

Anwendung des Zwei-Plattenverfahrens zur Leistungsprognose verschiedener Körperschallquellen

Albert Vogel¹, Oliver Kornadt¹, Volker Wittstock², Werner Scholl²

¹ Technische Universität Kaiserslautern, E-Mail: albert.vogel@bauing.uni-kl.de

² Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig

Körperschallquellen

Haustechnische Anlagen in Wohn- und Bürogebäuden können sehr störend sein, wenn sie Lärm verursachen. Deshalb ist die Untersuchung der Entstehung und Ausbreitung von Körperschall vor dem Geräteeinbau sinnvoll und eine Körperschallprognose notwendig. Für die Prognose des sich ausbreitenden Körperschalls ist es aber erforderlich, die Körperschallquelle ausreichend genau zu kennen, was eine gute Quellencharakterisierung erforderlich macht. Körperschallquellen können dabei sehr verschieden hinsichtlich ihres Schwingungsverhaltens und ihrer mechanischen Verbindung zur Empfangsstruktur sein. Typische Quellen bei haustechnischen Anlagen sind dabei Pumpen, Heizungsanlagen, Gaskompressoren, Lüftungsgeräte oder Klimaanlage.

Im Folgenden wird beschrieben, wie die unten abgebildeten Körperschallquellen (Abb. 1) charakterisiert werden können und welches Maß an Genauigkeit mit der dann durchgeführten Körperschalleistungsprognose erreicht werden kann.

Entscheidend für eine gute Vermessung der Körperschallquelle ist eine steife Verbindung, weshalb alle Quellen an die Empfangsplatten des Prüfstandes geschraubt wurden. Dem Ventilator in der Dunstabzugshaube wurde eine Unwucht hinzugefügt, um stärkere, besser messbare Vibrationen zu erzeugen.



Abbildung 1: Untersuchte Körperschallquellen: Shaker, Kompressor, Dunstabzugshaube, Lüfter.

Quellencharakterisierung

Die Charakterisierung der Körperschallquellen wurde mit der *Two-stage-method* [1] durchgeführt. Die Charakterisierung erfolgt dabei durch die quellspezifischen Parameter Kurzschlusskraft F_b , freie Schnelle v_f und Quellmobilität Y_s :

$$F_b = \sqrt{\frac{P_{lm}}{\operatorname{Re}\{Y_{lm}\}}} \quad [\text{N}] \quad \quad v_f = \sqrt{\frac{P_{hm}}{\operatorname{Re}\left\{\frac{1}{Y_{hm}^*}\right\}}} \quad [\text{m/s}]$$

$$|Y_s| = \frac{v_{\text{free}}}{F_{\text{block}}} = \left| \frac{1}{Z_s} \right| \quad [\text{m/Ns}]$$

Two-stage bedeutet dabei zwei mögliche Bewegungsarten der Quelle, zum einen als Kraftquelle und zum anderen als Schnellequelle. Eine Quelle bewegt sich als Kraftquelle, wenn sie eine viel kleinere Impedanz als die Empfangsstruktur aufweist. Im Fall der Schnellequelle ist die Impedanz der Quelle viel größer als die der Empfängerstruktur.

Um die Quelle in diese Bewegungsarten zu versetzen, muss sie auf eine schwere und leichte Empfangsstruktur, z. B. eine Platte, montiert werden. Empfangsplatten wird in diesem Fall der Vorzug gegeben, da die Körperschalleistung auf ihnen sehr leicht gemessen werden kann. Dazu muss die räumlich gemittelte, quadrierte Oberflächenschnelle gemessen werden, was mit Beschleunigungssensoren und einem Scanning-LDV durchgeführt wurde.

Empfangsstrukturen

Als Empfänger wurden Platten aus unterschiedlichen Materialien verwendet (Abb. 2).



Abbildung 2: Empfangsplatten für die Quellencharakterisierung und Schalleistungsprognose: Lochblech Stahl 1 und Alu 1,5 mm, MDF 8 mm, Sperrholz 8 und 12 mm, Pressspan 22 mm, Gipsfaser 22 mm, Stahlplatte 10 mm, Leichtbauprüfstand, doppelt beplankt.

Die Punktimpedanzen der schweren bzw. leichten Empfangsplatte müssen für die Charakterisierungsmethode mindestens 3 dB über bzw. unter der zu charakterisierenden Quellimpedanz liegen. Dies ist für die schwerste und leichteste Platte der Fall (Abb. 3). Die höchste Impedanz, also den größten Schwingwiderstand, weist die Stahlplatte auf. Die kleinsten Impedanzen haben die Lochblechplatten. Die gemessenen Punktimpedanzen stimmen gut mit den theoretisch berechneten (für unendlich große, dünne Platten [4]) überein.

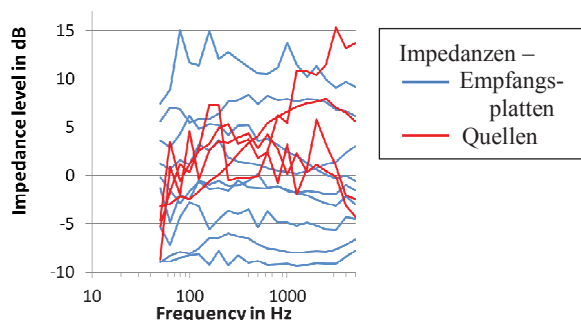


Abbildung 3: Quell- und Empfängerimpedanzen im Vergleich, $Z = 10 \cdot \lg(Z/Z_0)$ mit $Z_0 = 400 \text{ Ns/m}$.

Erreichbare Genauigkeit bei der Körperschallprognose

Führt man nun eine Prognose für die Leistung P_r mit der Gleichung

$$P_r = |V_f|^2 \cdot \frac{|Y_r|}{|Y_s|^2 + |Y_r|^2} \quad [\text{m/Ns}]$$

für verschiedene Empfangsplatten durch und betrachtet die Unterschiede der gemessenen und prognostizierten Leistungen, erkennt man in Abb. 4 einen Bereich von $\pm 5 \text{ dB}$, in dem sich fast alle Leistungsunterschiede bewegen.

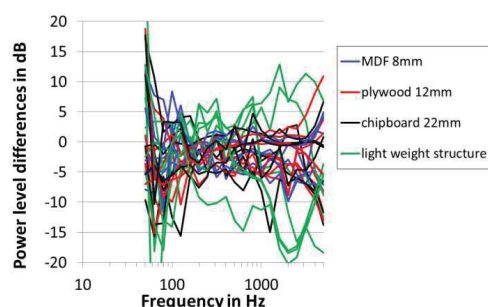


Abbildung 4: Leistungsunterschiede aller Messungen

$$\Delta P = P_{\text{gemessen}} - P_{\text{berechnet}}$$

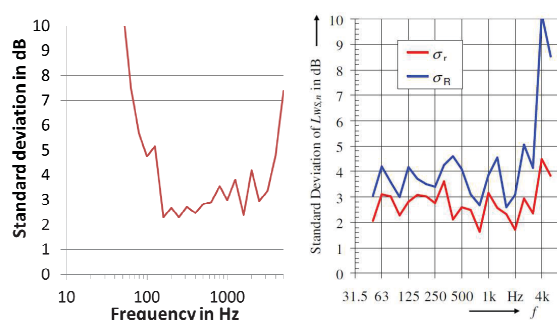


Abbildung 5

rechts: Standardabweichung aller Leistungsunterschiede aus Abb. 4, $\Delta P = P_{\text{gemessen}} - P_{\text{berechnet}}$ (ohne Leichtbauprüfstand)

links: Standardabweichung der Wiederholbarkeit σ_r (Mittelwert aller Prüfstellen) und der Reproduzierbarkeit σ_R des charakteristischen Empfangsplattenleistungspegels aus einem Ringversuch [3].

Eine Ausnahme bilden dabei die grünen Kurven, die für den Leichtbauprüfstand stehen. Dieser ist mit seinen vielen

Streben und Ständern inhomogen, was eine Körperschallleistungsprognose erschwert. In den sehr tiefen und sehr hohen Frequenzbereichen sind größere Abweichungen festzustellen. Abb. 5 links zeigt die berechnete Standardabweichung der Leistungsunterschiede aus Abb. 4. Aufgrund der sehr hohen Schwankungen, begründet durch die Inhomogenität, wurde der Leichtbauprüfstand nicht mit in die Rechnung einbezogen.

Die Werte für die Standardabweichung in dieser Untersuchung bewegen sich in einem Bereich von ca. 3 bis 4 dB. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem eines Ringversuchs (Abb. 5 rechts) zur Messunsicherheit der Körperschallleistung mit der Empfangsplattenmethode, so bewegen sich beide Ergebnisse in derselben Größenordnung. Auch die höheren Schwankungen für hohe Frequenzen sind aufgetreten. Die größeren Leistungsunterschiede zwischen Messung und Prognose für tiefe Frequenzen sind auf modale Effekte in den Empfangsplatten, vor allem bei der schweren Stahlplatte, zurückzuführen.

Zusammenfassung

Die Prognose der durch Körperschallquellen eingeleiteten Körperschallleistung in Bauteile mit der *two-stage method* funktioniert gut für die in dieser Untersuchung verwendeten Quellen. Die Leistungsunterschiede zwischen Messung und Prognose bewegen sich in einem Bereich von ca. $\pm 5 \text{ dB}$ für den größten Teil des bauakustisch relevanten Frequenzbereiches, was für Körperschallbetrachtungen als gut bezeichnet werden kann. Eine höhere Genauigkeit bei der Quellencharakterisierung und damit auch bei der Prognose kann durch die Verwendung von größeren und schwereren Empfangsplatten mit einer höheren Modenzahl erzielt werden.

Literatur

- [1] Gibbs B. M., Qi N., Moorhouse A. T. (2007): A practical characterisation for vibro-acoustic sources in buildings, Acta Acoustica united with Acustica, 93, p.84-93.
- [2] Vogel, A.; Wittstock, V.; Kornadt, O.; Scholl, W. (2013): Application of the two-stage method on the characterization of different structure-borne sound sources and a moment actor. In: Proceedings INTERNOISE, Innsbruck, Austria.
- [3] Wittstock, V.; Villot, M.; Scheck, J. (2011): Results of a round robin on structure-borne sound power. In: Proceedings Forum Acousticum, Aalborg, Denmark.
- [4] Cremer, L.; Heckel, M. (1996): Körperschall Physikalische Grundlage und technische Anwendungen, Springer Verlag, Berlin.

Danksagung

Die Versuche wurden durchgeführt an der Bauhaus-Universität Weimar sowie an der Physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig.

Gefördert wurden die Untersuchungen vom Ministerium für Bildung und Forschung.