

Charakterisierung von Körperschallquellen - Tauglichkeit der regulären Quellgrößen zur Anwendung der Körperschallprognose in plattenförmigen Strukturen

Albert Vogel¹, Volker Wittstock², Oliver Kornadt¹

¹ Bauhaus-Universität Weimar, E-Mail: albert.vogel@uni-weimar.de

² Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, E-Mail: volker.wittstock@ptb.de

Einleitung

Ziel der im Folgenden beschriebenen Untersuchungen ist die Charakterisierung von Körperschallquellen durch die regulären Quellgrößen (reg. Q.) Quellimpedanz, freie Schnelle und Kurzschlusskraft. Sie stellen quellen-spezifische, installationsunabhängige Größen dar und ermöglichen eine Prognose der eingeleiteten Leistung einer Körperschallquelle in ein plattenförmiges Bauteil. Untersucht wird die Leistungseinleitung einer idealen und einer realen Körperschallquelle. Die durchgeführte Leistungsprognose wird mit der tatsächlich vorhandenen Leistung in der Struktur sowie der Körperschallprognose nach DIN 12354-5:2009-10 verglichen.

Empfangsplattenverfahren

Ein Verfahren zur Bestimmung der reg. Q. ist das Empfangsplattenverfahren (two stage method) [1]. Bei dieser Methode werden alle Kraftkomponenten und Momente, die zur Körperschalleistungseinleitung einer Quelle beitragen, in einem Punkt und zu einer Kraftkomponente zusammengefasst. Somit ist es möglich, eine Körperschallquelle mit drei Größen zu beschreiben, Quellimpedanz Z_s , freie Schnelle v_f und Kurzschlusskraft F_b . Die Ermittlung der Kurzschlusskraft erfolgt durch die Installation der Quelle auf eine schwere, steife Empfangsplatte (geringe Mobilität), die freie Schnelle wird durch das Installieren der Quelle auf eine leichte, weiche Platte (hohe Mobilität) ermittelt. Aus dem Verhältnis von freier Schnelle zu Kurzschlusskraft berechnet sich die Quell-Mobilität Y_s , deren reziproker Wert Quellimpedanz genannt wird [1].

$$|Y_s| = \frac{v_f}{F_b} = \frac{1}{|Z_s|} \quad [\text{s/kg}] \quad (1)$$

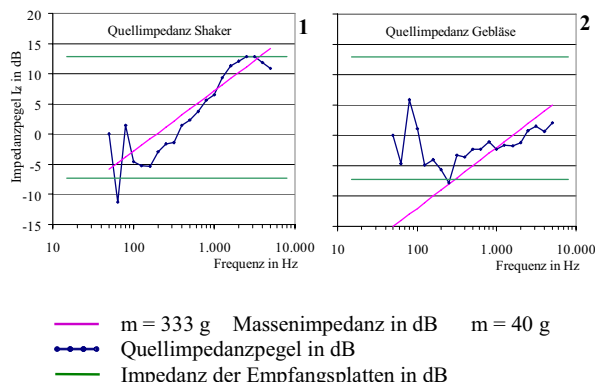


Diagramme 1,2: Quellimpedanzpegel eines Shakers und eines Gebläses

In Dia. 1 und 2 sind die experimentell ermittelten Quellimpedanzpegel von Shaker und Gebläse dargestellt. Die in DIN 12354-5 für gewöhnliche Haushaltsgeräte angegebene Quellmobilität von $Y_s=10^{-3}$ s/kg ($L_{Zs}=4$ dB) weicht davon deutlich ab. Die großen Schwankungen der Quellimpedanz im unteren Frequenzbereich können auf Messunsicherheiten durch die unzureichende Anzahl an Eigenmoden in der Stahlplatte zurückgeführt werden. Die theoretisch berechnete Zahl an Moden für plattenförmige Strukturen ist für einige Materialien und Plattendicken in Dia. 3 in Terzbändern dargestellt (Maße der Platten sind ähnlich). Um von einer ausreichenden Anzahl Eigenmoden auf der Platte ausgehen zu können, kann als Kriterium analog zur Raumakustik die Schröderfrequenz dienen. Da für niedrige Frequenzen bei der Stahlplatte dieses nicht erfüllt ist, muss die Platte bedämpft gelagert werden, wodurch eine höhere modale Überlappung erreicht wird. Der dadurch entstehende Fehler bei der Schnellmessung (kleinere Amplituden) wird in Kauf genommen, da die Auswirkungen bei nicht zu starker Dämpfung eher gering sind.

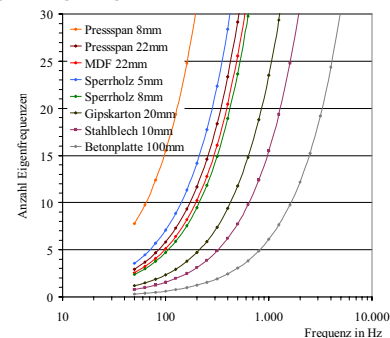


Diagramm 3: Anzahl der Biegeeigenmoden (nach Schirmer) pro Terzfreqenzband in Abhängigkeit des Materials

Messen der Impedanz von Empfangsplatten

Für die Berechnung der Quellgrößen einer Körperschallquelle sowie die Prognose der eingeleiteten Leistung in ein Bauteil wird die Eingangsimpedanz der Empfängerstruktur benötigt. Sie kann experimentell oder rechnerisch ermittelt werden. Für eine dünne, plattenförmige Bauteil, welches in seinen Abmessungen groß gegenüber der Wellenlänge ist und eine punktförmige Anregung erfährt, ist in der Theorie nach [2] die Eingangsimpedanz frequenzunabhängig und der Imaginärteil ergibt sich somit zu null. Die Eingangsimpedanz wird für die folgenden Betrachtungen experimentell durch Kraft-, Schnelle- und deren Phasenwinkelmessung bestimmt. In Dia. 4 wird die gemessene mit der berechneten Eingangsimpedanz von drei verschiedenen Empfangsplatten verglichen.

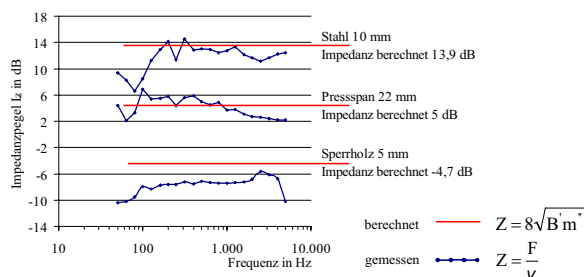


Diagramm 4: Vergleich Impedanzpegel berechnet und gemessen

Abweichungen zwischen experimentell bestimmter und berechneter Impedanz können auf Materialinhomogenitäten in den Platten sowie Einflüsse der Ankopplung des Prüfshakers zurückgeführt werden.

Vergleich der Körperschalleistungspegel gemessen und prognostiziert

Eine Prognose der in ein Bauteil eingeleiteten Körperschalleistung ist nun mit den ermittelten reg. Q. und der Impedanz der Empfängerstruktur möglich [1].

$$P_r = |v_r|^2 \cdot \frac{\text{Re}\{Y_r\}}{|Y_s|^2 + |Y_r|^2} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Die ideale Körperschallquelle – ein Shaker – regt die Struktur mit einer nahezu senkrecht und punktförmig wirkenden Kraft zum Schwingen an und für alle drei Platten stimmen die Kurven gut überein. Der bei Pressspan und MDF auftretende Leistungspik im unteren Frequenzbereich kann zum einen auf Resonanzeffekte in der Ankopplung zurückzuführen sein, zum anderen aber auch auf die Quellimpedanzmessung bei einer unzureichenden Anzahl an Eigenmoden bei tiefen Frequenzen (Vgl. Dia. 1,2).

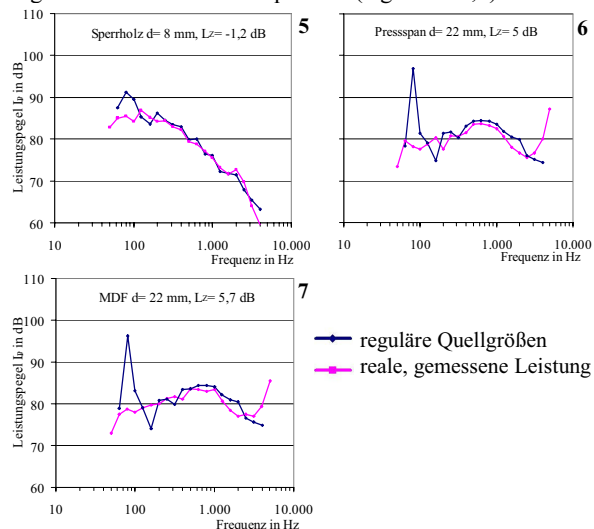


Diagramme 5,6,7: Körperschalleistungspegel eines Shakers auf plattenförmigen Strukturen

Die mit den reg. Q. prognostizierte Leistung für ein Gebläse bei 2-punktförmiger Ankopplung (Abstand Kontaktpunkte 18 cm) an die Struktur (Dia. 8-10) stimmt ebenfalls relativ gut mit der gemessenen, tatsächlichen Leistung in der Platte überein. Die auftretenden Unterschiede sind u. a. auf die zu geringe Modenzahl bei tiefen Frequenzen zurückzuführen.

Die Prognose nach DIN 12354-5 liefert dagegen nur für die relativ leichte Platte (Vgl. Dia. 8) eine gute Übereinstimmung. Für Platten mit einer höheren Impedanz (Dia. 9, 10) zeigen sich größere Abweichungen vom Leistungs-Istwert, was vor allem der in DIN 12354-5 als konstant über die Frequenz angenommenen Quellimpedanz geschuldet ist.

Bei Vergleichsuntersuchungen mit linienförmiger Ankopplung des Gebläses zeigten sich für alle Empfangsplatten größere Abweichungen zwischen gemessener und prognostizierter Leistungseinleitung.

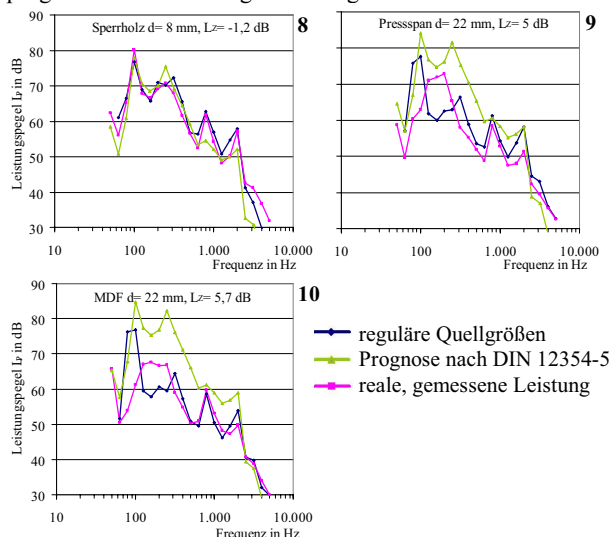


Diagramme 8,9,10: Körperschalleistungspegel eines Gebläses auf plattenförmigen Strukturen in Abhängigkeit der Strukturimpedanz

Zusammenfassung

Zur Charakterisierung zweier Körperschallquellen, Shaker und Gebläse, wurden mit dem Empfangsplattenverfahren die reg. Q bestimmt. Diese Größen scheinen für die Prognose der Leistungseinleitung in Platten unterschiedlicher Impedanz besser geeignet, als das derzeitige Verfahren nach DIN 12354-5.

Die durchgeführten Untersuchungen haben einen Körperschallquellenkatalog zum Ziel, in dem über das Empfangsplattenverfahren bestimmte Quellgrößen für unterschiedliche Arten von Quellen (z.B. Waschmaschine), abhängig von ihrem Kontakt zum Bauteil, beschrieben sind. Die Bestimmung des Verlustfaktors der Empfangsplatten erfolgte hier über die Körperschallnachhallzeit und soll mit der Plattenkalibrierung (Verhältnis von Leistung am Kraftereinleitungspunkt und auf der Platte vorhandener Leistung) verglichen werden.

Literatur

- [1] B.M., Gibbs; N. Qi; A.T. Moorhouse: A practical characterisation for vibro-acoustic sources in buildings. Acta Acoustica u. w. Acoustica, Vol.93, 2007, 84-93
- [2] DIN 12354-5:2009-10
- [3] Cremer, L.; Heckl, M.: Körperschall, Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen. Springer Verlag Berlin, 1996