

# Geräuscherzeugung an Gestricken in vereinfachter Darstellung nach L. Cremer

Ulrich J. Kurze

München, Deutschland, Email: ukurze@yahoo.de

## Einleitung

Am Ende von Rohrleitungen hinter Ventilen werden Drosselschalldämpfer eingesetzt. Poröse Werkstoffe oder Gestricke, vor denen sich beim Durchströmen ein Druck aufbaut, mindern die Entspannungsgeräusche vom Ventil, erzeugen aber auch selbst wieder Geräusche. Die Zusammenhänge von Druckaufbau und erzeugtem Geräuschpegel mit dem Volumenstrom wurden für zahlreiche kleine Bauformen von Fuchs und Gießelmann [1] experimentell untersucht und als Ergebnisse einer multiplen Regressionsanalyse vor vielen Jahren auf der DAGA 81 dargestellt. Beim Einsatz von Drosselschalldämpfern in größeren technischen Anlagen besteht Interesse an der Beschreibung der Wirksamkeit mit üblichen Kennwerten von porösen oder faserigen Werkstoffen.

## Theorie

Zur strengen Berechnung der Geräuscherzeugung wäre die Berücksichtigung des Spannungstensors erforderlich, der den Impulsstrom im porösen Werkstoff bestimmt. Vereinfachend kann der Strömungswiderstand

$$Z = Z_{zäh} + \zeta \frac{\rho}{2} v, \quad (1)$$

der sich aus einem Zähigkeitsanteil  $Z_{zäh}$  und einem Wirbelanteil (als Produkt aus Druckverlustkoeffizient  $\zeta$ , Gasdichte  $\rho$  und Strömungsgeschwindigkeit  $v$ ) zusammensetzt, einer einfachen harmonischen Analyse nach Cremer [2] unterzogen werden. Dazu dient die Aufteilung in einen Gleichanteil  $Z_{-}$  und einen Wechselanteil  $Z_{\approx}$  mit

$$Z_{-} = Z_{zäh} + \frac{\zeta}{2} \rho_{-} v_{-} = Z_{zäh} + \frac{\zeta}{2} \rho_{-} c_{-} M, \quad (2)$$

$$Z_{\approx} = \frac{\zeta}{2} (\rho_{\approx} v_{\approx} + \rho_{\approx} v_{-}) = \frac{\zeta}{2} (\rho_{\approx} v_{\approx} + \rho_{\approx} c_{-} M) \quad (3)$$

bei Vernachlässigung des Produktes von kleinen Wechselgrößen  $\rho_{\approx} v_{\approx}$ . Im letzten Term der Gl. (3) zeigt sich die im Zusammenhang mit dem Druckverlustkoeffizienten  $\zeta$  des Werkstoffs auftretende Dichteschwankung  $\rho_{\approx}$  als Ursache für eine parametrische Geräuscherzeugung, die proportional zur Machzahl  $M$  der Strömung ist. Der vorangehende Term kennzeichnet die Wirkung eines Innenwiderstands der Geräuschquelle (s. Abbildung 1). Nach Idelchik [3] wird der Druckverlustkoeffizient eines Gewebes über einen weiten Bereich von Reynoldszahlen maßgeblich durch dessen Porosität bestimmt.

Die Geräuschabstrahlung ist mit dem Strahlungswiderstand  $Z_{rad}$  verbunden sowie mit dem Abstrahlmaß

$$\Gamma = 10 \lg \left[ \frac{(ka)^n}{(n/2)^2 + (ka)^n} \right] \text{dB} \quad (4)$$

wobei  $k$  die Kreiswellenzahl und  $a$  den Radius der Öffnung bezeichnet. Für Monopolstrahlung ist der Exponent  $n = 2$ , für Dipolstrahlung  $n = 4$ . Im Bereich höherer Frequenzen ist  $\Gamma = 0$  dB. Damit errechnet sich die je Flächeneinheit abgestrahlte Schalleistung nach dem Schema von Abbildung 1 mit der Aufteilung auf den Innen- und den Strahlungswiderstand aus:

$$W \propto \left( \frac{\rho_{\approx}}{\rho_{-}} \right)^2 v_{-}^2 \frac{Z_{rad}}{\left( 1 + \frac{2Z_{rad}}{\zeta \rho_{-} c} \right)^2} \quad (5)$$

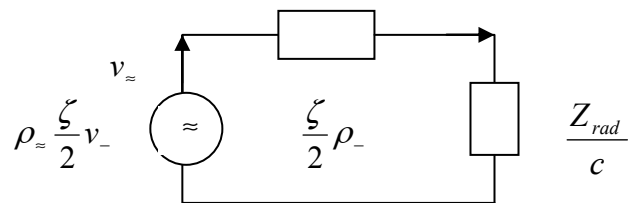


Abbildung 1.: Schema zu Quelle und Lastwiderstände der Geräuscherzeugung

## Messungen

Druckluft aus einem Kessel wurde über ein Ventil und eine Lochscheibe mit 7 bzw. 19 Löchern von 10 mm Durchmesser in eine Rohrleitung von 85 mm Innendurchmesser entspannt, die mit einem verlustarmen Rohrleitungsschalldämpfer und Gestrickproben von 150 mm Länge vor dem offenen Ende abgeschlossen war. Aus wandbündigen Druckmessungen vor und hinter der Lochscheibe wurde der Massenstrom

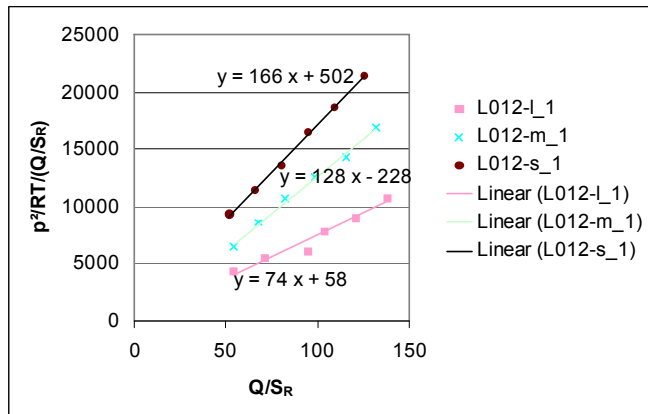
$$Q = \rho v_{-} S_R \quad (6)$$

bestimmt. Das bei der Ausströmung gemessene Druckquadrat dividiert durch den Massenstrom ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Messungen lieferten für das Gestrick L012 gut gesicherte Druckverlustkoeffizienten und Hinweise auf sehr kleine, aber nicht genau bestimmbare Zähigkeitswiderstände.

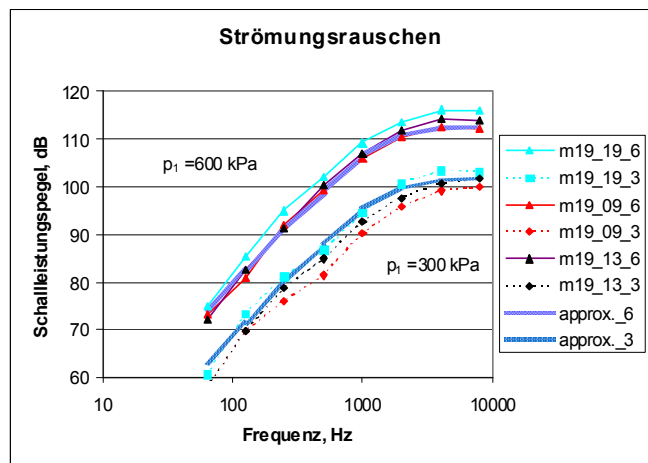
Weiterhin wurden mit 3 Mikrofonen in etwa 1 m Abstand von der Mündung Schalldruckmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse als Oktavband-Schallleistungspegel in Abbildung 3 angegeben sind. Die Spektren konnten durch Abstrahlmaße nach Gl. (4) mit  $n = 2,8$  approximiert werden. Daraus ist eine Überlagerung von Monopol- und Dipolstrahlung abzuschätzen. Der Gesamtschallpegel wird maß-

geblich durch spektrale Anteile im Frequenzbereich oberhalb von 1 kHz bestimmt. Er steigt etwa mit dem 20fachen Logarithmus der Ausströmgeschwindigkeit an. Wegen der großen Druckverlustkoeffizienten ist der 2. Term im Nenner von Gl. (5) vernachlässigbar klein und macht sich in der Auswertung nicht bemerkbar.

Fuchs und Gießelmann [1] weisen gleichfalls auf einen solchen Anstieg mit  $M^2$  hin, obwohl die Messergebnisse, wie in Abbildung 4 angegeben, z.T. deutlich davon abweichen, was mit Gl. (5) für kleinere Druckverlustkoeffizienten gut zu erklären ist.



**Abbildung 2:** Druckquadrat  $p^2$  bezogen auf den Massenstrom  $Q$  aufgetragen über  $Q$  (mit Bezügen auf die Gaskonstante  $R$ , die Temperatur  $T$  und die Querschnittsfläche  $S_R$  von 150 mm dicken Lagengestrieken mit 0,12 mm Drahtdicke, leicht (l), mittel (m) und schwer (s), ausgewertet mit linearer Regression  $y = (\zeta / 2) x + Z_{zäh}$  zur Bestimmung des Druckverlustkoeffizienten  $\zeta$ .

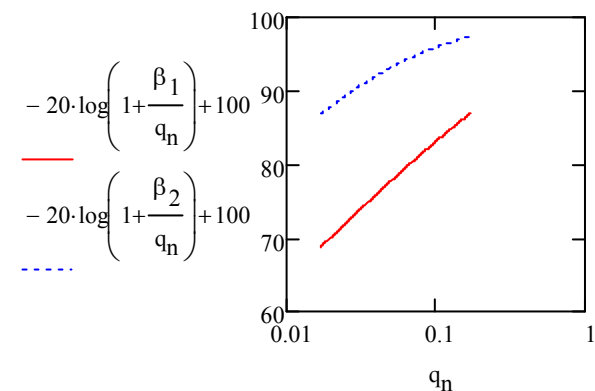


**Abbildung 3:** Oktavband-Schalleistungspegel des Strömungsrauschens in dB re 1 pW, ermittelt aus Messungen in 1 m Abstand vom Rohrende mit 150 mm dickem Lagengestrick aus 0,28 mm Draht leicht (19), mittel (09) und schwer (13) bei Drücken  $p_1$  von 6 und 3  $P_0$  vor einer Lochblende mit 19 Löchern sowie theoretische Kurven (approx.) nach Gl. (4) mit  $a = 44$  mm Rohrradius und  $n = 2,8$ .

In Gl.(5) erscheint als Quellterm die relative Dichteschwankung  $\rho_{\approx} / \rho_{-}$ . Nach Messungen an den verschiedenen untersuchten Strukturen ist sie als Konstante anzusehen.

### Weitere Ergebnisse

Messungen an Edelstahlgestrieken mit unterschiedlicher Drahtdicke und Porosität, die durch Wägung bestimmt wurde und zur Kennzeichnung mit den Buchstaben l, m und s führte, ergaben Druckverlustkoeffizienten  $\zeta_1$  je Lage des Gestricks in ungefährer Übereinstimmung mit Angaben bei Idelchik [3] für einlagige Gewebe. Die Ergebnisse zeigen aber bei großen  $\zeta$ -Werten mehrlagiger Gestricke im Wesentlichen über den Einfluss auf den Massenstrom eine unterschiedliche Stärke der Geräuscherzeugung im Gestrick. In gleicher Weise ist auch die Dämpfung von Geräuschen wirksam, die an stromauf gelegenen Quellen erzeugt werden. Daraus sind technische Optimierungen von Drosselschalldämpfern ableitbar.



**Abbildung 4:** Analytische Approximation von kleinsten und größten Schallpegelangaben in [1], in dB, als Funktion des Normvolumenstroms  $q_n$ , in  $m^3/s$ , durch Parameter  $\beta_1 = 0,6$  und  $\beta_2 = 0,06$ , die mit dem Nenner von Gl. (5) zu vergleichen sind.

Die Untersuchungen wurden im Auftrag von BBM Akustik Technologie GmbH in deren reflexiosarmem Raum in Planegg unter Mitwirkung von H. Nürnberger durchgeführt.

### Literatur

[1] H.V. Fuchs, K. Gießelmann: Geräuscherzeugung bei der Durchströmung poröser Materialien, DA-GA'81, VDE-Verlag, 385 - 388  
 [2] L. Cremer, Vorlesungen über Technische Akustik, 2. Aufl., Berlin: Springer 1975, S.20  
 [3] Idelchik, Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd ed., S. 522 f