

Zweierlei Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Messung der elastischen Anisotropie in faserverstärkten Polymerwerkstoffen

M. Rheinfurth, D. Döring, I. Solodov, G. Busse

Institut für Kunststofftechnik (IKT)
Abteilung zerstörungsfreie Prüfung (IKT-ZfP)
Universität Stuttgart

ZERSTÖRUNGS-
ZfP
FREIE PRÜFUNG

DGZfP-Jahrestagung, 12.05.2010, Erfurt

UNIVERSITÄT
IKT
STUTT GART

Zweierlei Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Messung der elastischen Anisotropie in faserverstärkten Polymerwerkstoffen

- Einführung
- Prüfmethoden
- Versuchsergebnisse
- Zusammenfassung und Zielrichtung für die Zukunft

ZERSTÖRUNGS-
ZfP
FREIE PRÜFUNG

Gliederung

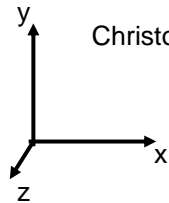
UNIVERSITÄT
IKT
STUTT GART

- Hintergrund zur Anisotropie von faserverstärkten Kunststoffen
 - Gezielte Auslegung auf Richtungsabhängige Steifigkeit und Festigkeit (z. B. Faserverbundlaminat für die Luft- und Raumfahrttechnik)
- Bedeutung der Messung der Anisotropie
 - Herstellungsbedingte Abweichung der gewünschten Anisotropie
 - Daraus folgt: gewünschte Bauteilsteifigkeit und –festigkeit beeinträchtigt
- Die beiden zerstörungsfreien Ultraschallprüfverfahren zur Messung der elastischen Anisotropie
 - Doppelbrechung von Transversalwellen
 - luftgekoppelte Plattenwellen

Zweierlei Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Messung der elastischen Anisotropie in faserverstärkten Polymerwerkstoffen

- Einführung
- Prüfmethode
 - Einsatz der Transversalwellen
 - Verwendung von luftgekoppelten Plattenwellen
- Versuchsergebnisse
- Zusammenfassung und Zielrichtung für die Zukunft

- Betrachtung der Ausbreitung in Dickenrichtung (z) von Platten
- Polarisation: Orthogonal zur Ausbreitungsrichtung
- Schubmodule sind entscheidend für die Ausbreitungsgeschwindigkeit
- In anisotropen Material ändert sich die Transversalwellengeschwindigkeit mit der Polarisierung

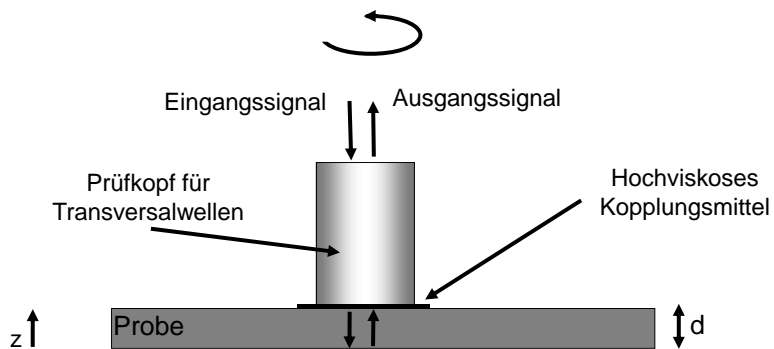


Christoffelgleichung: $(c_{ijkl} n_j n_l - \rho v^2 \delta_{ik}) u_k = 0$

$$\Rightarrow v_x = \sqrt{c_{44} / \rho} \quad v_y = \sqrt{c_{55} / \rho}$$

Für faserverstärkte Polymere gilt:

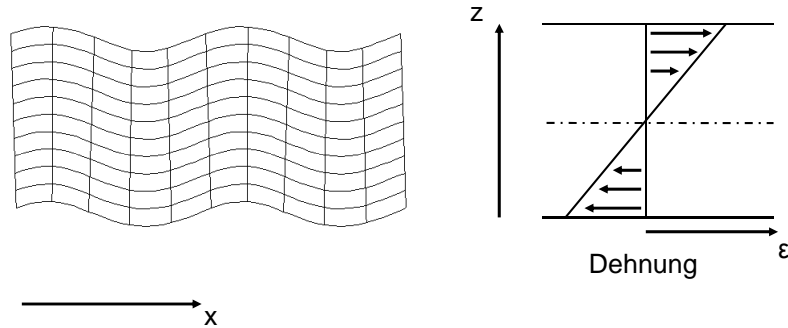
Höchste Transversalwellengeschwindigkeit bei Polarisierung in Hauptfaserorientierung



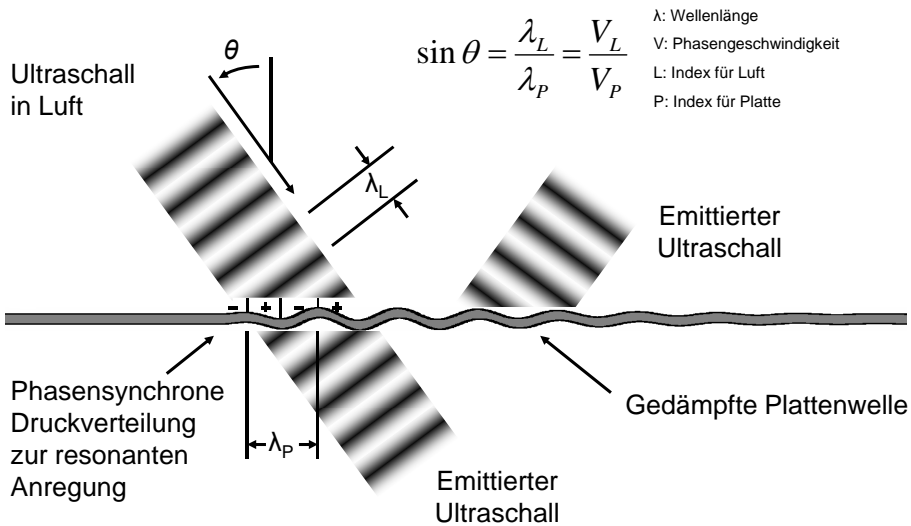
Gemessen wird die Phasenverschiebung des Ausgangssignals in Abhängigkeit von der Polarisierung der Transversalwelle

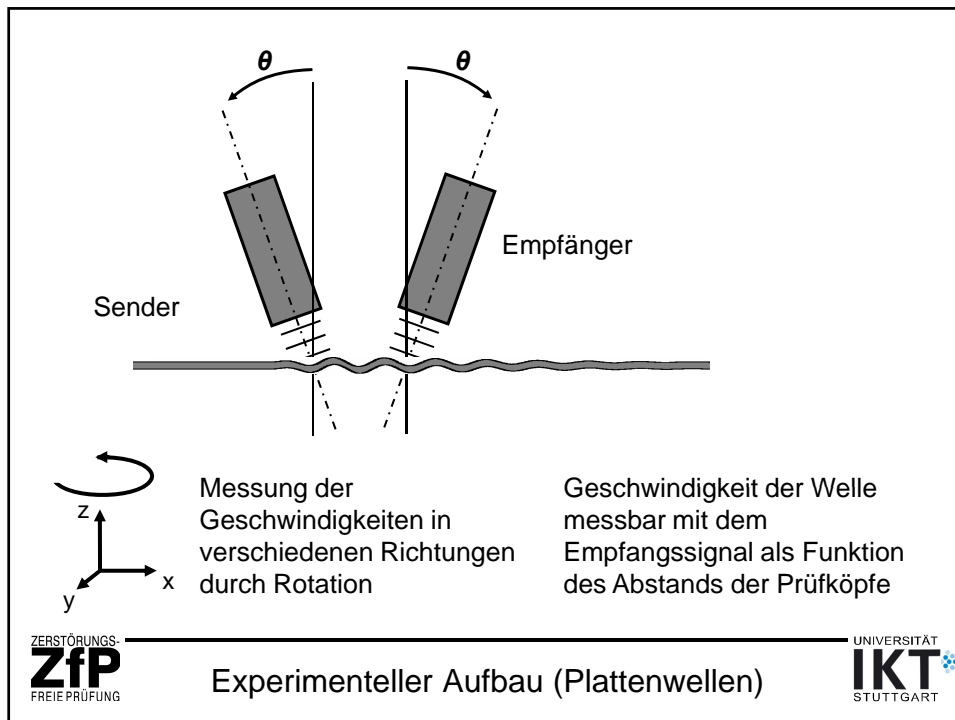
Daraus leitet sich die Polarisierung mit der geringsten Laufzeit des Signals ab (Hauptverstärkungsrichtung im faserverstärkten Polymerwerkstoff)

Erste antisymmetrische Plattenwellenmode



Elastizitätsmodul (in Ausbreitungsrichtung) nahe der Oberfläche hat den größten Einfluss auf die Plattenwellengeschwindigkeit (hohe Steifigkeit => hohe Geschwindigkeit)





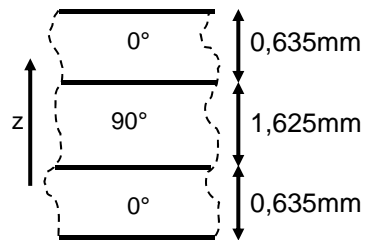
Zweierlei Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Messung der elastischen Anisotropie in faserverstärkten Polymerwerkstoffen

- Einführung
- Prüfmethode
- Versuchsergebnisse
 - Beispiel eines Prüfkörpers
 - Doppelbrechung
 - Plattenwellen
 - Kombination der Verfahren
 - Weiteres Beispiel
- Zusammenfassung und Zielrichtung für die Zukunft

Prüfkörper

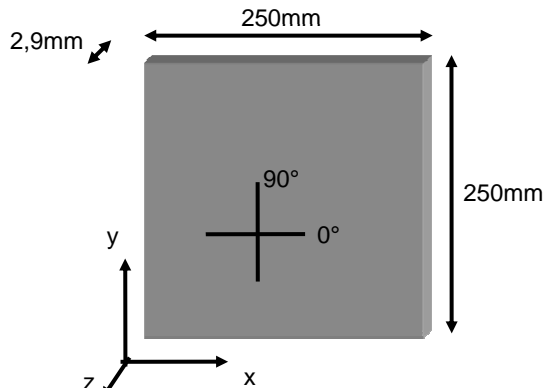
- Material: Kohlefaser/Epoxid
- Herstellung: Autoklav, UD-Prepregs
- Lagenaufbau: (0°/90°/0°)
- Geometrie: 2,9x250x250 (mm)

Skizze des Lagenaufbaus



Orientierung der Fasern:

- 43% in 0°
- 57% in 90°

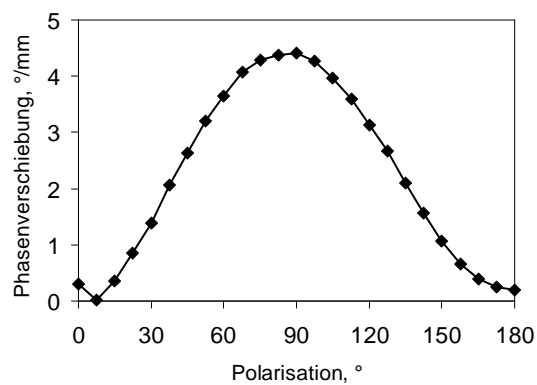


ZERSTÖRUNGS-
ZfP
FREIE PRÜFUNG

Prüfkörper

UNIVERSITÄT
IKT
STUTT GART

Gemittelte
Phasen-
verschiebung
pro Millimeter



Größte Wert der Phase bei Polarisation in 90°

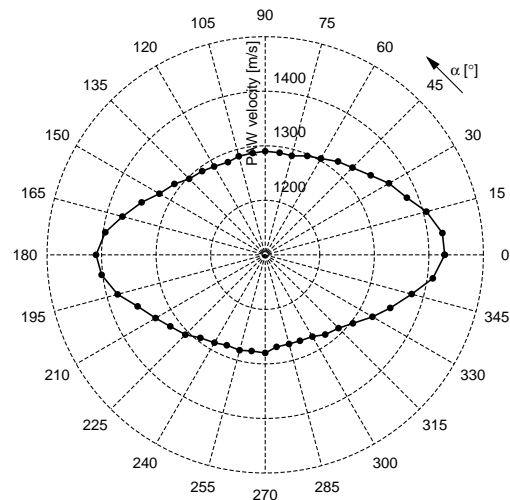
⇒ Höchste Transversalwellengeschwindigkeit

⇒ Hauptverstärkungsrichtung in 90° bestätigt

ZERSTÖRUNGS-
ZfP
FREIE PRÜFUNG

Ergebnis der Doppelbrechungsmessung

UNIVERSITÄT
IKT
STUTT GART

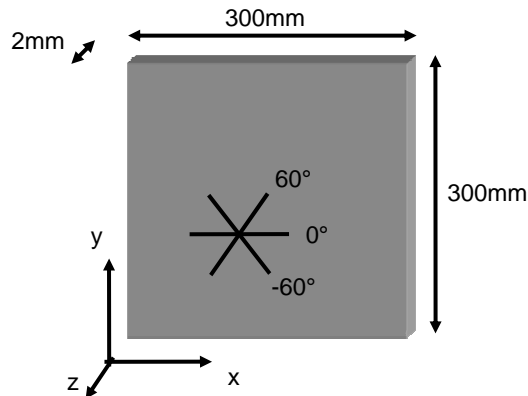


Die Geschwindigkeit in Richtung der äußeren Nullgradlage ist am höchsten

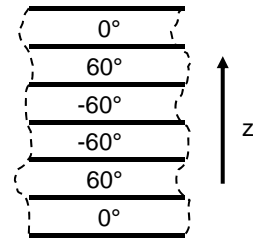
- Untersuchte Probe zeigt bei in 90° polarisierter Transversalwelle die geringste Laufzeit
⇒ größte Anteil der Fasern liegt in 90°
- Plattenwellengeschwindigkeit in 0° ist am höchsten
⇒ Außenlagen sind in 0° verstärkt
- Beide Verfahren zusammengenommen
⇒ Faseranteil in 0° und 90° Lagen sowie die Reihenfolge der Lagen lässt sich überprüfen

Prüfkörper

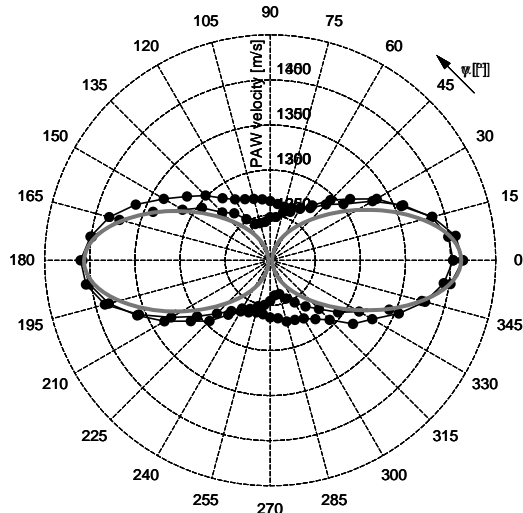
- Material: Kohlefaser/Epoxid
- Herstellung: Autoklav, UD-Prepregs
- Lagenaufbau: (0°/60°/-60°)s
- Geometrie: 2,4x300x300 (mm)



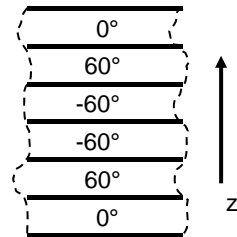
Skizze des Lagenaufbaus



⇒ Quasi-isotrop



Skizze des Lagenaufbaus



Die Geschwindigkeit in Richtung der äußeren Nullgradlage ist am höchsten

Zusammenfassung

- Doppelbrechung ermöglicht die Ermittlung der (über die Dicke gemittelten) Hauptfaserorientierung
- Aus Plattenwellengeschwindigkeiten lassen sich Schlüsse auf die elastische Anisotropie ziehen (Verteilung über die Dicke und Orientierung der Verstärkung hat einen Einfluss)
- mit Kombination beider Verfahren Lagenaufbau in Laminaten mit wenigen Schichten rekonstruierbar

Zielrichtung für die Zukunft

- Ermittlung tiefenaufgelöster Anisotropie aus Plattenwellengeschwindigkeiten und Doppelbrechung

Zweierlei Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Messung der elastischen Anisotropie in faserverstärkten Polymerwerkstoffen

M. Rheinfurth, D. Döring, I. Solodov, G. Busse

Kontakt:
0711-685-62669
martin.rheinfurth@ikt.uni-stuttgart.de

Besonderer Dank gilt der DFG für die finanzielle Unterstützung (BU624-26-2).