

› **Zugeigenschaften von flachverstärtem PP**

Flachs als Verstärkungsfaser

Naturfasern wie z. B. Flachsfasern bieten als nachwachsender Rohstoff eine interessante Alternative zu herkömmlichen Verstärkungsfasern. Allerdings spielen der Verarbeitungsprozess und die Verwendung eines geeigneten Kompatibilisators eine wichtige Rolle, um Naturfasern für kurzfaserverstärkte Bauteile zu nutzen.

› **Christian Hopmann¹, Florian Puch², Maximilian Adamy³**

In den letzten Jahren hat das Interesse an Naturfasern in Industrie und Forschung stark zugenommen. Besonders in der Automobil- und in der Baubranche wird naturfaserverstärkten Kunststoffen ein großes Potenzial zugesprochen [1]. Dieser Trend beruht auf mehreren Gründen: Aus ökologischen Gesichtspunkten sind Naturfasern nachwachsende Rohstoffe mit einer vorteilhaften CO₂-Bilanz. Ihre Herstellung führt zu einer geringeren Umweltbelastung als die Herstellung von Glas- oder Kohlenstofffasern und Naturfasern können im Gegensatz zu Glasfasern verbrannt werden [2]. Ausserdem führen Naturfasern im Vergleich zu Glasfasern zu einem geringeren Verschleiss der Verarbeitungsmaschinen und Werkzeuge. Aus Sicht der Fasereigenschaften punkten Naturfasern durch gute spezifische mechanische Eigenschaften, die vergleichbar zu konventionellen Verstärkungsfüllstoffen sind, eine vergleichsweise geringe Dichte, gute elektrische, thermische und akustische Isolationseigenschaften und eine hohe Verfügbarkeit bei einem geringen Preis [3]. Als Nachteile von Naturfasern sind jedoch ihre geringe Kompatibilität zu hydrophoben Polymeren wie

¹ Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann, geb. 1968, ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen.

² Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Florian Puch, geb. 1983, war von Februar 2010 bis Juli 2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter des IKV und leitete die Arbeitsgruppe Compoundierung.

³ M.Sc. Maximilian Adamy, geb. 1987, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des IKV und leitet die Arbeitsgruppe Compoundierung seit Juni 2014.

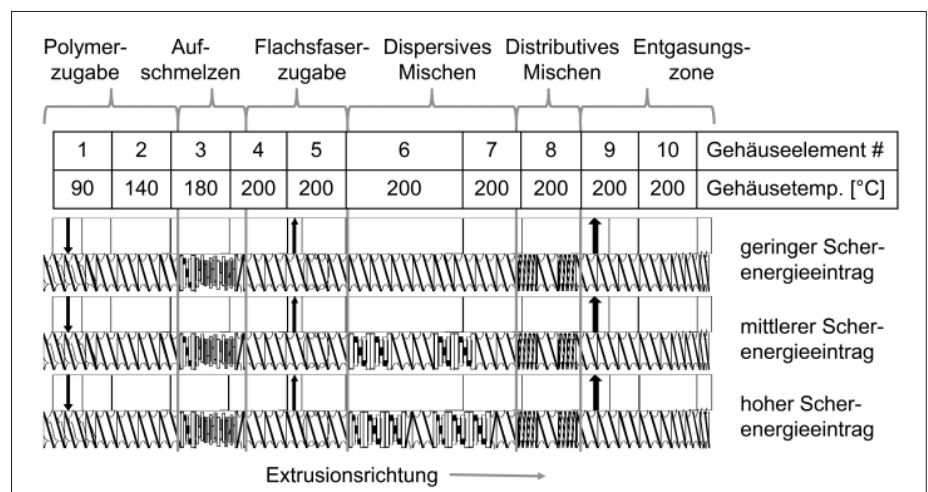


Bild 1: Schneckenkonfigurationen zur Herstellung der Polypropylen-Flachkurzfaser-Compounds.

z.B. Polyolefinen, ihre Neigung zur Agglomeratbildung und ihre geringe Beständigkeit gegenüber Wärme und Feuchtigkeit sowie ihre hohe Feuchtigkeitsaufnahme anzuführen [3,4]. Darüber hinaus variieren die Eigenschaften von Naturfasern auch für ein- und denselben Fasertyp, da sie von den Kultivierungsbedingungen wie z.B. Anbaugelände, Wetter etc. und der anschließenden Faseraufbereitung abhängen.

Um die genannten Nachteile der Naturfasern zu berücksichtigen und das hohe Potenzial von naturfaserverstärkten Thermoplasten zu nutzen, wurden in einem Forschungsvorhaben unter Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette flachfaserverstärkte Compounds mit verbesserten Eigenschaften sowie Fasermodifikationen und Verfahren zur Herstellung und Weiterverarbeitung der flachfaserverstärkten Compounds untersucht und entwickelt. Die umfangreichen Untersuchungen wurden durch ein Konsortium, bestehend aus belgischen (Allgemeiner Belgischer Flachsverband, Celabor, Flanders' PlasticVision, Flämisches Kunststoff

Zentrum, Katholische Hochschule Brügge-Ostende) und deutschen Partnern (Fraunhofer LBF Darmstadt, IKV Aachen) durchgeführt. Die Hauptaufgaben des IKV in diesem Forschungsvorhaben waren unter anderem die Auslegung des Compoundierprozesses und die Untersuchung der Materialzusammensetzung (Flachsfaser- und Kompatibilisatoranteil). Haupteinflussgrößen bei der Compoundierung mit einem gleichlaufenden ineinandergreifenden Doppelschneckenextruder sind die Schneckendrehzahl, der Massedurchsatz und die Schneckenkonfiguration [5].

Ziel dieses Beitrags ist es daher, den Einfluss der Compoundierprozessparameter und den Einfluss der Materialrezeptur auf die Zugeigenschaften flachfaserverstärkter Polypropylen-Compounds unter praxisnahen Bedingungen im Technikumsmaßstab darzustellen.

Eingesetzte Materialien

Als Matrixmaterial wird ein Elastomer modifiziertes Polypropylen des Typs EE050AE mit einer Dichte von 905 kg/m³ und einer

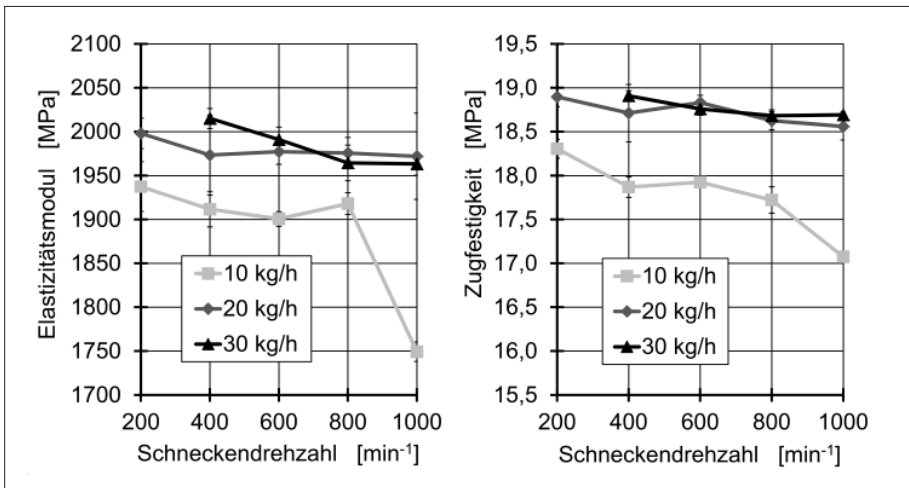


Bild 2: Einfluss des Massedurchsatzes auf den Elastizitätsmodul und die Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl.

Schmelzflussrate (melt flow rate, MFR) von 11 g/10 min (gemessen bei 230°C mit einem Gewicht von 2,16 kg) eingesetzt, welches von der Borealis AG, Wien, zur Verfügung gestellt wurde. Bei den Flachskurzfasern handelt es sich um kardierte, auf 20 mm Länge geschnittene Flachskurzfasern, die vom Allgemeinen Belgischen Flachsverband bereitgestellt werden. Das Maleinsäureanhydrid modifizierte Polypropylen des Typs Exxelor PO1020, welches als Kompatibilisator eingesetzt wird, wurde von der ExxonMobil Chemical Company, Houston, USA, zur Verfügung gestellt. Der Kompatibilisator verfügt über einen Maleinsäureanhydridanteil von 0,5 bis 1,0 Gew.-% und weist eine Dichte von 900 kg/m³ sowie einen MFR von 430 g/10 min (gemessen bei 230°C mit einem Gewicht von 2,16 kg) auf.

Herstellung, Weiterverarbeitung und Analyse der hergestellten Compounds

Flachskurzfasern weisen eine raue Oberfläche auf, die zum Verhaken und zur Bildung von Brücken führt. Daher sind Flachskurzfasern nicht mit einem konventionellen gravimetrischen Dosiersystem dosierbar und müssen vorher aufbereitet werden. Dazu wird zunächst Polypropylen in einem Knetzer des Typs Brabender LabStation, Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, aufgeschmolzen. Anschliessend werden die Flachskurzfasern hinzugefügt, bis eine Vormischung bestehend aus 10 Gew.-% Polypropylen und 90 Gew.-% Flachskurzfasern hergestellt ist. Diese Vormischung wird mit einer Schlagmühle der Firma Heinrich Dreher GmbH & Co. KG Maschi-

nenbau, Aachen, zu einem riesel- und dosierfähigen Material weiterverarbeitet. Bevor die Vormischung dem Extruder über eine Doppelschneckendosierwaage des Typs K-SFS-24 der K-Tron AG, Niederlenz, Schweiz, und eine Seitenbeschickung der Coperion GmbH, Stuttgart, zugeführt wird, wird diese für 12 h in einem Drucklufttrockner der Fasti-Koch GmbH, Ispringen, bei 60°C getrocknet. Die Herstellung der flachsfaserverstärkten Compounds erfolgt mit einem gleichläufigen, ineinandergreifenden Doppelschneckenextruder des Typs ZSK26Mc der Coperion. Der Doppelschneckenextruder weist einen Schnecken-durchmesser von 26 mm und eine Länge zu Durchmesser-Verhältnis von 44 auf. Das Polypropylen wird dem Extruder über ein gravimetrisches Dosiergerät im Haupttrichter zugegeben und anschliessend in der Aufschmelzzone des Extruders aufgeschmolzen. Es folgt die Zugabe der Flachsfaservormischung über eine Seitenbeschickung. Dann werden die Flachsfasern durch eine dispersive und eine distributive Mischzone im Polymer verteilt, bevor das Compound entgast wird und durch ein Zweistrangwerkzeug aus dem Extruder austritt. Die Compoundstränge werden durch ein Wasserbad geführt und mit einem Stranggranulator der Firma Coperion Pelletizing Technology GmbH, Offenbach, granuliert. Die hergestellten Granulate werden mit einer Spritzgiessmaschine des Typs Allrounder 370 A 600 – 170/170 der Arburg GmbH & Co. KG, Lossburg, bei konstanten Prozessparametern zu Zugprüfkörpern weiterverarbeitet, um den Einfluss

DIE PERFEKTE VERBINDUNG VON KUGELLAGER UND KUNSTSTOFF

JESA vereinigt Kugellager mit Kunststofftechnik und produziert einbaufertige Einheiten. Damit diese Verbindungen ein Produktleben lang halten, müssen sie perfekt sein. Dank Schweizer Qualität, Präzision und Innovationsgeist ist JESA weltweit führend – von Kugellager-Baugruppen und Kunststoff-Laufrollen bis hin zu Kugellager-Sonderlösungen sowie Standard-Kugellager. www.jesa.com

JESA.
bearing solutions

Rte du Petit-Moncor 9 | 1752 Villars-sur-Glâne | Schweiz | +41 26 408 47 00

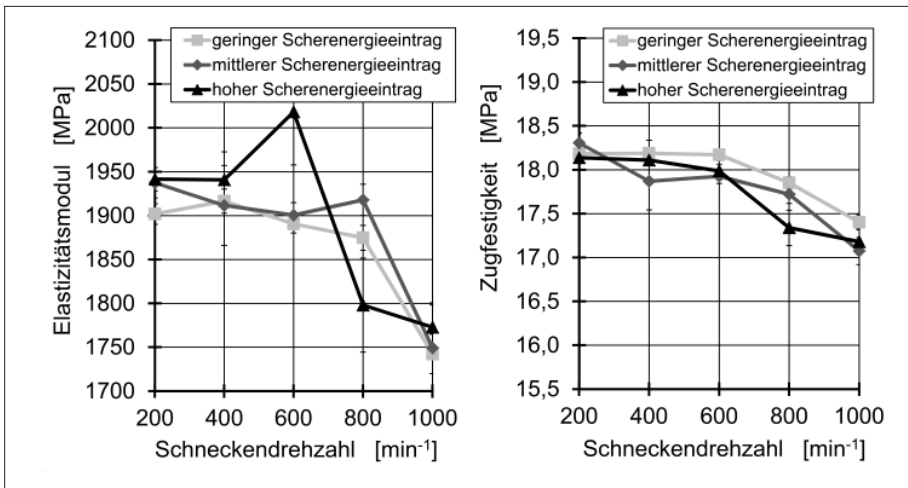


Bild 3: Einfluss der Schneckenkonfiguration auf den Elastizitätsmodul und die Zugfestigkeit in Abhängigkeit Schneckendrehzahl.

des Spritzgiessprozesses auf die Zugeigenschaften konstant zu halten. Anschliessend werden die Zugprobekörper im Zugversuch nach DIN EN ISO 527 geprüft.

Um den Einfluss der Compoundierprozessparameter Schneckendrehzahl, Massedurchsatz und Schneckenkonfiguration auf die Zugeigenschaften zu untersuchen, werden die Schneckendrehzahl in fünf Stufen (200 min⁻¹; 400 min⁻¹; 600 min⁻¹; 800 min⁻¹; 1000 min⁻¹) und der Massedurchsatz in drei Stufen (10 kg/h; 20 kg/h; 30 kg/h) bei gleichbleibender Compoundrezeptur (80 Gew.-% Polypropylen mit 20 Gew.-% Flachkurzfaseren ohne Kompatibilisator) variiert. Zusätzlich werden drei unterschiedliche Schneckenkonfigurationen eingesetzt, die sich im Bereich der dispersiven Mischzone unterscheiden (Bild 1). Die obere Schneckenkonfiguration weist im Bereich der dispersiven Mischzone keine Knetblöcke, sondern nur Fördererlemente auf und führt daher zu einem geringen Scherenergieeintrag. Die mittlere Schneckenkonfiguration verfügt in der dispersiven Mischzone über zwei mal zwei Knetelemente mit einer Breite von 36 mm. Dadurch führt diese Schneckenkonfiguration zu einem mittleren Scherenergieeintrag. Die untere Schneckenkonfiguration weist in der distributiven Mischzone hingegen zwei Abschnitte auf, die aus einem Knetelement der Breite 24 mm, zwei Knetelementen der Breite 36 mm und einem gegenfördernden Schneckenelement besteht, um einen hohen Scherenergieeintrag in das Compound einzutragen. Zudem ist in Bild 1

das für die Versuche eingestellte Temperaturprofil dargestellt.

Um zusätzlich den Einfluss der Compoundrezeptur zu untersuchen, werden Compounds mit Faseranteilen von 0, 10, 20, 30 und 40 Gew.-% hergestellt. Das Maleinsäureanhydrid modifizierte Polypropylen wird bereits der Vormischung zugegeben, damit es sich bei der Compoundherstellung direkt bei den Flachsfasern befindet. Dazu werden fünf verschiedene Vormischungen mit dem Laborknetter hergestellt, die 0, 1, 3, 5 und 7 Gew.-% des Kompatibilisators bezogen auf den Flachsfaseranteil enthalten. Die Compounds werden bei konstanten Compoundierprozessparametern (Schneckendrehzahl: 200 min⁻¹; Massedurchsatz: 10 kg/h und Schneckenkonfiguration mit mittleren Scherenergieeintrag) hergestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Bild 2 zeigt den Einfluss des Massedurchsatzes auf den Elastizitätsmodul und die Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl. Aus dem Bild sind zwei Tendenzen ersichtlich: Elastizitätsmodul und Zugfestigkeit nehmen mit zunehmenden Massedurchsatz zu und mit zunehmender Schneckendrehzahl ab. Die Zunahme des Elastizitätsmoduls und der Zugfestigkeit mit steigendem Massedurchsatz ist mit einer geringeren thermischen und mechanischen Schädigung der Flachsfasern zu erklären, da die Verweilzeit im Extruder mit zunehmendem Massedurchsatz abnimmt. Die Abnahme des Elastizitätsmoduls und der Zugfestigkeit mit zunehmender Schneckendrehzahl ist auf eine höhere thermische und mechanische Schädigung der Fasern zurückzuführen, da höhere Schneckendrehzahlen zu einem deutlich höheren mechanischen Energieeintrag führen und zudem zu einer Schererwärmung des Materials führen.

Bild 3 stellt den Einfluss der Schneckenkonfiguration auf den Elastizitätsmodul und die Zugfestigkeit für verschiedene Schneckendrehzahlen dar.

Der Elastizitätsmodul nimmt mit zunehmendem Scherenergieeintrag durch die Schneckenkonfiguration zu und mit zunehmender Schneckendrehzahl ab. Diese Beobachtung ist darauf zurückzuführen, dass eine Erhöhung des Scherenergieeintrags zu einer verbesserten Dispergierung der Flachsfasern führt, die gegenüber der thermischen und mechanischen Faserschädi-

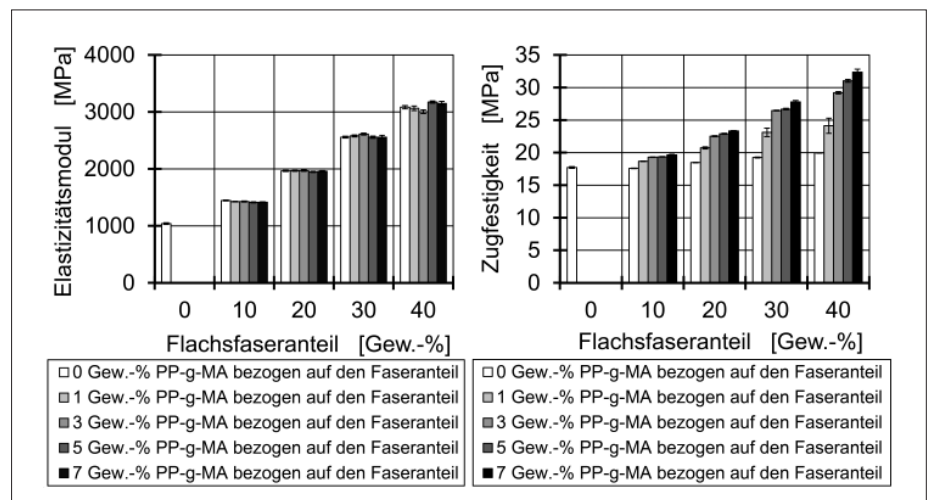


Bild 4: Einfluss des Flachsfaser- und des Kompatibilisatoranteils auf den Elastizitätsmodul und die Zugfestigkeit.

THERMOPLAST ELASTOMERE

gung überwiegt. Bei einer Drehzahlerhöhung hingegen überwiegt die erhöhte thermische und mechanische Belastung der Fasern gegenüber einer verbesserten Mischwirkung. Das bedeutet, dass eine Erhöhung der Schneckendrehzahl zu einer deutlich stärkeren thermischen und mechanischen Faserschädigung führt, als der Einsatz einer Schneckenkonfiguration mit einer grösseren Anzahl an Knetblöcken oder gegenfördernden Schneckenelementen. Die Zugfestigkeit nimmt für alle Schneckenkonfigurationen mit zunehmender Schneckendrehzahl aufgrund der erhöhten thermischen und mechanischen Belastung der Fasern ab. Jedoch weisen die Polypropylen-Flachskurzfaserverstärkte Compounds, die mit unterschiedlichen Schneckenkonfigurationen hergestellt wurden, nur geringfügige Differenzen in der Zugfestigkeit auf, so dass kein Einfluss der Schneckenkonfiguration auf die Zugfestigkeit zu erkennen ist. Somit empfehlen sich hohe Durchsätze und geringe Drehzahlen für die Herstellung flachsfaserverstärkter Polypropylen-Compounds.

Neben den Compoundierprozessparametern sind der Flachsfaser- und der Kompatibilisatoranteil für die Eigenschaften der Compounds massgeblich. Daher sind die Einflüsse des Flachsfaser- und des Kompatibilisatoranteils auf den Elastizitätsmodul und die Zugfestigkeit in Bild 4 dargestellt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Elastizitätsmodul mit zunehmendem Faseranteil linear zunimmt, da die weniger steife Polypropylen-Matrix durch die steiferen Flachskurzfasern ersetzt wird. Der Kompatibilisator zeigt jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den Elastizitätsmodul. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Grenzflächenscherfestigkeit zwischen der Polypropylen-Matrix und den Flachfasern in dem Bereich, in dem der Elastizitätsmodul gemessen wird, nicht überschritten wird. Wird jedoch die Zugfestigkeit der flachsfaserverstärkten Polypropylen-Compounds mit verschiedenen Flachsfaser- und Kompatibilisatoranteilen betrachtet, ist zu erkennen, dass eine gute Faser-Matrix-Anbindung Grundvoraussetzung für eine Steigerung der Zugfestigkeit ist. Während die Zugfestigkeit durch die reine Erhöhung des Flachsfaseranteils von 0 auf 40 Gew.-% lediglich von ca. 17 MPa auf 20 MPa gesteigert werden kann, kann durch den Einsatz des Kompatibilisators bei einem Flachsfaseranteil von 40 Gew.-% eine Zugfestigkeit von bis zu 32 MPa erzielt werden. Ausserdem ist zu beobachten, dass die Zugfestigkeit bei den untersuchten Kompatibilisatoranteilen von 0, 1, 3, 5 und 7 Gew.-% bezogen auf den Flachsfaseranteil mit zunehmenden Kompatibilisatoranteil zunimmt. Diese Beobachtungen verdeutlichen, dass eine gute Anbindung an der Faser-Matrix-Grenzfläche zwischen der Polypropylen-Matrix und den Flachfasern durch die Interaktion der Anhydrid-Gruppen des Kompatibilisators und den Hydroxid-Gruppen an den Faseroberflächen die Grundvoraussetzung für eine effektive Übertragung der Zugkräfte von der Matrix auf die Fasern bildet. Somit kann nur mit Hilfe eines Kompatibilisators die Zugfestigkeit der Polypropylen-Flachsfaser-Compounds effektiv verbessert werden.

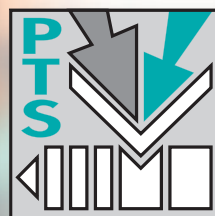


für die Automobil-Industrie

PTS-THERMOFLEX (TPE-S), PTS-UNIPRENE (TPE-V), DESMOFLEX (TPU-Blends)

- ▶ hohe Reissfestigkeit und Dehnung
- ▶ guter Druckverformungsrest bis 120°C
- ▶ alle Farben beliebig einstellbar
- ▶ trockene Haptik
- ▶ keine Probleme mit Fogging und Geruch
- ▶ flexibel bis -50°C
- ▶ Haftungstypen für die meisten Thermoplaste verfügbar

Die PTS-Gruppe - Ihr **Werkstoffspezialist** für
Hart/Weich-Verbindungen, strahlenvernetzbare
Thermoplaste und High-Performance Compounds.



® PTS Plastic-Technologie-Service,
Marketing und Vertriebs GmbH
Hautschenmühle 3
D-91587 Adelshofen/Tauberzell
Fon +49-(0)9865-821
Fax +49-(0)9865-720
www.pts-marketing.de

Bilder: IKV

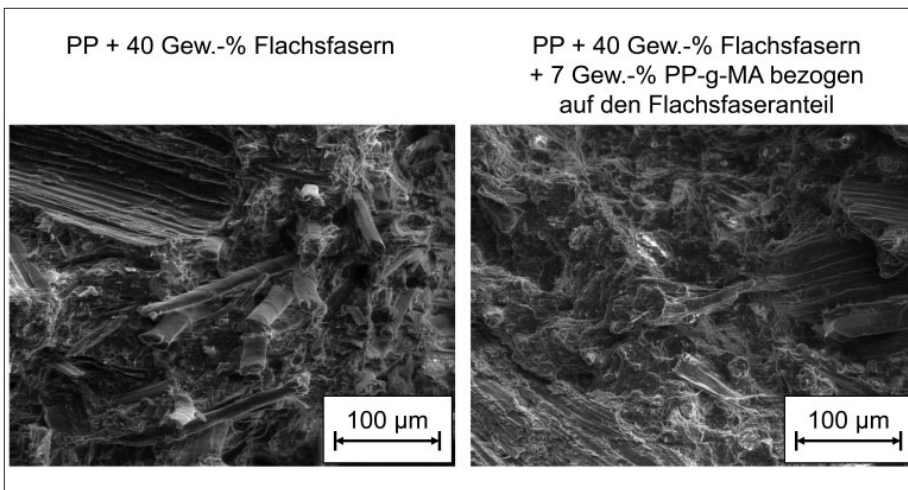


Bild 5: Rasterelektronenmikroskopieaufnahmen von flachkurzfaserverstärktem Polypropylen mit und ohne Kompatibilisator.

Bild 5 zeigt die bessere Faser-Matrix-Anbindung durch den Kompatibilisator anhand von Rasterelektronenmikroskopieaufnahmen der Bruchflächen eines Polypropylen-Flachsfaser-Compounds mit und ohne Kompatibilisator. Links ist das Polypropylen-Compound mit einem Flachsfaseranteil von 40 Gew.-% ohne Kompatibilisator dargestellt. Deutlich sind einzelne Flachsfasern zu sehen, die aus der Bruchfläche herausragen, während in der rechten Aufnahme des Polypropylen-Compounds mit einem Flachsfaseranteil von 40 Gew.-% und einem Kompatibilisatoranteil von 7 Gew.-% deutlich weniger einzelne Fasern in der Bruchfläche zu sehen sind. Zudem sind die Fasern, die zu erkennen sind, mit der Polypropylen-Matrix benetzt. Dies lässt darauf schließen, dass die Fasern nicht mehr aus der Polypropylen-Matrix herausgerissen werden.

Fazit und Ausblick

Die Herstellung von flachfaserverstärkten Kunststoff-Compounds bleibt aufgrund der schlechten Dosierbarkeit der Flachfasern weiterhin eine Herausforderung. Hier müssen geeignete Dosierverfahren oder Vorbehandlungsschritte für die Flachfasern entwickelt werden, um eine einwandfreie Dosierung der Fasern zu ermöglichen. Mögliche Ansätze sind das vorge-

stellte Verfahren über das Herstellen einer Vormischung oder das Pressen von Faserpellets [6]. Allerdings führen beide Verfahren zu einer mechanischen Vorbelastung bzw. das Herstellen der Vormischung auch zu einer thermischen Vorbelastung der Fasern.

Zudem beeinflussen die Compoundierprozessparameter die Zugeigenschaften der Polypropylen-Flachsfaser-Compounds. Zur Herstellung dieser Compounds sollten hohe Massedurchsätze und geringe Schnecken Drehzahlen verwendet werden, um die thermische und mechanische Schädigung der Flachfasern zu minimieren. Die untersuchten Schneckenkonfigurationen haben nur einen geringfügigen Einfluss auf die Zugeigenschaften. Zwar erhöht der alleinige Einsatz von Flachkurzfasern den Elastizitätsmodul, jedoch kann die Zugfestigkeit kaum gesteigert werden. Für eine Zunahme der Zugfestigkeit ist der Einsatz eines Kompatibilisators, der die Affinität zwischen den Flachkurzfasern und der Polypropylen-Matrix erhöht, unabdingbar.

Flachfasern bieten ein hohes Potenzial für vielfältige Anwendungen in Kunststoffen. Jedoch müssen die Compound-Rezeptur und der Prozess zur Herstellung kurzflachfaserverstärkter Thermoplastbauteile auf dem Einsatz von Naturfasern abgestimmt sein, damit die Naturfasern ihr volles Potenzial entfalten können. Zudem

dürfen naturfaserverstärkte Kunststoff-Compounds nicht als Ersatz konventioneller kurzfaserverstärkter Compounds betrachtet werden, sondern vielmehr als Ergänzung mit einem neuartigen Eigenschaftsprofil zu den bestehenden Materialien.

Dank

Das CORNET-Forschungsvorhaben 67EN der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms Collective Research Networking (CORNET) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Allen Institutionen gilt unser Dank.

Literatur

- [1] *Leduc, A.; Vergnes, B.; Budtova, T.*: Polypropylene/natural fibres composites: Analysis of fibre dimensions after compounding and observations of fibre rupture by rheo-optics. *Composites Part A* 42 (2011) 11, S. 1727–1737
- [2] *Joshi, S.V.; Drzal, L.T.; Mohanty, A.K.; Arora, S.*: Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A* 35 (2004) 3, S. 371–376
- [3] *Reddy, N.; Yang, Y.*: Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trend in Biotechnology* 23 (2005) 1, S. 22–27
- [4] *Sun, Z.-Y.; Han, H.-S.; Dai, G.-C.*: Mechanical Properties of Injection-molded Natural Fiber-reinforced Polypropylene Composites: Formulation and Compounding Processes. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29 (2010) 5, S. 637–650
- [5] *Kohlgrüber, K.*: Der gleichläufige Doppelschneckenextruder: Grundlagen, Technologie, Anwendungen. München: Carl Hanser Verlag, 2007
- [6] *Müssig, G.*: Von der Faser zum Pellet. *Plastverarbeiter* 51 (2000) 8, S. 62–63

Kontakt

Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen
 Seffenter Weg 201
 D-52074 Aachen
 Telefon: +49 (0)241 80-28371
 adamy@ikv.rwth-aachen.de
 www.ikv-aachen.de