

# Einfluss verschiedener Lagerung bei der experimentellen Bestimmung von Dämpfungswerten

Christian A. Geweth, Simon Boche, Kheirollah Sepahvand und Steffen Marburg

*Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme, Technische Universität München, Deutschland, Email: christian.geweth@tum.de*

## Einleitung

Abweichungen zwischen numerischen Simulationen und experimentell gewonnenen Daten lassen sich häufig nur mit hohem Aufwand minimieren. Dabei kann es erforderlich sein die zeitintensive Messungen zu wiederholen und das verwendende Simulationsmodell schrittweise zu verbessern. Bereits geringfügige Abweichungen in der Geometrie oder Materialparametern können sich dabei deutlich auf die Eigenfrequenzen auswirken [1]. Allerdings ermöglichen einige Methoden eine relativ genaue Bestimmung der Geometrie [2, 3] sowie der Masse und der Steifigkeit [4, 5, 6, 7, 8].

Im Vergleich zu der experimentellen Bestimmung und Berechnung von Eigenfrequenzen ist Dämpfung recht fehleranfällig. So existieren neben der von Lord Rayleigh vorgeschlagener viskosen Dämpfung [9] in der Literatur noch diverse an weiteren Ansätze und Methoden die Energiedissipation bei schwingender Systeme zu berücksichtigen [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Bei der experimentellen Dämpfungsbestimmung können die Messwerte beispielsweise durch Fügstellendämpfung [16, 17] verfälscht werden. Auch kann durch Postprocessing bei einigen Messsignalen fehlerhafte Dämpfungswerte ermittelt werden [18, 19]. Ein häufig verwendetes Verfahren um eine Probe im Experiment zu lagern ist die näherungsweise Nachbildung von frei-freien Randbedingungen mittels elastischer Leinen [20]. In dieser Studie wird der Einfluss dieser Art der Lagerung auf die experimentell bestimmten Eigenfrequenzen und Dämpfungswerte untersucht.

## Prüfkörper und Messaufbau

Um den Einfluss der Lagerung zu untersuchen wurde eine Aluminiumplatte aus AlMg4,5Mn0,7 mit den Hauptmaßen  $L = 355\text{mm}$ ,  $B = 255\text{mm}$ ,  $h = 13\text{mm}$  als Prüfkörper verwendet. Diese Probe hat entlang ihrer Kanten im gleichmäßigem Abstand insgesamt 44 M10-Bohrungen. Für die Messungen wurde die Probe mit Hilfe von zwei dünnen Leinen in jeweils zwei der 14 Bohrungen entlang einer der beiden 355mm langen Kanten befestigt. Dabei wurden die Leinen jeweils im gleichen Abstand zu der Platten Mitte befestigt. In den folgenden Graphiken werden die für die Lagerung genutzten Bohrungen von außen nach innen mit steigenden Nummern beschrieben; so beschreibt 11 eine Lagerung in den beiden äußeren Bohrungen, 22 eine Lagerung in den jeweils zweiten Bohrungen von außen und 77 die Lagerung in den beiden mittleren Bohrungen. Zur Anregung der Struktur wurde der automatischer Impulshammer „SAM1“ der Firma

NV-Tech-Design verwendet [21, 22]. Das strukturdynamische Antwortverhalten der Probe wurde mit Hilfe eines Laser-Scanning-Vibrometers der Firma Polytec vom Typ PSV500 an drei Punkten der Platte gemessen. Dabei wurde die Strukturantwort für jede Lagerung und Messposition mehrfach gemessen um einen Eindruck über die Streuung der einzelnen Ergebnisse zu bekommen.

## Datenanalyse

Die vom Vibrometer aufgezeichneten Zeitdaten werden anschließend in MATLAB<sup>®</sup> importiert und dort mittels FFT in den Frequenzbereich transformiert. Diese Messwerte werden anschließend für die Modalanalyse zu ME'SCOPE<sup>®</sup> exportiert. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die mittels Modalanalyse ermittelten Eigenfrequenzen und Dämpfungsfrequenzen für die jede Lagerung gemittelt und die Abweichung zu dem arithmetischen Mittel der Eigenfrequenzen und Dämpfungswerte aller Lagerpositionen gemäß der Gleichungen 1 und 2 berechnet.

$$\Delta f = \frac{f_{nn} - f_{mean}}{f_{mean}} \quad (1)$$

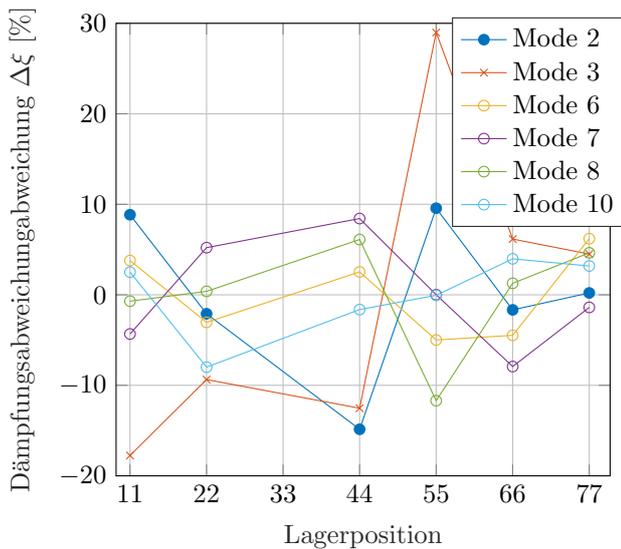
$$\Delta \xi = \frac{\xi_{nn} - \xi_{mean}}{\xi_{mean}} \quad (2)$$

## Ergebnisse

Die in dieser Untersuchung näher betrachteten Eigenfrequenzen der Moden 2, 3, 6, 7, 8 und 10 weichen bei den unterschiedlichen Lagerungen alle um weniger als  $\Delta f_{max} \leq \pm 0,05\%$  ab. Auch wenn die Abweichung der Eigenfrequenzen in Verbindung mit der Lagerposition auf einen geringfügigen Einfluss auf die ermittelten Eigenfrequenzen schließen lässt, so sollten diese Abweichungen aufgrund ihrer Größenordnung für die meisten praktischen Anwendungen nicht von erwähnenswerter Bedeutung sein.

Die in Abbildung 1 dargestellte Abweichung der Dämpfungswerte deutet auf einen deutlichen Einfluss der gewählten Lagerung auf die ermittelten Dämpfungswerte  $\xi$  hin. Es ist erkennbar, dass die gemessenen Dämpfungswerte von dem Mittelwerte der einzelner Moden um bis zu  $\Delta \xi_{max} \leq \pm 30\%$  abweichen.

Da sich die einzelnen Messungen einzig in der gewählten Position der Lagerung unterscheiden deutet dies darauf hin, dass Dämpfung sehr empfindlich auf auch ge-



**Abbildung 1:** Dämpfungsabweichung bei unterschiedlichen Lagerpunkten

ringförmige Änderungen der Lagerung reagiert. Dies deutet daraufhin, dass eine Bestimmung von realistischen Dämpfungswerten mittels direkt auf der Probe montierten Sensoren (z.B.: Beschleunigungssensoren) kaum möglich ist. Weiterhin ist anzumerken, dass durch diese Sensitivität der Dämpfung eine präzise Bestimmung von Dämpfungswerten mit einem höherem Aufwand verbunden ist als bei Bestimmung der Eigenfrequenzen. Da Aluminium eine sehr geringe Materialdämpfung aufweist [23], stellt sich die Frage wie empfindlich Strukturen mit einer höheren Materialdämpfung auf eine veränderte Lagerung reagieren.

## Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Paper ist der Einfluss von geringfügigen Änderungen in der Lagerung einer Aluminiumplatte auf die experimentell bestimmten Eigenfrequenzen und Dämpfungswerte untersucht worden. Dabei zeigte sich, dass die Eigenfrequenzen kaum von der Lagerung beeinflusst werden. Die ermittelten Dämpfungswerte variierten um bis zu  $\pm 30\%$ . In weiteren Untersuchungen ist soll die Streuung der gemessenen Dämpfungswerte näher betrachtet werden. Dabei soll auch die Wiederholbarkeit einzelner Messungen mit in Betracht gezogen werden.

## Literatur

- [1] Geweth, C.; Sepahvand, K.; Marburg, S.: Stochastic radiated sound power of structures with uncertain parameters. Proceedings of NOVEM 2015, Dubrovnik
- [2] Reich, C., Ritter, R., Thesing, J.: 3-D shape measurement of complex objects by combining photogrammetry and fringe projection. Optical Engineering, 39(1), S. 224-231, 2000
- [3] Petz, M.; Tutsch, R.: Optical 3D Measurement of Reflecting Free Formed Surfaces. In: VDI-Berichte 1694, International Symposium on Photonics in Measurement, Aachen, 2002, S. 329-332
- [4] Hislop, J.; Krautkrämer, J.; Krautkrämer, H.; Grabendörfer, W.; Frielinghaus, R.; Kaule, W.; Niklas, L.; Opara, U.; Schlengermann, U.; Steiger, H.; et al.; Ultrasonic Testing of Materials. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [5] Achenbach, J.; Wave Propagation in Elastic Solids, ser. North-Holland Series in Applied Mathematics and Mechanics. Elsevier Science, 2012.
- [6] Sepahvand, K.; S. Marburg, S.; Non-sampling inverse stochastic numerical experimental identification of random elastic material parameters in composite plates, Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 54, no. Supplement C, pp. 172-181, 2015.
- [7] Stache, M.; Guettler, M.; Marburg, S.; A precise non-destructive damage identification technique of long and slender structures based on modal data, Journal of Sound and Vibration, vol. 365, pp. 89-101, 2016.
- [8] Langer, P.; Sepahvand, K.; Guist, C.; Bär, J.; Pelpow, A.; Marburg, S.: Matching experimental and three dimensional numerical models for structural vibration problems with uncertainties. Journal of Sound and Vibration 417, pp. 294-305, 2018.
- [9] Rayleigh, J. W. S. B. The Theory of Sound, vol. 1. Macmillan, 1877.
- [10] Woodhouse, J. Linear damping models for structural vibration. Journal of Sound and Vibration 215, 3 (1998), 547-569.
- [11] Beerens, C. Zur Modellierung nichtlinearer Dämpfungsphänomene in der Strukturmechanik. PhD thesis, Institut für Mechanik Ruhr-Universität Bochum, 1994.
- [12] Adhikari, S. Damping models for structural vibration. PhD thesis, University of Cambridge, 2001.
- [13] Adhikari, S., and Woodhouse, J. Quantification of non-viscous damping in discrete linear systems. Journal of Sound and Vibration 260, 3 (2003), 499-518.
- [14] Yamaguchi, H., and Adhikari, R. Energy-based evaluation of modal damping in structural cables with and without damping treatment. Journal of Sound and Vibration 181, 1 (1995), 71-83.
- [15] Osinski, Z.: Damping of vibrations. CRC Press, 2018.
- [16] Mayer, M. Zum Einfluss von Fügestellen auf das dynamische Verhalten zusammengesetzter Strukturen. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2007.
- [17] Barkanov, E.; Skukis, E.; Petitjean, B.: Characterisation of viscoelastic layers in sandwich panels via an inverse technique. Journal of sound and vibration, 327(3-5), pp. 402-412, 2009.

- [18] Geweth, C.A.; Langer, P.; Sepahvand, K.; Marburg, S.: Investigation of various damping measurement techniques. *The Journal of the Acoustical Society of America* 141 (5), 2017, 3576-3576
- [19] Geweth, C.A.; Moscoso Cires, R.; Martínez García, A.; Jagodzinski, D.; S. Marburg: Influence of different measurement settings and methods on obtained damping values; Proceedings of NOVEM 2018; Ibiza
- [20] Ewins, David J.; *Modal Testing: Theory, Practice and Application*, 2nd Edition; Wiley, 2000; ISBN: 978-0-863-80218-8
- [21] Blaschke, P.; Mallareddy, T.T.; Alarcón, D.J.: Application of a scalable automatic modal hammer and a 3D scanning laser Doppler vibrometer on turbine blades. Proceedings of the 4th VDI conference in vibration analysis and identification, VDI-Berichte 2259, Fulda, p. 87, 2016.
- [22] Blaschke, P.; Schneider, S.; Kamenzky, R.; Alarcón, D.J.: Non-linearity Identification of Composite Materials by Scalable Impact Modal Testing. In: *Sensors and Instrumentation*, Volume 5. Springer, Cham, pp. 7-14. 2017.
- [23] Petersen, C.; Werkle, H.: *Dynamik der Baukonstruktionen*. 2nd Edition; Springer Vieweg; 2017; ISBN: 978-3-8348-1459-3.