

Fehlererkennung mittels Eigenfrequenzanalyse bei mehrschichtigen Faserverbundwerkstoffen

C. A. Geweth¹, F. Saati Khosroshahi¹, K. Sepahvand¹, C. Kerkeling² und S. Marburg¹

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

85748 Garching bei München, Deutschland, Email: christian.geweth@tum.de

² Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH, Carl-Legien-Strasse 30, 63073 Offenbach

Einleitung

Durch die Nachfrage nach steigender Effizienz in Fertigungsprozessen und steigenden Qualitätsanforderungen wird es immer wichtiger, die Qualität von Bauteilen bereits während des Fertigungsprozesses zu überprüfen. Da zerstörende Prüfverfahren weder eine vollständige Überprüfung aller gefertigten Bauteile zulassen und nur eine begrenzte Aussage über die verbauten Komponenten zulassen, bieten sich für Kontrollen an einer Fertigungsstraße zerstörungsfreie Prüfverfahren an. Bei schwingungsbasierten Methoden werden Abweichungen im Fertigungsprozess mittels Änderungen der strukturdynamischen Antwort eines Bauteils auf eine bekannte Anregung detektiert. Dabei erlaubt dieses Verfahren gegenüber anderen Methoden wie beispielsweise Ultraschall die Überprüfung von Schädigungen innerhalb schwer zugänglicher Bereiche. Verschiedene Arbeiten zu dieser Methode wurden bereits veröffentlicht [1-5].

In dieser Studie wird die Möglichkeit zur experimentellen Schadensdetektion bei mehrschichtigen Faserverbundbauteilen untersucht. Dabei werden die gemessenen Eigenfrequenzen der Gutteile mit denen der beschädigten Bauteile verglichen.

Prüfkörper und experimenteller Aufbau

Es wurden fünf mehrlagige Faserverbundbauteile untersucht. Diese U-förmigen Proben (siehe Abbildung 1) haben eine Masse von $m \approx 1.86\text{kg}$, eine Länge von $l = 600\text{mm}$, eine Breite von $b = 395\text{mm}$ sowie eine Höhe von $h = 130\text{mm}$.

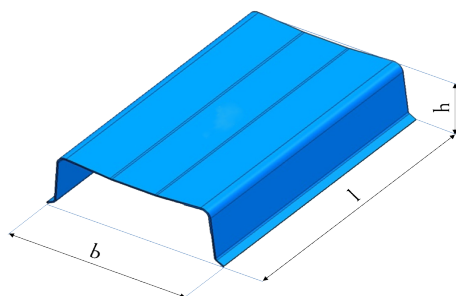


Abbildung 1: Nennmaße der Proben

Tabelle 1 stellt die eingebrachten Fehlertypen dar. Bei zwei Prüfkörpern wurde durch gezieltes Einbringen von PTFE-Folie im Übergang zwischen Grundfläche und Flanke ein delaminierter Bereich erzeugt. Im dritten de-

fekten Prüfkörper wurde das Harz mit unzureichendem Druck injiziert. Diese Probe weist daher eine etwas geringere Masse auf.

Tabelle 1: Prüfkörper

Probe	Schaden
Pr1 ok	Kein Schaden
Pr2 ok	Kein Schaden
Del 10mm	10mm breite Delamination
Del 25mm	25mm breite Delamination
Druck	Unvollständige Infiltration durch zu geringen Fertigungsdruck

Zum Messen der Übertragungsfunktionen ist eine freifreie Lagerung der Proben durch eine möglichst weiche Aufhängung im reflexionsarmen Raum angenähert worden. Es wurden zwei Messreihen mit unterschiedlichen Anregungsarten durchgeführt. Bei der ersten sind die Proben über einen Shaker mit einem PseudoRandom angeregt worden. Hierbei wurde der Frequenzbereich bis $f_{max} = 400\text{Hz}$ ausgewertet. In der zweiten Messreihe sind die Bauteile mit einem weißen Rauschen über einen Lautsprecher im Frequenzbereich von $f_{min} = 150\text{Hz}$ bis $f_{max} = 1300\text{Hz}$ angeregt worden. Die Strukturantwort der Innenfläche wurde in beiden Messreihen von einem Laserscanningvibrometer (LSV) erfasst, das Antwortverhalten der Flanken ist nicht gemessen worden. Abschließend wurden mit ME⁴SCOPEVESTM die Eigenschwingungsformen und Eigenfrequenzen bestimmt.

Ergebnisse

Der Vergleich zwischen den beiden Anregungsarten zeigt, dass die Eigenfrequenzen bei der Shakeranregung im Durchschnitt um 0.6% geringer sind als bei der Anregung durch den Lautsprecher. Als Hauptursache für diese Abweichung wird an dieser Stelle die zusätzliche Masse durch des Kraftsensors angenommen [6]. Unterschiede in den Schwingungsformen sind zwischen den beiden Anregungsarten nicht festzustellen.

Bei beiden Anregungsarten ist erkennbar, dass die meisten ermittelten Eigenfrequenzen der beschädigten Proben eine niedrigere Frequenz aufweisen als die beiden Gutteile. Das lässt auf eine geringere Steifigkeit der Bau-

teile durch die Defekte schließen. Bei der vom Harz unzureichend infiltrierten Probe „Druck“ überwiegt der Steifigkeitsverlust bei nahezu allen Moden den Einfluss der um etwa $\sim 80\text{g}$ geringeren Masse.

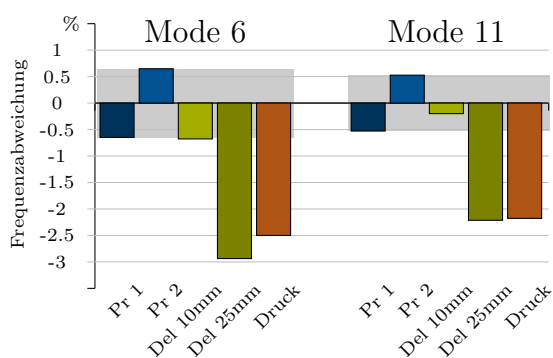


Abbildung 2: Eigenfrequenzen der sechsten und elften Mode

In Abbildung 2 sind die Abweichungen der Proben zur gemittelten Eigenfrequenz der beiden Gutteile für die sechste ($f_{06} = 178.9\text{Hz}$) sowie der elften ($f_{11} = 355.2\text{Hz}$) Mode dargestellt. Der grau hinterlegte Bereich zeigt die Streuung der beiden Gutteile. Erkennbar ist, dass die Eigenfrequenzen der beiden stärker geschädigten Proben „Del 25mm“ und „Druck“ um mehr als zwei Prozent von der gemittelten Eigenfrequenz abweichen.

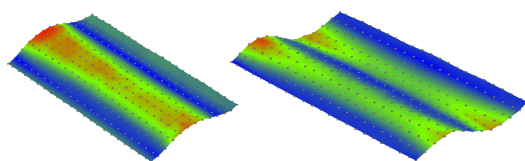


Abbildung 3: Schwingungsform der sechsten (links) und der elften (rechts) Mode

Lediglich die Probe „Del 10mm“ ist bei diesen beiden Moden anhand der Eigenfrequenzen nicht eindeutig von den beiden Gutteilen zu unterscheiden.

Der Vergleich der Eigenschwingungsformen (siehe Abbildung 3) zeigt, dass sich die Anzahl der Knotenlinien und Schwingungsbäuche über die Breite des Bauteils sich von der sechsten zur elften Mode um jeweils eins erhöht.

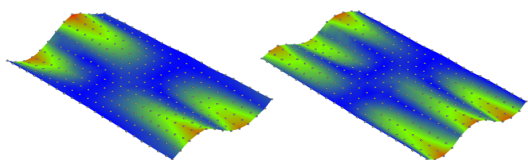


Abbildung 4: Schwingungsform der zwölfsten (links) und der 20. (rechts) Mode

Für die Schwingungsformen (siehe Abbildung 4) der zwölfsten ($f_{12} = 371.4\text{Hz}$) und der 20. Mode ($f_{20} = 588.5\text{Hz}$) ist ebenfalls, wie in Abbildung 5 gezeigt, ein Frequenzabfall der beiden stärker geschädigten Proben „Del 25mm“ und „Druck“ erkennbar. Die häufig ge-

ringere Eigenfrequenz dieser beiden Proben zeigt, dass eine Identifikation der Schädigungen über die Schwingungsanalyse möglich ist.

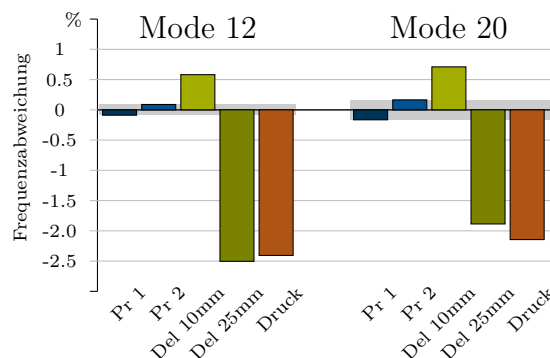


Abbildung 5: Eigenfrequenzen der zwölfsten und 20. Mode

Die Ursachen für die in Relation zu den Gutteilen höhere Eigenfrequenz der Probe „Del 10mm“ ist bisher noch nicht eindeutig geklärt.

Zusammenfassung

Die in dieser Studie erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine zerstörungsfreie Schadensdetektion mittels Schwingungsanalyse an Faserverbundteilen möglich ist. Die Robustheit des Verfahrens ist durch weitere statistische Untersuchungen zu verifizieren. Im Rahmen einer derartigen Studie ist zu untersuchen, ob die Probe „Del 10mm“ als geschädigt erkennbar ist.

Literatur

- [1] Graham ML Gladwell. Inverse problems in vibration. *Applied Mechanics Reviews*, 39(7):1013–1018, 1986.
- [2] Michael I Friswell. Damage identification using inverse methods. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851):393–410, 2007.
- [3] A. Alvandi and C. Cremona. Assessment of vibration-based damage identification techniques. *Journal of Sound and Vibration*, 292(1–2):179 – 202, 2006.
- [4] Seth S Kessler, S Mark Spearing, Mauro J Atalla, Carlos ES Cesnik, and Constantinos Soutis. Damage detection in composite materials using frequency response methods. *Composites Part B: Engineering*, 33(1):87–95, 2002.
- [5] M. Stache, M. Guettler, and S. Marburg. A precision non-destructive damage identification technique of long and slender structures based on modal data. *Journal of Sound and Vibrations*, 365:89–101, 2016.
- [6] P. Langer, K. Sepahvand, M. Krause, and S. Marburg. Simple vibroacoustic systems - influence of uncertainties in simulation and experiment. In Goran Pavic, editor, *Proceedings of NOVEM 2015*, Dubrovnik, Croatia, 2015.