Chopped Fiber Processing – ein ungewöhnlicher Ansatz führt zum Langfaser-Ziel

Schnittglas direkt im Spritzgießprozess verarbeiten

Eine neue Schneckengeometrie für die direkte Verarbeitung von Schnittglasfasern erweitert das Anwendungsfeld für langfaserverstärktes Polypropylen erheblich. Die Produktion solcher Bauteile durch Direktverarbeitung ist wesentlich wirtschaftlicher und nachhaltiger als mit gängigen Langglasfasertechnologien, da Prozessschritte wie das Compoundieren entfallen.

Verarbeitung von Schnittglasfasern auf einer Standard-Spritzgießmaschine. © KraussMaffei

Langfaserverstärkte Thermoplaste werden im Automobilbereich insbesondere bei Bauteilen mit erhöhten mechanischen Anforderungen wie Dauerwechselbeanspruchung eingesetzt. Zudem lässt sich mit langfaserverstärktem Polypropylen (PP-LGF) eine signifikante CO_2- und Materialkosteneinsparung erzielen, wenn beispielsweise Polyamid (PA) substituiert wird. Jedoch ist nicht nur die Relevanz des CO_2-Fußabdrucks gestiegen, sondern auch der Kostendruck für die Verarbeiter. Bestehende Materiallösungen wie PP-LGF-Stäbchengranulate sind demzufolge für eine breitere Anwendung oft zu teuer oder verfahrenstechnische Lösungen zu komplex (wie beispielsweise die Verarbeitung von Endlosfasern im Spritzgießprozess). Daher haben die Projektpartner KraussMaffei Technologies GmbH und Wirthwein SE eine neue Technologie zur Direktverarbeitung von Schnittglasfasern entwickelt, mit der sowohl die Bauteilkosten als auch der CO_2-Fußabdruck reduziert werden. Daraus entsteht für die Anwender ein klarer Wettbewerbsvorteil.

Neue Schneckengeometrie

Die CFP-Technologie (Chopped Fiber Processing) von KraussMaffei setzt auf den für Spritzgießer gewohnten Ansatz,

© Carl Hanser Verlag, München. Vervielfältigungen, auch auszugsweise, sind ohne Lizenzierung durch den Verlag nicht gestattet.

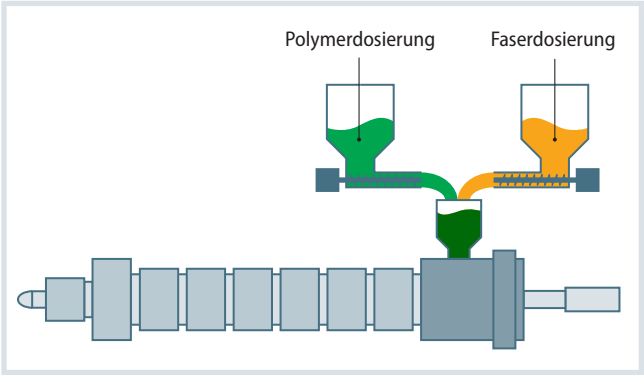

Bild 1. Schematische Darstellung der CFP-Technologie (Chopped Fiber Processing).
© KraussMaffei

in die Einfüllöffnung der Plastifizierung sowohl Fasern – genauer: Schnittglasfasern – als auch Granulat zuzugeben (**Bild 1**). Nur verfahrenstechnisch ist dieser Ansatz insofern ungewöhnlich, als Fasern üblicherweise erst nach dem Aufschmelzen des Polymers zugegeben werden, um eine übermäßige Verkürzung der Faserlänge zu vermeiden. Die neue Verarbeitungstechnik verwendet eine Standard-Spritzgießmaschine, die mit einer neuartigen patentierten Schnecke ausgestattet ist. Ein großer Vorteil der neuen Geometrie ist, dass diese die gemeinsame Verarbeitung von Schnittglasfasern und Matrixmaterial erlaubt, sodass PP-LGF-Bauteile wie beschrieben sehr einfach produziert werden können.

Die spezielle Schneckengeometrie ist so ausgelegt, dass das Aufschmelzen des Matrixanteils der Polymer-Faser-Mischung ohne signifikante Verkürzung der Fasern mit einem schonenden Zerteilen der Schnittglasfaserbündel kombiniert wird. Hieraus resultieren Bauteile mit Faserlängen bis in den Langfaserbereich und großer Homogenität.

Schnittglasfasern sind im Vergleich zu Endlosfasern mit einem wesentlich höheren Anteil an Schlichte und Binder ummantelt, was die Einzelfasern stark aneinanderhaften lässt. Dies verbessert die Rieselfähigkeit der Faserstäbchen und vereinfacht das Handling des Rohstoffs. Im Vergleich zum Standard-Spritzgießen ist lediglich eine zusätzliche Dosiereinrichtung notwendig, um die beiden Materialien (Schnittglas und Polymer) im gewünschten Verhältnis in die Einfüllöffnung dosieren zu können.

Scherdeformation ohne Faserschädigung

Die Schneckengeometrie basiert darauf, dass die Schnittglasfasern unabhängig von ihrer zurückgelegten Fließweglänge immer eine Scherdeformation erfahren, ohne dass die Fasern dabei mechanisch geschädigt werden. Nach Rauwendaal ist die Scherdeformation das Produkt aus Schergeschwindigkeit und Scherzeit [1]. Dabei sollte, um eine maximale Faserlänge beizubehalten, die Schergeschwindigkeit gering und die Scherzeit entsprechend lang sein. Die Scherdeformation der Faseragglomerate ist somit nicht überwiegend von der maximalen Schubspannung abhängig, sondern wird über die Scherzeit angepasst. Daraus resultiert ein besonders faserschonender disperser Mischvorgang, der Faserbruch vermindert.

Nicht zuletzt ist dafür, dass sich Faseragglomerate auflösen, die Orientierung der Faser im Fließkanal ausschlaggebend. Wie erwartet zeigen senkrecht zum Schmelzefluss orientierte Faseragglomerate in Versuchen eine bessere Dispergierung im Matrixmaterial als Faserbündel, die parallel orientiert sind. Daher ist die neue Schneckengeometrie so gestaltet, dass die Faseragglomerate entsprechend umorientiert und quer zur Fließrichtung separiert werden.

Die mechanischen Eigenschaften des PP-LGF-Compounds werden maßgeblich durch den Faseranteil, die Faserlänge, die Faser-Matrix-Haftung sowie die Verteilung der Faser in der Matrix (Homogenität) bestimmt [2]. Dabei ist der Faseranteil in der Regel durch die Auslegung des Bauteils vorgegeben. Die Anbindung an die Matrix wird überwiegend durch chemische Reaktionen zwischen Haftvermittler und Faserschlichte beeinflusst und durch die Materialauswahl bestimmt. Somit können im Verarbeitungsprozess lediglich die resultierende Faserlänge sowie die Verteilung der Fasern in der Matrix beeinflusst werden. Die besten mechanischen Eigenschaften »

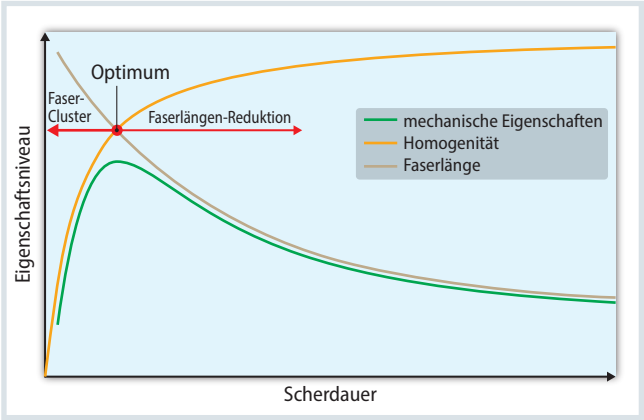

Bild 2. Die besten mechanischen Eigenschaften ergeben sich am Schnittpunkt zwischen Homogenität und Faserlänge.
Quelle: [3]; Grafik: © Hanser

Info

Text

Stefan Schierl ist Leiter Prozessentwicklung & Business Development Technologien bei der KraussMaffei Technologies GmbH, Parsdorf.
Thomas Drogi ist Prozess Ingenieur bei KraussMaffei.
Jan Wiedemann ist Leiter Konzerninnovation und Werkstoffentwicklung bei der Wirthwein SE, Creglingen.
Dominik Schmitt ist Innovationsmanager, Technologien bei Wirthwein.
Lazlo Giesgen ist Senior Research Associate am Thermoplastic Composites Research Center, Enschede/Niederlande.

Service

Infos zu den Projektpartnern:
www.kraussmaffei.com
www.wirthwein.de

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter
www.kunststoffe.de/onlinearchiv

© Carl Hanser Verlag, München. Vervielfältigungen, auch auszugsweise, sind ohne Lizenzierung durch den Verlag nicht gestattet.

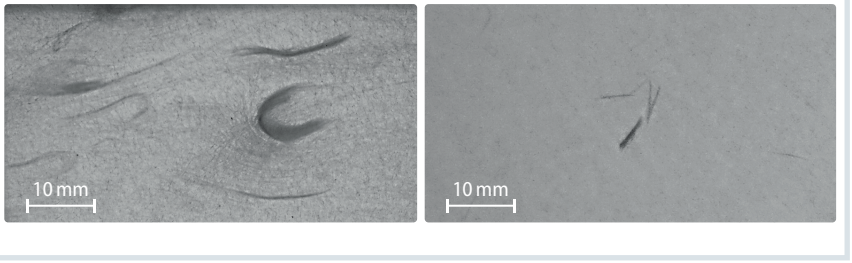

Bild 3. Vergleich der Fasercluster bei Verwendung von LGF-Granulat (links) und der CFP-Technologie (rechts). Quelle: [4]; Grafik: © Hanser

ergeben sich dabei am Schnittpunkt zwischen Homogenität und Faserlänge (**Bild 2**), dem Optimum [3].

Gleichbleibende Faserkonzentration über das Bauteilvolumen angestrebt

Faseranhäufungen führen zu einer lokal überproportionalen Versteifung und damit zu einer lokalen Versprödung des Bauteils. Daher ist es so, dass derartige Faseranhäufungen – entgegen der Intension der Faserverstärkung – das Bauteil schwächen. Eine gleichbleibende Faserkonzentration in sämtlichen Volumenbereichen des Bauteils ist für die mechanischen Eigenschaften genauso bedeutend wie Faseranteil, Längenverteilung oder Faser-Matrix-Anbindung.

Für die Bewertung der Homogenität auf Filamentebene wurden Prüfplatten aus PP-LGF ohne Einfärbung gefertigt (**Bild 3**). Durch gängige Bildanalyseverfahren wurden anschließend die Fasercluster (Agglomerate) detektiert [4]. Daraus lässt sich die Clusterfläche ableiten, die ins Verhältnis zur Gesamtfläche der Platte gesetzt wird, um eine Kennzahl für den Clusteranteil zu erhalten.

Eine homogenere Faserverteilung ist gegeben, wenn ein geringerer Faserclusteranteil vorliegt, wodurch die oben genannten lokalen Versprödungen reduziert werden können.

Die Analyse der Faserlänge erfordert Sorgfalt und Erfahrung, da beispielsweise in einem Bauteil aus einem kurzfaserverstärkten PP-GF30 ca. 900 000 Fasern je Gramm Bauteilgewicht vorhanden sind (Filamentdurchmesser 13 µm, arithmetisch gemittelte Faserlänge 1 mm, Dichte der Glasfasern 2,6 g/cm^3). Dies entspricht ca. 900 Millionen Einzelfilamenten bei einem Schussgewicht von 1 kg.

Stand der Technik sind bildbasierte Messmethoden (zum Beispiel FiVer oder FASEP), die softwaregestützt die Analyse von 20 000 bis 150 000 Einzelfilamenten erlauben [5]. Dennoch wird damit nur ein Bruchteil der vorhandenen Fasern analysiert, weshalb Probenauswahl (Bindenahtbereich sowie angussnah oder -fern) und Probenpräparation von besonderer Bedeutung sind. Wesentliche Kenngrößen der Faserlängenanalyse sind die gewichtete mittlere Faserlänge und die gewichteten mittleren D50-Quantile. Für beide Kenngrößen werden oft Faserlängen von > 1 mm gefordert.

Dispergierung der Fasern beeinflusst mechanische Eigenschaften positiv

Die gezeigten Faserlängenanalysen (**Bild 4**) wurden für identischen Randbedingungen (Bauteil, Position am Bauteil, Werkzeug, Maschinengröße, Faserlängenanalysetool sowie Matrixmaterial) erstellt. Im Vergleich zwischen einer Spritzgießmaschinen-basierten Endlosfaser-Direktverarbeitung und der CFP-Technologie zeigen sich deutliche Unterschiede bei der gewichteten mittleren Faserlänge und den D50-Quantilen. Die Endlosfaser-Direktverarbeitung weist hier – erwartungsgemäß – um ca. den Faktor 3 höhere Werte auf. Jedoch unterscheidet sich auch das Verhältnis zwischen der gewichteten mittleren Faserlänge *LP* und der arithmetisch gemittelten Faserlänge *LN*, was auf eine multimodale Faserlängenverteilung hinweist und somit auf eine verringerte Dispergierung der Fasern bei der Endlosfaser-Direktverarbeitung schließen lässt.

Ausgehend von diesen Faserlängenanalysen wäre es vermeintlich naheliegend, dass die mechanischen Eigenschaften der im CFP-Verfahren hergestellten Bauteile im Vergleich geringer sind. Jedoch zeigt die Prüfung der Bauteile, dass die eingangs aufgestellte These stimmt: Faserlänge und Dispergierung bestimmen die mechanischen Eigenschaften. Die sehr gute Dispergierung der Fasern mittels CFP-Technologie beeinflusst die mechanischen Bauteileigenschaften somit positiv. Darüber hinaus sind im Vergleich zur Endlosfaser-Direktverarbeitung kaum Faseragglomerate vorhanden, die wie oben beschrieben zu einer Bauteilschwächung führen. Zusätzlich werden die mechanischen

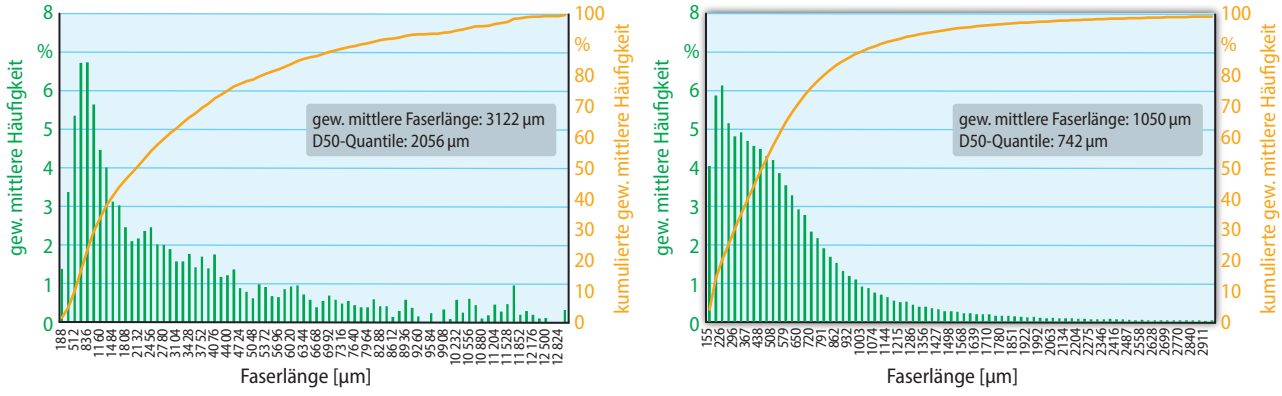

Bild 4. Faserlängenverteilung für Endlosfaser-Direktverarbeitung (EFDV, links) und CFP-Technologie (rechts). Quelle: [7]; Grafik: © Hanser

© Carl Hanser Verlag, München. Vervielfältigungen, auch auszugsweise, sind ohne Lizenzierung durch den Verlag nicht gestattet.

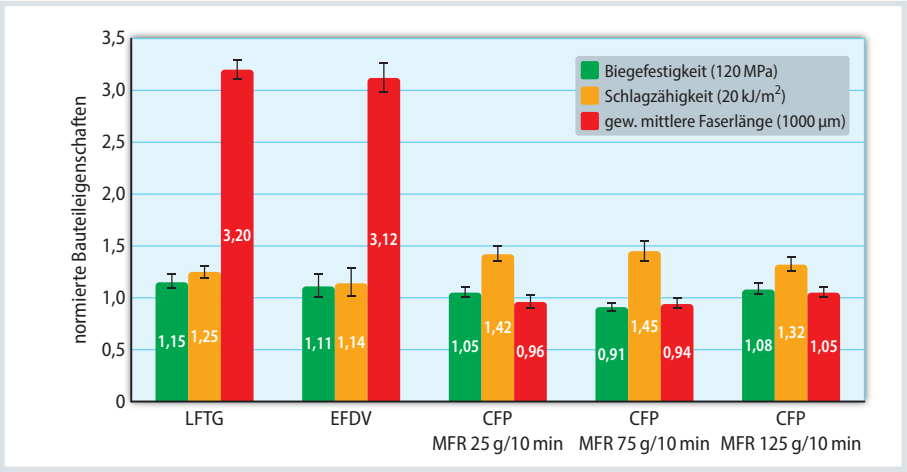

Bild 5. Bauteileigenschaften und Faserlängen im Vergleich für LGF-Granulat, Endlosfaser-Direktverarbeitung (EFDV) und CFP-Technologie. Quelle: KraussMaffei; Grafik: © Hanser

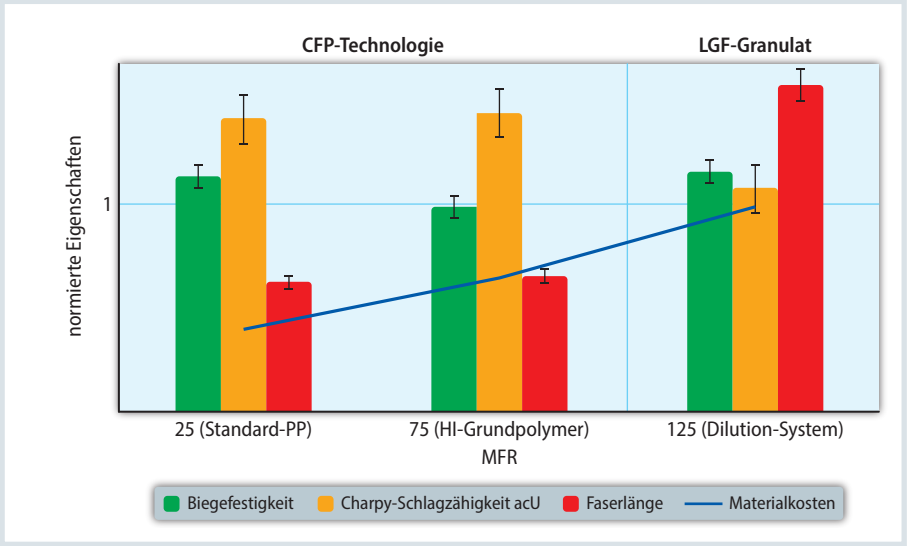

Bild 6. Normierter Vergleich der mechanischen Eigenschaften und Materialkosten der CFP-Technologie mit einem Dilution-System. Quelle: Wirthwein; Grafik: © Hanser

Eigenschaften und mittleren Faserlängen der mittels CFP hergestellten Bauteile sowohl mit dem Endlosfaser-Direktverfahren als auch mit dem Benchmark „Stäbchengranulat" verglichen (**Bild 5**) und bei der CFP-Technologie verschieden viskose Matrixmaterialien (MFR 25 bis 125 g/10 min) eingesetzt.

Vergleich mit Stäbchengranulat und Endlosfaser-Direktverarbeitung

Die Langglasfaser-Verarbeitungsmethoden (Stäbchengranulat „LFTG" und Endlosfaser-Direktverarbeitung „EFDV") erreichen im Vergleich zu CFP zwar höhere Faserlängen, jedoch vergleichbare Eigenschaften. Insbesondere bei der Schlagzähigkeit zeigen sich für CFP höhere Kennwerte, was so nicht erwartet wurde. Wiederum zeigt sich, dass die Homogenität genauso bedeutend für die mechanischen Eigenschaften ist wie die Faserlänge. Nach Thomason und Vlug [6] wäre für eine weitere Steigerung der mechanischen Eigenschaften eine Verzehnfachung der Faserlänge notwendig. Bei einer ausreichend gewährleisteten Homogenität der Fasern genügt daher die mit dem CFP-Verfahren erreichte Faserlänge.

Anders als angenommen, hängen die Bauteileigenschaften deutlich weniger vom Fließverhalten der Matrix und der Faserlänge als vielmehr von der Verteilung und der Interaktion der Faser sowie vom eingesetzten Grundpolymer ab (**Bild 6**). Im Vergleich zu aktuell sehr häufig verwendeten Dilution-Systemen – in denen ein Konzentrat (LGF-Granulat) mit einem Verdünner-PP (MFI > 120) vermischt wird, um die Materialkosten zu senken – »

© Carl Hanser Verlag, München. Vervielfältigungen, auch auszugsweise, sind ohne Lizenzierung durch den Verlag nicht gestattet.

können durch die CFP-Technologie sehr günstige PP-Typen oder PP-Typen mit unterschiedlichen Eigenschaften (erhöhte Schlagzähigkeit, UV-Schutz, etc.) in einem breiten Viskositätsbereich eingesetzt werden.

Zukünftig ist es denkbar, eigene maßgeschneiderte Rezepturen durch den gezielten Einsatz von Additiven (zum Beispiel Thermostabilisatoren) herzustellen. Aktuell untersucht die Wirthwein SE zudem den Einsatz von Rezyklaten (PIR und PCR) zur Herstellung von LGF-Bauteilen mit der neuen CFP-Technologie. Das Verfahren bietet eine hohe Flexibilität, PP-LGF-Compounds maßgeschneidert herzustellen und sowohl technologisch als auch wirtschaftlich genau an den jeweiligen Einsatzfall anzupassen. So können im Vergleich zu einem konventionell hergestellten Stäbchengranulat zum einen die Kosten deutlich reduziert (aktuell bis zu 30 %) und zum anderen der PCF (Product Carbon Footprint) gesenkt werden (bis zu 10 %).

Ausblick

Das Hauptanwendungsfeld für die Direktverarbeitung von Schnittglas liegt neben Anwendungen im Automobilbereich auch im Energiesektor, da die Kombination von hohen mechanischen Eigenschaften und wirtschaftlichen Herstellungsprozessen den aktuellen Anforderungen entspricht. Zukünftig ist geplant, bestehende LGF-Materialsysteme durch die Direktverarbeitung von Schnittglas zu ersetzen, um ökologische und ökonomische Vorteile zu generieren. Mit der neuen Verarbeitungstechnik wird das bisher bestehende Dilemma, entweder lange Fasern oder eine homogene Vermischung zu erreichen, gelöst. Die im CFP-Verfahren produzierten Bauteile zeigen mit Stäbchengranulat vergleichbare Eigenschaften bei deutlich reduzierten Kosten und einem geringeren CO_2-Fußabdruck, da ein Compoundierschritt entfällt. ■

© Carl Hanser Verlag, München. Vervielfältigungen, auch auszugsweise, sind ohne Lizenzierung durch den Verlag nicht gestattet.