

# Flexible Fertigungssysteme und 3D-Druck

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas

*Dieser Beitrag soll anhand eines Projektbeispiels aufzeigen, welche Bedeutung „Flexibles Arbeiten“ für die Gestaltung von Produktionsprozessen der Zukunft besitzt. Der aktuelle Trend der Individualisierung von Produkten führt zwangsläufig zu höchstmöglicher Flexibilität in der Produktion im Sinne von Industrie 4.0 und gleichzeitig zur Integration der Additiven Fertigung in die klassischen Produktionslinien. Das gegenständliche Projekt befasst sich mit der Automatisierung des Gesamtprozesses beim 3D-Drucken. Alle Nebentätigkeiten, wie der Materialwechsel oder das Bauteilhandling, werden mit einem Industrieroboter realisiert. Ziel ist es, die Vorteile eines Flexiblen Fertigungssystems für den 3D-Druck zu nutzen, um so das Potenzial dieser Technologie hinsichtlich Produktionskosten voll auszuschöpfen.*

**3D-Druck, Automatisierung, Flexible Fertigung, Industrie 4.0.**

## I. EINFÜHRUNG

Die Verfahren der Additiven Fertigung (3D-Druck) rücken immer mehr ins Rampenlicht des allgemeinen Interesses, da sie vor allem hinsichtlich Produktgestaltung und Flexibilität sehr viele Vorteile bieten. Einige Verfahren und Anlagen sind auch sehr preiswert und werden somit immer interessanter für kleine Unternehmen und Privatpersonen. Es



Abb. 1 Überblick „Additive Manufacturing“ (Breuninger et.al. 2013)

Manuscript received March 31<sup>st</sup> 2015, revised June 1<sup>st</sup> 2015, accepted by Siegfried Vössner June 1<sup>st</sup> 2015.

gibt zahlreiche Ansätze, mit denen man generativ fertigen kann. In der Regel arbeiten sie jedoch noch zu langsam, um sich gegen die industrielle Serienfertigung behaupten zu können. Dadurch werden diese Fertigungsverfahren hauptsächlich bei Sonderanfertigungen und für Prototypen genutzt. Abbildung 1 gibt einen Überblick zu den wichtigsten Verfahren des „Additive Manufacturing“.

Als Merkmal zur Einteilung dient das Ausgangsmaterial, das entweder in fester (Folie, Draht, Pulver) oder flüssiger Form vorliegt. Da den in Bild 1 angeführten Bauprinzipien hinsichtlich Baugeschwindigkeit, Genauigkeit und Materialeigenschaften Grenzen gesetzt sind, ist die Prozessoptimierung das Gebot der Stunde. Das Institut für Fertigungstechnik hat den Versuch unternommen, die Nebenprozesse eines handelsüblichen 3D-Druckers soweit zu automatisieren, dass dieser autonom arbeiten kann. Dadurch wird es möglich, mehrere 3D-Drucker zu einem flexiblen Fertigungssystem zusammenzufassen und auf diese Weise eine wirtschaftliche Produktion für individualisierte Produkte für neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Durch die Automatisierung mit einem Industrieroboter können die Druckaufträge an mehreren „Low-Cost-Druckern“ ohne Personaleinsatz z.B. über Nacht bearbeitet werden. Tritt eine Störung auf, wird der 3D-Druck sofort abgebrochen und auf eine weitere Maschine umgeleitet, Material- und Werkzeugwechsel erfolgen automatisch.

## II. FLEXIBLE FERTIGUNGSSYSTEME

Unter einem flexiblen Fertigungssystem versteht man eine Gruppe von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, die über ein gemeinsames Werkstück-Transportsystem verbunden sind und zentral gesteuert werden. Der Fertigungsdurchlauf erfolgt vollautomatisch. Wesentliche Merkmale eines Flexiblen Fertigungssystems (FFS) sind:

- FFS-geeignete Maschinen mit Leitreechner
- Werkstück- bzw. Materiallagersystem
- Reinigungsstation, Messstation,

In hoch automatisierten Systemen werden auch das Materiallager, die Spannvorrichtungen, die Qualitätskontrolle und die Werkzeugverwaltung ins Konzept mit einbezogen.

Flexible Fertigungssysteme sind aus der industriellen Produktion nicht mehr wegzudenken. Sie haben sich besonders dort bewährt, wo Produkte nur in kleineren bis mittleren Stückzahlen bzw. als Einzelteile („Batch Size One“) gefertigt werden müssen (Kief et.al. 2013).

### III. ADDITIVE FERTIGUNG

Additive Fertigungsverfahren beruhen auf dem Prinzip des schichtweisen Aufbaus von Bauteilen, d.h. das Bauteil wird durch die Erzeugung einzelner Schichten generativ erzeugt.

Bild 2 zeigt den Verlauf der Fertigungs-Stückkosten, nicht wie meist üblich als Funktion der Stückzahl, sondern in Abhängigkeit der Bauteilkomplexität. Für die sehr komplexen Bauteile des Leichtbaus oder bei Integralbauteilen ist die Additive Fertigung deutlich wirtschaftlicher als die konventionelle Fertigung. Über eine CAD-CAM Kopplung werden digitale CAD-Datenmodelle direkt in reale Bauteile umgesetzt. Die vorgeschlagene Automatisierung des

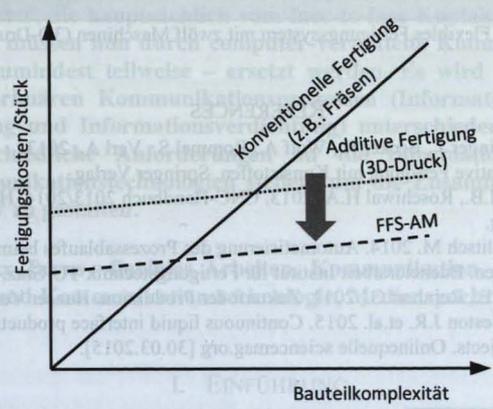


Abb. 2 Vergleich „Konventionelle“ und „Additive“ Fertigung

Druckens (Kurve FFS-AM) zeigt eine signifikante, vom Bauteil unabhängige Kostenreduktion durch die Verkürzung der Durchlaufzeit und den reduzierten Personalaufwand. Prämisse für die Gültigkeit des Vergleichs sind Werkstücke gleicher Bauhöhe, die mit den additiven Verfahren schichtweise (Dicke ca. 0,05 bis 0,1 mm) erreicht wird.

### IV. AUTOMATISIERUNG DES 3D-DRUCKPROZESSES

Das Institut für Fertigungstechnik der Technischen Universität Graz hat ein Projekt erfolgreich abgeschlossen, dessen Ziel die Automatisierung sämtlicher Nebenprozesse (z.B. Fertigteilwechsel, Filament-Wechsel) beim 3D-Druck ist. Ausgangsbasis ist ein Makerbot Replicator 2X. Dies ist ein Standard-3D-Drucker, welcher nach dem „Fused Filament Fabrication“ Verfahren arbeitet (siehe Abbildung 3). Bei diesem Projekt wurde neben der Funktionalität besonderes Augenmerk auf die Kosten gelegt. Um die Nebenprozesse beim 3D-Druck zu automatisieren, bedarf es einer Modifikation des Druckers.

Bei dieser wurde sichergestellt, dass am Gerät selbst keine Nacharbeiten durchgeführt werden müssen. Dazu wird ein Umbausatz an den am Drucker vorhandenen Verbindungsstellen montiert. Dieser Umbausatz wurde am Institut für Fertigungstechnik entwickelt und ermöglicht die Bedienung des ausgewählten Druckers mit einem Knickarmroboter.

Zirka 80 Prozent (siehe Bild 4) der Komponenten des Umbausatzes für einen üblichen 3D-Drucker werden durch generative Fertigung mit dem Drucker selbst hergestellt. Dies spart Zeit und Kosten. Des Weiteren wird dadurch der Umbau vereinfacht, da zur Produktion der Bauteile nur der Drucker erforderlich ist. Erfolgreich durchgeführte Versuche bestätigen die Funktionalität der Interaktion zwischen Roboter und 3D-Drucker. Hiermit ist eine Basis für den Aufbau flexibler 3D-Druck Fertigungszellen geschaffen.

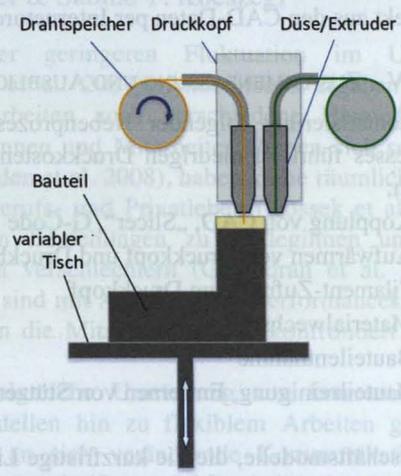


Abb. 3 Fused Filament Fabrication Prinzip mit zwei Drahtrollen

Das am IFT entwickelte „Automation-Kit“ für den 3D-Drucker besteht im Wesentlichen aus einer Werkstück-Trägerplatte, einer Drahtrollenaufnahme, einer Einzugs- und Puffervorrichtung sowie der Kamerahalterung. Durch die Einzugsvorrichtung ist der komplexe Bewegungsvorgang der Drahtzuführung zum Druckkopf vom Roboter entkoppelt. Abbildung 4 zeigt den für die Automatisierung hochgerüsteten 3D-Drucker.

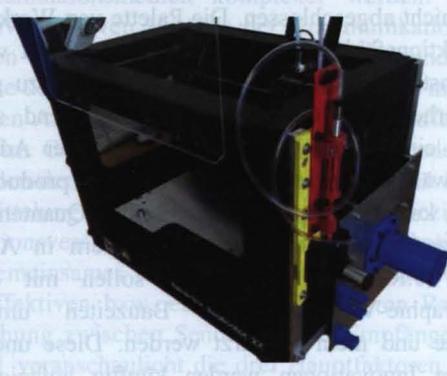


Abb. 4 Drucker mit Anbauteilen („IFT-Automation-Kit“)

In Abbildung 5 ist eine mögliche Variante eines solchen Flexiblen Fertigungssystems dargestellt. Darin übernimmt ein Knickarmroboter, welcher auf einer Linearachse verfährt, die Bedienung von zwölf 3D-Druckern (Michelitsch 2014).

Ein Video zur Automatisierung der Nebenprozesse des 3D-Druckers ist auf [www.ift.tugraz.at](http://www.ift.tugraz.at) zu finden.

Störungen während des Druckvorgangs werden automatisch detektiert und der jeweilige Auftrag an einem Ersatzdrucker abgearbeitet, wodurch Produktqualität und Liefertreue gewährleistet sind. Die erweiterte Sensorik am Drucker schafft mit der Vernetzung aller Einheiten eine Datenbasis, deren Auswertung auf Sicht den Prozess verbessert und das Flexible Fertigungssystem im Sinne von Industrie 4.0 optimiert. Jeder 3D-Drucker stellt für sich ein „Cyber Physical Production System“ dar, die Produkte werden direkt aus den CAD-Daten per Internetorder definiert.

**V. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK**

Die Automatisierung folgender Nebenprozesse des 3D-Druckprozesses führt zu niedrigen Druckkosten und kurzen Lieferzeiten:

- Kopplung von CAD, „Slicer“, G-Code
- Aufwärmen von Druckkopf und Druckbett
- Filament-Zufuhr zum Druckkopf
- Materialwechsel
- Bauteilentnahme
- Bauteilreinigung, Entfernen von Stützen

Neue Geschäftsmodelle, die die kurzfristige Lieferung von Einzelteilen und Kleinserien über Internet-Plattformen anbieten, bekommen damit ein Werkzeug zur Hand, das es ermöglicht, noch rascher und kostengünstiger zu produzieren. Der Erweiterungsbausatz für die Automatisierung kann fast vollständig vom Drucker selbst gefertigt werden. Die Anordnung der Drucker rund um das Handhabungsgerät orientiert sich nach den räumlichen Gegebenheiten und soll die Erweiterbarkeit des Systems ermöglichen. So ist eine lineare Anordnung genauso denkbar wie ein sternförmiges Layout. Doch die Entwicklung der Additiven Verfahren ist noch lange nicht abgeschlossen. Die Palette von Werkstoffen für voll funktionsfähige Teile muss noch erweitert werden. Die preisgünstigen Anlagen verfügen meist über zu geringe Prozesssicherheit und Genauigkeit. Abschließend sei ein Beispiel für eine komplett neue Technik in der Additiven Fertigung erwähnt. „Continuous liquid interface production of 3D objects“, kurz CLIP genannt, stellt einen Quantensprung in der Baugeschwindigkeit von 3D-Druckern in Aussicht (Tumbleston J.R. 2015). Demnach sollen mit diesem Stereolithographie-Verfahren die Bauzeiten um das Zwanzigfache und mehr verkürzt werden. Diese und noch viele weitere Innovationen werden künftig aufzeigen, in welche Richtung sich die 3D-Drucker entwickeln werden. Unabhängig von der Maschinenteknik wird aber die Automatisierung der Prozesse ein unverzichtbares Element für den nachhaltigen Erfolg dieser Technologie sein. Flexibles Arbeiten und Flexibilität in der Produktgestaltung erfordern intelligente Produktionskonzepte, die von Menschen für Menschen im Sinne von Industrie 4.0 geschaffen werden müssen.

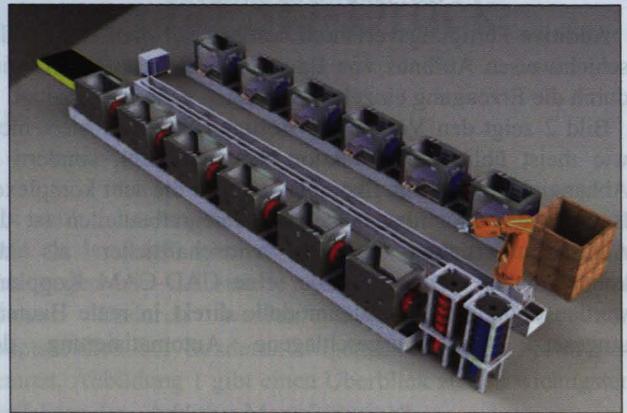


Abb. 5 Flexibles Fertigungssystem mit zwölf Maschinen (3D-Druckern)

**REFERENCES**

1. Breuninger J., Becker R., Wolf A., Rommel S., Verl A., 2013. Generative Fertigung mit Kunststoffen. Springer Verlag.
2. Kief H.B., Roschival H.A. 2013. CNC-Handbuch 2013/2014. Hanser Verlag.
3. Michelitsch M. 2014. Automatisierung des Prozessablaufes beim 3D Drucken. Bachelorarbeit Institut für Fertigungstechnik TU Graz.
4. Abele E., Reinhart G., 2011. Zukunft der Produktion. Hanser Verlag.
5. Tumbleston J.R. et.al. 2015. Continuous liquid interface production of 3D objects. Onlinequelle sciencemag.org [30.03.2015].



**Prof. Franz Haas** ist seit Oktober 2013 Vorstand des Institutes für Fertigungstechnik an der TU Graz. Zuvor war er unter anderem als FH-Professor an der Fachhochschule Campus 02 in Forschung und Lehre sowie als Geschäftsführer im eigenen Maschinenbau-Unternehmen tätig.