, $T_2 = 200$, $L_v = 350$, $L_{ges} = 830$ mm).

Die Dämpfung der Varianten entsteht durch 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 auftreten, 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.

Fazit

Die Beispiele zeigen im Vergleich von Messung und Rechnung gute Übereinstimmung und bestätigen damit das Berechnungsverfahren. Die Varianten in **Bild 4** und **5** verdeutlichen die Möglichkeiten der Abstimmung auf verschiedene Frequenzbereiche. Vor allem die Schalldämpfervarianten in **Bild 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.

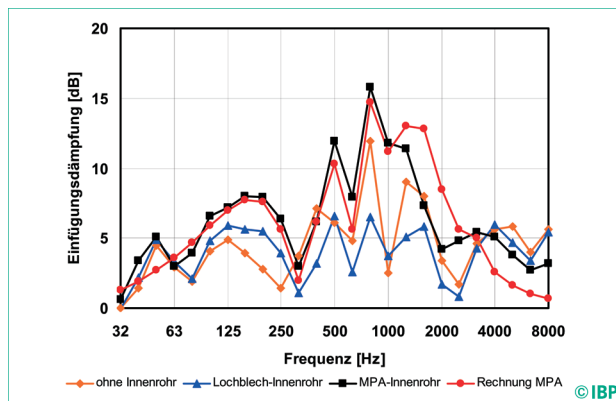


Bild 3: Messung als Kammer ohne Innenrohr, mit Lochblech und Mikroperforation (MPA) als Innenrohr sowie Berechnung des MPA-Schalldämpfers.

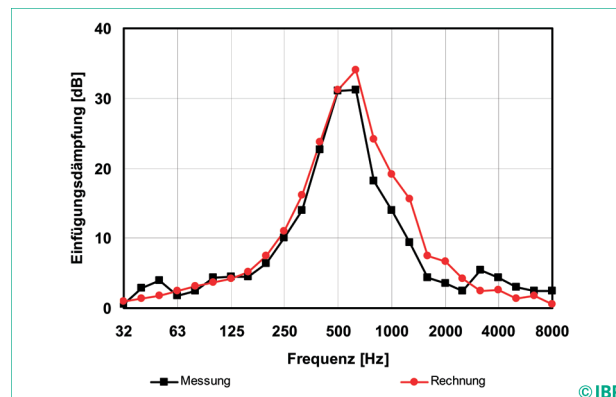


Bild 4: Schalldämpfer mit 3 Kammern gleicher Größe und mikroperforiertem Innenrohr.

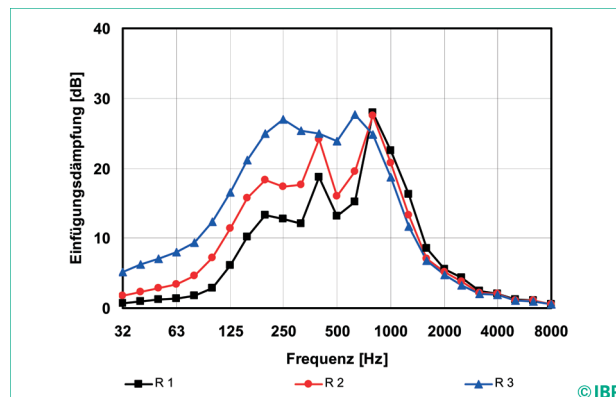


Bild 5: Schalldämpfer mit 2 getrennten Kammern und Verbindungsrohr, Mikroperforation und Innendurchmesser wie zuvor.

Literatur

- [1] Brandstätt, P. et al.: Mikroperforierter Absorber als Schalldämpfer. IBP-Mitteilung 33 (2006), Nr. 464.
- [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.



Fraunhofer
Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

Institutsleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/970-00
83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/643-0
34127 Kassel, Gottschalkstr. 28a, Tel. 05 61/804-18 70

Herstellung und Druck: IRB Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau IRB, Stuttgart
Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik