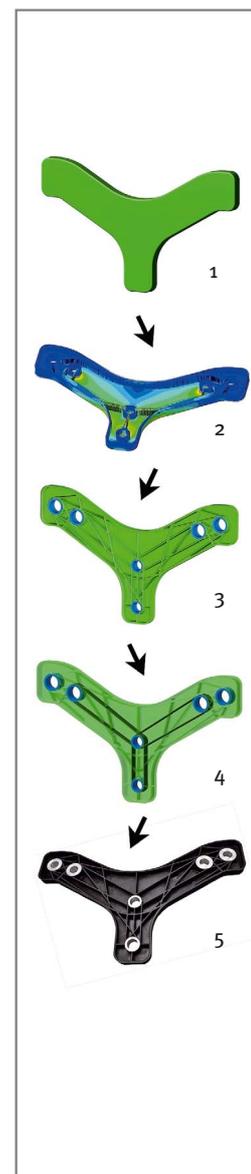
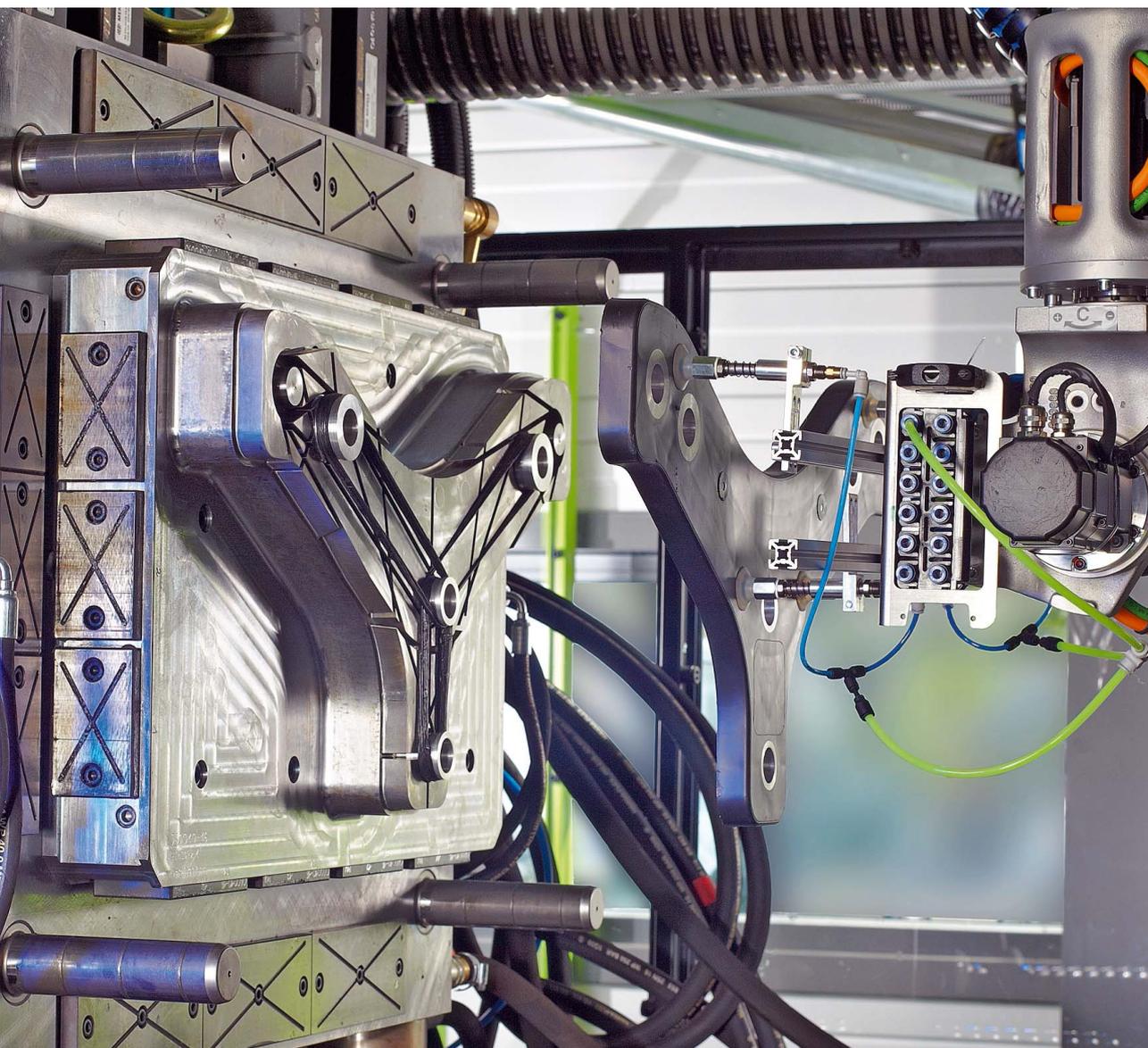
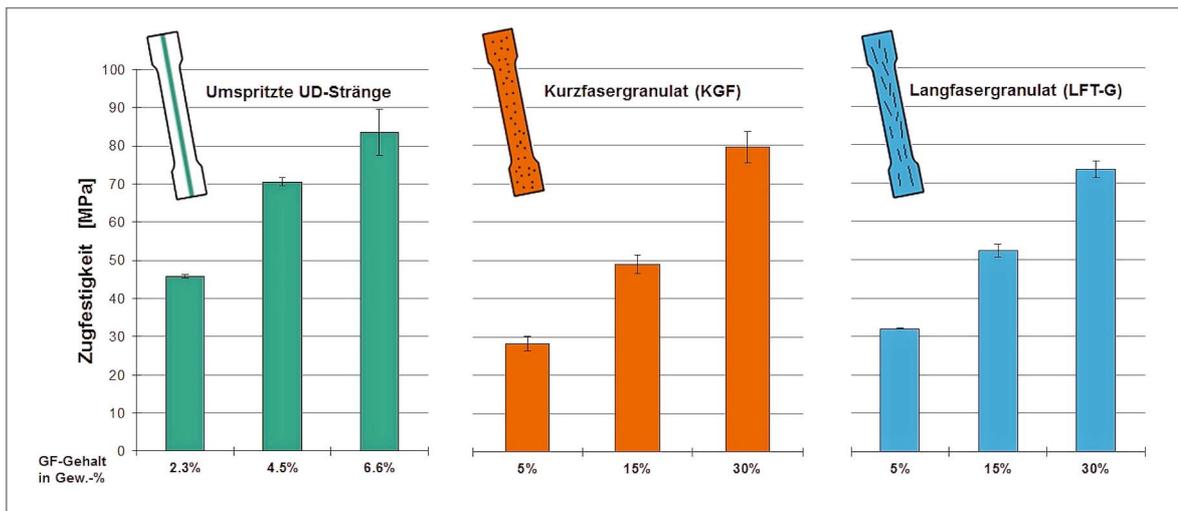


Endlosfaserverstärkte Leichtbau-Strukturen aus der Spritzgießmaschine sind keine Utopie

Der Spritzgießer kann auch Leichtbau

Industrie und Forschung entwickeln Methoden, mit denen auch Spritzgießer besonders leichte Faserverbundstrukturen (Composites) herstellen können. Die Kern-Technologie bleibt das Spritzgießen. Das Beste: Manche dieser Ansätze lassen sich schon heute in großen Serien umsetzen.





Gerichtete Endlosfasern mit einem Gewichtsanteil von nur 6,6 % im Spritzgießbauteil erreichen in etwa dieselben Zugfestigkeiten wie Kurz- oder Langfaserverstärkungen mit einem Gewichtsanteil von 30 % (Materialsystem PP/GF). Die Ausgangsfaserlängen vor dem Spritzgießprozess liegen dabei unter 1 mm beim Kurzfasergarnulat (orange) und bei rund 11 mm beim Langfasergarnulat (türkis)

Wissenschaftler am Fraunhofer ICT in Pfinztal forschen intensiv an neuen Prozessen und Werkstoffen, um leichte, strukturelle und semistrukturelle Kunststoffkomponenten herzustellen. In viele Projekte ist die Industrie bereits eingebunden. Im Bereich der thermoplastischen, großserienfähigen Spritzgießverarbeitung stehen derzeit drei Ansätze im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten: die lokale Endlosfaserverstärkung (Tailored Injection Molding), das Spritzgießcompoundierverfahren, um Spritzgießteile und -strukturen mit längeren Verstärkungsfasern als bisher auszustatten (LFT-D-Injection Molding mittels IMC) und das Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG). Darauf wird im folgenden Überblick zusammenfassend eingegangen:

Lokale Endlosfaserverstärkung

Bauteile, deren Belastungsart und Designraum bekannt sind, können in belastete und weniger belastete Bereiche unterteilt werden. Dadurch lassen sich Kraftflusslinien im Bauteil ermitteln, die modellhaft den Verlauf der zu übertragenden Kräfte darstellen. Werden Endlosfaserstrukturen entlang dieser Linien zwischen den Kräfteinleitungspunkten eingebracht, entstehen hochbelastbare Hybridbauteile mit gewichtsspezifisch sehr

guten Festigkeitseigenschaften. Essentiell wichtig sind dabei die optimale, lastorientierte Ausrichtung sowie eine möglichst direkte Einleitung der äußeren Lasten in die Verstärkungsfasern. Diese werden nur dort im Bauteil angeordnet, wo sie nötig sind („Tailoring“ – gezielte Bauteilverstärkung).

Das Potential der endlosen, lokalen Faserverstärkung wird am Beispiel einer einfachen Zugstabgeometrie deutlich: In Grundlagenuntersuchungen am Fraunhofer ICT wurden unidirektionale Glasfasereinleger (UD-Stränge) durch einen Pultrusionsprozess aus Hybridings (PP/GF60) hergestellt und im Spritzgießprozess mit unverstärktem Polypropylen umspritzt. Die Zugprüfkörper wurden dabei axial mit einem, zwei und drei UD-Strängen verstärkt und mit Referenzprüfkörpern aus verarbeitetem Kurzglasfaser- (KGF) und Langglasfasergranulat (LFT-G) mit unterschiedlichen Glasfaseranteilen verglichen. Die Ausgangsfaserlängen von KGF liegen dabei unter 1 mm, die von LFT-G bei rund 11 mm. Wie das Diagramm (oben) zeigt, erreichen gerichtete Endlosglasfasern mit einem Gewichtsanteil von beispielsweise nur 6,6 % (drei UD-Stränge) dieselben Zugfestigkeiten, für die sonst 30 % KGF/LFT-G notwendig wären.

Thermoplaste mit Endlosfaserverstärkungen zeichnen sich außerdem durch eine geringere Kriechneigung und eine höhere Wärmeformbeständigkeit als rein kurz- oder langfaserverstärkte Kunststoffe aus.

Eine weitere Möglichkeit zur lokalen Verstärkung thermoplastischer Strukturbauteile stellt das Tapelegen vorimprägnierter UD-Bänder dar (Thermoplast-Tapelegen). Am

Fraunhofer ICT ermöglicht das sogenannte Relay-Verfahren der Fiberforge Corp. eine automatisierte Ablegeprozedur mit einem ausreichend hohen Materialdurchsatz, was diesen Prozess für Mittel- und Großserienanwendungen einsetzbar macht.

Vorimprägnierte, unidirektional verstärkte Bänder (UD-Tapes) werden auf einem verfahrenbaren Tisch schichtweise zu einem Gelege platziert. Dabei kann die Orientierung der Tapes (und somit der Fasern) nahezu stufenlos über die Rotation des Tisches eingestellt und auf den jeweiligen Belastungsfall angepasst werden. Um die weiterführende Handhabbarkeit der Gelege sicherzustellen, werden die Einzelschichten zudem durch Ultraschallschweißen punktuell miteinander verbunden. Mit der am ICT vorhandenen Anlage dieses Typs lassen sich Gelege mit einer Größe von bis zu 2 m x 2 m herstellen.

Zu den verfahrensseitigen Vorzügen dieser Technologie zählen:

- Schnelle, positionsgenaue Tape-Ablage mit beliebiger Orientierung
- Realisierung variierender Wandstärken
- Minimierung von Produktionsabfällen
- Herstellung hybrider Gelege

Insbesondere der minimierte Verschchnitt ist ein grundlegender Vorteil gegenüber Gewebhalbezeugen.

Nach dem Ablegeprozess werden die einzelnen Tape-Lagen in einem Konsolidierungsschritt unter Wärmeeinwirkung verpresst und gegebenenfalls umgeformt. Bedingt durch den hohen Fasergehalt der unidirektionalen Tapes (etwa 40 bis 60 Volumenprozent), ist die Umformbarkeit und Fließfähigkeit beim

In die Spritzgießform werden Endlosfaserverstärkungen entlang den Kraftflusslinien eingelegt. Iterationsschritte bis zum Produkt: 1. Designraum, 2. FEM-Analyse der Lastpfade, 3. Optimierte Bauteile, 4. Bauteil mit gewickelten Endlosfaserverstärkungen, 5. Reales Spritzgießteil mit Verstärkungsstrukturen und metallischen Kräfteinleitungspunkten (5) Alle Bilder und Grafiken: Fraunhofer ICT, Pfinztal



Mit der Anlage Fiberforge-Relay 2000 lassen sich UD-Tapes schichtweise zum anwendungsspezifischen Gelege platzieren. Durch den hohen Durchsatz eignet sich das Verfahren für mittlere und große Serien

Faserlängenvorteil durch Spritzgießdirektverarbeitung (LFT-D) gegenüber der Verarbeitung von Stäbchengranulaten (LFT-G): Die Bilder zeigen das Glasfasergerüst eines Spritzgießbauteils nach einer Veraschung



Thermoformen allerdings limitiert. Um komplexe Geometrien zu realisieren (wie Rippen), Funktionen zu integrieren (wie Schraubdomme, Schnapphaken) sowie zum Ausfüllen des Designraumes ist eine Kombination mit kurzfaserver- oder langfaserverstärktem Material notwendig. Hierzu eignet sich insbesondere das – bei Bedarf hochautomatisierte – Hinterspritzen von lasttragenden Elementen.

Injection Molding Compounder (IMC)

Beim Spritzgießcompoundierverfahren (engl. Injection Molding Compounding – IMC) werden die beiden Prozessschritte Compoundieren und Formgebung innerhalb der Wertschöpfungskette auf einer Maschine miteinander verknüpft. Ein Doppelschneckenextruder (DSE) plastifiziert und dispergiert das Rohmaterial (Basis-Polymer, Additive,

Füll- und Verstärkungsstoffe), das anschließend an die Spritzeinheit übergeben und in die Kavität eingespritzt wird. Durch das faserschonende Einarbeiten von Endlosfasern über den DSE lassen sich im Bauteil wesentlich höhere Faserlängen als beim konventionellen Spritzgießen mit Stäbchengranulaten (LFT-G) erzielen, was mit einer signifikanten Steigerung der mechanischen Eigenschaften einhergeht, insbesondere bei schlagartiger Belastung, sowie hohen Gebrauchstemperaturen. Deutliche Materialkostensparnisse durch das Direktverarbeiten der Rohmaterialien rechtfertigen die hohen Investitionskosten für diese Anlagentechnik. Sie machen den Prozess bei hohen Stückzahlen äußerst wirtschaftlich.

Nachgefragt

„Spritzgegossene Faserverbund-Bauteile haben großes Potenzial“



Dipl.-Ing. Timo Huber ist Teamleiter Thermoplastverarbeitung beim Fraunhofer-Institut für Chemische Technologien (ICT) in Pfinztal

» Wie nahe an der industriellen Anwendung sind diese Leichtbau-Technologien für Spritzgießer?

Teils zählen sie schon zum Stand der Technik wie das Schaumspritzgießen. Die Endlosfaser-Verstärkung hingegen befindet sich an der Schwelle zur industriellen Umsetzung. Viel bewegt sich: Im Audi A8 gibt es zum Beispiel schon eine Anwendung mit Organoblechen, also gewebten Strukturen. Und das Fraunhofer ICT ist in etliche Projekte mit Industriepartnern involviert.

» Braucht es teure Zusatzausrüstungen?

Ja, wie bei allen Sonderverfahren ist ein zusätzlicher Invest notwendig. Der sich aber lohnt. Denn mit diesen Spritzgießmethoden lassen sich vollautomatisiert Leichtbauteile mit großem Nutzen herstellen.

» Haben derartige ultraleichte, spritzgegossene Composites eine Perspektive in der Industrie?

Auf jeden Fall. Wir schätzen das Potenzial sehr hoch ein. Dafür spricht zum einen, dass es sich beim Spritzgießen um eine etablierte, großserientaugliche Fertigungstechnik handelt. Zum anderen sind thermoplastische Faserverbundbauteile generell auf dem Vormarsch, weil sie sehr viele Vorteile bieten.

Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG)

Eine weitere Möglichkeit, das Gewicht von Spritzgießbauteilen zu minimieren, ist das Thermoplast-Schaumspritzgießen. Beim TSG wird die Polymerschmelze mit einem Treibmittel beladen, das nach dem Einspritzen zum Aufschäumen der Formmasse in der Kavität führt. Prozessbedingt bildet sich dabei eine Integralschaumstruktur mit geschäumtem Kern und kompakter Randschicht aus. Über den Querschnitt betrachtet ergeben sich unterschiedliche lokale Dichten und E-Moduli. Vereinfacht können geschäumte Bauteile modellhaft auch als Sandwichstruktur betrachtet werden.

Das TSG bietet im Vergleich zum Kompaktspritzgießen viele prozessbedingte Vorteile:

- Gewichts- und Materialersparnis
- Erhöhte Maßhaltigkeit, da weniger oder keine Einfallstellen auftreten und weil Bau-

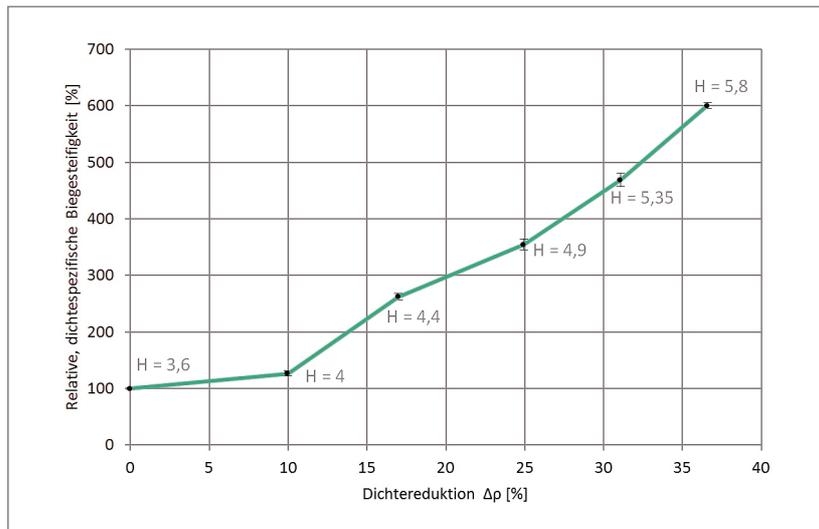
teile mit geringen Eigenspannungen entstehen (weniger Verzug)

- Größere Wandstärken und Wanddickensprünge realisierbar (Spritzen von dünn nach dick)
- Schnelleres Erreichen der Entformungssteifigkeit
- Energieersparnis durch
 - signifikant kürzere Zykluszeiten,
 - kürzeren/wegfallender Nachdruck,
 - niedrigere Prozesstemperaturen,
 - geringere Schließkräfte/Formindrücke

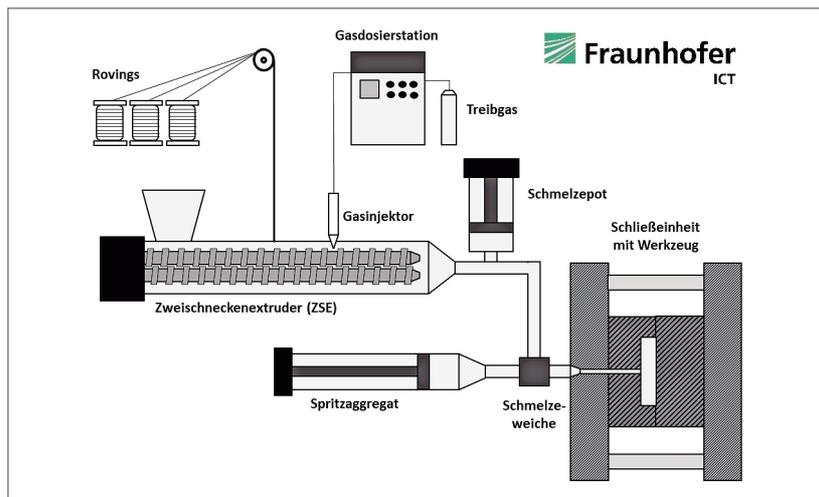
Beim TSG gibt es noch einen weiteren Effekt. Das im Polymer gelöste Treibmittel setzt die Viskosität der Schmelze signifikant herab. Damit lassen sich längere Fließwege erreichen, die Teile können noch dünner und leichter werden – sogar ohne dass es zum Schäumen kommen muss. Durch die so verbesserte Fließfähigkeit lässt sich außerdem die Zahl der Anspritzpunkte und Bindenähte reduzieren, wodurch die Teile stabiler werden oder sich mit kleineren Wandstärken und weniger Gewicht auslegen lassen.

Der größte Leichtbaueffekt liegt jedoch in der Sandwichstruktur geschäumter Bauteile begründet. Das Sandwich entsteht nicht wie sonst üblich exsitu durch Fügen von Deckschichten auf einen Kern, sondern prozessbedingt insitu im Spritzgießwerkzeug: Das Treibmittel führt zu einem Aufschäumen des Kerns, der von einer ungeschäumten, kompakten Außenhaut umgeben ist. Durch TSG lassen sich folglich mit gleichem Materialeinsatz dickere Bauteile herstellen. Die Biegesteifigkeit S steigt dabei deutlich, weil die Wanddicke in der 3. Potenz in das Flächenträgheitsmoment I eingeht ($S = E \cdot I$).

Großes Potential zeigt die Verfahrensvariante „Atmendes Werkzeug“, bei der bei kleinem Anfangsspalt eingespritzt und die Kavität anschließend auf die Endwandstärke vergrößert wird. Bei diesem Öffnungshub expandiert die treibmittelbeladene Formmasse durch den einsetzenden Aufschäumvorgang. Was dabei machbar ist, zeigen Proben mit unterschiedlichen Endwandstärken und Dichtereduktionen, aber konstantem Flächengewicht (weil der Ausgangsspalt beim Einspritzen immer gleich bleibt). Das Diagramm (oben) zeigt am Beispiel eines PP-LGF30-Schaumsandwichs bei einer Dichtereduktion von 37 % eine um den Faktor 6 erhöhte Biegesteifigkeit, verglichen mit Kompaktspritzgießen. Nachteilig sind die meist verringerten Zugfestigkeiten und die an der Bauteiloberfläche auftretenden Schlieren.



Das Thermoplastschäumen lässt die Biegesteifigkeit bei einer Dichtereduktion von 37 % um den Faktor 6 steigen. Das Diagramm zeigt die dichtespezifische Biegesteifigkeit von LFT-D-Schaumstrukturen (PP-LGF30) bei unterschiedlichen Kombinationen aus Dichtereduktion $\Delta\rho$ und Endwanddicke H gegenüber kompakten Referenzproben ($\Delta\rho=0$ %)



Anlagenskizze für das LFT-D-Schaum-Verfahren, um Langfaser-verstärkte Polymerschäume herzustellen – eine ICT-Entwicklung. Das „D“ steht für Spritzgießdirektverarbeitung und sorgt für einen Faserlängenvorteil

Die Wahl des Werkstoffes in diesem Versuch (zu 30 % langfaserverstärktes PP) weist auf eine spezielle Entwicklung am Fraunhofer ICT hin, die zusätzlich in diese Arbeiten einfließt: Mit dem LFT-D-Schaumverfahren gelingt es, langfaserverstärkte Polymerschäume herzustellen, wobei der in den Prozess integrierte Injection Molding Compounder (IMC) für einen Faserlängenvorteil sorgt (das „D“ steht für Spritzgieß-Direktverarbeitung).

Das ICT nutzt Anlagen zum Schaumspritzgießen mit chemischen und physikalischen Treibmitteln für Forschungsprojekte und Industriekunden. Neben dem LFT-D-Schaum-Verfahren ist ab Januar 2013 zusätzlich eine MuCell-Schaumspritzgießeinheit mit einer für lang-

faserverstärkte Formmassen optimierten LGF-Schnecke (X 8000, \varnothing 80 mm) verfügbar. Nähere Infos erhalten Fakuma-Besucher auf dem Messestand des Fraunhofer ICT.

■ **Dipl.-Ing. Alexander Roch**

Thermoplastverarbeitung, Spritzgieß-compoundieren (IMC) / Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG)

Dipl.-Ing. Timo Huber

Teamleiter Thermoplastverarbeitung, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal

* Fraunhofer ICT auf der Fakuma: Halle B2, Stand 2104 www.ict.fraunhofer.de