

Charakterisierung von technischen Installationen als Körperschallquellen

Moritz Späh, Heinz-Martin Fischer, Barry Gibbs*

Fachhochschule Stuttgart, Hochschule für Technik; Email: spaeh.fbp@fht-stuttgart.de

*Acoustics Research Unit, University of Liverpool, UK

Einleitung

Die Normenreihe der EN 12354 liefert inzwischen in ihren Teilen 1 und 2 ein erprobtes Prognosemodell für die Vorausberechnung der Luftschall- und Trittschalldämmung im (Massiv-) Bau. Dagegen besteht mit Teil 5 der EN 12354 noch kein erprobtes Verfahren zur Prognose von Schallpegeln, die durch technische Installationen in Gebäuden hervorgerufen werden. Dies liegt vor allem daran, daß keine Eingangsdaten für die Schall-Leistung von Installationen verfügbar sind. Die Charakterisierung von Luftschallquellen über deren Schall-Leistung ist schon lange Zeit gängige Praxis. Dagegen ist es für Körperschallquellen deutlich schwieriger, diese über ihre in Strukturen eingeleitete Körperschall-Leistung zu charakterisieren. Grund dafür ist, daß die Admittanzen der Quelle und der Struktur ähnliche Größenordnung besitzen können, und daher die eingeleitete Körperschall-Leistung stark von der Admittanz der Struktur abhängt. Außerdem besteht die Schwierigkeit, daß Quellen mehrere Kontaktpunkte zur Struktur besitzen und an diesen sowohl Kräfte in bis zu 3 Richtungen als auch Momente in bis zu 3 Richtungen wirken. Die Methode der Messung der freien Schnelle und der Admittanzen von Quelle und Struktur führt zu einer großen Datenmenge und ist deshalb für den normalen Prüfbetrieb ungeeignet. In dieser Arbeit werden erste Untersuchungen zur Charakterisierung der Körperschalleinleitung an einem Whirlpool vorgestellt. Ein Messaufbau wird beschrieben, an dem unter gewissen Voraussetzungen die Datenmenge deutlich reduziert werden kann.

Bestimmung der Körperschall-Leistung

Für eine Punktquelle errechnet sich die komplexe (durch Überstrich gekennzeichnete) Körperschall-Leistung \bar{P} aus komplex konjugierter Kraft \bar{F} und Schnelle \bar{v} :

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \bar{F}^* \bar{v} \quad [\text{W}]$$

In Größen der Quelle und der Struktur kann dies mit der freien Schnelle der Quelle v_{Qf} , der Admittanz der Quelle Y_Q und der Admittanz der Struktur Y_S geschrieben werden als:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \frac{|\bar{v}_{Qf}|^2}{|\bar{Y}_Q + \bar{Y}_S|} \bar{Y}_S \quad [\text{W}]$$

Die in entferntere Bereiche der Struktur weitergeleitete Schall-Leistung, die auch in Form von Luftschall abgestrahlt werden kann, entspricht dem Realteil der komplexen Schall-Leistung P .

Geht man zu einer realen Quelle mit N Kontaktpunkten über, muß auch die Interaktion der Kontaktpunkte zugelassen werden. Berücksichtigt man alle 6 Freiheitsgrade, so wird aus der freien Schnelle ein Vektor mit $6N$ Komponenten und aus den Admittanzen Matrizen mit $(6N)^2$ Komponenten. Bei dem später beschriebenen Whirlpool mit 8 Füßen, bei dem 5 Freiheitsgrade berücksichtigt wurden (ohne Momenten-Anregung in Empfangsplattebene), besitzt der freie Schnelle Vektor 40 Spektren, die Admittanz Matri-

zen 1600 Spektren. Da die Matrizen symmetrisch zur Hauptdiagonalen sind, reduziert sich die Anzahl der Spektren auf 820.

Beschreibung der Quelle

Der Whirlpool ist in Bild 1 dargestellt. Er besitzt eine Wasserpumpe, die Wasser über Venturi-Düsen seitlich in die Wanne pumpt.



Bild 1: Whirlpool in einem Deckenprüfstand eingebaut.

Optional kann bei diesem System Luft beigemischt werden. Weiterhin besitzt der Whirlpool eine Pumpe, die Luft von unten in die Wanne pumpt. Die Systeme sind in Stufen regelbar und kombinierbar. Die Wanne ist auf einem Rahmen montiert, der auch die Installationen und die Pumpen trägt. Aufgestellt ist der Whirlpool auf 8 Füßen, die eine elastische Zwischenschicht besitzen. Da diese elastischen Füße oft beim Einbau mit Mörtel überbrückt werden, wurden sie bei der Messung entfernt.

Messergebnisse

Gemessen wurde an allen 8 Füßen und in 5 Freiheitsgraden. Die Momenten-Anregung in Empfangsplattebene wurde nicht berücksichtigt, das diese im Vergleich zu den anderen Anregungen zu vernachlässigen ist. Beispielhaft werden im folgenden einige Ergebnisse vorgestellt. Eine Skizze des Whirlpools und die Bezeichnung der Füße ist in Bild 2 dargestellt.

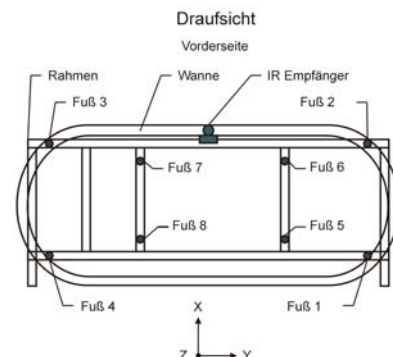


Bild 2: Skizze des Whirlpool.

Gezeigt werden Ergebnisse an Fuß 1 am äußeren Rahmen des Whirlpools und Fuß 7 an dem etwas steiferen inneren Rahmen.

Die Messergebnisse der freien Schnellen und Winkel-Schnellen an den Füßen 1 und 7 bei Betrieb des Whirlpools mit Venturi-Düsen

ohne Luftbeimischung mit maximaler Leistung sind in Bild 3 dargestellt.

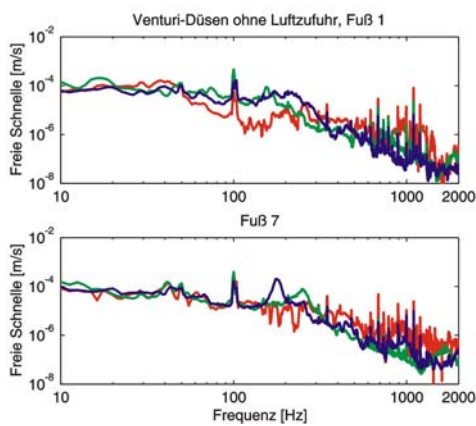


Bild 3: Freie Schnelle des Whirlpool am Fuß 1 und Fuß 7 bei Anregung mit Venturi-Düsen.

Die z-Richtung ist in allen Graphiken rot dargestellt, die x-Richtung grün und die y-Richtung blau. Deutlich zu sehen sind einzelne Spitzen bei 100 Hz, aber auch zwischen 700 und 1200 Hz. Diese werden durch den Betrieb der Pumpe verursacht. Die Messungen zeigen, dass die Signale mit Ausnahmen der Spitzen inkohärent sind, dass also über den gesamten Frequenzbereich mit Ausnahme der ausgeprägten Spitzen die einzelnen Füße als unabhängig von einander betrachtet werden können.

Die gemessene Winkel-Schnelle an den Füßen ist in Bild 4 dargestellt. Auch bei der Winkel-Schnelle sind deutlich die selben Spitzen zu erkennen. Des weiteren zeigt sich, dass die Winkel-Schnelle zu hohen Frequenzen nicht abfällt, im Gegensatz zur freien Schnelle.

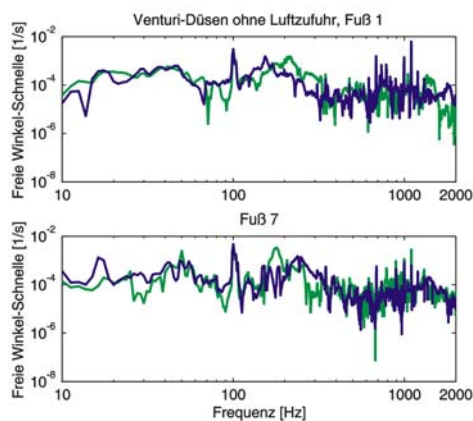


Bild 4: Freie Winkel-Schnelle des Whirlpool am Fuß 1 und Fuß 7 bei Anregung mit Venturi-Düsen.

Berechnungsergebnisse

Für die Berechnung der eingeleiteten Körperschall-Leistung wurden die Admittanzen für eine unendliche Betonplatte mit einer Dicke von 20 cm nach [1] berechnet, basierend auf [2,3]. Hierbei wurde nur die Anregung von Biegewellen berücksichtigt. Die für die einzelnen Komponenten berechnete Körperschall-Leistung an den Füßen 1 und 7 ist in Bild 5 gezeigt.

Die Anregung in z-Richtung leitet den größten Anteil an Körperschall in die Struktur ein. Die Anregung in x- und y-Richtung dagegen erreicht nur bei einzelnen wenigen Frequenzen Werte der

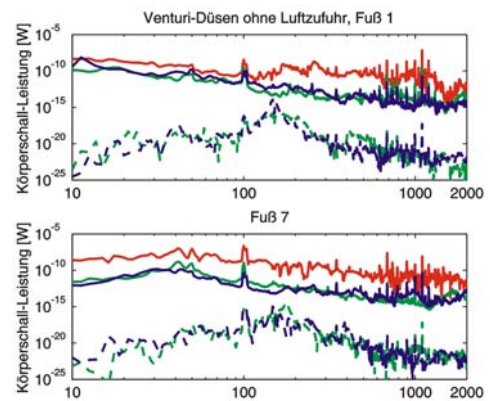


Bild 5: Berechnete Körperschall-Leistung der einzelnen Richtungskomponenten in eine 20 cm dicke unendliche Betonplatte.

z-Richtung und liegt im allgemeinen um 10 bis 30 dB unter den Werten der z-Richtung. Die Momenten-Anregung (gestrichelte Linie) liegt im gesamten Frequenzbereich deutlich unter der Körperschalleinleitung der z-Richtung.

Geplanter Prüfstand

Eine sehr viel einfachere Methode zur Bestimmung der Körperschall-Leistung ist die Messung der mittleren Schnelle einer Empfangsplatte bei Anregung durch die Quelle. Diese so ermittelten Daten sind aber nur auf andere Situationen übertragbar, wenn folgende Bedingung erfüllt ist: die Quellen müssen als Kraft- oder Schnellequellen wirken, d.h. bei Kraftquellen ist die Admittanz der Quelle sehr viel größer als die Admittanz der Struktur, bei einer Schnellequelle ist dagegen die Admittanz der Quelle sehr viel kleiner als die der Struktur. Die Schall-Leistung P errechnet sich aus der mittleren Schnelle v der Empfangsplatte, dem Verlustfaktor η der Platte, der Kreisfrequenz ω und der Masse m der Empfangsplatte zu :

$$P = \tilde{v}^2 \eta \omega m$$

Für die Bestimmung der Körperschall-Leistung soll ein Kleinprüfstand aufgebaut werden, an dem die Körperschall-Leistung von Installationen untersucht wird. Da Installationen zum Teil an Wänden und Decke gleichzeitig befestigt werden, soll der Prüfstand aus 3 elastisch gelagerten, senkrecht zueinander stehenden und von einander getrennten Empfangsplatten bestehen, die zusätzlich bedämpft werden. Die Quellen sollen als Kraftquellen wirken. Dies ist mit Betonplatten mit einer Dicke von ca. 10 cm realisierbar. Um die Ergebnisse an diesem Prüfstand zu validieren, wurden im ersten Schritt die Messungen der freien Schnellen und Admittanzen am Whirlpool durchgeführt. Weitere Schritte beinhalten die Berechnung der gesamten Körperschall-Leistung sowie den Aufbau und die Validierung des geplanten Kleinprüfstands.

- [1] S. H. Yap: The role of moments and forces in structure-borne sound emission from machines in buildings. PhD Thesis; University of Liverpool (1998).
- [2] S. Ljunggren: Generation of waves in an elastic plate by a vertical force and by a moment in the vertical plane. Journal of Sound and Vibration (1983) 90(4), 559-584.
- [3] S. Ljunggren: Generation of waves in an elastic plate by a torsional moment and a horizontal force. Journal of Sound and Vibration (1984) 93(2), 161-187.

Die Untersuchungen werden gefördert durch das Bundesamt für Bau- und Raumwesen (BBR).