

Spritzgießen mit drehendem Kern

Enorme Festigkeitssteigerungen innendruckbelasteter faserverstärkter Thermoplastbauteile

Beim Spritzgießen mit drehendem Kern lässt sich die Molekül- und Faserorientierung durch eine Relativbewegung im Werkzeug gezielt beeinflussen. Insbesondere bei rotationssymmetrischen Bauteilen, die oftmals in axialer Richtung gefüllt werden, kann die Orientierung in eine tangentielle Richtung umgelenkt werden. Dies ist vor allem bei innendruckbelasteten Bauteilen hilfreich, weil hier die Spannungen entsprechend der Kesselformel in tangentialer Richtung doppelt so hoch sind wie in axialer. Mit der neuen Werkzeugtechnik lässt sich die Festigkeit derartiger Bauteile erheblich steigern.

Für die Herstellung innendruckbelasteter Hohlkörper werden in vielen Fällen faserverstärkte Materialien wie Polypropylen (PP) oder Polyamid (PA) eingesetzt, um den teilweise hohen Innendrücken standzuhalten. Die Fließrichtung der Polymerschmelzen und damit auch die Hauptorientierung der Moleküle und Fasern ist bei solchen Bauteilen oftmals überwiegend axial. Da in solchen Hohlkörpern die tangentielle Spannung näherungsweise aber doppelt so hoch ist wie die axiale, hat die Hochschule Osnabrück ein Spritzgießverfahren entwickelt, mit dem über einen drehenden Kern die axiale Ausrichtung der Moleküle und Fasern (teilweise) in eine tangentielle Ausrichtung überführt werden kann (**Bild 1**). Erste Untersuchungen zu dieser Technologie wurden bereits dokumentiert [1, 2], dann aber nicht weiterverfolgt. Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungen haben diese Technologie wieder aufgegriffen und, wie im Folgenden beschrieben, erfolgreich erweitert.

Das Ziel der Untersuchungen geht dabei in mehrere Richtungen. Für bestehende Anwendungen sollen geringere Wanddicken bei gleicher Festigkeit bzw. eine höhere Festigkeit bei gleicher Wanddicke ermöglicht werden. Dies verringert die Kosten sowohl bei der Herstellung der Kunststoffteile (aufgrund von Material- und Zykluszeiterparnis) als auch in der Anwendung (z.B. durch weniger Kraftstoffverbrauch).

Aber auch neue Anwendungen, bei denen bisher keine Kunststoffe einge-

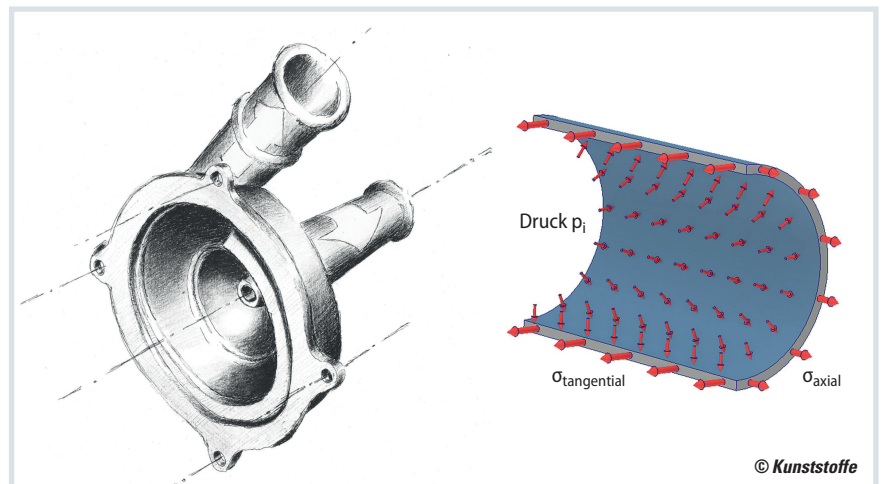


Bild 1. Bei innendruckbelasteten Kunststoffbauteilen mit rotationssymmetrischen Elementen ist die Tangentialspannung in erster Näherung doppelt so hoch wie die Axialspannung (Quelle: [3])

setzt werden, sollen auf diese Weise aufleben. Hierbei sind die Einsatzmöglichkeiten sehr vielfältig. So gibt es längliche Hohlkörper aus metallischen Werkstoffen bei der Luftaufbereitung, z.B. Kompressoren und Turboladergehäuse, sowie im gesamten Leitungsbereich (Kraftstoffe, Wasser). In der jüngsten Zeit werden in der Automobilindustrie immer kleinere Motoren eingesetzt, bei immer höheren Leistungen. Diese Motoren sind höher aufgeladen, d.h. im gesamten Bereich der Luftaufbereitung bestehen höhere Drücke.

Auch das Thema Leichtbau wird in Bezug auf Verbrauchseinsparungen immer wichtiger. Kunststoffe können in vielen Anwendungsbereichen gegenüber Metall aufgrund der wesentlich geringeren Dichte erhebliche Vorteile ausspielen.

Auch im Haushalt sollen Messingbauteile aufgrund ihres Preises und Bleianteils zunehmend durch Kunststoffe ersetzt werden. Heute müssen dort sehr teure, hochfeste Kunststoffe eingesetzt werden. Das neue Verfahren würde auch hier die Nutzung von geringeren Wanddicken oder günstigeren Kunststoffen ermöglichen.

Entwicklung eines geeigneten Prüfkörpers

Im ersten Schritt des Projekts musste zunächst eine geeignete Geometrie gefunden werden, die sich auf der einen Seite einfach herstellen lässt, auf der anderen Seite aber auch von einer realen Bauteilgeometrie nicht zu weit entfernt sein darf. Die Anwendung bezieht sich zu-

nächst auf innendruckbelastete Kunststoffbauteile. Diese weisen oftmals rotationsymmetrische Bereiche auf, die sich für eine rotatorische Relativbewegung eignen. Die einfachste Umsetzung einer solchen Prüfkörpergeometrie ist ein Becher, der über einen Schirmanguss in axialer Richtung gefüllt werden kann (**Bild 2**). Solch eine axiale Füllrichtung liegt in vielen Fällen auch bei realen Bauteilen vor.

Um eine Rotation des Kerns zu ermöglichen, ist der Schirmanguss zwingend notwendig. Bei realen Bauteilen ist es dann oftmals so, dass der hier als Schirmanguss ausgeführte Boden des Bechers gar nicht zum Anguss gehört, sondern Bestandteil des eigentlichen Bauteils ist. Insofern eignet sich diese Bechergeometrie ideal, um eine Vielzahl realer Anwendungsfälle abzubilden, um einfache Prüfkörper für Ringzugprüfungen zu entnehmen oder um das gesamte Bauteil im Berstdruckversuch zu testen.

Werkzeugkern mit Kettengetriebe bewegt

Um eine rotatorische Relativbewegung gegenüberliegender Werkzeugoberflächen während des Spritzgießprozesses zu realisieren, wird ein Werkzeugkonzept mit drehendem Kern entwickelt. Dieses Konzept wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts der Hochschule Osnabrück in Kooperation mit der H. Sundermeier GmbH, Hüllhorst, umgesetzt.

Der Werkzeugkern ist drehbar im Werkzeug gelagert und wird über ein Kettengetriebe bewegt. Der Kern führt durch die Abstreiferplatte hindurch. Die Rotation wird über einen auf dem Werkzeug montierten Motor angetrieben. Die Spritzgießversuche wurden auf einer Spritzgießmaschine des Typs Allrounder 270 C Golden Edition (Hersteller: Arburg GmbH + Co KG, Loßburg) durchgeführt. Bei diesem Modell ist es möglich, die Motorsteuerung über ein 12-V-Signal in die Prozessführung einzubinden. Auf diese Weise kann eine Drehbewegung des Kerns im Ablaufplan zeitlich genau bestimmt werden.

In ersten Spritzgießversuchen kam zunächst ein Hydraulikmotor in Kombination mit einem Hydraulikaggregat zum Einsatz. Dabei konnte jedoch bedingt durch Druckschwankungen im Hydraulikaggregat eine konstante Drehgeschwin-

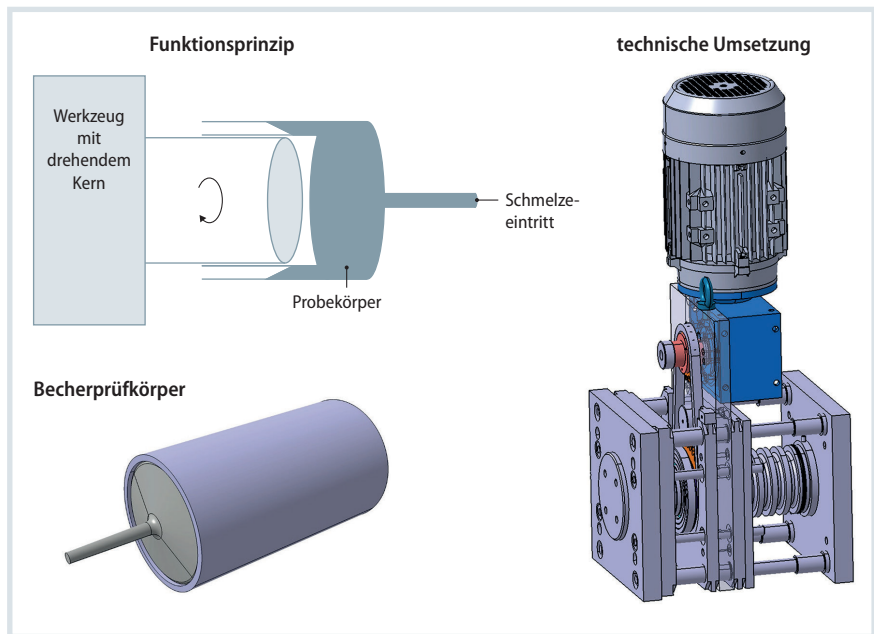


Bild 2. Zur Umlenkung der Molekül- und Faserorientierung in Umfangsrichtung wurde für einen Becherprüfkörper ein Werkzeugsystem mit einem drehendem Kern entwickelt (© Hochschule Osnabrück)

digkeit des Kerns nicht gewährleistet werden. Daher wurde für die Fertigung von Prüfkörpern ein Elektromotor eingesetzt. Über den Frequenzumrichter lässt sich die Drehgeschwindigkeit nun eindeutig definieren und regeln. Diese ermöglicht wiederum eine exakt mit den Spritzgießparametern abgestimmte Prozessführung (**Bild 2**).

Mit dem neuen Werkzeugkonzept wurden nun Becherbauteile aus verschiedenen gefüllten und ungefüllten Thermoplasten (**Tabelle 1**) hergestellt. Als wesentlicher Einflussparameter wird zunächst die Drehzahl variiert. Alle anderen Spritzgießparameter werden entspre-

chend den Empfehlungen der Rohstoffhersteller definiert. Die Prozessparameter werden so aufeinander abgestimmt, dass die Drehung des Kerns mit der Einspritzzeit korreliert. Sobald das Bauteil volumetrisch gefüllt ist, ist keine Relativbewegung zwischen der erstarrten äußeren und inneren Randschicht des Bechers mehr möglich (**Bild 3**).

Ergebnisse der mechanischen Untersuchungen

Zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften wurden zunächst Ringzugversuche und später auch Berstdruckversuche »

Polymer	Handelsname	Hersteller
PP	PPH 12/2	A. Schulman Inc., Fairlawn, USA*)
PP-GF30	Polyfort FPP 30 GFC K1079	A. Schulman Inc., Fairlawn, USA*)
PS	Edistir N 2380 Polystyrene	Songhan Plastic Technology Co., LTD, Shanghai City, China
PC	Makrolon 2205 - PC	Covestro AG, Leverkusen
PA	Ultramid B3S - PA6	BASF SE, Ludwigshafen
PA-GF50	Grivity GV-5H EF schwarz 9915	Ems-Chemie AG, Domat/Ems, Schweiz
PA-LGF60	Grivity GV FE 16127 black	Ems-Chemie AG, Domat/Ems, Schweiz

*) Im August 2018 wurde A. Schulman durch LyondellBasell übernommen

Tabelle 1. Auflistung der untersuchten Materialien (Quelle: Hochschule Osnabrück)

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Thorsten Krumpholz ist Leiter der Labore für Kunststoff-CAE und Faserverbundkunststoffe an der Hochschule Osnabrück. Dort lehrt er in den Studiengängen Kunststofftechnik, Kunststofftechnik im Praxisverbund und Industrial Design zu den genannten Themen. In seinen Forschungsschwerpunkten befasst er sich mit Partikelschäumen und vor allem mit faserverstärkten Kunststoffen; t.krumpholz@hs-osnabrueck.de

M.Sc. Stephan Jetscho hat das Projekt als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Osnabrück bearbeitet und ist aktuell bei Boge Elastmetall, Damme, tätig.

M.Sc. Hendrik Oudehinken hat das Projekt als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Osnabrück bearbeitet und ist aktuell bei der RKW SE, Michelstadt, tätig.

B.Sc. Viktor Ruff hat das Projekt als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Osnabrück bearbeitet.

Dank

Die Untersuchungen (FKZ: ZF4153401LL5) wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Programms „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) finanziell gefördert.

Darüber hinaus gilt der Dank der Autoren der H. Sundermeier GmbH, Hüllhorst, die aktiver Kooperationspartner in diesem Projekt war, namentlich dem Projektbetreuer Oliver Seeburger. Ebenso den Firmen Arburg GmbH + Co KG, Loßburg, für die Bereitstellung einer Spritzgießmaschine sowie Ems-Chemie AG, Domat/Ems, Schweiz, und A. Schulman GmbH, Kerpen, für die Unterstützung mit Kunststoffgranulaten.

Schließlich sei auch Uwe Becker, Geschäftsführer der MKS-Kunststoffspritzguss GmbH, Lüdenschied, für die beratende Begleitung des Projekts gedankt.

Service

Literatur & Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-07

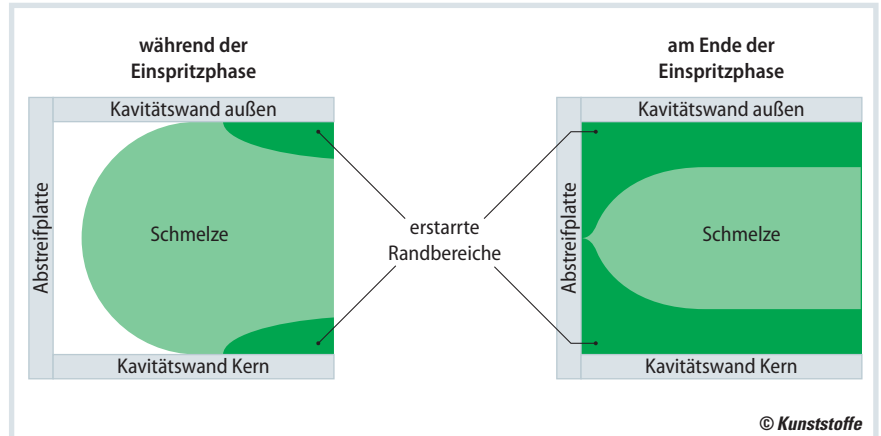


Bild 3. Am Ende der Einspritzphase (bei volumetrischer Füllung) ist keine Relativbewegung der „zusammengefrorenen“ Randschichten zueinander mehr möglich (Quelle: Hochschule Osnabrück)

che durchgeführt. Für die Ringzugversuche wurden aus den Becherbauteilen an drei Positionen (angussfern, mittig, angussnah) Ringproben spanend herausgearbeitet. Mit einer Prüfvorrichtung wurde nun in Anlehnung an die Norm ASTM 2295 die scheinbare Zugfestigkeit ermittelt (**Bild 4**).

Werden zunächst die unverstärkten Materialien betrachtet, so lässt sich bei dem gewählten Polycarbonat (PC) und Polyamid (PA) kaum ein Effekt feststellen. Dagegen ist beim Polypropylen (PP) eine leichte Steigerung von 8 % und beim Polystyrol (PS) sogar eine enorme Steigerung der Festigkeit von bis zu 350 % zu erkennen (**Bild 5**). Hier wird vermutet, dass das hohe Molekulargewicht von PS Ursache für die erhebliche Steigerung der Festigkeit ist.

Bei den faserverstärkten Materialien wurde zunächst der generelle Einfluss des Fasergehalts untersucht (**Bild 6**). Ein Vergleich der Ergebnisse der ungedrehten

Proben der unterschiedlichen Materialien untereinander zeigt, dass die PP-Proben mit 10% Glasfasern erwartungsgemäß die geringste Festigkeit besitzen. Allerdings wird bei den Proben mit einem Fasergehaltsanteil von 20% eine höhere Festigkeit gemessen als bei Proben mit 30%.

In den Voruntersuchungen haben CT-Aufnahmen ungedrehter Prüfkörper belegt, dass hier die Faserorientierung zu einem großen Teil in Fließrichtung vorliegt. Das bedeutet, dass bei einer Belastung in Umfangsrichtung, wie sie bei der Ringzugprüfung auftritt, viele Fasern quer zur Belastungsrichtung liegen. Bei der Belastung eines Faserverbundkunststoffs quer zur Faserrichtung tritt der Effekt der Dehnungsvergrößerung auf [4, 5]. Das bedeutet, dass hier die Verstärkungswirkung der in Umfangsrichtung orientierten Fasern und der Effekt der Dehnungsvergrößerung der in Fließrichtung orientierten Fasern einander entgegenwirken.

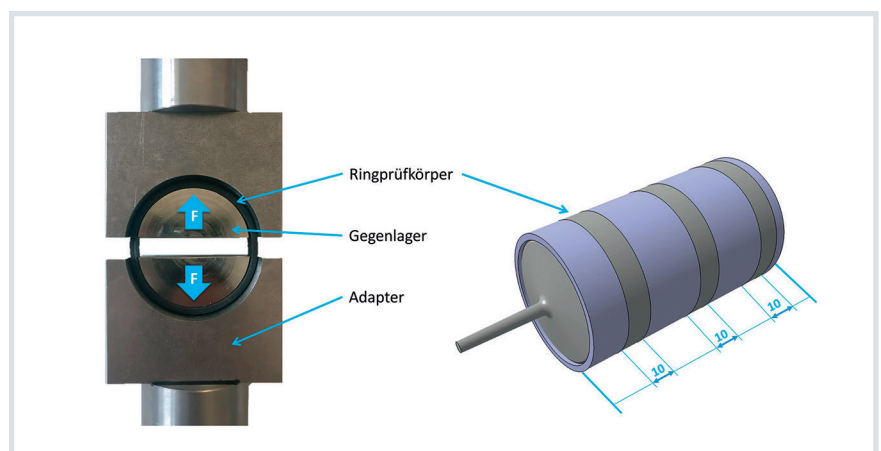


Bild 4. Aus den Becherbauteilen wurden an drei Positionen Ringproben spanend herausgearbeitet und deren scheinbare Zugfestigkeit mit einer Prüfvorrichtung (links) ermittelt (© Hochschule Osnabrück)

Der Effekt der Dehnungsvergrößerung tritt bei hohem Glasfaseranteil stärker in Erscheinung, weshalb die Proben aus PP-GF30 eine geringere tangentielle Festigkeit aufweisen als Proben aus PP-GF20. Im Gegensatz zu den ungedrehten besitzt bei den gedrehten Proben das Material mit dem größten Glasfaseranteil ebenfalls die höchste tangentielle Festigkeit. Somit ist es naheliegend, dass der Effekt der Dehnungsvergrößerung bei den gedrehten Proben aufgrund der Belastung in Faserichtung sehr gering ist. Da dieser Effekt bei quer zur Belastungsrichtung orientierten Fasern auftritt, ist dies dementsprechend ein Beleg dafür, dass das Fertigen mit drehendem Kern überwiegend mit einer tangentialen Faserorientierung einhergeht. Auch ist hier zu erkennen, dass es erst bei einem Fasergehalt von 20% zu signifikanten Steigerungen kommt.

Beim kurzfaserverstärkten PP-GF30 und PA-GF50 liegen die Steigerungen der Festigkeit mit Drehung bei ungefähr 30%. Beim langfaserverstärkten PA-LGF60 konnte sogar eine Steigerung von fast 120% erreicht werden (Bild 6). Diese Ergebnisse der mechanischen Ringzugversuche lassen sich auch computertomographisch verifizieren.

Zum Vergleich der konventionell gefertigten mit den mit drehendem Kern gefertigten Proben sind die tangentialen, axialen und radialen Faserorientierungsgrade über die normierte Wanddicke bei den Proben dargestellt (Bild 7). Die integrale Betrachtung der Ergebnisse zeigt, dass der mittlere tangentielle Orientierungsgrad durch die Drehung des Kerns mehr als verdoppelt wurde. Der mittlere axiale

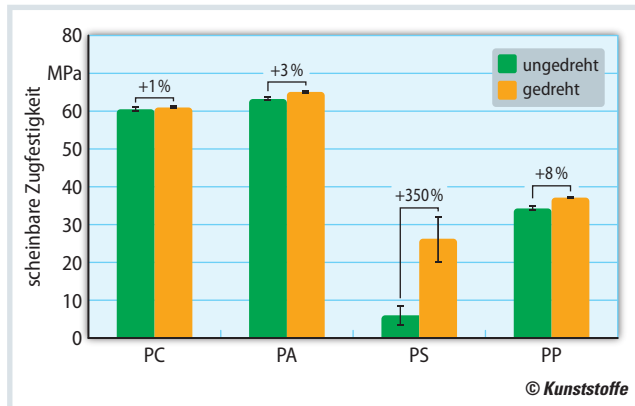


Bild 5. Die Ergebnisse der Ringzugversuche an den unverstärkten Materialien zeigen eine erhebliche Steigerung für das PS (Quelle: Hochschule Osnabrück)

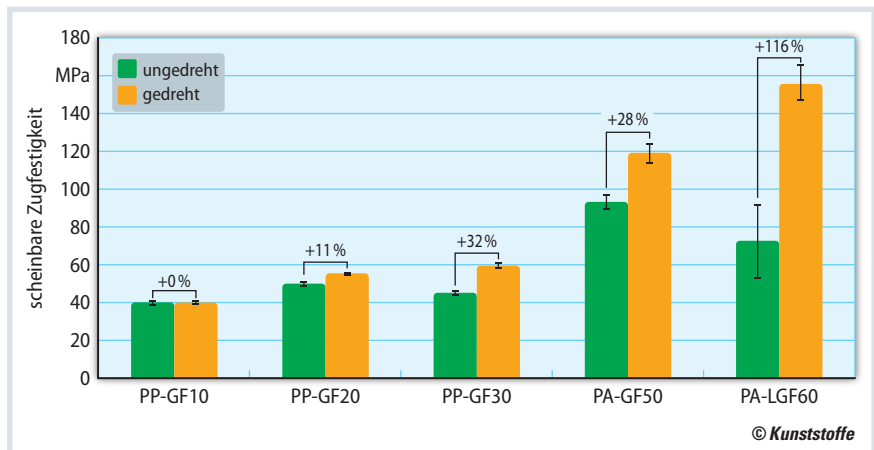


Bild 6. Die Ergebnisse der Ringzugversuche an den faserverstärkten Materialien zeigen den Einfluss des Fasergehalts. Die höchste Steigerung mit fast 120% wird für das langglasfaserverstärkte PA erreicht (Quelle: Hochschule Osnabrück)

Orientierungsgrad wurde ungefähr halbiert, der radiale um 40% gesenkt.

Fazit

Das Konzept des drehenden Kerns konnte erfolgreich umgesetzt werden. Die Drehung bleibt zunächst auf die Ein-

spritzphase beschränkt. Bei den Prozessparametern hat insbesondere die Drehzahl des Kerns einen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit. Mit höherer Drehzahl werden die Molekül- und Faserorientierungen stärker umgelenkt, und die Festigkeitssteigerungen in Umfangsrichtung sind größer. Grundsätzlich ist die tangentielle Festigkeit auch abhängig vom Faseranteil. Bei den ungedrehten Proben gilt aufgrund der Dehnungserhöhung bei Belastungen quer zur Hauptorientierung der Fasern nicht, dass mit höherem Faseranteil auch die Festigkeit steigt. Durch die Drehung des Kerns lässt sich dieser Nachteil vermeiden.

Die Entnahmeposition der kurzfaserverstärkten Proben zeigt, dass die tangentielle Bauteilfestigkeit am Fließwegende (angussfern) deutlich höher ist als an den anderen Positionen (mittig und angussnah). Dazu wurden keine Ergebnisbilder gezeigt. Ebenfalls nicht dargestellt wurden die Ergebnisse der Berstdruckversuche, die diejenigen der Ringzugversuche aber eindeutig bestätigen. ■

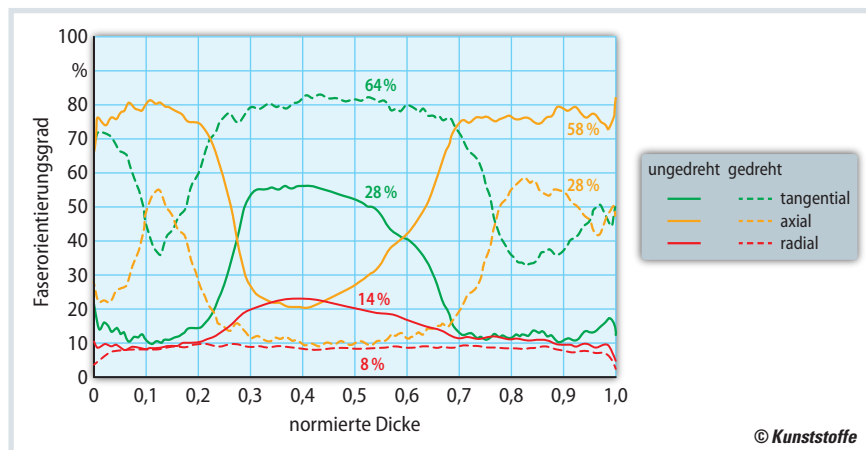


Bild 7. Der mit CT-Untersuchungen bestimmte Faserorientierungsgrad belegt, dass der tangentielle Anteil der Fasern durch die Drehung stark erhöht wird (Quelle: Hochschule Osnabrück)