

### 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)

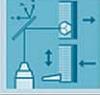
In Tabelle 1 werden die Verfahren mit den wesentlichen Kennwerten dargestellt. Da Prozess und Material stark voneinander abhängen, sollte der Leser parallel unbedingt auch im Kapitel „5 Werkstoffe“ nachschlagen – hier werden die Abhängigkeiten für die wichtigsten Prozesse und Werkstoffe erläutert!

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).

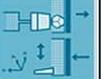
In diesem Kapitel werden jene Verfahren näher betrachtet, die den Anforderungen der industriellen Fertigung nach heutigem Wissensstand am ehesten entsprechen können.

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
SLM, Laser-Metal Fusion	Laser, gelenkter Spiegel, (An-) Schmelzen des Pulverbelegs		Metall	EOS, SLM, CL, stratasys, Trumpf	50µm					langsam
SLS			Polymer, Keramik, Metall	EOS, 3D-Systems	50...100µm und kleiner	monochrom				
EBM	EBeam, Pulverbett		Metall	arcam	50....150 µm (z)	monochrom	klein	Vakuum, Trans. schnell	raue Oberfläche	
SMS (Selective Mask Sintering)	IR, Maske, anschneiden		Kunststoff	Sintermask						
SHS (Selective Heat Sintering)	thermal printhead		Kunststoff (Thermoplast)	Blueprint (OK)	300dpi, Ø=1mm					
HSS	Farbe, IR, anschneiden		Kunststoff			200 x 157 x 147 mm <sup>3</sup>				
Pulver-Auftrags-Schweißen	Kaligas-spritzen, MPA, Auftrags-Schweißen, Laser Metal Deposition, Direct Metal Deposition, Laser Cladding		Metall	Hermle						
3D Metal Print, ...	Laser-Draht oder Lichtbogen		Metall	Als "Hybrid"- DMG, Hamel, optomec, InnsTek, Trumpf	100µm					
FDM, FLM	Düse, Materialstrang, Aushärtung		Kunststoff (ABS, PA) + Füllstoffe	Stratasys, 3D-Systems	d = 0.2 mm, x, y, z = 25µm		JA	bis zu mehreren m <sup>2</sup>	Materialverlust, geringes Anfangsknow how	kein Metall
Material Extrusion AKF	Druckkopf, Materialtröpfen, 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, Bindemitteltropfen, Aushärten		Kunststoff, Metall, Keramik, Gips	ExOne, voxeljet,	600 dpi, d= 0,15 ... 0,5	JA	4 x 2 x 1 m <sup>2</sup>	schnell, preiswert	Belastbarkeit, Details
Material Jetting	Polyjet	Druckkopf, Materialtropfen, Aushärten (UV)		Fotopolymer, Wachs, ABS	stratasys, 3D-systems	10...30µm	JA		Gießformen	
Stereolithografie	STL, SLA (Stereolithografie Apparatus)	Laser, gelierter 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 Al2O3, ZrO2	Lithoz, Ceramaker	40µm (x,y), >25µm (z), 0,4...0,6 mm	nein	76 x 43 x 150 mm <sup>2</sup>		

Quelle/Graphiken: Siemens

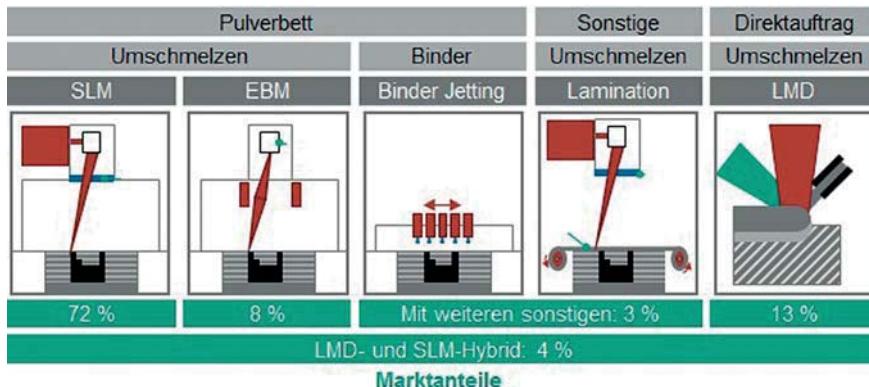
### 3.2 Basis-Metalle

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)

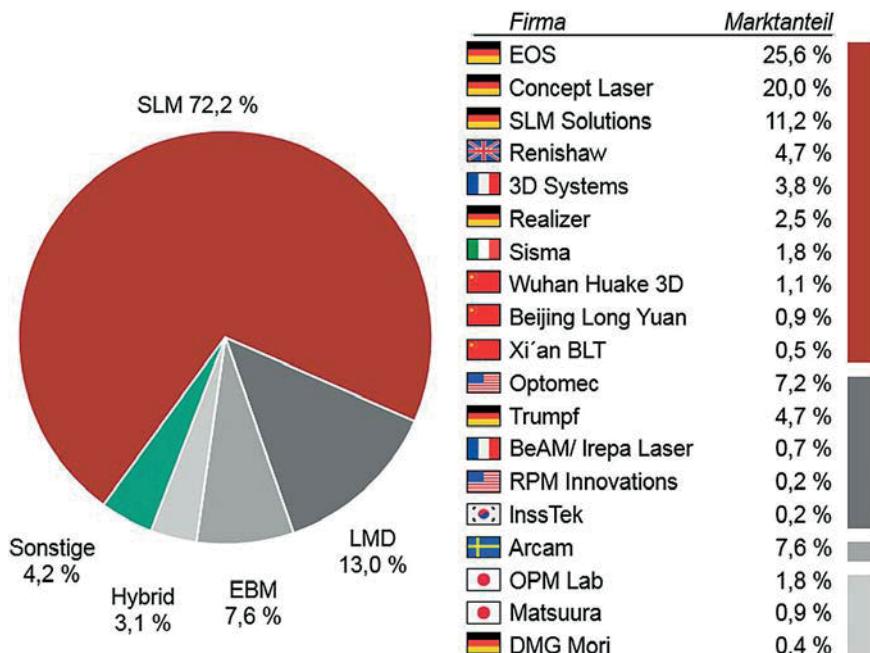
Dabei wird der Markt derzeit eindeutig von den Pulverbett-Verfahren dominiert – knapp 80% vereinen SLM-und EBM-Verfahren.



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.