

3 Additive Fertigungsverfahren

3.1 Übersicht

Heute lassen sich nahezu alle Bauteile und viele Materialtypen additiv fertigen – Zähne, Knochen, jede Art von Kunststoffen, Metalle, Häuser usw. Allerdings spielt für die industrielle Additive Fertigung nur eine überschaubare Anzahl von Verfahren eine Rolle. Hier sind die aktuell bekannten Prozesse aufgeführt:

- Pulverbett-Schmelzen (Powder Bed Fusion)
 - Laser-Schmelzen/Laser-Sintern
 - Elektronenstrahlschmelzen (Electronic Beam Melting)
- Pulverauftrags-Schweißen (Directed Energy Deposition)
- Draht-Auftrags-Schweißen
- Binder Jetting/Multi Jet Fusion
- Material Extrusion
- Material Jetting/Fused Deposition Modeling
- Stereolithographie (Vat Photopolymerization)
- Continuous Liquid Interface Production
- Freeformer (fehlt in der Tabelle 1)

In Tabelle 1 werden die Verfahren mit den wesentlichen Kennwerten dargestellt. Da Prozess und Material stark voneinander abhängen, sollte der Leser parallel unbedingt auch im Kapitel „5 Werkstoffe“ nachschlagen – hier werden die Abhängigkeiten für die wichtigsten Prozesse und Werkstoffe erläutert!

Die Auflistung der Verfahren ist nicht komplett – und es wurden absichtlich keine (drei Buchstaben) Abkürzungen benutzt, da diese nicht einheitlich angewendet werden und somit nur zur Verunsicherung beitragen (weiter unten sind die Abkürzungen erläutert).

In diesem Kapitel werden jene Verfahren näher betrachtet, die den Anforderungen der industriellen Fertigung nach heutigem Wissensstand am ehesten entsprechen können.

Für die Wahl des passenden 3D-Druckers ist das zu fertigende Material im Allgemeinen bekannt. Hinzu kommt, dass bei Metallen – im Gegensatz zu Kunststoffen – die Energie-Einbringung um ein Vielfaches höher ist. Dies führt zu anderen Strategien in der kompletten Prozesskette – Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Nachbearbeitung.

Tabelle 1: Aktuelle Additive Fertigungsverfahren im Überblick







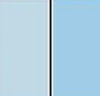
Verfahren	Typ	Kernfunktion	Skizze	Material	Anbieter z.B.	Auflösung, Oberfläche	Farbe	Bauraum	Vorteile	Nachteile
Pulver- Schmelzen	SLM, Laser Metal Fusion	Laser, gelenkter Spiegel (An-) Schmelzen des Pulverbetts		Metall	EOS, SLM, CL, Stratasys, Trumpf	50µm				langsam
	SLS			Polymer, Keramik, Metall	EOS, 3D-Systems	50...100µm und kleiner	mono- chrom			
Pulver- Schmelzen	EBM	EBeam, Pulverbett		Metall	arcam	50...150 µm (z)		klein	Vakuum, Titan, schnell	raue Oberfläche
	SMS (Selective Mask Sintering)	IR, Maske, anschmelzen		Kunststoff	Sintermask		mono- chrom			
	SHS (Selective Heat Sintering)	thermal printhead Sintering		Kunststoff (Thermoplast)	Blueprint (Dk)	300dpi, d=1mm		200 x 157 x 147 mm³		
Pulver-Auftrags- Schweißen	HSS	Farbe, IR, anschmelzen		Kunststoff						
	Kaltgas-spritzen, MPA				Hermle					
Draht-Auftrags- Schweißen	Auftrags-Schweißen, Laser Metal Deposition, Direct Metal Deposition, Direct Energy Deposition, Laser Cladding	Laser, Pulverstrahl, Brennpunkt, Schweißnaht		Metall	Als "Hybrid": DMG, Hamuel, epimec, Innstek, Trumpf	100µm				
	3D Metal Print, ...	Laser-Draht oder Lichtbogen		Metall		1mm				
Material Extrusion	FDM, FLM	Düse, Materialstrang, Aushärtung		Kunststoff (ABS, PA) + Füllstoffe	Stratasys, 3D-Systems	d = 0.2 mm, x, y, z= 25µm	JA	bis zu mehreren m²	Materialvielfalt, geringes Anfangsknow how	kein Metall
	AKF	Druckkopf, Materialtropfen, Aushärtung		Kunststoff, Standard- granulat	Arburg	d = 0.2mm, 0.15mm (x, y, z)	JA			

Tabelle 1: Aktuelle Additive Fertigungsverfahren im Überblick (fortgesetzt)

Verfahren	Typ	Kernfunktion	Skizze	Material	Anbieter z.B.	Auflösung, Oberfläche	Farbe	Bauraum	Vorteile	Nachteile
Binder Jetting	3DP, 3D-Druck	Druckkopf, Bindemittelropfen, Aushärten		Kunststoff, Metall, Keramik, Gips	ExOne, voxeljet,	600 dpi, d= 0,15 ... 0,5	JA	4 x 2 x 1 m ³	schnell preiswert	Belastbarkeit, Details
Material Jetting	Polyjet	Druckkopf, Materialropfen, Aushärten (UV)		Fotopolymer, Wachs, ABS	stratasys, 3D-systems	10...30µm	JA		Gießformen	
Stereo-lithografie	STL, SLA (Stereolithografie Apparat)	Laser, gelenkter Spiegel, Aushärten (UV)		Epoxidharz, Acrylate, Elastomere	nanoscribe, envisiontec, zprinter/3DSystems, microtec,	10 ... 50 µm	mono-chrom			
Continuous Liquid Interface Production	CLIP	Grünkörperherstellung + Sintern		Keramik-Schlick, Al ₂ O ₃ , ZrO ₂	Lithoz, Ceramaker	40µm (x,y), >25µm (z), 0,4...0,6 µm	nein	76 x 43 x 150 mm ³		
				Fotopolymer	Carbon,3D	keine Stufen	mono-chrom		schnell (x10)	Werkstoffe

Quelle/Graphiken: Siemens

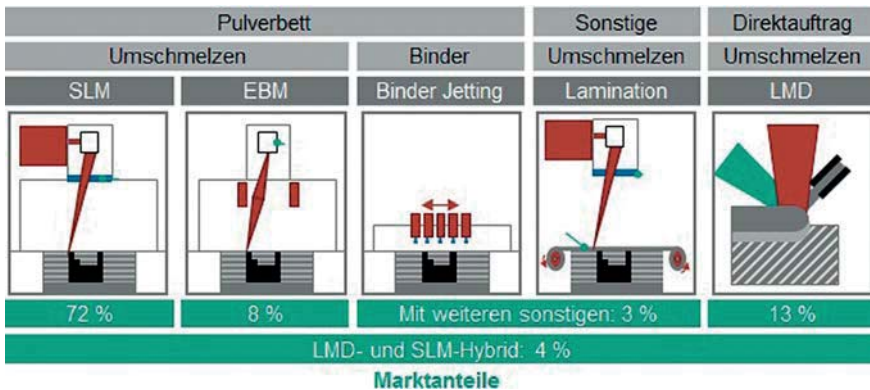
3.2 Basis-Metalle

Der Einsatz der Metall-3D-Drucker liegt derzeit noch deutlich in der Anzahl hinter den Kunststoff-Druckern (was wohl insbesondere preisliche Gründe hat). Der Einfluss auf die industrielle Fertigung liegt nach Ansicht des Autors deutlich höher!

Bei der Additiven Fertigung von Metallen kommen hauptsächlich zwei prinzipielle Verfahren zur Anwendung:

- Pulverbett-Schmelzen (2-Achsen-Bearbeitung)
- Pulverauftragschweißen (3-Achsen-Bearbeitung)

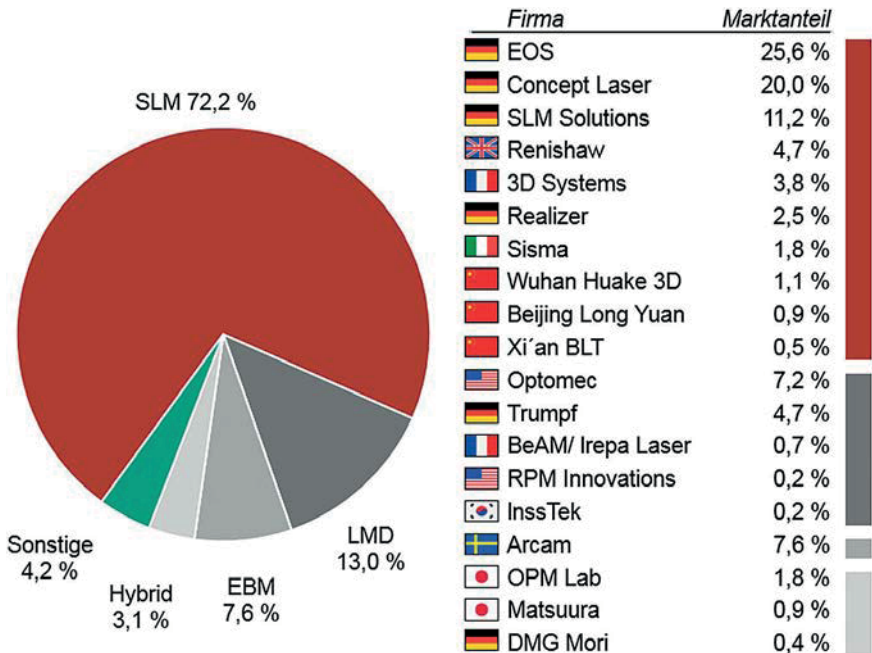
Dabei wird der Markt derzeit eindeutig von den Pulverbett-Verfahren dominiert – knapp 80% vereinen SLM- und EBM-Verfahren.



Quelle: Broos, Additive Manufacturing [2]

Abbildung 32: Verfahrensprinzipien für Metall

Dabei decken deutsche Anbieter des SLM-Verfahrens fast 60% des Weltmarktes ab – die drei größten kommen alle aus Deutschland.



Quelle: Broos, Additive Manufacturing [2]

Abbildung 33: Marktverteilung der additiven Fertigungsverfahren für Metalle 2014

Erläuterung:

- Hybridverfahren sind noch nicht weit verbreitet, neue Maschinen sind auf dem Markt (z. B. DMG MORI Lasertec 65).
- Arcam ist der einzige Anbieter von EBM-Anlagen.