

21 (1994) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

P. Brandstätt, W. Frommhold

Einfluß des Raumes auf die Mündungsreflexion von Luftauslässen

1. Problemstellung

Bei der akustischen Planung von Lüftungsanlagen wird zur Berechnung der Mündungsreflexion am Luftauslaß von der Abstrahlung einer Kugelwelle in den Raum ausgegangen (VDI-Richtlinie 2081). Im Frequenzbereich unter 100 Hz ist diese Annahme zumindest in kleinen Räumen nicht zutreffend, es dominiert der Raumeinfluß. Bei den Eigenfrequenzen des Raumes wird dem Raum mehr Lärm zugeführt, was in der Planung berücksichtigt werden muß.

2. Berechnung des Reflexionsfaktors mit Raumeinfluß

Bei verhältnismäßig großen Räumen ist die Berechnung des Reflexionsfaktors über den Impedanzsprung ebene Welle/Kugelwelle [1] gerechtfertigt. Bei kleinen Räumen und Frequenzen unter 100 Hz muß dagegen die tatsächliche Lastimpedanz Z_L des Raumes auf die Mündungsöffnung zur Be-

$$\frac{Z_L(\omega, r_0)}{Z_0} = Z_{Ln}(\omega, r_0) = \frac{c_0 S}{\omega V} \sum_N \frac{\Psi_N(\omega, r) \Psi_N(\omega, r_0)}{\Lambda_N \left[\eta_N + j \left(1 - \left(\frac{\omega_N}{\omega} \right)^2 \right) \right]} \quad (1)$$

rechnung des Reflexionsfaktors verwendet werden. Der Ausdruck unter der Summe kennzeichnet das modale Schallfeld [2]. Für die Lastimpedanz sind Sender- und Empfangsort gleich, $r=r_0$. Es bedeuten:

- η_N = modaler Verlustfaktor,
- $Z_0 = \rho_0 c_0$, $\Psi_N(\omega, r/r_0)$ = Querverteilungsfunktionen für Sender bzw. Empfänger,
- Λ_N = Orthogonalitätsfaktor,
- ω_N = Modenfrequenz,
- V = Raumvolumen,
- S = Fläche der Kanalöffnung.

Der Reflexionsfaktor ergibt sich aus der normierten Lastimpedanz Z_{Ln} gemäß:

$$r = \left| \frac{Z_{Ln} - 1}{Z_{Ln} + 1} \right| \quad (2)$$

3. Experiment

Für erste Untersuchungen wurde ein schallharter Raum im Maßstab 1:5 als Modell mit den Maßen $L \times B \times H = 69 \times 80 \times 62$ cm nachgebaut. Den zuführenden Luftkanal bildet ein Kundt'sches Rohr, das in einer Raumecke angebracht wurde. In Bild 1 ist der Reflexionsfaktor über der Frequenz bei einem Rohrdurchmesser von 10 cm dargestellt. Die Messung (durchgezogene Linie) und die Rechnung mit Lastimpedanz (schraffierte Linie) zeigen gute Übereinstimmung. Es treten tiefe Einbrüche bei den Raumresonanzen auf. Bei den ersten Moden in Bild 1 liegt die tatsächliche Reflexionsdämmung ca. 4 dB niedriger als nach VDI 2081 ermittelt. Die Rechnung für die Kugelwelle (strichpunktierte Linie) verläuft annähernd als Mittelwert durch die gemessenen Werte.

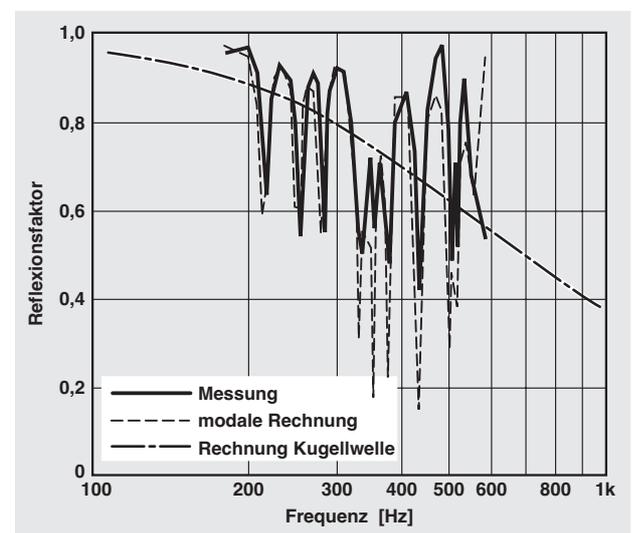


Bild 1: Reflexionsfaktor im Modell 1:5, Rohrdurchmesser 10 cm

4. Modale Verlustfaktoren

Die modalen Verlustfaktoren werden für die Berechnung der Lastimpedanz und für die Pegelverteilungen im Raum benötigt. Für die Planung einer Lüftungsanlage müssen sie vorausberechnet werden. Dies kann nach [3] aus dem Absorptionsexponenten $\alpha' = -\ln(1-\alpha)$ geschehen (Voraussetzung: gleichmäßig über die Wände verteilte Absorption mit dem Absorptionsgrad α):

$$\delta_N = \frac{c}{4} \left[\frac{\cos \vartheta_x (\alpha'_{xO} + \alpha'_{xL})}{L_x} + \frac{\cos \vartheta_y (\alpha'_{yO} + \alpha'_{yL})}{L_y} + \frac{\cos \vartheta_z (\alpha'_{zO} + \alpha'_{zL})}{L_z} \right] \quad (3)$$

L_x, L_y, L_z sind die Raumabmessungen, $\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$ die Einfallswinkel auf die Wandflächen. Durch Normierung auf die jeweilige Resonanzfrequenz erhält man den Verlustfaktor $\eta_N \approx 2\delta_N / \omega_N$. In Tabelle 1 sind für Räume mit einem Volumen von 35 bis 80 m³ die gemessenen Verlustfaktoren zusammengestellt. Büro 1 weist durchschnittliche Ausstattung und Absorption (Unterdecke) auf, Büro 2 gehobene Ausstattung

Tabelle 1: Gemessene Verlustfaktoren verschiedener Raumarten

Moden-index x,y,z	Verlustfaktor η		
	schallharte Räume	Büro 1 normale Ausstattung	Büro 2 gehobene Ausstattung
100	0,0120	0,052	0,088
010	0,0087	0,071	0,101
110	0,0067	0,057	0,113
001	0,0060	-	-
101	0,0073	-	-

Tabelle 2: Vergleich von gemessenen und berechneten Verlustfaktoren für das Büro mit normaler Ausstattung

Moden-index x,y,z	Verlustfaktor η		
	Messung	Rechnung A	Rechnung B
100	0,052	0,0073	0,051
010	0,071	0,0073	0,062
110	0,057	0,0073	0,064

mit hoher Absorption. Tabelle 2 zeigt den Vergleich von gemessenen und berechneten Verlustfaktoren für das Büro 1. Rechnung A folgt Gleichung (3), Rechnung B berücksichtigt zusätzlich den streifenden Einfall bei tiefen Frequenzen [3]. Für eine Abschätzung genügt es offenbar, einen einheitlichen Verlustfaktor für die ersten höheren Moden anzusetzen, dessen Höhe vom Absorptionsvermögen des Raumes abhängt.

Literatur

- [1] Kurze, U.: Schallabstrahlung an der Austrittsöffnung von Kanälen. *Acustica* 20 (1968), H. 5, S. 253-263.
- [2] Frommhold, W., Teige, K., Fleischmann, T.: Tieffrequente Schallfelder in kleinen belüfteten Räumen, Daga (1994).
- [3] Cremer, L., Müller, H.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band II, Hirzel Verlag Stuttgart, (1976).



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