

3D-Druck mit Kunststoffgranulat auf Metall

Kunststoff-Metall-Hybrid spart Kosten und Zeit in der additiven Fertigung

Additive Fertigungsverfahren gelten als zukunftsweisende Produktionsvarianten. Eine Vielzahl an Studien und prämierten Demonstratoren verdeutlicht das Interesse der Industrie. Trotzdem gibt es im Bereich der kunststoffbasierten Produkte bislang nur vereinzelt Anwendungen mit nennenswerten Stückzahlen. Nun besteht mit der schneckenbasierten additiven Fertigung eine Lösung für wirtschaftliche und technische Herausforderungen und das Potenzial zur Serienproduktion.

Der Fahrradrahmenkorpus (600 g, gefertigt in 80 Minuten) wird direkt auf ein Metallblech gedruckt. Diese Kombination führt die Vorteile aus zwei Welten zusammen © Yizumi



Die Diskussion darüber, unter welchen Bedingungen sich Bauteile mit additiven Fertigungsverfahren herstellen lassen, ist aktuell stark von einem gewissen Wunschdenken geprägt. Die Sinnhaftigkeit einer konkreten Umsetzung kann in vielen Fällen bereits bei der Projektfindung durch eine fehlende wirtschaftliche Basis und aufgrund hoher Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Bauteile angezweifelt werden. Zwar bietet die additive Fertigung Vorteile im Bereich der Werkzeughaltung, der Flexibilität, der Konstruktionsfreiheit und der Funktionsintegration. Jedoch bleibt der schlichte Fakt, dass die Überführung in Massenfertigungssegmente niemals vor-

genommen wird, wenn die resultierenden Herstellungskosten pro Bauteil über den aktuellen Möglichkeiten eines werkzeuggebundenen Verfahrens liegen. Auch muss man sich von der Denkart lösen, aktuelle Spritzgießdesigns mit einem 3D-Drucker zu fertigen. Wie jedes Fertigungsverfahren bedürfen auch additive Verfahren angepasster Designs, um das vollständige Potenzial zu erschließen.

In dieser Ausgangslage entwickelte ein Forscherteam am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen ein schnecken- und roboterbasiertes additives Fertigungsverfahren und stellte dieses erstmalig während des Kunststofftechnischen Kolloquiums 2016 in Aachen vor [1]. Dieses Konzept wurde von der Yizumi Germany GmbH, Alsdorf, unter Einbeziehung desselben Forscherteams aufgegriffen und zu einer skalierbaren Anlagentechnik industrialisiert.

Technisches Kernelement ist ein Leichtbauextruder, der lediglich 7,5 kg

wiegt. Mit diesem können immer noch alle gängigen Werkstoffe von PMMA über PC bis PP und PA – mit und ohne Füllstoff – verarbeitet werden. Gleichzeitig können durch den Leichtbauansatz auch kleine Robotergrößen genutzt werden. Deren Reichweite ist meistens mehr als ausreichend.

Anisotropie durch Strangausformung gezielt beeinflussen

Gerade der Einsatz faserverstärkter Thermoplaste ist vor dem Hintergrund der geforderten mechanischen Eigenschaften für additiv gefertigte Strukturbauteile vorteilhaft. Die Verwendung von Granulat erlaubt hierbei im Vergleich mit anderen additiven Verfahren einen hohen Anteil an Verstärkungsstoffen. Die mechanischen Eigenschaften eines Formteils werden übergreifend über alle Fertigungsverfahren durch die Faserorientierung beeinflusst. Aufgrund der guten mechanischen und rheologischen Eigenschaften sowie der hohen Wärmeleitfähigkeit, die zum Abtransport der Wärme beim Schichtaufbau beiträgt, eignen sich carbonfaserverstärkte Werkstoffe sehr gut für einen schnellen additiven Fertigungsprozess. Im Folgenden wird ein carbonfaserverstärktes Polyamid 6 (Typ: Akromid B3 ICF 30 9 AM black (7451); Hersteller: Akro-Plastic GmbH, Niederzissen) verwendet.

Durch eine angepasste Prozessführung lässt sich die Anisotropie der me-

chanischen Eigenschaften maßgeblich beeinflussen. Ein anisotropes Verhalten wird dabei durch die Parameter des gewählten Düsendurchmessers sowie das Verhältnis aus Vorschubgeschwindigkeit und Masseaustrag bezogen auf den Düsendurchmesser beeinflusst.

Es können drei unterschiedliche Arten der Strangausformung definiert werden. So haben wir es entweder mit einer vorausseilenden Schmelze, einer gezogenen Schmelze oder einem Zwischenzustand zu tun. Aus diesen Randbedingungen folgt, dass Fasern und Moleküle bei einer gezogenen Schmelze stärker orientiert sind als bei einer vorausseilenden Schmelze.

Dies wird bei Betrachtung des Biegemoduls und der Biegefestigkeit durch eine signifikante Erhöhung der mechanischen Eigenschaften bei vergrößertem Düsendurchmesser und gleicher Strangbreite deutlich (**Bild 1**). Durch die erhöhte Anisotropie erreichen die additiv gefertigten Prüfkörper das Eigenschaftsniveau spritzgegossener Prüflinge.

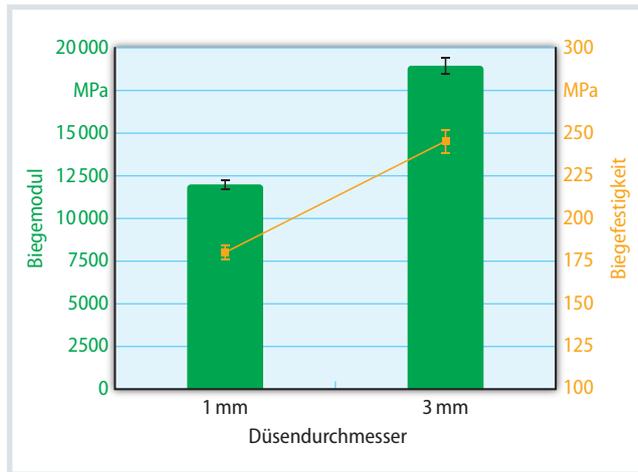


Bild 1. Steigende Düsendurchmesser beeinflussen die Anisotropie mechanischer Eigenschaften im Bauteil positiv. Quelle: Akro-Plastic/Yizumi; Grafik: © Hanser

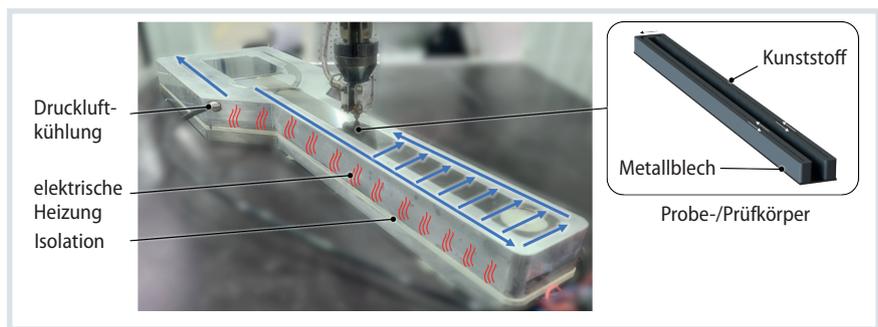


Bild 2. Versuchsaufbau: Variotermer Werkstückträger im Bauraum der Fertigungsanlage SpaceA, Temperaturlastzyklus und Prüfkörpergeometrie © Yizumi

Warum braucht der 3D-Druck Metall?

Die Integration von Metallkomponenten in die additive Kunststoffverarbeitung ist aus mehreren Gründen vorteilhaft. Erstens bieten Hybridstrukturen die Möglichkeit, Werkstoffe anforderungsgerecht einzusetzen. Zweitens können flächige Strukturen, die nur inadäquat durch Schraffur-Operationen additiv gefertigt werden können, einfach integriert werden. Die flächige Struktur wird lediglich

als Halbzeug dem Prozess hinzugefügt. Somit entfällt auch das notwendige Bauplattformmanagement. Die „Bauplattform“ verbleibt im Bauteil als funktionserfüllende Komponente. Beide Aspekte sparen drittens Zeit und Geld. Abseits der additiven Fertigung auf Metallblechen öffnet sich durch das Hybridverfahren ebenfalls die direkte Fertigung auf »

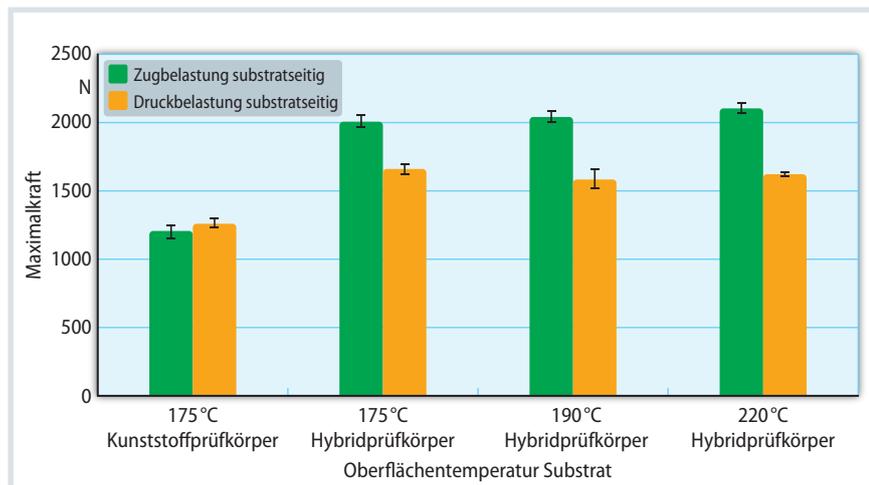


Bild 3. Maximale Bruchkraft bei verschiedenen Einlegertemperaturen. Dabei zeigt sich die gute Verbindung von Kunststoff und Metall über einen weiten Temperaturbereich

Quelle: Akro-Plastic/Yizumi; Grafik: © Hanser

Die Autoren

Dipl.-Ing. Thilo Stier ist Global Sales Director & Innovation Manager bei der Akro-Plastic GmbH, Niederrissen.
Michael Rieck, M.Sc. RWTH, ist Business Development Manager bei Akro-Plastic; michael.rieck@akro-plastic.com
Dr.-Ing. Nicolai Lammert ist Leiter des Geschäftsbereichs Additive Fertigung bei der Yizumi Germany GmbH, Alsdorf; n.lammert@yizumi-germany.de

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-12

English Version

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

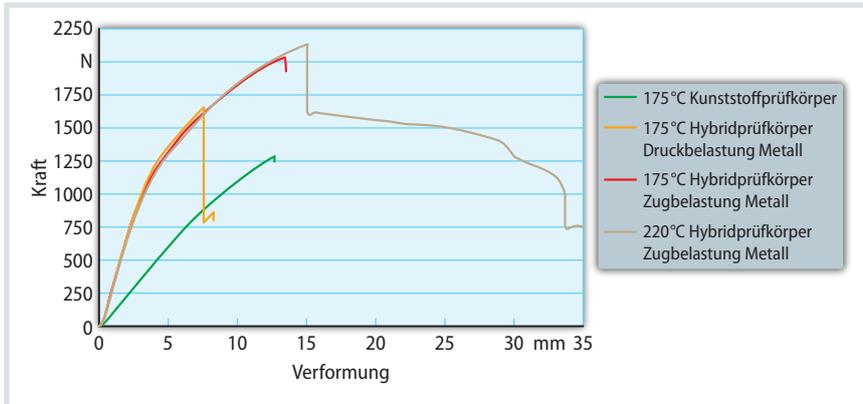


Bild 4. Kraft-Verformungsdiagramm der untersuchten Probekörper. Der hybride Aufbau steigert die Steifigkeit und Festigkeit gegenüber reinen Kunststoffprüfkörpern. Quelle: Akro-Plastic/

Yizumi; Grafik: © Hanser

dreidimensionalen Strukturen (metallisch oder polymer).

Automatisierbare Herstellung hybrider Bauteile

In einem ersten Schritt werden die benötigten Metallbleche mit dem von der Plasmareat GmbH, Steinhagen, und der Akro-Plastic GmbH entwickelten PST-Verfahren (Plasma-SealTight) mit einer lagerfähigen plasmapolymersierten Haftvermittlerschicht versehen. Das Verfahren wird im Spritzgießen erfolgreich zur Herstellung hochfester Kunststoff-Metall-Verbindungen eingesetzt [2, 3]. Direkt im Anschluss an die Beschichtung kann dann das Metallblech bedruckt werden.

Wichtig an dieser Stelle ist eine geeignete Kontakttemperatur zwischen Metallblech und Kunststoffschmelze. Hierzu wird eine variotherme Blechhalterung benötigt. Diese kann anders als in der va-

riothermen Spritzgießtechnik jedoch sehr kompakt und oberflächennah ausgeführt sein, da im Vergleich zum Spritzgießen um Größenordnungen geringere Kräfte auf die Form wirken.

Die Prozesse lassen sich mit unterschiedlichen Metallen kombinieren [2]. Im Rahmen einer initialen Prozessbewertung wurden eine Aluminiumlegierung und Edelstahl verwendet, um Trägerstrukturen und die in den folgenden Untersuchungen genutzten Probekörper herzustellen [4]. Um jedoch das mechanische Potenzial der Kunststoff-Metall-Verbindung bewerten zu können, bedarf es einer genauen Untersuchung der Einflussparameter.

Vorgehensweise zur Analyse der mechanischen Eigenschaften

Um die Einflüsse der kombinierten Prozesse und Materialien auf die mechani-

schen Eigenschaften von additiv gefertigten Kunststoff-Metall-Hybriden zu untersuchen, wurden Probekörper für Dreipunktbiegeversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 178 entwickelt. Die Kunststoffkomponente der Probekörper besteht aus einer geschlossenen Kontur mit vier parallelen Strängen über den gesamten Prüfbereich. Die Höhe des Probekörpers ist mit 10 mm festgelegt. Um den Schubspannungseinfluss bei den schichtweise aufgebauten Probekörpern zu verringern, wurde ein Verhältnis aus Länge zu Höhe von 25 gewählt [5]. Es wurden Kunststoffprüfkörper und Hybridprüfkörper mit 1 mm dicken Edelstahleinlegern untersucht (Bild 2).

Um die dargestellten Prozesseinflüsse der additiven Fertigung einzuordnen, wird der Düsendurchmesser bei den Kunststoffprüfkörpern bei gleicher Austragsbreite variiert. Als Teil des Versuchsplans wird ebenso die Peak-Temperatur des variothermen Werkstückträgers variiert. Dabei wurde die Oberflächentemperatur des metallischen Einlegers nacheinander auf 175°C, 190°C und 220°C eingestellt. Bei der Fertigung der Kunststoffprüfkörper wird die variotherme Temperierung mit 175°C Peak-Temperatur an der Oberfläche des Werkstückträgers beibehalten.

Die verwendeten Kunststoff- und Hybridprüfkörper wurden im Dreipunktbiegeversuch mit einer Stützweite von 200 mm und skaliertes Prüfgeschwindigkeit geprüft. Die Krafteinleitung erfolgt dabei sowohl substratseitig als auch auf der substratabgewandten Seite, sodass die Metalleinleger auf Zug oder Druck belastet werden.

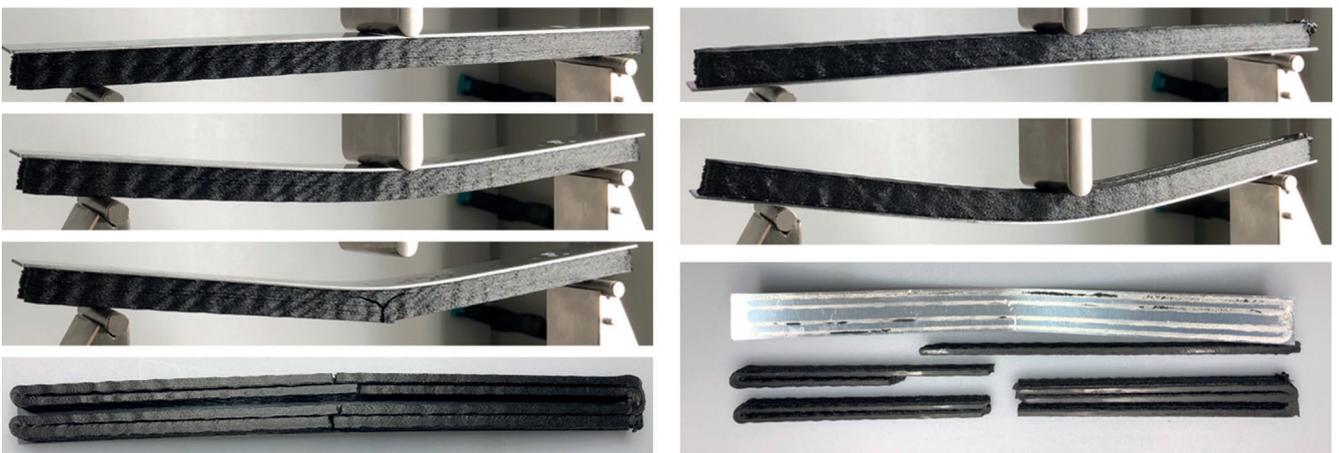


Bild 5. Prüfung des Hybridbauteils in Ausgangslage (links Krafteinleitung in die Metallkomponente, rechts in die Kunststoffkomponente), maximale Biegung des Probekörpers und Versagen mit Bruchbild (Einlegertemperatur 175°C) © Akro-Plastic/Yizumi

Mechanische Eigenschaften am Optimum

Der Einfluss der Einlegertemperatur auf die mechanischen Eigenschaften von Kunststoff-Metall-Hybriden kann den Messergebnissen (Bild 3) und exemplarischen Kraft/Weg-Kurven (Bild 4) entnommen werden. Erkennbar liegt eine hohe Konsistenz der Werte über das gesamte Prüfbild vor. Die Streuung kann als vernachlässigbar klein betrachtet werden. Es ist somit von robusten Prozessen auszugehen.

Die gegenüber einem Kunststoffformteil nahezu verdoppelte erreichbare Maximalkraft verdeutlicht zum einen das mechanische Potenzial additiv gefertigter Kunststoff-Metall-Hybride, das sich ebenso in einem hohen Steifigkeitsprung widerspiegelt (Bild 4). Zum anderen ist ersichtlich, dass die Biegefestigkeit ab einer Einlegertemperatur von 175 °C unabhängig von der Belastungsart der Metallkomponente nicht mehr signifikant steigt und somit über einen weiten Temperaturbereich gute Verbundeigenschaften erzielt werden konnten.

Unterschiede über den Temperaturbereich lassen sich jedoch im Bruchverhalten feststellen, wie die verschiedenen temperatur- und belastungsabhängigen Bruchdehnungen verdeutlichen. Bei gleicher Temperatur (175 °C) versagt bei Kräfteinleitung in die Metallkomponente die Kunststoffkomponente in der Randfaser unter Zugbelastung mit einem wandernden Riss durch den Kunststoff bei der geringsten Durchbiegung. Die Verbindung zwischen Metall und Kunststoff bleibt hierbei bestehen.

Bei Kräfteinleitung in die Kunststoffkomponente bei gleicher Temperatur führt die aufgebrachte Kraft zu einer plastischen Verformung der Metallkomponente. Das Versagen findet wiederum im Kunststoff auf Zug und somit in der Grenzfläche zwischen Metall und Kunststoff statt. Dies hat ein vollständiges Ablösen der Kunststoffkomponente zur Folge (Bild 5). Die Bruchbilder deuten auf einen gut ausgebildeten Verbund von Kunststoff und Metall hin. Die Rückstände auf der metallischen Oberfläche nach der zerstörungsbehafteten Prüfung zeigen, dass das Versagen in der Kunststoffkomponente erfolgt.

Bei erhöhter Einlegertemperatur von 220 °C verändert sich die Versagensart.

Bemerkenswert ist hier, dass sich die Durchbiegung bis zum vollständigen Versagen des Prüfkörpers annähernd verdreifacht (Bild 6). In Bezug auf die Steifigkeit und den Verlauf vor Erreichen des Kraftmaximums ist die Prüfcharakteristik von höher temperierten Proben annähernd deckungsgleich mit geringeren Temperaturniveaus (Bild 4).

Die Bruchmechanik auf makroskopischer Ebene ist ebenfalls beeindruckend. Auch hier tritt bereits eine plastische Verformung der Metallkomponente ein. Das Versagen nimmt seinen Anfang ebenso an der Grenzfläche zwischen Kunststoff und Metall. Allerdings bleibt der Verbund intakt. So kommt es nicht zu einem Erstversagen zwischen den Schichten, sondern bis zur neutralen Faser quer zur Aufbauichtung. Das weitere und vollständige Versagen erfolgt durch Druckspannungen.

Fazit

Wie gezeigt, ist der Prozess zur Herstellung eines Kunststoff-Metall-Hybridbauteils leicht automatisierbar (Bild 7). Den Untersuchungen zufolge ist die Verbundfestigkeit zwischen Metall und Kunststoff über die Plasmaschicht sehr hoch, das Bauteil weist höhere mechanische Eigenschaften auf, als die Kunststoffmatrix als solche. Es konnte gezeigt werden,

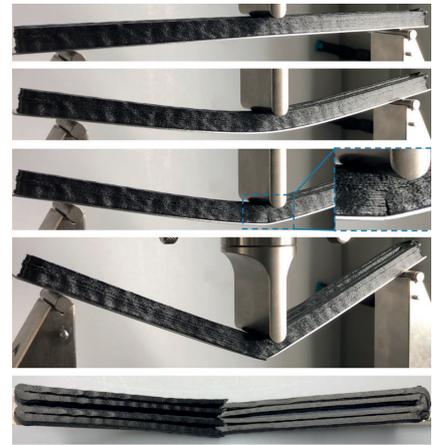


Bild 6. Prüfung in Ausgangslage (Kräfteinleitung in die Kunststoffkomponente), maximale Biegung des Prüfkörpers und Versagen mit Bruchbild (Einlegertemperatur 220 °C)

© Akro-Plastic/Yizumi

dass die resultierenden mechanischen Eigenschaften des Probekörpers im 3-Punkt-Biegeversuch zum Idealbruch am Prüfkörper führen.

Zudem kann der Hybridansatz bei der additiven Fertigung im Gegensatz zu üblichen Ansätzen im Urformmaschinenbau auch wirtschaftliche Vorteile bieten. Eine Reduktion der Bauteilkosten von 10% für den dargestellten Demonstrator (Titelbild) verdeutlicht das wirtschaftliche Potenzial additiv gefertigter Kunststoff-Metall-Hybride. ■



Bild 7. Eine modulare Anlagenstrategie erlaubt die Skalierung (hier das größte Modell SpaceA 2000-500-S) sowie die Integration aller bekannten Automatisierungskonzepte © Yizumi