

Berücksichtigung der Dämpfung bei der Trittschallberechnung auf Basis der Finite Elemente Methode

A. Rabold^{1,2}, A. Düster¹

¹ Lehrstuhl für Computation in Engineering, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80290 München, Email: rabold@bv.tum.de

² ift Schallschutzzentrum, 83071 Stephanskirchen, Email: rabold@ift-rosenheim.de

Die Optimierung der tieffrequenten Trittschalldämmung von Holzdecken ist der Schwerpunkt eines aktuellen Gemeinschaftsprojektes mit dem ift Rosenheim und dem ibp Stuttgart. Die Trittschallberechnung erfolgt hierzu auf Basis der mit der Finiten Elemente Methode (FEM) berechneten Eigenmoden der Decke, die in der Spektralanalyse zur modalen Superposition der aus dem Anregungsspektrum resultierenden Schwingungsschnellen verwendet werden. Der Norm-Trittschallpegel der Decke resultiert schließlich aus dem Körperschall-Schnellepegel durch eine nachlaufende Berücksichtigung der Abstrahlung. Ein Überblick des Berechnungsmodells sowie Details zur Trittschallanregung konnten auf der DAGA 2007 [1] gezeigt werden. Im vorliegenden Beitrag wird auf die Modellierung der Dämpfung detaillierter eingegangen.

Einleitung

Als maßgebende Einflussgröße auf die Schwingungsamplitude ist neben der Anregungskraft die Masse und die Dämpfung der Struktur zu nennen. Die Berücksichtigung der Dämpfung in der FEM kann entweder durch die komplexe Berechnung des gedämpften Systems erfolgen, oder durch das Einsetzen einer modalen Dämpfung in der Nachlaufrechnung. Bei der in diesem Projekt favorisierten modalen Dämpfung wird jeder Eigenmode der Struktur ein Dämpfungswert zugeordnet.

Diese Strukturdämpfung wird in der Bauakustik häufig durch den Verlustfaktor η ausgedrückt, der das Verhältnis der während einer Schwingungsperiode umgewandelten (verlorenen) Energie E_V zur wiedergewinnbaren (reversiblen) Energie E_R darstellt.

$$\eta_{structure} = \frac{E_V}{2\pi E_R} \quad (1)$$

Die Strukturdämpfung setzt sich aus verschiedenen Beiträgen zusammen. Abbildung 1 illustriert die einzelnen Anteile am Beispiel einer Holzbalken-Rohdecke.

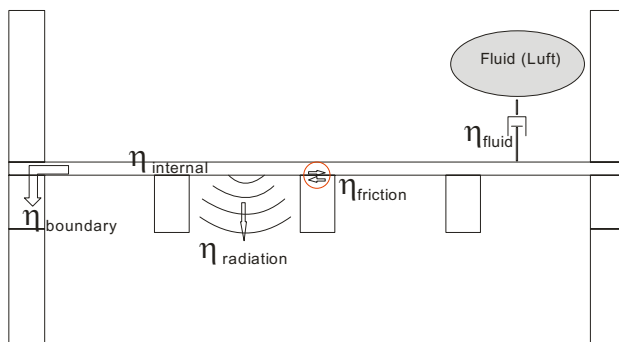


Abbildung 1: Beiträge zum Strukturverlustfaktor

Innere Verluste $\eta_{internal}$

Die inneren Verluste beschreiben die Materialdämpfung. Sie können als Materialparameter messtechnisch ermittelt werden. Bei Bauteilen, die aus unterschiedlichen

Materialien zusammengesetzt sind - wie die aus Vollholzbalken und Holzwerkstoffplatten bestehende Rohdecke in Abbildung 1 - ist ein Gesamtwert aus den einzelnen Materialdämpfungen zu bilden. Hierzu gibt es in der Literatur aufeinander aufbauende Ansätze [2]-[4], die den Zusammenhang zwischen der Dehnungsenergie $E_{pot,ges}$ und dem Material-Verlustfaktor $\eta_{internal,ges}$ im Gesamtbauenteil auf der einen Seite, sowie dem Verlustfaktor $\eta_{internal,l}$ und der Dehnungsenergie $E_{pot,l}$ eines Materials (Elements) auf der anderen Seite beschreiben.

$$\eta_{internal,ges} = \sum_{l=1}^n \eta_{internal,l} \frac{E_{pot,l}}{E_{pot,ges}} \quad (2)$$

Bei der Anwendung von (2) in der FEM lässt sich für den i -ten Eigenwert die potentielle Energie E_{pot} durch die beidseitige Multiplikation der (Element-) Steifigkeitsmatrix mit der Eigenmoden φ_i berechnen:

$$E_{pot,l} = \frac{1}{2} \varphi_i^T k_{El,n} \varphi_i; \quad E_{pot,ges} = \frac{1}{2} \varphi_i^T K \varphi_i \quad (3)$$

Randverluste $\eta_{boundary}$

Die Randverluste beschreiben den in das Bauteilaufleger abgeleiteten Anteil der Schwingungsenergie. Sind die Randverluste einer Prüfstandsituation bekannt, so können empirische Werte verwendet werden. Für andere Auflagersituationen kann die Berechnung nach (1) erfolgen. Die Energieverluste E_V werden hierzu nach (3) aus der im Bauteilaufleger bzw. der flankierenden Wand gespeicherten potentiellen Energie E_{pot} berechnet. Die reversible Energie E_R wird ebenfalls nach (3) aus E_{pot} der Decke berechnet.

Fügestellen Verluste $\eta_{friction}$

Für die Berücksichtigung der Reibungsdämpfung in den Fügestellen - in Abbildung 1 also die Reibung zwischen Balken und Beplankung - wurden zunächst orientierende Messungen durchgeführt, um den Anteil der Reibung an der Gesamtdämpfung abschätzen zu können (siehe Abbildung 2).

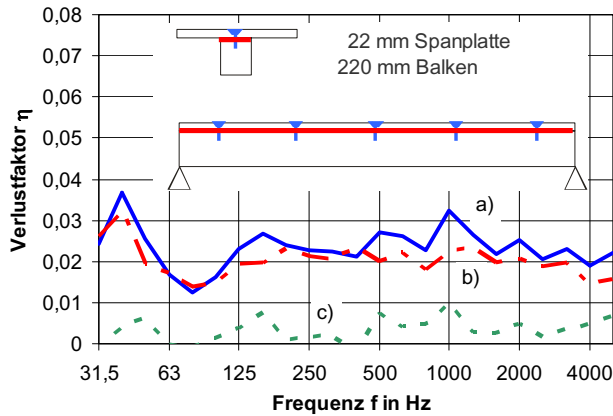


Abbildung 2: Messtechnische Bestimmung der Reibungsverluste eines Balkens mit aufgeschraubtem Plattenstreifen.
 a) Messung mit verschraubtem Plattenstreifen
 b) Messung mit zusätzlich verleimtem Plattenstreifen
 c) Reibungsanteil aus der Differenz der Messwerte

Eine vereinfachte Berechnung der Energieverluste durch Reibung kann anhand der Relativbewegung zwischen der Beplankung und dem Balken sowie der Reibungskraft $F_N \mu$ erfolgen. Die Relativbewegung wurde in Anlehnung an die Behandlung von Platten mit Dämpfungsbelägen in [5] ermittelt.

$$E_V = \int |F_N| \mu d\xi \quad (4)$$

Abbildung 3: Reibungsenergieverluste in Abhängigkeit der Relativbewegung zwischen Beplankung und Balken sowie der Reibungskraft $F_N \mu$

Abstrahlverluste $\eta_{\text{radiation}}$

Der Verlustfaktor für die in Form von Luftschall abgestrahlte Energie wird nach DIN EN12354-1:2000 in Abhängigkeit des Abstrahlgrades σ und der flächenbezogenen Masse m' der abstrahlenden Fläche angegeben:

$$\eta_{\text{radiation}} = \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} \quad (5)$$

Fluiddämpfung η_{fluid}

Der Anteil der Strukturdämpfung durch die umgebende Luft wird von Müller [6] in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse m' der abstrahlenden Fläche näherungsweise angegeben mit:

$$\eta_{\text{fluid}} \approx \frac{0,00273}{m' \sqrt{f}} \quad (6)$$

Ergebnisse

Die berechneten Verlustfaktoren für eine Holzbalkendecke sind in Abbildung 4 dargestellt. Einen Vergleich der Berechnungswerte mit Messwerten zeigt Abbildung 5.

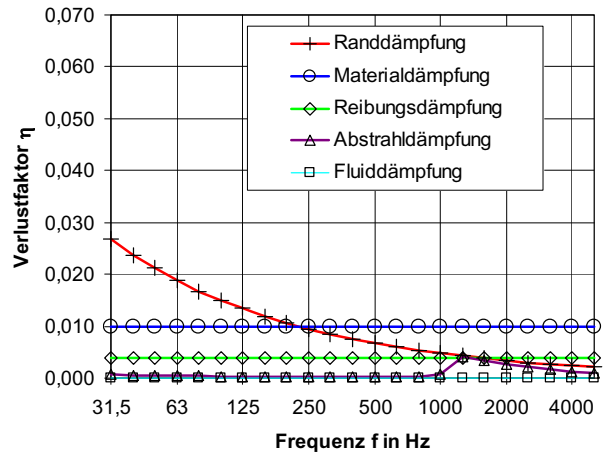


Abbildung 4: Beiträge zum Strukturverlustfaktor

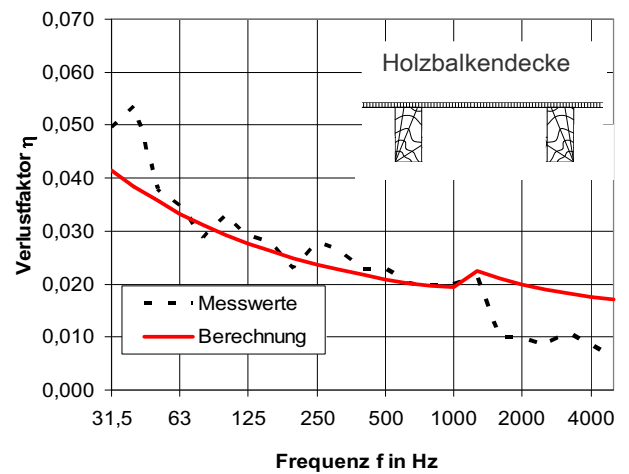


Abbildung 5: Vergleich zwischen Messung und Berechnung der Verlustfaktoren

Literatur

[1] Rabold, A., Düster, A., Rank, E., „Anwendung der Finiten Elemente Methode auf die Trittschallberechnung von Holzdecken“, Tagungsband DAGA 2007
 [2] Ungar, E.E., Kerwin, E.M., „Loss Factors of Viscoelastic Systems in Terms of Energy Concepts“, Journal of Acoustic Society of America, 1962, 34(7), 954-957
 [3] Johnson, C., D., Kienholz, D., A., „Finite Element Prediction of Damping in Structures with Constrained Viscoelastic Layers“, AIAA Journal, 20, 1982, 1284-1290
 [4] Everstine, G., C., „Dynamic Response Prediction for Structures with Frequency Depend Damping Treatments“, 22nd Meeting, Society of Engineering Science, 1985
 [5] Cremer, L., Körperschall: physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, Springer, 1996
 [6] Müller, H.W., Langer, W., Richter, H.P., Storm, R., „Praxisreport Maschinenakustik“, FKM Forschungsheft 102 Forschungskuratorium Maschinenbau e.V., Frankfurt a. Main, 1983