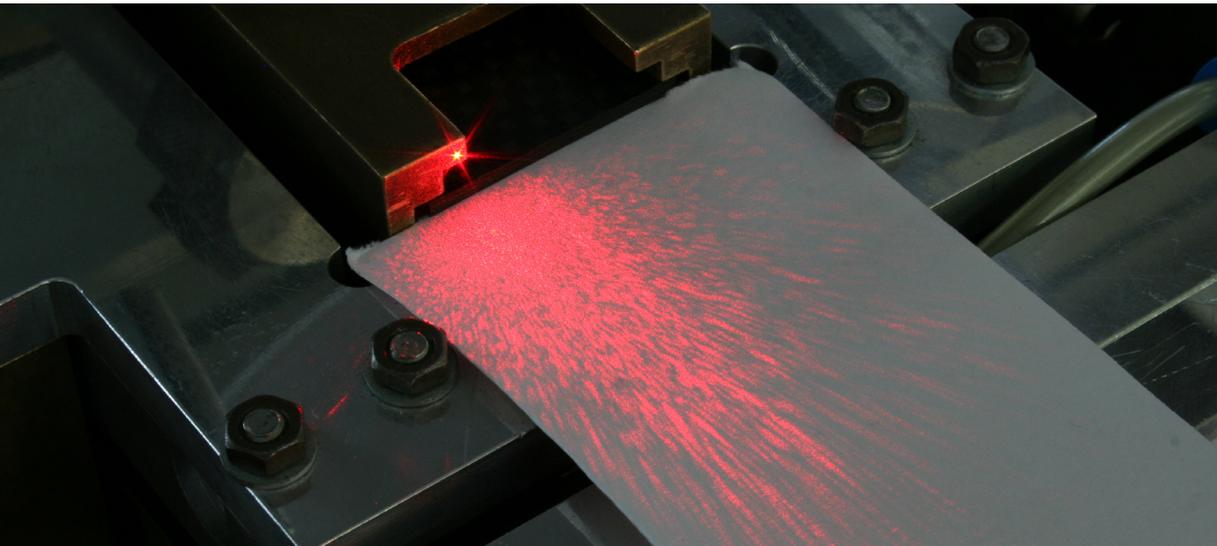


# Innovative Verbindungstechniken



## Polytec Technical Papers

- A Luft- und Raumfahrt
- B Audio & Akustik
- C Automobilentwicklung
- D Datenspeicher
- G Vibrometrie allgemein
- M Mikrosystemtechnik
- P Fertigungsprüfung
- S Wissenschaft/Medizin
- T Strukturuntersuchungen
- U Ultraschalltechnik

## Charakterisierung des Ultraschallschweißprozesses durch hochauflösende Laser-Doppler-Vibrometrie

### Einleitung

Ein zentrales Entwicklungsziel in der Verkehrstechnik ist die Reduzierung der Fahrzeug- und Bauteilmassen durch innovative Werkstoffe, deren Kombinationen und die Nutzung neuartiger Verbindungsmöglichkeiten. Nennenswerte Gewichtsreduzierungen sind zumeist nur durch den verstärkten Einsatz von Leichtmetallen, Faserverbundwerkstoffen, höchstfesten Stählen und deren Mischbauweisen erreichbar.

Am Lehrstuhl für Werkstoffkunde (WKK) der TU Kaiserslautern werden neuartige Fügeverfahren für Leichtbauwerkstoffe erforscht, wobei das Ultraschallschweißen als innovatives Pressschweißverfahren von besonderer Bedeutung ist. Eine Ultraschallschweißverbindung entsteht durch eine hochfrequente Relativbewegung zwischen den Fügeteilen bei einer Arbeitsfrequenz im Bereich von 20 kHz.

Wesentliche Vorteile des Verfahrens sind sehr kurze Schweißzeiten, eine geringe thermische Beeinflussung der Fügeteile, eine hohe Umweltverträglichkeit sowie eine gute Automatisierbarkeit.

Zur „On-Line“-Charakterisierung des Ultraschallschweißprozesses eignen sich in hervorragender Weise berührungslos arbeitende kapazitive sowie insbesondere optische Messsysteme. Die Zugänglichkeit der zu fügenden Bauteile ist aufgrund geringer Abmessungen häufig stark eingeschränkt und erfordert flexible fokussierbare Lasersysteme. Am WKK wird daher bevorzugt die Laser-Doppler-Vibrometrie (LDV) in faseroptischer Bauweise eingesetzt. Neben der hochfrequenten Bewegung der Sonotrode während des Fügeprozesses gestattet das differentiell arbeitende Zweistrahlensystem OFV-552 von Polytec die Ermittlung relativer Geschwindigkeits- und Wegamplituden im gesamten Frequenzspektrum.

Bild 1 zeigt den am WKK verwendeten Versuchsaufbau zur Steuerung und Analyse des Fügeprozesses. Neben Erfassung und Regelung der wesentlichen Prozesseinflussgrößen Schweißkraft und Schweißenergie wird eine weitere wichtige Einflussgröße, die Ultraschallschwingung, mit dem dargestellten Vibrometer-System an ausgewählten Werkstoffverbunden zeitlich hochaufgelöst ermittelt und ausgewertet.

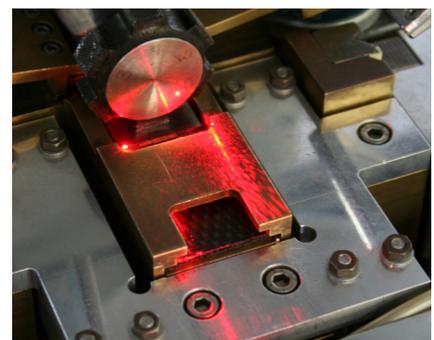




Bild 1: Ultraschallschweißsystem am Lehrstuhl für Werkstoffkunde

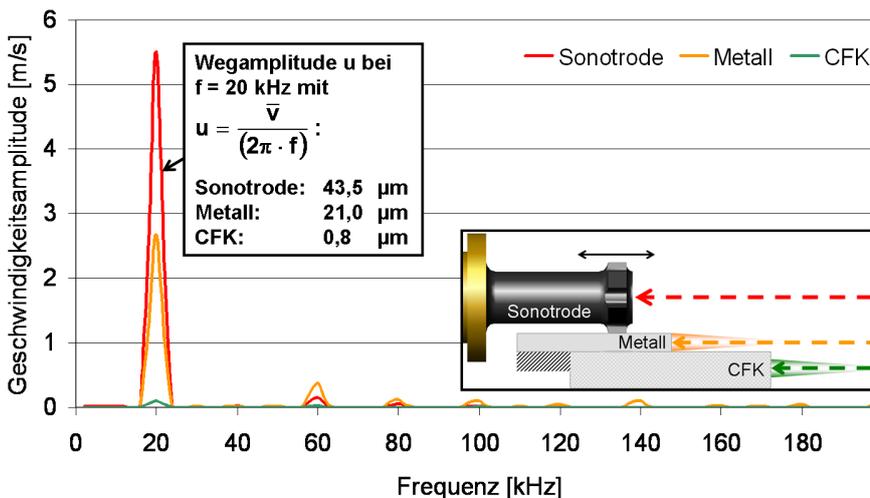


Bild 2: Frequenzspektrum der Geschwindigkeitsamplitude beim Ultraschallschweißen von Metall/CFK-Verbunden

### Einsatz der Laser-Doppler-Vibrometrie am Beispiel ultraschallgeschweißter Metall/C-Faser-Kunststoff(CFK)-Verbunde

Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes konnte nachgewiesen werden, dass mittels Metall-Ultraschallschweißverfahren hoch beanspruchbare Verbindungen zwischen Leichtmetallen und CFK-Organoblechen erzeugt werden können.

Die Fügezonenausbildung erfolgt beim Metall-Ultraschallschweißen in zwei Schritten in weniger als fünf Sekunden. Zunächst führt die hochfrequente transversale Schwingung zu einer Plastifizierung und lokalen Verdrängung der

polymeren Matrix des CFK aus der Fügezone. Anschließend bewirkt die Ultraschallschwingung eine Verschweißung zwischen dem metallischen Fügepartner und den lasttragenden Fasern des Verbundwerkstoffs, ohne dass eine Schädigung des in der Matrix eingebetteten Textils auftritt. Auf diese Weise konnten Verbundfestigkeiten von bis zu 50 MPa realisiert werden.

Die entscheidende Voraussetzung für die Entstehung einer hoch beanspruchbaren Verbindung ist das Vorhandensein einer ausreichenden Relativbewegung

zwischen den Fügepartnern. Zur quantitativen Beschreibung dieser Schwingung wurde die differentielle LDV erfolgreich eingesetzt. Bild 2 zeigt ausgewählte Untersuchungsergebnisse für das Schwingungsverhalten verschiedener Komponenten des Schweißsystems sowie der Fügeteile. Die zur Bindungsbildung erforderlichen Relativbewegungen wurden aus den Einstrahlmessungen approximiert und in weiteren Zweistrahlmessungen experimentell validiert. Ferner wurde die Sonotrode während des Schweißprozesses detailliert im Hinblick auf eine homogene Wegamplitudenverteilung untersucht. Der Versuchsaufbau ist in Bild 3 dargestellt.

Für die Untersuchungen wurde eine sternförmige Metallschweißsonotrode ausgewählt. Die laser-interferometrisch ermittelten Wegamplituden als Funktion der mit dem Aluminiumblech in Kontakt tretenden Arbeitsfläche der Sonotroden werden in Bild 4 erläutert. Im Vergleich zu berührenden Messsystemen werden mit einem LDV ca. 8% höhere Wegamplituden ermittelt. Dieser Unterschied ist auf die Massenträgheit mechanischer Messtaster zurückzuführen. Ferner besteht bei Berührungstastern nur sehr eingeschränkt die Möglichkeit, während des Fügeprozesses unmittelbar an der Sonotrodenarbeitsfläche zu messen.

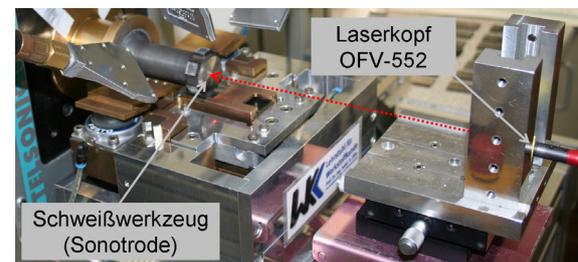


Bild 3: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Amplitudenverteilung am Schweißwerkzeug

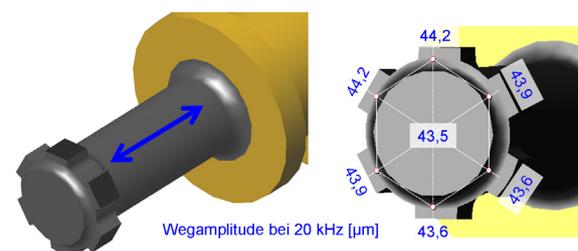


Bild 4: Amplitudenverteilung einer Metallschweißsonotrode während des Fügeprozesses

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sich die Schwingungsamplituden bei allen sechs Sonotrodenflächen im Vergleich zur Amplitude im Zentrum der Sonotrode ( $u = 43,5 \mu\text{m}$ ) homogen und reproduzierbar ausbilden.

Die LDV erlaubt somit eine zuverlässige Ermittlung der Schwingungsamplituden unter Betriebsbedingungen und kann hervorragend zur Beurteilung des Ultraschallschweißprozesses genutzt werden.

### **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die während des Ultraschallschweißprozesses mittels differentieller Laser-Doppler-Vibrometrie durchgeführten Schwingungsuntersuchungen ermöglichen es, den hochfrequenten Fügeprozess quantitativ korrekt abzubilden. Wesentliche Vorteile der LDV zur Beschreibung der Schwingungen während eines Ultraschallschweißprozesses liegen in der geringen Abmessung des Lasermesspunktes und der hochauflösenden Schwingungsmessung (maximale Messfrequenz: 1,5 MHz).

### **Autoren • Kontakt**

Dr.-Ing. Frank Balle;  
Dr.-Ing. Guntram Wagner;  
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Eifler

[balle@mv.uni-kl.de](mailto:balle@mv.uni-kl.de);  
[gwagner@mv.uni-kl.de](mailto:gwagner@mv.uni-kl.de);  
[eifler@mv.uni-kl.de](mailto:eifler@mv.uni-kl.de)

Lehrstuhl für Werkstoffkunde, TU Kaiserslautern  
D-67663 Kaiserslautern  
[www.uni-kl.de/WKK](http://www.uni-kl.de/WKK)



Quelle: InFocus – Magazin für Optische Messsysteme, Ausgabe 1/2009 – ISSN 1864-9181,  
© 2009 Polytec GmbH ([www.polytec.de/infocus](http://www.polytec.de/infocus)).

Weitere Informationen finden Sie unter [www.polytec.de/anwendungen](http://www.polytec.de/anwendungen), oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten: [LM@polytec.de](mailto:LM@polytec.de).

**Polytec GmbH**  
Polytec-Platz 1-7  
76337 Waldbronn  
Tel. + 49 (0) 7243 604-0  
Fax + 49 (0) 7243 69944  
[info@polytec.de](mailto:info@polytec.de)

**Polytec GmbH**  
Vertriebs- und  
Beratungsbüro Berlin  
Schwarzschildstraße 1  
12489 Berlin  
Tel. + 49 (0) 30 6392-5140  
Fax + 49 (0) 30 6392-5141