

Richtungsweisende Ultraschall-Scherwellen

Methoden zur Bestimmung der Faserorientierung in verstärkten Kunststoffen

Um Schwachstellen aufgrund von Faserfehlorientierungen aufzeigen zu können, lassen sich eine Reihe von Untersuchungsmethoden einsetzen. Aufschluss über das Steifigkeits- und Zugfestigkeitsverhalten erlauben insbesondere der Faservolumengehalt und die Faserverteilung, die sich mit einer neuen Ultraschallmethode flexibel am fertigen Bauteil erfassen lassen.

Mit Zusatzstoffen erreichen Kunststoffe höhere Steifigkeiten und Festigkeiten als vom unverstärkten Kunststoff alleine getragen werden könnten. Durch das richtige Zusammenbringen

von Faser und Kunststoffmatrix lassen sich gegenüber metallischen Werkstoffen vergleichbare Steifigkeiten sowie deutlich höhere Zugfestigkeiten erreichen.

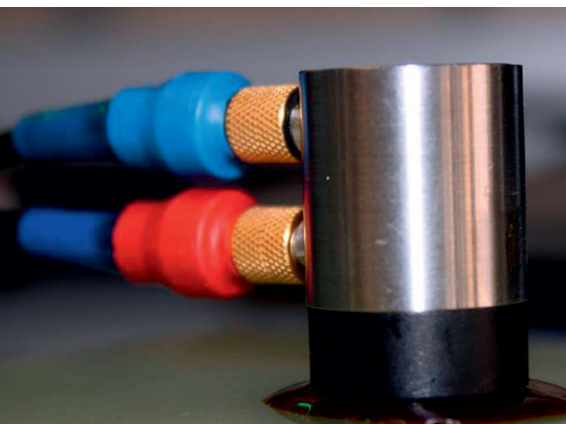
Die Werkstoffkennwerte von Fasern sind allerdings ausgesprochen anisotrop. Verstärkungsfasern aus beispielsweise Glas oder Kohlenstoff haben sehr hohe Steifigkeiten in Faserrichtung. Der E-Modul einer Faser bei Zugbelastung ist um ein Vielfaches höher als bei einer Belastung in Druckrichtung oder in Richtung des Faserdurchmessers. Aus diesem Grund muss bei der Bauteilauslegung eines Kunststoffverbundwerkstoffs mit Faserverstärkung äußerst genau auf die Faserrichtung geachtet werden.

Faserlängen und Fehlorientierungen

Bei den oft im Spritzgießen eingesetzten Kurzfasern mit einer Länge von 0,1 mm bis 1 mm wird die Orientierung hauptsächlich durch das Formfüllverhalten im

Spritzgießprozess bestimmt. Dies ist auch bei der Verarbeitung (beispielsweise durch Spritzgießen, Faserspitzen oder Pressen) von Langfasern der Fall (Faserlänge 1 mm bis 50 mm). Mit Endlosfasern (Faserlängen größer 50 mm) werden Strukturbauteile für die Luftfahrt, Automobil- oder Sportindustrie hergestellt.

Bei endlosfaserverstärkten Bauteilen wird oft direkt bei der Herstellung darauf geachtet, die Fasern mit der richtigen Orientierung in das Formwerkzeug zu drapieren. Während des Aushärtvorgangs kann es allerdings dazu kommen, dass Fasern verschoben werden, also sogenannte Ondulationen auftreten. Beim Spritzgießen mit Kurz- oder Langfasern treten unter Umständen an Stoßstellen, an denen zwei Schmelzfronten aufeinandertreffen, durch ungünstige Faserorientierung Stellen mit lokal geringer Festigkeit auf. Auch sind Entmischungen möglich, wenn die Fasern sich an engen Strukturen anhäufen und dadurch die Fasern aus der Matrix filtern.



Ultraschall einkoppeln: Ein Scherwellenprüfkopf steht über ein zähflüssiges Koppelmittel mit einem glasfaserverstärkten Kunststoffprüfkörper in Kontakt (© IKT)

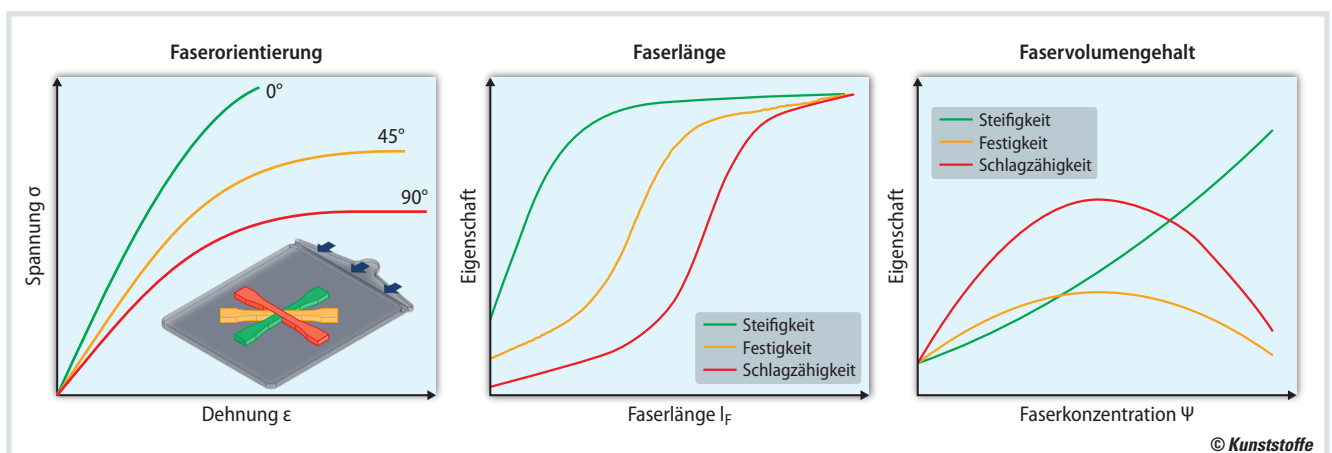


Bild 1. Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften von der Faserverteilung (Quelle: IKT)

COMPOSITE PRESSES

Pressen & Pressensysteme

Untersuchungsmethoden

Es gibt verschiedene Untersuchungsmethoden um solche Schwachstellen durch Faserfehlorientierung aufzeigen zu können. Im Fall von Endlosfasern existieren z.B. erste Anwendungen, bei denen thermografische oder auch wirbelstrombasierte Verfahren zum Einsatz kommen. In diesem Beitrag wird auf die optische Methode und die Röntgen-Computertomographie eingegangen, mit der auch über die Faserorientierung hinaus wertvolle Werkstoffkenngrößen gewonnen werden können. Denn für das Steifigkeits- und Zugfestigkeitsverhalten kommen auch dem Faservolumengehalt sowie der Faserlängenverteilung eine wichtige Rolle zu (siehe **Bild 1**).

Mikroskopie

Mithilfe der Mikroskopie lassen sich Schliffbilder von entnommenen Proben anfertigen. Hierzu werden Stücke aus dem Bauteil entnommen, in ein Kunststoffharz eingebettet und über mehrere Stufen poliert. Um den Kontrast der Faserquerschnitte zu erhöhen, wird in einem anschließenden Schritt eine Metallschicht auf die Probe aufgedampft. Unter dem Mikroskop sind die eigentlich runden Fasern als Ellipsen zu erkennen (siehe **Bild 2**). Der Orientierungswinkel einer Faser kann anschließend aus dem Verhältnis der großen und kleinen Achse der Ellipse bestimmt werden.

Diese Untersuchungsmethode ist wegen der erforderlichen Probenpräparation und halbautomatischen Auswertung einerseits sehr zeitaufwendig, andererseits bei Faserwinkeln, die nur gering von der senkrechten Orientierung zur Schnittfläche abweichen, relativ unge-

nau. Über die optischen Bilder kann aber auch auf den Faservolumengehalt zurückgeschlossen werden. Eine endgültige Veraschung liefert jedoch die genauesten Werte für den Faservolumengehalt.

Röntgen-Computertomografie

Während die oben beschriebene optische Methode lediglich 2D-Daten liefert, also die Information nur aus einer Ebene des Bauteils, erlauben computertomografische Verfahren die Bestimmung des Faserwinkels im kompletten Bauteil (**Bild 3**). Weil die Kunststoffmatrix ein anderes Absorptionsverhalten als die Fasern aufweist, lassen sich mithilfe von Software die Fasern auswählen und vermessen.

Faserorientierung im Raum und Faservolumengehalt können innerhalb der Probe mit diesem Verfahren relativ genau bestimmt werden. Die Erfassung der Faserlänge ist indessen ein wenig komplexer. Moderne Algorithmen eröffnen mittlerweile aber auch den Zugang zu diesen Werkstoffkennwerten. Dieser hohe Informationsgehalt steht einer oft langen Messdauer und dem Aufwand der Probenpräparation gegenüber. Denn um hohe geometrische Vergrößerungen zu erhalten, wie sie für das Erkennen von Fasern notwendig sind, muss sich die Probe sehr nahe am Austrittsfenster der Röntgenstrahlung befinden. Das für die Computertomografie notwendige Drehen um 360° ist deshalb ohne Kollision mit der empfindlichen Röntgenröhre nur bei sehr kleinen Proben möglich.

Ultraschalldoppelbrechung

Ein anderer Ansatz ist es, lokal die Richtung mit der höchsten Steifigkeit zu bestimmen und daraus auf die Faser- »

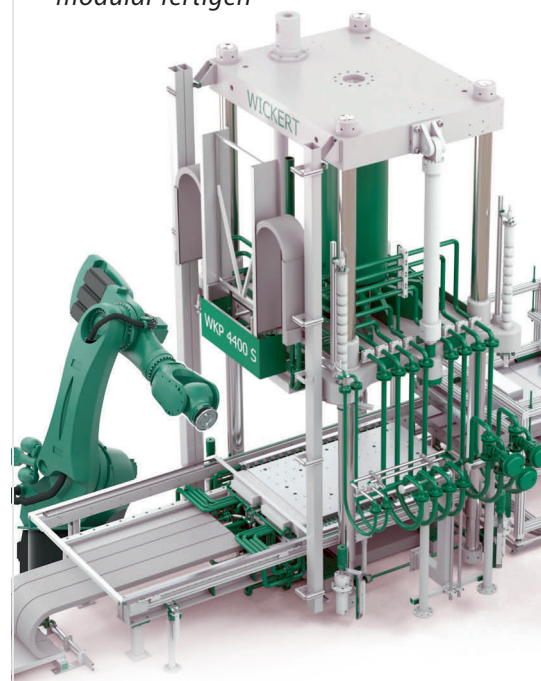
Composite Pressen von WICKERT sind so vielseitig wie Ihre Produkthanforderungen. Mit unserem Baukastensystem können, je nach Materialeigenschaften, Formteile aus verschiedenen Verbundwerkstoffen verarbeitet werden. Dies sowohl vollautomatisch, als auch mittels manuell zu bedienendem Pressprozess. Bestehende Anlagen-Peripherie integrieren wir gerne mit.

Besuchen Sie uns auf der
„JEC World in Paris“
Halle 5 · Stand M64

Als Technologieführer im Bereich Pressentechnik für Composite realisieren unsere Anlagen unter anderem die Prozesse:

- RTM und HT-RTM
- Thermoformen
- Pre-Preg
- Kompressionspressen
- Preforming
- Wet-Layup

Individuell pressen – modular fertigen



PRESSEN, PRESSENSYSTEME UND
VOLLAUTOMATISIERTE ANLAGEN

www.wickert-presstech.de

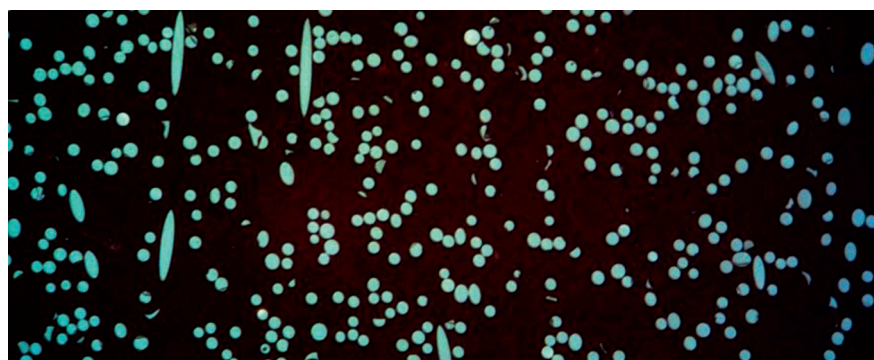


Bild 2. Mikroskopieaufnahme eines Schliffbilds durch einen kurzglasfaserverstärkten Kunststoff. Die Ellipsenform wird durch die Faserorientierung bestimmt (© IKT)

richtung zu schließen. Verstärkungsfasern weisen oft vielfach höhere Steifigkeiten in Faserrichtung auf als die Kunststoffmatrix. Aus diesem Grund ist eine Faserorientierungsbestimmung mithilfe der Bestimmung der lokalen Steifigkeit möglich.

Spezielle Ultraschallprüfköpfe, die mit hoher Frequenz Scherbewegungen ausführen, können über ein zähflüssiges Kopfmittel Scherwellen im Prüfkörper anregen. Scherwellen breiten sich mit einer von der Schubsteifigkeit abhängigen Geschwindigkeit in Festkörpern aus. Wenn ein Scherwellenpuls auf der gegenüberliegenden Seite des Prüfkopfs reflektiert wird, kann über den umgekehrten piezoelektrischen Effekt die am Prüfkopf anliegende Scherbewegung gemessen werden. Aus der zeitlichen Differenz zwischen gesendetem und empfangenen Puls lässt sich bei bekannter Prüfkörperdicke auf die Schallgeschwindigkeit zurückschließen.

Bei Anregung einer polarisierten Scherwelle in einem akustisch anisotropen Werkstoff teilt sich die Welle in eine schnelle und in eine langsame Welle (zum Beispiel parallel und quer zur Faserrichtung). Beide Wellen werden an der Rückwand reflektiert und kommen überlagert wieder am Prüfkopf an (**Bild 4**).

Dieses auch als Shear-Wave-Splitting bekannte Phänomen tritt nur dann nicht auf, wenn die Scherwelle genau in Richtung der schnellen oder langsamen Ausbreitungsgeschwindigkeit polarisiert ist. Durch sukzessives Drehen und Messen der Schallgeschwindigkeit lässt sich auf diese Weise die schnellste und langsamste Richtung bestimmen. Diese beiden Richtungen geben die Richtungen

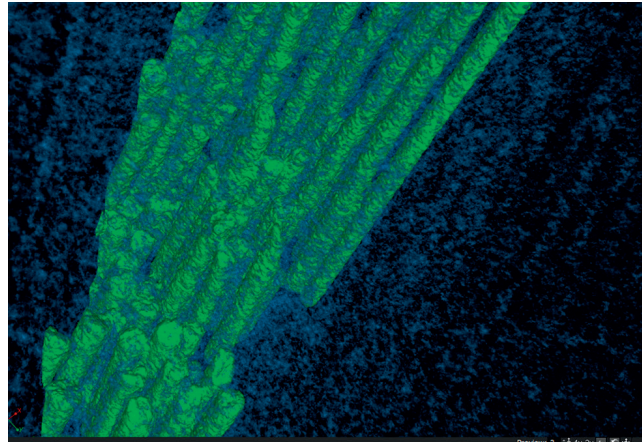


Bild 3. Mit Röntgencomputertomografie aufgenommenes Faserbündel (© IKT)

mit höchster und niedrigster Steifigkeit wieder.

Genauigkeit der Messung mit Ultraschall-Scherwellen

Um die Genauigkeit der Methode zu untersuchen, wurden endlosfaserverstärkte Platten (Endlosglasfasern mit Epoxidharz) mit unterschiedlicher Faserorientierung hergestellt und mittels Ultraschall-doppelbrechung untersucht. Es wurden drei Platten mit jeweils zwei Lagen in 0° Faserrichtung und zwei Lagen mit abweichender Faserrichtung (20° und 90°) produziert.

Der Versuchsaufbau erfolgte mit einem Scherwellenprüfkopf (Hersteller: Olympus, Tokio/Japan) mit 2,25 MHz und einem Ultraschallgenerator (Hersteller: Ritec Inc, Warwick/USA). Mithilfe eines Industrieroboters (Typ: IRB 120, Hersteller: ABB, Zürich/Schweiz) wurde der Prüfkopf an die Prüfplatten gefahren, ange-

presst und gedreht. Während der Drehung wurden kontinuierlich Pulse an das Ultraschallgerät gesendet, um Ultraschallmessungen zu triggern.

Der Vergleich der Messungen an den drei glasfaserverstärkten Platten (siehe **Bild 5**) zeigt eindeutig einen Unterschied zwischen den verschiedenen Faserorientierungen. Bei reiner 0° -Orientierung ist eine symmetrische, hutförmige Schallgeschwindigkeitsverteilung zu erkennen. Die Schallgeschwindigkeit ist bei Polarisation der Schallwellen in Richtung mit höchster Steifigkeit (0°) am höchsten.

Wenn ein Teil der Lagen gedreht wird, verschiebt sich der Hochpunkt nach rechts. Wenn gleich viele Lagen in 0° -Richtung und 90° -Richtung vorliegen, gibt es keinen messbaren Unterschied in der orientierungsabhängigen Schallgeschwindigkeit, und das Ergebnis ist eine annähernd gerade Linie.

Auch bei Spritzgießbauteilen mit Faserverstärkung ist eine Untersuchung mittels Ultraschall-doppelbrechung möglich, da auch hier die Faserrichtung die Steifigkeit vorgibt. An spritzgegossenen Platten mit Dicken von 2 mm bis 4 mm konnte so die Faserorientierung der verstärkenden Kurzglasfasern bestimmt werden. Bei realen dünnwandigen Bauteilen wird eine freie, ebene Fläche von ungefähr 1,5 cm x 1,5 cm benötigt, um den Prüfkopf aufzusetzen.

Es kann zwar keine Aussage zwischen der Faserorientierung in Kern- und Randschicht getätigt werden, weil es keine eindeutige Grenzschicht gibt, an der die Ultraschallwellen reflektiert werden könnten. Gemittelt über die Dicke lässt sich allerdings eine Aussage über die Faserorientierung treffen.

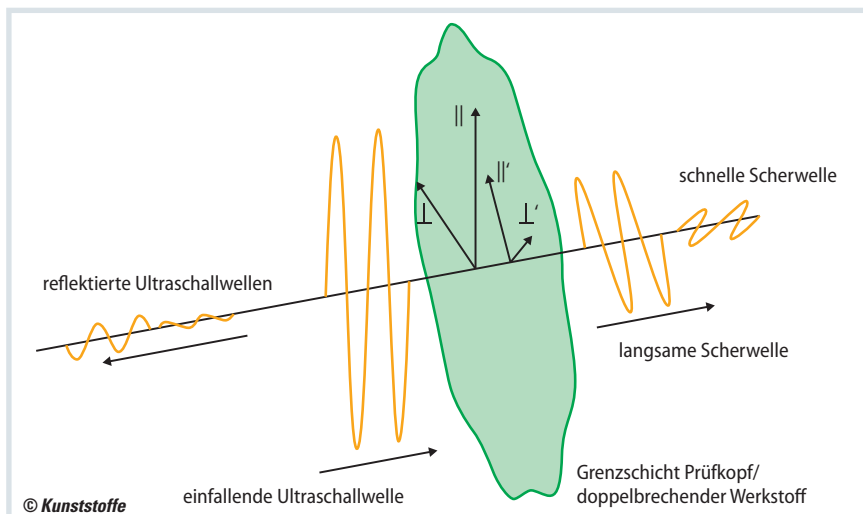


Bild 4. Akustische Doppelbrechung in einem anisotropen Werkstoff (Quelle: IKT)

Fazit

Je nach Problemstellung stehen verschiedene Methoden zur Bestimmung der Faserorientierung zur Verfügung. Mit der Schlibbildanalyse lassen sich über die Ellipsengeometrie der Faserquerschnitte die

Faserorientierungen berechnen. Die Computertomografie liefert schnell räumliche Informationen über die Faserorientierung. Beide Verfahren sind allerdings mit einer relativ hohen Messdauer und relativ aufwendiger Auswertung verbunden. Wenn eine schnelle Aussage über die Faserorien-

tierung und nur die Richtung mit der höchsten Steifigkeit benötigt werden, ist die Ultraschall-doppelbrechung die beste Wahl. Zukünftige Arbeiten haben zum Ziel, die akustische Methode weiter zu verfeinern und die quantitative Aussagekraft zu erhöhen. ■

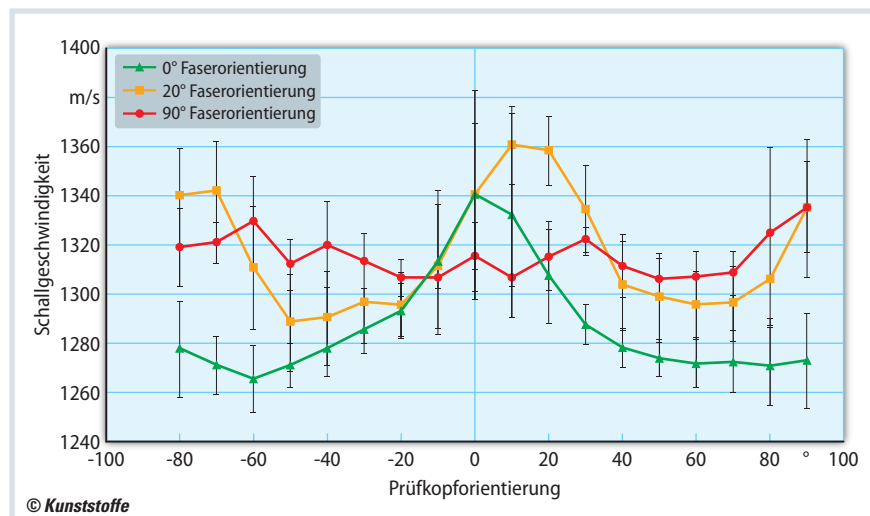


Bild 5. Messung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Prüfkopforientierung (Quelle: IKT)

Die Autoren

Yannick Bernhardt, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart;

yannick.bernhardt@ikt.uni-stuttgart.de

Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck ist seit 2014 Institutsleiter am IKT in Stuttgart.

Service**Digitalversion**

Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-02



Messe München

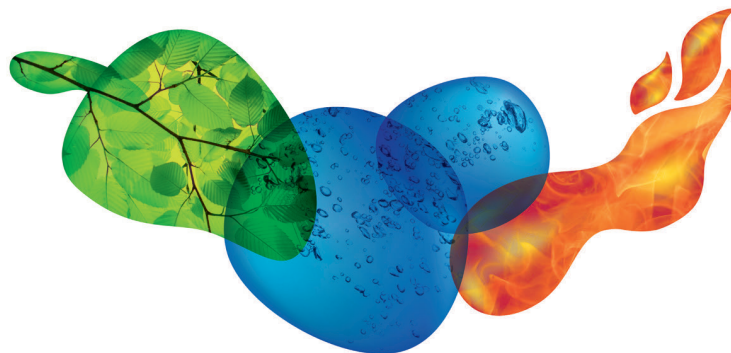
Connecting Global Competence

Umweltechnologien für die Zukunft.

4.–8. Mai 2020 • Messe München

Lösungen für optimale Rohstoffkreisläufe – auf der IFAT 2020.

Effizientes Abfallmanagement, zielgerichtetes Recycling und eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft sind die entscheidenden Faktoren für eine nachhaltige Zukunft. Die weltgrößte Plattform für Umweltechnologien präsentiert wegweisende Innovationen auf 270.000 m².



Online-Ticket jetzt sichern!
ifat.de/tickets

Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft

IFAT