

## **ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN FÜR POLYMERE UND MULTIMATERIALSYSTEME – EIN ÜBERBLICK**

**Matthias Schulze\***

*Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,  
Theodor-Körner-Allee 6, 02763 Zittau*

**Sebastian Scholz**

*Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,  
Theodor-Körner-Allee 6, 02763 Zittau*

**Lukas Boxberger**

*Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,  
Nöthnitzer Straße 44, 01187 Dresden*

Durch die Nutzung der additiven Fertigung können innovativen Ideen mit einer großen Designfreiheit und einer weitgehenden Geometrieunabhängigkeit in einem kurzen Zeitraum realisiert werden. Ziel des Multi-Material-3D-Drucks ist die Kombination von Materialien in einem Bauteil/ System mit unterschiedlich definierten Eigenschaften wie z.B. elektrisch leitfähig und elektrisch isolierend, dicht und porös, hart und duktil. Es wird ein Überblick über die additive Fertigung von Polymeren und Multimaterialsystemen gegeben. Insbesondere werden hierbei erste Lösungen bei der Kombination von elektrisch-leitfähigen und isolierenden Multimaterialsystemen vorgestellt.

### **1. Eingrenzung des Multimaterialdrucks**

Im Bereich des 3D- Druckes von Kunststoffen können seit einiger Zeit Multimaterialsysteme durch den parallelen Druck von Filamenten mit unterschiedlichen Eigenschaften erzeugt werden. So können z.B. mehrfarbige Bauteile gedruckt werden oder durch die Kombination von starren und flexiblen Materialien Objekte mit beweglichen Teilen und definierten elastischen Eigenschaften hergestellt werden.

Beim metallischen 3D-Druck werden z.B. Aktoren/ Sensoren während des Druckvorgangs in das Bauteil eingesetzt, um spezielle Funktionen direkt in die Bauteile integrieren zu können.

Die gemeinsame Verwendung von Kunststoffen, elektrischen Leitern oder auch magnetischen Materialien beim Multimaterial-3D-Druck steckt derzeit noch in den Kinderschuhen. Erste kommerzielle Anwendungen zeigen sich z.B. in der Aufbau- und Verbindungstechnik in der Mikroelektronik (System-in-Package), wo z.B. durch den Einsatz von additiven Fertigungstechnologien auf die Verwendung von Drahtbondprozessen verzichtet werden kann. [1]

### **2. Typische Verfahren in der Additiven Fertigung von Polymeren**

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten additiven Verfahren für die Verarbeitung von Polymeren. [2]

Im Bereich des Pulverbettverfahren werden die Verfahren des Multijetfusion und des Selektiven Lasersinterns unterschieden. Das Multijetfusion (MJF) funktioniert ähnlich dem Prinzip von Tintenstrahldruckern. Hierbei wird entweder Tinte verdruckt, welche das Pulver verbindet (Fusion Agent) oder Tinte verdruckt, welche das Pulver separiert (Detailing Agent). Durch die gleichzeitige Aufnahme der Energie eines Infrarotstrahlers werden die Pulverteilchen miteinander versintert. Typische Materialien sind PA11 und PA12.

Beim Selektiven Lasersintern (SLS) wird in einem erwärmten Bauraum durch die Absorption der Energie eines Lasers das Pulvermaterial direkt versintert. Typische Materialien sind hier PA6, PA11 und TPU. [3],[4]

Im Bereich der Materialeextrusion wird zwischen der Extrusion von Filamenten (Fused Deposition Modeling oder auch Fused Filament Fabrication) und der Extrusion eines Granulates unterschieden. Das FDM-Verfahren ist heute vor allem bei Privatanwendern als ‚das‘ 3D-Druck-Verfahren bekannt. Typische Materialien sind

PLA, ASA, ABS, TPU, PC und viele mehr. Auch Hochleistungskunststoffe wie PEEK, PEKK oder PEI können verdruckt werden, jedoch ist hier eine adäquate Bauraumtemperierung bis zu 300°C erforderlich, um eine konstante Prozessführung zu gewährleisten.

Material Jetting ist eine Technologie, bei der photoempfindliche Komponenten auf das Substrat aufgedruckt werden und durch UV- Licht ausgehärtet werden.

Ein weiteres Verfahren ist die Photopolymerisation, bei der flüssige Harze durch die Belichtung mit einem UV-Laser (Stereolithografie, SLA) direkt oder über ein bewegliches Spiegelarray (DLP- Chip) polymerisiert werden. Durch die Verwendung von Harzen entstehen duroplastische Bauteile. [5]

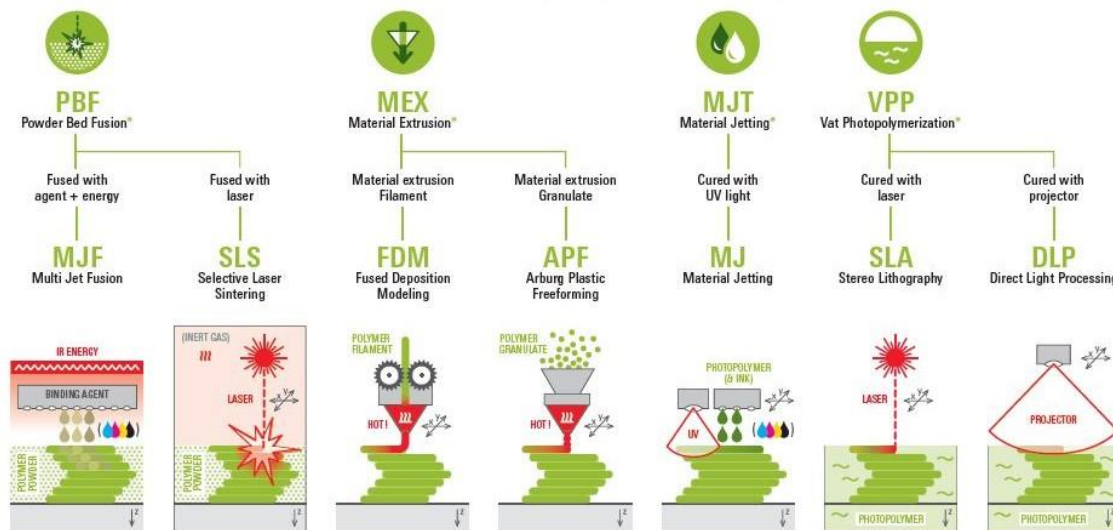


Abbildung 1: Übersicht über die wichtigsten Additiven Verfahren für Polymere [2]

### 3. Multimaterialsysteme im Bereich der Additiven Fertigung von Polymeren

Im Bereich des 3D- Drucks von Kunststoffen können schon seit einiger Zeit Multimaterialsysteme durch den parallelen Druck von Filamenten (FDM) oder auch Photopolymeren/ Tinten (MJF, MJT) mit unterschiedlichen Eigenschaften erzeugt werden. So können z.B. mit dem Material Jetting (MJT) durch die gleichzeitige Kombination von sechs unterschiedlichen Photopolymeren mehrfarbige Bauteile mit bis zu 360.000 Farben gedruckt werden.



Abbildung 2: Sportschuh gedruckt im MJT-Verfahren

Abbildung 2 zeigt einen gedruckten Sportschuh mit dem Material Jetting. [6].

Eine weitere Möglichkeit, z.B. die mechanischen Eigenschaften im Bauteil zu variieren, ist eine Variation der Dichte des Materials im Druck. Abbildung 3 zeigt einen gedruckten Fahrradsattel im SLS-Verfahren. Hierbei wird der Füllgrad im Bauteil während des Drucks im Verfahren geändert, so dass das verwendete TPU unterschiedliche mechanische Eigenschaften besitzt.



Abbildung 3: Variation von Eigenschaften bei einem Fahrradsattel (SLS- Verfahren)

Ähnliche Verfahren werden z.B. auch bei der Herstellung von orthopädischen Sohlen verwendet. [7]

In Abbildung 4 ist ein weiteres Beispiel dargestellt. Abgebildet ist ein Lagerbock, auf dem eine Welle einfach entnehmbar gelagert ist. Der Hauptkörper des Bauteils ist aus faserverstärktem Filament gefertigt, während die kritische Lagerfläche, auf der die Welle mit teils hohen Drehzahlen läuft, aus einem Tribo-Filament gefertigt ist. [8]



Abbildung 4: Multimaterialdruck mit dem FDM-Verfahren eines Lagerblocks

#### 4. Multimaterialsysteme – Kombination von Polymeren mit leitfähigen Materialien in einem Druckprozess

Die Kombination des 3D-Drucks mit der Applikation von leitfähigen Materialien in einem Prozessschritt erlaubt die simultane und somit effiziente additive Fertigung komplexer Kunststoffbauteile mit integrierten Leiterbahnen. Dazu wurde am Fraunhofer IWU ein Druckkopf entwickelt (Abbildung 5), welcher einen Metalldraht kontinuierlich fördert und dabei gleichzeitig den formgebenden thermoplastischen Kunststoff extrudiert.



Abbildung 5: Druckkopf für das Legen von Metalldrähten und der gleichzeitigen Extrusion von thermoplastischen Polymeren

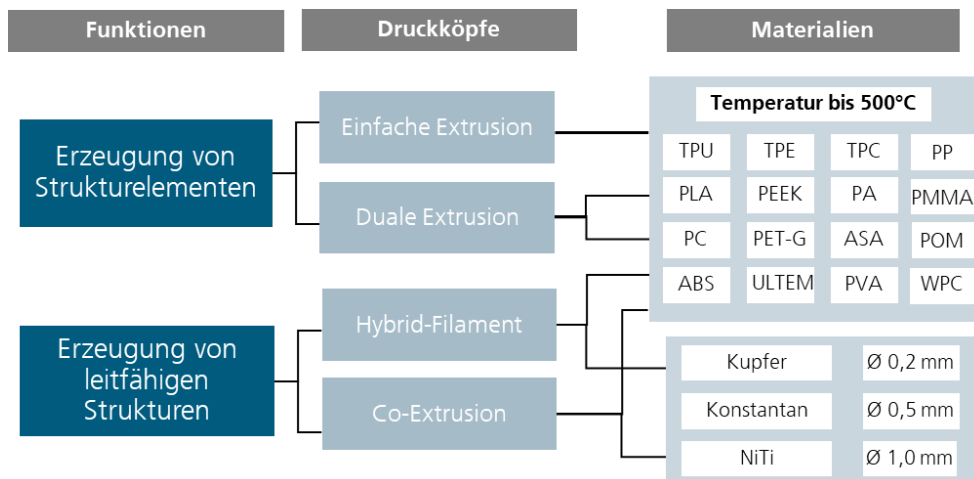


Abbildung 6: Übersicht über mögliche Kombinationen von Prozessen in einem Druckkopf

Der Druckkopf ist hierbei mit einer Endlosrotation ausgerüstet. Dies ermöglicht einen kontinuierlichen Druck in der X-Y-Ebene. In Abbildung 6 sind die aktuell möglichen Kombinationen des 3D-Drucks von Polymeren wie z.B. ABS oder TPU und dem Drahtlegen von Kupfer, Konstantan oder NiTi dargestellt. Hierbei beträgt die maximal einstellbare Extrusionstemperatur 500°C, wodurch auch hochtemperaturbeständige Thermoplaste wie PEI (ULTEM) oder PEEK

mittels additiver Fertigung verarbeitet werden können. Parallel zum Druck können auch zusätzliche Bauteile durch einen Pick- und Place-Prozess in das Bauteil eingefügt werden.

Das Multimaterialsystem kann entweder mit einem kombinierten Hybridfilament oder über eine Co-Extrusion ausgebracht werden. Die typische Austragsgeschwindigkeit beträgt bis zu 150 mm/s.

In Abbildung 7 ist der Druck einer Spule aus Kupfer und ABS dargestellt. Dieses Verfahren ermöglicht auf der einen Seite eine modifizierte und angepasste Herstellung von Spulen, auf der anderen Seite auch die Möglichkeit, diese Bauelemente auf 3D-Oberflächen aufzudrucken.

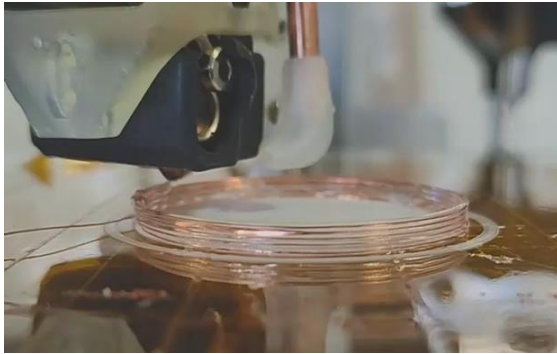


Abbildung 7: 3D-Druck einer Spule mit Kupfer und ABS als isolierendes Material

In Abbildung 8 ist eine 3D-gedruckte Fingerorthese dargestellt. Durch die Kombination von PLA mit einem Konstantan-Draht (Durchmesser 0,2 mm) wird diese Orthese erst in einem planaren Verfahren gedruckt und anschließend durch eine Erwärmung auf 50°C individuell an den Finger des Patienten angepasst.



Abbildung 8: Druck einer Fingerorthese für eine individuelle Anpassung durch eine thermisch induzierte Phasenänderung

Um z.B. einen 3D-Druck von Lautsprechern zu realisieren, wird auf eine Membran aus TPU (100 µm) ein Kupferdraht kombiniert mit PC ausgedruckt. (Abbildung 9). Durch das Anlegen einer Spannung wird die Membran zum Schwingen angeregt, wodurch die Lautsprecherfunktion realisiert werden kann.



Abbildung 9 Lautsprecher als Multimateriasystem aus Kupfer /PC auf einer 100µm dicken TPU-Membran

## 5. Ausblick

Trotz des Eindrucks, dass sich der Multimaterialdruck noch in den Kinderschuhen befindet, zeigen die Beispiele, dass sich mit dieser Technik viele Bauteile additiv fertigen lassen. In einer Hochspannungsanwendung sollte der Einfluss von 3D-Druck-typischen Eigenschaften wie Lunker oder auch die „Rillenstruktur“ näher untersucht und deren Einfluss minimiert werden.

## Literatur

- [1] Lysien, Mateuz (2022), High-resolution deposition of conductive and insulating materials at micrometer scale on complex substrates, nature.com
- [2] Ritter, Steffen (2020). formnext AM Field Guide compact 2020: Frankfurt a.M.: Mesago Messe
- [3] <https://www.protiq.com/3d-druck/verfahren/multi-jet-fusion/Multijetfusion>
- [4] <https://sls3d.de/wissen/was-ist-selektives-lasersintern/>
- [5] <https://xometry.eu/de/stereolithographie/>
- [6] <https://www.3dnatives.com/de/schuhe-aus-dem-3d-drucker-individuelle-hingucker-fuer-alle/>
- [7] <https://medizin-und-technik.industrie.de/3d-druck/neuer-werkstoff-fuer-individuelle-einlegesohlen-aus-dem-drucker/>
- [8] <https://blog.igus.de/konstruktionstipps-multi-material-bauteile-aus-dem-3d-drucker>