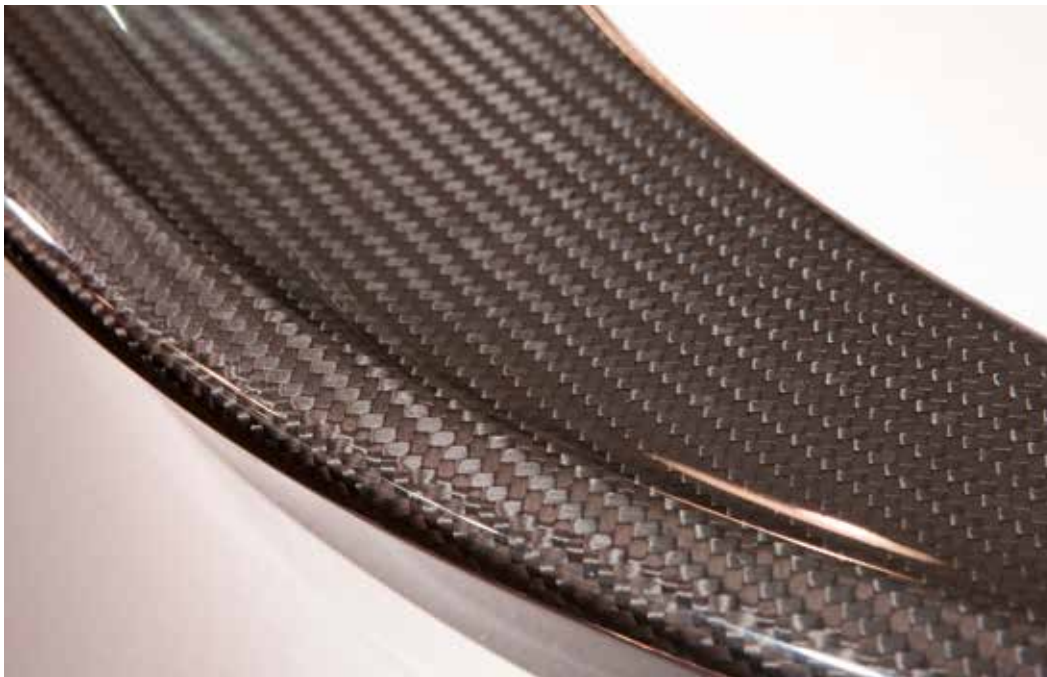


Eine Kombination mit ungeahntem Potenzial

Spritzgießen mit Recycling-Carbonfasern in Polypropylen

Im Bereich der Spritzgießmaterialien mit Hochleistungs-Carbonfasern sind Compounds mit Polyamidmatrix etabliert. Um das Bauteilgewicht weiter zu reduzieren und zugleich die Ökobilanz zu verbessern, eröffnen Polypropylen als Matrix und Recycling-Carbonfasern als Verstärkungskomponente neue Potenziale. In vielen Fällen ermöglicht diese Kombination zudem wesentliche Kostenvorteile.



Der Trend geht zu Rezyklaten – auch in der Herstellung von Composite-Bauteilen. Eine Studie zum Einsatz von Recycling-Carbonfasern aus Schnittabfällen in thermoplastischen Carbonfasercompounds macht das Potenzial für die Leichtbauindustrie deutlich (© Engel)

Um das Potenzial von Kohlenstofffasern (Carbonfasern, CF) auch in der Massenproduktion nutzen zu können, sind auf Kostensenkung und Ressourceneffizienz fokussierte Spritzgießlösungen erforderlich. Bei den etablierten Spritzgießmaterialien mit Carbonfasern kommen als Matrix Polyphenylensulfid (PPS), Polyetheretherketon (PEEK) und vor allem Polyamid (PA) zum Einsatz. Kostengünstiger dagegen ist Polypropylen (PP), das zudem einen wesentlichen Dichtevorteil bietet. Durch den Einsatz von Recycling-CF (rCF) aus postindustriellen Schnittabfällen bzw. Restbeständen können die

Materialkosten weiter gesenkt, Rohstoffe eingespart und gesetzliche Recycling-Vorgaben und Nachhaltigkeitsziele umgesetzt werden.

Das Kompetenzzentrum Holz (Wood K plus) in Linz/Österreich und der Spritzgießmaschinenbauer und Systemanbieter Engel Austria GmbH mit Stammsitz in Schwertberg/Österreich haben das Potenzial solcher Compounds näher untersucht. Im Mittelpunkt standen die Faser-Matrix-Haftung sowie die Prozessführung bei der Verarbeitung, die entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Materials nehmen. Das Ausmaß des Ein-

flusses weist allerdings einige Überraschungen auf.

Einfluss der Spritzgießparameter im Reihenversuch betrachtet

Als Referenz wurde ein kommerzielles PP-CF-Compound (20 Gew.-% Carbonfaseranteil, Dichte $1,02 \text{ g/cm}^3$) mit einer längengewichteten mittleren Faserlänge von $400 \mu\text{m}$ eingesetzt. Die Fasern kürzten sich infolge der Spritzgießverarbeitung im Mittel auf $340 \mu\text{m}$ ein, weitgehend unabhängig von den eingestellten Verfahrensparametern (**Tabelle 1**). Variiert »

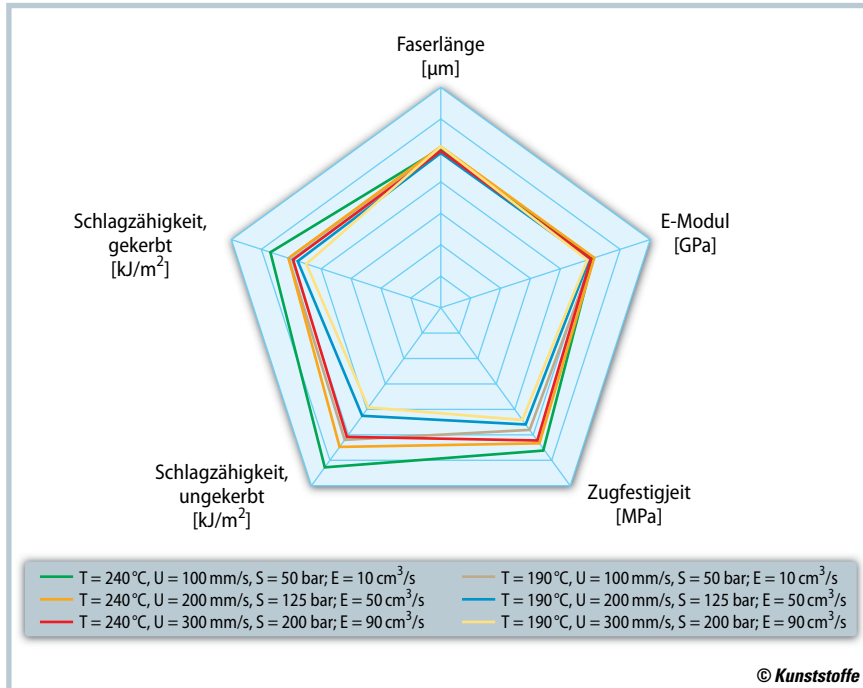


Bild 1. Einfluss unterschiedlicher Verarbeitungsparameter (Temperaturprofil T, Schnecken-Umfangsgeschwindigkeit U, Staudruck S und Einspritzgeschwindigkeit E) auf die Leistungsfähigkeit (Faserlänge, Zugeigenschaften, Charpy-Schlagzähigkeit) des Materials (Quelle: Wood K plus)

wurden das Temperaturprofil, die Schneckendrehzahl (Umfangsgeschwindigkeit), der Staudruck und die Einspritzgeschwindigkeit.

Im Zugversuch nach EN ISO 527 (Typ 1A) wurde an der Referenz ein E-Modul von 11 GPa festgestellt. Die Zugfestigkeit lag im Bereich zwischen 64 und 81 MPa. Nach EN ISO 179 (Charpy-Schlagzähigkeitsprüfung) wurden ungekerbt bis zu 25 kJ/m² und gekerbt bis 5 kJ/m² erreicht. PP-CF-Compounds erweisen sich somit als ein äußerst leistungsfähiges Werkstoffsystem.

Die Festigkeits- und Schlagzähigkeitswerte hängen dabei stark vom Temperaturprofil, von der Scherung beim Plastifizieren (Staudruck, Schneckendrehzahl) und von der Einspritzgeschwindigkeit ab (Bild 1). Eine hohe Schergeschwindigkeit wirkt sich generell negativ aus. Niedrige Umfangsgeschwindigkeit, niedriger Staudruck und niedrige Einspritzgeschwindigkeit hingegen beeinflussen die Schlagzähigkeit und Zugfestigkeit positiv. Ähnliche Prozesseinflüsse sind auch von der Verarbeitung von Langglasfasergranulaten bekannt.

	Faserlänge [µm]	E-Modul [GPa]	Zugfestig- keit [MPa]	Schlag- zähigkeit ungekerbt [kJ/m²]	Schlag- zähigkeit gekerbt [kJ/m²]
T = 240 °C; U = 100 mm/s; S = 50 bar; E = 10 cm³/s	340	11,3	80,5	24,9	5,7
T = 240 °C; U = 200 mm/s; S = 125 bar; E = 50 cm³/s	340	11,3	76,5	21,8	5,1
T = 240 °C; U = 300 mm/s; S = 200 bar; E = 90 cm³/s	330	11,3	75,3	20,2	4,9
T = 190 °C; U = 100 mm/s; S = 50 bar; E = 10 cm³/s	340	11,4	69,8	20,8	5,1
T = 190 °C; U = 200 mm/s; S = 125 bar; E = 50 cm³/s	330	11,1	65,9	17,1	4,8
T = 190 °C; U = 300 mm/s; S = 200 bar; E = 90 cm³/s	340	11,0	63,9	15,6	4,5

Tabelle 1. Materialkennwerte für ein PP-CF bei unterschiedlichen Verarbeitungsparametern: Temperaturprofil T, Schnecken-Umfangsgeschwindigkeit U, Staudruck S und Einspritzgeschwindigkeit E (Quelle: Wood K plus)

Vergleich mit Polypropylen-Glasfasercompound

Beim Vergleich zwischen einem PP-CF und einem PP-GF-Compound bei gleichem Fasergewichtsanteil sind die bekannten und ausgeprägten Unterschiede, wie die höhere Zähigkeit im Glasfaserverbund und die wesentlich höhere Steifigkeit im Carbonfaserverbund, klar ersichtlich (Tabelle 2). Aufgrund der höheren Dichte der Glasfasern ist bei gleichem Faser-Gewichtsanteil der Faser-Volumenanteil im Carbonfasercompound höher. Aufgrund der vergleichsweise geringen Faservolumenanteile (ca. 11 % beim PP-CF und ca. 8 % beim PP-GF) hält sich dieser Unterschied im Faservolumen aber in Grenzen. Trotz der hohen Steifigkeit erreichen CF-PP-Verbunde eine gewisse Zähigkeit. Der Gewichtsvorteil bei PP-CF ist deutlich.

Bedeutsam ist, dass die Compounds eine Dichte nahe 1,0 g/cm³ aufweisen. Die geringe Dichte des Polypropylen kommt somit in zweifacher Hinsicht zur Geltung; in absoluten Zahlen (Dichte ca. 0,91 g/cm³) und aufgrund des hohen Volumenanteils (hier ca. 92 bzw. 89 Vol.-%).

Leistungsfähigkeit eines PP-Compounds mit recycelten Carbonfasern

Im Vordergrund der Untersuchung stand die Frage: Kann ein vergleichbares Leistungsvermögen auch mit Recycling-Carbonfasern (rCF) aus postindustriellen Beständen und Schnittabfällen erreicht werden? Wood K plus untersuchte diesbezüglich zwei selbst entwickelte rCF-PP-Muster-Compounds (Tabelle 3). Diese unterscheiden sich hinsichtlich der verwendeten CF-Schichte. Als Benchmark dient das kommerzielle PP-CF-Produkt. Die Zugfestigkeitswerte der Referenz wurden nicht nur erreicht, sondern sogar deutlich übertroffen, und auch bei der Schlagzähigkeit (ungekerbt) konnte mit dem Recycling-CF in PP als Matrix eine Verbesserung erreicht werden.

Die Versuchsergebnisse hängen entscheidend von der richtigen Kombination aus Haftvermittler (HV) und passender Faserschichte (S1) ab. Für besonders hohe Zugfestigkeitswerte und eine verbesserte Schlagzähigkeit muss eine bestmögliche Faser-Matrix-Anbindung erreicht werden. Nach einer Anpassung der Faserschichte (Vergleich zwischen S1 und S2)

	Dichte [g/cm ³]	E-Modul [GPa]	Zugfestigkeit [MPa]	Schlagzähigkeit Charpy ungekerbt [kJ/m ²]	Schlagzähigkeit Charpy gekerbt [kJ/m ²]
PP-CF20	1,02	11,4	69,8	20,8	5,1
PP-GF20	1,04	4,8	72,2	49,4	10,1

Tabelle 2. Materialkennwerte kommerzieller PP-CF- und PP-GF-Compounds bei jeweils gleichem 20 %-igem Fasergewichtsanteil (Quelle: Wood K plus)

	E-Modul [GPa]	Zugfestigkeit [MPa]	Schlagzähigkeit Charpy ungekerbt [kJ/m ²]	Schlagzähigkeit Charpy gekerbt [kJ/m ²]
PP-CF20 kommerziell	11,4	69,8	20,8	5,1
PP-rCF20 HV S1	11,6	109,6	41,3	6,8
PP-rCF20 HV S2	10,8	85,7	21,3	5,0

Tabelle 3. Leistungsfähigkeit zweier von Wood K plus hergestellter Recycling-PP-CF-Compounds (HV: Haftvermittler; CF-Schlichte variiert: S1 und S2) im Vergleich mit einem kommerziellen CF-PP-Compound mit jeweils 20 % Fasergewichtsanteil (Quelle: Wood K plus)

	Dichte [g/cm ³]	E-Modul [GPa]	Zugfestig- keit [MPa]	Schlagzähigkeit Charpy ungekerbt [kJ/m ²]	Schlagzähigkeit Charpy gekerbt [kJ/m ²]
PP-rCF20 S1	0,99	11,6	110	41	7
PA-GF30 kommerziell	1,36	7,5–9,6	118	71	8

Tabelle 4. Materialkennwerte für ein optimiertes PP-rCF-Compound mit 20 Gew.-% CF und ein kommerzielles PA-GF mit 30 Gew.-% GF (Quelle: Wood K plus)

ist eine enorme Leistungssteigerung erkennbar (**Bild 2**).

Vergleich mit Polyamid-Glasfasercompound

Vergleicht man die Materialkennwerte des optimierten Polypropylen-rCF-Compounds (20 Gew.-% Recycling-Carbonfasern) mit den Kennwerten eines für technische Artikel typischen Polyamid-GF-Compounds (30 Gew.-% Glasfasern), so finden sich wesentliche Unterschiede

in der Dichte, Steifigkeit und Schlagzähigkeit (Charpy, ungekerbt). Das PP-CF-Compound ist hinsichtlich Dichte und Steifigkeit deutlich überlegen. Das Polyamidcompound zeichnet sich durch seine bessere Schlagzähigkeit aus. In Bezug auf die Festigkeit erreicht man zwar mit dem PA-GF etwas höhere Werte, betrachtet man die Eigenschaften aber auf die Dichte bezogen, ist dieser Vorteil weniger bedeutend. Bei steifigkeitsdominierten Bauteilen hat somit PP-CF gegenüber einem PA-GF klare Vorteile (**Tabelle 4**). »

Die Autoren

Dr. Claudia Pretschuh begleitete die Arbeiten als Teamleiterin Materialentwicklung und Spritzguss im Bereich Biocomposites und Processing am Kompetenzzentrum Holz (Wood K plus) in Linz/Österreich;
c.pretschuh@kplus-wood.at

Elisabeth Steidl unterstützte das Projekt als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Biocomposites und Processing am Kompetenzzentrum Holz.

Dr.-Ing. Norbert Müller leitet das Technologiezentrum für Leichtbau-Composites der Engel Austria GmbH in St. Valentin/Österreich; norbert.mueller@engel.at

Prof. Dr.-Ing. Georg Steinbichler ist Leiter Forschung und Entwicklung Technologien der Engel Austria GmbH in Schwertberg/Österreich und Vorstand des Instituts für Polymerspritzgießtechnik und Prozessautomatisierung an der Johannes Kepler Universität in Linz; georg.steinbichler@engel.at

Dank

Die Studie wurde über das Comet Programm der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG finanziert.

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter
www.kunststoffe.de/7964103

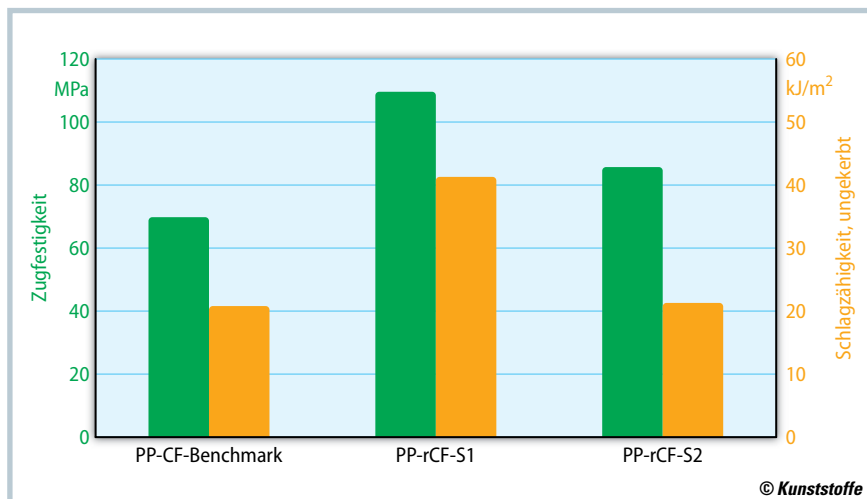


Bild 2. Leistungsfähigkeit zweier Recycling-PP-CF-Compounds (CF-Schlichte variiert: S1 und S2) im Vergleich mit einem kommerziellen PP-CF-Compound als Benchmark. Herausragende Zugfestigkeit und Charpy-Schlagzähigkeit werden durch den Einsatz einer geeigneten C-Faserschlichte (S1) erzielt (Quelle: Wood K plus)

Die Materialentwicklung mit dem PP-rCF lässt erwarten, dass mit etwas höherer rCF-Zugabe (zum Beispiel 22 bis 25 Gew.-%) die Festigkeitswerte des PA-GF30 erreicht oder bereits überboten werden, einhergehend mit einer weiteren Steigerung des E-Moduls. Es bleibt dann bei gleicher Festigkeit ein klarer Steifigkeits- und Gewichtsvorteil bei einer Bauteilausführung mit PP-rCF.

Realen Strukturen nachempfundene Zugstäbe präpariert

Die Kennwerte aus Normzugstäben mit 10 x 4 mm Querschnitt sind für reale Strukturbauteile, die meist eine deutlich geringere Dicke – typischerweise im Bereich zwischen 1,5 und 2,5 mm – aufweisen, nur bedingt aussagekräftig. Im Technikum von Engel wurden daher zentral angespritzte Stufenplatten spritzgegossen, aus denen kleine Prüfstäbe mit 0,5 und

2,0 mm Dicke entnommen werden konnten (EN ISO 527-2 Typ 1BA). Das Recycling-CF-Compound mit passender Faserschlichte (S1) wurde dabei erneut mit dem kommerziellen PP-CF-Material und einem kommerziellen PA-GF30 verglichen (**Tabelle 5**).

Die Messwerte an den Kleinzugstäben mit 0,5 bzw. 2,0 mm Dicke waren durchwegs geringer als die Messwerte an den Normzugstäben. Neben dem Einfluss der Probekörpergeometrie spielt vor allem die Faserorientierung eine dominierende Rolle. Während am Normzugstab in Fließrichtung bzw. in Richtung der Hauptorientierung der Fasern geprüft wurde, sind die Kleinzugstäbe senkrecht zur Fließrichtung entnommen worden.

Prüfkörper bestätigen Ergebnisse

Die an den Normzugstäben erkannten Zusammenhänge bestätigen sich jedoch

auch an den dünnen Prüfkörpern aus den Platten. Das Recycling-Compound mit 20 Gew.-% Carbonfasern zeigte wiederum sehr gute Eigenschaften, nicht nur im Vergleich zum glasfaserverstärkten Polyamid, sondern auch im Vergleich zum kommerziellen PP-Carbonfasercompound.

Fazit

Recycling-Carbonfasern aus Schnittabfällen können problemlos für die Herstellung thermoplastischer Carbonfasercompounds eingesetzt werden. Sie sind im PP-Verbund ebenso leistungsfähig wie herkömmliche PP-CF-Compounds. Dies ermöglicht es, für Spritzgießmaterialien auf Basis von Polypropylen Carbonfaserschnittabfälle, die im Produktionsumfeld anfallen, vollständig zu verwenden. Zudem entsteht ein Material, das in vielen Fällen PA-GF substituieren kann, wobei klare Steifigkeits- und Gewichtsvorteile resultieren. Entscheidend für die Leistungsfähigkeit ist eine passende Schlichte auf der Faser in Kombination mit einem darauf abgestimmten Haftvermittler. Angepasste Verarbeitungsparameter können die Eigenschaften weiter verbessern.

Carbonfasercompounds mit Polypropylenmatrix zeigen im Vergleich zu Glasfasercompounds mit einer Polyamidmatrix besonders gute Steifigkeitswerte, eine ähnliche Festigkeit und etwas niedrigere Schlagzähigkeitswerte. Ausschlaggebend ist aber letztlich die um ca. 25 % geringere Dichte des PP-rCF20-Compounds im Vergleich zum PA-GF30. Wenn für eine Anwendung eine hohe Steifigkeit in Kombination mit einem geringen Bauteilgewicht wichtig ist, dann erweist sich der Einsatz von PP-rCF anstelle von PA-GF als sehr wirkungsvoll. ■

	Dichte [g/cm³]	E-Modul [GPa] 0,5-mm-Platte	E-Modul [GPa] 2,0-mm-Platte	E-Modul [GPa] 4,0-mm-Zugstab	Zugfestigkeit [MPa] 0,5-mm-Platte	Zugfestigkeit [MPa] 2,0-mm-Platte	Zugfestigkeit [MPa] 4,0-mm-Zugstab
PP-CF20 kommerziell	1,03	3,9	6,8	11,4	36	44	69,8
PP-rCF20 S1	1,00	4,5	6,5	11,6	47	62	110
PA-GF30 kommerziell	1,37	2,1	4,3	7,5 – 9,6	44	76	118

Tabelle 5. Prüfwerte zu Probekörpern aus Platten (0,5 mm und 2,0 mm Dicke; Entnahme quer zur Fließrichtung) und von Normzugstäben (4,0 mm Dicke; Prüfung längs zur Spritzrichtung/Faserausrichtung): kommerzielles PP-CF und ein optimiertes PP-rCF, beide mit 20 Gew.-% CF, und ein kommerzielles PA-GF mit 30 Gew.-% GF (Quelle: Wood K plus)