

Messung der Kanaldämpfung von Schalldämpfern in einem erweiterten Kundt'schen Rohr mit Hilfe des Übertragungsmatrixverfahrens

Thomas Geyer¹, Jörn Hübelt², Eلفgard Kühnicke³

¹ TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Email: tfgeyer@web.de

² Gesellschaft für Akustikforschung mbH, 01099 Dresden, Email: joern.huebelt@akustikforschung.de

³ TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Email: Elfgard.Kuehnicke@ias.et.tu-dresden.de

Einleitung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Bestimmung der Kanaldämpfung D_h eines Absorptionsschalldämpfers mit Hilfe des sogenannten Übertragungsmatrixverfahrens (kurz: ÜTMV) in einem erweiterten Kundt'schen Rohr. Dazu wird ein Schalldämpfer der Länge L in ein erweitertes Kundt'sches Rohr eingebracht. Mit vier Mikrofonen, zwei vor dem Messgegenstand, zwei dahinter, kann die in den Schalldämpfer eintretende und die durch den Schalldämpfer transmittierte Schalleistung bestimmt werden. Das entspricht der Messung des Durchgangsdämpfungsmaßes D_t nach [1]. Reflektierte Anteile der Schalleistung gehen durch dieses Messverfahren nicht in die Berechnung ein.

$$p(z) = \underline{p}_+ e^{-jk_z \cdot z} + \underline{p}_- e^{+jk_z \cdot z} \quad (1)$$

Der erste Summand aus Gleichung (1) beschreibt dabei eine in $+z$ -Richtung laufende ebene Welle, der zweite eine in $-z$ -Richtung laufende ebene Welle. Die axiale Wellenzahl \underline{k}_z ist komplex, sie setzt sich zusammen aus der **Phasenkonstante** $k' = \text{Re}\{\underline{k}_z\}$ und der **Dämpfungskonstante** $k'' = \text{Im}\{\underline{k}_z\}$. Aus der Dämpfungskonstante lässt sich die Dämpfung eines Schalldämpfers der Länge L bestimmen zu:

$$D_L = 8,686 \cdot \text{Im}\{\underline{k}_z \cdot L\}. \quad (2)$$

Ist die Querschnittsfläche des Impedanzrohres S_1 vor und hinter dem Schalldämpfer gleich der freien Kanalquerschnittsfläche des Schalldämpfers S_2 , so kann die sogenannte *Stoßstellendämpfung* D_S des Schalldämpfers vernachlässigt werden, und es gilt:

$$D_L \approx D_t. \quad (3)$$

Die **Kanaldämpfung** D_h bezeichnet die Dämpfung eines Schalldämpfers mit der Länge h , wobei h genau der halben freien Kanalbreite des Schalldämpfers entspricht. Es gilt:

$$D_h = \frac{h}{L} D_L. \quad (4)$$

Messumgebung

Das Durchgangsdämpfungsmaß D_t wurde in einem sogenannten *erweiterten Kundt'schen Rohr* gemessen, wie es in Bild 1 dargestellt und in [2] beschrieben ist: Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Kundt'schen Rohr oder Impedanzrohr, bei welchem sich die zu untersuchende Probe

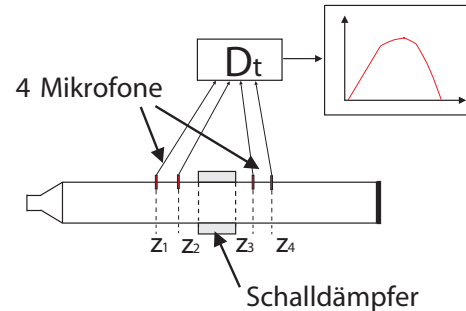


Bild 1: Messaufbau zur Messung des Durchgangsdämpfungsmaßes D_t in einem erweiterten Kundt'schen Rohr

an einem Rohrende befindet, während am anderen Rohrende die Schallquelle angebracht ist, befindet sich der Messgegenstand beim erweiterten Kundt'schen Rohr etwa in Rohrmitte.

Auf einer Seite wird, wie beim herkömmlichen Kundt'schen Rohr, durch eine Schallquelle ein Signal eingespeist, auf der anderen Seite ist das Rohr beliebig abgeschlossen. Als Messgegenstand dient ein kreisförmiger Absorptionsschalldämpfer. Zur Messung werden vier Mikrofone verwendet, je zwei Mikrofone befinden sich vor dem Messgegenstand und zwei dahinter. Damit ist exakt die in den Schalldämpfer eintretende sowie die transmittierte Schalleistung messbar.

Messverfahren

Die Messung der Wellenzahl \underline{k}_z erfolgt unter Verwendung des ÜTMV. Das Prinzip des Übertragungsmatrixverfahrens ist die Betrachtung des Messgegenstandes der Länge L im erweiterten Kundt'schen Rohr als Wellenleitervierpol und die Bestimmung der Übertragungsmatrix dieses Vierpols. Der Vorteil der Methode ist, dass der Abschluss des Rohres nicht bekannt sein muss. Das Verfahren ist zudem sehr exakt, Fehler zwischen den 4 Mikrofonen inklusive ihrer Kanäle werden nach [2] korrigiert. Ausgangspunkt der Berechnung der komplexen Wellenzahl in Schallausbreitungsrichtung, \underline{k}_z , ist die Messung des Schalldrucks an den vier Mikrofonpositionen z_1 bis z_4 gemäß Bild 1. Der Schalldruck p_n ($n = 1; 2; 3; 4$) an den vier Positionen ist dabei jeweils durch folgende Gleichung gegeben:

$$\underline{p}_n = \underline{A}_n e^{j\underline{k}_z z_n} + \underline{B}_n e^{-j\underline{k}_z z_n}. \quad (5)$$

Bezeichnung	L	Innendurchmesser d_i	$\Lambda = \frac{d}{h}$
Dämpfer 1	0,4 m	$\approx 0,2$ m	≈ 1
Dämpfer 2	0,35 m	$\approx 0,14$ m	$\approx 0,4$

Tabelle 1: Verwendete Schalldämpfer zur Messung der Dämpfung

Aus dem auf diese Weise entstehenden Gleichungssystem lassen sich die komplexen Übertragungsfunktionen \underline{H}_{1i} ($i = 2; 3; 4$) zwischen Mikrofon 1 (am Punkt z_1) und Mikrofon i bestimmen. Zur Berechnung der Übertragungsmatrix des Messgegenstandes der Länge L sind nun der Schalldruck sowie die Schallschnelle am Eingang des Absorbers (Index „0“) sowie am Ausgang des Absorbers (Index „L“) von Bedeutung. Es ergibt sich folgende Übertragungsmatrix:

$$\begin{pmatrix} \underline{p}_0 \\ \underline{v}_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{T}_{11} & \underline{T}_{12} \\ \underline{T}_{21} & \underline{T}_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{p}_L \\ \underline{v}_L \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Nach [3] und [4] ergibt sich der Zusammenhang zwischen der Wellenzahl \underline{k}_z sowie der Impedanz \underline{Z} des Schalldämpfers und der Übertragungsmatrix zu

$$\begin{pmatrix} \underline{T}_{11} & \underline{T}_{12} \\ \underline{T}_{21} & \underline{T}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\underline{k}_z L) & j\underline{Z} \sin(\underline{k}_z L) \\ j\underline{Z} \sin(\underline{k}_z L) & \cos(\underline{k}_z L) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Somit gilt für die Wellenzahl \underline{k}_z des Absorptionsschalldämpfers [4]:

$$\underline{k}_z = \frac{1}{L} \arccos(\underline{T}_{11}). \quad (8)$$

Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die beiden zur Messung der Kanaldämpfung verwendeten Absorptionsschalldämpfer der Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH aufgelistet. Beide Schalldämpfer sind rund und ausgekleidet mit dem porösen Faserabsorber **Akustik TP1**. Sie besitzen unterschiedliche normierte Auskleidungstiefen Λ und Längen L , welche Tabelle 1 entnommen werden können. Dabei wird mit d die Dicke der Absorberschicht und mit h die halbe freie Kanalbreite bezeichnet. Die halbe freie Kanalbreite h beträgt bei jedem Schalldämpfer 0,05 m.

Bild 2 zeigt die gemessene Kanaldämpfung D_h von Dämpfer 1 im Vergleich mit Rechenwerten [5]. Bild 3 zeigt die gemessene Kanaldämpfung D_h von Dämpfer 2 im Vergleich mit Rechenwerten [5]. Dabei entspricht die schwarze Kurve jeweils der gemessenen Kanaldämpfung, die rote Kurve gibt die theoretische Kanaldämpfung für Absorptionsschalldämpfer mit lokal-wirksamer Auskleidung an. Die im Impedanzrohr mit dem ÜTMV gemessenen Kurven der Kanaldämpfung D_h in Abhängigkeit der Frequenz f entsprechen den zuvor berechneten Kurven. Im betrachteten Frequenzbereich (tiefe Frequenzen) weist der Schalldämpfer mit der dickeren Auskleidung erwartungsgemäß eine höhere Dämpfung auf. Mit dem beschriebenen Versuchsstand lässt sich vor allem die Kanaldämpfung von Schalldämpfern mit rundem Querschnitt, variabler absorbierender Auskleidung, variabler

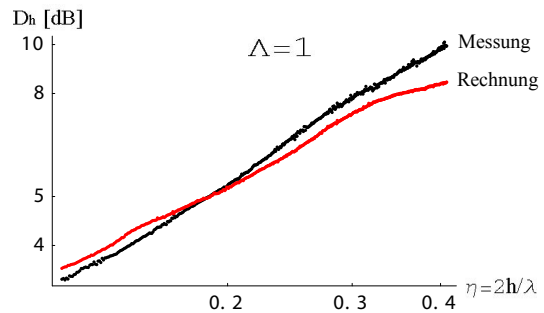


Bild 2: Schalldämpfer 1: Vergleich Messung (schwarz) mit Rechnung (rot)

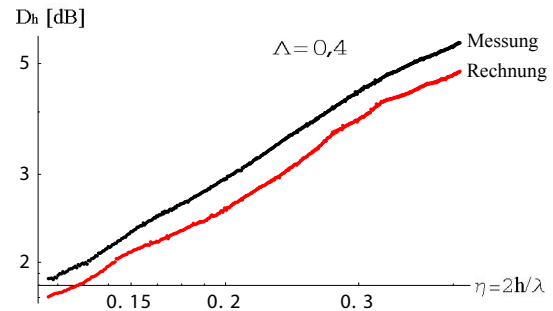


Bild 3: Schalldämpfer 2: Vergleich Messung (schwarz) mit Rechnung (rot)

Auskleidungstiefe d und variabler Länge L sehr einfach, aber sehr genau messen. Der Versuchsstand besitzt im Vergleich zu gängigen Schalldämpferprüfständen nur eine sehr geringe Größe.

Literatur

- [1] *Akustik-Labormessungen an Schalldämpfern in Kanälen-Einfügungsdämpfung, Strömungsgeräusch und Gesamtdruckverlust (ISO 7235:2003); Deutsche Fassung EN ISO 7235:2003*. 2004
- [2] *Akustik - Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren, Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion (ISO 10534-2:1998)*. 2001
- [3] SONG, B. H. ; BOLTON, J. S.: A transfer-matrix approach for estimating the characteristic impedance and wave numbers of limp and rigid porous materials. In: *Journal of the Acoustical Society of America* 107 (3) (2000), März, S. 1131 – 1152
- [4] HÜBELT, J. ; BÖHM, M.: Using an extended impedance measurement method for the estimation of porosity and flow resistance of porous materials. In: *Twelfth International Congress on Sound and Vibration* (2005)
- [5] HÜBELT, J. ; GEYER, T. ; SARRADJ, E.: Über die Vorhersage der Kanaldämpfung von Absorptionsschalldämpfern beliebiger Kanalquerschnittsformen anhand von im Impedanzrohr gemessenen Absorberkennwerten. In: *DAGA 2006, Braunschweig* (2006)