

Untersuchung der Längsdämmung von Außenwänden mit Hilfe von gekoppelten numerischen Verfahren

Dirk Clasen¹, Sabine Langer², Lutz Lehmann¹

¹ TU Braunschweig, Institut für Angewandte Mechanik, 38106 Braunschweig, Deutschland, Email: d.clasen@tu-bs.de

² TU Clausthal, Institut für Technische Mechanik, 38678 Clausthal, Deutschland

Einleitung

Bei der Untersuchung der Wellenausbreitung in unbegrenzten Gebieten ist die Sommerfeldsche Abstrahlbedingung zu erfüllen. Diese stellt sicher, dass keinerlei Energie aus dem Unendlichen in das betrachtete Gebiet zurückreflektiert wird. Um die Einhaltung der Abstrahlbedingung sicher zu stellen, wird hier die Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM) verwendet [2]. Diese wird mit einem Finite Elemente Programm für vibroakustische Probleme gekoppelt [1, 3], um die Längsdämmung von Bauteilen nach DIN EN 12354-1 zu untersuchen.

Die Messung der Längsdämmung erfolgt häufig in gewöhnlichen Wandprüfständen, bei denen die Prüfobjekte seitlich parallel zur Außenwand eingebaut werden, da viele Prüfstellen nicht über einen geeigneten Längsdämmungsprüfstand verfügen. Durch diese Art des Einbaus entsteht ein schmales Luftvolumen dessen Einfluss auf die Längsdämmung hier numerisch untersucht wird.

Modellbildung

Es existiert eine Vielzahl von Methoden, mit deren Hilfe Schallfelder in unberandeten Gebieten berechnet werden können. Diese Methoden versuchen, die Reflexion von Schallenergie aus dem Unendlichen zurück in das betrachtete Gebiet zu verhindern. Beispiele für diese Verfahren sind infinite Elemente, Dirichlet-to-Neumann (DtN) Randbedingungen oder die Randelementmethode (BEM). Im Folgenden soll ein alternativer Ansatz - die SBFEM - vorgestellt werden, der die Reflexion unterbindet.

Analog zur BEM wird bei dieser Methode die räumliche Dimension der Diskretierung um die Ordnung 1 reduziert und die Randbedingungen im unendlichen exakt erfüllt. Im Gegensatz zur BEM wird für die SBFEM jedoch keine Fundamentallösung benötigt. Desweiteren sind keine singulären Integrale auszuwerten und die resultierenden Matrizen der SBFEM sind symmetrisch jedoch weiterhin voll besetzt.

In Abb. 1 ist das Prinzip der SBFEM dargestellt. Die Geometrie eines zweidimensionalen Problems im Gebiet Ω wird durch finite Elemente mit einer lokalen Koordinate η , die auf dem Rand liegt, und einer radialen Koordinate ξ beschrieben, deren Ursprung im sog. Skalierungszentrum liegt. Dieses neue Koordinatensystem ist mit dem kartesischen Koordinatensystem über die sogenannte Scaled Boundary Transformation verknüpft, die eine Ähnlichkeitsabbildung darstellt. Durch diese Trans-

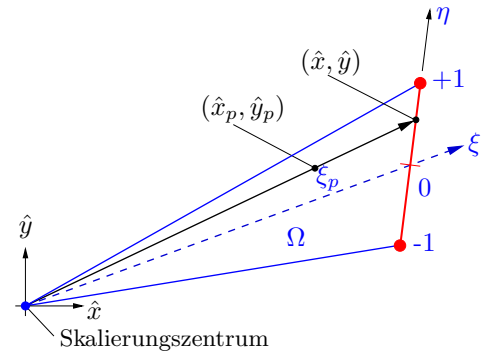


Abbildung 1: Prinzip der SBFEM

formation wird die partielle Differentialgleichung in radialer Richtung in eine gewöhnliche Differentialgleichung transformiert. Deren Koeffizienten werden mit Hilfe einer Finite Elemente Approximation in radialer Richtung bestimmt. Für unberandete Gebiete zeigt die axiale Koordinate ξ vom Rand ins Unendliche, wo die Sommerfeldsche Abstrahlbedingung als Randbedingung in die gewöhnliche Differentialgleichung eingebracht werden kann.

Die Kopplung im Frequenzbereich zwischen FEM und SBFEM Gebiet erfolgt durch Addition der Einflussmatrix \mathbf{S}^∞ zur FEM-Massenmatrix. Im Zeitbereich ist zusätzlich ein Faltungsintegral auszuwerten [2].

Anwendungsbeispiel

In Abb. 2 ist der Grundriß eines Modellprüfstandes (Maßstab 1:10) für Längsdämmungsmessungen der PTB dargestellt. Die dargestellte Konfiguration wurde für drei

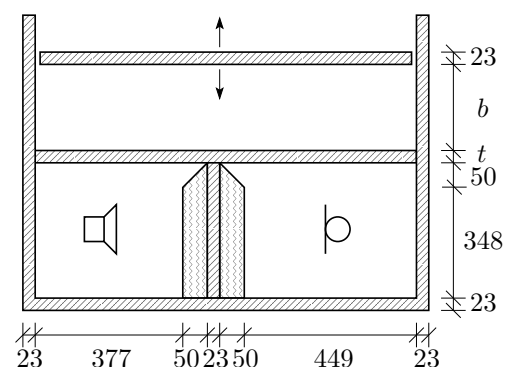


Abbildung 2: Grundriß des Modellprüfstandes für Längsdämmungsmessungen der PTB (Abmessungen in [mm])

Hohlraumtiefen b (50mm, 100mm und 250mm) untersucht. Zusätzlich wurden Messungen durchgeführt, bei

denen die Außenwand entfernt wurde. Um diese Messungen mit den Ergebnissen der Simulation vergleichen zu können, ist im numerischen Modell die Sommerfeldsche Abstrahlbedingung zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird für diese Berechnungen die SBFEM verwendet. In Abb. 3 sind die Ergebnisse von

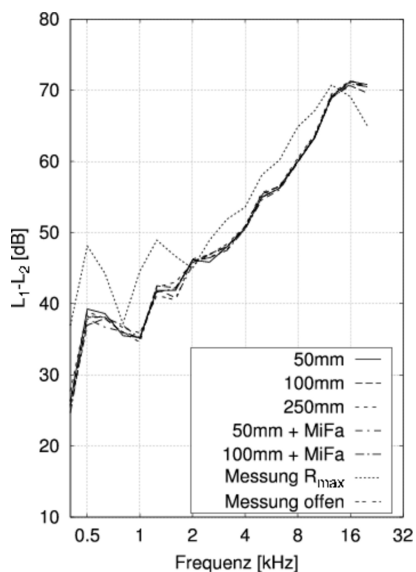


Abbildung 3: Messergebnisse ($t=23\text{mm}$) [4]

Messungen zusammengestellt, die in [4] vorgestellt wurden. Für diese Konfiguration ist kaum eine Abhängigkeit zwischen der Größe des Luftvolumens und der ermittelten Längsdämmung zu erkennen. Ähnlich verhält es sich auch mit den Ergebnissen der numerischen Simulation, die in Abb. 4 dargestellt sind. Auch hier ist keine Abhängigkeit zwischen der Größe des Luftvolumens und der ermittelten Längsdämmung zu erkennen. Allerdings

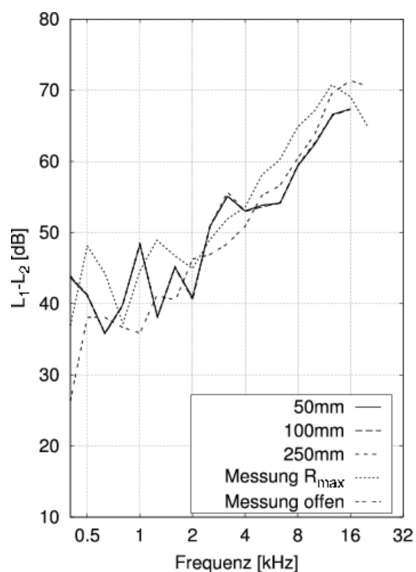


Abbildung 4: Vergleich zwischen Messung und Simulation für verschiedene Hohlraumtiefen ($t=23\text{mm}$)

sind insbesondere im Bereich von 0,5 bis 4 kHz deutliche Abweichungen zwischen Messung und Simulation zu erkennen. Ab 4 kHz beträgt dieser Unterschied dann nur

rund 2 dB. die berechneten Werte liegen zum Teil sogar über der gemessenen Maximaldämmung, da bei den Messungen - im Gegensatz zur Simulation - nicht alle Nebenwege ausgeschlossen werden können, was sich insbesondere im tieferen Frequenzbereich bemerkbar macht. Die Ergebnisse für die gekoppelte FEM-SBFEM Simulation sind in Abb. 5 dargestellt. Prinzipiell ist der Verlauf der Kurven für Messungen und Rechnungen vergleichbar, allerdings sind auch hier im unteren Frequenzbereich bis rund 4 kHz größere Abweichungen zwischen Messung und Simulation zu erkennen.

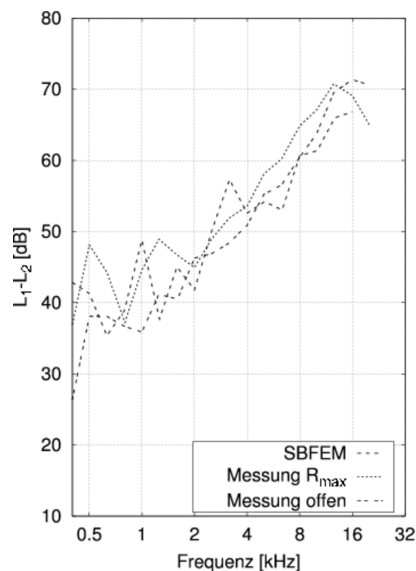


Abbildung 5: Vergleich zwischen Messung und der gekoppelten FEM-SBFEM Simulation für ein Prüfobjekt mit $t=23\text{mm}$

Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wurde ein numerisches Verfahren zur Behandlung der Sommerfeldschen Abstrahlbedingung in akustischen Randwertproblemen vorgestellt. Das Verfahren, die SBFEM, wurde verwendet, um numerisch die Längsdämmung von Außenbauteilen zu bestimmen. Für das hier dargestellt relativ dicke Bauteil ist die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Gestaltung des Nebenvolumens gering, die Einflüsse vergrößern sich mit abnehmender Dicke des Prüfobjektes [4], so dass der Hohlraum dann mit Mineralfaser zu bedämpfen ist.

Literatur

- [1] Langer, S.; Antes, H.: Analyses of Sound Transmission through Windows by coupled Finite and Boundary Element Methods. Acta Acustica united with Acustica 89 (2003), 78–85
- [2] Lehmann, L.: Wave Propagation in Infinite Domains. Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Vol.32, Springer (Berlin), 2007
- [3] Clasen, D.; Langer, S.: Finite Element Approach for Flanking Transmission in Building Acoustics. Building Acoustics 14(1) (2007)
- [4] Schmelzer, M.; Scholl, W.: Längsdämmungsmessung in normalen Schalldämm-Prüfständen Bauphysik 28 (2006), 253–256