

Prozesstechnik für die Verarbeitung kreislauffähiger Materialien

## Leichtbau mit nur einem Material

Für den Leichtbau bieten sich in vielen Fällen faserverstärkte Kunststoffe an. Sie lassen sich jedoch in der Regel schlecht recyceln. Eine Alternative zu den üblichen Faserverbundkunststoffen stellen selbstverstärkte Monomaterialien dar. Durch eine spezielle Prozesstechnik und die Kombination mit einem thermoplastischen Schaum werden die Leichtbaupotenziale weiter gesteigert.

Ein großer Vorteil selbstverstärkter Kunststoffe ist, dass sie in der für das Einsatzgebiet passendsten Morphologie verwendet werden können.

© Fraunhofer ICT



tung gestaltet sich aufgrund der Faser-einkürzung während des Recyclings als schwierig. Einen alternativen Lösungsansatz bilden thermoplastische, selbstverstärkte Kunststoffe, welche nur auf einem Material basieren.

Das Geheimnis selbstverstärkter Kunststoffe liegt in der Ausnutzung der molekularen Strukturen. Beispielsweise sind die Bindungsenergien innerhalb einer Molekülkette um ein Vielfaches höher als zwischen den Molekülen. Um diesen Effekt auszunutzen, ist eine gezielte Orientierung der Moleküle erforderlich (**Bild 1**). Durch Faserspinnen und anschließendes Verstrecken kann der Orientierungsgrad und damit die Mechanik gezielt eingestellt werden. Das ermöglicht den Einsatz von Polymerfasern als Verstärkungsfasern. Eingebettet in eine Matrix basierend auf dem gleichen Polymer entsteht somit ein selbstverstärkter Kunststoff. Aktuelle Forschungsprojekte am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT fokussieren sich auf die Verarbeitung von rezyklatbasiertem Polyethylenterephthalat (PET) und dem Biokunststoff Polylactid (PLA). Neben diesen sind Polypropylen (PP) und Polyamide (PA) weitere vielversprechende Polymere für eine Anwendung des Prinzips.

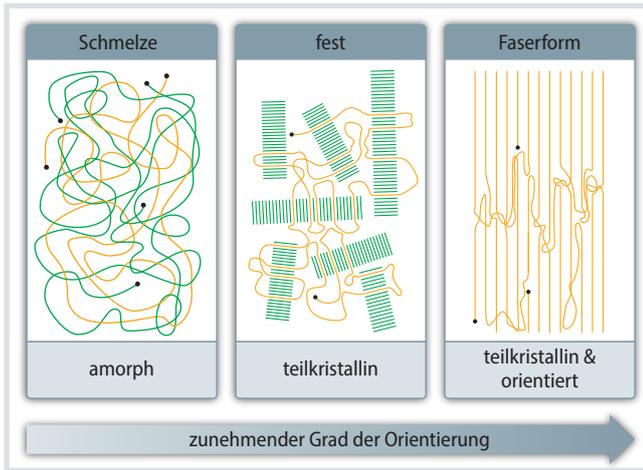
**K**unststoffe stehen aufgrund der Müllproblematik immer häufiger in der Kritik von Politik und Gesellschaft. Das schlägt sich sowohl auf nationaler wie internationaler Ebene immer häufiger auch in der Gesetzgebung nieder. Ein aktuelles Beispiel ist die geplante Novellierung der EU-Altfahrzeugverordnung. Diese fordert für Neufahrzeuge die Nutzung von 25 % Kunststoffrecykat, das anteilig aus Altfahrzeugen stammen

muss. Um das zu erreichen, ist somit ein Ausbau des Recyclings notwendig.

Gleichzeitig soll auch der Ressourcenverbrauch für Produkte gesenkt werden, um damit den Klimawandel einzudämmen. Eine Lösung dafür ist im Automobilbereich etwa der Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen (FVK) für Leichtbaukomponenten. Diese zeigen ihre Vorteile vor allem während der Nutzungsphase, aber die Wiederverwer-

### Die Dichte macht den Unterschied

Die Mechanik selbstverstärkter Kunststoffe unterscheidet sich von konventionell verstärkten Organoblechen (Zugeigenschaften siehe **Tabelle** und **Bild 2**). Im absoluten Vergleich der Zugmodule und der Zugfestigkeiten unterliegen die selbstverstärkten Monomaterialien. Wird jedoch die Dichte mit einbezogen und die gewichtsspezifischen Größen betrachtet, nähern sich



**Bild 1.** Durch eine gezielte Einstellung der Orientierung der Polymermoleküle kann die Mechanik gesteuert werden.

Quelle: Fraunhofer ICT; Grafik: © Hanser

die Kennwerte an. Das trifft insbesondere auf die Bruchfestigkeiten zu. Ein weiterer Vorteil besteht in der deutlich höheren Bruchdehnung und dem damit verbundenen Energieabsorptionsvermögen. Dennoch besteht ein Defizit in Bezug auf die Steifigkeit.

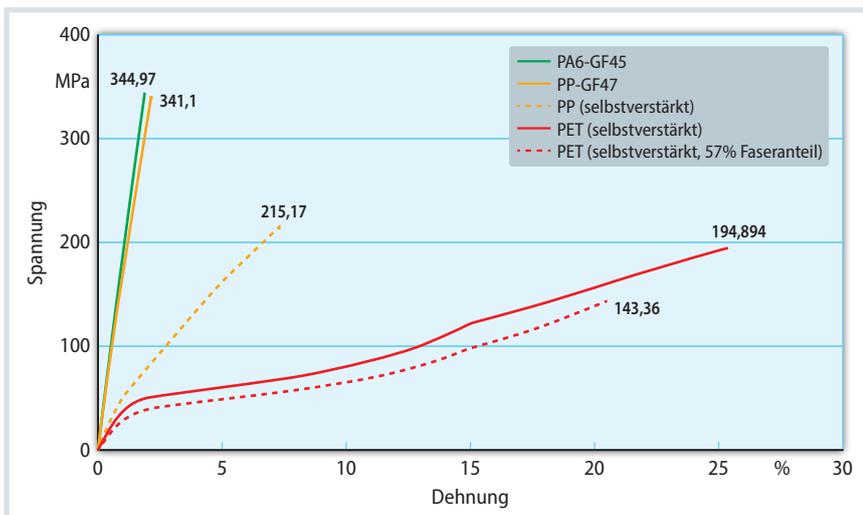
**Maximierung des Leichtbaupotenzials**

Dieses Defizit schränkt die möglichen Anwendungsgebiete der selbstverstärkten Kunststoffe auf den ersten Blick ein. Polymere können jedoch neben der Kompakt- und Faserform auch noch in weiteren Morphologien, etwa zu Strukturschäumen, verarbeitet werden. Durch einen Schmelz-Füge-Prozess ist es möglich, all diese Morphologien zu einer Monomaterialsandwichstruktur klebstofffrei zu verbinden. Die dadurch erzielte

geometrische Versteifung führt zu einer überproportionalen Steigerung der Performance bei minimaler Massenzunahme (**Bild 3**).

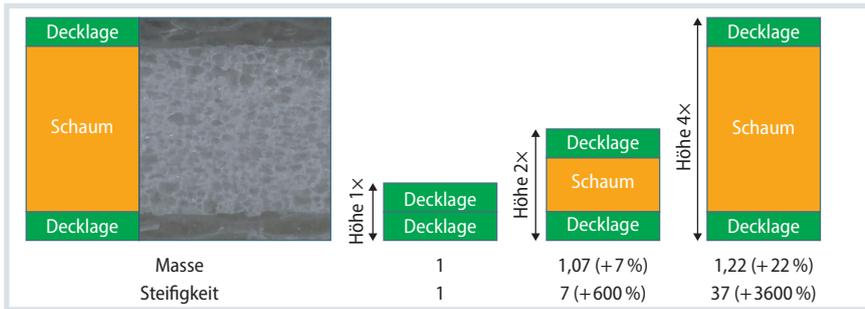
Um das Leichtbaupotenzial weiter auszuschöpfen, kann außerdem der prozentuale Verstärkungsfaserteil ohne Auswirkung auf die Gesamtdichte erhöht werden, da Verstärkungs- und Matrixfasern annähernd die gleiche Dichte aufweisen. Durch die Anwendung des Sandwichansatzes und der Selbstverstärkung ist es möglich, mit nur einem Material vergleichbare Eigenschaften wie bei einem herkömmlichen FVK zu realisieren.

Selbstverstärkte Kunststoffe zeigen nicht nur in ihren mechanischen Eigenschaften und Strukturen eine andere Charakteristik als FVK, sondern erfordern auch in der Verarbeitung andere »



**Bild 2.** Spannungs-Dehnungs-Diagramm von FVK und selbstverstärkten Materialien: Die FVK schneiden im Vergleich besser als die selbstverstärkten Materialien ab.

Quelle: Fraunhofer ICT; Grafik: © Hanser



**Bild 3.** Durch den Sandwichansatz steigt die Leistung überproportional an bei nur sehr geringer Massezunahme. Quelle: Fraunhofer ICT; Grafik: © Hanser

| Eigenschaft                       | Einheit  | PA6-GF47 | PP-GF47 | PP (selbstverstärkt) | PET (selbstverstärkt) | PET (selbstverstärkt, 57 % Faseranteil) |
|-----------------------------------|--|----------|---------|----------------------|-----------------------|---|
| Dichte                            | g/cm <sup>3</sup>                              | 1,8      | 1,68    | 0,78                 | 1,38                  | 1,38                                    |
| Zugmodul                          | GPa  | 19,9     | 18      | 6,4                  | 3,5                   | 4,6                                     |
| gewichtsspezifischer Zugmodul     | 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 11,06    | 10,71   | 8,21                 | 2,54                  | 3,33                                    |
| Zugfestigkeit                     | MPa  | 343      | 338     | 215                  | 143                   | 195                                     |
| gewichtsspezifische Zugfestigkeit | 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 190,56   | 201,19  | 275,64               | 103,62                | 141,30                                  |
| Bruchdehnung                      | %  | 1,9      | 2,1     | 7,7                  | 22,8                  | 24,7                                    |

**Tabelle.** Vergleich der Zugeigenschaften nach DIN EN ISO 527-1 von FVK und selbstverstärkten Materialien. Quelle: Fraunhofer ICT

Vorgehensweisen. Dennoch können durch leichte Anpassungen der Parameter bzw. der Werkzeugtechnik konventionelle, industrielle Maschinen zum Einsatz kommen. Abhängig vom Grundpolymer lässt sich durch verschiedene Maßnahmen eine Differenz der Schmelzpunkte zwischen Faser und Matrix erzielen.

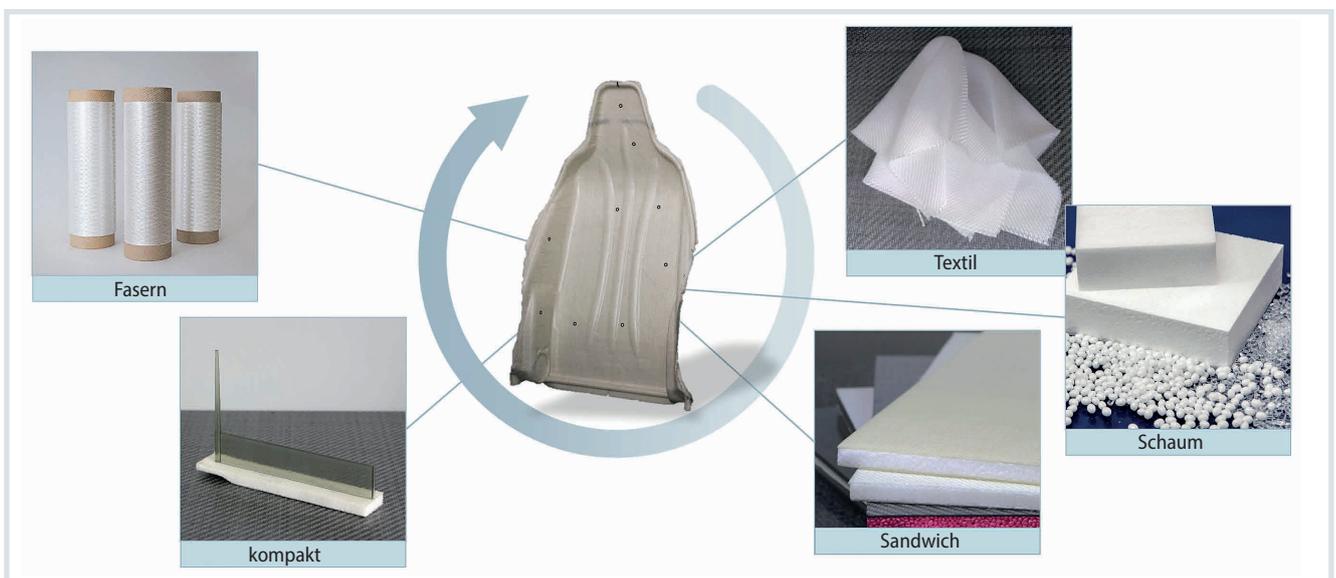
Aus beiden Morphologietypen wird zunächst ein Hybridgarn hergestellt, welches anschließend in textilen Verfahren zu Flächengebilden, zum Beispiel Gewebe, weiterverarbeitet wird. Wie auch bei herkömmlichen Organoblechen erfolgt die Herstellung des monolithischen Halbzeugs im Schmelzimpregnieren. Um eine Relaxation, also die

Rückstellwirkung des verstreckten Zustands der Verstärkungsfasern, zu vermeiden, sollte über alle Prozessschritte hinweg eine möglichst geringe Temperatureinwirkung auf das Material gewährleistet sein. Das gilt auch insbesondere beim Schmelzfügen von Decklagen und Schaum, bei dem übermäßiger Verarbeitungsdruck und zu hohe Temperatur zu einem Kollabieren des Kerns führen kann.

### Morphologieleichtbau in der Anwendung

Das volle Potenzial der thermoplastischen Sandwichverbunde wird erst durch großserienfähige Funktionalisierungsprozesse wie das Thermoformen ausgeschöpft. Beispielsweise können komplexe 2,5D-Geometrien mit verschiedenen Radien, Wanddicken und Tiefziehgraden umgesetzt werden. Daneben ermöglicht die gezielte Kompaktierung des Kerns eine lokale Anpassung der Wanddicke und somit der Steifigkeit. Das Umformen erfolgt analog zu konventionellen Faserverbunden, jedoch mit aus oben genannten Gründen angepasster Temperaturführung unterhalb der Schmelztemperatur. Das Fraunhofer ICT erforscht und optimiert gegenwärtig an großseriennahen Anlagen die Verarbeitung von Monomaterialien vom textilen Halbzeug, über angepasste Schaumtechnologien bis zum finalen Bauteil.

Das einzigartige Eigenschaftsprofil von Monomaterialsandwichstrukturen



**Bild 4.** Das Baukastensystem ermöglicht die Auswahl der passenden Morphologie für den jeweiligen Einsatzort. © Fraunhofer IAP, Fraunhofer ICT

mit selbstverstärkten Decklagen ermöglicht den Einsatz in der Sport- und Freizeitbranche, etwa für Helme und Rückenprotektoren, als auch für semistrukturale Bauteile der Mobilitätsbranche. Die Auswahl der Materialien sollte dabei unter Beachtung der Anforderungen an die Wärmeformbeständigkeit des jeweiligen Bauteils stattfinden. Aufgrund der durch den Baukastenansatz möglichen Zusammenstellung der Materialmorphologien, ist eine auf die jeweiligen Anforderungen zugeschnittene Lösung hinsichtlich Verstärkung, Bauraum, Lasteinleitung, Haptik und weiterer Eigenschaften möglich (**Bild 4**).

Da der vorgestellte Ansatz auf der Verwendung nur eines Materials basiert, vereinfacht sich das werkstoffliche Recycling. Dadurch können Bauteile am Ende ihrer Lebensdauer in der Regel geschreddert, eingeschmolzen und anschließend erneut zu Bestandteilen des Morphologiebaukastens verarbeitet werden. Der praktische Nachweis dafür erfolgte anhand von PET in Zusammenarbeit mit dem Faser- und Textilhersteller Comfil

und für PLA-basierte Strukturen am Fraunhofer-Institut für angewandte Polymerforschung IAP. Die aus dem Recyclingmaterial gewonnenen Fasern konnten unter Gewährleistung einer hohen Prozessstabilität verarbeitet werden und zeigten vergleichbare mechanische Eigenschaften wie ihre aus Neuware hergestellten Pendants.

### Fazit

Das übergeordnete Ziel der Verwendung von Monomaterialien ist die Ressourcenschonung. Durch eine vollständige Kreislaufführung der Materialien ohne Downcycling ist das möglich. Als verstärkte Komponenten bieten sie zusätzlich ein großes Leichtbaupotenzial. Monomaterial-Sandwiche stellen deshalb eine vielversprechende Erweiterung zu konventionellen FVK auf dem Weg zu einem nachhaltigeren Einsatz von Kunststoffen dar. Durch den gezielten Einsatz der richtigen Morphologie am richtigen Ort wird Leichtbau aus nur einem Material möglich. ■

## Info

### Text

**Sascha Kilian, M.Sc.**, ist seit 2015 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter am Fraunhofer ICT sowie seit 2019 als Leiter des Forschungsbereichs „Application and Demonstration“ im Fraunhofer CCPE tätig.

**Anna Krüger, M.Sc.**, forscht seit 2022 als wissenschaftliche Mitarbeiterin und Projektleiterin am Fraunhofer ICT.

### Kooperationspartner

Die dargestellten Ergebnisse wurden in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für angewandte Polymerforschung IAP (PLA-Faserentwicklung) sowie im Rahmen des Fraunhofer Clusters of Excellence Circular Plastics Economy CCPE entwickelt. Die gezeigten Sandwiche auf PET-Basis wurden unter Verwendung von Decklagen der Firma Comfil gefertigt. Als Kernmaterial kamen Extrusionsschäume von Airex zum Einsatz.