

24 (1997) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

P. Brandstätt, H.V. Fuchs

## Die Piening-Formel für Schalldämpfer wurde erweitert

### 1. Die klassische Piening-Formel

Zur Abschätzung der Dämpfung von Absorptionsschalldämpfern wird seit langer Zeit die sehr einfache Piening-Formel [1] verwendet. Analytische Verfahren zur Berechnung der Dämpfung sind ebenfalls lange bekannt (siehe z.B. [2]), erfordern aber die Programmierung auf einem Computer. Eine dritte Möglichkeit zur Abschätzung der Dämpfung bieten sogenannte Trapezdiagramme [3], die die Ergebnisse analytischer Rechnungen vereinfacht wiedergeben. Das Ablesen der Werte aus diesen Diagrammen ist mühselig, da sie oft in doppelt logarithmischer Form vorliegen. Es bietet sich daher an, diese Diagramme auszuwerten und durch einfache Kurvenanpassung die Piening-Formel entsprechend zu erweitern [4]. In ihrer ursprünglichen Form ist sie wie folgt definiert:

$$D = 1,5 \alpha \frac{U}{S} L \quad [dB] \quad (1)$$

Dabei ist für  $\alpha$  der frequenzabhängige Absorptionsgrad für senkrechten Schalleinfall einzusetzen [5].  $U$  [m] ist der absorbierend ausgekleidete Umfang,  $S$  [m<sup>2</sup>] die freie Querschnittsfläche des Kanals und  $L$  [m] die Länge des Schalldämpfers. Ein Problem bei der Anwendung dieser Formel ist die Bestimmung des Absorptionsgrades, der entweder berechnet oder durch eine Messung, z.B. im Kundtschen Rohr, bestimmt werden muß. Damit ist aber der Vorteil einer schnellen und einfachen Berechnung nicht mehr gegeben.

### 2. Frequenzabhängigkeit der Dämpfung

Die Erweiterung der Pieningschen Formel erfolgt über die Auswertung von analytisch berechneten Dämpfungen  $D_h$ , die in Bild 1 mit den gestrichelten Kurven für verschiedene Ausstellungsverhältnisse  $\Lambda = d/h$  ( $d$  = halbe Dicke einer Mittelkullisse) über der normierten Frequenz,

$$\eta = 2h \frac{f}{c} \quad (2)$$

dargestellt sind. Die normierte Dämpfung  $D_h$  ist dabei definiert als:

$$D_h = D \frac{h}{L} = 1,5 \alpha \frac{U}{S} h \quad [dB] \quad (3)$$

Die Kurven wurden berechnet für ein Anpassungsverhältnis von

$$\varepsilon = \frac{\Xi d}{\rho c} = 3 \quad (4)$$

mit der Luftdichte  $\rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$  und der Schallgeschwindigkeit  $c = 344 \text{ m/s}$ . Dies erhält man beispielsweise für  $\Xi = 12,5 \text{ kPa s/m}^2$  und  $d = 0,1 \text{ m}$ . Die Anpassung an diese Kurven zeigen die durchgezogenen Linien in Bild 1. Man erkennt, daß dabei die maximale Dämpfung  $D_h$  auf 1,5 dB begrenzt wird. Die theoretisch erreichbare Dämpfung liegt höher, wird in der Praxis aber oft nicht erreicht, wie schon Piening in seinen Untersuchungen an Schalldämpfern für Schiffs-Diesel feststellte. Die Anpassung an die exakten Kurven geschieht in zwei Schritten. Zunächst werden die normierten Frequenzen  $\eta_u$  bestimmt, bei denen die exakten Kurven am ansteigenden Ast gerade  $D_h = 1,5 \text{ dB}$  liefern. Danach müssen die Steigungen  $n$  für die verschiedenen Ausstellungsverhältnisse ermittelt werden. Aus diesen Werten lassen sich einfache Formeln für  $\eta$  und  $n$  in Abhängigkeit vom Ausstellungsverhältnis ableiten:

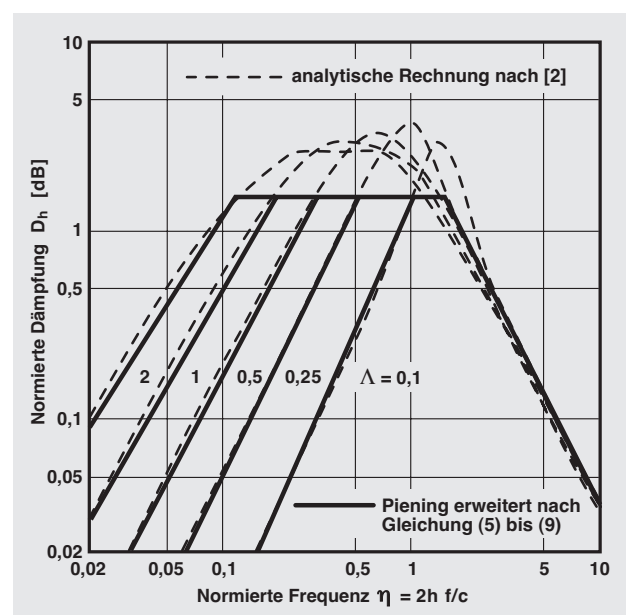


Bild 1: Normierte Dämpfung  $D_h$  von Absorptionsschalldämpfern in Abhängigkeit von der normierten Frequenz  $\eta$  mit Ausstellungsverhältnis  $\Lambda = 0,1 \dots 2$  als Parameter.

$$\eta_u = 0,19 \cdot \Lambda^{-0,72} \quad \Lambda = 0,1 \dots 2 \quad (5)$$

$$n = 1,75 \cdot \Lambda^{-0,12} \quad \Lambda = 0,1 \dots 2 \quad (6)$$

Die Piening-Formel (1) kann damit für die verschiedenen Frequenzbereiche wie folgt angegeben werden:

$$f < f_u: \quad D = 1,5 \left( \frac{f}{f_u} \right)^n \frac{UL}{S} \text{ [dB]} \quad \text{mit } f_u = \eta_u \frac{c}{2h} \quad (7)$$

$$f_u < f < f_0: \quad D = 1,5 \frac{UL}{S} \text{ [dB]} \quad (8)$$

$$f > f_0: \quad D = 1,5 \frac{UL}{S} \left( \frac{f_0}{f} \right)^2 \text{ [dB]} \quad \text{mit } f_0 = \eta_0 \frac{c}{2h} = 1,5 \frac{c}{2h} \quad (9)$$

Gleichung (7) beschreibt die Dämpfung im ansteigenden Ast, und Gleichung (8) gibt das Plateau maximaler Dämpfung wieder. Gleichung (9) ergibt sich nach [5] für den Frequenzbereich oberhalb des Durchstrahlungseffekts, der bei  $2h > \lambda$  zur abfallenden Flanke der Dämpfungskurve führt (vgl. Bild 1). Der normierte Wert der Durchstrahlungsfrequenz  $\eta_0$  wird mit 1,5 angegeben [5]. Die Gleichungen

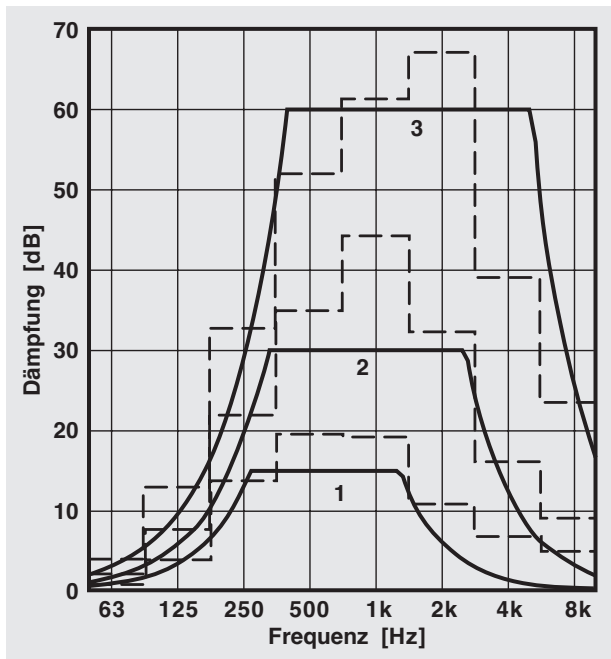


Bild 2: Dämpfung als Funktion der Frequenz von Schalldämpfern mit  $L = 2$  m und  $2d = 0,2$  m

Treppenkurven: Messung nach Norm [6]  
 Linien: Rechnung nach Gleichung (7) bis (9)  
 Kurven 1:  $2h = 0,4$  m,  $\Lambda = 0,5$   
 Kurven 2:  $2h = 0,2$  m,  $\Lambda = 1$   
 Kurven 3:  $2h = 0,1$  m,  $\Lambda = 2$

gelten mit guter Näherung im Bereich für das Anpassungsverhältnis  $\varepsilon = 2 \dots 4$ .

### 3. Beispiel-Rechnungen

Bild 2 zeigt den Vergleich von normgerecht [6] gemessenen Einfügungsdämpfungen nach [7, dort Bild 5] im Vergleich zur vorgestellten Rechnung für 2 m lange Schalldämpfer mit  $2d = 0,2$  m. Dabei ist die Berechnung nicht an eine feste Frequenzauflösung gebunden. In Bild 2 wurde die Dämpfung z.B. mit einer Auflösung von 1/15-Oktave berechnet. Die erweiterte Piening-Formel liefert auch hier nahezu im gesamten Frequenzbereich eher zu geringe Werte und bleibt damit auf der sicheren Seite. Die Abweichungen von den theoretischen Werten nach [2] dürften jedenfalls geringer sein als die Einflüsse infolge der diversen Fertigungstoleranzen hinsichtlich Kulissen- und Spaltbreite sowie der in der Praxis auftretenden Nebenweg-Übertragung [8].

### 4. Ein neues Werkzeug für akustische Berater

Das Verfahren ist einfach genug, um die Berechnung auf einem Taschenrechner durchzuführen. Damit sollten auch beratende Ingenieure in die Lage versetzt werden, Schalldämpfer ebenso wie einfache Wandaufbauten **frequenzabhängig** in ihrer Dämmwirkung abzuschätzen. Die über  $\eta$  normierte Darstellung läßt bereits eine Anpassung an das jeweilige Fluid und an die vorliegenden Temperaturverhältnisse zu. Für den Experten und Schalldämpfer-Hersteller steht natürlich auch weiterhin das leistungsfähigere PC-Programm CompAS [8] zur Verfügung.

### Literatur

- [1] Piening W.: Schalldämpfung der Ansaug- und Auspuffgeräusche von Dieselanlagen auf Schiffen. VDI-Zeitschrift 81 (1937), Nr. 26, S. 770-776.
- [2] Frommhold, W.; Brandstät, P.; Müller, H.: Analytische Verfahren zur Berechnung von Absorptions-Schalldämpfern. In: Lärm-minderung durch Schalldämpfer. VDI-Berichte Nr. 938 (1992), S. 211-220.
- [3] Esche V.: Lüftungstechnische Anlagen und Schalldämpfer. In: Taschenbuch Akustik, Hrsg.: W. Fasold, et al., Verlag Technik, Berlin, 1984.
- [4] Brandstät, P.; Fuchs, H.: Erweiterung der Pieningschen Formel für Schalldämpfer. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 44 (1997), H. 3, S. 93-95.
- [5] Frommhold, W.: Absorptionsschalldämpfer. In: Technischer Lärmschutz, Hrsg.: W. Schirmer, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [6] EN ISO 7235: Messungen an Schalldämpfern in Kanälen. Berlin: Beuth Verlag, September 1995.
- [7] Ackermann, U.: Schalldämpfer für Raumluftechnische Anlagen. Gesundheits-Ingenieur 113 (1992), H. 5, S. 255-265.
- [8] Brandstät, P.; Frommhold, W.: Berechnung von Schalldämpfern auf PC. Heizung, Lüftung, Haustechnik 45 (1994), H. 5, S. 211-217.



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