

Akustische Antwort zur Dämpfungsbestimmung in der experimentellen Modalanalyse

Mario Wüthrl¹, Matthias Klärner¹, Lothar Kroll¹

¹ *Institut für Strukturleichtbau, 09126 Chemnitz, Deutschland, Email: mario.wuehrl@mb.tu-chemnitz.de*

Einleitung

Zur Verringerung des Körperschalls bei großflächigen Blechbauteilen kommen unter anderem Metall-Kunststoff-Verbunde (MKV) mit schubweichen viskoelastischen Kernen zum Einsatz. Diese Materialien bieten gute akustische Eigenschaften und verringern den Einsatz von schweren Dämpfungsbelägen wie Bitumen. Somit kann der konsequente Leichtbau vor allem in bewegten Systemen wie Fahrzeugen fortgeführt und die Energieeffizienz dieser Systeme erhöht werden.

Bei dem hier untersuchten Werkstoff handelt es sich um ein Material, dessen Stahldecklagen von einem 50 µm dicken Kern getrennt werden. Der polymere Kernwerkstoff besitzt mit 3 - 5 MPa eine sehr geringe Steifigkeit und ist daher schubweich. Durch die viskoelastischen Eigenschaften bietet er ein hohes Potential zur Energiedissipation und dämpft dadurch von außen angeregte Schwingungen des MKV.

Methoden der experimentellen Modalanalyse

Die experimentelle Modalanalyse wird zur Bestimmung der Materialdämpfung für verschiedenste Werkstoffe eingesetzt. Grundlage ist die Schwingungsanregung eines Körpers und die Aufzeichnung der Systemantwort. Anregungs- und Antwortort können hierbei variiert werden, wodurch eine Übertragungsmatrix aus einzelnen Übertragungsfunktionen, bzw. frequency-response-functions (FRF) entsteht [1]. Die Besetzung dieser Matrix kann sich je nach Variation von Anregung und Antwort verändern [2]. Zur Anregung des Werkstoffes kommen am häufigsten die Impulsanregung mit Hilfe eines Modalhammers und die Anregung durch einen Shaker zum Einsatz. Auch kontaktlose Anregungsarten wie die Nutzung von Lautsprechern sind in der Literatur zu finden [3].

Auch die Ermittlung der Strukturantwort kann auf verschiedene Arten erfolgen. Die häufigsten Sensoren sind Beschleunigungssensoren. Diese besitzen jedoch den Nachteil, dass ihre Masse die Schwingung der Struktur beeinflusst. Für die kontaktlose Messung werden Laser-Doppler-Vibrometer in verschiedenen Ausführungen genutzt. Ebenfalls eine kontaktlose Ermittlung der der Schwingungsantwort bietet die Nutzung von Mikrofonen.

Die dargestellten Methoden bieten verschiedene Vor- und Nachteile. Eine Nutzung eines Impulshammers ermöglicht zwar die Anregung ohne die Einbringung zusätzlicher Masse, jedoch ist eine frequenzspezifische Anregung nicht möglich. Bei den Sensoren bietet das Laser-Doppler-Vibrometer eine kontaktlose Messung, je-

doch ist dieses in der Anschaffung teuer.

Die oben angesprochene Übertragungsmatrix besteht aus komplexwertigen Zahlen, welche sowohl die Amplitudenas auch die Phaseninformationen der verschiedenen Messpunkte beinhalten. Aus diesen Informationen können die Eigenformen der jeweiligen Eigenfrequenzen graphisch dargestellt werden. Bei einer akustischen Modalanalyse mit nur einem Mikrofon entfällt die Phaseninformation der Übertragungsfunktionen vollständig. Um dies zu umgehen, kommen in der Literatur verschiedene Methoden zur Anwendung. Die Ermittlung der akustischen Systemantwort erfolgt unter anderem mit mehreren Mikrofonen [4-6] oder unter zu Hilfenahme weiterer Sensoren [3].

Besonderheiten der experimentellen Modalanalyse an hochdämpfenden MKV

Als Referenzmaterial zum hochdämpfenden MKV wurde ein Stahlblech (DX54) mit einer Dicke von 1 mm verwendet. Die experimentelle Modalanalyse erfolgte mit Hilfe eines Modalhammers, mit dem eine rechteckige Platte von 250x200 mm an 81 Punkten angeregt wurde. Der Probekörper wurde auf zwei Gummibändern gelagert. Die Antwort wurde mit einem Laser-Doppler-Vibrometer in normalen Richtung an einem Eckpunkt aufgezeichnet. Zur Ermittlung der Materialdämpfung aus den aufgezeichneten FRF wurde eine Peak-Picking-Methode mit anschließendem Curve Fitting genutzt. Für den isotropen Referenzwerkstoff funktioniert diese Methode problemlos, da durch die geringe Dämpfung des Materials die Peaks deutlich ausgeprägt sind.

Für den untersuchten MKV mit schubweicher Kernschicht gestaltet sich die Ermittlung der Dämpfung bei einer Anregung mit dem Impulshammer oberhalb der fünften Mode bereits schwierig. Die Maxima der FRF sind aufgrund der großen Dämpfung so flach, dass diese nur noch schwer zu identifizieren sind. Die Hauptursache hierfür liegt im geringen Energieeintrag durch den Impulshammer. Vor allem die höheren Moden klingen im Zeitbereich sehr schnell ab, was eine FRF Ermittlung erschwert. Sowohl ein erhöhter Krafteinsatz als auch die Nutzung eines schwereren Hammers, lösen dieses Problem nicht, da hierdurch die Bewegungsamplitude der Starrkörperbewegung der Platte sich derart vergrößert, dass die Aufzeichnung der Eigenschwingungen mit dem Laser-Doppler-Vibrometer unmöglich wird.

Akustische Modalanalyse

Um das Problem des geringen und auch frequenzunspecifischem Energieeintrags zu umgehen, kann ein Shaker zur

Anregung der Platte genutzt werden. Dieser ermöglicht eine frequenzspezifische und dauerhafte Erregung, wodurch die Auswertung höherer Moden möglich sein sollte. Da für die reine Ermittlung der Dämpfung keine Phaseninformation notwendig ist, kann auf eine Aufzeichnung der FRF-Matrix verzichtet werden und ein Mikrofon genutzt werden. Hierbei wird angenommen, dass die Schwingung der Platte sich proportional zum abgestrahlten Schalldruck verhält.

Das Messverfahren besteht aus einem Shaker der mit einem Sinus-Sweep über 30 s von 35-1000 Hz die Platte an einem leicht exzentrisch gelegenen Punkt anregt. Weiterhin kommt ein Mikrofon zum Einsatz, welches den Schalldruck im Nahfeld der Platte über einer Ecke misst. Zur Ermittlung der Dämpfung wird die sog. Halbwertsbreite der Peaks ausgewertet. Diese entspricht dem Abfall des Resonanzgipfels um 3 dB [1]. Die modale Dämpfung ergibt sich somit aus:

$$D = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_d} \quad (1)$$

wobei ω_2 die obere und ω_1 die untere Frequenz der -3 dB Grenze ist und ω_d die Resonanzfrequenz darstellt. Zur Ermittlung der Dämpfungswerte wurde die Übertragung des Zeitsignals des Mikrofons in den Frequenzbereich mittels einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) alle 3 s durchgeführt. So kann die Auswertung der Moden immer mit einer Bandbreite von etwa 100 Hz in der frequenzspezifischen Anregung erfolgen. In Abbildung 1 ist der Frequenzverlauf des Messsignals für verschiedene Anregungsfrequenzen dargestellt. Hierbei ist deutlich sichtbar, dass je nach Shakerfrequenz unterschiedliche Moden akustisch hervortreten.

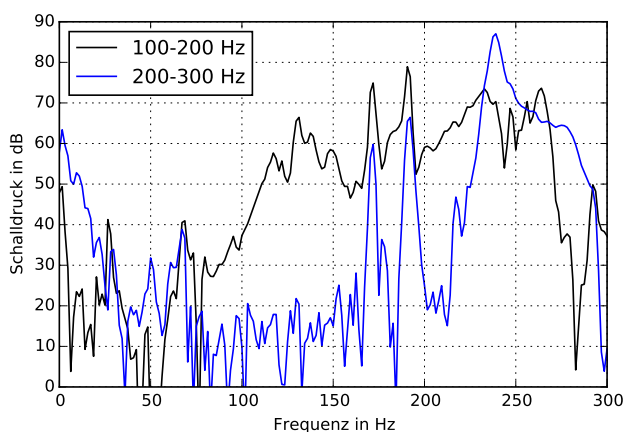


Abbildung 1: Frequenzverlauf für 100-200 Hz und 200-300 Hz Anregungsfrequenz

Für den Vergleich der ermittelten Dämpfungswerte wurde aus der experimentellen Modalanalyse nur die Übertragungsfunktion der beiden Punkte ausgewertet, die auch in der akustischen Modalanalyse genutzt wurden. In Abbildung 2 sind die ermittelten Dämpfungswerte für die beiden untersuchten Materialien dargestellt.

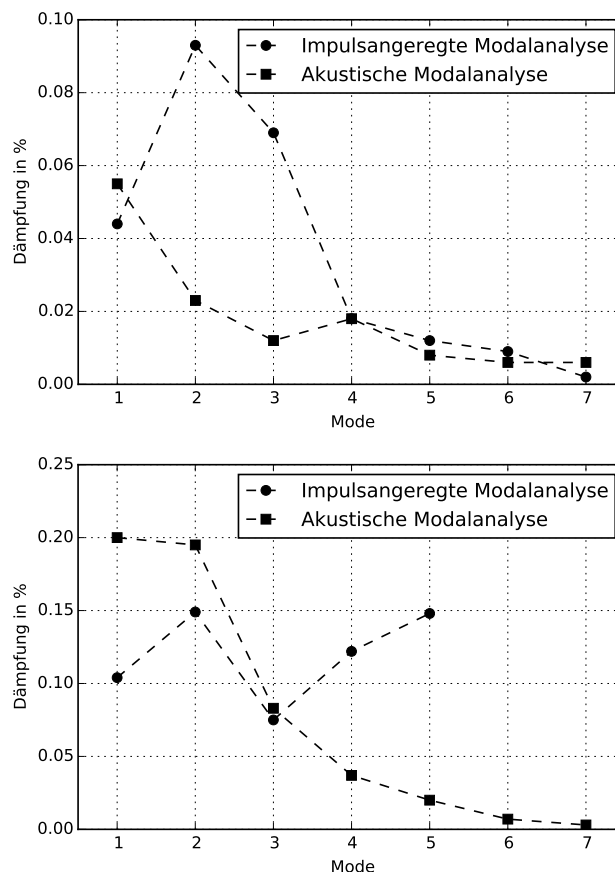


Abbildung 2: Ermittelte Dämpfungswerte für Stahl (oben) und MKV (unten)

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass es durch die Anregung mittels Shaker möglich ist zwei weitere Moden für den hochdämpfenden MKV auszuwerten. Für das Referenzmaterial korrelieren die Messwerte der beiden Methoden bis auf die Moden 2 und 3 sehr gut. Für den MKV gilt dies nur für die dritte Mode.

Eine mögliche Ursache für die Abweichungen in den ermittelten Kennwerten könnte die Verschiebung der Moden im Frequenzbereich sein, wodurch unterschiedliche Moden miteinander verglichen werden. Aufgrund der fehlenden Phaseninformation ist dieses Problem unumgänglich.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend zeigt die vorgestellte akustische Methode zur Dämpfungsermittlung das Potenzial auch höhere Moden für hochdämpfende Metall-Kunststoff-Verbunde messbar zu machen. Der Einsatz eines Shakers bringt jedoch den Nachteil einer zusätzlichen Masse mit sich, welche das Dämpfungsverhalten beeinflusst und der Annahme einer freien Lagerung entgegen spricht. Durch die Nutzung eines Mikrofons zur Messung der Antwort konnten für das Referenzmaterial gute Übereinstimmungen erzielt werden.

Die Ermittlung der Dämpfung mit Hilfe der Halbwertsbreite ist stark von den Parametern der FFT Berechnung abhängig. Vor allem die Frequenzauflösung spielt

hierbei eine entscheidende Rolle und sollte in folgenden Untersuchungen näher betrachtet werden. Außerdem ist der Einsatz eines zusätzlichen Sensors zur Ermittlung der Phaseninformationen notwendig um den Vergleich identischer Eigenformen bei beiden Messmethoden zu gewährleisten.

Literatur

- [1] Möser, M.: Messtechnik der Akustik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (2009)
- [2] Ewins, D.J.: Modal testing theory and practice, rev. with new notation edn. Research Studies Press (1984)
- [3] Xu, Y., Zhu, W.: Operational modal analysis of a rectangular plate using non-contact excitation and measurement. *Journal of Sound and Vibration* **332**(20), 4927 – 4939 (2013)
- [4] Farshidi, R., Trieu, D., Park, S., Freiheit, T.: Non-contact experimental modal analysis using air excitation and a microphone array. *Measurement* **43**(6), 755 – 765 (2010)
- [5] Elwali, W., Satakopan, H., Shauche, V., Allemang, R., Phillips, A.: Modal parameter estimation using acoustic modal analysis. In: *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, vol. 3, pp. 23–33 (2011)
- [6] Zhu, W.D., Liu, J.M., Xu, Y.F., Ying, H.Q.: Topics in Modal Analysis, Volume 7: Proceedings of the 31st IMAC, A Conference on Structural Dynamics, 2013, pp. 495–509. Springer New York, New York, NY (2014)