

Methodenvergleich zur Bestimmung von Verlustfaktoren von Massivholzelementen

Simon Mecking¹, Raphael Vörtl¹, Christoph Winter²,
Martin Buchschmid², Ulrich Schanda¹, Gerhard Müller²

¹ Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, Deutschland, E-Mail: simon.mecking@fh-rosenheim.de

² Lehrstuhl für Baumechanik - Technische Universität München, 80333 München, Deutschland

Einleitung

Verlustfaktoren sind bei der Prognose von Schwingungen und der Körperschallübertragung von Bedeutung. Die Messung der Verlustfaktoren von schweren, homogenen Strukturen mithilfe der Abklingmethode ist in der DIN EN ISO 10848 [1] beschrieben. Die Anwendung dieser Messnorm zielt auf den Mauerwerks- und Betonbau ab. Holzbaukonstruktionen sind leichter und weisen eine inhomogenere Struktur auf. Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der o. g. Messnorm wurden weitere Messmethoden miteinander verglichen.

Methodenübersicht

Bei Messungen wird ein Gesamtverlustfaktor η_{tot} ermittelt, welcher gemäß Gl. 1 summativ aus Anteilen der Materialdämpfung, der Dämpfung durch die Abstrahlung und den Randverlusten gebildet werden kann. Im Fall von zusammengesetzten Bauteilen sind auch Reibungsverluste zwischen einzelnen Komponenten enthalten.

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \eta_{abs} + \eta_{rand} + \eta_{reib} \quad [-] \quad (1)$$

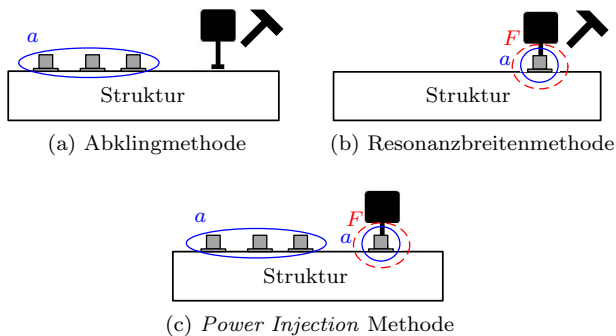


Abbildung 1: Messaufgaben von drei Methoden zur Verlustfaktorbestimmung. (F : Kraft; a : Beschleunigung)

Abklingmethode - Nachhallzeit

Bei der Abklingmethode wird der zeitliche Abfall des Beschleunigungspegels L_a im diffusen Körperschallfeld ausgewertet. Die Zeit, die bis zum Beschleunigungspegelabfall um 60 dB vergeht, wird als Körperschall-Nachhallzeit T_s definiert. Bei der Auswertung ist die Rückwärtsintegration nach Schroeder [2] zu verwenden. Aus der Nachhallzeit T_s kann der Gesamtverlustfaktor η_{tot} nach Gl. 2 bestimmt werden.

$$\eta_{tot} = \frac{\ln(10^6)}{2\pi f T_s} = \frac{2,2}{f T_s} \quad [-] \quad (2)$$

Resonanzbreitenmethode

Die Dämpfung hat entscheidenden Einfluss auf die Resonanzbreite, d.h. die Breite der spektralen Vergrößerungsfunktion (Admittanz bzw. Akzeleranz) im Bereich der Eigenfrequenzen. Für einen Einmassenschwinger kann der Verlustfaktor gemäß Gl. 3 bestimmt werden. Eigenfrequenzen können über die Messung der Eingangsakzeleranz H_{aF} (Abb. 1b) ermittelt werden. Die ersten Eigenfrequenzen einer Struktur sind im Frequenzspektrum häufig voneinander separiert (Abb. 4a). In diesem Fall können die Eingangsgrößen für den Verlustfaktor nach Gl. 3 einfach bestimmt werden. Zur korrekten Bestimmung der Resonanzbreite ist bei der Messung auf eine ausreichende Frequenzauflösung zu achten.

$$\eta_{tot} = \frac{f_o - f_u}{f_R} \quad [-] \quad (3)$$

Im Fall eines geringen Frequenzabstandes zweier benachbarter Eigenfrequenzen führt die Überlagerung der im Resonanzbereich angeregten Eigenformen zu asymmetrischen Akzeleranzfunktionen. Ein Rückschluss auf die isolierten Resonanzkurven kann über einen iterativen Prozess gewonnen werden. Hierbei werden einzelne Vergrößerungsfunktionen zur Nachbildung der gemessenen Akzeleranz kombiniert (*Curve Fitting*). Dadurch ist eine genauere Auswertung des Verlustfaktors möglich.

$$\eta_{tot} = \frac{2 \cdot \min(f_o - f_R; f_R - f_u)}{f_R} \quad [-] \quad (4)$$

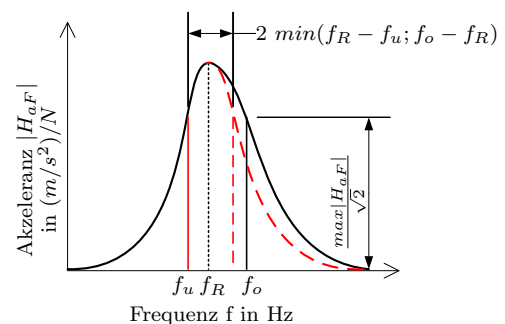


Abbildung 2: Verlustfaktorbestimmung einer asymmetrischen Resonanzkurve aus einer einseitigen Überlagerung.

Kann eine zweiseitige Beeinflussung durch Überlagerungen von benachbarten Eigenschwingungen ausgeschlossen werden, ist über Gl. 4 ein einfacher Ansatz zur direkten Verlustfaktorbestimmung aus der Akzeleranz gegeben und schematisch in Abb. 2 dargestellt.

Dabei beträgt die relative Abweichung bei Bestimmung der vermeintlichen Resonanzfrequenz f_R aus der Lage des Maximums der gemessenen Akzeleranz bei schwacher Dämpfung ($\eta < 5\%$) höchstens 1,5% und ist für die Bestimmung des Verlustfaktors aus Gl. 4 vernachlässigbar. Gleiches gilt für die Verschiebung der Eigenfrequenz aufgrund dieser geringen Dämpfung.

Leistungsbilanzmethode - Power Injection

Die *Power Injection* Methode (PIM) basiert auf einer Bilanz der Leistungsflüsse [3]. Im Fall einer einfachen, nicht zusammengesetzten Bauteilstruktur und bei einer Aufhängung ohne Randverluste kann der interne Verlustfaktors η_{int} aus dem Verhältnis der eingebrachten Leistung P_{in} mit der Energie E in der Struktur nach Gl. 5 berechnet werden. P_{in} ist dabei gleich der Verlustleistung durch Materialdämpfung und Abstrahlverluste.

$$\eta_{int} = \frac{P_{in}}{2\pi f E} - \eta_{abs} \quad [-] \quad (5)$$

Beispiel: Brettsperrholzwand

Es wurde die Bestimmung des Verlustfaktors an einer Brettsperrholzwand nach der Abklingmethode mit der nach der Resonanzbreitenmethode nach Gl. 4 verglichen. Die Wand wurde in beiden Fällen an drei Positionen angeregt. Das Wandelement hatte eine linienförmige Vorspannung von 20 kN/m (Abb. 3). Bei der Abklingmethode wurde der Verlustfaktor η_{15} aus der Körperschall-Nachhallzeit $T_{s,15}$ ermittelt und bis zu einer Frequenzuntergrenze von 50 Hz gemessen.

Zwischen 50 und 315 Hz zeigen beide Methoden eine gute Übereinstimmung auf. Systematische Abweichungen treten bei ca. 100 Hz und oberhalb von 400 Hz auf. In diesen Bereichen liegt eine höhere Modendichte (Abb. 4a) vor. Das führt zu einer zweiseitigen Überlagerung der Resonanzkurven und damit zu einer Überschätzung von η bei der Resonanzbreitenmethode (Abb. 4b).

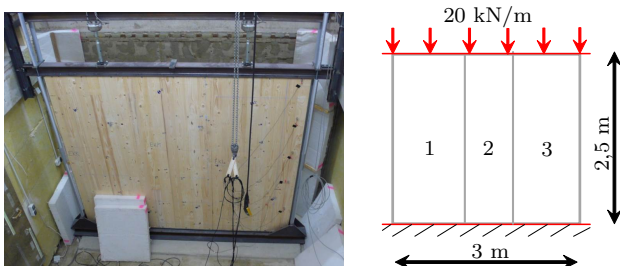
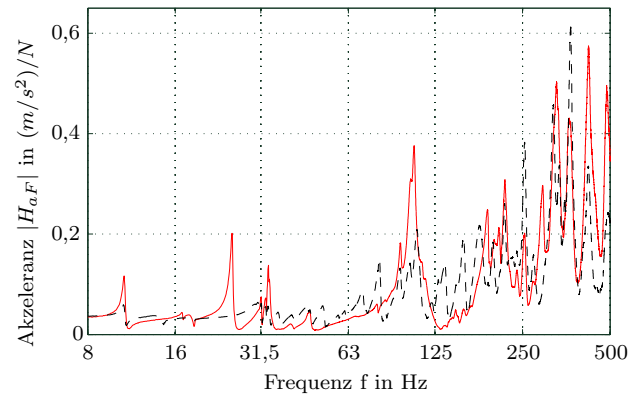


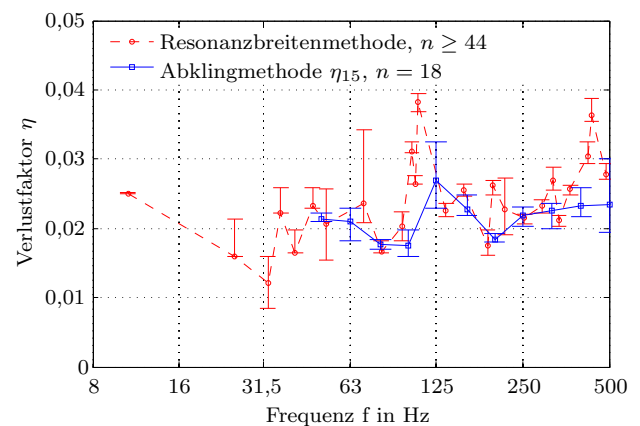
Abbildung 3: Brettsperrholzwand im Labor unter einer zusätzlichen, zeitlich konstanten Auflast von 20 kN/m.

Zusammenfassung

Die mithilfe der Abklingmethode ermittelten Verlustfaktoren sind bei mehreren Eigenfrequenzen pro Frequenzband zuverlässig. Die Ergebnisse der Resonanzbreitenmethode beziehen sich dagegen auf die Eigenfrequenzen (Abb. 4b) und sind nur bei einer geringen Modenüberlagerung zuverlässig. Beide Methoden sind gleich-



(a) Eingangsakzeleranzen von zwei Anregepositionen.



(b) Median, 25% und 75%-Quantile.

Abbildung 4: Vergleich der Verlustfaktoren an einer Brettsperrholzwand unter Vorspannung von 20 kN/m.

wertig, wenn mehrere Eigenschwingungen im Frequenzband vorhanden sind und die Modenüberlagerung gleichzeitig gering ist. Für einseitig überlagerte Resonanzkurven wurde eine einfache Alternative der Resonanzbreitenmethode vorgeschlagen.

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des gemeinsam von der TU München, der HS Rosenheim und dem ift Rosenheim durchgeführten DFG-AiF Forschungsvorhabens "Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten" erarbeitet. Das IGF-Vorhaben 17328/N/1 der Forschungsvereinigung HS Rosenheim wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 10848-1:2006-08. Akustik -Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall.
- [2] Schroeder, M.R.: New method of measuring reverberation time. J Sound Vib 4972 (1965), 409-412
- [3] Bloss, B.; Rao, M.D.: Measurement of Damping in Structures by the Power Input Method. Experimental techniques 3 (2002), 30-32