

Ein hybrider FEM/SEA Ansatz zur Prognose der Schallübertragung an Bauteilstößen

Christoph Winter¹, Martin Buchschmid¹, Simon Mecking², Gerhard Müller¹, Ulrich Schanda²

¹ Lehrstuhl für Baumechanik, Technische Universität München, 80333 München, E-Mail: christoph.winter@tum.de

² Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim

Einleitung

Für einen Einsatz leichter Massivholzkonstruktionen im Geschosswohnungsbau sind die methodischen Grundlagen für die Planung des erforderlichen Luft- und Trittschallschutzes weiterzuentwickeln. Hierfür ist insbesondere die Vorhersage der Schallübertragung an Bauteilstößen notwendig.

Im tiefen Frequenzbereich ist die Finite Elemente Methode (FEM) für Prognosen geeignet. Für zunehmende Frequenzen nimmt die modale Dichte zu, wodurch die klassische FEM aufgrund der Sensitivität der Ergebnisse an Grenzen stößt und die Anwendung statistischer Methoden erforderlich wird. Die Statistische Energie Analyse (SEA) liefert für hohe Frequenzen robuste Ergebnisse, erlaubt aber i. d. R. nur eine sehr eingeschränkte Ortsauflösung.

Bei der Prognose für die o.g. Strukturen im mittleren Frequenzbereich werden im Rahmen einer Energieflussanalyse (EFA) Mittelungsmethoden der SEA [1] in der Nachauswertung der FEM eingesetzt. Vorteilhaft dabei sind robuste Ergebnisse verbunden mit einer größeren Flexibilität bei der Definition der Subsysteme [2,3].

Mit der EFA können die Energieflüsse zwischen den einzelnen Bauteilen, auch für den mittleren Frequenzbereich, in Form von Energieeinflusskoeffizienten (Energy Influence Coefficients - EICs) bestimmt werden. Sofern die Voraussetzungen der SEA gegeben sind, kann die EFA auf die numerische Power Injection Method (PIM) erweitert werden, um auch die Dämpfungsverlustfaktoren (DLFs) und Kopplungsverlustfaktoren (CLFs) zwischen Bauteilen zu berechnen.

Systembeschreibung

Im Folgenden wird ein Bauteilstoß bestehend aus Brettspertholzdecke und -wand untersucht (Abbildung 1).



Abbildung 1: Bauteilstoß bestehend aus Brettspertholzdecke und -wand.

Verfahren

Bei der Anwendung der EFA wird das System in zwei Subsysteme eingeteilt – Wand und Decke, wobei im Gegensatz zur SEA die Voraussetzung der schwachen Kopplung nicht gegeben sein muss.

Zunächst wird eine Harmonische Analyse durchgeführt. Die einzelnen Subsysteme werden wahlweise mit einer bekannten Belastung oder mit einer „Rain on the Roof“-Anregung beaufschlagt. Letztere ermöglicht eine Beteiligung aller Moden an der Systemantwort. Aus Last und Schnelle am Lastangriffspunkt wird die eingebrachte Leistung, gemittelt nach Zeit und Raum, berechnet:

$$\bar{P} = \sum \frac{1}{2} \cdot \text{Re}\{F \cdot v^*\} \quad (1)$$

Das Zeitmittel der kinetischen und potentiellen Energie wird zunächst auf Elementbasis berechnet und lastfallbezogen über das jeweilige Subsystem aufsummiert:

$$\bar{E}_{kin} = \sum_{e=1}^n \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot V \cdot (v_R^2 + v_I^2) \quad (2)$$

$$\bar{E}_{pot} = \sum_{e=1}^n \frac{1}{4} u_e^T K_e u_e \quad (3)$$

Mittels der Gesamtenergie in den Subsystemen, die sich aus der kinetischen und potentiellen Energie zusammensetzt, sowie der in die einzelnen Subsysteme eingebrachten Leistung kann die Matrix **A** der EICs ermittelt werden (siehe Gl. (4)). Hierbei stellt der Matrixeintrag A_{ij} die auf die eingebrachte Leistung normierte Energie im Subsystem i bei Belastung des Subsystems j dar.

$$\mathbf{A} = \mathbf{E} \mathbf{P}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{E_{11}}{P_1} & \frac{E_{12}}{P_2} & \dots & \frac{E_{1n}}{P_n} \\ \frac{E_{21}}{P_1} & \frac{E_{22}}{P_2} & \dots & \frac{E_{2n}}{P_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{E_{n1}}{P_1} & \frac{E_{n2}}{P_2} & \dots & \frac{E_{nn}}{P_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sind hierbei die Voraussetzungen für eine Anwendung der SEA gegeben, können die Dämpfungs- und Kopplungsverlustfaktoren durch eine Invertierung der EIC-Matrix gemäß Gl. (5) gewonnen werden.

$$\mathbf{L} = \frac{1}{\Omega} \mathbf{A}^{-1} = (\Omega \cdot \mathbf{A})^{-1} \quad (5)$$

Ergebnisse

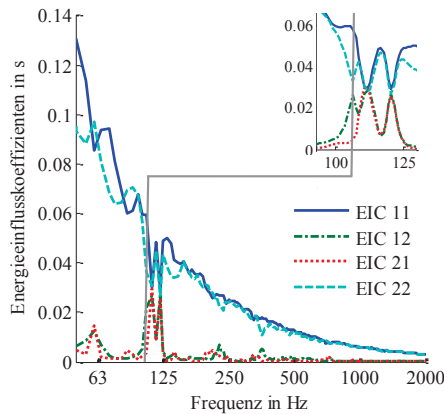


Abbildung 2: Energieeinflusskoeffizienten des Bauteilstoßes.

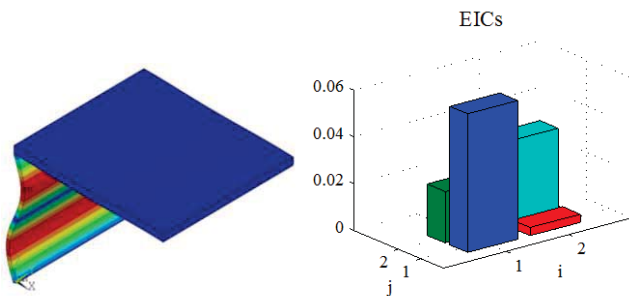


Abbildung 3: Eigenmode und Energieeinflusskoeffizienten bei 105 Hz.

Abbildung 2 zeigt die EICs des Bauteilstoßes, wobei EIC 11 bzw. 22 die Anregbarkeit der Subsysteme 1 (Wand) bzw. 2 (Decke) beschreiben. EIC 12 stellt die normierte Energie in der Wand bei Anregung der Decke dar. Bei 105 Hz (Abbildung 3) ist EIC 12 trotz der geringen Anregbarkeit der Decke größer als EIC 21. Die Eigenform aus einer Modalanalyse bei dieser Frequenz zeigt ebenfalls höhere Amplituden der Wand im Vergleich zur Decke.

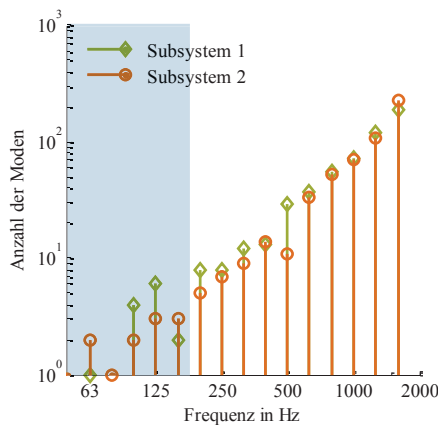


Abbildung 4: Anzahl der Moden je Terzband.

In Abbildung 4 ist der kritische Anwendungsbereich für die PIM blau hinterlegt. Dort sind die Voraussetzungen – z.B.

die modale Dichte und die Art der Subsystemkopplung – nicht erfüllt.

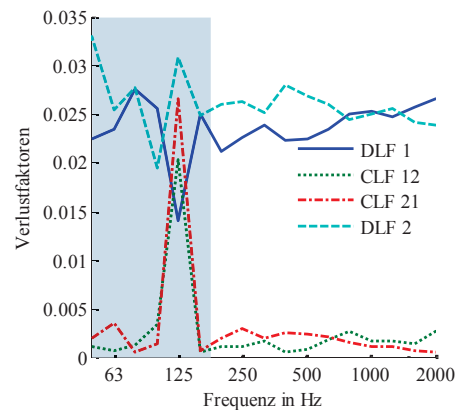


Abbildung 5: Dämpfungs- und Kopplungsverlustfaktoren.

In dem für die PIM zulässigen Frequenzbereich besitzen die aus der Invertierung der EIC-Matrix gewonnenen Dämpfungs- und Kopplungsverlustfaktoren physikalische Aussagekraft; so konvergieren z.B. die DLFs gegen die vordefinierten Dämpfungsparameter. Jedoch dürfen die Verlustfaktoren im blau hinterlegten Bereich nicht ausgewertet werden, da hier eine Invertierung bedingt durch eine schlecht konditionierte EIC-Matrix numerisch nicht möglich ist.

Fazit und Ausblick

Die EFA erlaubt eine Prognose der Körperschallausbreitung über Stoßstellen hinweg auch im mittleren Frequenzbereich. In der Erweiterung zur PIM für höhere Frequenzen können CLFs für diverse Bauteilstoßtypen prognostiziert und z.B. in einem Building Information Model hinterlegt werden. Als Nächstes soll der untersuchte Bauteilstoß für verschiedene Verbindungsmitteltypen untersucht sowie die Bauteilstoßgeometrie variiert werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der AiF und der DFG für die Unterstützung des Forschungsvorhabens „Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten“, das gemeinsam von TU München, Hochschule Rosenheim und ift Rosenheim durchgeführt wird.

Literatur

- [1] S. Korte, Untersuchung der hochfrequenten akustischen Transmission einer Kfz-Bodengruppe mittels Statistischer Energieanalyse, Technische Universität Berlin, Dissertation, 2005.
- [2] M. Buchschmid, G. Müller, and A. Kropp, Closing the Mid-Frequency-Gap: acoustic BIW design using a hybrid SEA-FEA approach, 16th International Congress on Sound and Vibration, ICSV16, Krakau, 2009.
- [3] B. R. Mace and P. J. Shorter, Energy Flow Models from Finite Element Analysis, Journal of Sound and Vibration (2000) 233(3), 369-389.