

Modifiziert, biobasiert und 3D-druckbar

Bio-Blends für den 3D-Druck von auxetischen Strukturen

Für die additive Fertigung von auxetischen Strukturen sind spezielle Materialeigenschaften notwendig. Modifiziertes PLA lässt sich im Strangablegeverfahren zu entsprechenden Bauteilen verarbeiten. Blends aus PLA und PBAT bieten sich dafür besonders an.

Werkstoffe besitzen typischerweise eine positive Querkontraktionszahl. Das bedeutet, sie ziehen sich seitlich zusammen, sobald sie in die Länge gedehnt werden. Durch die Verwendung spezieller Strukturen, sogenannter auxetischer Strukturen (siehe Kasten S. 68), können Bauteile mit einer negativen Querkontraktionszahl realisiert werden. Diese Bauteile dehnen sich seitlich aus, falls sie in die Länge gedehnt werden. Durch die Einarbeitung von auxetischen Strukturen in ein Bauteil können dessen Gesamteigenschaften verbessert werden.

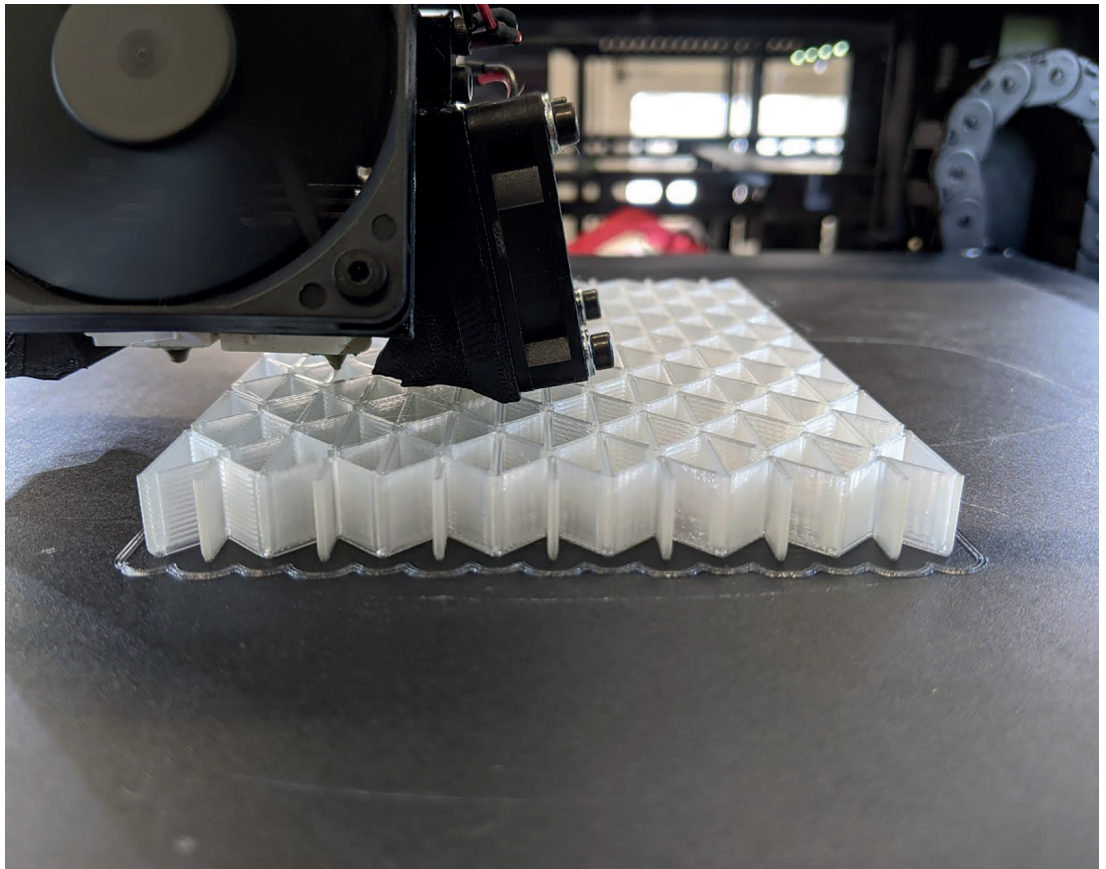
Bei einem Rohr mit einer Mantelfläche, die eine auxetische Struktur aufweist, lässt sich dadurch beispielsweise eine hohe Formbeständigkeit sowohl gegenüber äußeren Kräfteinflüssen als auch Druckänderungen innerhalb des Rohres erreichen.

Auxetische Strukturen können sehr komplex sein, sind aber durch additive Fertigungsverfahren kostengünstig herstellbar. Besonders das Strangablegeverfahren bietet sich dafür an. Allerdings werden Werkstoffeigenschaften benötigt, die bisher eher selten oder gar nicht in

handelsüblichen Filamenten erhältlich sind. Daher arbeitet das Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT) an der Modifikation von Kunststoffen für den 3D-Druck und der Beurteilung, ob sich diese Kunststoffe zur Anwendung im Strangablegeverfahren eignen. Polylactid (PLA) hat sich als Werkstoff für das Strangablegeverfahren etabliert, ist allerdings für auxetische Strukturen nicht dehnfähig genug. Eine Möglichkeit stellt die Modifizierungen von PLA mit Polybutylenadipat-Terephthalat (PBAT) dar. Versuche am IKT haben gezeigt, dass sich entspre-

Auxetische Strukturen lassen sich kostengünstig additiv fertigen, beispielsweise im Strangablegeverfahren

© IKT



chende Werkstoffe im Strangablegeverfahren verarbeiten lassen, ohne dass es zu einer Verschlechterung der Druckqualität kommt.

Auxetische Strukturen benötigen spezielle Werkstoffe

Für die Untersuchungen wurde eine zweidimensionale auxetische Wabenstruktur hergestellt (Bild 1). Sie setzt sich aus zusammengeschachtelten wiederintretenden Zellen zusammen [1,2]. Typischerweise bestehen Bauteile aus einer Hülle (Schale/Shell) und einer Füllung (Infill). Die Füllung kann als teil- oder vollgefüllte Struktur ausgeführt werden. Im Fall einer zweidimensionalen auxetischen Struktur werden nur Schalen verwendet. Eine zweidimensionale Wabenstruktur besitzt nur in einer Ebene eine negative Querkontraktionszahl. Damit es unter Zugbelastung zu keinem Bruch innerhalb der Struktur kommt und die Waben sich unter Belastung ausweiten, muss der Werkstoff geeignete mechanische Eigenschaften aufweisen. Er sollte eine möglichst hohe Nachgiebigkeit und Dehnfähigkeit besitzen, damit sich die Verbindungstellen zwischen den Waben ohne Beschädigung verformen können.

Für die Untersuchungen wurden als Kunststoffe ein PLA 4032D (Typ: Ingeo, Hersteller: NatureWorks) und ein PBAT (Typ: Ecoflex F Blend C1200, Hersteller: BASF) verwendet. Als Verträglichkeitsvermittler kam ein multifunktionales Epoxid auf Basis von Acrylat-Styrol-Copolymeren zum Einsatz. Die Kunststoffe wurden zu verschiedenen Blends verarbeitet.

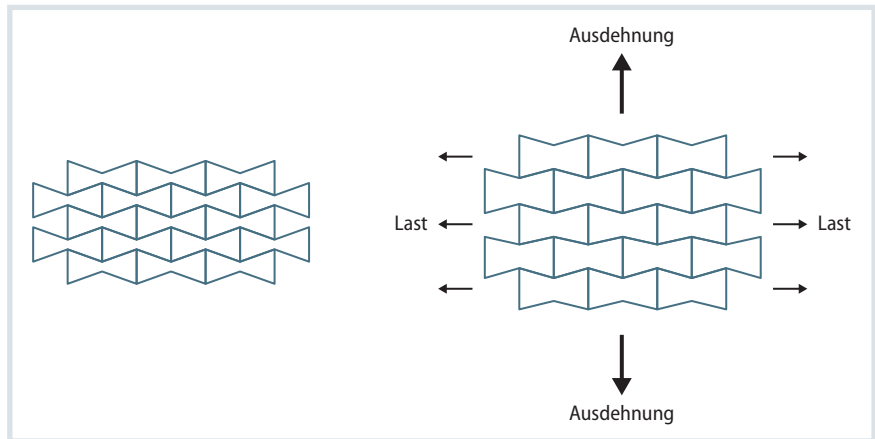


Bild 1. Die Besonderheit von auxetischen Bauteilen besteht darin, dass sie sich bei einer Längsdehnung ebenfalls in der Breite ausdehnen. Quelle: [2]; Grafik: © Hanser

Durchgeführt wurde die Aufbereitung der Kunststoffblends auf einem Doppelschneckenextruder (Typ: EBVP 25, Hersteller: O.M.C.). Die anschließende Herstellung der Filamente erfolgte auf einem Einschneckenextruder (Typ: 30x25D, Hersteller: Collin GmbH). Um einen konstanten Durchmesser zu gewährleisten, wird das Kunststofffilament über eine Abzugseinrichtung geführt und anschließend auf rotierende Rollen aufgewickelt. Der Filamentdurchmesser von etwa 1,75 mm wurde mit einem Lasermessgerät (Typ: ODAC 15XY, Hersteller: Zumbach Electronic) eingestellt und überwacht. Für das Drucken der Filamente kamen zwei unterschiedliche 3D-Drucker (Modell 1: Kosel Delta 3D-Drucker, Hersteller: Anycubic und Modell 2: prusa i3 mk3, Hersteller: Prusa Research) zum Einsatz.

Die hergestellten Modifikationen wurden mithilfe von Platte-Platte-Rheome-

trie, Schlibbildern an gedruckten Zugstäben (drei Shells und $\pm 45^\circ$ -Infill) und durch Zugversuche an spritzgegossenen und additiv gefertigten Prüfkörpern charakterisiert. Es wurden zwei verschiedene Zugprüfkörper gedruckt. Für die erste Variante kamen drei Shells und ein $\pm 45^\circ$ -Infill und für die zweite nur Shells zum Einsatz, sodass eine unidirektionale Ausrichtung der abgelegten Stränge vorlag. Die Schlibfe wurden mit einem Lichtmikroskop (Typ: Wild M420 Mikroskop, Hersteller: Leica) untersucht. Für die mechanische Charakterisierung wurde eine Zug- ➤

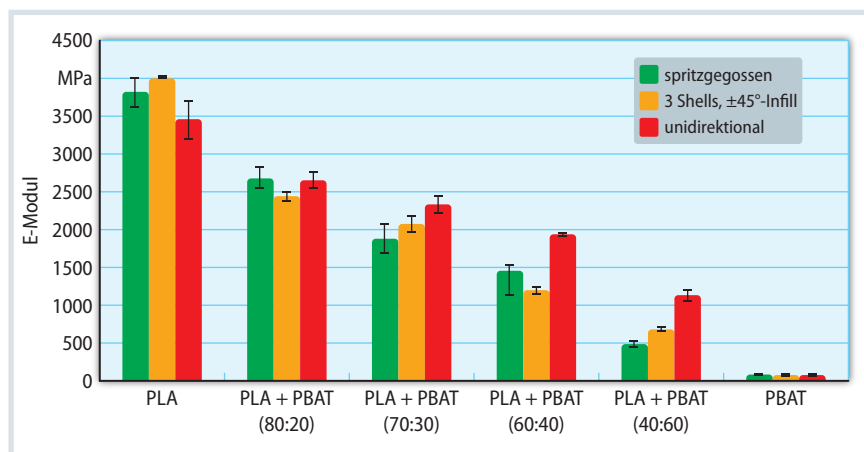


Bild 2. E-Modul aller untersuchten Werkstoffe ermittelt durch Zugversuche an spritzgegossenen und additiv gefertigten Prüfkörpern: Im Vergleich zu reinem PLA ist der E-Modul der Blends deutlich geringer, was für eine höhere Nachgiebigkeit sorgt. Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

Die Autoren

M. Sc. Axel Grebhardt ist seit 2018 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Werkstofftechnik des Instituts für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT); axel.grebhardt@ikt.uni-stuttgart.de
Prof. Dr. Christian Bonten leitet seit 2010 das IKT.

Dank

Das Forschungsprojekt wird durch die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG) unter der Projektnummer 407085865 gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung.

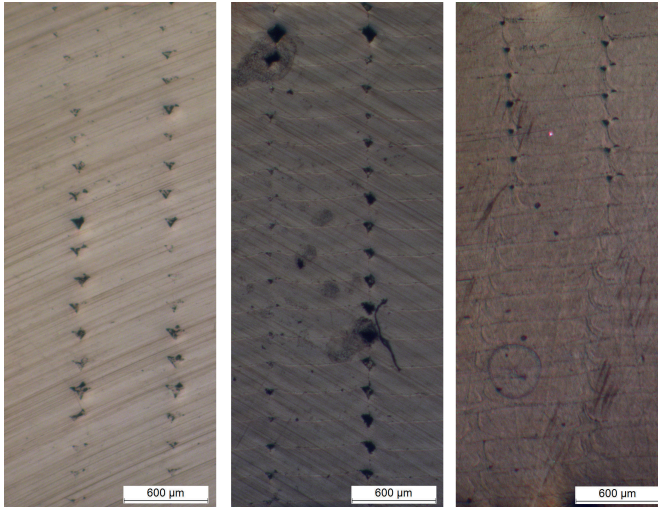
Service

Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

Bild 3. Schlibfbilder am Rand von gedruckten Zugprüfkörpern aus PLA (links), PLA+PBAT (60/40, Mitte) und PBAT (rechts): Die Porengröße ist bei allen Werkstoffe ähnlich, was auf eine vergleichbare Druckqualität schließen lässt

© IKT



prüfmaschine (Typ: 1455 Universalprüfmaschine, Hersteller: Zwick) verwendet.

E-Modul sinkt, Nachgiebigkeit steigt

Bei einer Betrachtung der ermittelten E-Module der spritzgegossenen Zugprüfkörper zeigte sich, dass durch die Modifikation der E-Modul des reinen PLA deutlich gesenkt und dadurch die Nachgiebigkeit gesteigert werden konnte (**Bild 2**). Je höher der Anteil an PBAT desto geringer ist der E-Modul und entsprechend größer die Nachgiebigkeit. Das gilt auch für die additiv gefertigten Zugstäbe. Wobei

sich ein abweichender E-Modul je nach verwendeter Druckstrategie feststellen lässt. Besonders deutlich ist das bei den Blends mit einem Verhältnis von 60:40 und 40:60 PLA zu PBAT bei unidirektional gedruckten Zugstäbe zu sehen. Durch den unidirektionalen Druck erfolgt vermutlich eine Molekülkettenausrichtung in Belastungsrichtung, wodurch die PLA-Ketten ebenfalls bei höherem PBAT-Anteil den E-Modul dominieren.

Eine Betrachtung der Poren zwischen den abgelegten Strängen der Shells wurde für gedruckte Zugstäbe mit drei Shells und einem $\pm 45^\circ$ -Infill anhand von Schlibfbildern durchgeführt. Anhand dieser Untersuchung kann eine qualitative Aussage über die Anhaftung der abgelegten Stränge untereinander getroffen werden (**Bild 3**). Die Shells wurden senkrecht geschnitten, sodass die Poren in den Schnittstellen zwischen den abgelegten Strängen erkennbar sind. Die Porengrößen weisen in etwa die gleiche Größenordnung auf und es traten keine Auffälligkeiten innerhalb

der untersuchten Proben auf. Zu vermuten ist deshalb, dass die Druckqualität der Werkstoffe vergleichbar ist.

Neben Zugstäben wurden auch auxetische Strukturen aus jeweils einem der Werkstoffe hergestellt (**Bild 4**). Auxetische Strukturen ließen sich aus jedem der Werkstoffe anfertigen. Alle erzeugten Filamente konnten auf herkömmlichen 3D-Druckern verarbeitet werden.

Fazit: Die Blends sind als Filamente geeignet

Durch das Blenden von PLA mit PBAT wird ein Werkstoff mit einer höheren Nachgiebigkeit im Vergleich zu reinem PLA erzielt. In den mechanischen Untersuchungen wurden mit zunehmendem PBAT-Anteil steigende Nachgiebigkeit bei spritzgegossenen und additiv gefertigten Zugstäben festgestellt. Bei den additiv gefertigten Zugstäben ließ sich durch das Erstellen von Schlibben zeigen, dass qualitativ keine großen Unterschiede in der Druckqualität bestehen. Außerdem zeigte sich, dass die ansteigende Viskosität der Blends bei geringen Kreisfrequenzen keinen Einfluss auf die Verarbeitbarkeit mittels Strangablegeverfahren hat.

Durch die problemlose Extrusion der Blendgranulate zu Filamenten und deren Verarbeitung auf üblichen Druckern zeigte sich, dass die PLA+PBAT-Blends als Filamentwerkstoffe in Frage kommen. Durch die erzielte höhere Nachgiebigkeit und die gute Verarbeitbarkeit sind PLA-Blends generell als möglicher Werkstoff zur Herstellung von modifizierten Filamentwerkstoffen geeignet. Die mechanischen Eigenschaften auxetischer Strukturen aus den neuen Filamentwerkstoffen müssen noch ermittelt werden. ■

Auxetische Strukturen

Auxetische Strukturen besitzen eine negative Querkontraktionszahl und weiten sich daher quer zur Belastungsrichtung auf, anstelle sich zu verjüngen. Diese Eigenschaft kann zum einen auf molekularer Ebene und zum anderen auf makroskopischer Ebene auftreten. Dieses besondere Verhalten wird nicht durch die eingesetzten Werkstoffe, sondern durch die Struktur hervorgerufen und bietet somit völlig neuartige Funktionalitäten und Designmöglichkeiten. Innerhalb der Struktur sorgen Klapp- oder Rotationsbewegungen von Stegen oder Knotenpunkten für den auxetischen Effekt. Auxetika werden in den Bereichen der Robotik, Biomedizin, Elektronik und Akustik eingesetzt und verfügen über großes Potenzial in der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Sie besitzen eine gute Stoßabsorption.

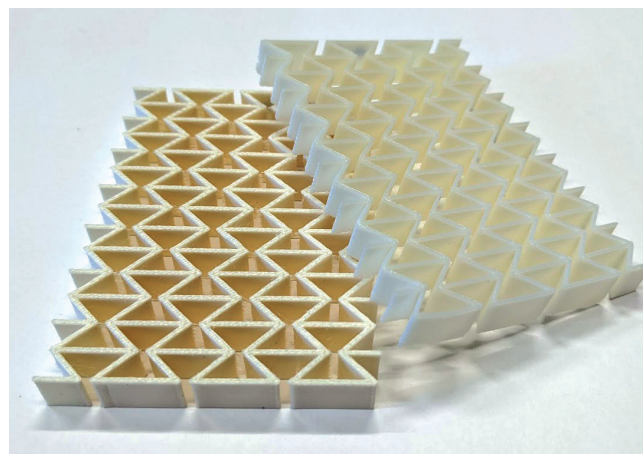


Bild 4. Additiv gefertigte auxetische Strukturen aus PLA+PBAT (60:40; links) und reinem PBAT (rechts): Die auxetischen Strukturen konnten aus jedem der untersuchten Materialien hergestellt werden

© IKT