

# Umweltfreundliche, wärmeformbeständige Profile

## Material und Prozess passgenau entwickelt

Biokunststoffe gelten als umweltfreundlich und heute auch für viele technische Anwendungsfelder einsatzbereit. Möglich wird dies beispielsweise durch Optimierung der Wärmeformbeständigkeit von PLA-basierten Systemen, die durch gezielte Kristallisation von Halbzeugen während des Herstellprozesses herbeigeführt werden kann.

Langfristig ist mit einem steigenden Bedarf an Biokunststoffen und insbesondere biologisch basierten Kunststoffen zu rechnen. Biopolymere bilden die Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung und stehen für eine effektive und wirtschaftliche Rohstoffnutzung. Für das

fil aufweisen und eine prozesssichere Anwendung gewährleisten. Der zurzeit beliebteste und erfolgversprechendste Vertreter der Biokunststoffe ist Polylactid (PLA). PLA ist der Biowerkstoff mit der größten Verfügbarkeit und gleichzeitig verhältnismäßig preiswert auf dem Markt

immer mehr durch Biokunststoffe ersetzt werden.

### Werkstoff mit besonderen Eigenschaften

Der Grundstoff von PLA ist Milchsäure, die über Fermentationsprozesse aus Pflanzenprodukten gewonnen werden kann. Die Polymerisation wird zumeist über eine Polykondensation oder eine Ringöffnungspolymerisation durchgeführt [1]. Durch umfangreiche Optimierungsmaßnahmen im Herstellungsprozess konnte der Verkaufspreis von PLA in den letzten Jahren von über 10 EUR/kg auf etwa 2 EUR/kg gesenkt werden. Experten gehen zukünftig sogar noch von einer weiteren Reduzierung des Herstellpreises aus.

Die Forscher am Fraunhofer ICT in Pfinztal entwickeln neue Biopolymersysteme für jeden Einsatzbereich mit individuellem und maßgeschneidertem Eigenschaftsportfolio. PLA ist verglichen mit anderen Biopolymeren sehr gut modifizierbar und dementsprechend in seinen Eigenschaften sehr variabel anpassbar. Kommerzielles PLA verfügt im Allgemeinen über einen E-Modul im Bereich von 3400 bis 3900 MPa und über eine Zugfestigkeit von 45 bis 60 MPa. Damit befindet es sich auf dem gleichen Niveau wie andere thermoplastische Polykondensate. Ähnlich wie PET zeichnet sich PLA durch eine besonders hohe Kratzfestigkeit aus und ist optisch transparent. Darüber hinaus besitzt PLA bereits ohne die Hilfe von Zusatzstoffen naturge-

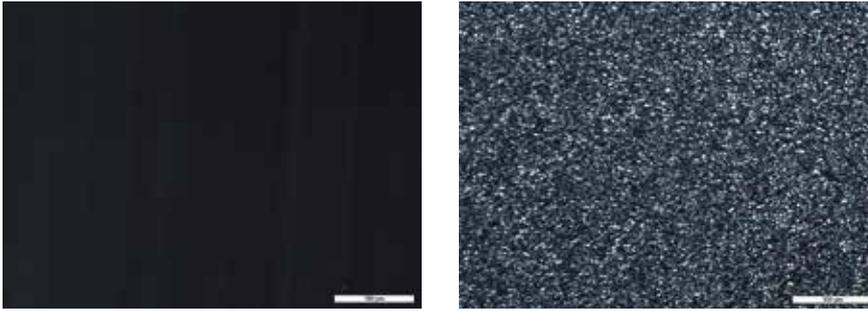


Profile aus Polylactid (Bilder: ICT)

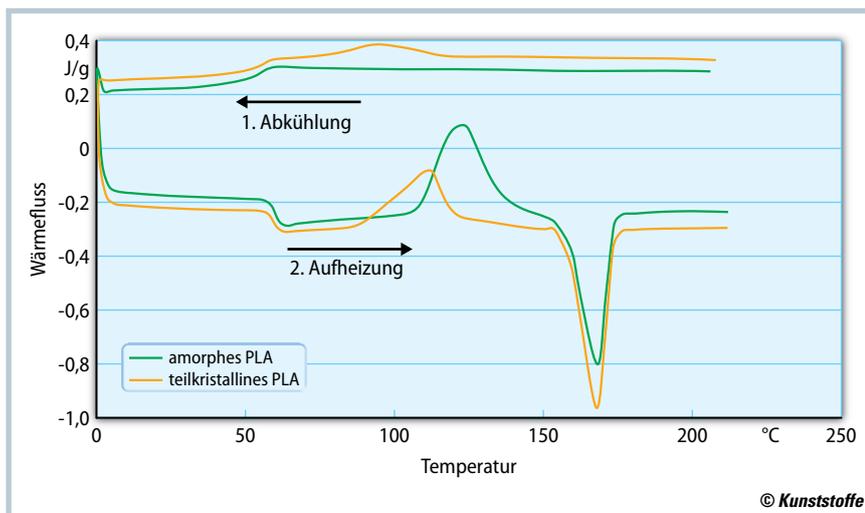
große Interesse an biopolymeren Werkstoffen sind wirtschaftliche Aspekte, aber auch stetige Verbesserungen im Eigenschaftsprofil sowie optimierte Verarbeitungsbedingungen von Biokunststoffen verantwortlich.

Für den Einsatz in technischen Anwendungen müssen Werkstoffe ein bestimmtes mechanisches Eigenschaftsprofil

erhältlich. Diese positiven Entwicklungen bei gleichzeitig prognostiziertem Preisanstieg von rohöl-basierten Kunststoffen sorgen für eine zukünftig noch größere Attraktivität von PLA. Es ist davon auszugehen, dass petrobasierte Standardkunststoffe aufgrund zukünftiger Rohstoffverknappung und damit verbundener ansteigender Rohstoff- und Umweltkosten



**Bild 1.** Lichtmikroskopische Aufnahme von Dünnschnitten (10 µm): amorphes PLA (links) und teilkristallines PLA (rechts)



**Bild 2.** DSC-Thermogramm von amorphem PLA (grün) und teilkristallinem PLA (gelb)

mäß gute Sauerstoffbarriereigenschaften und ist leicht bedruckbar [2].

Dennoch ist unmodifiziertes PLA trotz seiner guten Festigkeitskennwerte bisher in vielen technischen Bereichen noch nicht einsetzbar. Dies liegt primär in der geringen Duktilität, aber auch in der verhältnismäßig geringen Wärmeformbeständigkeit von 55 bis 60°C begründet. Ebenso sind bei der Verarbeitung von PLA besondere Verarbeitungsbedingungen unbedingt einzuhalten. Beispielsweise ist vor der Verarbeitung immer ein Trocknungsschritt notwendig, um eine maximale Restfeuchtigkeit von 100 bis 250 ppm zu gewährleisten. Eine zu hohe Restfeuchtigkeit während der Verarbeitung führt zu hydrolytischem Abbau und damit zu einer Polymerschädigung. In der Folge ist mit deutlich verminderten Materialkennwerten zu rechnen. Weiterhin von Nachteil sind die verhältnismäßig geringe Kristallisationsgeschwindigkeit und die daraus resultierende lange Kühlzeit der Bauteile im Spritzgießprozess. Im Vergleich zum sehr schnell kristallisierenden PBT (in Se-

kunden) liegt die Kristallisationszeit von PLA im Minutenbereich.

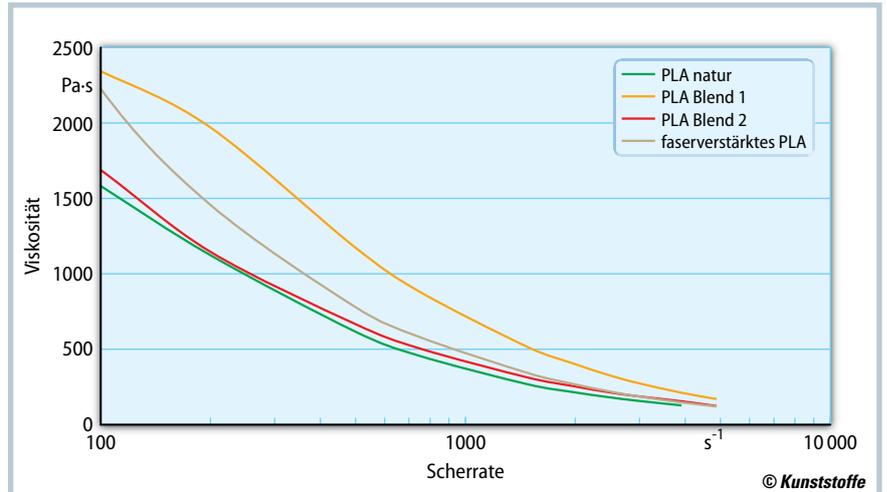
### *Von der Folie zum Strukturbauteil*

PLA findet aufgrund seiner guten Biokompatibilität schon seit Jahrzehnten Anwendung in der Medizin, z.B. als Wirkstoffträger oder als Werkstoff für Implantate. Als Polymerblend mit biobasierten Werkstoffen ist PLA mittlerweile im Verpackungssektor die erste Wahl der biobasierten Kunststoffe und hat sich bereits als Alternativwerkstoff für PE oder PP in vielen Bereichen etabliert. Weitere interessante Absatzmärkte für PLA-basierende Systeme sind Büro- und Dekorartikel sowie neuerdings auch gesundheitlich unbedenkliche Spielzeuge für Kinder [3]. PLA kann mit allen in der Kunststoffverarbeitung eingesetzten Technologien wie Extrusion, Spritzgießen, Blasformen, Folienherstellung und Faserspinnen verarbeitet werden [4]. Eine besondere Verwendungsmöglichkeit für PLA sind Verbundwerkstoffe. In Kombination mit Fasern, und hierbei insbesondere mit »

Naturfasern, können die mechanischen Eigenschaften von PLA effizient in für technische Anwendungen geeignete Größenordnungen gesteigert werden. Neben der Kristallisation von PLA ist die Zugabe von Naturfasern eine nachgewiesene Methode zur Erhöhung der Wärmeformbeständigkeit und damit eine Möglichkeit, PLA für technische Einsatzbereiche zu erschließen.

### Je kristalliner, umso wärmerestabiler

Amorphes PLA ist transparent und weist mit etwa 55 bis 60°C im Gegensatz zur kristallinen Form (trüb) eine deutlich geringere Wärmeformbeständigkeit auf und ist zudem wesentlich weniger duktil. Für technische Anwendungen mit Temperaturen von über 60°C sind Bauteile aus amorphem PLA demnach nicht geeignet. Erst durch eine regelmäßige Anordnung der Molekülketten mittels Kristallisation wird PLA wesentlich wärmerestabiler [5]. Abhängig vom Kristallisationsgrad ist auf diese Weise eine Optimierung der Wärmeformbeständigkeit um mehr als 30°C realisierbar [6]. Leider kristallisiert reines PLA gegenüber anderen Polymeren verhältnismäßig träge – auch bei optimalen Kristallisationsbedingungen. Da-



**Bild 3.** Viskositätsverläufe von PLA-Blends und naturfaserverstärktem PLA

her reichen die bei der Verarbeitung üblichen Abkühlzeiten und Werkzeugtemperaturen nicht für die Ausbildung einer kristallinen Phase aus, sodass die Polymerketten beim Abkühlvorgang regellos erstarren und in einem amorphen Zustand verbleiben. Eine Lösung dieser Problematik bietet die Einbringung von Nukleierungsmitteln in die Polymermatrix. Sie reduzieren die für die Kristallisation von PLA notwendige freie Enthalpie und führen folglich zu einem früher einsetzenden und intensiver verlaufenden Kristallisationsprozess [7].

Für eine wirtschaftliche Herstellung von kristallinen Bauteilen aus PLA müssen neben einem optimierten Nukleierungssystem allerdings auch die für eine Kristallisation notwendigen Prozessbedingungen geschaffen werden. Erst das passgenaue Zusammenspiel zwischen Material- und Prozessentwicklung führt zu den gewünschten Ergebnissen hinsichtlich des Kristallisationsgrads der hergestellten Bauteile [6]. Nach der Formgebung kann die Kristallinität des Bauteils z.B. einfach und zuverlässig mittels Lichtmikroskopie mit gekreuzten Polarisatoren überprüft werden. Weisen die durchleuchteten Materialproben kristalline Strukturen auf (Sphärolithe), wird die Ebene der polarisierten Lichtwellen verändert. Dies führt dazu, dass die Lichtwellen trotz der gekreuzten Polarisatoren nicht vollständig ausgelöscht und Sphärolithe üblicherweise in Form von Malteserkreuzen sichtbar werden. **Bild 1** zeigt eine lichtmikroskopische Aufnahme von amorphem PLA (links, schwarz) und kristallinem PLA (rechts, Kristallisationsgrad etwa 40%).

Alternativ ist auch die DSC-Analyse ein schnelles und kostengünstiges Verfahren zur Bestimmung der Kristallisationseigenschaften von Polymeren und ermöglicht weitere Aussagen z. B. über die Kinetik der beteiligten Prozesse und auftretender Phasenumwandlungen. In **Bild 2** ist eine typische DSC-Kurve von amorphem (grüne Linie) und teilkristallinem PLA dargestellt (gelbe Linie).

### Schmelzefeste Stränge temperieren

Die Profilextrusion stellt besondere Anforderungen an die zu verarbeitenden Werkstoffe. Einer der entscheidenden Faktoren für die Extrudierbarkeit ist hierbei die Sicherstellung einer ausreichend hohen Schmelzefestigkeit bei gleichzeitig guten Fließeigenschaften. Konventionell werden bisher zumeist Hart-PVC, ABS sowie Polypropylen als Kunststoff für die Herstellung von strukturellen Bauteilen (Bauprofile) verwendet. Die bisher kommerziell verfügbaren PLA-Typen sind aufgrund ihrer Viskosität nur bedingt geeignet und deshalb nicht ohne vorherige Modifikationen auf konventionellen Profilextrusionsanlagen zu verarbeiten. Anhand umfangreicher Studien zur Materialentwicklung mit nachfolgenden Praxistests ist es den Forschern am Fraunhofer ICT gelungen, PLA-Systeme zu entwickeln, die mit einer ausreichend hohen Schmelzefestigkeit ausgerüstet sind und so die in der Profilextrusion gestellten Anforderungen erfüllen. In **Bild 3** sind die Viskositätsverläufe von bereits erfolgreich getesteten PLA-Blends zu sehen.

Zur Direkt-Kristallisation in der Extrusion von PLA verfolgen die Forscher des

## Die Autoren

**M.Sc. Kevin Moser** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Compounding und Extrusion am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT, Pfnitztal; kevin.moser@ict.fraunhofer.de

**Dipl.-Ing. Andrei Holzer** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Compounding und Extrusion am ICT in Pfnitztal; andrei.holzer@ict.fraunhofer.de

**Dipl.-Chem. Björn Bergmann** ist Gruppenleiter der Fachgruppe Compounding und Extrusion am ICT in Pfnitztal; bjoern.bergmann@ict.fraunhofer.de

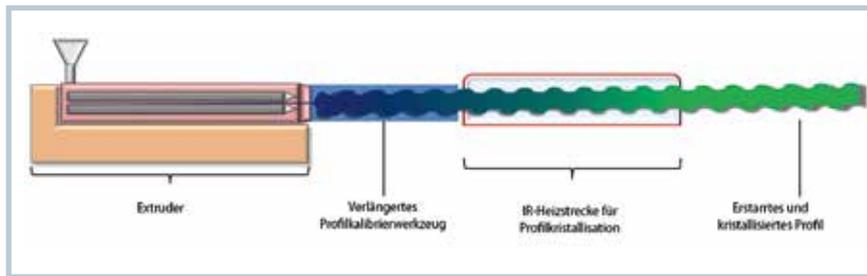
## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/880051](http://www.kunststoffe.de/880051)

### English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 4.** Schematische Darstellung des Direkt-Kristallisationsprozesses mit variothermer Temperierung

Fraunhofer ICT eine Strategie nach dem Vorbild der Variotherm-Technologie im Spritzgießprozess. Die austretenden Profilstränge werden hierbei durch eine entsprechend dem Werkstoff definierte temperierte Kalibrierstrecke geführt, wodurch die Ausbildung von Kristallstrukturen von der Bauteiloberfläche bis zum Kern realisierbar wird. In **Bild 4** ist eine schematische Darstellung des neuen Profilextrusionsverfahrens dargestellt. Die aus der Extruderdüse austretenden Profilstränge werden direkt in einem nachgeschalteten Profilkalibrierwerkzeug in Form gehalten und anschließend bei

spielsweise durch eine IR-Heizstrecke weiter temperiert und dadurch kristallisiert. Zuletzt folgt die Abzugseinheit mit integrierter Säge, die die Profile auf die gewünschte Länge absägt.

Als Werkstoffsysteme werden neben PLA-Compounds auch Rezepturen mit Füll- und Zusatzstoffen wie Nanocellulose oder Acrylate entwickelt und als Ausgangsstoffe bereitgestellt. Mit einer auf die Bedürfnisse der anwendungsnahen Forschung und Entwicklung zugeschnittenen Technikumsanlage (Typ: CMT 35 – konischer gegenläufiger Doppelschneckenextruder, Hersteller: Cincinatti) ist

das Fraunhofer ICT in der Lage, die theoretisch entwickelten Ansätze unmittelbar im Hause umzusetzen und stetig weiter zu optimieren – sowohl werkstoff- als auch verfahrenstechnisch. Durch die neue Verfahrenstechnik können Profile für die unterschiedlichsten Sektoren, z. B. für Fenster- und Bauprofile, aus Biopolymeren produziert und damit alternative Werkstoffsysteme bereitgestellt werden.

### Fazit

Das neu entwickelte Variotherm-Profilextrusionsverfahren macht die Verarbeitung von PLA-basierten Systemen auf konventionellen Profilextrusionsanlagen praxistauglich. Auf diese Weise lassen sich Hohlkammerprofile auf Basis von PLA-Compounds auf herkömmlichen Anlagen erfolgreich produzieren. Die hergestellten Profile verfügen über eine im Vergleich zu kommerziellem PLA ausreichend hohe Wärmeformbeständigkeit und lassen sich zu optisch hochwertigen Bauteilen verarbeiten. ■