

Der Einfluss der Laibungsimpedanz auf das Schalldämmmaß von kleinen Doppelfenstern

Katrin Jakob, André Jakob, Michael Möser; Institut für Technische Akustik (ITA), Technische Universität Berlin
Einsteinufer 25, D-10587 Berlin; e-mail: Katrin.Jakob@tu-berlin.de

1. Einleitung

Bei doppelschaligen Konstruktionen, ein Beispiel stellen Doppelfenster dar, wird die Schallübertragung bei hinreichend kleinen Fensterabmessungen wesentlich durch die Impedanz der Laibungsflächen beeinflusst. Durch Auskleiden der Laibung mit Absorberstreifen aus porösem Material konnte in bisherigen Untersuchungen die Schalldämmung vor allem für den mittleren bis hohen Frequenzbereich verbessert werden [1]. Im tieffrequenten Bereich, in dem meist auch die Masse-Feder-Masse-Resonanz des Fensters lokalisiert werden kann, versagen diese passiven Mittel. Maßnahmen der aktiven Lärmbekämpfung versprechen für tiefe Frequenzen bessere Erfolge [2].

Diese Arbeit (vgl. [3]) beschäftigt sich mit der Möglichkeit, durch geeignete Wahl von Laibungsstrukturen den Einbruch der Schalldämmung in der Masse-Feder-Masse-Resonanz des Fensters abzumildern und damit die Schalldämmung insgesamt merklich zu verbessern. Zunächst wurde ein theoretisches Modell zur Berechnung der Schalldämmung in Abhängigkeit von der Laibungsimpedanz aufgestellt und dieses dann an einem Laborfenster überprüft. In dessen Laibungsflächen waren als $\lambda/4$ -Resonatoren wirkende Röhren eingebracht, deren Wirkungsweise am ITA bereits umfangreich untersucht wurde [4]. Die Resonatoren konnten speziell auf die Masse-Feder-Masse-Resonanz des Fensters abgestimmt werden.

2. Theoretisches Modell zur Berechnung der Schalldämmung

Das dreidimensionale Übertragungsproblem wurde auf die Betrachtung eines zweidimensionalen Fensterstreifens reduziert (Bild 1).

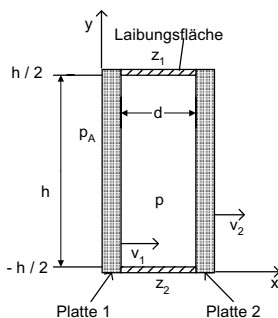


Bild 1: Modell des Fensterstreifens

Der Abstand der Scheiben d wurde als klein gegenüber der Wellenlänge λ vorausgesetzt, so dass das Hohlraumfeld lediglich in y -Richtung betrachtet werden musste. Modellvoraussetzung war weiterhin, dass sich die Fensterscheiben wie Kolbenstrahler verhalten, Biegewellen nicht zugelassen sind. Als Anregung wurden nur senkrecht einfallende Schallwellen vorausgesetzt. Somit konnte bei bekannter Anregung aus der auftreffenden und der berechneten abgestrahlten Schalleis-

tung das Schalldämmmaß R bestimmt werden.

$$R = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{\text{auftreffend}}}{P_{\text{abgestrahlt}}} \right) \quad (1)$$

Der Einfluss unterschiedlicher Laibungsimpedanzen auf die Schalldämmung wurde untersucht. Dafür waren zunächst die Grundtypen reine Reibungsimpedanz ($Z=r$), reine Massenimpedanz ($Z=j\omega m$) und reine Federimpedanz ($Z=-j\omega/s$) zu untersuchen. Durch Vergleich mit einem „quasi schallharten“ Fall konnten für die Verbesserung insbesondere in der Masse-Feder-Masse-Resonanz (f_{res}) Laibungsstrukturen als vorteilhaft identifiziert werden, deren Impedanzen vor allen Federcharakter haben und die zusätzlich bedämpft sind (Reibungscharakter).

Diese Anforderung erfüllen teilweise mit Absorptionsmaterial gefüllte Röhren, die als $\lambda/4$ -Resonatoren wirken. Ihre Impedanz Z_R lässt sich bestimmen mit

$$Z_R = \Xi d - j\rho c \cot(kl), \quad (2)$$

worin Ξ der längenspezifische Strömungswiderstand des porösen Absorbers, d seine Dicke, k die Wellenzahl in Luft, ρ ihre Dichte, c die Schallgeschwindigkeit und l die unbefüllte Röhrenlänge bezeichnen.

Bild 2 zeigt das berechnete Schalldämmmaß bei Variation der Röhrenparameter. In Teil (a) sind leere Röhren (unbedämpft) unterschiedlicher Länge dargestellt. Teil (b) zeigt den Einfluss des Befüllungsgrades d/l auf die Schalldämmung. Leere Röhren ermöglichen in f_{res} teilweise extreme Verbesserungen, die aber auch von extremen Verschlechterungen bei anderen Frequenzen begleitet werden. Durch Bedämpfung der Röhren werden diese Extrema abgemildert. Als „beste Variante“ können wenig gefüllte Röhren ($d/l < 1/4$), deren Länge mit $l = 0.75 \cdot \lambda_{res} / 4$ auf die Masse-Feder-Masse-Resonanz des Fensters ($f_{res} = c/\lambda_{res}$) bei schallharter Berandung ($Z = j\omega/(0.1\rho c)$) abgestimmt sind, identifiziert werden.

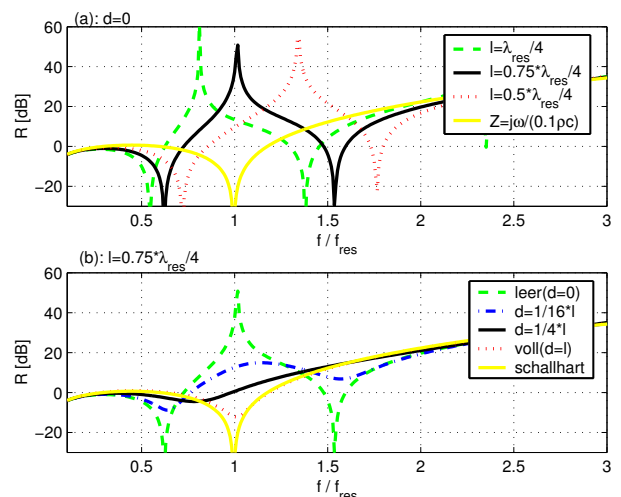


Bild 2: Schalldämmmaß R (gerechnet); Variation Röhrenparameter

3. Messtechnische Modellüberprüfung

Im Fensterprüfstand sollten durch Messungen an einem speziell konstruierten Laborfenster die Ergebnisse der Modellrechnung überprüft werden. Wie in Bild 3 dargestellt, waren in die Fensterlaibung Vierkantröhren eingelassen, die teilweise mit Schaumstoff befüllt, mit Schwerfolie abgedeckt (quasi schallharter Fall) oder leer eingesetzt werden konnten. Die Röhrenlänge war mit $l = \lambda_{res}/4$ auf die theoretische Masse-Feder-Masse-Resonanz des Fensters (gerechnet für unendlich ausgedehnte Platten) abgestimmt.

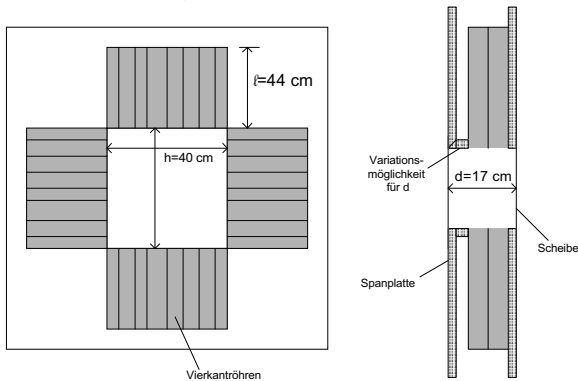


Bild 3: Konstruktionsskizze Laborfenster

Das gemessene Schalldämmmaß R bei unterschiedlichen Laibungsvarianten wird in Bild 4 gezeigt. Durch den Vergleich mit dem quasi schallharten Fall (alle Röhren mit Schwerfolie abgedeckt) ist die Wirkungsweise der modifizierten Röhren gut erkennbar.

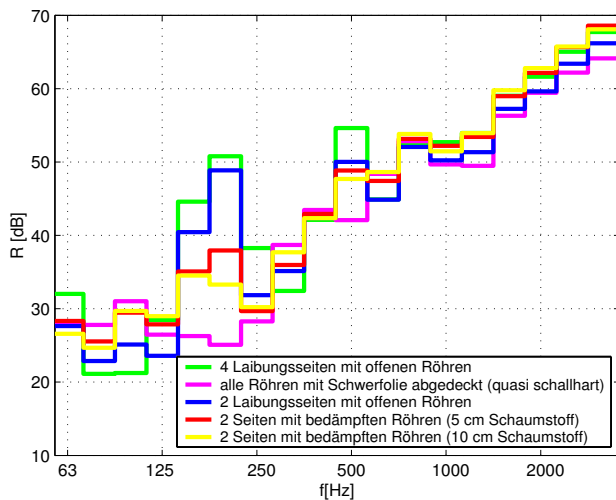


Bild 4: Schalldämmmaß R (gemessen); Variation Röhrenparameter

Bei leeren Röhren wird die Schalldämmung im Bereich von f_{res} (160 bis 250-Hz-Terz) um bis zu 25 dB angehoben. Wie anhand des theoretischen Modells vermutet, wird diese Verbesserung von Verschlechterung oberhalb und unterhalb der Oktav begleitet. Im Bereich von 500 Hz wird eine Hohlraumresonanz erkennbar. Zufälligerweise sind die Röhren auch darauf gut abgestimmt. Das Schalldämmmaß wird um bis zu 13 dB angehoben. Die Wirkung der leeren Röhren beschränkt sich im Wesentlichen auf die beschriebenen Frequenzbereiche. Waren die Röhren teilweise mit

Schaumstoff befüllt, dann wurden die starken Verbesserungen im Bereich von f_{res} wie erwartet abgeschwächt. Bei 315 Hz und bei höheren Frequenzen wirkt sich die Bedämpfung positiv aus. Die Verbesserung durch Einsatz von modifizierten Röhren zeigt sich auch im bewerteten Schalldämmmaß R_w' . Wie aus Tabelle 1 ersichtlich konnte R_w' um bis zu 4 dB gesteigert werden.

Tab. 1: bewertete Schalldämmmaße R_w' verschiedener Laibungsvarianten

Laibungsvariante	R_w'
alle Röhren abgedeckt	44 dB
4 Seiten mit offenen Röhren	47 dB
2 Seiten mit offenen Röhren	46 dB
2 Seiten mit bed. Röhren (5 cm)	48 dB
2 Seiten mit bed. Röhren (10 cm)	48 dB

4. Wirkungsweise des modifizierten Laborfensters bei Beschallung mit Verkehrsgeräuschen

Die Lärmbelastung durch Umweltgeräusche steigt weiterhin an und damit auch der Anteil von tieffrequenten Geräuschen. Zur Veranschaulichung der Auswirkung der Laibungsvariation wurde das modifizierte Fenster mit verschiedenen tieffrequenten Verkehrsgeräuschen beschallt. Durch den Einsatz von bedämpften Röhren (10 cm) konnte die Lärmbelastung im bauakustischen Frequenzbereich je nach anregendem Signal um bis zu 4 dB(A) (Gesamtpegel) abgesenkt werden.

5. Zusammenfassung

Die Schalldämmung von kleinen Doppelfenstern lässt sich mit passiven Maßnahmen auch im tieffrequenten Bereich verbessern. Im Labormaßstab konnte durch den Einsatz von bedämpften, als $\lambda/4$ -Resonatoren wirkenden Röhren Verbesserungen des bewerteten Schalldämmmaßes um bis zu 4 dB erreicht werden. Mit Hilfe unbedämpfter Resonatoren waren im Bereich der Masse-Feder-Masse-Resonanz Verbesserungen des Schalldämmmaßes von bis zu 25 dB nachweisbar. Zusätzliches Bedämpfen der Resonatoren führte zu Erhöhungen der Schalldämmung um bis zu 13 dB im Vergleich zur schallharten Laibung. Die Messergebnisse bestätigen qualitativ die Berechnungen des theoretischen Modells.

6. Literatur

- [1] GÖSELE, K., GÖSELE, U.: Einfluss der Hohlraumdämpfung auf die Steifigkeit von Luftschichten bei Doppelwänden; in *Acustica* Vol. 38 No.3, S.159-166: 1977
- [2] JAKOB, A., MÖSER, M., OHLY, C.: Ein aktives Doppelglasfenster mit geringem Scheibenabstand; *DAGA 2002*, Bochum 2002
- [3] JAKOB, K.: Der Einfluss der Laibungsimpedanz auf das Schalldämmmaß von kleinen Doppelfenstern; *Diplomarbeit* am Institut für Technische Akustik, TU Berlin, Berlin 2002
- [4] MÖSER, M.: Schallschutzwände mit verbesserter Schattenwirkung; Plenarvortrag; in *Fortschritte der Akustik- DAGA 2001*; Hamburg 2001