

Bildquelle: alle Ralf Mayer/Redaktion Plstverarbeiter

► Der ringförmige Probekörper wird mit einer Austragsrate von 3 kg/h aufgeschichtet.

Granulatbasierte Direktextrusion großvolumiger Bauteile

Modifizierte Granulate statt Filamente im 3D-Druck

Hätten Kunststoffverarbeiter die Möglichkeit, unterschiedliche **Granulate ohne den Umweg über Filamente** direkt im 3D-Druck einzusetzen, würde dies der **additiven Fertigung** einen großen **Schub in Richtung Industrialisie-**

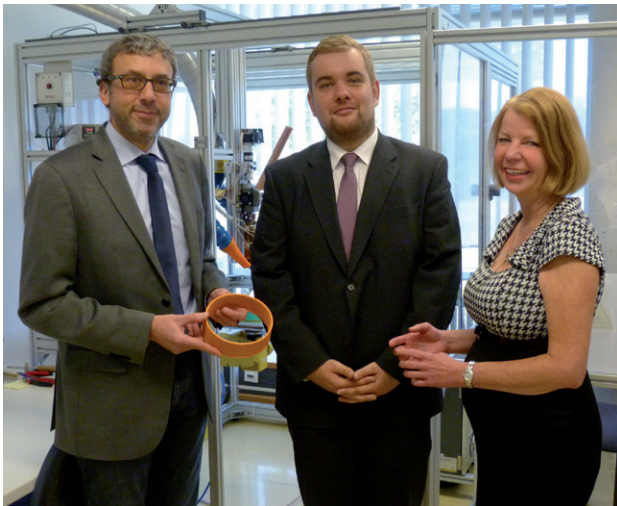
rung verleihen. Forscher an der TU Ilmenau sind diesem Ziel jetzt einen Schritt näher gekommen. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projekts haben sie **Prozessfenster** für die **granulatbasierte Direktextrusion** mit ho-

hen Austragsraten definiert und das Verfahren **erfolgreich getestet**. Dabei kamen **gezielt modifizierte Standard-kunststoffe** zum Einsatz, die für den 3D-Druck auch großvolumiger Bauteile zur Verfügung gestellt werden können.

Die steigenden Anforderungen an die Kunststoffverarbeitung, etwa in Hinblick auf Variantenvielfalt, Individualisierung, Funktionsintegration und On-Demand-Produktion, verlangen nach neuen Prozess- und Materiallösungen. 3D-Druck und additive Verfahren bergen das Potenzial, einen Teil dieser Zukunftsaufgaben zu lösen, in

der industriellen Praxis führen sie aber nach wie vor ein Nischendasein – ihr Einsatz beschränkt sich weitgehend auf den Prototypenbau oder der Produktion von Demonstrationsobjekten. Die Langsamkeit der Prozesse, hohe Stückkosten sowie die eingeschränkte Materialauswahl sind entscheidende Restriktionen gegenüber der klassi-

schen Spritzgieß- oder Extrusionsfertigung. So bieten etwa die filamentbasierten Verfahren Fused Deposition Modeling (FDM), Fused Filament Fabrication (FFF) und Fused Layer Modeling (FLM) zwar die Möglichkeit, komplexe Geometrien unter Einsatz von Stützmaterialien zu fertigen. Für eine kostengünstige Produktion insbeson-



▲ Projektpartner: Prof Dr. Jean Pierre Bergmann (links) und Leander Schmidt von der TU Ilmenau sowie Erika Chodura von Granula Deutschland

dere großvolumiger Bauteile sind sie aber nicht geeignet. Dabei scheint die Crux im „Umweg“ über die Filamente zu liegen. Neben ihrem hohen Preis, haben die vorplastifizierten Drähte einen weiteren Nachteil: „Es herrscht ein Mangel an zertifizierten Filamentmaterialien mit nachgewiesener Eignung“, verdeutlicht Leander Schmidt von der Technischen Universität Ilmenau, Fachgebiet Fertigungstechnik, das Problem. Hinzu kommen hohe Fertigungszeiten, verursacht durch die geringen Austragsraten der Kunststoffdrähte aus dem Druckkopf auf das Druckbett. Der Werkstoff wird im Druckkopf lediglich teilplastifiziert, was nicht nur die Austragsrate limitiert, sondern auch die Bauteil-Festigkeit beeinträchtigt.

Diese Probleme könnten gelöst werden, wenn es gelingt, statt der Filamente direkt die Granulate in den additiven Prozess einzubringen. Genau diesen Ansatz der granulatbasierten Direktextrusion verfolgt das Projekt High Performance 3D-Druck (HP3D) (www.3d-bigprint.de), in dem acht Partner aus Hochschule und Industrie zusammenarbeiten, um eine „hochproduktive Fertigungsanlage zur generativen Herstellung großvolumiger Bauteile“ zu realisieren. In dem Projekt ist die TU Ilmenau für die Prozessentwicklung und die Firma Granula für die Materialentwicklung zuständig. Entscheidender Ideengeber und Koordinator des Projektes ist dabei Dr. Martin Schilling von der Firma 3D-Schilling, Oberspier.

Herzstück des Versuchsaufbaus in Ilmenau ist der Einschneckenextruder mit Zwei-Zonen-Temperierung und -Temperaturmessung. Dabei führt die Schnecke das eingezogene Granulat – wie im Extrusionsverfahren üb-

SOLUTIONS FOR TOMORROW.

Premiere auf der Fakuma:

- ▶ Neue Generation Teach Line Serie
- ▶ Flachfolienanlage mit Online-Rheologie & Kamera-Inspektionssystem

Wir denken in Kunststoff.

Collin ist weltweiter Premiumanbieter von intelligenten, modularen Pilot- und Laboranlagen für die kunststoffverarbeitende Industrie, Universitäten sowie Forschungseinrichtungen.

Besuchen Sie uns: H. A6 / Stand A6-6305



Dr. Collin GmbH,
Sportparkst. 2, 85560 Ebersberg, Germany
T: +49(0)8092/2096-0, collin@drcollin.de
www.drcollin.de

 **Web-Tipp**
▶ Short-URL: www.plastverarbeiter.de/02377

Hennecke 
Polyurethane Technology

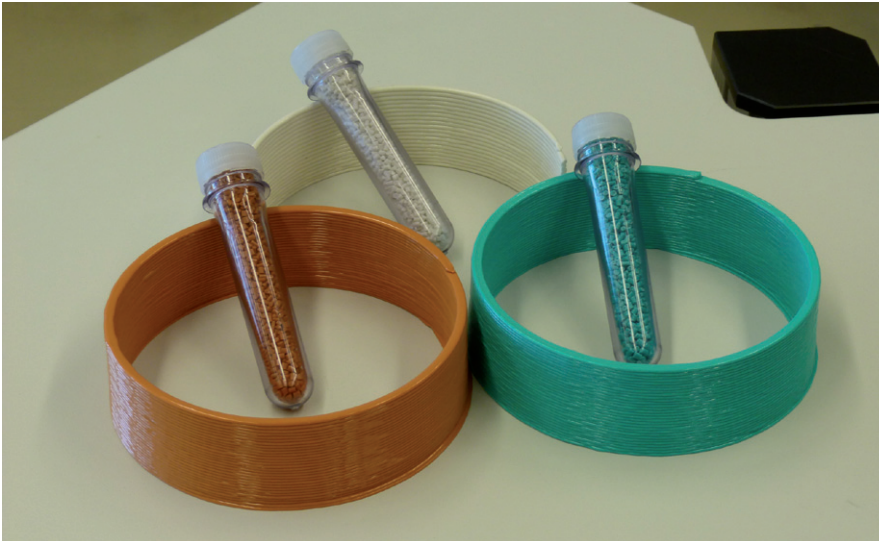
MASCHINEN, ANLAGEN & TECHNOLOGIEN FÜR HOCHEFFIZIENTE POLYURETHAN-VERARBEITUNG

- » METERING MACHINES
- » SANDWICH PANEL LINES
- » MOULDED FOAM LINES
- » SLABSTOCK LINES
- » COMPOSITES & ADVANCED APPLICATIONS
- » TECHNICAL INSULATION LINES
- » 360° SERVICE

FASCINATION PUR

 **FAKUMA / Friedrichshafen**
16.10. - 20.10.2018, Halle A5 / Stand 5210

www.hennecke.com



▲ Diese Probekörper wurden aus modifizierten PLA-, PVA- beziehungsweise ABS-Granulaten gefertigt.

lich – in eine Kompressionszone und dann weiter in den Plastifizierungszylinder. Der vollständig plastifizierte und homogenisierte Materialstrang wird anschließend durch die Austrittsdüse – geometrisch definiert – auf das schichtweise entstehende Bauteil aufgetragen. Eine Besonderheit: Der Strangaustritt erfolgt optional über eine „auf dem Markt erhältliche“ Nadelverschlussdüse, wie Leander Schmid, der das Teilprojekt an der TU Ilmenau leitet, erklärt. Auf diese Weise wird ein unterbrochener Prozessverlauf möglich, ohne dass die Bauteilqualität durch am Abrisspunkt entstehende Fadenreste beeinträchtigt wird. Ein Sechssachs-Knickarm-Roboter erlaubt eine vollständig dreidimensionale Bewegung der bis auf 180 °C beheizbaren Bauplattform. In Verbindung mit der einstellbaren Schneckenposition ebnet dies den Weg zur additiven Herstellung komplexer 3D-Strukturen mit unterschiedlichen Materialien.

Austragsraten deutlich erhöht

Entscheidend für den potenziellen Einsatz des Verfahrens in der industriellen Fertigung von großen Bauteilen ist seine Schnelligkeit: „Wir können heute einen Masseaustrag von 3 kg pro Stunde realisieren“, betont Schmid, „das entspricht dem 20- bis 30-fachen der mit üblichen FDM-Anlagen er-

reichten Fertigungsgeschwindigkeit.“ Zur Wirtschaftlichkeit des Verfahrens trägt zudem das passive Kühlkonzept unter Einsatz von Kühlkörpern und Kühlrippen bei, das komplett ohne Druckluft auskommt.

Die Funktionsfähigkeit der granulatbasierten Direktextrusion steht und fällt jedoch mit der Materialauswahl. Testreihen an der TU Ilmenau zeigten eine lineare Korrelation zwischen Extruderdrehzahl und Masseaustrag bei der Verarbeitung von ABS, PLA, SAN, PMMA, PP, PC/ABS und TPE. Somit waren die Forscher in der Lage, verbindliche Prozessfenster für die Produktion von Probekörpern zu definieren, also zum Beispiel den Stranggeometrie-Bereich (Breite und Höhe) festzulegen, der mit dem jeweiligen Werkstoff umsetzbar ist. Als Probekörper diente ein mehrschichtiger Ring. Einer besseren Schichthaftung zuliebe trifft der Werkstoff dabei nicht zylinderförmig, sondern als flacher Strang auf das Bauteil, was durch eine in der Düse installierte plane Andruckfläche erreicht wird. Insgesamt 50 Materialvarianten haben die Forscher auf diese Weise untersucht. Ergebnis: Eine große Gruppe der kommerziell erhältlichen, unveränderten Werkstoffe können nicht in der granulatbasierten Direktextrusion eingesetzt werden. So führten etwa Zersetzungsprozesse von

marktgängigem ABS bei hohen Prozesstemperaturen zu einem ungleichmäßigen Masseaustritt aus dem Extruder. Weitere Probleme wurden durch hydrolytischen Abbau (zum Beispiel bei PLA) sowie unzureichende Viskosität und Schmelzsteifigkeit verursacht.

Modifizierte Granulate erfolgreich getestet

Das neue Verfahren erfordert also den Einsatz gezielt modifizierter Werkstoffe. Dass man solche maßgeschneiderten Polymere herstellen kann, haben die Experten des Masterbatch-Herstellers und Compoundeurs Granula bewiesen. „In enger Abstimmung mit unseren Projektpartnern und unter Nutzung der Ergebnisse zahlreicher Testreihen konnten wir mehrere Polymere entwickeln, die den Bedürfnissen der granulatbasierten Direktextrusion genau entsprechen“, sagt Erika Chodura, technische Leiterin bei Granula.

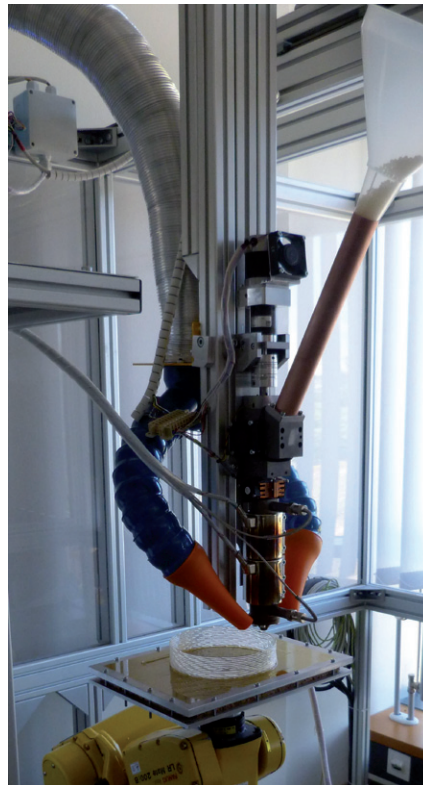
Beispiel PVA: Wegen seiner Wasserlöslichkeit dient Polyvinylalkohol (PVA) in der additiven Fertigung häufig als Stützmaterial für geometrische Überhänge, das sich später leicht aus dem fertigen Bauteil entfernen lässt. Die Granulatkörner von kommerziell erwerbbarer PVA sind aber sehr hart, was eine hohe Antriebsleistung und Schneckensteifigkeit erforderlich macht. Zudem zersetzt sich das plastifizierte Polymer sehr schnell. Das heißt, PVA kann nur in kontinuierlichen, aufgrund der zu langen Verweilzeit aber nicht in unterbrochenen Extrusionsprozessen eingesetzt werden. Desweiteren ist PVA nach dem Aushärten stark hygroskopisch, sodass die Bauteilsteifigkeit bereits bei normaler Luftfeuchtigkeit schnell abnimmt.

Das modifizierte PVA hingegen lässt sich gut in der granulatbasierten Direktextrusion verarbeiten. Die mögliche Verweilzeit wurde gegenüber dem nicht modifizierten Werkstoff um das 20-fache erhöht bei gleichzeitig reduzierter Granulat Korn-Härte. Zudem wird die Luftfeuchtigkeit im extrudierten Material gebunden, was die Bauteilstandzeit und -steifigkeit deutlich erhöht – und

dies bei Erhaltung der guten Wasserlöslichkeit. Außer als Stützmaterial dürfte das modifizierte PVA somit auch für andere Anwendungen mit funktionalisierter Wasserlöslichkeit, z. B. für temporäre Transporteinhausungen oder Feuchtigkeitsindikator-Bauteile, geeignet sein.

Beispiel PLA: Marktübliche Polylaktide können nur unter Inkaufnahme eingeschränkter mechanischer Bauteilfestigkeit in der granulatbasierten Direktextrusion verarbeitet werden, und dies auch nur in kontinuierlichen Prozessen. Denn wegen der hydrolytischen Zersetzung von PLA liegt die zulässige Verweilzeit bei unter drei Minuten, zudem hängt die Schmelzviskosität stark von der Verweilzeit ab. Sehr gute Ergebnisse lieferte hingegen das von Granula modifizierte PLA: Die zulässige Verweilzeit wurde um 70 % erhöht und die Abhängigkeit der Schmelzviskosität von der Verweilzeit verringert. Zudem konnten die Verarbeitungstemperaturen um 25 K reduziert und die Prozesseffizienz entsprechend gesteigert werden. Fast schon spektakulär im Umfeld der additiven Fertigung sind die erzielten Bauteileigenschaften. „Die Zugfestigkeit der Schichtlagenverbunde liegt – unabhängig von der Orientierung der Schichtlagen – bei größer/gleich 80 Prozent der Zugfestigkeit von PLA-Spritzgussbauteilen“, erklärt Schmidt.

Beispiel ABS: Die wegen ihrer guten mechanischen Eigenschaften und ihrer chemischen Beständigkeit geschätzten Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS) neigen bei längerem Verarbeitungszeiten zur Krokantbildung an der Düsenspitze und dem Extruder-Auslass. Nicht so das modifizierte ABS, bei dessen Einsatz die Krokantbildung laut Schmidt auch über lange Verarbeitungszeiträume vollständig unterbunden werden konnte und das somit zum 3D-Druck auch großvolumiger Bauteile geeignet ist. Aktuell arbeiten die Projektpartner u.a. an Modifikationen von PC/ABS mit dem Ziel, die Prozessstabilität und die Verweilzeit des Werkstoffs in der granulatbasierten Direktextrusion zu erhöhen.



▲ Labor-Versuchsaufbau für die granulatbasierte Extrusion - mit Granulateinzug, Extruder, Absaugeinrichtung und roboterbewegter Bau- plattform

Granulatbasierte Direktextrusion hat Potenzial

Durch die Versuche in Ilmenau konnten die Forscher nachweisen, dass die generative Fertigung von Bauteilen durch granulatbasierte Direktextrusion in definierten Prozessfenstern möglich ist. Demnächst wird eine Demonstrator-Anlage installiert, die die Funktionsfähigkeit des Verfahrens unter Praxisbedingungen nachweisen soll. „Das Projekt läuft bis Ende des Jahres“, sagt Prof. Dr. Jean Pierre Bergmann, Leiter des Fachgebiets Fertigungstechnik an der TU Ilmenau, „wir sind also in der heißen Phase.“ Prof. Bergmann ist sich sicher, dass die Möglichkeit der direkten additiven Verarbeitung von Granulaten einen Branchentrend trifft. „Sowohl in der Metall- als auch in der Kunststoffverarbeitung wächst das Interesse an einer breiten Auswahl möglichst preisgünstiger Materialien, deren Anwendung nicht an einen Anlagentyp gebunden ist.“ Die Konsortiumspartner haben sich darauf geeinigt, das neue

Verfahren zunächst mit verschiedenen Standardpolymeren zu testen. Die Weichen für weitere Entwicklungen sind aber gestellt. „Wir haben bewusst ein modulares Anlagenmodell gewählt“, sagt Leander Schmidt. So kann z.B. der Antrieb ausgetauscht werden, um Materialien verschiedener Härte, möglicherweise auch technische Kunststoffe, zu verarbeiten. Die Anlagenarchitektur soll auf die Parallelschaltung von bis zu drei Extrudern ausgelegt werden, sodass potenziell auch Mehrkomponenten- oder Hybridbauteile mit Metalleinlagen möglich wären. Bis dahin ist aber noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten: „Zurzeit fahren wir noch den Mercedes, den Bertha Benz gesteuert hat“, verbildlicht Erika Chodura, „wir gehen Schritt für Schritt und sind gespannt, wohin die Reise führt.“

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert und vom

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Projekträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor. ■

Autor

Ralf Mayer ist Chefredakteur
Plastverarbeiter.
ralf.mayer@huethig.de

Kontakt

- ▶ Technische Universität Ilmenau,
Fakultät für Maschinenbau
leander.schmidt@tu-ilmenau.de
- ▶ Granula Deutschland, Rudolstadt
info@granula.de

Halle/Stand

B4/4007