



Niedersachsen  
**ADDITIV**  
Zentrum für Additive Fertigung



[www.niedersachsen-additiv.de](http://www.niedersachsen-additiv.de)

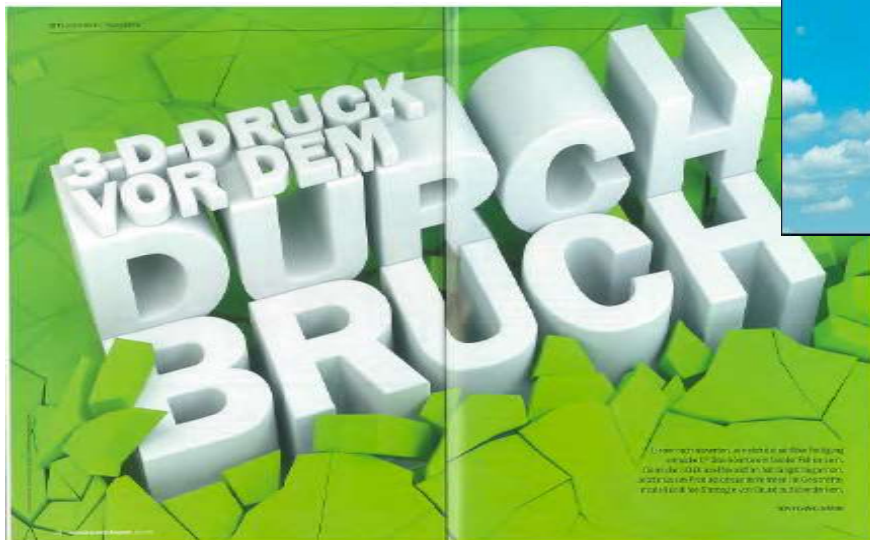


# Additive Fertigung – Stand und Handlungsfelder

*Prof. Dr.-Ing. Henning Ahlers, LZH Laser Akademie GmbH*

*19.09.2019, INNOVATIONSFORUM JADEBAY 2019, Wilhelmshaven*

- Marktprognosen
- Fertigungsverfahren
- Anwendungsbeispiele
- Handlungsbedarf
- Trends



2. Additive Manufacturing  
Forum Berlin 2018 // #AMF18



globaler Umsatz in 2018: ca. 10 Mrd. US\$

- Jährliche Wachstumsraten:
  - 2015: ca. 26 %
  - 2016: ca. 17 %
  - 2017: ca. 21 %
  - 2018: ca. 19 % (Metall: ca. 40%)
- Anzahl industrieller Hersteller weltweit:
  - 2014: 49
  - 2017: 135
  - 2018: 177
- Material: anteiliger Umsatz 2018
  - Kunststoffe: ca. 75 bis 80 %
  - Metalle: ca. 15 bis 20 %
  - Gips, Keramik, u. a.: ca. 5 %



IDC: Weltweite Ausgaben für 3D-Druck sollen bis 2020 auf über \$ 35 Milliarden ansteigen

RESEARCH AND MARKETS  
THE WORLD'S LARGEST MARKET RESEARCH STORE

Globaler 3D-Druck-Markt im Gesundheitsbereich soll auf \$ 3,89 Milliarden bis 2022 heranwachsen

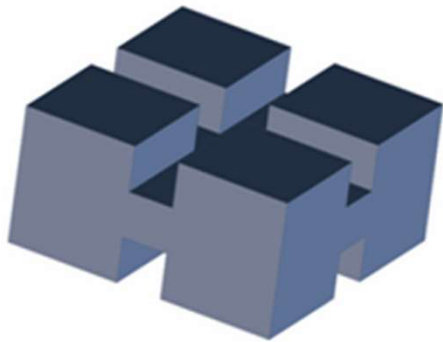


Additive Fertigung soll bis 2025 \$ 4,3 Milliarden in Autoindustrie erwirtschaften

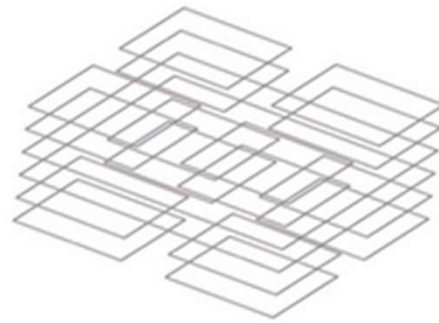




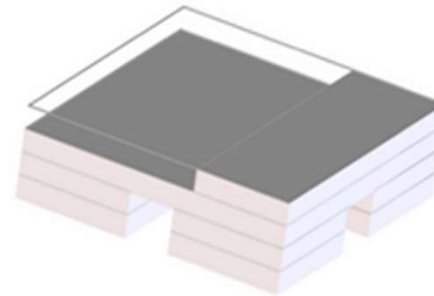
## Grundprinzip der Additiven Bauteilerstellung



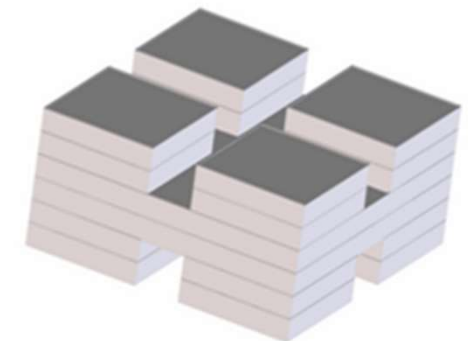
- 3D CAD (STL-Format)



- „Virtuelle“ Schichtzerlegung



- „Reale“ physische Schichterzeugung



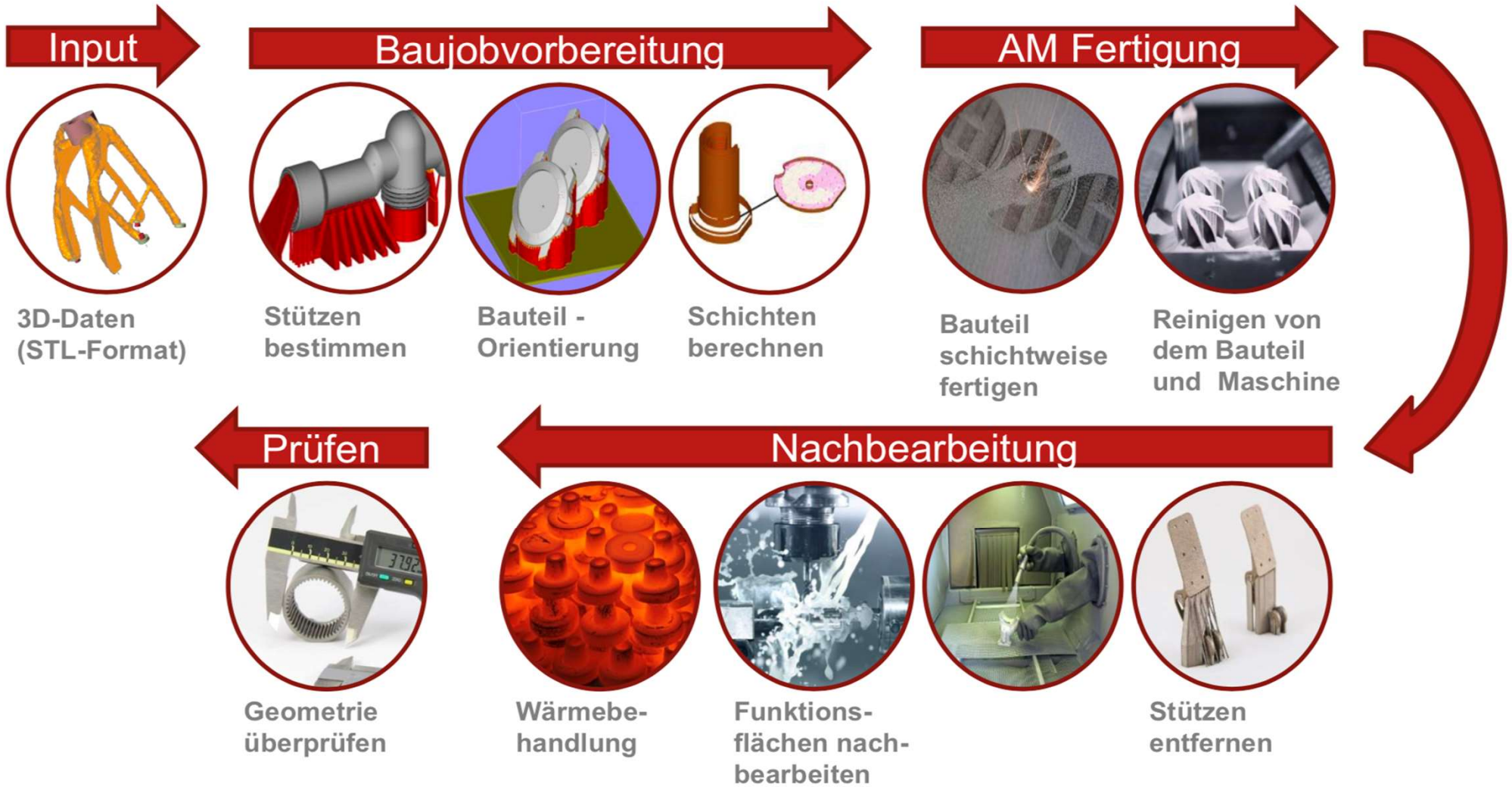
- 3D Bauteil

- STL: STereoLithographie

## Stereolithography Apparatus (SLA)



## Vereinfachte Prozesskette

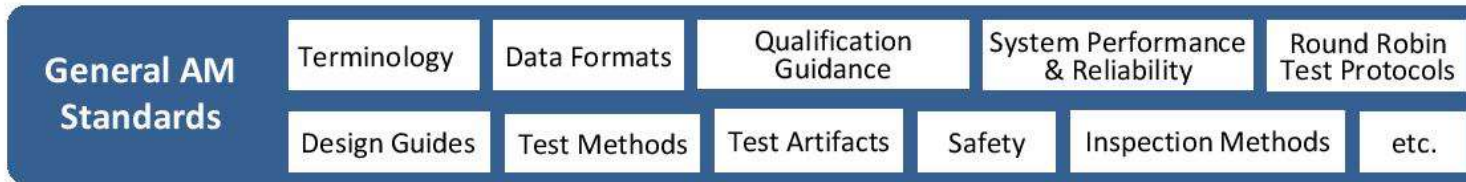




		Photopolymerisation	Sintern / Verschmelzen	Verkleben
Kunststoffe	Flüssige Harze	Stereolithographie SLA Polyjet / Multijet PJM, MJM, MJP Digital Light Proc. DLP / CLIP		
	Pulver		Selektives Lasersintern SLS HP Multijet Fusion*	Voxeljet
	Filament		Fused Deposition Modeling FDM	
Metalle	Pulver		Selekt. Laserschmelzen SLM Laserauftragschweißen LMD Elektronenstrahlschweißen EBM	ExOne, Digital Metal DMT
	Draht		Evo-Tech Metall Filament Auftragschweißen 3DMP	
	Keramikpulver	Lithography Ceramic Manuf. LCM		ExOne, Voxeljet
	Gipspulver			Colorjet CJP
	Wachs		Polyjet / Multijet PJM, MJM, MJP	

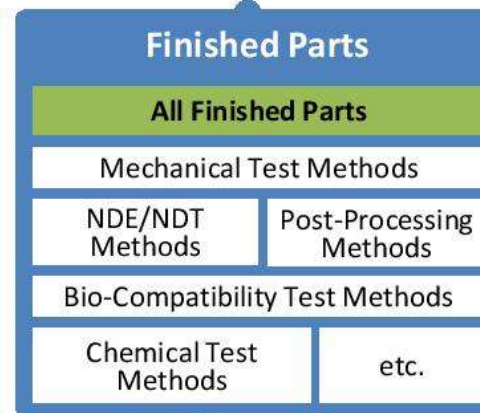
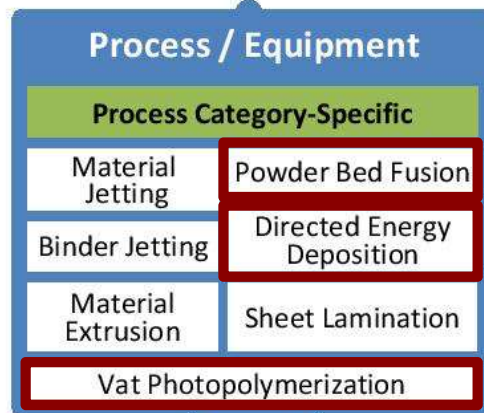
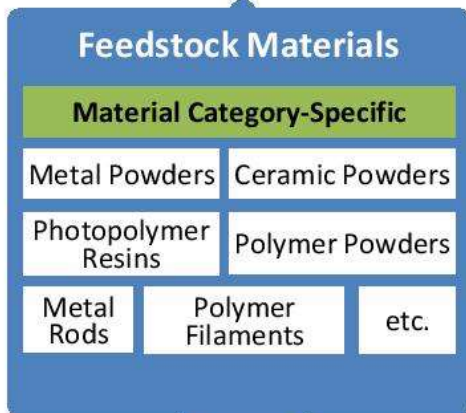
← große Unterschiede in Festigkeit, Maß- und Formgenauigkeit, Oberflächengüte →

\* Verschmelzen mittels IR-Strahlung



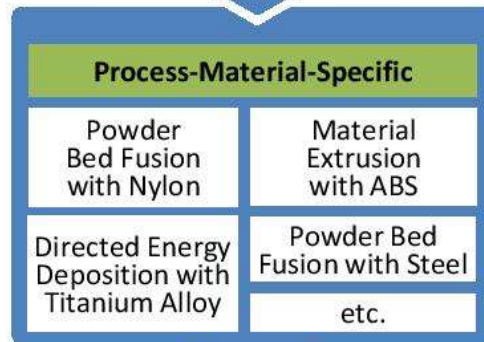
## General Top-Level AM Standards

- General concepts
- Common requirements
- Generally applicable



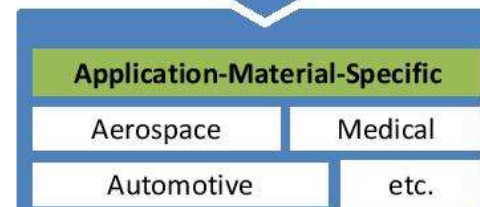
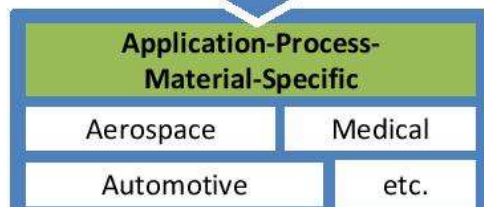
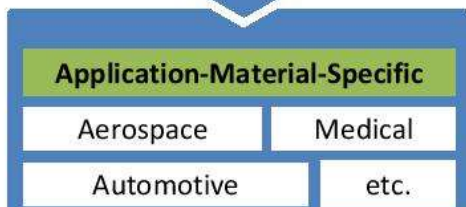
## Category AM Standards

Specific to material category or process category



## Specialized AM Standards

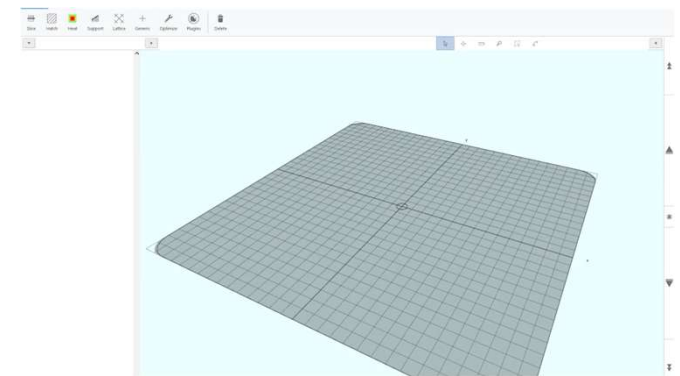
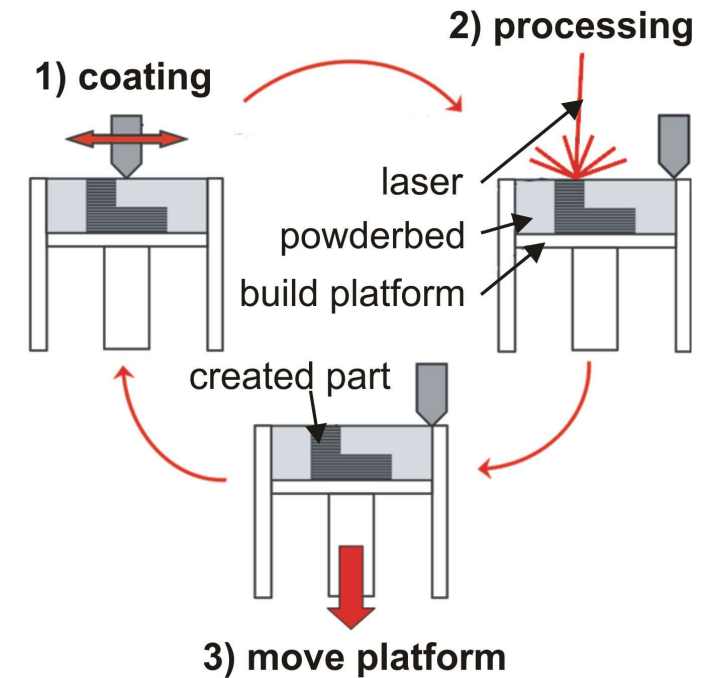
Specific to material, process, or application





## Selektives Laserstrahlschmelzen SLM (ISO: PBF-LB-M)

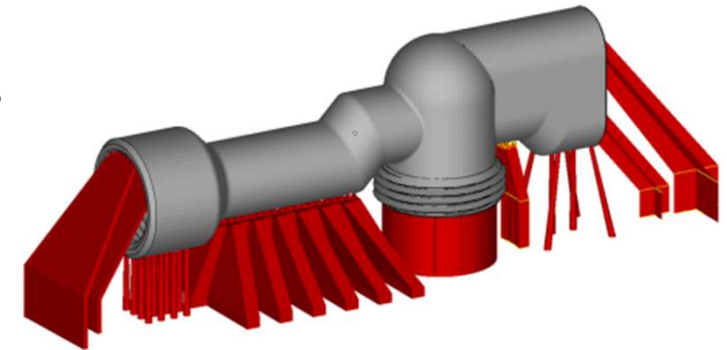
- Verfahren: Fertigung im Pulverbett
  - Lokale Verfestigung eines formlosen Materials
  - Bauteilaufbau auf einer Bauplattform
  - 1) Pulverschicht wird aufgetragen
  - 2) Kontur wird mittels Laser aufgeschmolzen
  - 3) Absenkung der Bauplattform
  - Wiederholung bis zur Fertigstellung
- Anwendungsbereiche:
  - Werkzeugbau, Luft- und Raumfahrttechnik
  - Dental- und Medizintechnik, Schmuck
  - Prototypen



## Selektives Laserstrahlschmelzen SLM (ISO: PBF-LB-M)

- Vollständiges Aufschmelzen des Pulverwerkstoffes
- Entstehung eines dichten Gefüges (bis zu 99,9%)
- Ähnliche Eigenschaften wie bei gegossenen Werkstoffen
- Vielzahl metallischer Werkstoffe verfügbar
- Nahezu vollständige Geometriefreiheit, Hinterschneidungen sind möglich
- Stützstrukturen sind erforderlich
- Auflösung < 30 µm möglich
- Baugrößen bis zu 800 x 400 x 500 mm<sup>3</sup> (anlagenspezifisch)

Quellen: materialise, VMR

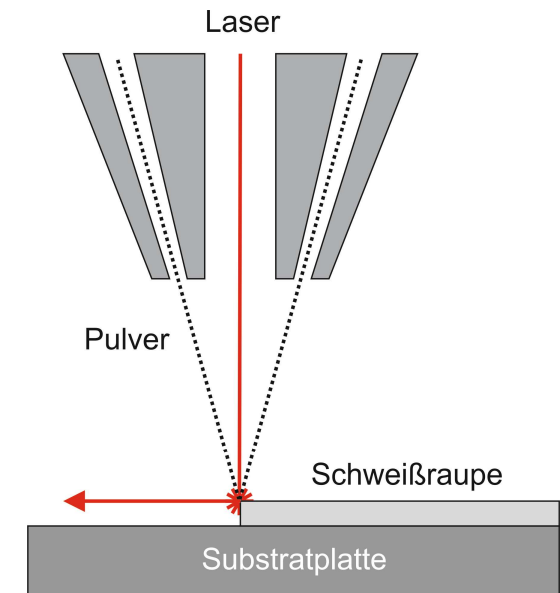


Bauteil mit Stützstrukturen



## Laserauftragschweißen LMD (ISO: DED-LB-M)

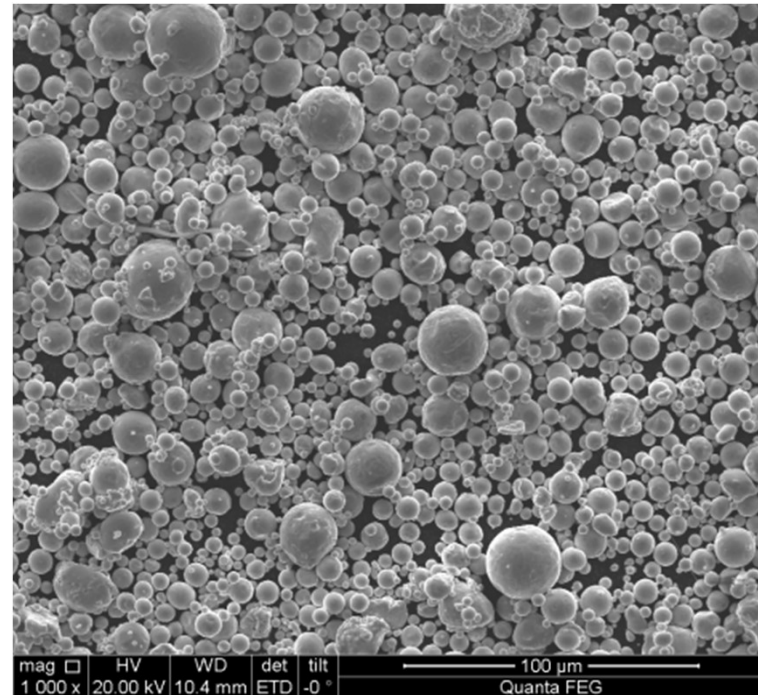
- Verfahren: Zuführung von Pulver oder Draht
  - Simultanes Auftragen und Aufschmelzen
  - CNC-gesteuertes Führen des Laserkopfes und/oder des Werkstückes
  - Eingeschränkte Geometriefreiheit
  - Materialauftrag auf Plattform oder Halbzeug
  - In Werkzeugmaschinen integrierbar
- Anwendungsbereiche:
  - Maschinenbau, Luft- und Raumfahrttechnik
  - Prototypen





## Verarbeitbare Werkstoffe

- ❖ Grundsätzlich sind alle Metalle verwendbar, die auch schweißbar sind
- Selektives Laserstrahlschmelzen SLM:
  - Werkstoff muss in Pulverform vorliegen
  - Pulver muss fließfähig sein
    - ⇒ sphärische Partikel durch Schmelzen und Verdüsen
    - ⇒ Kosten: bis ca. Faktor 10!
- Laserauftragschweißen LMD:
  - Werkstoff in Pulverform: siehe oben
  - Werkstoff in Drahtform: einfache Zuführung, Handhabung, geringere Kosten



## Daten und Fakten

- Vergleich Selektives Laserstrahlschmelzen und Laserauftragschweißen

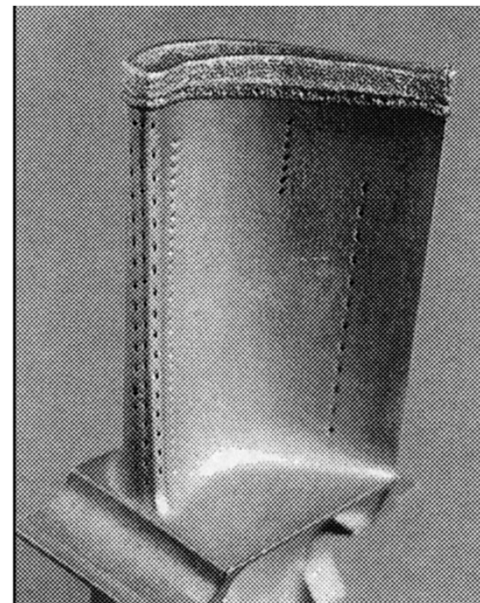
<b>Kenngroße</b>	<b>SLM (PBF-LB-M)</b>	<b>LMD (DED-LB-M)</b>
Fertigungsrate	5-25 cm <sup>3</sup> /h (~40-200 g/h)	bis 500 cm <sup>3</sup> /h (~ 3,5 kg/h)
Genauigkeit	+/- 0,02-0,05 mm/25 mm	+/- 0,125-0,25 mm/25 mm
Auflösung	0,02-0,2 mm	0,2-1,0 mm
Oberflächengüte	R <sub>a</sub> 4-20 µm	n. a.
Max. Bauteilgröße	600 x 500 x 400 mm <sup>3</sup>	2.000 x 1.500 x 750 mm <sup>3</sup>
Anlagenkosten	EUR 450 – 600 k€	EUR 500 – 1.000 k€



# Anwendungsbeispiele

## Laserauftragschweißen LMD (ISO: DED-LB-M)

- Oberflächenbearbeitung, z. B. zur Verbesserung der Korrosions- oder Verschleiß-eigenschaften
- Reparatur kostenintensiver Güter, z. B. Turbinenschaufeln und Tiefziehwerkzeuge (Karosseriebau)
- Erzeugen von komplexen Geometrien, z. B. Extruderschnecken



Quellen:  
SOM LAM,  
MTU, LZH, Trumpf



## Selektives Laserstrahlschmelzen SLM (ISO: PBF-LB-M)

- Luftfahrtindustrie: Kraftstoffdüse, Ersatz für Baugruppe aus 18 Teilen, 25% Gewichtsersparnis, > 30.000 Teile hergestellt!
- Kleinserien: z. B. Bremsattel aus Titan
- Schmuck: Integrale Fertigung vieler Einzelteile, z. B. Titan-Uhrenarmband, 4000 Teile  
Gesamtgewicht: 10,5 g

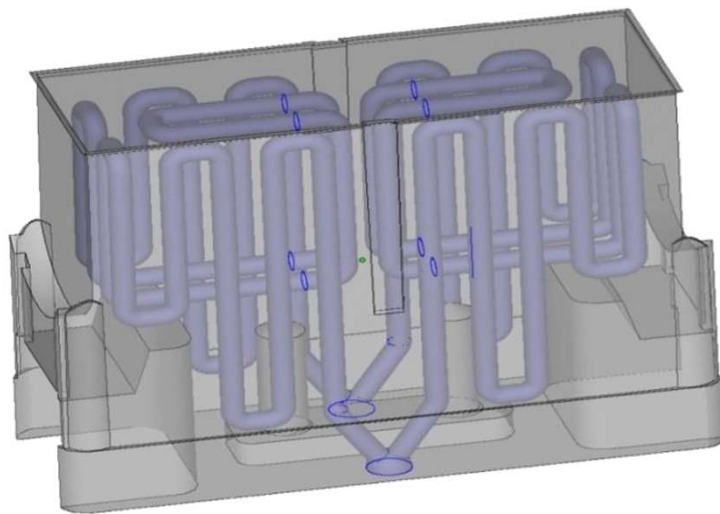
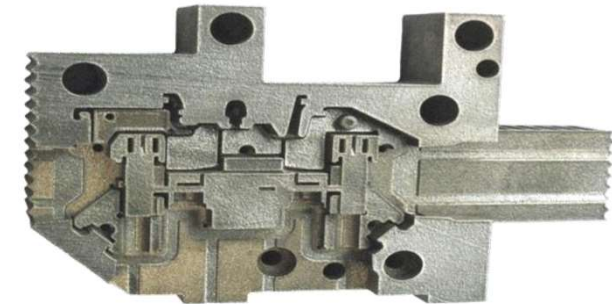
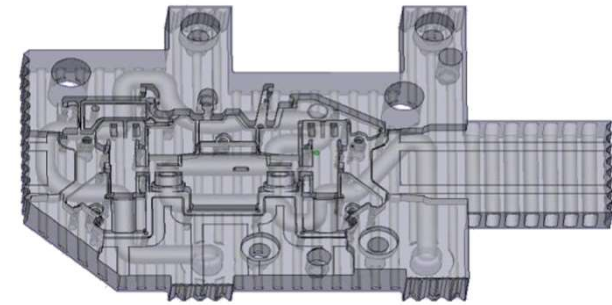


Quellen: GE Aviation, Bugatti, Uniform Wares

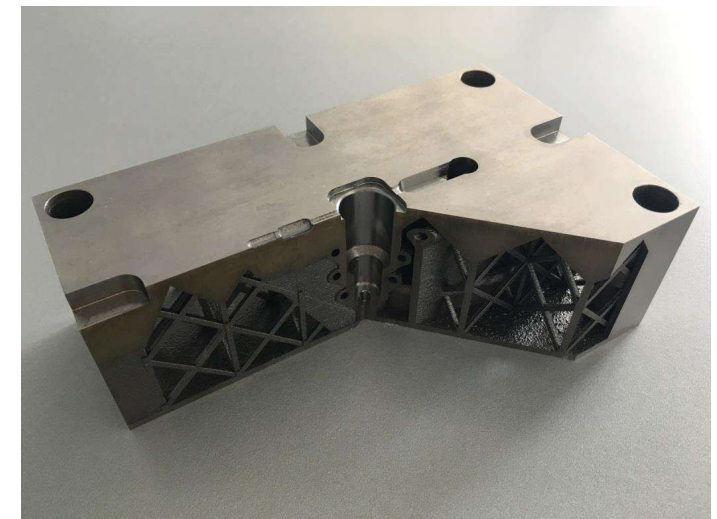
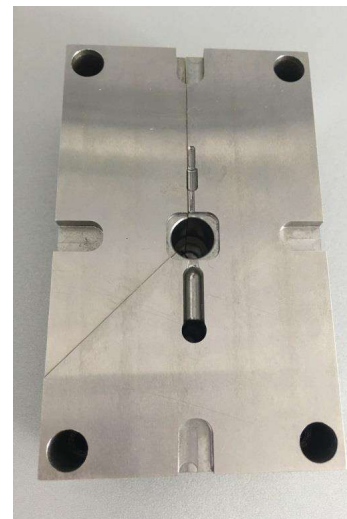
# Anwendungsbeispiele

## Selektives Laserstrahlschmelzen SLM (ISO: PBF-LB-M)

- Werkzeugbau Spritzgießen
- Reduktion der Spritzgusszykluszeit um bis zu 40% durch optimierte Kühlkanäle
- Reduktion der Teileanzahl
- Reduktion des Gewichtes um bis zu 75% durch innenliegende Wabenstruktur



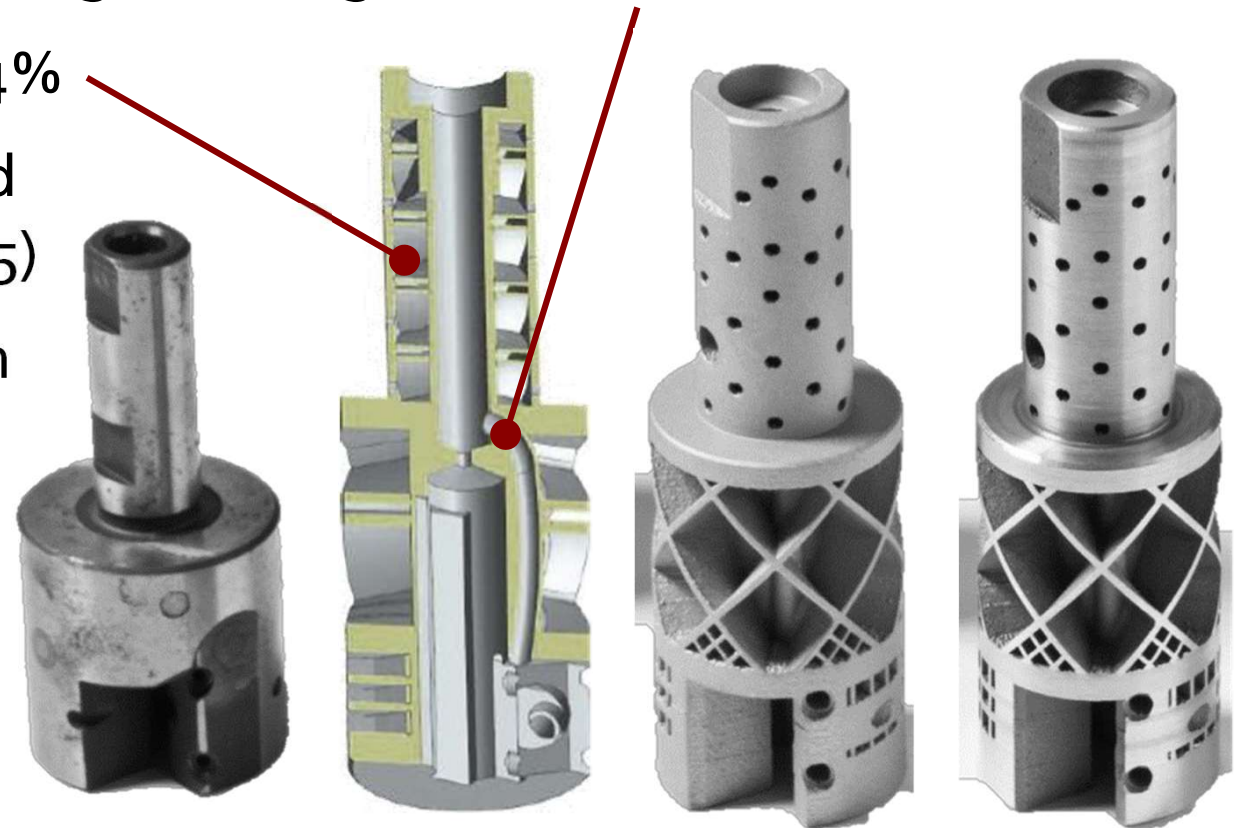
Quelle: Protiq





## Selektives Laserstrahlschmelzen SLM (ISO: PBF-LB-M)

- Werkzeugtechnik (Reibahle für Ventilsitzbearbeitung)
- Kraftflussgerechte Auslegung mit integrierter Kühlschmierstoffzufuhr
- Gewichtsreduktion: ca. 54%
- Legierungen: TiAl6V4 und 1.2709 (X<sub>3</sub>NiCoMoTi 18-9-5)
- Schichtdicke: 20 bis 40 µm  
Volumenrate: bis 13 cm<sup>3</sup>/h
- Härtetemperatur und -dauer: > 490 °C (6 h)
- Anlage: SLM 250HL  
400 W Faserlaser



Quellen: Mapal,  
Fraunhofer IGCV, ecoparts.ch

Konventionelles  
Design

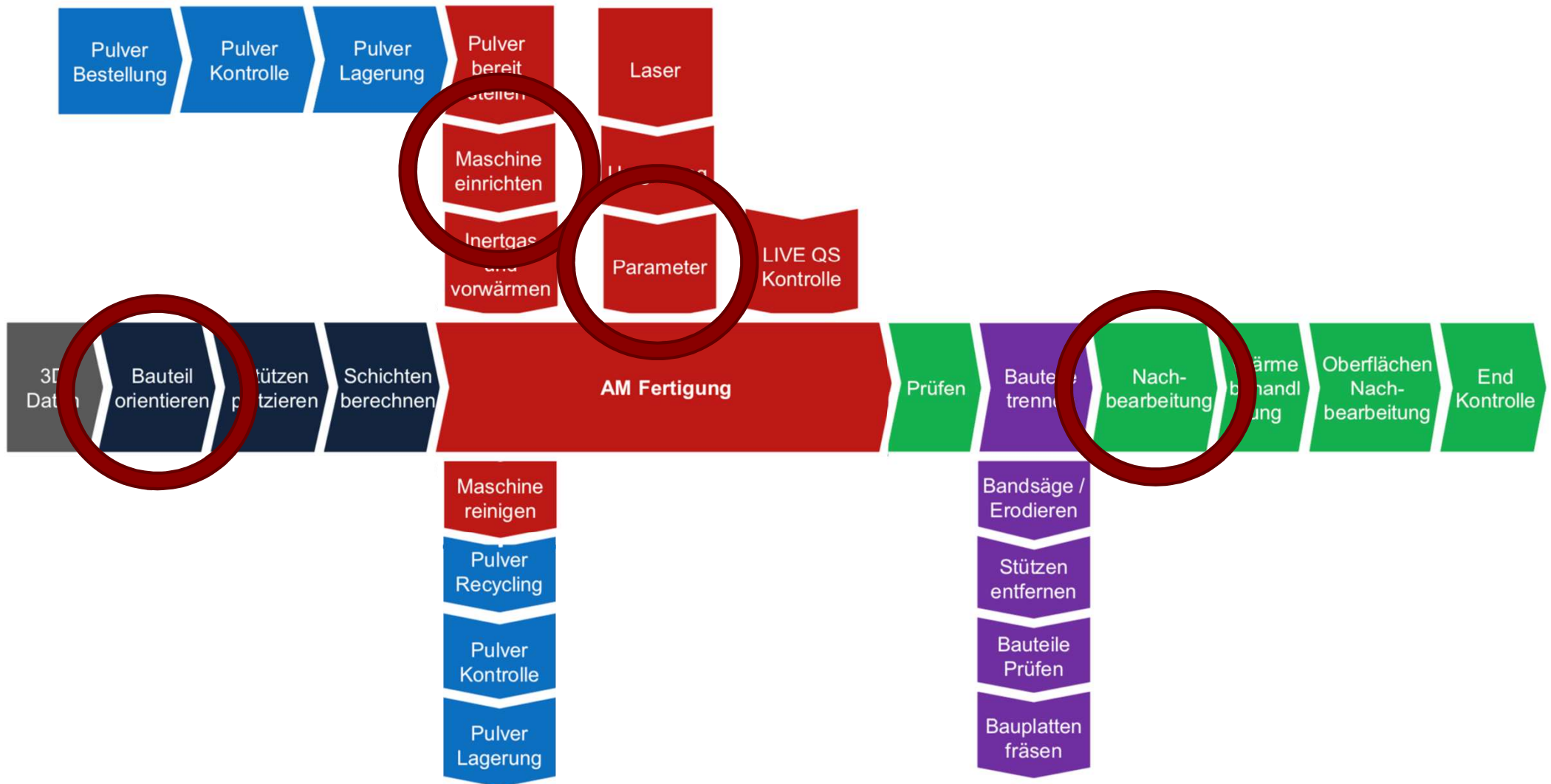
Neues  
Design

Additiv  
gefertigt

fertig-  
bearbeitet



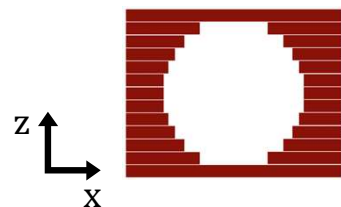
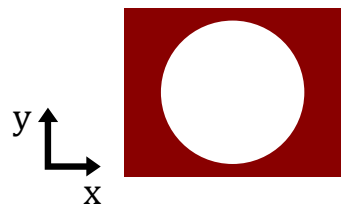
## Prozesskette Selektives Laserschmelzen SLM



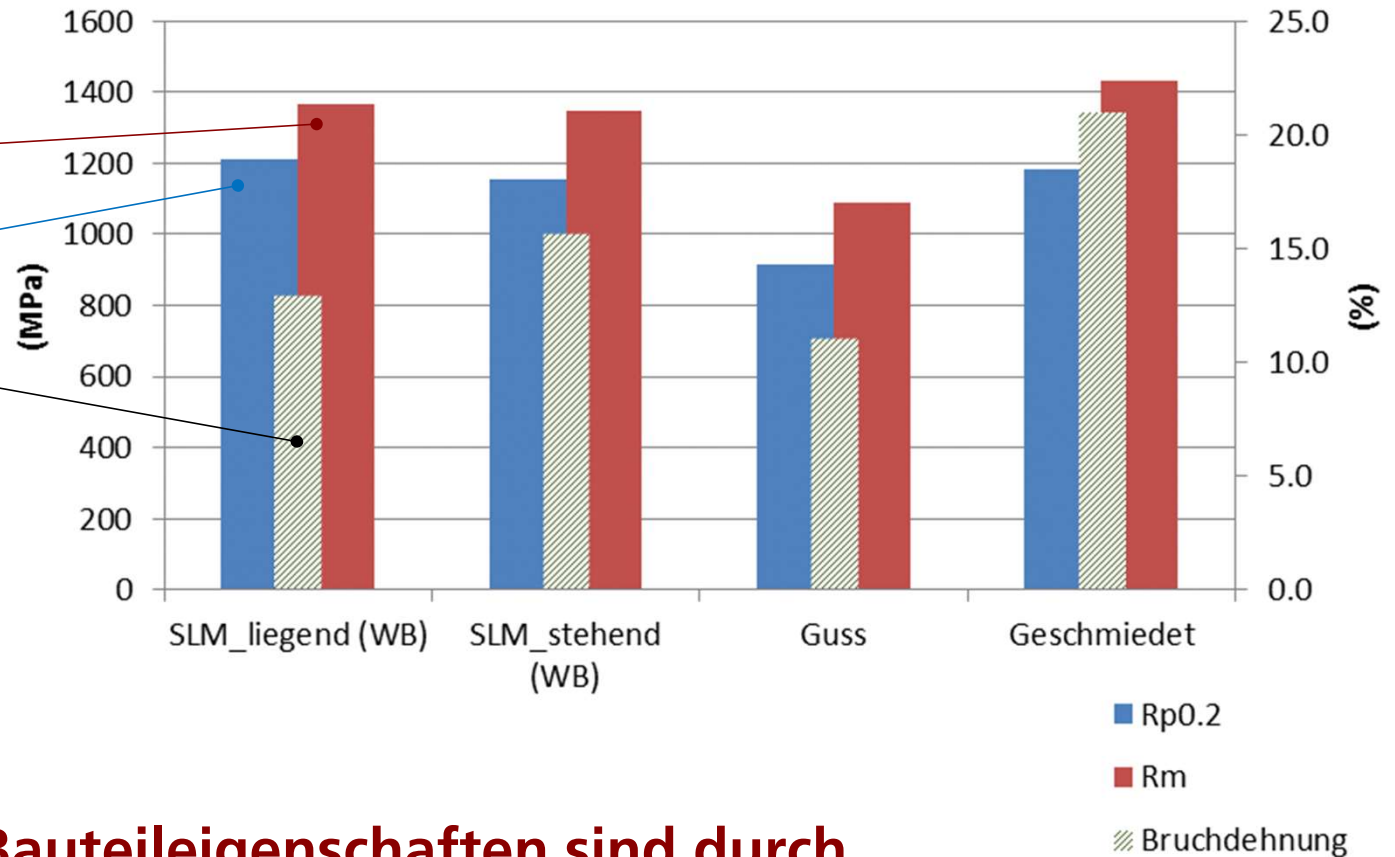
## Fehlerquelle: Bauteilorientierung im Arbeitsraum

- Lage der Schichten im Bauteil beeinflusst u.a.:

- Festigkeit
- Dehngrenze
- Bruchdehnung
- Form, z. B. Kreis



### Mechanische Eigenschaften IN718

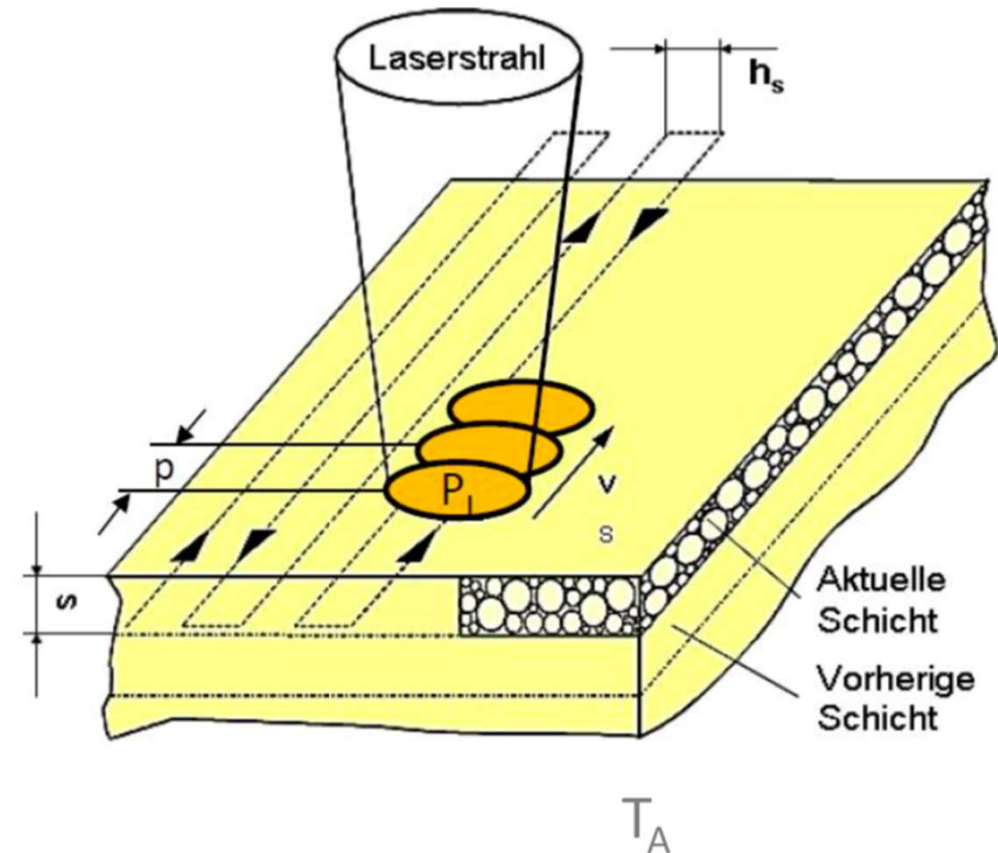


**Die Bauteileigenschaften sind durch den schichtweisen Aufbau anisotrop!**



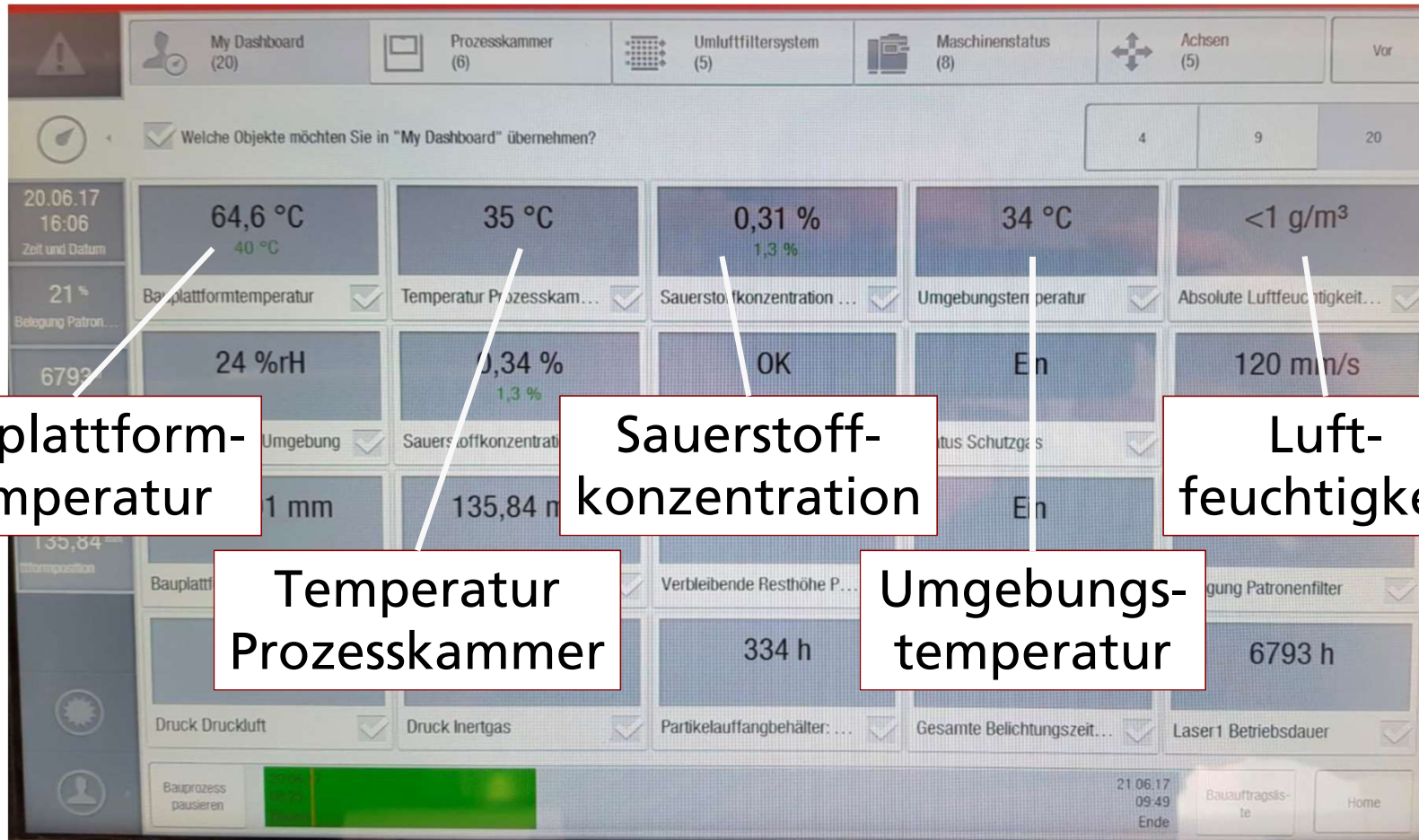
## Fehlerquelle: Einrichten der Maschine

- Belichtungsgeschwindigkeit  $v_s$
- Punktabstand  $p$
- Belichtungszeit  $t$
- Laserleistung  $P_L$
- Spurabstand  $h_s$
- Schichtdicke  $s$
- Vorheizung Arbeitsraum  $T_A$
- Scanstrategie



**Die Bauteileigenschaften können bei unterschiedlichen Maschinen und Prozessparametern komplett anders sein!**

## Fehlerquelle: Bauprozess



Bauplattform-  
temperatur

Temperatur  
Prozesskammer

Sauerstoff-  
konzentration

Umgebungs-  
temperatur

Luft-  
feuchtigkeit

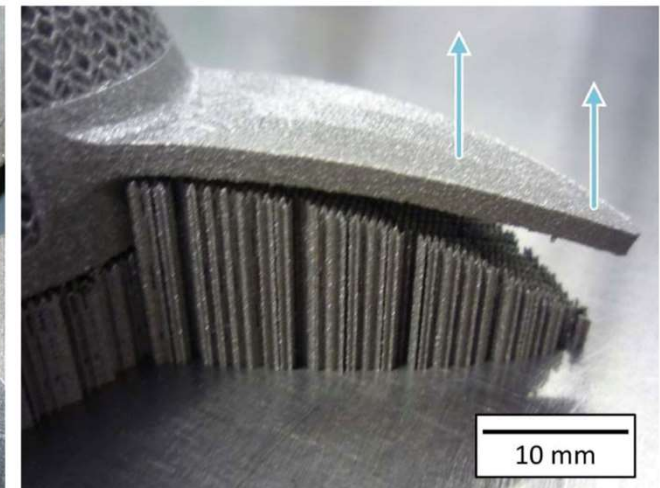
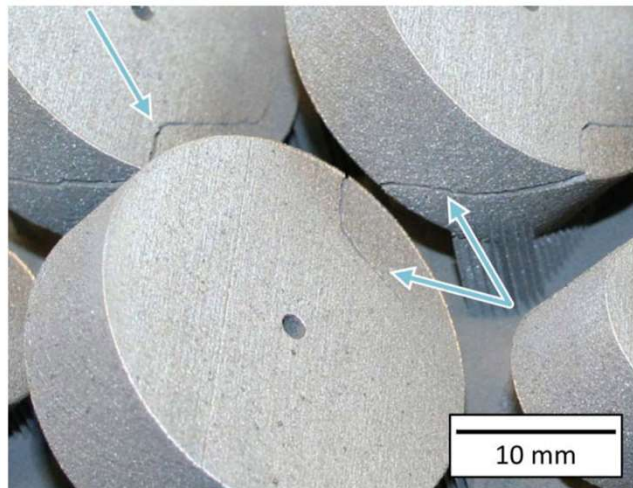
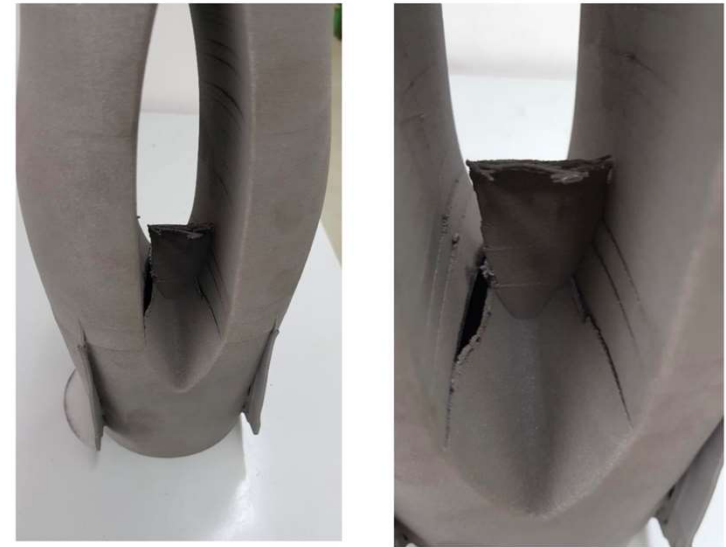
**Die Bauteileigenschaften sind von Umgebungsbedingungen  
des Bauprozesses abhängig!**



## Fehlerquelle: Nachbearbeitung

- Trennen von Bauplattform:
  - Beschädigung des Bauteils
  - Verzug durch Eigenspannungen
  - Risse
- Wärmebehandlung
  - Untermaß durch Schrumpfen
- Spanende Bearbeitung von Funktionsflächen

Quellen: ecoparts.ch, TUHH



**Manuelle Nacharbeit und ggf. notwendige Wärmebehandlung gefährden die Prozessfähigkeit!**

## Technologie

- Bauteileigenschaften streuen je nach Verfahren sehr stark.
- Durch Schichtaufbau richtungsabhängige Eigenschaften.
- Funktionsflächen müssen spanend nachgearbeitet werden.
- Prozessüberwachung sehr aufwändig.

## Wirtschaftlichkeit / Automatisierung

- Bauteile müssen manuell von Bauplattform getrennt werden.
- SLM: Manueller Pulverwechsel (Metall) dauert 2 bis 10 Stunden.

## Rahmenbedingungen

- STL-Daten sind vor Raubkopie-Drucken nicht geschützt.
- Es gibt bisher keine einheitlichen Ausbildungsstandards.



## Datensicherheit und Dienstleistungen

### Digitales Lizenzmanagement

## So schützt Blockchain Sie vor Raubkopien im 3D-Druck

Von Otto Geissler am 16. Juli 2018 um 09:55 Uhr

Digitales Lizenzmanagement über Blockchain-Technologie sichert die Daten und die Sicherheit und kann die Kommerzialisierung des 3D-Drucks vorantreiben.

**PROTIQ**  
MARKETPLACE



### Induktor - Rund außen

Material: Kupfer (RS-Kupfer)

Finishing: Unbehandelt

Abmessungen: 83.00 mm x 45.95 mm x 100.00 mm

Die durchschnittliche Lieferzeit für dieses Material beträgt 5 - 8 Werktage.\*



**589,74 €**  
Einzelpreis: **589,74 €**  
inkl. gesetzl. MwSt.

Quellen:  
Produktion.de,  
Protiq.com,  
Vmr-kg.de

## Aus- und Weiterbildung

- **Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren nach Richtlinie DVS® 3602-1**

### Grundlagen

Sie erhalten eine Einführung in die Fertigungsverfahren:

- Systematik der Additiven Fertigung
- Grundlagen Additiver Fertigung
- Fachbegriffe und Verfahrensprinzipien
- Anwendungsbereiche und Möglichkeiten

### Fachteil Metall

Im Fachteil Metall wird ausführlich auf die Fertigung von Laserschmelzen eingegangen. Es werden die Verfahrensprinzipien und die einzelnen Schritte der Fertigung von Bauteilen entlang der Prozesskette dargestellt. Die theoretischen Lehreinheiten werden durch praktische Praxiseinheiten vertieft und in der Fertigungsprozess eigenständig erlernt.

### Theoretische Ausbildung:

- Aufbau der Anlage für das Additive Fertigungsverfahren
- Lasersicherheit und Arbeitsschutz
- Datenaufbereitung
- Grundlagen der Anlagenbeurteilung
- Verfahrensparameter
- Bauprozessüberwachung und -steuerung
- Qualitätssicherung bei Metall

### Praktische Ausbildung:

- Einweisung in die Fertigung
- Werkstoff- und Prozessparameter
- Datenaufbereitung
- Rüsten und Job einrichten
- Abrüsten und Reinigen
- Endbearbeitung, Qualitätsprüfung

### Projektarbeit:

Eigenständige Durchführung der Fertigung (Teilprozesse in Kleingruppen) von Bauteilen

### Kosten

Die genannten Preise gelten jeweils zzgl. ges. MwSt

Teilnahmegebühr	2500.- €
Prüfungsgebühr	265.- €

In den Teilnahmegebühren sind enthalten:

- Lehrgangsunterlagen
- Kaffee, Getränke, Mittagsimbiss
- Teilnahmebescheinigung/Zeugnis

### Veranstaltungsort und Kontakt

LZH Laser Akademie GmbH  
Garbsener Landstraße 10  
30419 Hannover  
Tel.: (0511) 277 1729  
Fax: (0511) 277 1805  
E-Mail: kontakt@lzh-laser-akademie.de  
Internet: www.lzh-laser-akademie.de



In Kooperation mit:





# Vielen Dank!

*Prof. Dr.-Ing. Henning Ahlers*  
*LZH Laser Akademie GmbH*  
*Garbsener Landstraße 10 • 30419 Hannover*  
*Tel.: +49 (0)511 277-1729 •*  
*Email: [ahlers@lzh-laser-akademie.de](mailto:ahlers@lzh-laser-akademie.de)*  
*[www.lzh-laser-akademie.de](http://www.lzh-laser-akademie.de)*



Niedersachsen  
**ADDITIV**  
Zentrum für Additive Fertigung  
[www.niedersachsen-additiv.de](http://www.niedersachsen-additiv.de)



## Aus- und Weiterbildung

- EU-Standards werden derzeit entwickelt:



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Project. No. 591838-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-SSA



Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B

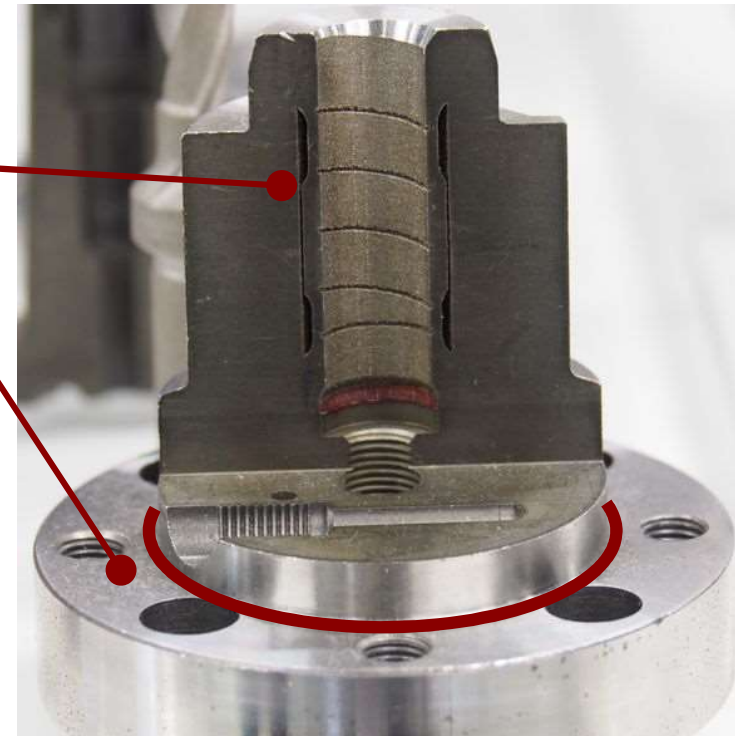




# Anwendungsbeispiele

## Selektives Laserstrahlschmelzen SLM

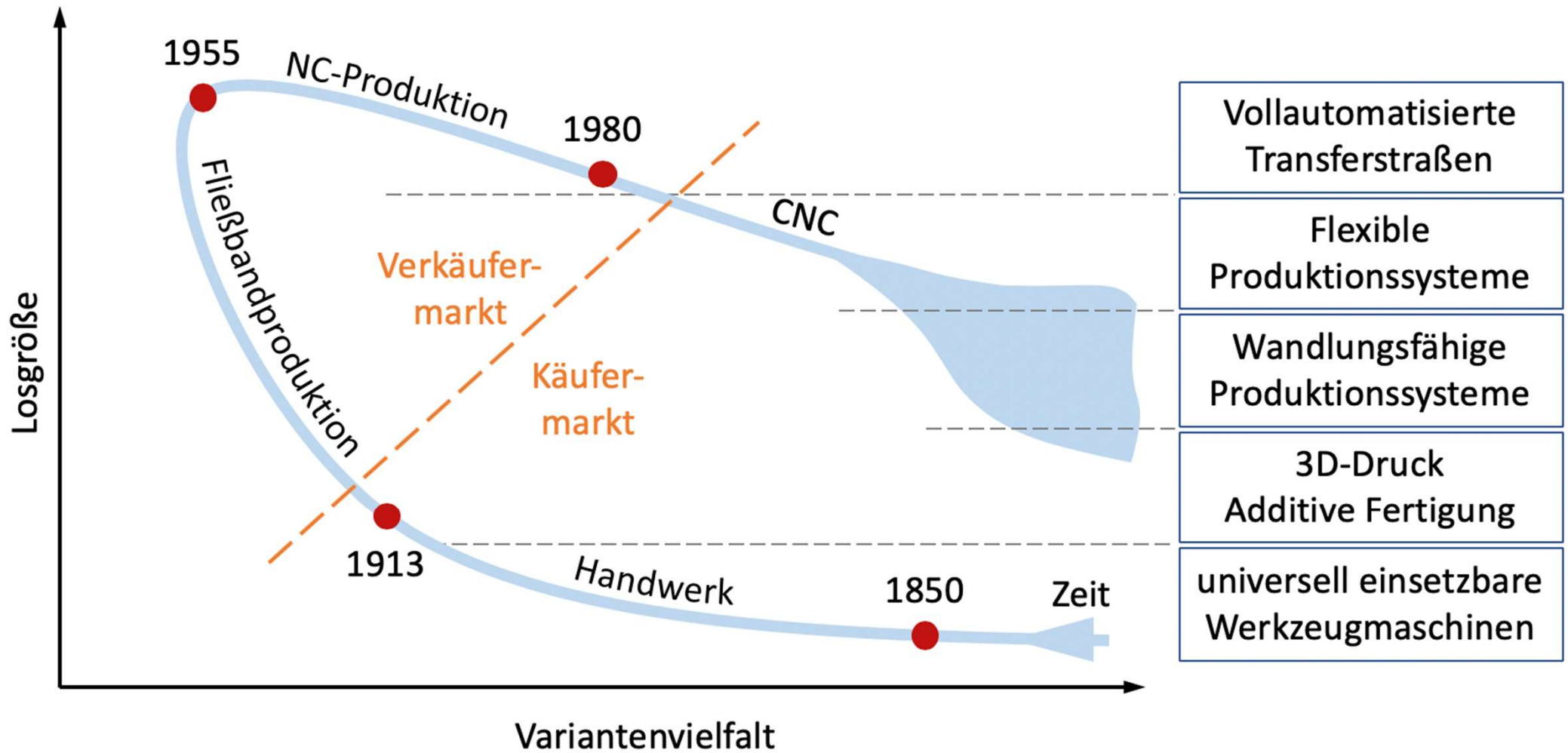
- Werkzeugspanntechnik (Hydrodehnspannfutter)
- Lötverbindung Grundkörper / Dehnbuchse begrenzt Betriebstemperatur auf 50 °C
- Neu: Additiv gefertigter Spannkörper mit Dehnbuchse und spanend gefertigter Basiskörper
- Erhöhung der Einsatztemperatur auf 170 °C
- Reduktion des Gewichtes um 60%
- Sehr schlanke Bauform möglich



Quelle: Mapal



# Entwicklung der Produktionssysteme




## Automatisierung





## Rapid Prototyping (Serienprodukt aus Metall)

Entwicklungsphasen	Produkt	Anforderungen	Verfahren	Stückzahl
Vorentwicklung	Konzept-, Designmodell	Primär optische und haptische Eigenschaften	Lasersintern SLS, Stereolithographie SLA Polyjet / Multijet Colorjet 3D-Druck	1
Funktionsmuster	Funktionsprototyp	Primär geometrische und funktionale Eigenschaften	Lasersintern SLS Laserschmelzen SLM Auftragschweißen LMD CNC-Spanen	
Prototypen	Technischer Prototyp	Werkstoff und Verfahren seriennah	CNC-Spanen, SLM, LMD Sandguss, Feinguss	
Vorserie	Vorserienteil	Werkstoff und Verfahren seriennah bzw. serienidentisch	CNC-Spanen, SLM, LMD Sandguss, Feinguss	
Serienfertigung	Serienteil	Serienwerkstoff und -verfahren		10.000



## Rapid Prototyping (Serienprodukt aus Kunststoff)

Entwicklungsphasen	Produkt	Anforderungen	Verfahren	Stückzahl
Vorentwicklung	Konzept-, Designmodell	Primär optische und haptische Eigenschaften	Lasersintern SLS, Stereolithographie SLA Polyjet / Multijet Colorjet 3D-Druck	1
Funktionsmuster	Funktionsprototyp	Primär geometrische und funktionale Eigenschaften	Lasersintern SLS GFK Gipsguss	
Prototypen	Technischer Prototyp	Werkstoff und Verfahren seriennah	Vakuulguss, Polyamidguss	
Vorserie	Vorserienteil	Werkstoff und Verfahren seriennah bzw. serienidentisch	Vakuulguss, Polyamidguss	
Serienfertigung	Serienteil	Serienwerkstoff und -verfahren	Spritzguss	10.000



Quelle: rpm, Helmstedt



## Fertigungstoleranzen

Verfahren	Grenzabmaße für Nennmaßbereich in mm	
	bis 100 mm	ab 100 mm
Stereolithographie SLA	$\pm 0,2$ mm	$\pm 0,2$ %
Polyjet / Multijet	$\pm 0,1$ mm	$\pm 0,2$ %
Selektives Lasersintern SLS	$\pm 0,3$ mm	$\pm 0,3$ %
Selektives Laserschmelzen SLM	$\pm 0,3$ mm	$\pm 0,3$ %
SLM fein	$\pm 0,1$ mm	-
Fused Deposition Modeling FDM	$\pm 0,2$ mm	$\pm 0,15$ %
HP Multi Jet Fusion	$\pm 0,3$ mm	$\pm 0,3$ %
3D Druck mit Polymergips	$\pm 0,5$ mm	$\pm 0,5$ %

Quelle: rapidobject