

Modellbeschreibung zum Einfluss von Luftdurchlässen auf die Schall-Längsübertragung zwischen Räumen

Karlheinz Bay, Wolfgang Herget, Philip Leistner

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, E-Mail: karlheinz.bay@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Durch raumlufttechnische Anlagen versorgte Räume stehen über gemeinsame Lüftungskanäle miteinander in Verbindung, die einen Übertragungsweg für den Luftschall von einem Raum zum nächsten oder über mehrere Räume hinweg bilden. Im Blickpunkt steht die Verbindung vom Lüftungskanal zum Raum, die im Allgemeinen durch geometrisch angepasste und gegebenenfalls bedämpfte Luftdurchlässe hergestellt wird. Schrittweise wird die rechnerische Beschreibung generischer Luftdurchlässe nach dem eindimensionalen Wellenleitermodell entwickelt und die resultierende Durchgangsdämpfung mit Messwerten verglichen. Separat wird die Durchgangsdämpfung bezüglich des Empfangs- und Senderraums betrachtet, um darauf aufbauend ein Modell zur Kopplung zwischen den Räumen hinsichtlich der Schall-Längsübertragung zu entwickeln.

Luftdurchlass im Empfangsraum

Die messtechnische Ermittlung der Durchgangsdämpfung der Luftdurchlässe bezüglich des Empfangsraums wurde mit Hilfe eines Funktionsträgers mit reflexionsfrei abgeschlossener Lautsprecherquelle durchgeführt. Über eine Messung des komplexen Reflexionsfaktors in Verbindung mit dem im Rohr gemessenen Schalldruckpegel wird die Schalleistung der auf den Luftdurchlass zulaufenden (vorwärts laufenden) Welle ermittelt [1,2]. Die in den Raum abgestrahlte Schalleistung wird im Freifeldraum über die auf einer Hüllfläche gemessenen Schalldruckpegel bestimmt. Die Durchgangsdämpfung des Luftdurchlasses wird dann aus der Differenz der Schalleistung der vorwärts laufenden Welle im Rohr des Funktionsträgers und der in den Raum abgestrahlten Schalleistung berechnet.

Das akustische Gesamtsystem wird als eindimensionaler Wellenleiter betrachtet und durch Transfermatrizen beschrieben [2]. In Anlehnung an den Messaufbau werden die Transfermatrizen der einzelnen Kanalabschnitte des Funktionsträgers sowie des Luftdurchlasses Z_{KL} aneinander gereiht. Als Eingang wird eine Quelle mit reflexionsfreiem Abschluss Z_e und als Ausgang die Strahlungsimpedanz Z_r für die entsprechende Auslassgeometrie des Luftdurchlasses angesetzt. Eine Skizze für den Modellansatz ist in Form von Kanalimpedanzen in Abbildung 1 aufgetragen. Bei der Berechnung der Durchgangsdämpfung des Luftdurchlasses sind sowohl reflektierende als auch absorbierende Anteile zu berücksichtigen. Über das Verhältnis von p_r/p_x , gegeben durch die Strahlungsimpedanz am Ausgang, die Impedanz des Gesamtsystems unter der Randbedingung einer Schnelle-reflexion am Ausgang sowie der Schallkennimpedanz Z_0 des

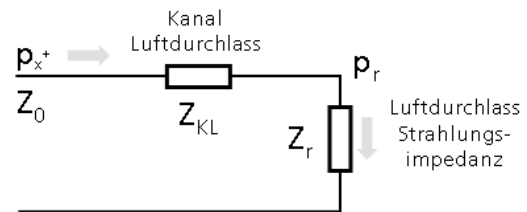


Abbildung 1: Systemaufbau für den Modellansatz

Kanals der „Messstelle“ x wird die Transmission des Luftdurchlasses ermittelt. Die Durchgangsdämpfung wird dann unter Berücksichtigung der Flächenverhältnisse d_x , d_r aus dem Druckverhältnis gemäß

$$\Delta L_w = -10 \lg \left(\frac{p_r}{p_x} \frac{d_r}{d_x} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

bestimmt.

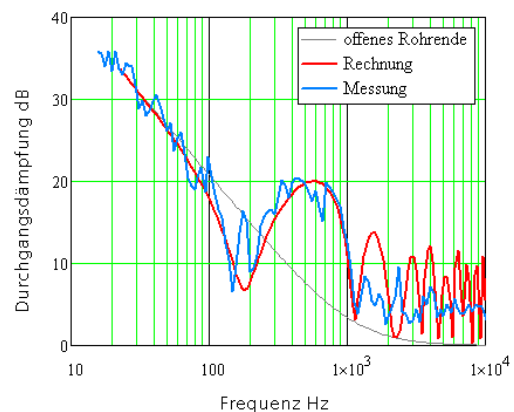


Abbildung 2: Beispiel für die Durchgangsdämpfung einer einfachen Expansionskammer als Luftdurchlass.

In Abbildung 2 ist ein Beispiel für die ermittelte Durchgangsdämpfung einer einfachen Expansionskammer als Luftdurchlass dargestellt. Messung und Modellrechnung weisen gute Übereinstimmung auf. Im Vergleich zur Rohrmündung ohne Luftdurchlass ist jedoch im tieffrequenten Bereich ein erheblicher Einbruch der Durchgangsdämpfung auf Grund der Wechselwirkung mit der Expansionskammer zu erkennen. Es stellt sich die Frage, in wie fern dieser Einbruch durch Bedämpfung der Kammer zu beeinflussen ist. Hierzu wurde die Expansionskammer mit einem porösen Absorber, entsprechend einem Rohrschall-dämpfer, ausgekleidet. In Abbildung 3 ist die ermittelte Durchgangsdämpfung in Abhängigkeit der Frequenz aufgetragen. Auch für diesen Fall sind im tieffrequenten Bereich, wenn auch geringer, Dämpfungseinbrüche durch Kopplung mit der Mündungsreflexion zu verzeichnen.

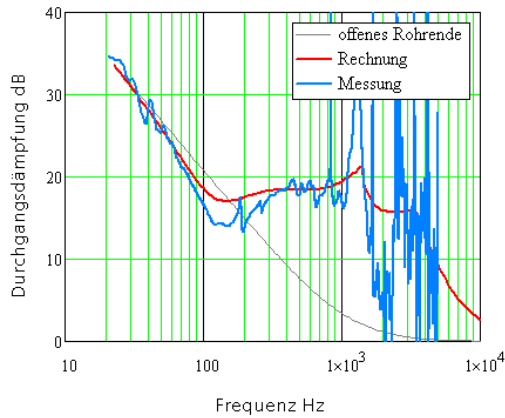


Abbildung 3: Beispiel für die Durchgangsdämpfung eines Schalldämpfers als Luftdurchlass.

Luftdurchlass im Senderraum

Zur Charakterisierung des Luftdurchlasses im Senderraum wurden im Freifeldraum Messungen für ein offenes Rohrende mit reflexionsarmem Abschluss durchgeführt. Die Anregung erfolgte über einen in Achsrichtung des offenen Rohrendes aufgestellten Lautsprecher. Es wurden die Schalldruckpegel in unmittelbarer Umgebung der Rohrmündung im Raum sowie die Schalldruckpegel der vorwärts laufenden Welle im Rohr in Richtung des reflexionsarmen Rohrabschlusses gemessen. Wie zu erwarten war, ist keine Änderung der einfallenden Schalleistung an der Rohrmündung im Raum im Vergleich zur Schalleistung der vorwärts laufenden Welle im Rohr zu ermitteln. Im Hinblick auf die Raumkopplung wurde in einem zweiten Ansatz der reflexionsarme Abschluss durch einen schallharten Abschluss ersetzt. Über die Schallquelle im Raum wird nun das Rohrsystem stetig über die Mündungsöffnung gespeist. Dies führt innerhalb des Rohrsystems, bestehend aus Mündungsreflexion (Eingang) und schallhartem Abschluss, zu stehenden Wellen, die z.T. wesentlich höhere Schalldruckpegel aufweisen als der eingespeiste Mündungspegel. Das Kanalsystem wird nun von der Mündung aus betrachtet. Im Modell wird dies durch die Änderung Schallkennimpedanz von Z_0 nach Z_r bei der Berechnung des Reflexionsfaktors berücksichtigt. Zur Prüfung wurde eine Modellrechnung der Mündungspegel durchgeführt (Abbildung 4).

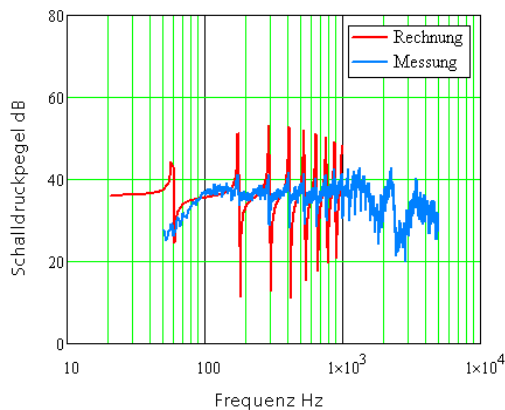


Abbildung 4: Mündungspegel der vorwärts laufenden Welle bei einseitig schallhart abgeschlossenem Rohr.

Kopplung Senderraum - Empfangsraum

Wie im letzten Abschnitt angedeutet, genügt die Erweiterung des Berechnungsmodells einer Schallquelle mit Strahlungsimpedanz als Abschluss auch der Beschreibung der Kopplung sende- und empfangsraumseitiger Luftdurchlässe. Beispielhaft wird nun der einfache Fall einer sende- und empfangsraumseitigen freistehenden Rohrmündung untersucht. In Abbildung 5 ist die ermittelte Schalldämmung bezogen auf die Öffnung der Rohrmündung aufgetragen.

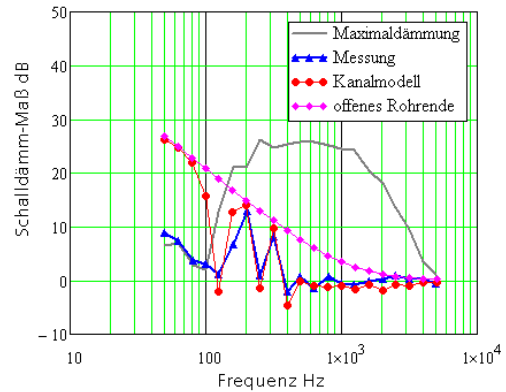


Abbildung 5: Ermittelte Schalldämmung für den Aufbau mit beidseitig offenem Rohrende.

Zum Vergleich wurde die gemessene Maximaldämmung bei im Empfangsraum abgeschlossenem Rohrende aufgetragen. Messung und Berechnung mit dem Kanalmodell zeigen gute Übereinstimmung. Im Vergleich zur Durchgangsdämpfung für eine freistehende Rohrmündung ohne Kopplung ergeben sich jedoch bei tiefen und mittleren Frequenzen erhebliche Einbrüche.

Zusammenfassung

Die Modellierung durch Transfermatrizen stellt eine Methode zur Beschreibung der Schall-Längsübertragung zwischen Räumen über raumlufttechnischen Anlagen dar. Mit diesem Modell kann sowohl der Einfluss der Kopplung des Luftdurchlasses mit der Mündungsreflexion hinsichtlich der Durchgangsdämpfung als auch die Wechselwirkung zwischen Räumen bezüglich Schalldämmung beschrieben werden.

Die Untersuchungen wurden als Bestandteil des Projekts „Schallübertragung RLTA“ durchgeführt. Das IGF-Vorhaben 16239N der Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e.V wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] W. Herget, K. Bay, P. Brandstät: Messtechnische Untersuchungen zur Durchgangsdämpfung von Luftdurchlässen, DAGA 2011.
- [2] Munjal, M. L.: Acoustics of Ducts and Mufflers. Wiley Sons, New York, 1987.