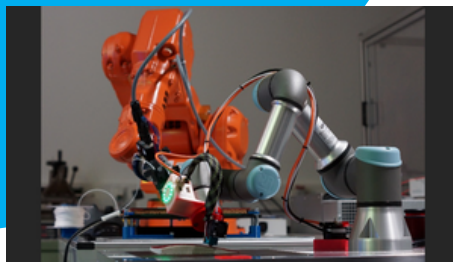


# Roboterbasierte Additive Fertigung komplexer Multimaterial-Bauteile

Roboterbasiertes additives 6D-Fertigungsverfahren zur konturnahen Herstellung von komplexen Struktur-Bauteilen mit Integration von Fasern oder Leiterbahnen

- Maximale Flexibilität durch Beweglichkeit in sechs Freiheitsgraden
- Druck deutlich komplexerer Bauteile ohne Stützstrukturen möglich
- Multimaterial-Bauteile einfach realisierbar
- Deutliche Festigkeitssteigerung und Spannungsbelastbarkeit
- Konturnaher Druck entlang der 3D-Form des Objekts
- Keine Treppenstufenartefakte
- Integration von Endlosfasern, elektrischer oder optischer Leiter (in mehreren Schichten)



## Anwendungsbereiche

Struktur- und biegebelastete Bauteile, Funktionsbauteile mit elektrischen, optischen Eigenschaften, Freiformbauteile

## Kontakt

Dr. Dirk Windisch  
TLB GmbH  
Ettlinger Straße 25  
76137 Karlsruhe | Germany  
Telefon +49 721-79004-0  
windisch@tlb.de | www.tlb.de

## Entwicklungsstand

TRL4

## Patentsituation

EP 3736108 B1 (EU-  
Einheitspatent) erteilt  
EP 3736108 (GB) erteilt

## Referenznummer

18/107TLB

## Service

Die Technologie-Lizenz-Büro GmbH ist mit der Verwertung der Technologie beauftragt und bietet Unternehmen die Möglichkeit der Lizenznahme.

## Hintergrund

In den letzten Jahren hat die additive Fertigung eine eindrucksvolle Wandlung durchgemacht und sich zu einer disruptiven Technologie entwickelt. Mit ihrer Fähigkeit zur Kosteneinsparung, Individualisierung, Beschleunigung der Produktentwicklung und Fokussierung auf Nachhaltigkeit hat der 3D-Druck erheblich an Bedeutung gewonnen. Die inzwischen zahlreichen Methoden erlauben vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, von einfachen Anwendungen im Bereich Hobby oder Modellbau bis hin zur Produktion von Prototypen, Kleinserien und hochkomplexen Bauteilen in den Bereichen Maschinenbau, Automobil und Luftfahrt. Kontinuierliche technologische Fortschritte in Materialien, Anlagensteuerung, Bauteileigenschaften, Präzision und Geschwindigkeit erschließen immer neue Anwendungsfelder.

## Problemstellung

Die Qualität von additiv hergestellten Objekten hängt stark von der verwendeten Fertigungstechnologie, dem eingesetzten Material und der Komplexität des zu fertigenden Bauteils ab. Beispielsweise kommt es bei gekrümmten Bauteilen durch die schichtweise Fertigung oftmals zu Treppenstufenartefakten, die visuell störend und strukturell oftmals nachteilig sind. Ein weiteres Problem ist, dass in bekannten additiven Fertigungsverfahren es oftmals keine bauteilangepasste Planung der Druckbahnen gibt, um z.B. in bestimmten Bereichen des Bauteils die lokale Festigkeit zu erhöhen oder um verschiedene Materialien (z.B. Integration von Fasern) zu kombinieren. Entsprechend kann die additive Fertigung oftmals nicht für strukturbelastete (Leichtbau-) Bauteile verwendet werden, wo deren Einsatz wirtschaftlich besonders interessant wäre.

## Lösung

In der Arbeitsgruppe Optische Technologien von Prof. Börret im Zentrum für Optische Technologien (ZOT) der Hochschule Aalen wurde ein roboterbasiertes additives 6D-Fertigungsverfahren zur Herstellung komplexer Multimaterial-Bauteile entwickelt. Die Vorrichtung besteht aus einer Aktuator-Einrichtung, die in sechs Freiheitsgraden beweglich ist. Durch die 6D-Bewegungsfreiheit, die drei Raumrichtungen und drei Winkelrichtungen umfasst, kann die Vorrichtung in alle Raumrichtungen bewegt, gedreht und verkippt werden. Durch diese hohe Bewegungsfreiheit ist die Vorrichtung deutlich flexibler einsetzbar und damit in der Lage aus der sonst üblichen schichtweisen Ablage in der xy-Ebene auszubrechen. Auf diese Weise kann die Vorrichtung bei insbesondere gekrümmten Bauteilen der dreidimensionalen Kontur im Raum folgen und die Druckbahn entsprechend auch in z-Richtung verändern. Dadurch entsteht keine Treppeneffekt und eine ansprechende sowie hohe Oberflächengüte. Durch den Einsatz verschiedener Extruder oder Druckköpfe können verschiedene Materialien eingesetzt werden, womit Multi-Material-Bauteile möglich sind. Beispielsweise können Endlosfasern in besondere beanspruchte Bereiche integriert werden, um belastbare Strukturbauteile zu erzeugen. Durch Integration von elektrischen oder optischen Leitern können neue Anwendungen

und Einsatzmöglichkeiten erschlossen, oder die Bauteile „intelligent“ werden, z.B. Defekterkennung, elektrische Leitfähigkeit oder heizbare 3D-Druck Materialien. Durch Einsatz einer intelligenten Steuerung können Dehnungseigenschaften, mechanische Festigkeit (Kraftleitung und Zug-/Druckrichtung), Oberflächengüte, elektrische Eigenschaften bzw. Leitfähigkeit und optische Eigenschaften (z.B. Brechungsindex) des Bauteils bei der die Ausrichtung und Verlauf der abzuschneidenden Schichten berücksichtigt. Beispielsweise können Bahnabstände verändert werden um gezielt Variationen der Eigenschaften innerhalb des Objekts zu realisieren, sowie Vorschubrichtung der Druckeinheit verändert werden um in kritischen Bereichen langsamer sowie in flächigen Bereichen schneller zu drucken.

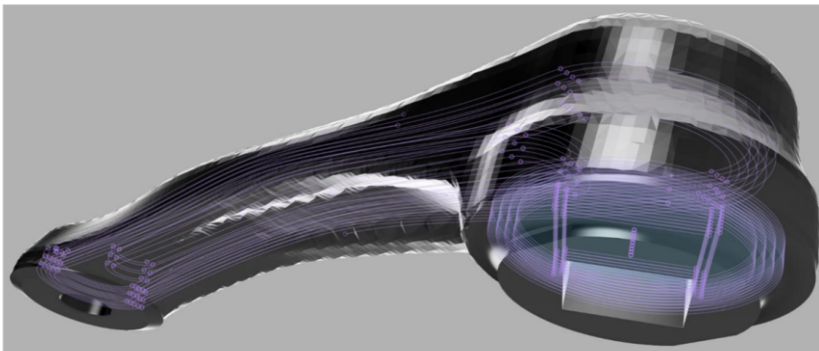


Abbildung 1: Faserpfad-Planung zur Herstellung einer 6D-gedruckten Fahrrad-Tretkurbel aus PLA mit Integration Kohlenstofffasern entlang der Lastpfade (Prof. Börret, ZOT, Hochschule Aalen)

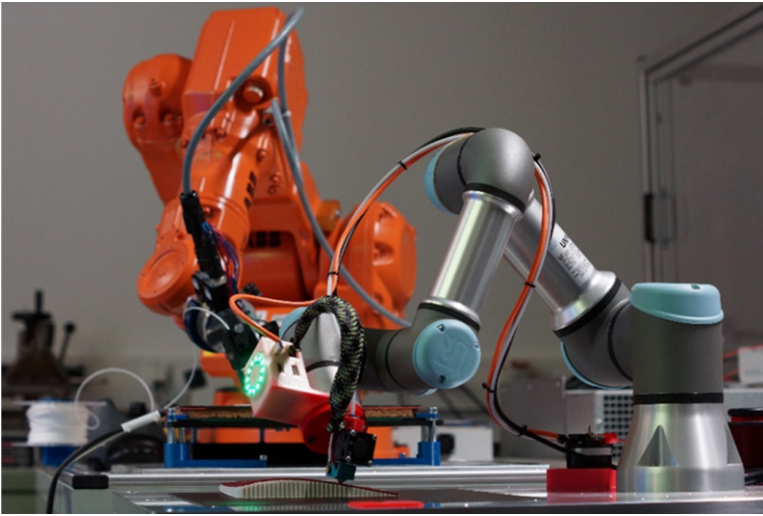


Abbildung 2: Roboterbasierter 6D-Druck ist mit verschiedenen Robotertypen möglich.  
 (Bildquelle: Prof. Börret, ZOT, Hochschule Aalen)

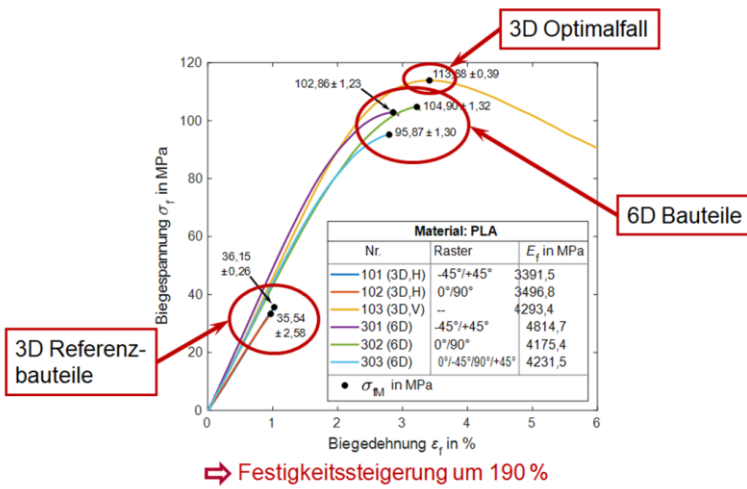


Abbildung 3: Festigkeitssteigerung (Biegefestigkeit) bei 6D gedruckten Teilen um 190% im Vergleich zu 3D gedruckten Teilen (Bildquelle: Prof. Börret, ZOT, Hochschule Aalen)

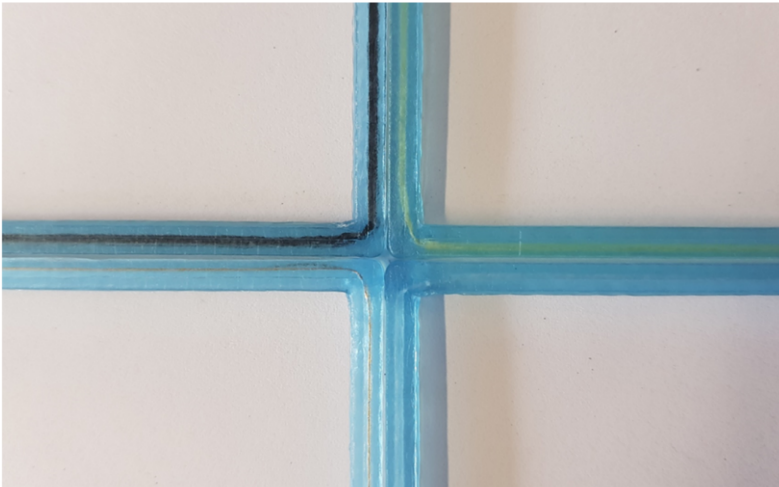


Abbildung 4: 6D-Druck einer Carbonfaser, einer Kevlarfaser, einer Fiberglasfaser und eines Kupferlackdraht in einem Beispielbauteil (Bildquelle: Prof. Börret, ZOT, Hochschule Aalen)

### Vorteile

- Maximale Flexibilität durch Beweglichkeit in sechs Freiheitsgraden
- Druck deutlich komplexerer Bauteile möglich
- Multimaterial-Bauteile einfach realisierbar
- Deutliche Festigkeitssteigerung im Vergleich zu herkömmlichen 3D-gedruckten Bauteilen
- Deutliche Steigerung Spannungsbelastbarkeit im Vergleich zu herkömmlichen 3D-gedruckten Bauteilen
- Konturnaher Druck entlang der dreidimensionalen Form des Objekts
- Keine Treppenstufenartefakte
- Integration Endlosfaser, verlaufend durch mehrere Schichten, wodurch belastbare Bauteile erzeugt werden können
- Integration elektrische oder optische Leiter
- Keine Stützstrukturen beim Druck notwendig