

Drei Linien der Entwicklung von Methoden zur Charakterisierung von Körperschallquellen

Hannes A. Bonhoff

Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Sekretariat TA7, Einsteinufer 25, D-10587 Berlin

Email: hannes.bonhoff@tu-berlin.de, Website: www.akustik.tu-berlin.de

Einleitung

Körperschallquellencharakterisierung beschreibt ein breites Spektrum von für die Fertigungsindustrie und Ingenieurbüros höchst relevanten Ansätzen und Anwendungen. Basierend auf den verschiedenen Zielen können diese Methoden in drei Gruppen unterteilt werden.

1. Die erste Gruppe umfasst Ansätze zur **Messung** der passiven und aktiven Eigenschaften der Vibrationsquellen. Diese Eigenschaften sind die Mobilitäten bzw. die freien Schnellen oder geblockten Kräfte.
2. Das Ziel der zweiten Gruppe von Methoden ist die **Vorhersage** der Körperschallpegel zur Beurteilung der Einhaltung von Grenzwerten sowie zum Vergleich unterschiedlicher Maschinen oder Bauteile.
3. Die Ansätze der dritten Gruppe befassen sich mit dem Verarbeiten und Darstellen der Daten, um einen Einblick in die zugrundeliegenden physikalischen Mechanismen zu gewähren. Solch eine physikalische Transparenz ist für die Entwicklung und **Optimierung** geräuscharmer Produkte sowie zur verständlichen Präsentation der Daten erforderlich.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über einige relevante Neu- und Weiterentwicklungen der drei Linien zur Charakterisierung von Körperschallquellen und die bestehenden Tendenzen und Problematiken werden diskutiert.

1. Messmethoden

Zur Messung von Mobilitäten und freien Schnellen existieren bereits internationale Normen, dies sind ISO 7625 und ISO 9611. Hier muss die Körperschallquelle möglichst frei schwingend gelagert und im Falle der freien Schnelle zusätzlich in Betrieb genommen werden. Solch ein Messaufbau ist allerdings sehr aufwändig und das Betreiben im frei schwingend gelagerten Zustand in vielen Fällen nicht realisierbar.

Um diese Problematik zu umgehen, wurde eine Reihe von Ansätzen entwickelt, die es ermöglichen, indirekt die aktiven und passiven Eigenschaften der Quelle teilweise oder vollständig im installierten Zustand zu messen [1, 2]. Beispielsweise ist in [1] gezeigt, dass die geblockten Kräfte aus einer Mobilitäten- und einer Schnellmessung am aus Quelle und Empfänger zusammengesetzten System erhalten werden können. Bis auf die notwendige Matrizeninversion und Ungenauigkeiten in den Messungen ist diese Methode theoretisch als exakt anzusehen, obwohl eine

allgemeine Erprobung in der Praxis noch nicht erfolgt ist.

Die Verwendung der direkt gemessenen freien Schnelle in einer Charakterisierung von Körperschallquellen setzt die Annahme voraus, dass die internen Quellenmechanismen unabhängig von der Empfängerstruktur sind. Zur Bestätigung oder Widerlegung dieser Annahme fehlen bisher allerdings allgemeingültige Untersuchungen. Für den Fall, dass sich die Aktivität einer Vibrationsquelle mit der angekoppelten Empfängerstruktur ändert, könnten indirekte Messmethoden im installierten Zustand bereits eine Lösung darstellen. Hier könnten die gültigen freien Schnellen oder geblockten Kräfte in der für die Quelle vorgesehenen oder einer dieser sehr ähnlichen Installation ermittelt werden.

Für eine vollständige Beschreibung sind drei translatorische und drei rotatorische Freiheitsgrade zu betrachten. Obwohl die Messung von translatorischen Kräften und Schnellen senkrecht zur Struktur allgemein etabliert ist, besteht weiterhin Forschungsbedarf zur Messung von Momenten und Winkelschnellen sowie Komponenten in Strukturebene. Ein interessanter Ansatz ist in [1] beschrieben, bei welchem Mobilitäten in Strukturebene sowie auch Momenten-Mobilitäten ermittelt werden können, ohne dass Momente oder Kräfte in Strukturebene eingeleitet werden müssen.

Im Gegensatz zu einer vollständigen und theoretisch exakten Charakterisierung von Körperschallquellen bietet die Empfangsplattenmethode eine Möglichkeit die aktiven und passiven Eigenschaften mit deutlich geringerem Aufwand zu ermitteln [3]. Hier werden die Quellendaten näherungsweise und über alle Kontaktpunkte gemittelt von der Schnelle einer Teststruktur abgeleitet, auf welcher die Quelle betrieben wird.

Wie an den unterschiedlichen Ansätzen erkennbar ist, werden hier zum einen Näherungen mit verhältnismäßig geringem Messaufwand und zum anderen möglichst exakte aber damit auch deutlich aufwändigere Verfahren angestrebt. Vereinfachte Methoden stellen einen Kompromiss zwischen Anwendbarkeit und Genauigkeit dar, besitzen aber das Potential, ohne teures Messequipment und höchstqualifiziertes Personal direkt von der Fertigungsindustrie angewendet zu werden. Durch das Vermeiden von Vereinfachungen bereits im ersten Schritt einer Charakterisierung, ermöglichen theoretisch exakte Messverfahren auch bei einer vereinfachten Darstellung der Daten genauere Ergebnisse. Aufgrund der hohen Anforderungen ist hier eine Auslagerung der Messungen an

gut ausgestattete Ingenieurbüros wahrscheinlich.

2. Methoden zur Vorhersage

Besonders in der Bauakustik ist ein beachtlicher Fortschritt zur Vorhersage der Körperschallpegel der entsprechenden Anlagen zu verzeichnen. Unter der Voraussetzung, dass vereinfachende Annahmen über eine Installation getroffen werden können, ermöglicht die Empfangsplattenmethode mit verhältnismäßig geringem Aufwand eine Abschätzung der übertragenen Leistung [4, 3]. Die Empfangsplattenmethode findet auch in den Normen DIN EN 15657-1 und DIN EN 12354-5 Anwendung. Inwieweit diese Methoden in anderen Bereichen der Akustik verwendbar sind, wurde bisher nicht ausreichend untersucht.

Für den Fall, dass die Empfängerstruktur nicht bekannt ist, oder keine allgemein zutreffenden Annahmen getroffen werden können, bietet die Charakteristische Körperschalleistung eine weitgehend anerkannte Möglichkeit, Quellen miteinander zu vergleichen [5]. Die Charakteristische Körperschalleistung stellt eine rigorose Erweiterung des Quellendeskriptors [6] für Quellen mit mehreren Kontaktpunkten und allen Freiheitsgraden dar. In DIN EN 12354-5 wird ein entsprechender Charakteristischer Körperschalleistungspegel eingeführt mit möglichen Methoden zur Vorhersage dieser Größe. Es wird jedoch hervorgehoben, dass diese Normierung keine endgültige Lösung, sondern eine für zukünftige Neu- und Weiterentwicklungen förderliche Richtung vorgeben soll.

3. Ansätze zur Optimierung

Der Quellendeskriptor und die Kopplungsfunktion erlauben eine Darstellung von Installationen, mit welcher eine Fehlanpassung der Quellen- und Empfänger mobilitäten direkt zur Lärminderung untersucht werden kann [6]. Da dieser Ansatz nur für Installationen mit einem Freiheitsgrad gültig ist, sollte eine Erweiterung für den allgemeinen Fall weitere Möglichkeiten zur Optimierung offenlegen. Aufgrund der Invertierung der Mobilitäten-Matrix bietet die Charakteristische Körperschalleistung keinen zusätzlichen Einblick in die zugrundeliegende Physik.

Der Ansatz der Interface-Mobilitäten bietet eine alternative Erweiterung für Quellen mit mehreren Kontaktpunkten, wobei die Schnellen, Kräfte und Mobilitäten mithilfe einer örtlichen Fourier Reihe in Interface-Ordnungen transformiert werden [7]. Diese Ordnungen beschreiben elementare Schwingungsformen wie bspw. die Rotation und Translation eines Starrkörpers und ermöglichen folglich eine verständliche Darstellung der Daten. Zusätzlich zu einer Fehlanpassung der Quellen- und Empfänger-Mobilitäten zur Lärminderung kann hier eine Fehlanpassung der Ordnungen vom Quellendeskriptor und der Kopplungsfunktion angestrebt werden. Der Ansatz der Interface-Mobilitäten muss allerdings noch weiter ausgearbeitet und die Lärminderungsmaßnahmen auf deren Umsetzbarkeit und Effizienz getestet werden.

Es ist hervorzuheben, dass der Quellendeskriptor in Form von Interface-Mobilitäten dieselbe Größe darstellt wie die Charakteristische Körperschalleistung. Der Unterschied

beider Formulierungen liegt in der Berechnungsmethode und den sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Genauigkeit und Verständlichkeit des Resultates.

Zusammenfassung

Die Charakterisierung von Körperschallquellen wurde durch eine Reihe von Neu- und Weiterentwicklungen sowie der Veröffentlichung der Normen DIN EN 15657-1 und DIN EN 12354-5 in den vergangenen Jahren erheblich vorangebracht. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen sind unterschiedliche Methoden notwendig. Trotz der wegweisenden Neuerungen in den verschiedenen Bereichen ist hervorzuheben, dass viele Ansätze sich noch in der Entwicklung befinden und häufig nur an stark vereinfachten Strukturen im Labor getestet wurden. Beispielsweise existiert bisher wenig Wissen über den Einfluss von Momenten und Komponenten in Strukturebene, sowie der zugehörigen Messung und Auswertung. Es besteht daher weiterhin viel Forschungsbedarf, bevor sich eine breitgefächerte Behandlung von Körperschallquellen in der Fertigungsindustrie und den Ingenieurbüros etablieren kann.

Danksagung

Der Autor bedankt sich herzlich für die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Literatur

- [1] AT MOORHOUSE, TA EVANS & AS ELLIOTT. *Some relationships for coupled structures and their application to measurement of structural dynamic properties in situ*. Mechanical Systems and Signal Processing, 2011. In Press.
- [2] G PAVIĆ & AS ELLIOTT. *Structure-borne sound characterization of coupled structures – Part I: Simple demonstrator model*. Journal of Vibration and Acoustics, 132, 2010.
- [3] BM GIBBS, R COOKSON & N QI. *Vibration activity and mobility of structure-borne sound sources by a reception plate method*. Journal of the Acoustical Society of America, 123:4199–4209, 2008.
- [4] MM SPÄH & BM GIBBS. *Reception plate method for characterisation of structure-borne sound sources in buildings: Installed power and sound pressure from laboratory data*. Applied Acoustics, 70:1431–1439, 2009.
- [5] AT MOORHOUSE. *On the characteristic power of structure-borne sound sources*. Journal of Sound and Vibration, 248:441–459, 2001.
- [6] J-M MONDOT & BAT PETERSSON. *Characterization of structure-borne sound sources: The source descriptor and the coupling function*. Journal of Sound and Vibration, 114:507–518, 1987.
- [7] HA BONHOFF & BAT PETERSSON. *Interface-Mobilitäten zur Entwicklung und Analyse vibrationsarmer Maschinen*. VDI-Berichte, 2118:263–270, 2010.