

Die Bedeutung der transversalen Anregung für die Charakterisierung von Körperschallquellen in Gebäuden: Messungen im Prüfstand

Christoph Höller, Matthias Lievens

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen University, Email: christoph.hoeller@rwth-aachen.de

Einleitung

Das in [1] vorgestellte und bereits am Modell verifizierte Messverfahren wird nun an einer Quelle im realen Maßstab angewendet. Als Quelle dient eine Waschmaschine mit variabler exzentrischer Last, die auf einer Holzbalkendecke platziert wird. Zum besseren Verständnis und um mögliche Fehlerquellen auszuschließen, werden außerdem Messungen mit Shakern sowie mit einer vereinfachten Quelle durchgeführt.

Aufbau des Prüfstands

Für Messungen an Körperschallquellen auf leichten Konstruktionen wurde an der RWTH Aachen ein Prüfstand mit Holzbalkendecke nach DIN 140-11 [2] gebaut. Die Abmessungen der Decke betragen 4 m x 6.5 m, der darunterliegende Empfangsraum hat eine Höhe von 3 m und ein Volumen von ca. 80 m³. Die Nachhallzeit beträgt 0.9 s.

Messungen an realer Waschmaschine

Als Quelle dient eine handelsübliche Waschmaschine, die mit einer regelbaren Ansteuerung versehen wurde. Die Maschine kann in definierten Betriebszuständen zwischen 80 V und 220 V betrieben werden. Dies entspricht einer Grundfrequenz der Anregung zwischen 6 Hz und 20 Hz. Als Ersatz für nasse Wäsche kann eine variable Masse als exzentrische Last eingebracht werden. Es zeigte sich jedoch, dass bereits die leere Trommel eine für Messungen ausreichend hohe Anregung darstellt.

An die Waschmaschine werden an drei Füßen Kraftsensoren geschraubt, die mit der Holzbalkendecke steif verklebt werden. Auf diese Weise kann die effektiv eingeleitete Kraft der Maschine in die Struktur gemessen werden. Zusätzlich wird die Schnelle an den Kopplungspunkten gemessen. Mikrofone im Empfangsraum messen den Schalldruckpegel an verschiedenen Stellen.

Für das in [1] vorgestellte Verfahren werden zwei Messungen benötigt: Die Übertragungsfunktionen vom Maschinenfuß zum Mikrophon in gekoppeltem Zustand werden mittels Shakeranregung von unten gemessen. Als Anregungssignal wird ein exponentieller Sweep gewählt. Ein ausreichend hoher Pegel muss gewählt werden, um Rauscheinflüsse zu vermeiden. Der Shaker ist zur Vermeidung von Luftschall in einer Box gekapselt. In der zweiten Messung wird bei laufender Maschine die Schnelle an den Kopplungspunkten sowie der Schalldruck im Empfangsraum gemessen. Die Schnellesensoren registrieren dabei nur die Normalkomponente der Anregung, während alle anderen Komponenten ebenfalls angeregt werden. Die

Differenz zwischen aus den Normalkomponenten berechnetem Schalldruckpegel und gemessenem Pegel zeigt den Einfluss der anderen Anregungskomponenten.

Die Ergebnisse in Abbildung 1 zeigen die Schalldruckpegeldifferenz (in Terzbändern) für verschiedene Betriebszustände. Es werden nur Bänder berücksichtigt, in denen der gemessene Schalldruck mindestens 6 dB über dem Rauschen liegt. Für den Bereich der Grundfrequenzen der Anregung (hauptsächlich 16 Hz-Band) sind die Abweichungen sehr gering. Dies zeigt sich auch in den Linienspektren. Bei höheren Frequenzen zeigen sich teilweise deutliche Abweichungen.

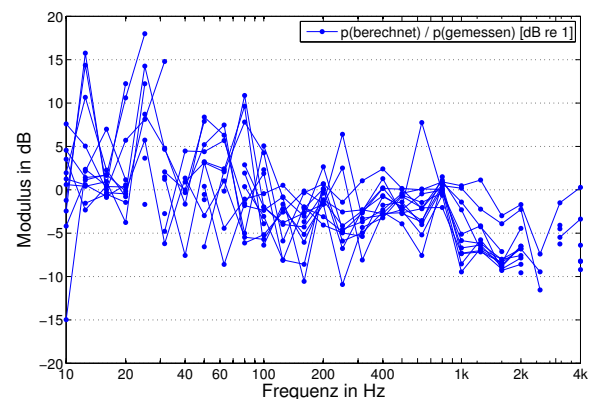


Abbildung 1: Ergebnisse für Waschmaschinen-Messungen: Die Grafik zeigt die Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Schalldruck in Terzbändern. Bei der Grundfrequenz der Anregung (16 Hz-Band) stimmt die Vorhersage. Darüber zeigen sich teilweise deutliche Abweichungen.

Messungen mit Shakern als Quelle

Um ein besseres Verständnis für mögliche Fehlerquellen zu bekommen, wird die Waschmaschine durch zwei Shaker ersetzt, die jetzt als Quelle dienen. Die Shaker haben den Vorteil, dass sie sehr gut kontrollierbar sind, verschiedene Anregungspegel und -spektren gewählt werden können, und dass sie wirklich nur die Vertikalkomponente anregen. Daher ist für das beschriebene Messverfahren zu erwarten, dass der berechnete und gemessene Schalldruck sehr genau gleich sind.

Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Messung für breitbandige Anregungssignale (rosa Rauschen und exponentielle Sweeps), sowie für Multi-Sinus-Signale. Es zeigt sich, dass die Auswertung einzelner Frequenzen relativ fehleranfällig ist. Dies liegt an der resonanten Struktur der Übertragungsfunktion bzw. des Empfangsraumes und bedeutet eine grundsätzliche Einschränkung des Ver-

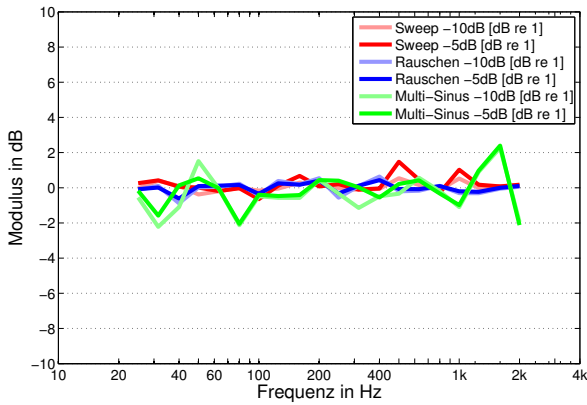


Abbildung 2: Ergebnisse für Shaker-Messungen: Für breitbandige Signale stimmt die Vorhersage sehr gut. Die Auswertung einzelner Frequenzen ist dagegen fehleranfällig.

fahrens. Breitbandige Signale liefern gute Ergebnisse, was die grundsätzliche Gültigkeit des Verfahrens für die zu untersuchende Struktur bestätigt.

Messungen an vereinfachter Quelle

Im nächsten Schritt wird die ursprüngliche Quelle vereinfacht: der Motor der Waschmaschine wird ausgebaut und auf eine Holzplatte gestellt, die in ihrer Grundfläche und der Position der Füße mit der Waschmaschine übereinstimmt. So werden mögliche Nichtlinearitäten eingeschränkt, die z.B. durch Federn, Dämpfer oder Bleche in der Maschine erzeugt werden. Die Abweichungen für die Messungen mit dieser vereinfachten Quelle sind deutlich geringer als bei der Waschmaschinenmessung. Dies deutet darauf hin, dass bei höheren Frequenzen tatsächlich Nichtlinearitäten der Waschmaschine verantwortlich sind für die großen Abweichungen. Leider ist im Bereich zwischen 63 Hz und 125 Hz bei der Anregung mit der vereinfachten Quelle nur wenig Energie vorhanden. Deshalb wird die vereinfachte Quelle nun von oben mit einem Shaker breitbandig angeregt, und diese Ergebnisse werden dargestellt (Abbildung 3). Die Ergebnisse für die vereinfachte Quelle alleine sind jedoch sehr ähnlich.

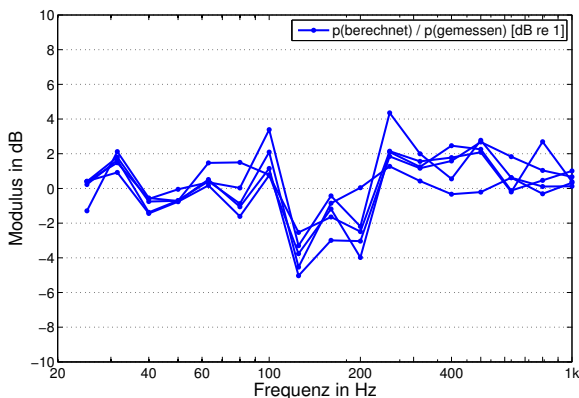


Abbildung 3: Ergebnisse für Anregung der vereinfachten Quelle mit Shaker: Im Vergleich zu Abb. 1 sind die Abweichungen deutlich geringer. Eine Erklärung sind mögliche Nichtlinearitäten der Waschmaschine.

Im Bereich zwischen 100 Hz und 250 Hz zeigen sich die größten Abweichungen. In diesem Frequenzbereich korrespondiert die halbe Biegewellenlänge $\lambda/2$ mit dem Abstand der Füße der Maschine (46 cm bzw. 36 cm). Dies deutet auf eine Momentanregung hin. Nach Einbringen einer Gummunterlage werden die Messungen erneut durchgeführt, die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Momentanregung reduziert wird und dass die aus den Normalkomponenten vorhergesagten Schalldruckpegel gut mit den gemessenen übereinstimmen. Der Vergleich von Abbildung 3 und 4 ist ferner eine Bestätigung des Messverfahrens, da der Einfluss der Momentanregung korrekt vorhergesagt wird.

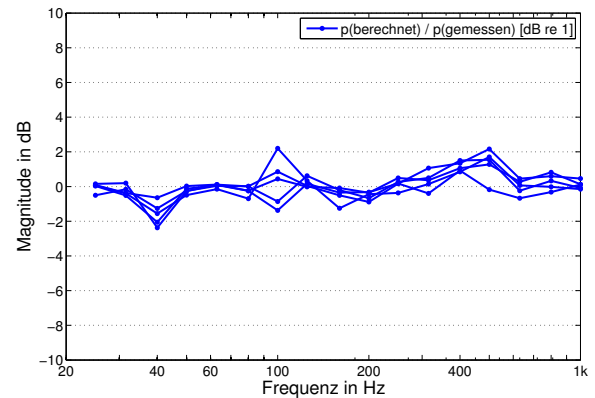


Abbildung 4: Ergebnisse für Anregung der vereinfachten Quelle auf Gummifüßen mit Shaker: Die Abweichungen im Bereich 100 Hz bis 250 Hz sind verschwunden. Dies deutet auf eine Kompensation der Momentanregung durch die Gummifüße hin.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Messungen an Quellen in realem Maßstab durchgeführt, um das in [1] vorgestellte Verfahren zu verifizieren. Es wurde gezeigt, dass für die Grundfrequenz einer Waschmaschine die Normalkomponente herausragende Bedeutung hat, dass sich die Maschine bei höheren Frequenzen aber nichtlinear verhält. Ferner wurde festgestellt, dass die Auswertung einzelner Frequenzen fehleranfällig ist. Breitbandige Signale liefern signifikant bessere und stabilere Ergebnisse. Der Vergleich zwischen starrer Verbindung und eingefügtem Isolator zwischen Quelle und Struktur ist schließlich ein Hinweis darauf, dass das Messverfahren für lineare Quellen korrekte Ergebnisse liefert.

Literatur

- [1] Lievens, M.: Die Bedeutung der transversalen Anregung für die Charakterisierung von Körperschallquellen in Gebäuden: Verfahren und Messungen im Modellmaßstab, DAGA 2010
- [2] DIN EN ISO 140: Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 11: Messung der Trittschallminderung durch Deckenauflagen auf leichten Bezugsdecken in Prüfständen