



M.Sc. Joline Dank,  
Geschäftsbereich Optische  
Messsysteme, Polytec GmbH  
in Waldbronn

# Auf dem Vormarsch

## Leichtbaustrukturen berührungsfrei durch 3D-Scanning-Laservibrometrie prüfen

*Durch den Einzug der Leichtbauweise in verschiedene Anwendungsbereiche gewinnen Faserverbundwerkstoffe wie CFK-Strukturen zunehmend an Bedeutung und ersetzen schon jetzt zum Teil herkömmliche Materialien wie Stahl oder Aluminium. Dabei müssen die Faktoren Sicherheit und Funktionalität stets sichergestellt sein. Wendet man die im Folgenden beschriebenen Verfahren in automatisierten Prozessen an, ermöglicht dies ein hohes Maß an Produktivität.*

Um sich diesen Anforderungen zu stellen, ist es erforderlich, bei der Entwicklung und zur Qualitätssicherung das Verhalten der Bauteile, vor allem bei dynamischen Anregungen, genauer zu kennen. Dabei kommen häufig Modal- und Betriebsschwinganalysen zum Einsatz. Darüber hinaus sind auch Dehnungs- und Spannungsverteilungen von Interesse, um Belastungszustände bei dynamischen Anregungen zu untersuchen, damit mögliche Brüche und Materialermüdungen vermieden werden können. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Defekte und Strukturfehler bei Faserverbundwerkstoffen, die z. B. mithilfe der Ausbreitung und Störung von Oberflächenwellen, sogenannten Lamb-Wellen, detektiert werden.

Aufgrund des geringen Gewichts der Leichtbauteile sollten die experimentellen Untersuchungen die Bauteildynamik selbst nicht beeinflussen. Gewünscht sind daher berührungsfreie flächenhafte Messungen, die anschließend auch mit Simulationsdaten verglichen werden können.

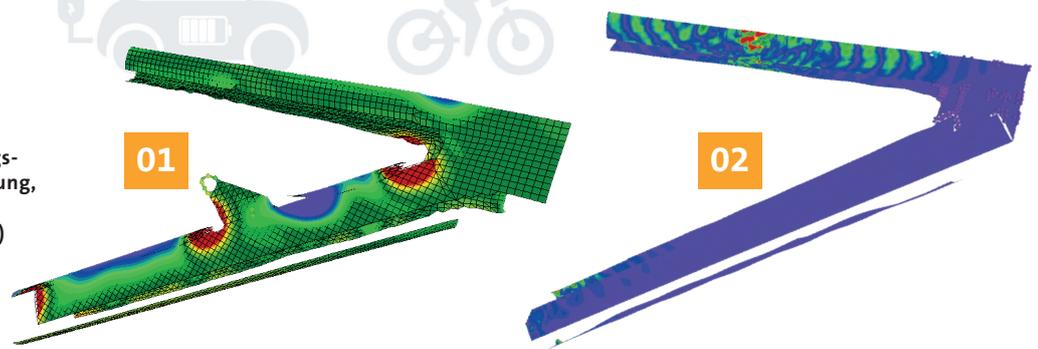
### Schwingungen berührungslos messen

Das Polytec PSV-3D Scanning Vibrometer, ein optisches Schwingungsmesssystem, basierend auf dem Prinzip der scannenden Laser-Doppler-Vibrometrie, misst Schwingungen hochpräzise per Laser, berührungslos und flächenhaft. Anschließend stehen die realen Messdaten zum Vergleich mit den Finite Elemente Simulationen zur Verfügung, um hieraus die Modellvalidierung oder ein Model Update abzuleiten.

Das PSV-3D verfügt in drei Laserköpfen über eine Scanner-Spiegeleinheit, wobei der obere zentrale Scankopf mit einer hochauflösenden Videokamera ausgestattet ist. Dies ermöglicht die messtechnische Erfassung von kompletten Bauteilgeometrien anhand zuvor definierter Messpunkte, die im anschließenden Scanvorgang sequentiell gemessen werden.

Mit diesen Schwingungsdaten kann im Frequenzbereich die Betriebsschwingform

Neben der Schwingformanalyse (Titelbild) ermöglicht die Laservibrometrie Spannungs- und Dehnungsverteilungen (01, rot= Dehnung, bläulich= Kontraktion) sowie die Defekterkennung anhand Oberflächenwellen (02)



und im Zeitbereich der simultane Bewegungsablauf einer Struktur angezeigt und mithilfe einer 3D-Animation visualisiert werden. Die mit interferometrischer Präzision gemessenen Schwingformen dienen als Basis für die Extraktion von modalen Parametern. Die 3D-Schwingungsdaten enthalten die nötigen Informationen, um auch flächenhafte Dehnungs- und Spannungsverteilungen für das vermessene Bauteil berechnen zu können. Im Zeiterfassungsmodus lassen sich zudem Lamb-Wellenmessungen durchführen, die zur Detektion von Strukturfehlern bei Verbundwerkstoffen zum Einsatz kommen.

Anhand des Musterleichtbauobjekts eines Mountainbikerahmens aus faserverstärktem Kunststoff werden im Folgenden die drei Anwendungsmöglichkeiten der Schwingungsmessung, der flächenhaften Bestimmung von Dehnungsverteilungen und der Vorgehensweise zur Detektion von Strukturfehlern mittels Lamb-Wellen vorgestellt.

### Drei Leichtbau-Prüfverfahren im Überblick

Das Musterobjekt des Leichtbau-Fahrradrahmens wurde per Shaker über ein Pseudo-Random-Signal breitbandig angeregt. Um die Schwingformen des kompletten Rahmens bei dessen Eigenfrequenzen zu erhalten, erfasst man die Geometrie des Rahmens und erstellt ein Netz von Messpunkten, um diese anschließend mit dem PSV-Messsystem sequentiell abzuscannen. Dabei kommt das automatisierte Robo-Vib-System zum Einsatz, bei dem ein Roboterarm die drei Vibrometer-Messköpfe an jede Messposition bewegt, um bequem und effizient alle Messpunkte zu erreichen

und das automatisierte Messprogramm auszuführen.

Insbesondere bei Erregung der Eigenfrequenzen ergeben sich Dehnungs- und Spannungszustände (engl.: stress and strain), bei denen das Bauteil Schaden nehmen kann. Um die Dehnungsverteilung für eine ausgewählte Resonanzfrequenz des CFK-Rahmens zu erhalten, wurde der Rahmen mit genau dieser Frequenz angeregt und eine Schwingungsmessung durchgeführt.

Aus den kleinen In-plane Schwingungsanteilen in der Bauteilebene werden über

Die Ausbreitung dieser Wellen wurde im Zeitbereich messtechnisch erfasst. Da die Messung sequentiell erfolgte, wurde für jeden Messpunkt das gleiche kurze Sinusburst Signal zur Anregung verwendet. Liegt ein Strukturfehler im Material vor, hindert dieser die Lamb-Wellen bei ihrer Ausbreitung, was die Messdaten visualisieren.

**Resümee:** Der CFK-Fahrradrahmen dient als Anschauungsbeispiel für universelle Leichtbaustrukturen, auf die dynamische Anregungen einwirken. Das PSV-3D-Scanning-Vibrometer misst Schwingungen mit

### Lamb-Wellen-Tests eignen sich hervorragend zur Detektion von Strukturfehlern bei Verbundwerkstoffen

eine eigenständige Nachbearbeitungssoftware von Polytec die Spannungs- und Dehnungswerte berechnet.

Da höhere Anforderungen an die Messunsicherheit bei Dehnungsmessungen gestellt werden als bei herkömmlichen Schwingungsmessungen, wurden separate Messpunktgitter für feste Messpositionen um den Fahrradrahmen herum definiert. Jede Position wurde separat vermessen, und die Dehnungsdaten im Nachhinein zusammengefügt.

### Defekterkennung an CFK-Strukturen

Zur Detektion von Defekten und Strukturfehlern in Faserverbundwerkstoffen ist die Methode der Lamb-Wellen-Tests geeignet. Das Material wird dabei mithilfe von Piezoscheibchen hochfrequent angeregt, wodurch sich laufende Oberflächenwellen ergeben, die das PSV-System erfassen kann.

Laserpräzision, berührungslos und damit ohne Beeinflussung der Leichtbaustrukturen. Durch seine hohe örtliche und zeitliche Auflösung sowie die flächenhafte Messung, ist es ein Entwicklungs- und Prüfwerkzeug für eine breite Palette an Messaufgaben. Bei einem 3D-Scanningvorgang wird für jeden Messpunkt der dreidimensionale Schwingungsvektor bestimmt, womit auch Dehnungs- und Spannungsverteilungen auf dem dynamisch angeregten Bauteil mit einem speziellen Strain-Prozessor im PSV-System berechenbar sind. Aufgrund der unbegrenzten räumlichen Auflösung des Messgitternetzes ermöglicht das Messsystem zerstörungsfreie Prüfverfahren wie Lamb-Wellen-Tests, um zielsicher Strukturdefekte im Material zu erkennen.

Bilder: Polytec

[www.polytec.com](http://www.polytec.com)

