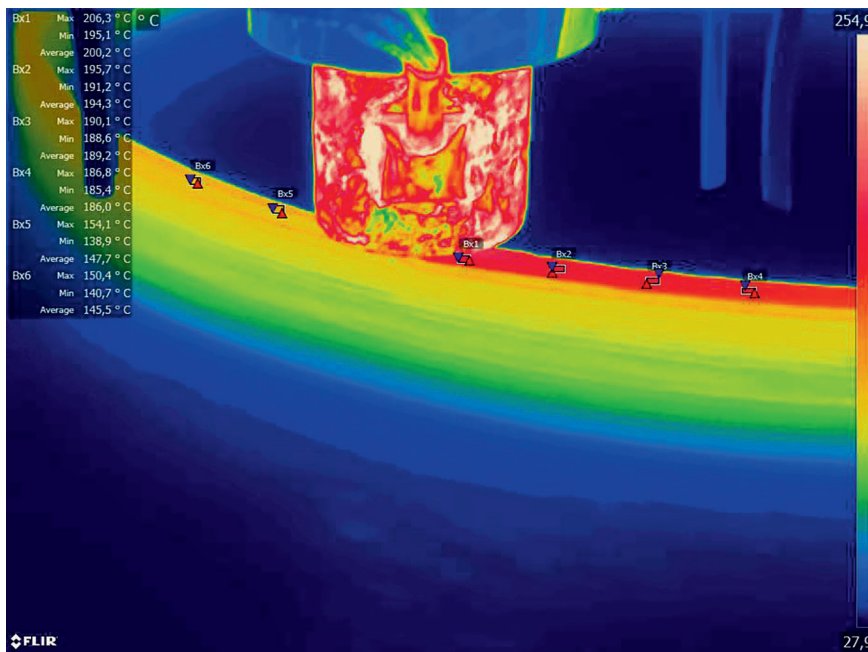


Groß und doch wirtschaftlich

Alternativer Ansatz für den großformatigen 3D-Druck mit Kunststoff

Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojekts hat das Fraunhofer Kunststoffzentrum Oberlausitz in Zusammenarbeit mit der Hochschule Zittau/Görlitz sowie den Industriepartnern KraussMaffei und Elbe Flugzeugwerke ein extruderbasiertes Verfahren zur additiven Fertigung großformatiger Kunststoffbauteile weiterentwickelt. Im Fokus standen dabei, neben einem Proof of Concept, Untersuchungen, wie die Parameter des Versuchsaufbaus das abgetragene Material beeinflussen und sich eine möglichst hohe Bauteilqualität erreichen lässt.



Die Temperaturanalyse des abgelegten Kunststoffstrangs beim großformatigen extruderbasierten 3D-Druck-Verfahren © Fraunhofer IWU

Viele großformatige Bauteilanwendungen können mit herkömmlichen 3D-Drucktechniken noch nicht erschlossen werden. Der Grund dafür: Sie können sich aufgrund von hohen Maschinenkosten und teuren Ausgangsmaterialien wirtschaftlich oft nicht gegenüber konventionellen Fertigungsprozessen durchsetzen. Der Einsatz von marktverfügbaren Industrierobotern in Kombination mit einem ortsfesten thermoplastischen Granulatrextrusionssystem und einem flexiblen Leitungssystem für die Thermoplastschmelze macht den großformatigen Kunststoff-3D-Druck zukünftig in diesen

Bereichen jedoch wettbewerbsfähig. Aktuelle CAD/CAM-Lösungen ermöglichen es mittlerweile auch, mehrachsige Werkzeugwege auf Industrierobotern prozesssicher zu programmieren, und bieten somit eine sehr hohe Gestaltungsfreiheit bei der Nutzung dieser Technologie.

Eine große Herausforderung beim Aufbau eines großformatigen 3D-Drucksystems besteht darin, das zu bewegende Gewicht am Roboterkopf zu reduzieren. Herkömmliche granulatverarbeitende mobile Extrudersysteme besitzen Druckkopfgewichte von zum Teil mehr als 100 kg, die an kostengünstigen Industrie-

robotern mit geringen Traglasten nicht eingesetzt werden können. Einen Lösungsansatz stellt die hier beschriebene Technik dar, die das Fraunhofer IWU, die Hochschule Zittau/Görlitz, die KraussMaffei Technologies GmbH und die Elbe Flugzeugwerke GmbH in einem gemeinsamen Forschungsprojekt untersucht haben.

Extrudereinheit von der 3D-Druckdüse am Roboter entkoppeln

Der Anlagenaufbau (**Bild 1**) besteht aus einem Industrieroboter (Typ: Stäubli RX160; Hersteller: Stäubli Tec-Systems GmbH) sowie einem ortsfesten thermoplastischen Einschneckenextruder (Typ: E45PK; Hersteller: Collin Lab & Pilot Solutions GmbH) mit gekoppelter Schmelzeleitung und einem eigens für das Projekt entwickelten Druckkopf mit wechselbaren Austragsdüsen. Die verwendete Schmelzeleitung wurde elektrisch beheizt, mit eigener Steuerung; die getesteten Längen der Schmelzeleitung betragen 2 bis 3 m. Mit diesem Aufbau wird das beschriebene Gewichtsproblem gelöst, indem man die schwere Extrudereinheit von der am Industrieroboter montierten 3D-Druckdüse entkoppelt.

Da die Extrudereinheit stationär neben dem Industrieroboter positioniert werden kann, muss dieser lediglich den leichten Druckkopf tragen und bewegen. Ein Forschungsschwerpunkt bestand darin, verschiedene Schmelzeitungstypen auf ihre Eignung für den 3D-Druck mit thermoplastischem Standard-Kunststoffgranulat zu untersuchen. Dazu wurden

verschiedene ungefüllte und verstärkte Kunststoffe verarbeitet – Austragsmengen von bis zu 30 kg/h konnten hierbei reproduzierbar erreicht werden.

Für die Versuche wurden thermoplastische Materialien mit hohem Anwendungspotenzial ausgewählt. Zum Einsatz kamen unverstärkte teilkristalline und amorphe Thermoplaste (PP, PE, ABS, PC+ABS, PC+ASA) sowie kurzfaserverstärkte Typen (PP, PA). Die Verarbeitungstemperatur und die Schneckendrehzahl des Extruders wurden so auf das verarbeitete Polymer abgestimmt, dass die Kunststoffschmelze ausreichend viskos und damit fließfähig war. Besonderes Augenmerk lag auf einem moderaten Eintrag der Wärmeenergie, weil diese nach dem 3D-Druckprozess wieder abgeführt werden muss.

Druckschwankungen in der Schmelzeleitung

Die Untersuchungen hatten das Ziel, verschiedene Schmelzeleitungen hinsichtlich der sich einstellenden Schmelzedrücke bei verschiedenen Materialien zu charakterisieren. Zur Bestimmung des Schmelzedrucks wurden zwei Drucksensoren verwendet. Ein Sensor wurde direkt im Düsenkopf des Extruders positioniert, ein weiterer im für diese Versuche konstruierten Druckkopf unmittelbar vor der Austragsdüse integriert (**Bild 2**). Die von den Sensoren erfassten Werte (Druck) werden mit der Extruder-Software erfasst, grafisch dargestellt und anschließend ausgewertet.

Neben dem Druck wurde auch die zugehörige Temperatur der Kunststoffschmelze an den beiden Messpunkten erfasst. Bei Schmelzeleitungen mit geringem Querschnitt wurden sehr hohe Druckverluste von bis zu 300 bar zwischen Extruder und Austragsdüse gemessen. Der Druck im Druckkopf blieb dabei relativ stabil, auch wenn der Druck im Extruder durch eine Änderung der Schneckendrehzahl variiert wurde. Bei (dynamischen) Versuchen entstand durch die räumliche Bewegung des Roboterarms eine Druckschwankung von bis zu 2 bar in der Schmelzeleitung.

Dieses Verhalten wurde an Schmelzeleitungen mit verschiedenen Innendurchmessern untersucht. Mit dem beschriebenen Aufbau und geeigneten Polymeren konnten, unter Variation der Aus-

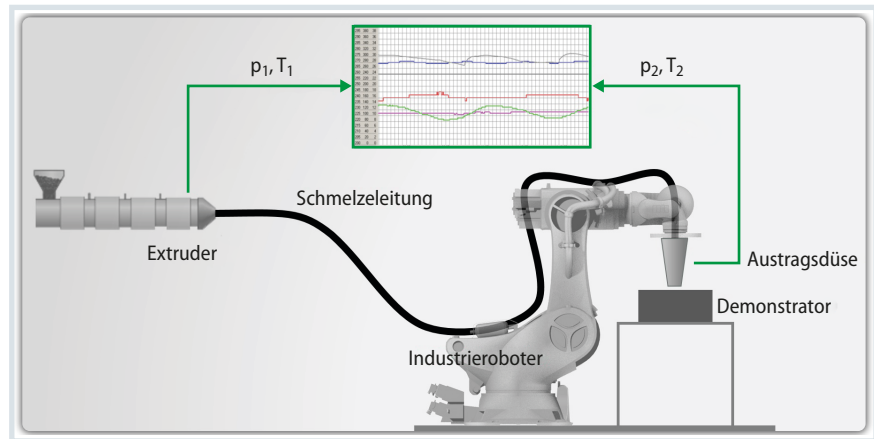


Bild 1. Der Extruder ist mit einer flexiblen Schmelzeleitung mit dem am Industrieroboter befestigten Druckkopf gekoppelt © Fraunhofer IWU

tragsmenge und der Schneckendrehzahl des Extruders, Extrusionsraten von bis zu 30 kg/h erreicht werden (**Bild 3**).

In den ersten Versuchsreihen zeigte sich eine hohe Materialschwindung der unverstärkten Materialtypen. Um diesem Problem zu begegnen, wurden für weitere Versuche kurzfaserverstärkte Kunststoffe gewählt: Polypropylentypen, die u.a. mit einem Anteil von 6% bzw. 20% Recycling-Carbonfasern (rCF) oder 30% Glasfasern verstärkt waren. Die ersten Versuche mit einer PP-rCF6-Type zeigten, dass die hohe Fließfähigkeit und der 6-%ige Fasergehalt für die Stabilität der Einzelschichten eines im Großformat-3D-Druck hergestellten Objekts bei den gewählten Parametern nicht ausreichen, obwohl die Schmelzeviskosität durch eine geringe Verarbeitungstemperatur auf einem möglichst hohen Niveau gehalten wurde.

Einfluss des Materials auf die Schichtstabilität

Auch das verarbeitete niedrigviskose PP-rCF20 konnte hinsichtlich der erzielten Schichtstabilität nicht überzeugen. Erst eine höherviskose PP-GF30-Type stellte eine gute Wahl für die untersuchten 3D-Druckparameter dar. Hier zeigte sich, dass die Viskosität des ausgetragenen Schmelzestrangs ausreichend hoch war, um eine formstabile Schicht abzulegen und die nachfolgende Schichtprozesssicher aufzutragen. So konnte ein homogenes Erscheinungsbild des Probekörpers erzeugt werden.

Mit dem gewählten Material konnte eine hohe Genauigkeit in der Strangablage gemäß der programmierten Druck-

kopfbewegung dargestellt werden (**Bild 4**). Um die Formstabilität der Einzelschichten – trotz der grundsätzlich geringen Wärmeleitfähigkeit polymerer Werkstoffe bei gleichzeitig großem Querschnitt des Kunststoffstrangs im großformatigen 3D-Druck – zu verbessern, wurde am Druckkopf ein aktives Kühlsystem integriert. Das druckluftbasierte Kühlsystem wurde mit verschiedenen Luftgeschwindigkeiten bei gleichbleibender Extrudereinstellung betrieben, um den Einfluss der Wärmeabfuhr auf den Materialaustrag und die Bauteiloberfläche zu bewerten. »

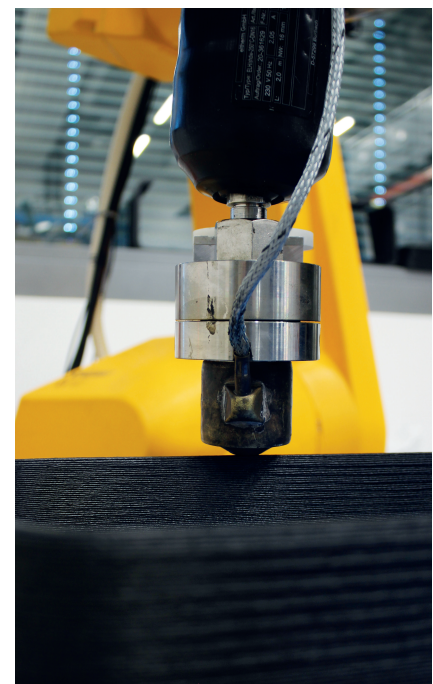


Bild 2. Der neuartige Druckkopf ermöglicht eine Druck- und Temperaturmessung der Kunststoffschmelze © Fraunhofer IWU

To-Dos bis zur Serienreife

Die untersuchte 3D-Drucktechnik bietet unter Anwendung marktverfügbarer industriell eingesetzter Technologien, wie Kunststoffextrusion und Roboterautomatisierung, gegenüber Kunststofffilamenten den klaren Vorteil, kostengünstiges Kunststoffgranulat zu verwenden. Für die Überführung in den industriellen Einsatz ist es u. a. notwendig, die Model-Datei des Druckobjekts in die Maschinensoftware (G-Code) des Roboters zu transferieren. Zudem ist, um eine hohe Bauteilqualität sowie eine optimale Schichtenanbindung zu erzielen, ein Temperierkonzept erforderlich.

Die Autoren

Dr.-Ing. Ondrej Kotera, Dipl.-Ing. (FH) Erik Lautzus und Dipl.-Ing. (FH) Jens Stein sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) in Zittau; ondrej.kotera@iwu.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Rico Fahr und Dipl.-Ing. (FH) Nick Backasch sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Hochschule Zittau/Görlitz; rico.fahr@hszg.de

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Scholz ist Abteilungsleiter am Fraunhofer IWU; sebastian.scholz@iwu.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Andreas Bierbaumer arbeitet in der Abteilung Technologieentwicklung der KraussMaffei Technologies GmbH, München.

Prof. Dr.-Ing. Jens Liebhold ist Direktor Neue Technologien bei KraussMaffei; jens.liebhold@kraussmaffei.com

Dipl.-Ing. Alexander Knorr ist im Engineering – Material and R&T der Elbe Flugzeugwerke GmbH, Dresden, tätig.

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

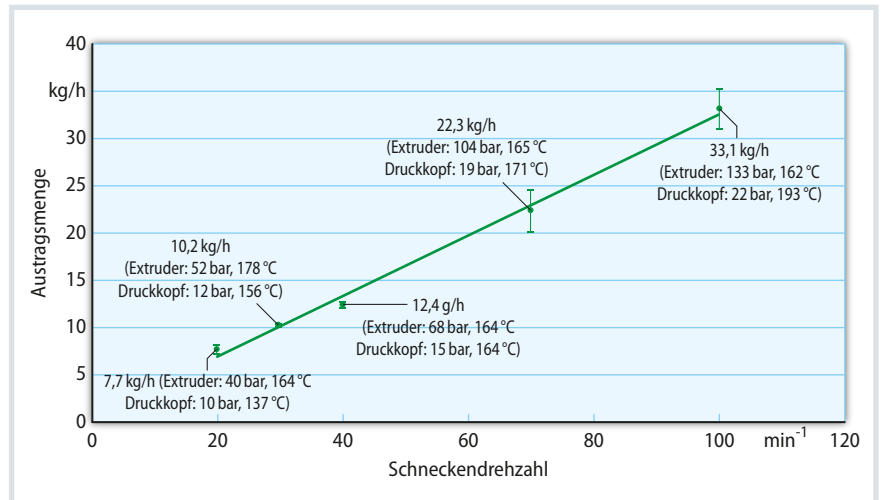


Bild 3. Die Austragsleistung des Extruders von Collin (Schmelzleitung NW16, Druckdüse 6 mm) weist eine lineare Charakteristik in Abhängigkeit der Drehzahl auf. Quelle: Fraunhofer IWU; Grafik: © Hanser



Bild 4. Die Faserlänge und der Fasergehalt beeinflussen die Schichtstabilität und somit auch die Bauteilqualität. © Fraunhofer IWU

Durch das integrierte Kühlsystem im Düsenbereich kann die Formqualität der Einzelschichten an einem 3D-gedruckten Kunststoffbauteil merklich erhöht werden, da der erzeugte Luftstrom den Druckbereich effektiv abkühlt. Der thermische Effekt der integrierten Kühlung wurde mittels Thermografieanalyse am gedruckten Bauteil verifiziert (Bild 5). Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer aktiven Kühlung die Temperatur um bis zu 25 K im kontinuierlichen Druckprozess gesenkt werden kann.

Fazit

Das hier vorgestellte Drucksystem aus Standard-Industriekomponenten verbindet durch die Nutzung von kostengünstigem Standard-Kunststoffgranulat eine geringe Anlageninvestition mit hohen Austragsmengen. Die vier Projektpartner Fraunhofer Kunststoffzentrum Oberlausitz, Hochschule Zittau/Görlitz, KraussMaffei und Elbe Flugzeugwerke sehen in diesem Technologieansatz ein großes Po-

tenzial für die wirtschaftliche Fertigung großformatiger thermoplastischer Bauteile. Eine Herausforderung für die Weiterentwicklung des Verfahrens ist es, den Prozess in Bezug auf die Formstabilität der Einzelschichten und die Verbundhaftung zwischen den Schichten abzustimmen, um belastbare, dimensionsstabile und verzugsarme Großstrukturen zu fertigen. ■

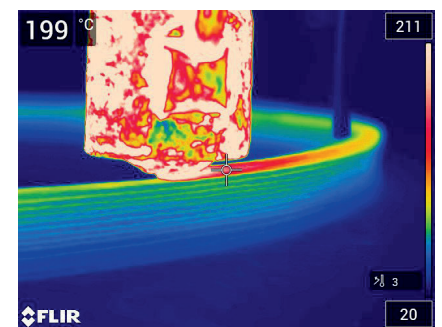


Bild 5. Die Resttemperatur der abgelegten Kunststoffstränge beeinflusst grundsätzlich die Bauteilfestigkeit in Aufbaurichtung (Z-Richtung). © Fraunhofer IWU