



AM-Bauteile gefertigt bei Inspire, irpd mit SLS (Selective Laser Sintering).

## › Zukunftstechnologie Additive Manufacturing

# AM auf dem Weg in die Produktion

Unter dem Begriff «3D-Drucken» sind in letzter Zeit zukunftsweisende Produktionstechnologien in das Licht der Öffentlichkeit geraten, deren gemeinsames Merkmal darin besteht, dass Produkte durch das sukzessive Zusammenfügen einzelner Bauteilschichten entstehen. Welche dieser schichtaufbauenden Verfahren es heute gibt, was ihr technologischer Reifegrad ist und vor allem die Frage, welche der 3D-Druck Verfahren das Potenzial haben im industriellen Umfeld zu bestehen, also dem Begriff «Additive Manufacturing» gerecht zu werden, wird im Folgenden beleuchtet.

### › Dr. Manfred Schmid<sup>1</sup>

Den 3D-Druck- oder «additiven» Verfahren gemein ist, dass zur Erzeugung eines Bauteils schrittweise Material zusammengefügt wird und zwar nur dort, wo ein Bauteil entstehen soll. Im Gegensatz dazu stehen die klassischen subtraktiven Produktionsmethoden. Durch spanabhebende Techniken wie Fräsen, Bohren und Drehen wird hier von einem Halbzeug solange Material weggenommen (subtrahiert), bis das gewünschte Teil vorliegt.

Wer sich für die additiven Technologien interessiert wird in diesem Zusammenhang

auf verschiedene Begriffe stossen: Generative Verfahren, 3D-Drucken, Freeform Fabrication, eManufacturing, Additive Manufacturing, Direct Digital Manufacturing und einige mehr. 3D-Drucken wird in letzter Zeit von den Medien gerne als Oberbegriff verwendet, was technologisch aber nicht korrekt ist. 3D-Drucken ist nur ein additives Verfahren in einem ganzen Blumenstrauß verschiedener additiver Möglichkeiten. Auch unter dem Begriff «Rapid Prototyping (RP)» sind additive Produktionstechnologien zum Teil bereits seit über 20 Jahren bekannt. Rapid Prototyping wurde und wird vorwiegend für den Modellbau und in der Produktentwicklung eingesetzt, um eine Verkürzung der Entwicklungszyklen zu erzielen. RP-Teile sind in der Regel aber Design- oder Funktionsmuster und

erfüllen keine höheren Ansprüche hinsichtlich Belastbarkeit oder direktem technischem Einsatz.

Einige additive Verfahren haben nach langjähriger Entwicklungszeit nun aber eine technologische Reife erreicht, die es erlaubt auch technisch anspruchsvolle Teile für die Serienfertigung herzustellen. Man spricht deshalb heute von «Additive Manufacturing» um auszudrücken, dass es sich dabei um echte Produktionstechnologien handelt.

### Verfahren

Technologisch betrachtet basieren die verschiedenen additiven Verfahren auf unterschiedlichen Prinzipien der Materialverbindung und es kommen auch völlig

<sup>1</sup> Dr. Manfred Schmid Leiter F&E-SLS, inspire AG, irpd, St. Gallen, manfred.schmid@inspire.ethz.ch

unterschiedliche Ausgangsmaterialien zum Einsatz. Echte chemische Reaktionen (UV-Härtung) finden Anwendung genauso wie thermisch induzierte Vorgänge (Erweichen, Schmelzen). Das Verkleben einzelner Partikel mit geeigneten Bindemitteln ist ebenfalls weit verbreitet (3D-Printing). Aufgrund der unterschiedlichen technologischen Ansätze ist zu erwarten, dass auch die resultierenden Bauteile unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. In der Tabelle sind die wesentlichen additiven Technologien zusammengestellt und mit ihren häufig verwendeten Bezeichnungen benannt (in Anlehnung an die Empfehlung VDI 3404 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)).

Werden Bauteile mit den in der Tabelle genannten Verfahren hergestellt und nach industrietypischen Kriterien wie mechanische Eigenschaften, thermische Stabilität, Langzeitbeständigkeit usw. bewertet, so verbleiben nur wenige, die den Anspruch hinsichtlich Herstellung von Funktionsteilen erfüllen – also als «Additive Manufacturing», als AM-Verfahren betrachtet werden können. Namentlich sind dies das «Selective Laser Sintering (SLS)» und mit gewissen Abstrichen auch das «Fused Deposition Modelling (FDM)». Hier erfolgt die Verbindung über thermische Vorgänge, d.h. über das Erweichen oder Schmelzen mit anschliessendem Erstarren in der gewünschten Form. Beim FDM muss aber klar zwischen dem Bereich des «Home-Printings» mit einfachen, billigen Druckern und eingeschränkter Materialauswahl und dem Bereich der Anwendung von professionellen FDM-Industriedruckern unterschieden werden.

Die Tabelle zeigt auf, dass z.B. Verfahren wie «Stereolithographie (SLA)» oder «Polyjet Modelling (PJM)» charakteristische Schwächen im Bereich der Langzeitstabilität aufweisen. Hier wird mit UV-härtenden Ausgangsmaterialien gearbeitet, welche im Sonnenlicht altern und deren Bauteileigenschaften sich ungünstig verändern. Die geringen mechanischen Stabilitäten sind dagegen beim «3D-Printing» und den Laminier-Verfahren wie LLM/LOM das Ausscheidungskriterium hinsichtlich «Additive Manufacturing». Diese Verfahren sind also aktuell weiterhin im RP Bereich anzusehen. Durch massive Weiterentwicklungen in allen der aufgeführten Technologien

sind aber zukünftige punktuelle Verbesserungen nicht auszuschliessen, was eine ständige Neubewertung der Verfahren erfordert.

Zudem tauchen auch immer wieder ganz neue AM-Verfahren im Markt auf, welche auf neuen Ideen zur additiven Materialverbindung beruhen. Zu erwähnen sind hier der «freeformer» der Firma Aarburg oder das «Selective Heat Sintering (SHS)» der dänischen Firma BluePrinter. Eine umfassende technologische Bewertung dieser Verfahren ist aufgrund der Kürze ihrer Verfügbarkeit und der aktuell geringen Verbreitung im Markt noch schwierig. Es soll an dieser Stelle auch noch erwähnt sein, dass es mittlerweile neben den kunststoffverarbeitenden AM-Verfahren auch im Bereich der Metalle Verfahren gibt, welche in der Lage sind Metallpulver additiv zu komplexen AM-Bauteilen aufzubauen: Selective Laser Melting (SLM) und Electron Beam Melting (EBM) sind hier im Wesentlichen zu nennen.

### Wo Additive Manufacturing punktet

Den additiv arbeitenden Verfahren ist als herausragendes Merkmal gemeinsam, dass sie ohne den Einsatz eines Werkzeuges auskommen, welches die Form des gewünschten Bauteils vorgibt. Aus der schichtweisen werkzeuglosen Formgebung ergeben sich viele Vorteile, welche für folgende Einsatzgebiete besonders geeignet sind:

- ökonomische Produktion kleiner Bauteilserien (ab Losgrösse 1)
- geometrische Freiheit in der Konstruktion (Freiformflächen, Hinterschnitte, Hohlräume)
- Bauteile mit Funktionsintegration (Scharniere, Gelenke, flexible Einheiten)
- Produktpersonalisierung (Medizintechnik, Sport)
- kurzfristige Produktpassungen (Verkürzung von Produktzyklen)
- ökologische Aspekte (Leichtbau, reduzierter Materialverbrauch).

Typische Branchen in denen die Vorteile des Additive Manufacturing sehr gut zum Tragen kommen und gezielt eingesetzt werden können sind: Luft- und Raumfahrt-

## LÖSUNGS-ANBIETER FÜR ANALYTISCHE LABORS



**Kundenservice ist unsere Stärke – und Ihr Vorteil**

**Unser Angebot umfasst:**

- FTIR Spektroskopie
- UV-VIS + FL Spektroskopie
- Elektronenmikroskopie
- Chemische Sensoren
- Probenaufbereitung und Laborzubehör
- Spezialanfertigungen und Baugruppen
- Kurse und Services

Die eigene feinmechanische Werkstatt ermöglicht es uns, auf Ihren Bedarf einzugehen und Geräte wo nötig anzupassen oder selbst zu fertigen.

### ELEKTRONEN-MIKROSKOP

Brauchen Sie schnelle Resultate mit Elementinformation ohne Expertenwissen?

Die Lösung: **Hitachi TM-3030 kompakt, einfach zu bedienen.**



Portmann Instruments AG



Gewerbestrasse 18 · CH-4105 Biel-Benken  
Tel. 061 726 65 55 · Fax 061 726 65 50  
info@portmann-instruments.ch  
www.portmann-instruments.ch



Name	Stereo-lithographie	Poly Jet Modelling	Multi Jet Modelling	Fused Deposition Modelling		Layer (Laminated/ Object) Modelling	3D-Printing	Selective Laser Sintering
Kürzel	SLA	PJM	MJM	FDM (home)	FDM (industry)	LLM / LOM	3D-P	SLS
Prinzip	Badhärtung mit UV-Licht	Tropfenabscheidung mit UV-Härtung	Tropfen von geschmolzenem Material	Filament-Extrusion mit geheiztem Druckkopf		Materialschichten verkleben; Konturen schneiden	Klebstoff/Binder in Pulverschicht drucken	Aufschmelzen (Laser) und verfestigen
Ausgangsmaterial	UV-sensitive Acrylate / Epoxide		wachsartige Polymere	(amorphe) Thermoplaste		Papierblätter oder Polymerfolien	Pulver aller Art (Gips, Polymer, Metall,...)	(teilkristalline) Polymerpulver
Mechanische Eigenschaften	+++	++	++	++	+++	+	---	++++
Thermische Eigenschaften	+	++	---	++	+++	++	+++	+++
Langzeitstabilität	---	---	+	++	+++	+	+	+++
Bauteilpräzision	++++	++++	++++	---	++	+++	+	+++
Reinigung und Postprocessing	+++	++	++	++	+++	++	+	++
Oberflächenbearbeitung	+++	++	++	---	+	+	+	+++
Einsatzfeld	RP	RP	RP	RP	RP/(AM)	RP	RP	RP / AM
RP = Rapid Prototyping; AM = Additive Manufacturing								

Quelle: inspire, irpd

Tabelle: Übersicht über die verschiedenen additiv arbeitenden Verfahren mit ihren Stärken und Schwächen.

industrie, Rüstungsindustrie, Automotive, Medizintechnik, Elektronik, Möbelindustrie, Schmuckindustrie, Sportgeräteindustrie und Werkzeug- und Formenbau.

Mit den additiven Technologien kann die Zeit zwischen der Fertigstellung der Konstruktionszeichnung und dem Produktionsbeginn minimiert werden bzw. die Produktion direkt mit einem AM-Verfahren umgesetzt werden. Einige bereits etablierte Geschäftsmodelle (personalisierte Bohrschablonen bei Operationen, individuelle Zahnprothetik, komplexe Möbelgleiter, individualisierte Filtersysteme) belegen schon heute den wirtschaftlichen Einsatz der AM-Technologien. Bei vielen Kundenprojekten bei Inspire, irpd, steht inzwischen der industrielle Einsatz der Teile im Vordergrund vor der Verwendung als Prototyp (RP-Teil).

In technologisch orientierten Ländern und Regionen dieser Welt existieren viele staatliche Programme und Roadmaps zum Einsatz und zur Zukunft des «Additive Manufacturing». In China, USA, England, Belgien, Singapur, um nur einige zu nennen, werden erhebliche öffentliche Gelder in die

Weiterentwicklung der Technologie investiert. Alle sehen die AM-Technologie als eine Schlüsseltechnologie für die Produktion der Zukunft.

### Herausforderungen

Einig sind sich aber alle Trendforscher, Vorschläge und Roadmaps darin, dass auf dem Weg zur breiten industriellen Akzeptanz noch einige Herausforderungen warten.

Unabdingbar ist die Weiterentwicklung und Verbreiterung des aktuellen Materialportfolios. Die aktuelle Werkstoffauswahl ist zu gering, um die vielfältigen Ansprüche der Industrie abdecken zu können. Werkstoffklassen, die hier zu nennen sind: Technische Thermoplaste im Allgemeinen und mit spezifischen Eigenschaften (z. B. flammhemmend), biokompatible und biologisch abbaubare Werkstoffe, Composites, Keramiken und farbige Werkstoffe. Speziell der Erweiterung der Werkstoffauswahl hat sich Inspire, irpd, verschrieben. Sowohl bei den Kunststoffpulvern als auch im Bereich der Metalle laufen einige Pro-

jekte, die hier zu einer positiven Entwicklung beitragen sollen.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Verbesserung der Oberflächenqualität der AM-Bauteile. Die Notwendigkeit zur Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen muss minimiert werden. Automatisierte Nachbearbeitungsprozesse vom Auspacken der Teile über das Reinigen bis zum Endfinish sind zu entwickeln. Das AM-Equipment und die zugrundeliegenden Fertigungsprozesse sind weiter zu optimieren. Prozessgeschwindigkeiten, Bauteildimensionen, Multimaterialverarbeitung, Rüstzeiten und Datenaufbereitung sind hier nur einige Stichworte. Die gesamte Prozessstabilität und die Reproduzierbarkeit müssen an die Standards anderer Fertigungsprozesse angepasst werden bei gleichzeitiger Reduktion der Betriebskosten.

Hinsichtlich der Bauteileigenschaften gibt es noch weiteren Optimierungsbedarf, vor allem im Bereich der mechanischen Eigenschaften und der Langzeitbeständigkeit. Zudem erwartet die Industrie geeignete Normen, die verlässliche Eigenschaften

definieren und festlegen. Ohne eine geeignete Standardisierung wird der Weg für AM in die Industrie steinig. Das wurde bereits erkannt und sowohl bei ASTM als auch bei ISO und CEN wird mit Hochdruck an entsprechenden Dokumenten gearbeitet. Dies geschieht zum grossen Teil in gegenseitiger Absprache, so dass berechtigte Hoffnungen bestehen, dass weltweit gültige identische Industrie-Standards für Additive Manufacturing in Kürze vorliegen.

## Ausblick

Im Gegensatz zu den teilweise überzogenen Darstellungen in der Tagespresse handelt es sich bei den 3D-Druck-Verfahren nicht um die «eierlegende Wollmilchsau». Es wird noch eine Weile dauern, bis wir ganze Häuser, Autos, menschliche Organe oder Lebensmittel ausdrucken werden, obwohl an solchen Projekten in den For-

schungslabors der Hochschulen intensiv gearbeitet wird. Die technologische Reife-kurve (Gartner Hype Cycle) zeigt klar, dass hier den teilweise stark überzogenen Erwartungen noch das Tal der Enttäuschung folgen wird.

Dennoch sollten die Unternehmen jetzt die neuen Möglichkeiten, die das Additive Manufacturing bietet, eruiieren und versuchen für ihre Zwecke einzusetzen. Dies erfordert in den Unternehmen aber ein Umdenken in mannigfaltigen Bereichen. In der Produktgestaltung und -konstruktion ergeben sich völlig neue Ansätze. «Supply-Chains» und Geschäftsmodelle werden sich im Umfeld von Additive Manufacturing stark verändern. Die Massenproduktion in Billiglohnländern wird umgelagert zu einer dezentralisierten Herstellung stark spezifischer Bauteile «vor Ort». Die Logistik verschiebt sich von den Bauteilen zu den Bauteildaten.

Das Additive Manufacturing wird sich in Zukunft in den Reigen der verschiedenen Produktionstechnologien eingliedern und immer dann zum Einsatz kommen, wenn Kleinserien hochkomplexer Bauteile produziert werden sollen. Deshalb ist es auch ein wesentlicher Punkt, dass die AM-Technologien in die Ausbildung junger Ingenieure integriert und das Verständnis für AM in den Konstruktionsabteilungen der Industrie verbessert wird. Nur wer die Möglichkeiten der Technologie bezüglich Design und konstruktiver Freiheit kennt, kann deren Vorteile gewinnbringend nutzen.

## Kontakt

inspire AG, irpd  
Lerchenfeldstrasse 5  
CH-9014 St. Gallen  
Telefon +41 (0)71 274 73 10  
irpd@inspire.ethz.ch  
www.inspire.ethz.ch/irpd

**TOOL-TEMP®**

**DRUCKWASSERGERÄT**  
TT-DW160<sub>9kW</sub>

- bis 160°C
- mit Plattenwärmetauscher
- reaktionsschnelle Heizung
- magnetgekoppelte Pumpe
- kompakte Bauform

NEUHEIT





Halle A3  
Stand A3-3007

SWITZERLAND

**TEMPERIERGERÄTE**  
**WASSERKÜHLGERÄTE**

40 Jahre Ihr Partner für Heiz- und Kühlösungen

**TOOL TEMP AG**  
Industriestrasse 30, CH-8583 Sulgen, Schweiz / Switzerland  
Telefon: +41 (0)71 644 77 77 - Fax: +41 (0)71 644 77 00  
Email: info@tool-temp.ch - Website: www.tool-temp.ch

# HELIOS


Granulattrockner mit Lebensgarantie

 **Perfektion**  
für  **Präzision**

Der einzige Präzisions-trockner, auch für Kleinstmengen, der **fördert, trocknet und entstaubt.**

- Aufsatztrockner
- Beistelltrockner

- mit Kalibrierzertifikat
- wartungsfrei
- mit Lebensgarantie

**14 Tage**  
**kostenlos testen**  
 +49/171/3008656



Helios GmbH • Hechtseestraße 8 • 83022 Rosenheim/GERMANY  
Tel. +49/8031/354180 • info@helios-systems.de • www.helios-systems.de