

Schnelles Messsystem zur dreidimensionalen, optischen Detektion geführter Wellen an mehrfach gekrümmten Strukturen

Florian RADDATZ*, Wolfgang HILLGER**

* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Sportallee 54, 22335 Hamburg

** Ingenieurbüro Dr. Hillger, Wilhelm-Raabe-Weg 13, 38110 Braunschweig

Kurzfassung

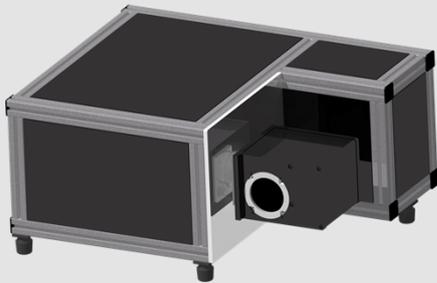
Mit zunehmender Verbreitung von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) in modernen Luftfahrtstrukturen wächst der Bedarf an geeigneten zerstörungsfreien Prüfverfahren. Viele Bauteile entziehen sich aufgrund ihrer Größe (Seitenleitwerke), ihres dauerhaften Einbaus und ihres Materials (Sandwich) konventionellen Prüfverfahren und müssen sehr aufwendig von Hand geprüft werden. Eine vielversprechende Alternative ist die Prüfung mit Hilfe geführter Wellen, sowohl für die Strukturüberwachung (SHM) als auch für flächige Messungen mit optischen Detektionsverfahren. Da hierzu große Bereiche mit hoher Auflösung und ohne Rückwirkung auf die Wellenausbreitung erfasst werden müssen, hat sich die Laser-Scanning-Vibrometrie vielfach bewährt. Am DLR wurde ein modulares Messsystem entwickelt, welches auf einem Vibrometer mit externer Scanvorrichtung und einem Ultraschallsystem basiert und Messraten von bis zu mehreren 100 Punkten/s erlaubt. Solch hohe Geschwindigkeiten wurden bisher nur mit luftgekoppelten Ultraschallsystemen erreicht. In Kombination mit einem Distanz-Sensor lässt sich zudem die Probengeometrie sehr präzise erfassen. Die modulare Bauweise des Systems ermöglicht eine optimale Anpassung an die vorliegende Prüfaufgabe und erlaubt es, Änderungen in Hard- und Software, z.B. eine automatische Bestimmung der Position der Probe oder eine Online-Auswertung, mit geringem Aufwand zu implementieren. Mit Hilfe dieses Systems ist es möglich, die räumlichen Schwingungskomponenten geführter Wellen auch an mehrfach gekrümmten Strukturen zu erfassen. Im Gegensatz zu üblichen Auswertemethoden, die nur eine Schwingungskomponente betrachten und stets größere Bereiche ungestörter Wellenausbreitung erfordern, ist es somit möglich, auch punktuell Wellenmoden und Ausbreitungscharakteristika zu bestimmen. Darauf aufbauend lassen sich Methoden entwickeln, die auch für komplexe und hochgradig anisotrope Strukturen geeignet sind. Konventionelle Verfahren sind hier nur bedingt übertragbar. Aus den gewonnenen Messdaten und den lokalen Ausbreitungscharakteristika werden in weiteren Schritten Rekonstruktionsmethoden entwickelt, die auch in komplexen Wellenfeldern eine Schadenslokalisierung ermöglichen und durch Abgleich mit Simulationen eine Schadensbewertung erlauben.



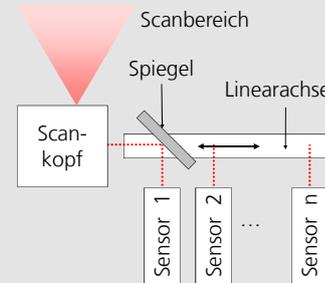
Schnelles Messsystem zur dreidimensionalen, optischen Detektion geführter Wellen an mehrfach gekrümmten Strukturen

Motivation

Für die zerstörungsfreie Prüfung komplexer Faserverbundstrukturen mit geführten Wellen ist eine vollständige Erfassung des Wellenfeldes derzeit unverzichtbar. Dies gilt auch für die Auslegung von Struktur-Überwachungs(SHM)-Systemen. Daher wird ein Messsystem benötigt, mit dem hochaufgelöste Wellenfelder möglichst schnell erfasst werden können. Da herkömmliche Methoden mit Auswertung nur einer räumlichen Schwingungskomponente nur bedingt auf komplexe Strukturen übertragbar sind, müssen dabei alle drei räumlichen Schwingungskomponenten erfasst werden. Dies ermöglicht eine punktuelle Identifizierung der verschiedenen Wellenmoden und deren Ausbreitungsrichtung. Die Entwicklung des Messsystems geht einher mit der Entwicklung von Algorithmen zur Schadensrekonstruktion. Hierbei werden durch ein Raytracing-Verfahren die geometrischen Eigenschaften der Probe und die lokal unterschiedlichen Materialeigenschaften berücksichtigt.



Messkopf der MOGUL-Messplattform



Schematischer Aufbau des Messkopfes

Anforderungen

Das Messsystem dient zu Forschungszwecken und soll zur Entwicklung von SHM-Systemen und zerstörungsfreien Prüfverfahren auf Basis geführter Wellen genutzt werden. Daraus ergeben sich folgende spezielle Anforderungen an das System:

- Schnelle Erfassung des zeitlichen Verlaufes der räumlichen Auslenkung der Probenoberfläche
- Keine Rückwirkung der Messung auf das Wellenfeld
- Modularer Aufbau (Forschungsplattform)
- vollständiger Zugriff auf Hard- und Software
- Integrierte Geometrieerfassung
- Anwendbarkeit an mehrfach gekrümmten Strukturen
- Konventionelle, bildgebende Ultraschallprüfung zur Validierung
- Kompatibilität mit bereits vorhandener Hard- und Software
- Software-Schnittstellen zu MATLAB und LabVIEW
- Mobilität
- Skalierbarkeit

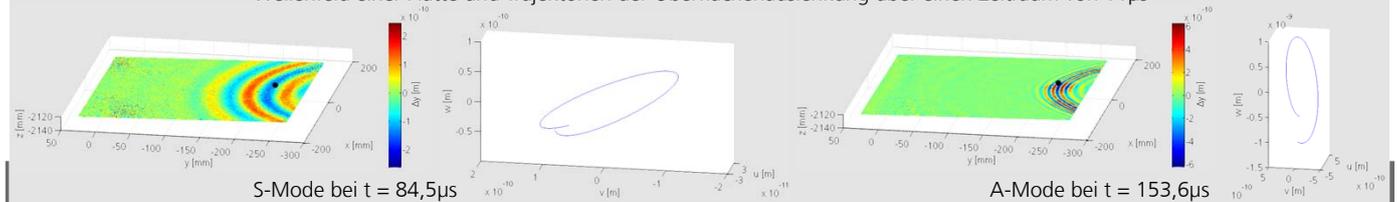
Schadenslokalisierung

Zur Lokalisierung von Schäden in komplexen, hoch anisotropen Strukturen wird derzeit ein angepasster SAFT-Algorithmus entwickelt. Dieser berücksichtigt durch ein Raytracing-Verfahren lokale, richtungsabhängige Eigenschaften der Wellenausbreitung und ist für die Verwendung an beliebig gekrümmten Strukturen ausgelegt. Zur Beschleunigung der Auswertung erfolgen die Berechnungen auf Grafikprozessoren.

Erste Ergebnisse

In ersten Versuchen mit dem Messsystem an ebenen Platten kann gezeigt werden, dass sich geführte Wellen schnell und mit hoher Signalqualität detektieren lassen. Dabei werden Messraten von über 300 Messpunkten/s erreicht, wobei noch Potential zur Steigerung der Messrate besteht. Die zu Grunde liegenden Algorithmen berücksichtigen bereits beliebige Krümmungen der Probenoberfläche. Für die Schadenslokalisierung wird als Vorstufe zur SAFT-Rekonstruktion ein Algorithmus entwickelt, der es unter Berücksichtigung der gemessenen oder berechneten lokalen Ausbreitungsgeschwindigkeiten ermöglicht, Schalllaufzeiten, ausgehend von einem beliebigen Punkt auf der Oberfläche, auch in hoch anisotropen Strukturen zu berechnen.

Wellenfeld einer Platte und Trajektorien der Oberflächenauslenkung über einen Zeitraum von 11µs

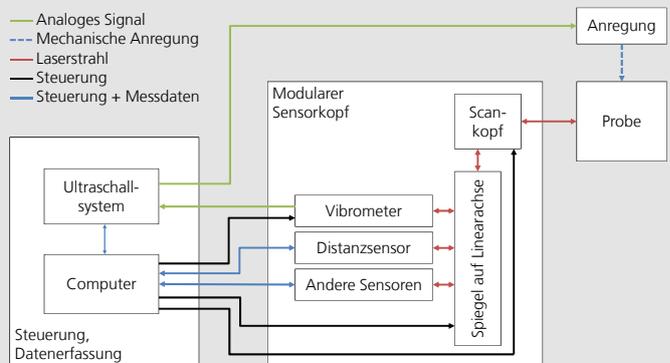


Umsetzung

Entsprechend den Anforderungen wurde die MOGUL-Forschungsplattform entwickelt. Das System besteht aus den folgenden Komponenten:

- Ultraschallgerät Dr. Hillger USPC 4000 AirTech+
- Einpunktvirometer Polytec OFV-505
- Distanzsensor Micro Epsilon 1182
- Scankopf Raylase TURBOSCAN II-30
- Starrer Spiegel auf Linearachse

Durch eine parallele Anordnung der Sensoren lässt sich das System einfach durch weitere Sensoren erweitern.



Interaktion der Systemkomponenten