

X. Zha, X. Zhou, J. Kang

Mikro-perforierter Platten-Absorber (MPA)

Lochplatten mit grober Perforation werden vielfältig als Abdeckung von porösen oder faserigen Schallabsorbieren vor schallharter Wand eingesetzt. Wenn man die Löcher kleiner als 1 mm macht, läßt sich ein Masse/Feder-System erreichen, das in den Löchern so viel viskose Reibung zu überwinden hat, daß keine additive Absorption im Luftzwischenraum mehr nötig ist [1].

Akustische Eigenschaften des MPA

Alle Theorien für poröse Absorber gehen von Rayleigh's [2] Modell aus. Mit dem auf die akustische Grenzschichtdicke bezogenen Lochradius r_0 ,

$$x = \frac{r_0}{\sqrt{\eta / \rho_0 \omega}} = 0,65 r_0 \sqrt{f}, \quad (1)$$

mit η = dynamische Viskosität
 ρ_0 = Dichte der Luft
 ω = $2\pi f$,

läßt sich die zuerst von Crandall [3] angegebene Impedanz einer in ihrer Länge t klein gegenüber der Wellenlänge λ angenommenen Bohrung schreiben als

$$Z_0 = 8 \frac{\eta t}{r_0^2} + \frac{4}{3} j \omega \rho_0 t \quad \text{für } x \ll 1; \quad (2)$$

$$Z_0 = \sqrt{2} \frac{\eta t}{r_0^2} x (1 + j) + j \omega \rho_0 t \quad \text{für } x \gg 1.$$

Schon vorher [4] diente Gleichung (2, oben) zur Berechnung und zum Vergleich mit Messungen von Strömungswiderständen von ersten faserfreien Dämpfungsmaterialien. 1951 hat Veliszhanina [5] den ersten MPA konzipiert, bei dem der Strömungswiderstand durch kleine Öffnungen erzeugt wurde, wobei diese Öffnungen auch die Trägheit des Resonators bedingten. Es blieb aber Maa [6] vorbehalten, die MPA als eigenständige Schallabsorber zu propagieren. Maa konnte die, mit dem Kennwiderstand der Luft $\rho_0 c_0$ normierte Impedanz einer Lochplatte mit zylindrischen Löchern (Lochanteil σ) im Abstand D vor schallharter Wand herleiten:

$$Z' = \frac{Z_0}{\rho_0 c_0} \frac{1}{\sigma} + \frac{Z_D}{\rho_0 c_0} = r' + j \omega m' - \text{ctg} \frac{\omega D}{c_0} \quad (3)$$

Der Hauptunterschied zum konventionellen Helmholtz-Resonator steckt in der über x stark frequenzabhängigen Form von r' und m' ,

$$m' = \frac{t}{c_0 \sigma} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{x^2}{2}}} + 1,7 \frac{r_0}{t} \right) = \frac{t}{c_0 \sigma} \cdot K_m \quad (4)$$

$$r' = \frac{8\eta}{\rho_0 c_0} \frac{t}{\sigma r_0^2} \left(\sqrt{1 + \frac{x^2}{32}} + \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{r_0}{t} x \right) = \frac{8\eta}{\rho_0 c_0} \frac{t}{\sigma r_0^2} \cdot K_r, \quad (5)$$

wobei der dritte Summand in K_m sowie der zweite in K_r un schwer als „Mündungs-Korrektur“ zu erkennen sind. In Übereinstimmung mit anderen Autoren führt Maa für den Fall, daß es sich bei der Platte um ein gut wärmeleitendes Material (z.B. Metall, Glas oder Keramik) handelt, im Grenzschicht-Parameter x zur Viskosität η mit dem Wert $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{s}$ noch zusätzliche Verluste mit dem Wert $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{s}$ ein, so daß

$$x_1 = 0,65 r_0 \sqrt{f} \quad \text{ohne}; \quad (6)$$

$$x_2 = 0,42 r_0 \sqrt{f} \quad \text{mit Wärmeleitung}$$

in Gleichung (4) und (5) einzusetzen ist. Entsprechend lautet die Zahlenwert-Gleichung für (5):

$$r_{1(2)} = 0,34(0,78) \cdot 10^{-3} \frac{t}{\sigma r_0^2} \cdot K_r [-]. \quad (7)$$

Beim MPA ist also r' exakt berechenbar.

Mit der Näherung $\text{ctg} \omega D / c_0 \approx c_0 / \omega D$ kann man die MPA in Analogie zum einfachen Masse/Feder-System [1] hinsichtlich ihrer Haupt-Resonanzfrequenz und ihres normierten Kennwiderstandes

$$f_{\text{MPA}} = 54 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\sigma}{Dt \cdot K_m}} \quad [\text{Hz}]; \quad (8)$$

$$Z'_{\text{MPA}} = \sqrt{\frac{t K_m}{D \sigma}} \quad [-]$$

charakterisieren. Aus dem Verhältnis $(r' + 1) / Z'_{\text{MPA}}$ folgt dann nach dem Modell in [1] auch eine Aussage über die relative Bandbreite des jeweiligen MPA.

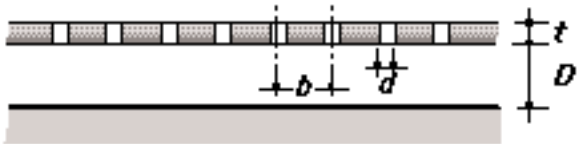
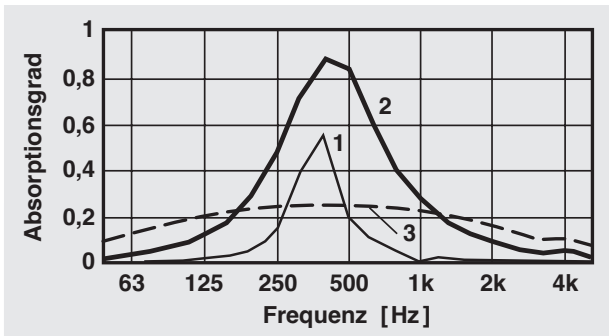


Bild 1: Einfluß der Lochgröße auf den Absorptionsgrad eines MPA mit $\sigma = 0,014$; $t = 3 \text{ mm}$; $D = 50 \text{ mm}$.

- 1: schwach gedämpft ($d = 3 \text{ mm}$)
- 2: fast optimal gedämpft ($d = 0,45 \text{ mm}$)
- 3: sehr stark gedämpft ($d = 0,15 \text{ mm}$)

Auslegungs-Beispiele

Bild 1 zeigt, wie man aus ein und derselben $t = 3 \text{ mm}$ dicken Platte mit immer demselben Lochflächenverhältnis $\sigma = 0,014$ und immer gleichem Wandabstand $D = 50 \text{ mm}$ drei ganz extrem verschiedene Schallabsorber machen kann, indem man nur die Lochgröße variiert. Typ 1 be-

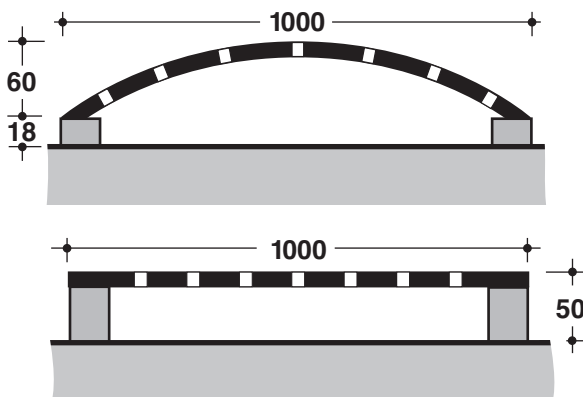
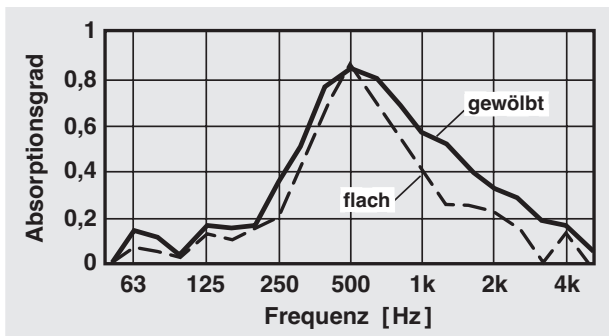


Bild 2: Bei diffusem Schalleinfall im Hallraum gemessener Absorptionsgrad eines schwach gewölbten im Vergleich zu einem ebenen MPA sonst gleicher Geometrie.

schreibt einen fast noch konventionellen Helmholtz-Resonator mit nur mäßiger relativer Bandbreite. Demgegenüber zeigt Typ 2 schon die charakteristische Breitbandigkeit mikro-perforierter Absorber, die sich im Bereich $0,1 < 2r_0 < 1,0$ optimal auf das jeweilige Schallspektrum einstellen läßt. Eine sparsame Maßnahme zur Herstellung einer größeren Bandbreite stellt die Wölbung der Lochplatte nach Bild 2 dar. Wenn die Bandbreite eines einzelnen MPA nicht ausreicht, kann man natürlich auch zwei mikro-perforierte Platten hintereinander mit einem zweiten Luftraum zwischen beiden Platten so anordnen, daß die höheren Frequenzanteile vor allem in der (vom Raum her gesehen) ersten und die tieferen Frequenzen vor allem in der zweiten Platte absorbiert werden. Bild 3 zeigt ein Auslegungs-Beispiel mit einer Bandbreite von fast 4 Oktaven.

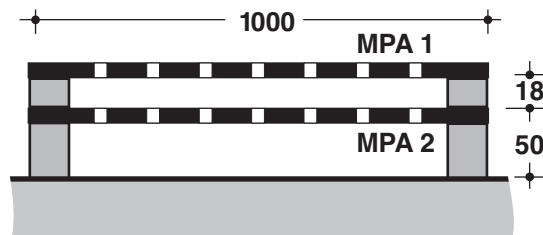
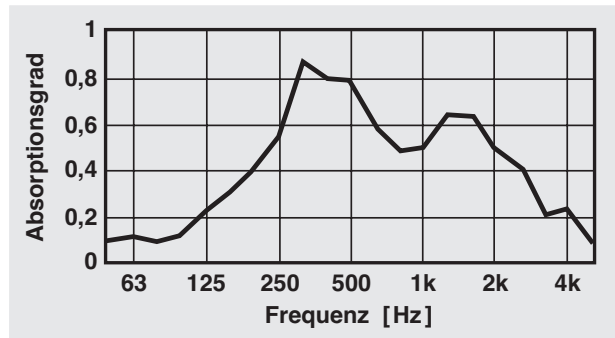


Bild 3: Bei diffusem Schalleinfall im Hallraum gemessener Absorptionsgrad eines zweischalig aufgebauten MPA.

Literatur

- [1] Fuchs, H.V.; Zha, X.: Transparente Vorsatzschalen als alternative Schallabsorber im Plenarsaal des Bundestages. Bauphysik 16 (1994), H. 3; S. 69-80.
- [2] Lord Rayleigh: Theory of Sound, Band II. McMillan, London 1894.
- [3] Crandall, I.B.: Theory of Vibrating Systems and Sound. Van Nostrand, New York 1926, S.229.
- [4] Rschewkin, S.N.; Terossipiantz, S.T.: Investigation of the resistance of frictional layers for sound-absorbing systems. J. Physics Acad. Sci. USSR 4 (1941), H. 1 und 2, S. 45-56.
- [5] Veliszhanina, K.A.: Zeitschrift für technische Physik (UdSSR) 21 (1951).
- [6] Maa, D.-Y.: Theory and design of microperforated panel sound absorbing constructions. Scientia Sinica 18 (1975), H. 1, S. 55-71.



Fraunhofer
Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0