

Praktikumsversuche mit einem Demonstrator für indirekte Geräuscentstehung

Wolfgang Foken, Marco Gnauck, Martin List

Westfälische Hochschule Zwickau, 08056 Zwickau, E-Mail: wolfgang.foken@fh-zwickau.de

Einleitung

Indirekte Geräuscentstehungsmechanismen sind im NVH-Bereich von besonderer Bedeutung. Das Verständnis für die Weiterleitung von Körperschall erfordert vertiefte Kenntnisse der Strukturmechanik. Praktika in der studentischen Ausbildung fördern das Verständnis auch für komplexe Zusammenhänge. Mittels des vorgestellten Demonstrators können in den Praktika zum Beispiel Korrelationsfunktionen und Kreuzleistungsspektren, aber auch schwierige mathematische Zusammenhänge aus der Transferpfadanalyse oder der multiplen Kohärenz an einem einfachen Modell praktisch dargestellt werden.

Aufbau des Demonstrators

Der in Abbildung 1 dargestellte Versuchsaufbau entstand in Anlehnung an einen aktuellen Untersuchungsauftrag an Klimageräte wie sie z. B. auf den Dächern von Triebwagen der Bahn Verwendung finden. Der Demonstrator besteht aus einem Grundgestell, das an vier Fußpunkten direkt oder über Elastomere an eine Impedanz „unendlich“ angekoppelt werden kann [1].

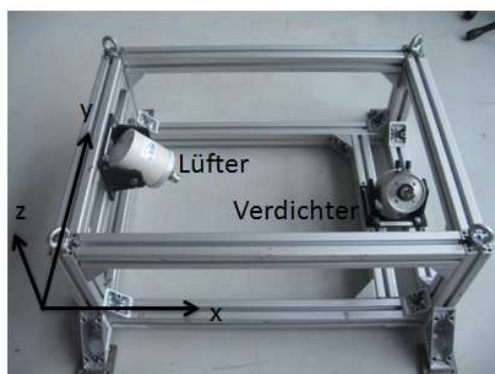


Abbildung 1: Aufbau des Demonstrators mit zwei Körperschallquellen.

Zwei Miniaturshaker wirken als definierte Körperschallquellen, die z. B. den Verdichter und den Lüfter eines realen Klimagerätes simulieren. Abbildung 2 zeigt die Anregungssignale, die sich auch an den realen Vorbildern orientieren.

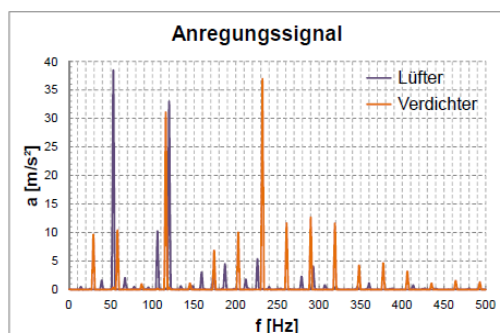


Abbildung 1: Anregungsspektren für die Mini-Shaker

Die Kraftwirkung erfolgt durch die schwingende Masse an der Koppelstange der Shaker. Die Anordnung der Shaker in Abbildung 1 zeigt, dass der „Lüfter“ in x- und z-Richtung und der „Verdichter“ in y- und z-Richtung wirkt

Charakterisierung der „Körperschallquellen“

Zunächst werden die Schwingungserreger einzeln betrachtet, um die Körperschalleistungen der Quellen zu bestimmen. Abbildung 2 zeigt die Versuchsaufbauten zur Ermittlung der blockierten Kräfte (rechts) sowie der freien Schnellen (links).

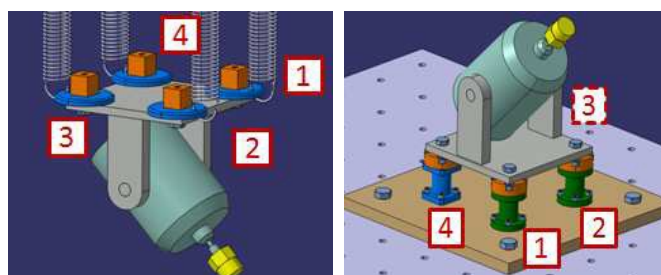


Abbildung 2: Frei aufgehängte Quelle und Quelle auf einer Impedanz „unendlich“

Mit der Anordnung in Abb. 2 (links) werden in einer Betriebsmessung mittels 3d-Beschleunigungsaufnehmern die freien Schnellen ermittelt. Im gleichen Versuchsaufbau, ohne Betriebskräfte, können mittels Impulshammermessung aus den inversen Übertragungsfunktionen die Quellimpedanzen bestimmt werden. Beide Messungen liefern die indirekte Kraftbestimmung.

In die Messanordnung entsprechend Abb. 2 (rechts) werden piezoelektrische 3d-Kraftmesszellen zwischen Shakergrundplatte und Schwingfundament angeordnet. Damit sind die in die Strukturen eingeleiteten blockierten Kräfte direkt messbar. Indirekte- und direkte Kraftmessung sind somit vergleichbar bzw. auftretende Unterschiede können analysiert und diskutiert werden.

Mit $P = \frac{1}{2} \operatorname{Re}\{F \cdot v^*\}$ ergibt sich die eingeleitete Körperschalleistung [2].

Charakterisierung des Gesamtaufbaus

Nachdem die akustischen Eigenschaften der beiden Körperschallquelle bekannt sind, kann der gesamte Versuchsaufbau analysiert werden. Die Vorgehensweise entspricht dem Konzept der Charakterisierung der Einzelquellen. Die freien Schnellen werden in einer Betriebsmessung an den Fußpunkten des Gesamtaufbaues ermittelt. In der gleichen Messanordnung werden an den Fußpunkten aus den inversen Übertragungsfunktionen die Impedanzen bestimmt. Für die Bestimmung der Blockierkräfte wird der gesamte Versuchsaufbau über Kraftaufnehmer an das Schwingfundament angekoppelt.

Korrelationsuntersuchungen

Nachdem für die Quellen und den Gesamtaufbau die wirkenden Kräfte und die Struktureigenschaften bekannt sind, sollte die praktische Frage beantwortet werden, welche Beiträge die beiden Quellen an den Fußpunkten liefern, wenn das Gesamtsystem z. B. über Elastomerlager an eine größere Struktur angekoppelt wird. Die Schwierigkeit besteht darin, dass beim realen System die Quellen nicht ausgebaut und getrennt untersucht werden können. In der Regel sind lediglich Betriebsbeschleunigungen quellennah und an Fußpunkten erfassbar.

Lösungen bieten Kohärenzuntersuchungen und modellbasierte TPA-Verfahren (Transfer-Pfad-Analyse).

Einfache und multiple Kohärenz

Offensichtlich setzt sich die Beschleunigung an einem Fußpunkt des Gesamtsystems aus Anteilen beider Quellen zusammen. Mittels der Kohärenzfunktion γ^2 kann der Grad der linearen Abhängigkeit zwischen zwei Signalen bestimmt werden und somit die Anteile der jeweiligen Quelle aus dem Gesamtsignal „herausgefiltert“ werden. Abbildung 3 zeigt schematisch diese Zusammenhänge.

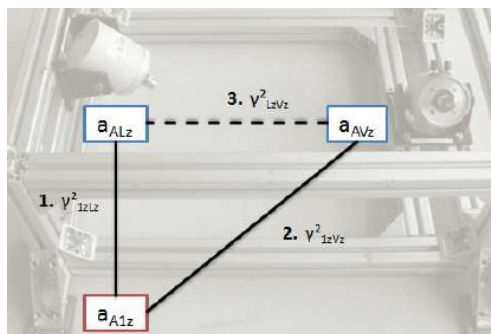


Abbildung 3: Schema zur Definition der Kohärenzen für den Fußpunkt „A1“

Da im quellennahen Beschleunigungsspektrum einer Quelle deutliche Anteile der 2. Quelle enthalten sind, ist die Korrelationsfunktion 3. In Abb. 3 ungleich Null d. h., die Quellen sind korreliert.

Um nun die maßgeblichen spektralen Anteile am Fußpunkt durch beide Quellen zu ermitteln, bietet sich die multiple Kohärenz an [3] an. Eine Trennung beider Quellenanteile ist jedoch auch hier nicht möglich. Lediglich zusätzliche Störquellen können eliminiert werden.

Demonstrator im Praktikumseinsatz

Der vorgestellte Demonstrator soll vorrangig im Praktikum eines Masterstudienganges „Automotive Engineering“ eingesetzt werden. Ziel war es, den theoretischen, mathematisch zum Teil schwierigen Vorlesungsstoff zum Thema Körperschall durch anschauliche Experimente zu vertiefen. Gleichzeitig sind moderne Messverfahren der experimentellen Modalanalyse (EMA) und der Transferpfadanalyse (TPA) darstellbar.

Modalanalyse

Bereits an einem einfachen Drahtgittermodell sind mit geringem Aufwand lokale und globale Schwingungsmoden des Gesamtsystems darstellbar.

Die Ermittlung der Eigenfrequenzen ist unabhängig vom Anregungszustand des Systems. Jedoch hat die Art der Randbedingungen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse. In diesen Versuchen wird die EMA sowohl am frei aufgehängten, als auch am starr gekoppelten Aufbau durchgeführt.

Ermittlung von Übertragungsfunktionen

Übertragungsfunktionen spielen in der Strukturanalyse eine bedeutende Rolle. Im Rahmen dieser Experimente lassen sich Übertragungsfunktionen sowohl als Quotient aus Antwort (z. B. Beschleunigung an einem Fußpunkt) und eingeleiteter Kraft darstellen. Gleichzeitig können die Studenten mittels „Matlab“ Auto- und Kreuzspektren ermitteln und damit die Kalkulatoren H1 und H2 zur Eliminierung von Störungen an der Krafteinleitung und am Ort der Antwort generieren.

Indirekte Kraftbestimmung

Für die indirekte Kraftbestimmung werden die freien Schnellen ermittelt und mittels Impulshammer-Anregung die Impedanzen ermittelt. Bekanntermaßen liefert das Produkt aus freien Schnellen und Impedanz die indirekten Kräfte. Der Demonstrator erlaubt den Vergleich mit direkt gemessenen Kräften (blockierte Kräfte).

Transferpfadanalyse

Das einfache System mit bekannten Kräften und Übertragungsfunktionen ermöglicht die Anwendung kommerzieller TPA-Tools wobei eine anschauliche Interpretation der Ergebnisse möglich ist.

Literatur

- [1] List, M.: Untersuchung zur Körperschall-Einleitung von Aggregaten mit unterschiedlichen Quellen in Trägerstrukturen, Diplomarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, 2014
- [2] Möser, M.; Kropp, W.: Körperschall. Springer Verlag, (2010)
- [3] Bendat, J. S.; Piersol, A. G.: Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. John Wiley & Sons Inc., 1993