

Empfangsplattenprüfstand aus einer Holzwerkstoffplatte

Daniela Gauß¹, Mathias Kohrmann², Andreas Mayr³, Ulrich Schanda⁴

¹ Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: daniela.gauss@stud.fh-rosenheim.de

² Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: Mathias.Kohrmann@fh-rosenheim.de

³ Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: Andreas.Mayr@fh-rosenheim.de

⁴ Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: Ulrich.Schanda@fh-rosenheim.de

Einleitung

Haustechnische Anlagen werden über ihre Körperschalleistung charakterisiert. Zur Bestimmung dieser werden die Quellen in einem Prüfstand an Empfangsplatten montiert und im Betriebszustand gemessen. In aktueller DIN EN 15657-1 [1] bestehen diese Empfangsplatten aus Beton. An Hand der Empfangsplattenmethode wird mit den Messdaten die charakteristische Körperschalleistung als Kennwert für die Anlagen berechnet.

Mit der Intention, Prüfstände leichter und flexibler zu gestalten, wurde an der Hochschule Rosenheim ein Prüfstand mit einer Empfangsplatte aus Furniersperrholz aufgebaut.

Mit dem Ziel, ein weiteres Material neben Beton für Empfangsplattenprüfstände zu validieren, wurde die Furniersperrholzplatte hinsichtlich ihrer Eignung zur Ermittlung der charakteristischen Körperschalleistung untersucht. Dazu wurden die strukturdynamischen Eigenschaften des Furniersperrholzes ermittelt und die Körperschalleistung einer Referenzquelle mit der Empfangsplattenmethode untersucht sowie die Admittanzen der Furniersperrholz- und Beton-Empfangsplatte aus den Messdaten berechnet.

Grundlagen

Empfangsplattenmethode

Der Pegel der charakteristischen Körperschalleistung errechnet sich aus dem an einer Empfangsplatte gemessenen Körperschalleistungspegel $L_{Ws,i}$, korrigiert durch das Verhältnis der Admittanz der charakteristischen Empfangsplatte $Y_{\infty,rec}$ zum Mittelwert der gemessenen Eingangsadmittanz $\overline{Re(Y_{rec,i})}$ an allen Kontaktpunkten einer Quelle an einer Empfangsplatte [1].

$$L_{Wsm,i} = L_{Ws,i} + 10 \lg \frac{Y_{\infty,rec}}{\overline{Re(Y_{rec,i})}} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Der Körperschalleistungspegel $L_{Ws,i}$ wird mit den energetischen räumlichen Mittelwerten des Schnellepegels $L_{v,i}$ ermittelt, welche durch Messungen an der Empfangsplatte ermittelt werden [1].

$$L_{Ws,i} = 10 \lg(\eta_i \cdot 2\pi f \cdot m_i \cdot S_i) + L_{v,i} - 60 \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

In die Berechnung des Körperschalleistungspegels $L_{Ws,i}$ fließen strukturspezifische Daten der Empfangsplatte wie die

Masse je Flächeneinheit m_i und die Oberfläche S_i sowie der Verlustfaktor η_i ein.

Der Verlustfaktor η_i wird aus der Messung der Körperschall-Nachhallzeiten bestimmt.

Der energetische räumliche Mittelwert des Schnellepegels $L_{v,i}$ ergibt sich aus den quadratischen Mittelwerten der Schnellen einer Messung nach

$$L_{v,i} = 10 \lg \left(\frac{\sum \hat{v}_{i,n}^2}{n \cdot (10^{-9})^2} \right) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

mit $\hat{v}_{i,n}^2$ den quadratischen Effektivwerten der Schnelle und n der Anzahl der Beschleunigungsaufnehmer.

Die DIN EN 15657-1:2009-10 beschreibt die Eingangsadmittanz einer charakteristischen Empfangsplatte mit

$$Y_{\infty} = \frac{1}{8 \cdot \sqrt{m \cdot B}} \quad [\text{m/Ns}] \quad (4)$$

mit der Masse m je Einheitsfläche und der Biegesteifigkeit B . Die Admittanz der vorhandenen Empfangsplatte $Y_{rec,i}$ wird durch den Mittelwert des Realteils der Eingangsadmittanz $\overline{Re(Y_{rec,i})}$ an den Kontaktpunkten bestimmt.

Körperschalleistung

Die komplexe eingeleitete Körperschalleistung \bar{W} ergibt sich aus dem Produkt der komplexen Schnelle \bar{v} und der komplex konjugierten Kraft \bar{F}^* an den Kontaktpunkten mit

$$\bar{W} = \bar{F}^* \cdot \bar{v} \quad [\text{W}] \quad (5)$$

[2].

Prüfstand Hochschule Rosenheim

Der Empfangsplattenprüfstand an der Hochschule Rosenheim besteht aus einer Bodenplatte (6 m²) und einer vertikalen Empfangsplatte (5,6 m²) aus Beton sowie einer vertikalen Furniersperrholz-Empfangsplatte (4,9 m²). Die Platten sind elastisch gelagert, voneinander getrennt und an den Befestigungspunkten zu den Wänden nicht angezogen sondern lediglich gegen das Umfallen gesichert, siehe Abbildung 1. Die 16 cm starke Furniersperrholzplatte ist in der Mitte geteilt und 20 cm überblattet, sie wird durch Gewindebolzen zusammen gehalten.

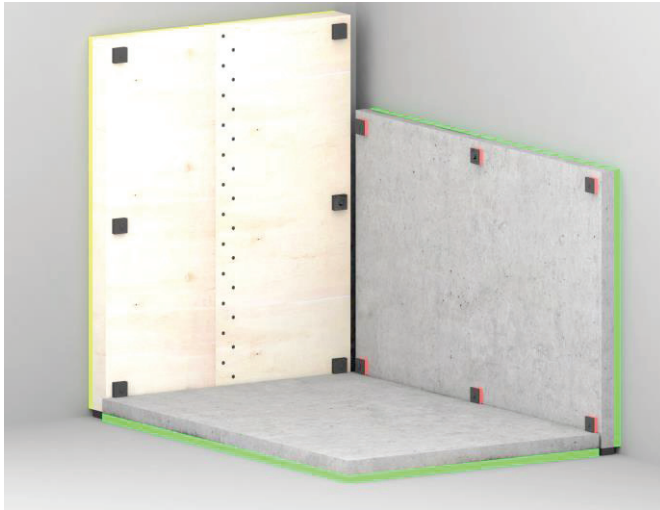


Abbildung 1 Empfangsplattenprüfstand an der Hochschule Rosenheim.

Verlustfaktor

Der Verlustfaktor der Furniersperrholz-Empfangsplatte wurde auf drei verschiedene Arten ermittelt.

- Messung der Körperschall-Nachhallzeit T_s und Berechnung mit der Frequenz f [3]

$$\eta = \frac{2,2}{f \cdot T_s} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

- Berechnung aus der Betriebsschwingungsanalyse (BSA) mit den Halbwertsbreiten Δf und Resonanzfrequenzen f_0 [4]

$$\eta = \frac{\Delta f}{f_0} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

- Messung der Körperschalleistung und Berechnung mit Power Injection Methode (PIM) über das Verhältnis der eingebrachten Energie E_{in} mit der in der Struktur vorhandenen Energie E_{vib} [5]

$$\eta = \frac{E_{in}}{E_{vib}} \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

Die Erregerquelle war bei der Messung der Körperschall-Nachhallzeit ein Mini Shaker Type 4810 von Brüel & Kjær, bei der Betriebsschwingungsanalyse der Modalhammer 2304 von Endevco. Bei der Power Injection Methode wurde die Struktur sowohl mit Modalhammer 2304 und 2302-10 als auch mit dem Inertialshaker TIRAvib Type 51125IN von TIRA angeregt.

Die Verlustfaktoren ermittelt aus der Körperschall-Nachhallzeit und der Betriebsschwingungsanalyse sind ähnlich, die aus der Power Injection Methode ermittelten liegen höher, vor allem im tieffrequenten Bereich erreichen diese Werte bis 0,3, siehe Abbildung 2. Als Referenz dient der übliche Bauverlustfaktor für massive Bauteile [6], der unter den ermittelten Verlustfaktoren liegt.

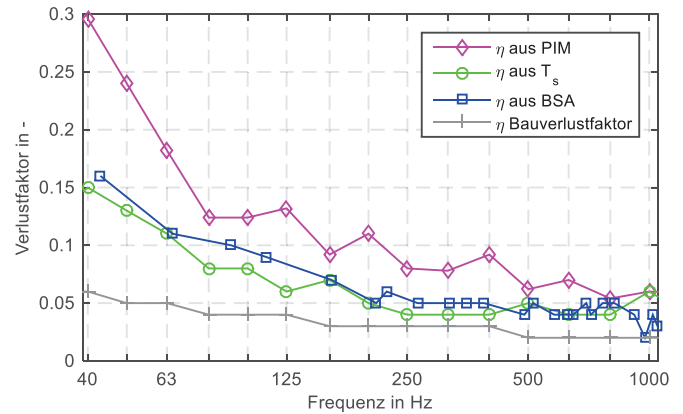


Abbildung 2 Verlustfaktoren aus T_s , PIM und BSA, üblicher Bauverlustfaktor.

Körperschalleistung

Die Messung der Körperschalleistung fordert zunächst eine Erregerquelle und einen Kraftaufnehmer zur Bestimmung der eingeleiteten Kraft und damit der Leistung P_{KEP} (KEP für Krafteinleitungspunkt). Zusätzlich sind Beschleunigungsaufnehmer zur Bestimmung der Leistung auf der Empfangsplatte P_{Platte} nötig. Mit einer Übereinstimmung der beiden Leistungen kann nach [2] die Empfangsplattenmethode zur Bestimmung der Körperschalleistung angewandt werden.

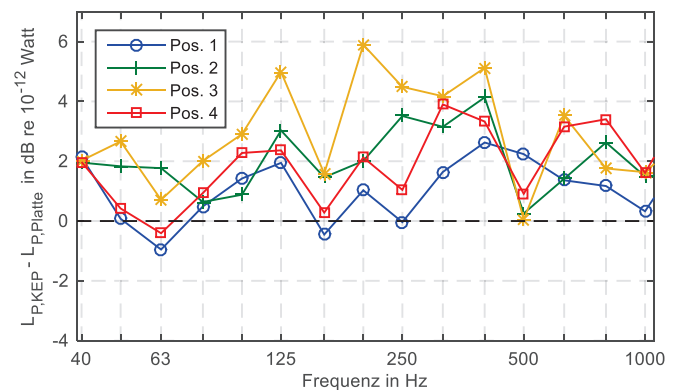


Abbildung 3 Differenz des eingeleiteten $L_{P,KEP}$ und des nach Gleichung 2 berechneten Körperschalleistungspegels $L_{P,Platte}$ an 4 Anregepositionen, η aus T_s .

Als Erregerquelle wurde der Modalhammer 2304 von Endevco eingesetzt. Abbildung 3 zeigt die Differenz des eingeleiteten und des nach Gleichung 2 berechneten Körperschalleistungspegels bei der Anregung der Empfangsplatte an 4 verschiedenen Positionen mit jeweils 13 Aufnehmersensoren. Für die Berechnung wurde der Verlustfaktor aus der Körperschall-Nachhallzeit verwendet. Die Differenzen schwanken zwischen -1 dB und 6 dB. Ein ähnliches Ergebnis ergab eine Messung mit Inertialshaker 51125-IN von TIRA. Der nach Gleichung 2 berechnete Körperschalleistungspegel ist mit wenigen Ausnahmen geringer als der Eingeleitete. Zur Messung war das Prüfstand-Akustik-Messsystem der Müller-BBM

VibroAkustik Systeme GmbH im Einsatz. Genauere Informationen zu den Messinstrumenten und -positionen sind [7] zu entnehmen.

Die Körperschalleistung berechnet mit dem Verlustfaktor aus der Power Injection Methode nach Gleichung 9 ergibt in der Differenz in Abbildung 4 ein besseres Ergebnis mit Schwankungen von +/- 3 dB um die Nulllinie.

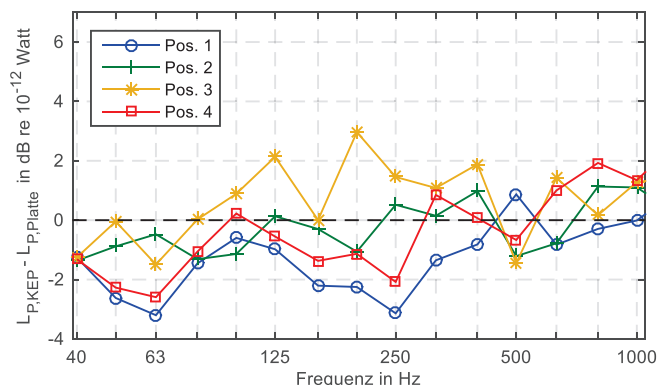


Abbildung 4 Differenz des eingeleiteten $L_{P,KEP}$ und des auf der Platte gemessenen Körperschalleistungspegels $L_{P,Platte}$ an 4 Anregepositionen, η aus PIM.

Punktadmittanz

Die Punktadmittanzen der Furniersperrholz-Empfangsplatte aus 4 Messungen mit je 4 Anregepositionen sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die dynamische Masse

$$m_{dyn} = \frac{1}{j\omega m} \quad \left[\frac{m}{Ns} \right] \quad (9)$$

[3] mit m der Masse der Empfangsplatte in Abbildung 5 dargestellt weist im tieffrequenten Bereich ein ähnliches Verhalten auf wie die Punktadmittanzen der Messungen, jedoch um bis zu 6 dB nach unten verschoben.

Die Messungen zeigen vor allem im tieffrequenten Bereich Streuungen der Punktadmittanzen. Die sinkende Admittanz bis etwa 100 Hz ist ein von der Masse der Struktur dominiertes Verhalten mit Antiresonanzen, die kurz vor den Resonanzen auftreten. Die steigende Admittanz ab etwa 400 Hz steht für ein federdominiertes Verhalten mit Antiresonanzen direkt nach den Resonanzen des Systems [8]. Im Bereich zwischen Masse- und Federverhalten zeigt sich ein plattenähnlicher Verlauf. Die Punktadmittanzen liegen hier nahe der Admittanz einer idealen, unendlichen Furniersperrholz-Empfangsplatte mit dem E-Modul nach Herstellerangabe und dem E-Modul berechnet aus der Betriebsschwingungsanalyse.

Für die Empfangsplatte soll $Y_{Quelle} \gg Y_{Platte}$ gelten, d.h. die Admittanz der Platte muss geringer sein als die Admittanz der getesteten Quellen. Die Admittanzen üblicher haustechnischer Anlagen in [2] liegen zwischen $1E-04 \frac{m}{Ns}$ und $1E-02 \frac{m}{Ns}$. Die Furniersperrholz-Empfangsplatte ist

hinsichtlich ihrer Größenordnung für die Charakterisierung solcher Anlagen geeignet.

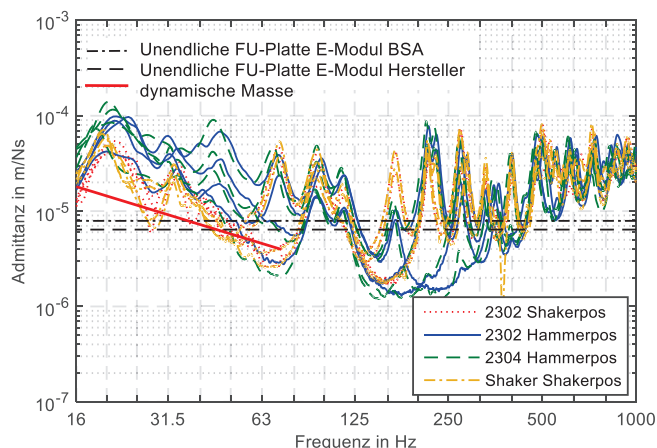


Abbildung 5 Punktadmittanzen von 4 Messungen mit je 4 Anregepositionen, berechnete unendliche Platte mit vers. E-Moduln, berechnete dynamische Masse.

Charakteristische Körperschalleistung

Die charakteristische Körperschalleistung wurde für eine Referenzkörperschallquelle ermittelt, ein metallischer Rahmen mit vier Befestigungspunkten und einem Shaker, der eine haustechnische Erregerquelle simuliert, siehe Abbildung 6. Ausführlichere Informationen zu dieser Referenzkörperschallquelle finden sich in [9].



Abbildung 6 Referenzquelle mit vier Befestigungspunkten und Shaker als Erregerquelle.

Die charakteristische Körperschalleistung ermöglicht einen Vergleich von Anlagen, die an unterschiedlichen Empfangsplatten gemessen wurden.

Der Vergleich der charakteristischen Körperschalleistung der Referenzkörperschallquelle montiert an der Furniersperrholz-Empfangsplatte und an der vertikalen Beton-Empfangsplatte zeigt Differenzen auf, siehe Abbildung 7.

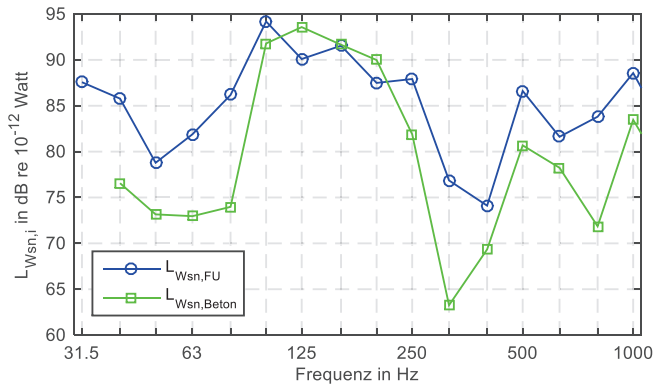


Abbildung 7 Charakteristische Körperschalleistung der Referenzquelle an Furniersperrholz- und Beton-Empfangsplatte.

Mit Abweichungen von im Mittel 7 dB ist eine Übereinstimmung im Frequenzbereich von 40 Hz bis 1.000 Hz nicht gegeben, siehe Abbildung 8.

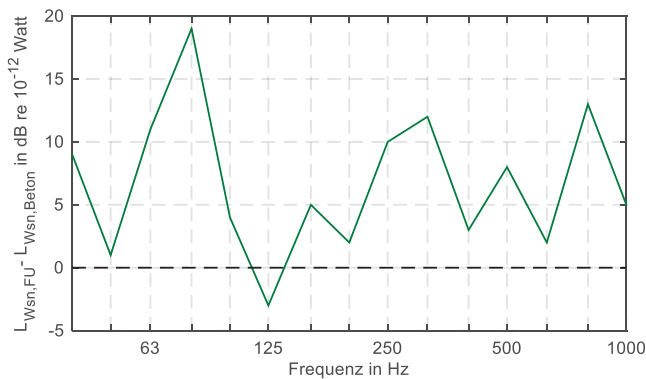


Abbildung 8 Differenz der charakteristischen Körperschalleistung von Furniersperrholz- zu vertikaler Beton-Empfangsplatte $L_{Wsn,FU} - L_{Wsn,Beton}$

Zusammenfassung

Das Verhalten der Furniersperrholz-Empfangsplatte, das die Punktmittanzen zeigen, lässt Fragen offen. Sowohl die Tatsache der zu geringen dynamischen Masse im tieffrequenten Bereich als auch des frühen Anstiegs mit federdominiertem Verhalten gilt es weiter zu untersuchen.

Das Material Furniersperrholz soll durch das Ergebnis dieser Arbeit nicht generell als Empfangsplattenmaterial ausgeschlossen werden. Die Ursache für das unzureichende Ergebnis bei dem Vergleich der charakteristischen Körperschalleistungen könnte im vertikalen Stoß der Furniersperrholz-Empfangsplatte liegen. Eine genauere Untersuchung des Stoßes und das unabhängige Messen der einzelnen Plattenhälften könnten dazu weiteren Aufschluss geben.

Die vorhandene Konstruktion der Furniersperrholz-Empfangsplatte des Empfangsplattenprüfstandes der Hochschule Rosenheim kann bislang nicht zur Bestimmung der charakteristischen Körperschalleistung verwendet werden. Zum Verständnis des vibro-akustischen Verhaltens

dieser Struktur sind in jedem Fall weitere Messungen erforderlich.

Literatur

- [1] DIN EN 15657-1:2009-10 Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden - Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand - Teil 1.
- [2] Mayr, A. (2009). Vibro-Acoustic Sources in Lightweight Buildings. Logos Verlag, Berlin.
- [3] Cremer & Heckl (1967). Körperschall.
- [4] Möser, M. (2010). Messtechnik der Akustik. Berlin: Springer.
- [5] Bloss, B.; Rao, M. D. (2002). Measurement of damping in structures by the power input method. In Experimental Techniques 26, Nr. 3.
- [6] Späh M. M., Blessing S., Fischer H.-M. (2001). Verifizierung des Rechenverfahrens für die Luftschalldämmung nach EN 12354-1 für den Massivbau; Teil 1: Einfluss von Eingangsgrößen, DAGA, Hamburg.
- [7] Gauß, D. (2016). Untersuchungen zur Eignung einer Furniersperrholzplatte als Empfangsplatte zur Ermittlung charakteristischer Körperschalleistung. Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim.
- [8] Ewins, D. J. (2000). Modal testing. Theory, practice, and application. Baldock, Hertfordshire, England, Philadelphia, PA: Research Studies Press.
- [9] Betz, K. (2015). Experimentelle Ermittlung der Körperschalleistung von haustechnischen Anlagen und der Körperschallübertragung in einem Holzbauprüfstand. Bachelorarbeit Hochschule Rosenheim.