

# Schubmodulmonitoring mittels Scherwellen in glasfaserverstärktem Kunststoff

Yannick BERNHARDT<sup>1</sup>, Ruben CZICHOS<sup>2</sup>, Jörg DITTMANN<sup>2</sup>,  
Peter MIDDENDORF<sup>2</sup>, Marc KREUTZBRUCK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Stuttgart

<sup>2</sup> Institut für Flugzeugbau, Stuttgart

Kontakt E-Mail: Yannick.Bernhardt@ikt.uni-stuttgart.de

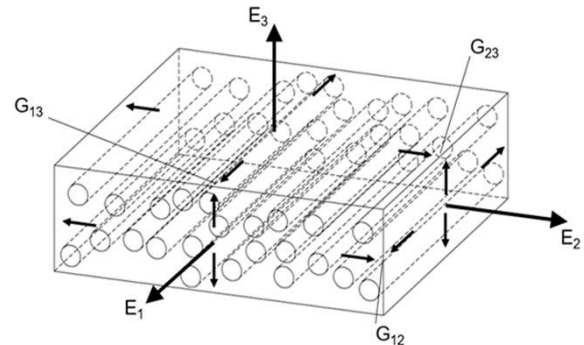
## Kurzfassung

Mikrorisse in Faserverbundstrukturen können aus Materialimperfectionen wie Poren oder Einschlüssen entstehen. Bei dauerhafter zyklischer Belastung – ohne Überlast – beginnen die Risse zu wachsen, bis sie einen Zwischenfaserbruch ausbilden. Um das Wachstum genau kontrollieren zu können, wurden Prüfkörper aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt und mit einer schwellenden Zugbelastung beaufschlagt. Bei Unterbrechungen der zyklischen Belastung wurden die Prüfkörper unter dem Mikroskop nach Rissen untersucht. Zusätzlich wurde in die hydraulische Prüfmaschine ein In-Line Ultraschallprüfsystem integriert. Ein Sechs-Achs-Roboter fährt dabei einen Ultraschallscherwellenprüfkopf an den eingespannten und unbelasteten Prüfkörper heran und dreht den Prüfkopf an der jeweiligen Messposition um 360° um A-Scans bei verschiedenen Polarisierungsrichtungen zu erhalten. Diese Messungen werden alle 50000 Lastzyklen durchgeführt. An Grenzflächen zwischen anisotropen Schichten mit verschiedenen Orientierungen der Hauptsteifigkeitsrichtungen kommt es zu einem Doppelbrechungseffekt – Die Schallwelle teilt sich in zwei verschiedenen polarisierte Teilwellen, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortbewegen. Die Mikrorisse bringen neben den Glasfasern eine zusätzliche Anisotropie in den Prüfkörper ein, die mit dem Ultraschalldoppelbrechungseffekt verfolgt werden kann. Durch den Abgleich mit Mikroskopiebildern, kann die Schallgeschwindigkeitsveränderung einem genauen Risszustand zugeordnet werden. Durch Vergleichende Messungen mittels zerstörender Prüfung konnte an nicht vorgeschädigten Prüfkörpern nachgewiesen werden, dass eine Bestimmung des Schubmoduls mit Ultraschall mit geringen Abweichungen zur mechanischen Schubprüfung möglich ist.

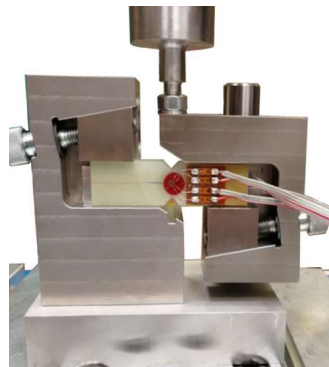
# Schubmodulmonitoring mittels Scherwellen in glasfaserverstärktem Kunststoff

## Stand der Technik

Bei Kunststoffen mit einer unidirektionalen (UD) Faserorientierung ist die 1. Achse parallel zu den Fasern ausgerichtet.  $G_{13}$ ,  $G_{12}$  und  $G_{23}$  sind die Schubmoduln in den Ebenen. Bei der Berechnung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Scherwellen spielt der Schubmodul  $G$  in Polarisationsrichtung (Schwingrichtung der Teilchen) eine große Rolle. Bei anisotropen Werkstoffen mit bspw.  $G_{13} \neq G_{23}$ , entstehen an einer Grenzfläche jeweils senkrecht zueinander polarisierte Scherwellen, deren Ausbreitungsgeschwindigkeit sich aus der Anfangspolarisation und den beiden verschiedenen Schubmoduln sowie der Dichte ergibt. Risse im Bauteil beeinflussen den richtungsabhängigen Schubmodul.



## Roboter beim abschnitten des Prüfkörpers



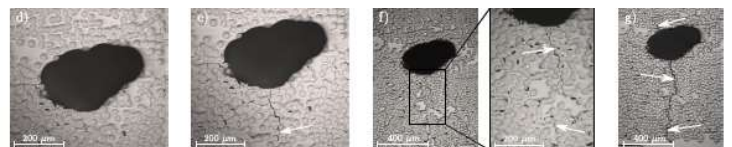
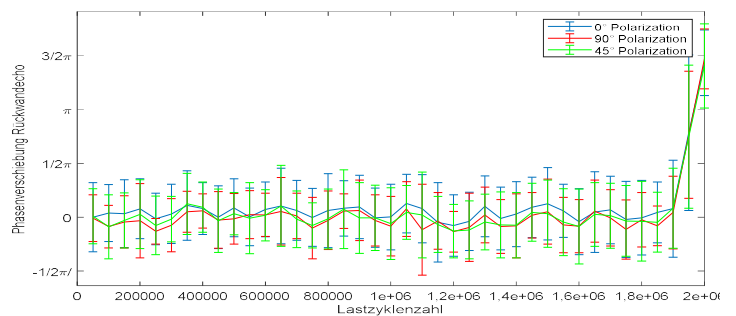
Prüfkörper in Iosipescu Schubversuchseinrichtung

## Experimentelles

Um den Einfluss von Mikrorissen auf Ultraschallscherwellen in endlosglasfaserverstärkten Kunststoffen zu untersuchen wurden Prüfkörper zyklisch belastet und alle 50000 Lastzyklen eine Untersuchung mit Ultraschallscherwellen (Normalscherwellenprüfkopf 2,25 MHz, Olympus) durchgeführt. Hierzu wurde der Prüfkopf automatisiert aufgesetzt und an fünf Punkten unter Variation des Polarisationswinkels gemessen. Duromere weisen eine sehr geringe Viskoelastizität auf. Deshalb wurde als Vergleich auch der Schubmodul mechanisch mittels Iosipescuversuch bestimmt und als Vergleichswert herangezogen.

## Untersuchungsergebnisse

Zum einen konnte gezeigt werden, dass der mithilfe der Schallgeschwindigkeit und Werkstoffdichte berechnete Schubmodul weniger als 1 % vom Schubmodul ermittelt durch den Iosipescuversuch abweicht. Zum anderen konnte eine Korrelation der Scherwellenschallgeschwindigkeit und dem Ermüdungszustands des Prüfkörpers gezeigt werden. Die Prüfkörper wurden nach ausgewählten Lastzyklenzahlen ausgespannt und von der Seite mit dem Mikroskop betrachtet. Mikrorisse gehen bei den Versuchen immer von Poren aus und verlängern sich zu Zwischenfaserbrüchen. Erst beim Auftreten von Zwischenfaserbrüchen (ab 1,8 Millionen Lastzyklen) konnte eine Veränderung in der Scherwellenschallgeschwindigkeit nachgewiesen werden.



## Danksagungen

Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen des von der Deutschen Forschungs-gemeinschaft e.V. (DFG) geförderten Forschungsprojekts 393107521.

Weiterer Dank gilt dem Institut für Flugzeugbau für die erfolgreiche Zusammenarbeit sowie Hexcel für die Bereitstellung der Versuchsmaterialien.

## Ansprechpartner

M.Sc. Yannick Bernhardt

Pfaffenwaldring 32

Yannick.Bernhardt@ikt.uni-stuttgart.de