

Lutz Weber, Andreas Buchele

Bauteilanregung durch Punktkräfte

Einleitung

Die Berechnung der von Körperschallquellen in die angrenzenden Bauteile eingeleiteten Schall-Leistung stellt einen zentralen Schritt bei der Geräuschprognose für haustechnische Anlagen in Gebäuden dar. Eine exakte Berechnung ist nur unter stark vereinfachten Voraussetzungen möglich, die in der Praxis vielfach nur unzureichend erfüllt sind. Es stellt sich daher die Frage, welche Berechnungsgenauigkeit unter praktischen Einsatzbedingungen erreicht wird. In diesem Zusammenhang wurden u. a. folgende Themen untersucht:

- Admittanz eines massiven Bauteils in Abhängigkeit von der Anregeposition,
- Einfluss von Dübeln auf die Körperschallübertragung zwischen Quelle und angeregter Struktur.

Grundlagen

Körperschallquellen lassen sich vereinfacht durch ihre Erregeradmittanz \underline{Y}_E und ihre Kurzschlusskraft F_0 kennzeichnen (die Unterstreichung weist darauf hin, dass es sich dabei um komplexe Größen handelt). Wird eine Körperschallquelle starr mit einem Bauteil mit der Admittanz \underline{Y}_B verbunden, so wirkt die Kraft

$$\underline{F} = F_0 \frac{1}{1 + \underline{Y}_B / \underline{Y}_E} \quad (1)$$

auf das Bauteil ein. Die eingeleitete Leistung beträgt

$$P = \tilde{F}^2 \operatorname{Re}(\underline{Y}_B), \quad (2)$$

wobei \tilde{F} den Effektivwert der Kraft bezeichnet. Für die Admittanz einer ausgedehnten ebenen Platte ergibt sich der Ausdruck

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{8 \sqrt{B' m''}} \quad (3)$$

mit $B' =$ Biegesteifigkeit,
mit $m'' =$ flächenbezogene Masse.

Sind die akustischen Eigenschaften der Quelle bekannt, lässt sich mit obigen Gleichungen auf einfache Weise die in ein plattenförmiges Bauteil eingeleitete Körperschall-Leistung berechnen. Die Berechnungsgenauigkeit hängt davon ab, wie gut die Voraussetzungen des Modells (Bauteilränder ohne Einfluss, starre Befestigung der Quelle, senkrecht einwirkende Kraft) in der Praxis erfüllt sind.

Messverfahren

Zur Vereinfachung der Untersuchungen wurden die Messungen nach der Reziprozitätsmethode durchgeführt [1]. Hierbei wird im Raum hinter der Messwand mit einem Lautsprecher ein diffuses Luftschallfeld erzeugt. Aus dem Schallleistungspegel des Lautsprechers und dem lokalen Schnellepegel auf der Wand wird die Körperschall-Empfindlichkeit am Messort, α_F , bestimmt [2]. Da zwischen α_F und der Bauteiladmittanz \underline{Y}_B die Beziehung

$$\operatorname{Re}(\underline{Y}_B) = \alpha_F \frac{8 \pi^3 f^3 m'' \eta}{\rho_L^2 c_L^4 \sigma} \quad (4)$$

besteht, kann der Pegel $L_{SS} = 10 \lg(\alpha_F)$ dB als Maß für den Admittanzpegel herangezogen werden. In Gleichung (4) bezeichnen f die Frequenz und η sowie σ den Verlustfaktor und den Abstrahlgrad des Bauteils. Dichte und Schallgeschwindigkeit der Luft, ρ_L und c_L , sind konstant.

Ortsabhängigkeit der Admittanz

Um die Ortsabhängigkeit der Bauteiladmittanz zu untersuchen, wurden Messungen an einer Massivwand im Prüfstand durchgeführt. Die Streuung der gemessenen Werte ist in **Bild 1** aufgetragen. Sie steigt erwartungsgemäß zu tiefen Frequenzen hin an. Bezogen auf den A-bewerteten Gesamtpegel ergibt sich eine Standardabweichung von $\sigma = 1,7$ dB und eine maximale Abweichung von $\Delta L_{\max} = 6,3$ dB. Beschränkt man sich auf den Innenbereich der Wand (Rand-

abstand $\geq 0,5$ m), vermindern sich die Werte auf $\sigma = 0,3$ dB und $\Delta L_{\max} = 0,7$ dB. Im Anwendungsbereich von Gleichung (4) stimmen die gemessene und die nach Gleichung (3) berechnete Admittanz ($Y_b \cong 4 \cdot 10^{-6}$ s/kg) gut überein.

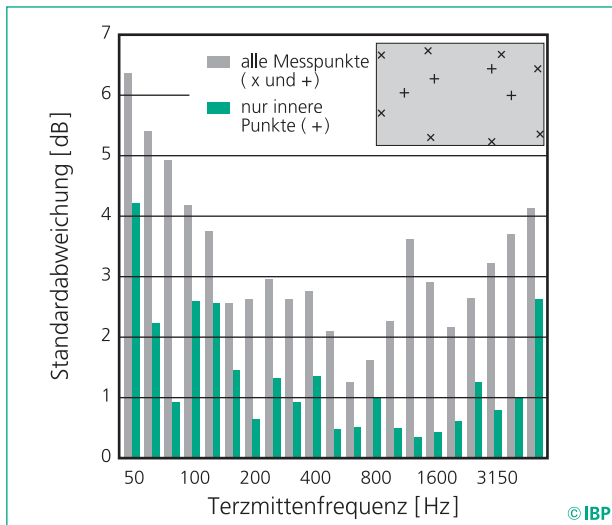


Bild 1: Standardabweichung von zwölf Messungen der Admittanz auf einer Massivwand (KSV-Mauerwerk, $m'' = 220$ kg/m²). Die Messungen erfolgten an unterschiedlichen Orten, die in der Abbildung eingezeichnet sind. Die Wandfläche betrug $3,05$ m \times $5,0$ m.

Schallübertragung durch Dübel

Um zu untersuchen, wie sich die Befestigung mit Dübeln auf die Körperschallübertragung zwischen Quelle und Bauteil auswirkt, wurden Messungen an etwa 25 verschiedenen Dübeln vorgenommen. Der verwendete Messaufbau ist in **Bild 2** dargestellt. Die Messungen erfolgten wie oben beschrieben nach der Reziprozitätsmethode.

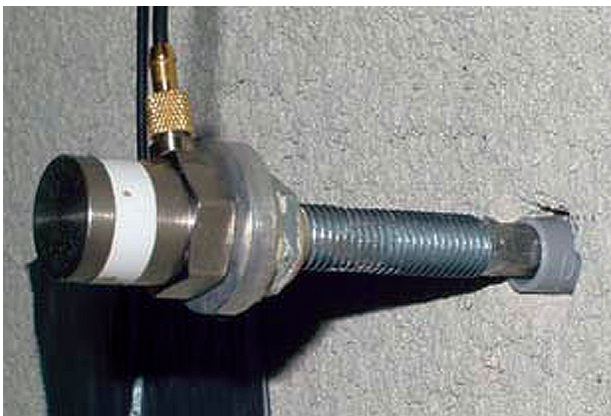


Bild 2: Messaufbau zur Untersuchung der Schallübertragung durch Dübel. Die Dübel wurden gemäß Herstellervorschrift in der Wand verankert. An der in den Dübel eingedrehten Stockschraube wurde mit einer Schraubverbindung ein Beschleunigungsaufnehmer befestigt.

Der Frequenzverlauf der gemessenen Körperschall-Empfindlichkeit weist bei allen Dübeln ein charakteristisches Maximum auf, das sich bei Beschwerung in Richtung tiefer Frequenzen verschiebt. Ein Beispiel hierfür ist in **Bild 3** dargestellt.

Trägt man die Frequenzen der in **Bild 3** erkennbaren Resonanzen in doppellogarithmischem Maßstab über der

Masse auf, erhält man einen linearen Zusammenhang, aus dem sich die Steifigkeit des Dübels ermitteln läßt. Für den abgebildeten Dübel ergibt sich auf diese Weise eine Steifigkeit von $s = 36 \cdot 10^6$ MN/m.

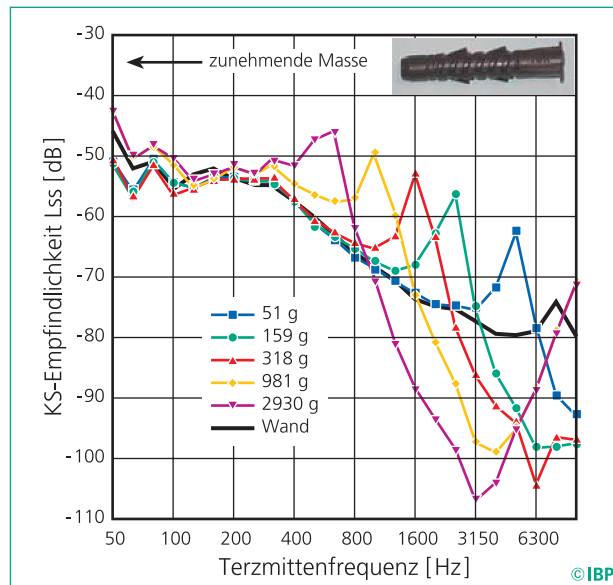


Bild 3: Körperschall-Empfindlichkeit des abgebildeten Kunststoffdübels bei Beschwerung mit unterschiedlichen Massen. Die durchgezogene schwarze Kurve wurde direkt auf der Wand (d. h. ohne Dübel) gemessen.

Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen zur Körperschalleinleitung in massive Wände erbrachten folgende Erkenntnisse:

- Außerhalb des Randbereichs (Randabstand $\geq 0,5$ m) ist die Admittanz massiver Wände näherungsweise konstant und lässt sich mit der in Gleichung (3) angegebenen Näherungsformel hinreichend genau berechnen.
- Dübel verhalten sich akustisch wie elastische Elemente mit hoher Steifigkeit. Bei geringer Belastung liegt die Resonanzfrequenz so hoch, dass in dem für haustechnische Anlagen maßgebenden Frequenzbereich kein Unterschied gegenüber einer starren Befestigung vorhanden ist. Bei Erhöhung der Belastung verringert sich die Resonanzfrequenz, was in der Regel - wegen des Dämpfungseinbruchs im Resonanzbereich - eine Verstärkung der Schallübertragung bewirkt. Eine wirksame Körperschallisolation durch Dübel würde sehr hohe Lasten erfordern und ist in der Praxis kaum realisierbar, weil für die akustischen Eigenschaften nicht die Gesamtmasse, sondern nur der mitbewegte Massenanteil (dynamische Masse $m_D = (2\pi f |Y|)^{-1}$) maßgebend ist.

Literatur

- [1] Buhlert, K.-J., Feldmann, J.: Ein Messverfahren zur Bestimmung von Körperschallanregung und -übertragung. *Acustica* Vol. 42 (1979), S. 108 - 113.
- [2] DINEN 14366: Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand (Februar 2005).



Fraunhofer Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

Institutsleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/970-00
83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/643-0
34127 Kassel, Gottschalkstr. 28a, Tel. 05 61/804-18 70