

8 (1980) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

H. V. Fuchs und C. A. Voigtsberger

Wasserschall-Dämpfer

Über Wirkungsweise und Wirksamkeit von reaktiven Dämpfern zur Verminderung der Schallübertragung auf einer Flüssigkeitssäule in einem Rohrsystem herrscht in der veröffentlichten Literatur hier und da Unklarheit. Im

Rahmen eines Forschungsauftrags des BMBau sollten daher die grundlegenden Mechanismen geklärt und Konstruktionsunterlagen für die Auslegung solcher Dämpfer geschaffen werden [1].

Theorie

Alle reaktiven Dämpfer in Rohrleitungen (akustische Filter) basieren im wesentlichen auf der Reflexion von Schallenergie an Stoßstellen, wo die Schallwelle auf eine plötzliche Änderung der Ausbreitungsbedingungen trifft. Deshalb eignet sich zu ihrer Charakterisierung besonders die Härte (p/ξ), mit p = Schalldruck und ξ = Schallauslenkung, die sie der einfallenden Schallwelle entgegensetzen, im Verhältnis zur Schallhärte (p/ξ)₀ der jeweiligen Flüssigkeit. Mit der so definierten „relativen Nachgiebigkeit“ δ ,

$$\delta = \frac{(p/\xi)_0}{(p/\xi)_1} \quad (1)$$

läßt sich die Durchgangsdämpfung D_d an einer einfachen Diskontinuitätsfläche berechnen nach

$$D_d = 10 \lg \frac{1}{1-r^2} \quad \text{mit } r = \frac{\delta-1}{\delta+1} \quad (2)$$

Da Flüssigkeiten sehr schallhart sind und sich eine Abschottung oder Verengung im Rohrsystem im allgemeinen verbietet, lautet die Forderung zur Erzielung großer D_d – in Umkehrung des Prinzips der Luftschalldämmung – :

$$\delta \gg 1, \text{ so daß } D_d \cong 10 \lg \delta - 6 \text{ dB} \quad (3)$$

Wenn man die p/ξ -Diskontinuität durch eine plötzliche Änderung der Geometrie oder des Materials der Rohrwandung herstellt, z. B. durch einen Gummischlauch oder eine Expansionskammer, dann wird bei symmetrischem Aufbau derselbe Impedanz-Sprung nach der Länge l_1 des Dämpfers ein zweites Mal wirksam. D_d ist dann frequenzabhängig,

$$D_d = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\delta^2 - 1}{2\delta} \right)^2 \sin^2 \frac{\pi}{2} \frac{f}{f_0} \right] \quad (4)$$

mit Dämpfungs-Maxima

$$D_{d,\max} \cong 20 \lg \delta - 6 \text{ dB für } \delta \gg 1 \quad (5)$$

bei den Frequenzen

$$f_n = \frac{c_w}{4l_1} (1 + 2n), \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (6)$$

wobei $f_0 = c_w/4 l_1$ und c_w = Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit.

Eine weitere Frequenzabhängigkeit von D_d wird dadurch verursacht, daß δ selbst auch von der Frequenz abhängen kann:

(a) Kammer-Federung

Eine einfache Rohr-Erweiterung mit dem Querschnittsverhältnis $m = S_1/S_0$ und der Länge l_1 hat aufgrund der Kompressibilität β_w des in der Kammer eingeschlossenen Volumens eine relative Nachgiebigkeit

$$\delta = 2 \pi f \rho_w c_w \beta_w m l_1 \quad (7)$$

wobei ρ_w die Dichte der Flüssigkeit darstellt.

(b) Wand-Federung

Dieselbe Erweiterung läßt bei relativ kleiner Wandstärke $r_2 - r_1$ entsprechend dem Elastizitätsmodul E des Wandmaterials eine zusätzliche Nachgiebigkeit erwarten:

$$\delta = \frac{2 \pi f \rho_w c_w}{E} \frac{2 r_1}{r_2 - r_1} m l_1 \quad (8)$$

(c) Querschnitt-Änderung

Schließlich kommt es an der Erweiterung wegen der Kontinuitätsbedingung und $p = \text{const.}$ an der Übergangsstelle zu einem Sprung im Wellen-Widerstand, so daß

$$\delta = m. \tag{9}$$

m wirkt also wie eine Nachgiebigkeit, selbst wenn die Flüssigkeit vollständig inkompressibel und die Rohrwand ideal hart wäre.

(d) Luft-Federung

Bei nicht zu hohen statischen Drücken p_w im Rohrsystem stellt bereits ein sehr kleines Luftvolumen V , das Druck-

Pulsationen auf der Flüssigkeitssäule mit der Querschnittsfläche S_0 ungehindert aufnehmen kann, eine sehr wirkungsvolle Nachgiebigkeit dar:

$$\delta = \frac{2 \pi f \rho_w c_w}{\kappa \rho_w} \frac{V}{S_0} \text{ mit } \kappa = 1.4 \text{ für Luft.} \tag{10}$$

Wo i Federungen hintereinander geschaltet sind, addieren sich die jeweiligen Nachgiebigkeiten.

In obigen Gleichungen sind dissipative Verluste gar nicht berücksichtigt. Das Wort „Dämpfer“ ist also eigentlich fehl am Platz. In der Praxis erwartet man wegen zusätzlicher Reibungseffekte eine geringfügig höhere Dämmwirkung bei hohen Frequenzen.

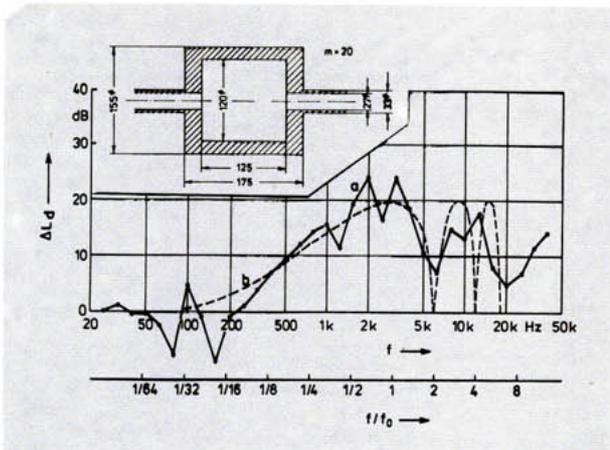


Bild 1
Durchgangs-Dämmung einer Expansionskammer mit harter Wandung (Grauguß),
(a) Messung im langen Rohr mit Terz-Rauschen,
(b) Theorie nach Gl. (4), (9).
 $E = 10^6 \text{ bar}$ für Grauguß; $\beta_w = 0,58 \times 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$ für Wasser; $l_1 = 12,5 \text{ cm}$, $m = 20$

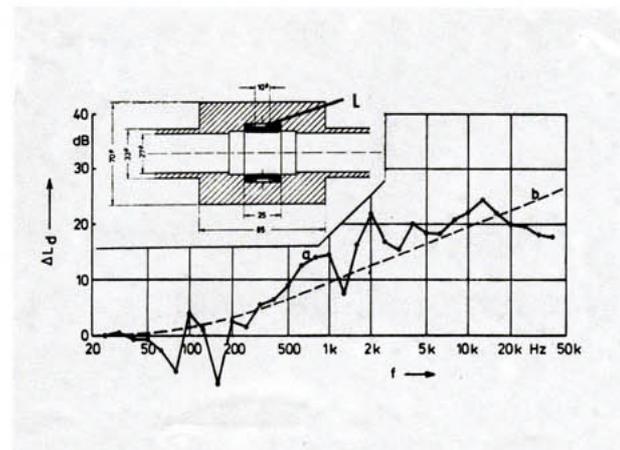


Bild 2
Durchgangsdämmung eines Luft-Polsters L ,
(a) wie in Bild 1,
(b) Theorie nach Gl. (2), (10.)
 $S_0 = 5,72 \text{ cm}^2$; $V = 1,25 \text{ cm}^3$; $p_w = 4 \text{ bar}$; $\kappa = 1,4$

Zwei Meßergebnisse

Das Versuchsmodell I ist eine relativ starre Rohr-Erweiterung. Bei tiefen Frequenzen überwiegt dabei seine Nachgiebigkeit nach Gl. (9). Die entsprechende Dämmung nach Gl. (4) ist in **Bild 1** eingezeichnet. Erst oberhalb des ersten Maximums bei $f_0 = 3 \text{ kHz}$ sollte die Kammer- und Wand-Federung dominieren. Die in einem langen Rohr mit Wasserschall-Aufnehmern mit Terz-Rauschen gemessenen Durchgangs-Dämmungen ΔL_d zeigen aber, daß bei sehr hohen Frequenzen die theoretischen Werte ohnehin nicht erreicht werden. Die Spitzen unterhalb 200 Hz sind durch den in [1] näher beschriebenen Meßaufbau zu erklären.

In Versuchsmodell II ist auf kleinstem Raum hinter einer Gummi-Dichtung ein wenig Luft eingeschlossen. Bei mittleren und hohen Frequenzen sollte nach Gl. (10) dieser Dämpfer trotzdem in seiner Wirksamkeit mit dem nach Bild 1 vergleichbar sein. Tatsächlich zeigt **Bild 2** den nach Gl. (2) bzw. (3) mit etwa 3 dB/Oktave ansteigenden Frequenzgang dieses Dämpfer-Typs.

Literaturhinweis

[1] Fuchs, H. V. und Voigtsberger, C. A.: „Untersuchungen über Wasserschall-dämpfer“, IBP-Bericht BS 41/1979.



Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik