

**Modul:**  
**Ausgewählte Technologien der  
Lasermaterialbearbeitung**

**18.10.2024**

**Vortragender:**

**Dr. Richard Görgl**

**JR-MATERIALS**

**Laser- und Plasmatechnologien**

**[richard.goergl@joanneum.at](mailto:richard.goergl@joanneum.at)**

**+43 (0) 316 876 3319**

**[www.joanneum.at/materials/forschungsbereiche/laserproduktionstechnik](http://www.joanneum.at/materials/forschungsbereiche/laserproduktionstechnik)**



# Ausgewählte Technologien der Lasermaterialbearbeitung - Inhalt

2

## Theoretischer Teil

- Laserschweißen
  - Grundlagen, Anwendungsbeispiele (Batterieschweißen mit Scanneroptik)
- Laserlegieren
  - Grundlagen, Anwendungsbeispiele (Laserlegieren von Rückstromsperrern und Biegesegmenten)
- Laserauftragsschweißen (2D)
  - Grundlagen, Anwendungsbeispiele (Panzern von Bohrsträngen für die Ölfeld-Exploration)
- Laserauftragsschweißen (3D) – Generative Fertigung
  - Grundlagen und Beispiele
  - Bahnplanung und Simulation anhand eines Bauteils mittels Siemens NX

## Praktischer Teil

- Besichtigung der Laseranlagen und Bearbeitungsstationen
- Laserschweißen im Einsatz
- Laserlegieren im Einsatz
- Generative Fertigung des zuvor geplanten und simulierten Bauteils an der Anlage

## Kurzvorstellung

- JOANNEUM RESEARCH
- MATERIALS - Institut für Sensorik, Photonik und Fertigungstechnologien
- Forschungsgruppe „Laser- und Plasmatechnologien“

**~450**  
Mitarbeiter/innen

Land Steiermark (80,75  
%)

BABEG – Kärntner  
Betriebsansiedlungs- &  
Beteiligungsgesellschaft  
m. b. H. (14,25 %)

Landesholding  
Burgenland GmbH (5 %)

**3** Gesellschafter

**7** Standorte  
Graz  
Klagenfurt  
Niklasdorf  
Pinkafeld  
Weiz  
Vienna

**7**  
Forschungs-  
einheiten

JOANNEUM RESEARCH ZAHLEN & FAKTEN

> 500 F&E-Projekte

~ 200 Begutachtete Publikationen

17 Kapitalbeteiligungen

~ 300 Wissenschaftliche Vorträge

~ 43 Mio. EUR  
Forschungsleistung

> 80 Abschlussarbeiten  
(Bachelor, Master, Dissertation)

~ 58 Mio. EUR  
Gesamtvermögen

14 Nationale und  
Internationale Auszeichnungen

~ 3 Mio. EUR Investments

30 Patente  
(12 bewilligt, 18 anhängig)

# JOANNEUM RESEARCH Forschungseinheiten

6

## DIGITAL

Institut für digitale Technologien

## ROBOTICS

Institut für Robotik und flexible Produktion

## HEALTH

Institut für Biomedizinische Forschung und Technologien

## POLICIES

Institut für Wirtschafts-, Sozial- und Innovationsforschung

## MATERIALS

Institut für Sensorik, Photonik und Fertigungstechnologien

## COREMED

Zentrum für Regenerative Medizin und Präzisionsmedizin

## LIFE

Institut für Klima, Energiesysteme und Gesellschaft

# MATERIALS

## Organisation, Struktur der Forschungsgruppen

7

### ■ Leitung:

■ Paul Hartmann

### ■ 5 Forschungsgruppen

~ 100 Mitarbeiter/innen

### ■ 2 Standorte in der Steiermark

■ Weiz

■ Niklasdorf

### ■ 1 Standort im Burgenland

■ Pinkafeld



Hybridelektronik und  
Strukturierung  
*Barbara Stadlober*

Licht und  
Optische Technologien  
*Christian Sommer*

Laser- und  
Plasmatechnologien  
*Wolfgang Waldhauser*

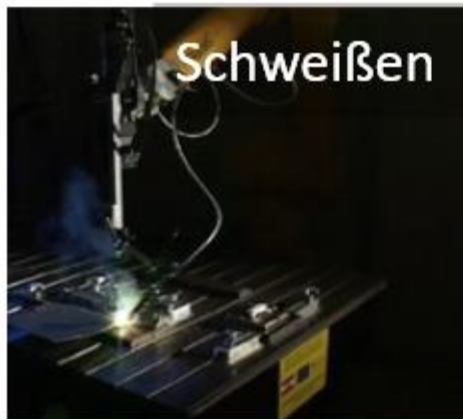
Sensoren und  
Funktionales Drucken  
*Jan Hesse*

Smart Connected Lighting  
*Andreas Weiss*

# 8 Laser- und Plasmatechnologien

## Füge- & Dickfilmtechnik

- **Laserschweißen:** Getriebeteile, maßgeschneiderte Platinen, Kontakte, ...
- **Laserauftragschweißen:** Verschleißschutzschichten für Werkzeuge, Extruder, Bohrgestänge für die Erdölförderung, ...
- **Laserlegieren:** lokaler Verschleißschutz für Rückstromsperrn und Biegewerkzeuge, ...
- **Laserstrahldiagnostik und metallographische Charakterisierung**



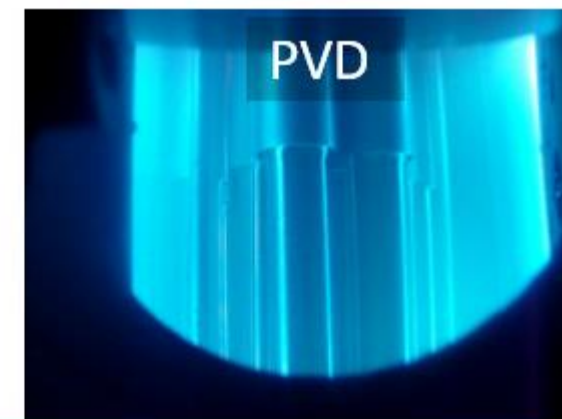
## Additive Manufacturing

- **Laser Metal Deposition (LMD oder L-DED):** Reparatur und Prototyping von Schmiede- und Gusswerkzeugen, ...
- **Selective Laser Melting (SLM oder LPBF):** personalisierte Implantate, Flugzeugkomponenten, ...
- **Hybride Verfahren & neue Materialien**
- **Design und Simulation**



## Plasma Surface Engineering

- **Physical Vapour Deposition (PVD)**
- **Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD)**
- **Atmospheric Pressure Plasma Deposition (APPD)**
- **Funktionale Dünnschichten** für Medizintechnik, Verschleiß- & Korrosionsschutz, ...
- **Film-Charakterisierung**



Von Konzepten, Materialien und Verfahren zu Prototypen und Serienfertigung



# *Laser Processing Division - Equipment*

## ■ Industrial lasers

- Yb:YAG disk lasers (3 kW, 2 times 6 kW, 8 kW) *Trumpf*
  - minimum stable power  $\approx$  100 W

## ■ Optics

- Different laser heads with various focal lengths
  - beam focusing range 50  $\mu$ m up to 6 mm
- Special laser optics
  - PFO (“scanner optics”)
  - bifocal optics
  - “bright line” optics
  - optics with dynamic focusing
  - laser cladding nozzles (ring, 3 beam, 6 beam)

# *Laser Processing Division - Equipment*

## ■ Machinery

- 6-axis CNC system
- 5-axis CNC system
- combined 5-axis CNC high speed milling and laser station
- 6-axis articulated robot with 2 external axes

## ■ 3D-Printing

- EOS M280 (250 x 250 x 280)
- SamyLabs (Ø 160 x 200)
- SamyLabs (250 x 250 x 300)
- ...to come in January 2025

## ■ Peripherals

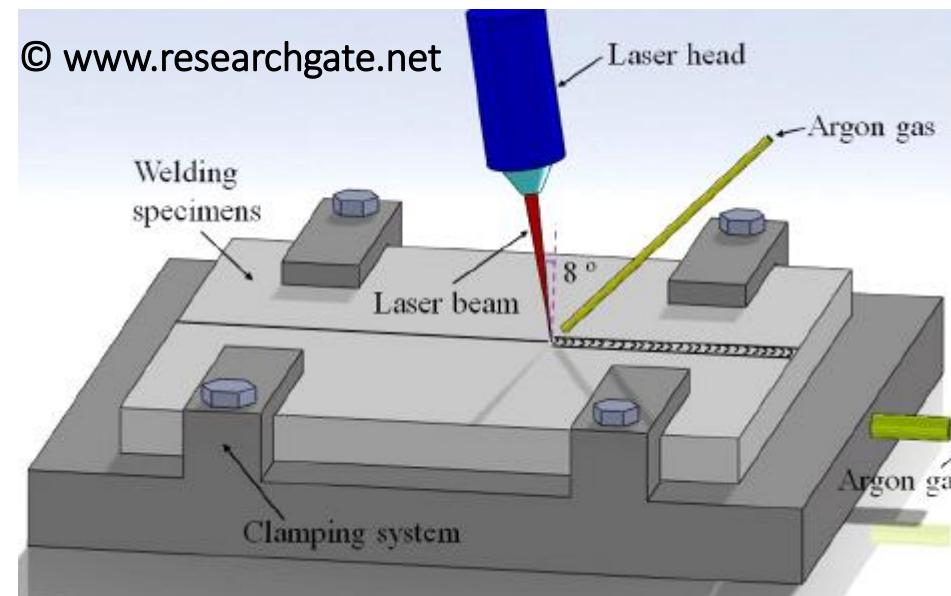
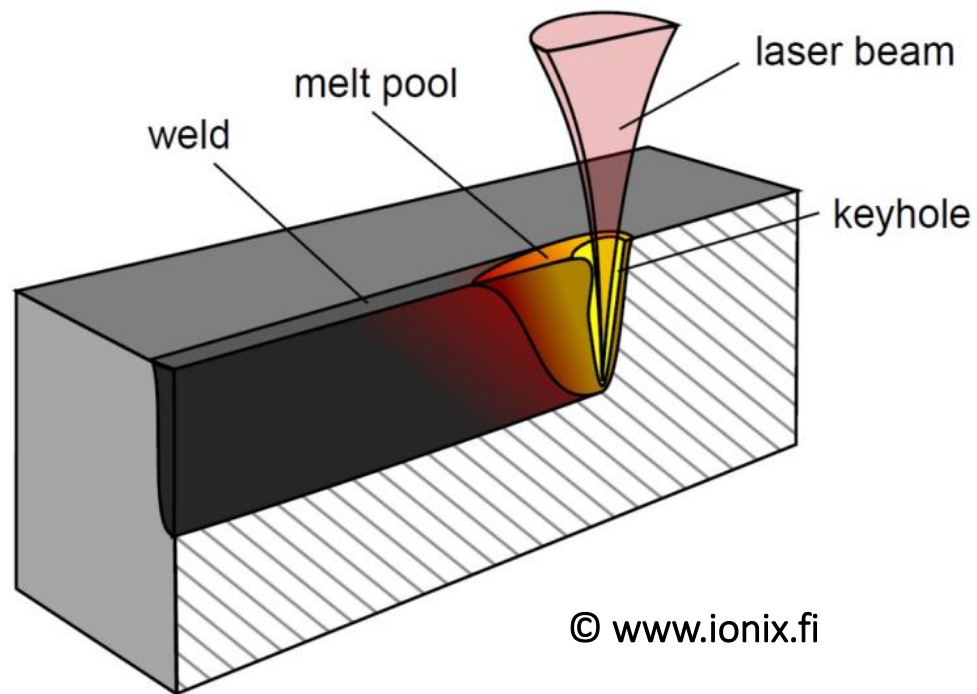
- Laser beam analysis devices
- Laser power monitors
- Metallography
- Light microscopy
- REM
- Hardness testing
- Fatigue testing
- X-ray fluorescence analysis
- Workshop

# Laserschweißen

# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Technologien: Laserschweißen

12



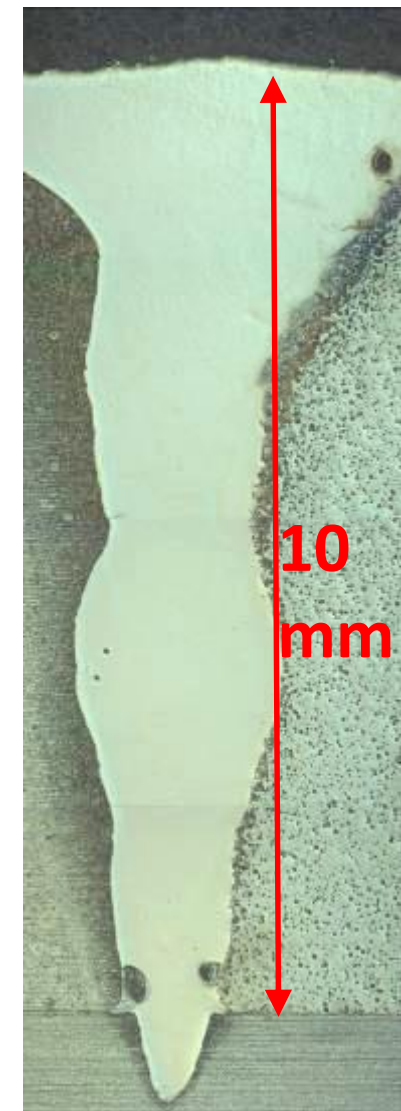
- Hohe Präzision
- Reproduzierbarkeit

# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserschweißen von LKW-Achsen

13

- Prozessentwicklung für LKW-Achsen
  - Materialkombination Gusseisen/Stahl
  - Einschweißtiefe bis zu 12 mm



# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserschweißen von Sintermaterialien

14

### ■ Hochporöse Sintermaterialien



Best result before they came  
to MATERIALS Niklasdorf...



Result after applying our competence  
in material science and laser welding



# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

15

## Laserschweißen - neue Optiken

- PFO (Programmable Focusing Optics, „Scanneroptik“)

- Prinzip

- Strahlführung über elektromagnetisch bewegte Spiegel, wodurch Geschwindigkeiten und Beschleunigungen möglich sind, welche mit bewegten Massen nicht erreicht werden können.
- Durch das Verfahren eines zusätzlichen Linsensystems kann der Fokuspunkt auch in Z-Richtung äußerst dynamisch verschoben werden, um so dreidimensionale Bauteile ohne Bewegung des Bearbeitungskopfes oder des Bauteil vollständig bearbeiten zu können.



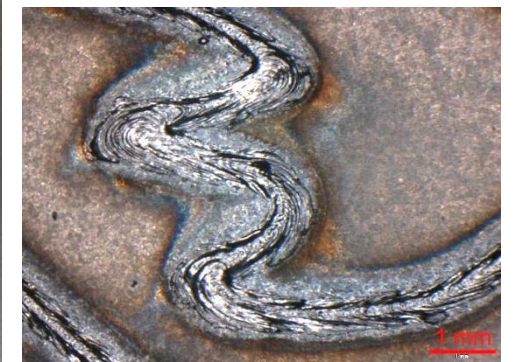
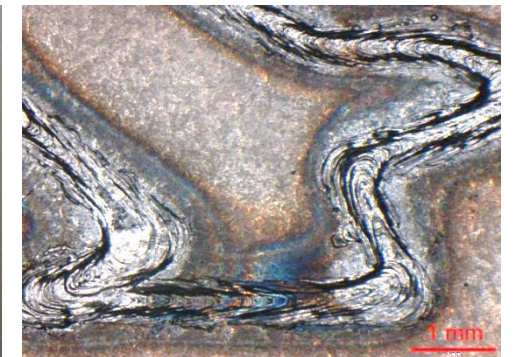
# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserschweißen - neue Optiken

16

- PFO (Programmable Focusing Optics, „Scanneroptik“)

- Komplexe homogene Schweißnähte bei extrem hohen Geschwindigkeiten und Richtungsänderungen möglich



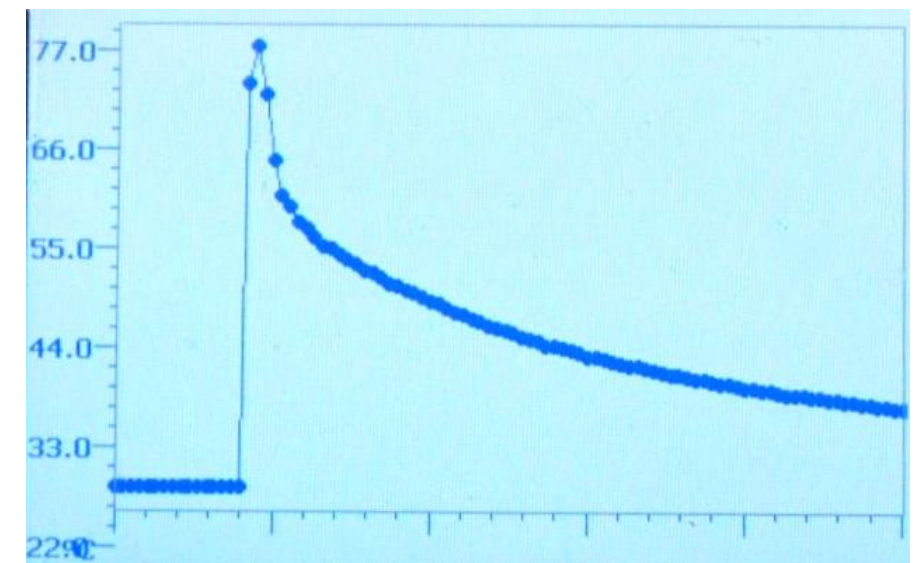
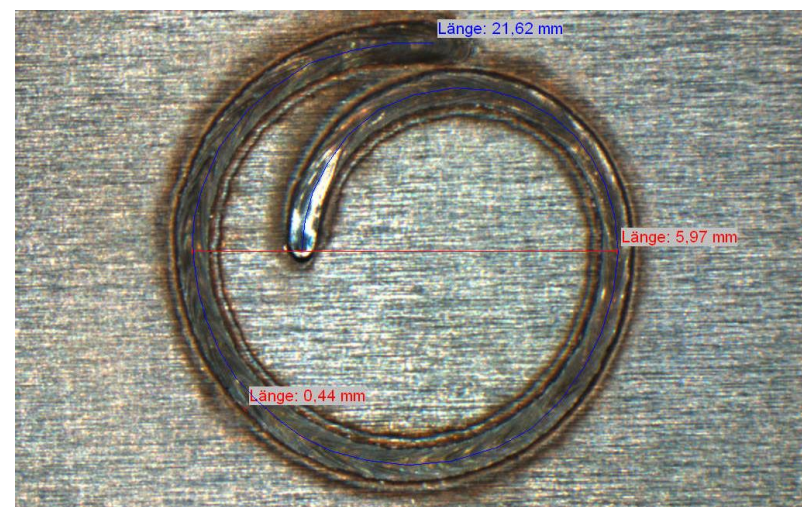
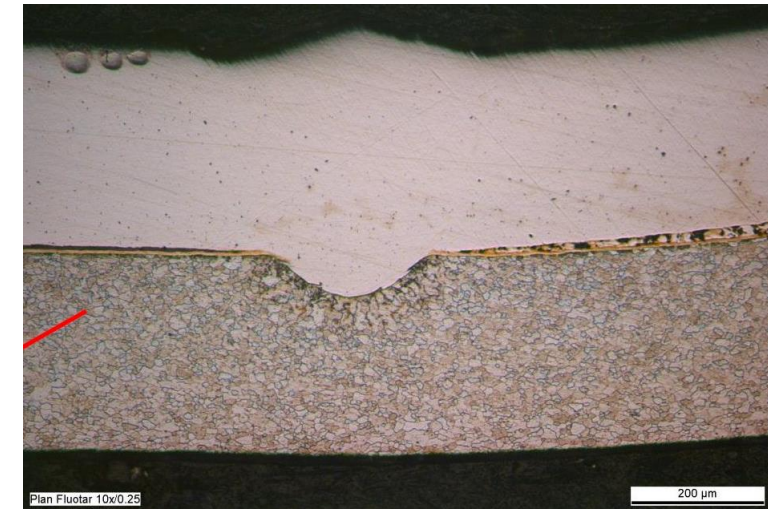


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserschweißen von Batteriemodulen

17

- Batteriemodule für die E-Car-Entwicklung
  - Schwierige Materialkombinationen
    - Verschiedene Cu- und Al-Legierungen
  - Dünne Bleche (< 0,3 mm)
  - Schweißprozess an geladenen Modulen
    - Exakt definierte Schweißtiefe
    - Temperaturbeschränkung an der Unterseite (< 80°C)

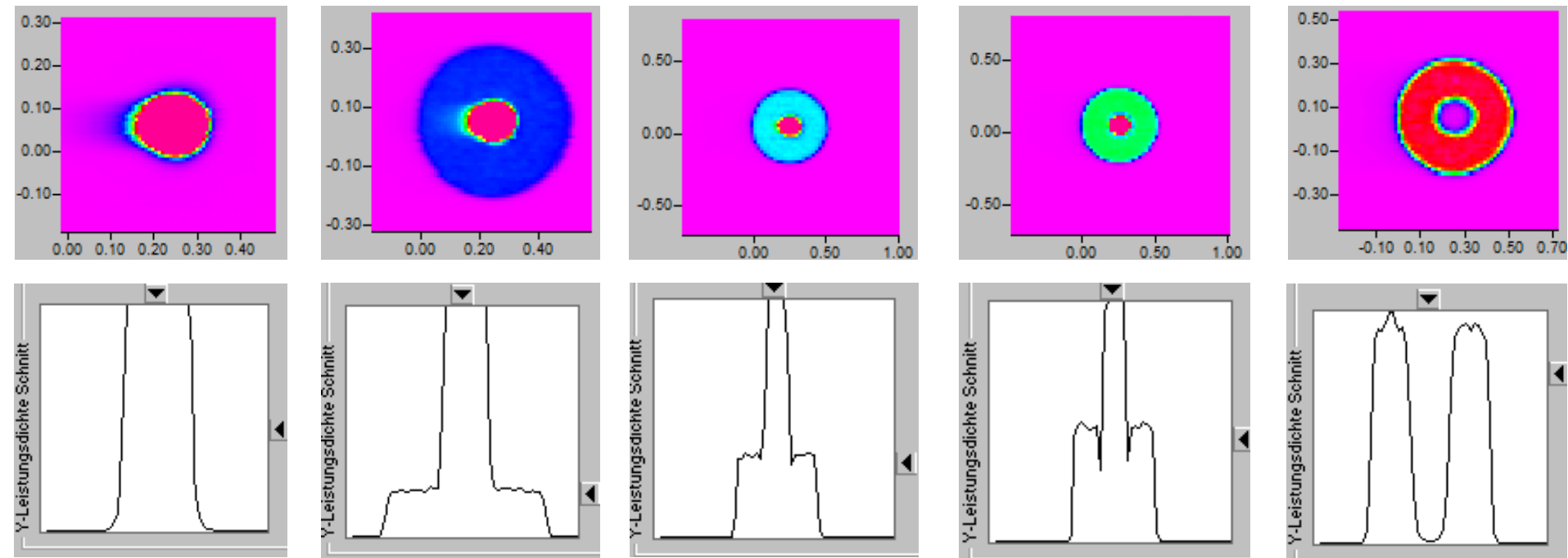
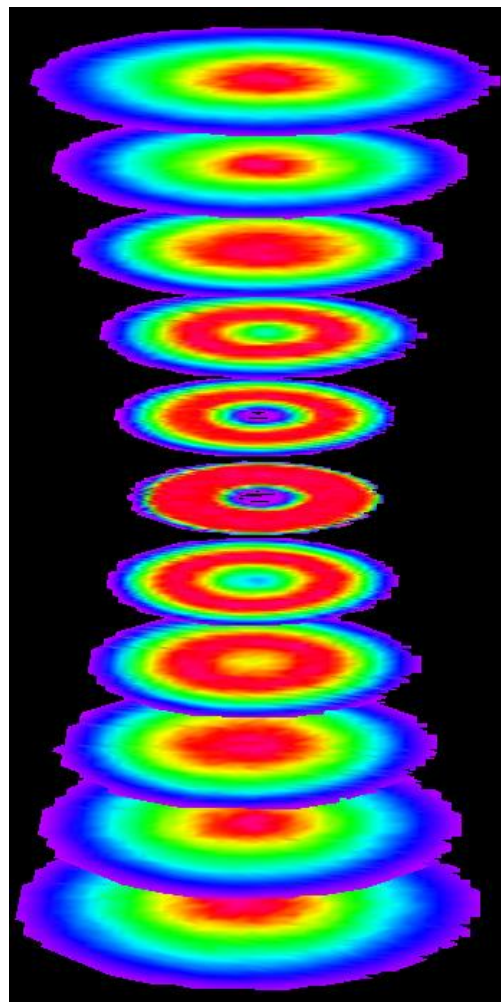


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

18

## Laserschweißen - neue Optiken

- „Bright-Line“:
  - Kombination von Kern- und Ringfaser mit beliebig einstellbarem Intensitätsverhältnis



Kern / Ring = 100 / 0   Kern / Ring = 70 / 30   Kern / Ring = 50 / 50   Kern / Ring = 30 / 70   Kern / Ring = 0 / 100

# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## 19 Laserschweißen - neueste Entwicklungen

- Wobbeln mit Scanneroptik
- Modulares Schweißen mit Bright-Line
  - Laserleistung oszilliert in einem bestimmten Leistungsbereich

Nr.	Typ	Name	Änderungsdatum
001	○	K1	14.10.2021 11:01:38
002	⚡	L1	17.12.2021 08:33:08
003	∞	ACHT	27.10.2021 12:49:37
004			



Moduliertes Schweißen zur Rissvermeidung: 007 - ALU\_FRANCONI

Optionen	Durchschweißen (Bahnbezug: Strecke)	
Auframpe	0 mm	Mittl. Leistung 3500 W
Schweißen	370 mm	Startleistung 3000 W
Abrampe	0 mm	Abramleistung 80 %
	Vorschub 3,0 m/min	Fokus ø 199 µm
	Dynamikfaktor 10	Energielevel 80

Namen ändern    Speichern    Schließen

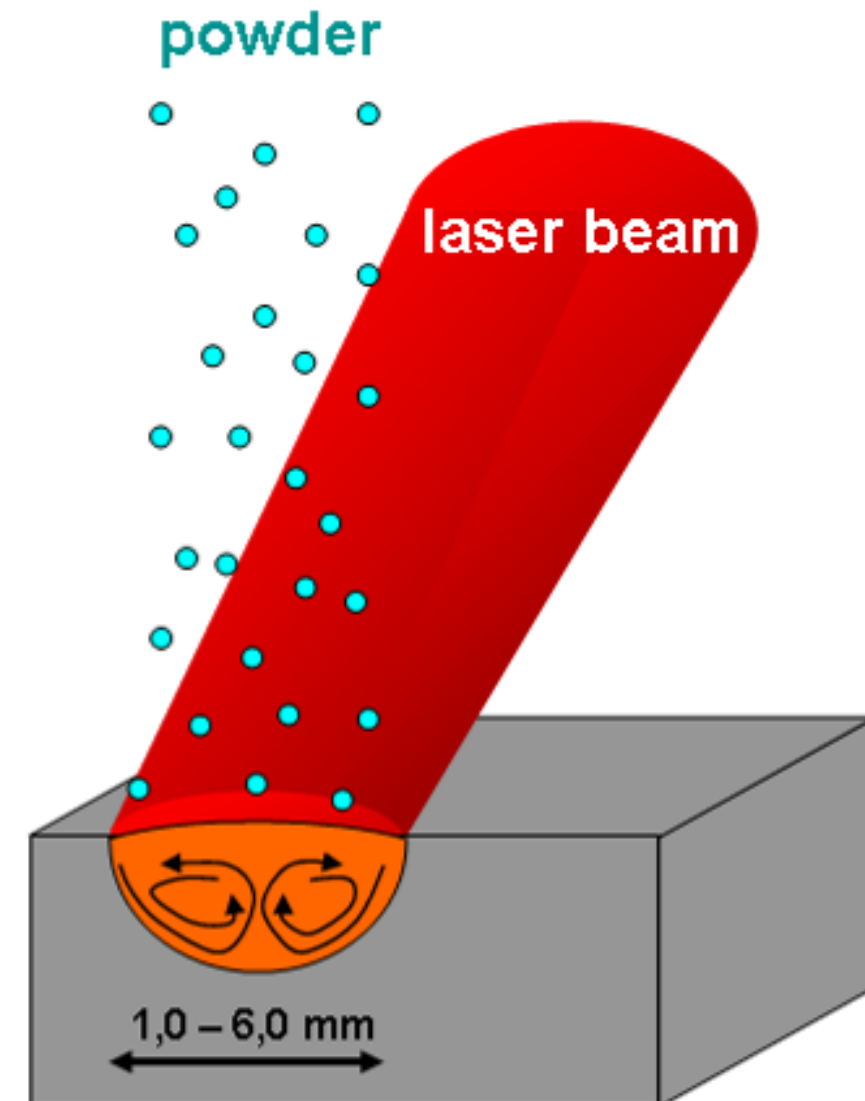
# Laserlegieren

# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Technologie: Laserlegieren

21

- Prinzip des Laserlegierens
  - Erzeugung eines Schmelzbads von mehreren Millimetern Breite und Tiefe
  - Einbringen von metallischem Pulver, welches aufgeschmolzen wird
  - Veränderte Legierung nach dem Wiedererstarren
- Limitierung
  - Ebene Flächen
  - Keine Kanten

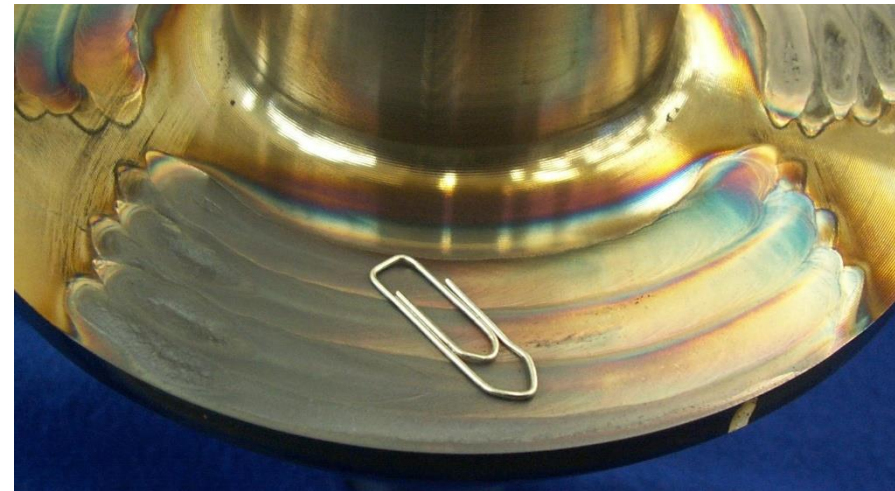
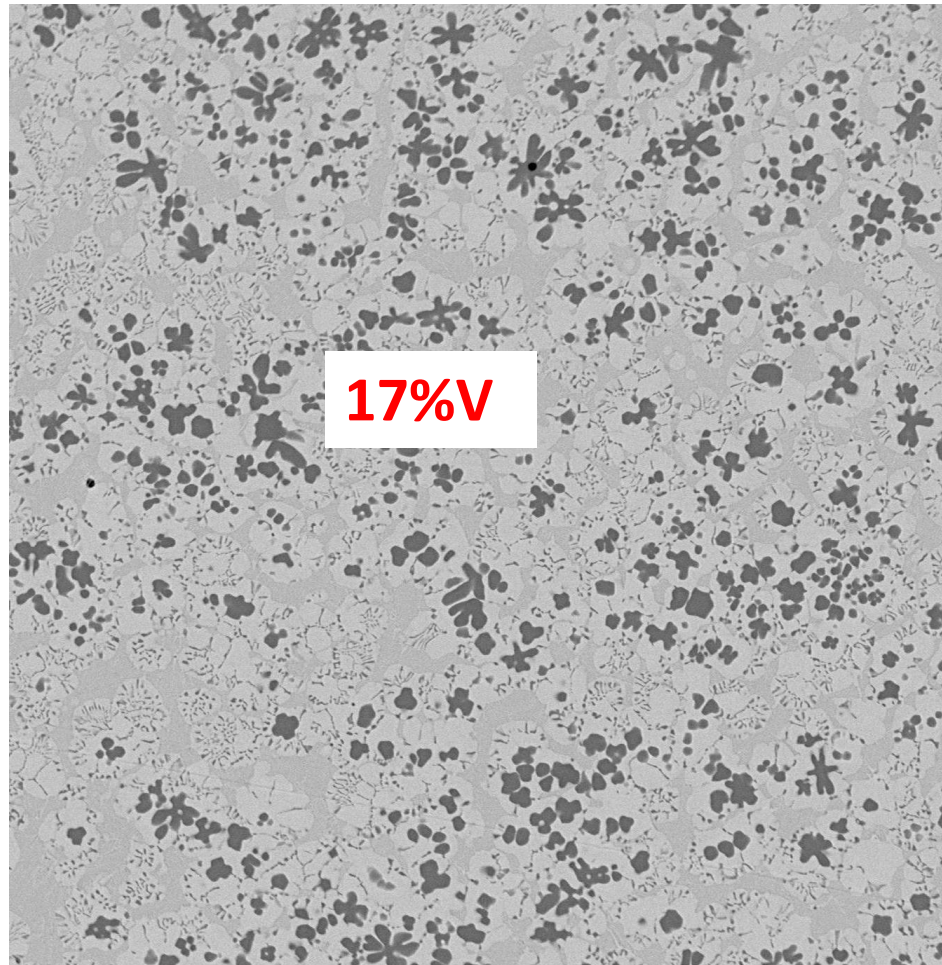


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

22

## Laserlegieren - Rückstromsperren von Kunststoffspritzgussmaschinen

- Legierungsprozess mit VC-Pulver
- Legierung am Halbzeug



- Wiederausscheidung als Monocarbide
- VC-Härte bis 3000 HV
- Hohe Zähigkeit und Verschleißfestigkeit durch die Kombination mit dem „weichen“ Stahl

# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserlegieren - Rückstromsperren von Kunststoffspritzgussmaschinen

23

- Prozessentwicklung in Kooperation mit **ENGEL**  
be the first.
- Patentierte
- Überleitung in industrielle Serienfertigung
  - 1996 – bis heute
- **2012: Rückstromsperre #100.000**

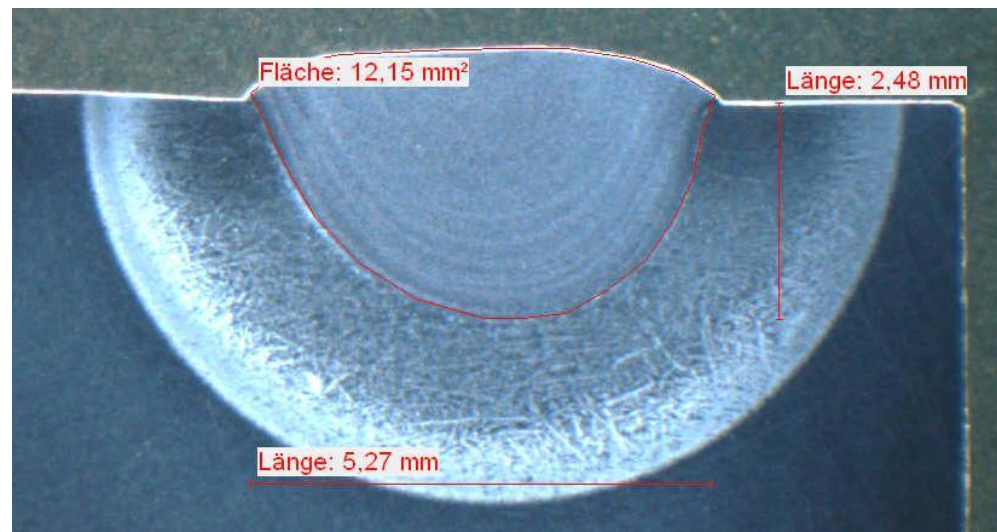
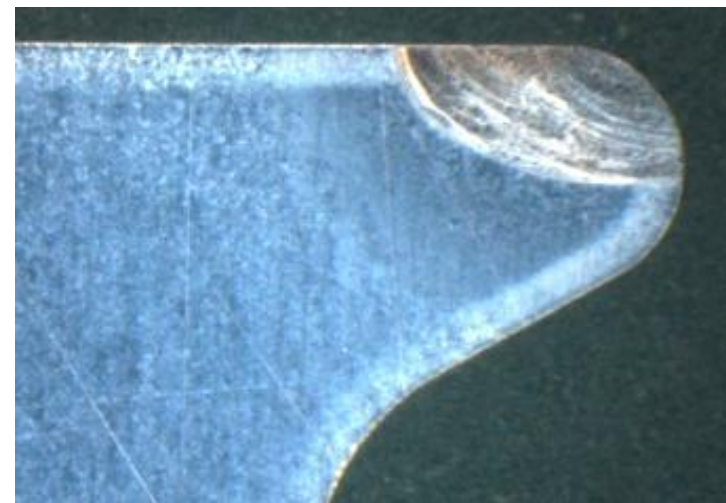
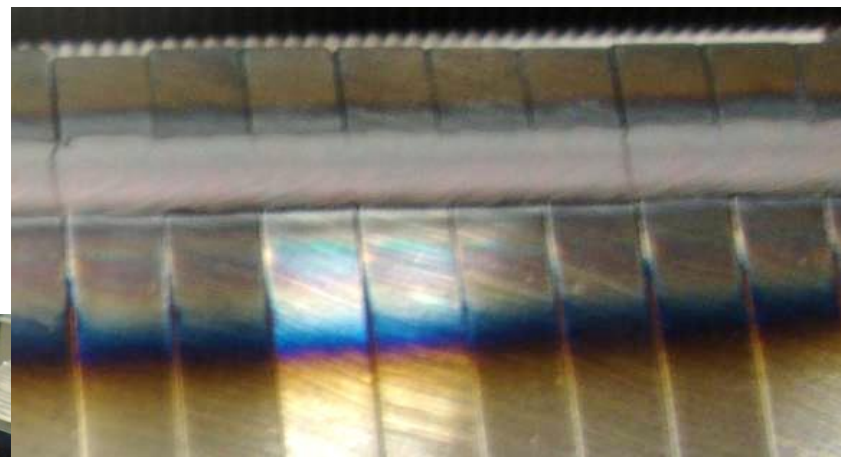


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserlegieren - Biegesegmentkanten

24

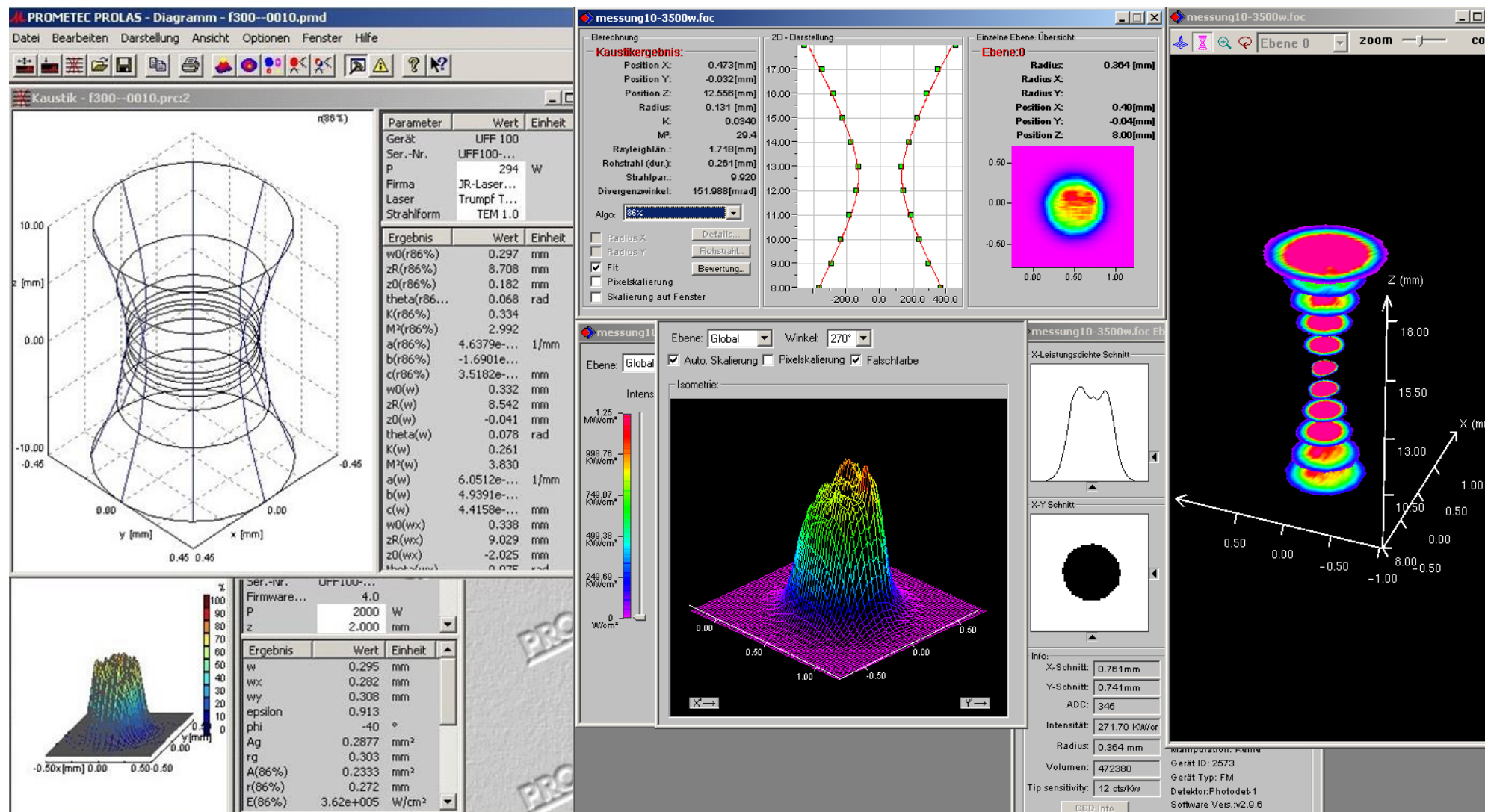
- Kanten von Biegesegmenten unterliegen extremsten Belastungen



- Einziger industrieller Serienprozess des Laserlegierens weltweit
- ...aber: 3 Jahre vom Erstkontakt bis zur Akzeptanz durch den Kunden



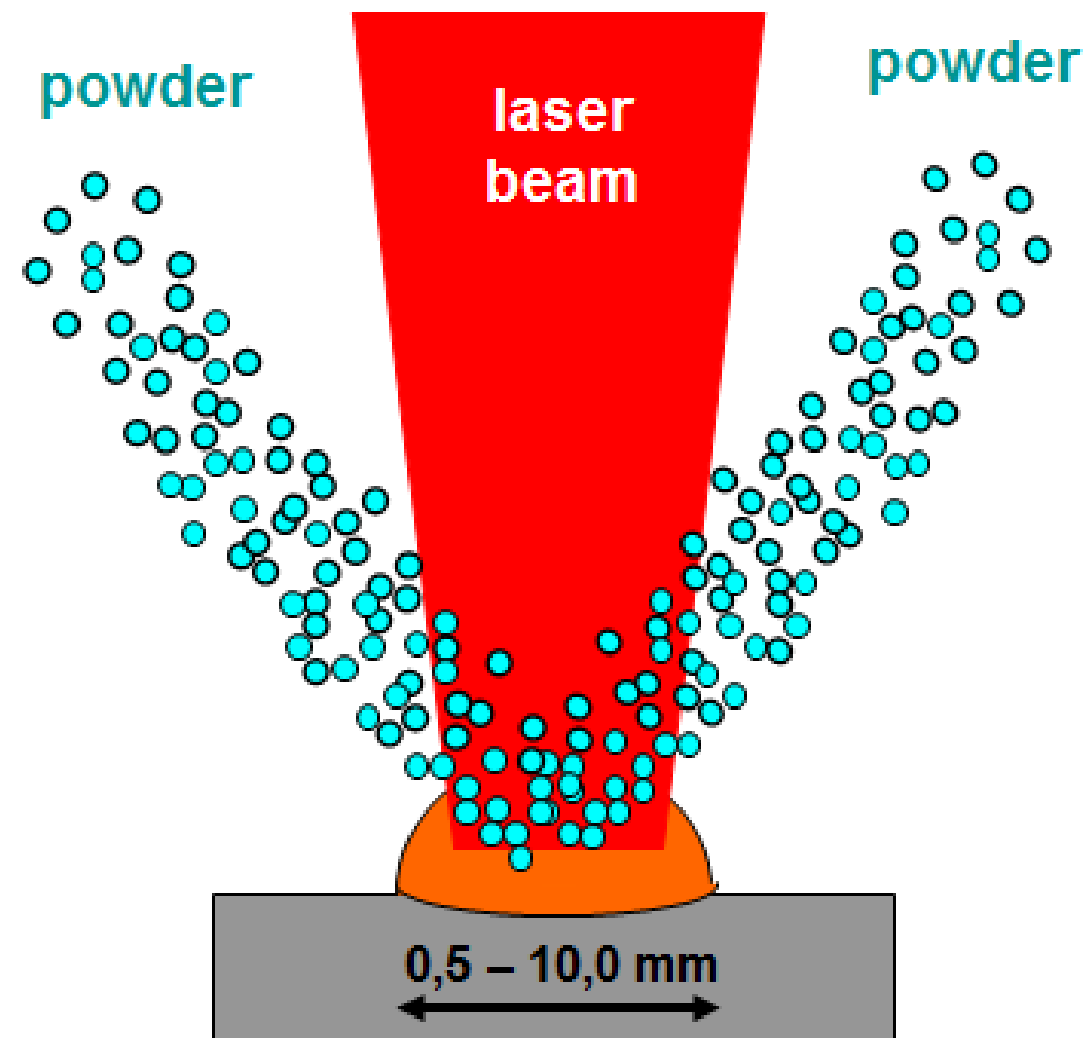
# Laser Beam Analysis



# Laserauftragschweißen

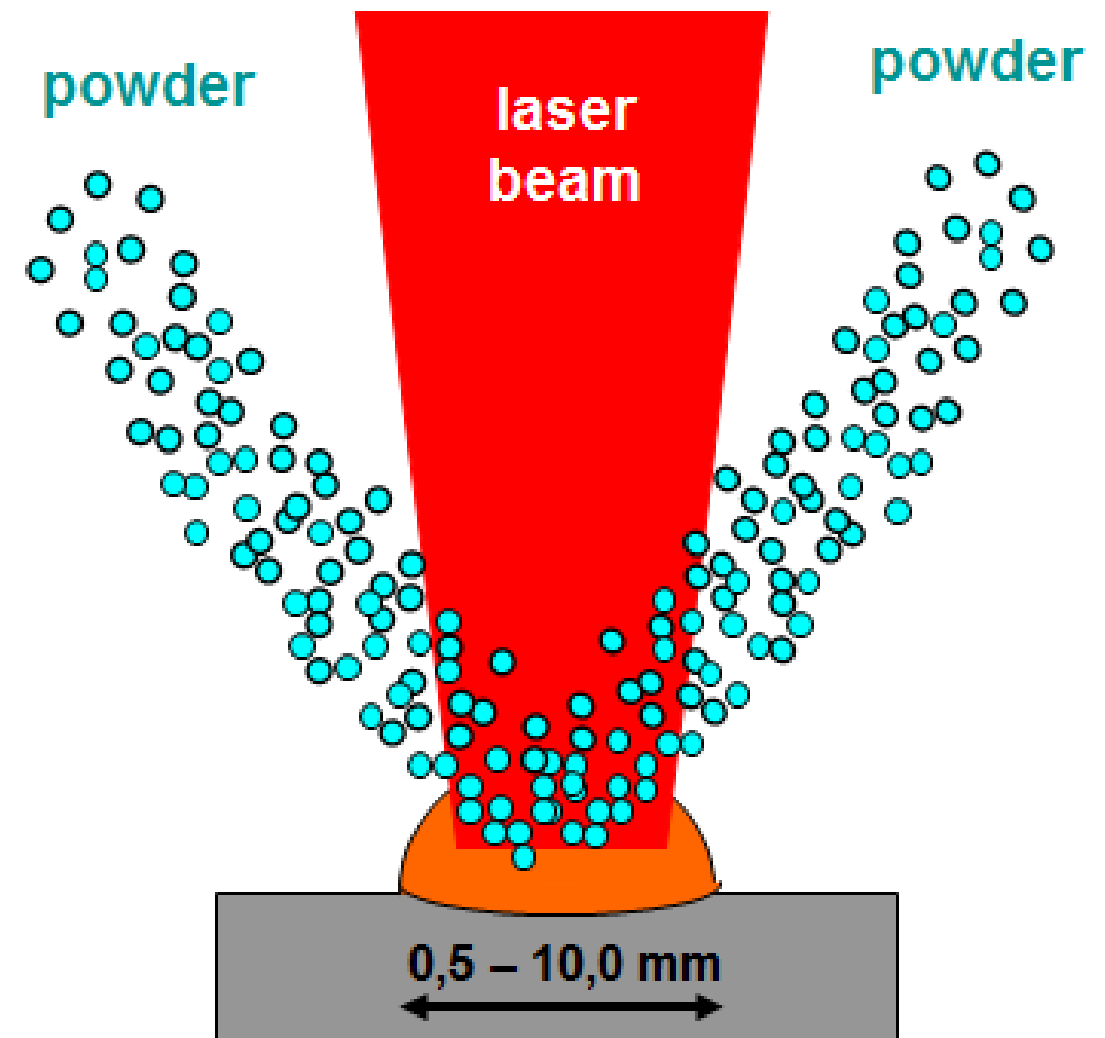
# Laserauftragsschweißen - Prinzip

- Was braucht man zum Laserauftragsschweißen?
  - Laserstrahl
  - Material, welches aufgeschweißt wird
  - Grundmaterial, worauf aufgeschweißt wird
- Prinzip
  - Schweißmaterial wird im Laserstrahl aufgeschmolzen
  - Oberfläche des Grundmaterials wird angeschmolzen
  - Nach der Wiedererstarrung entsteht eine schmelzmetallurgische Verbindung



# Laserauftragsschweißen - Prinzip

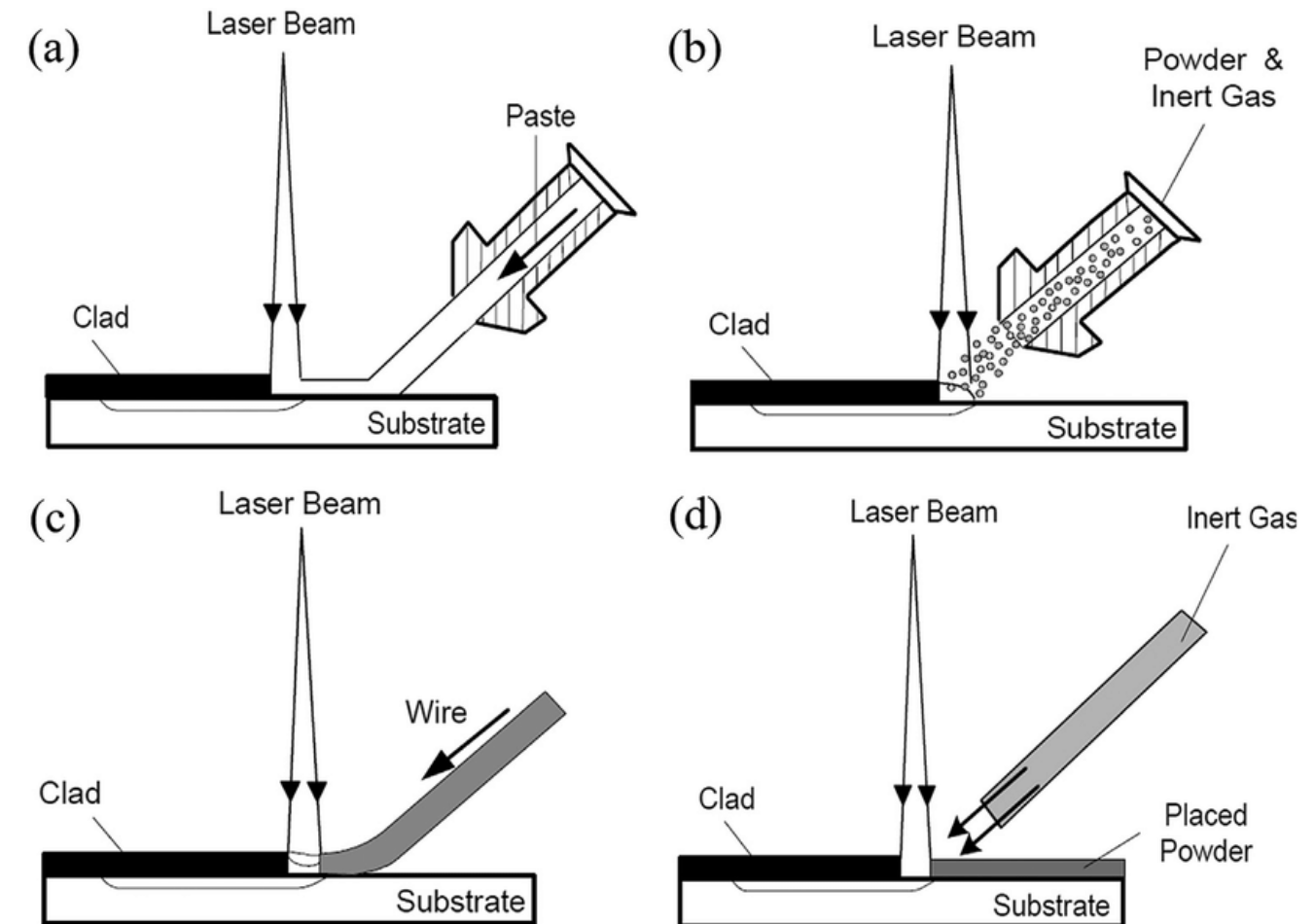
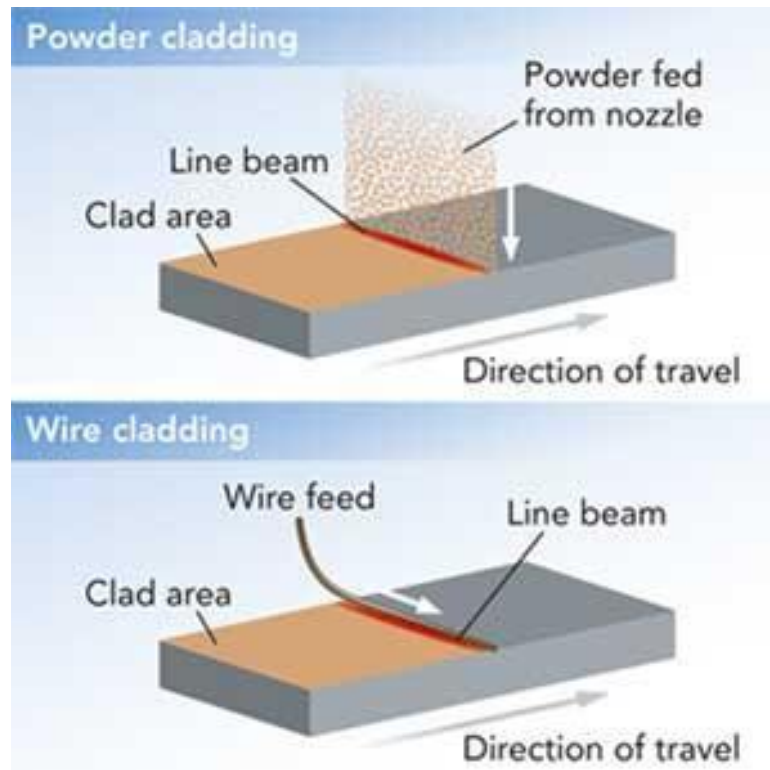
- Prozessparameter
  - Laserleistung
  - Fokussierung (Strahldurchmesser)
  - Pulverförderrate
  - Verfahrensgeschwindigkeit
  - Spurabstand
  - Schichtabstand



# Laserauftragsschweißen - Prinzip

## ■ Was braucht man zum Laserauftragsschweißen?

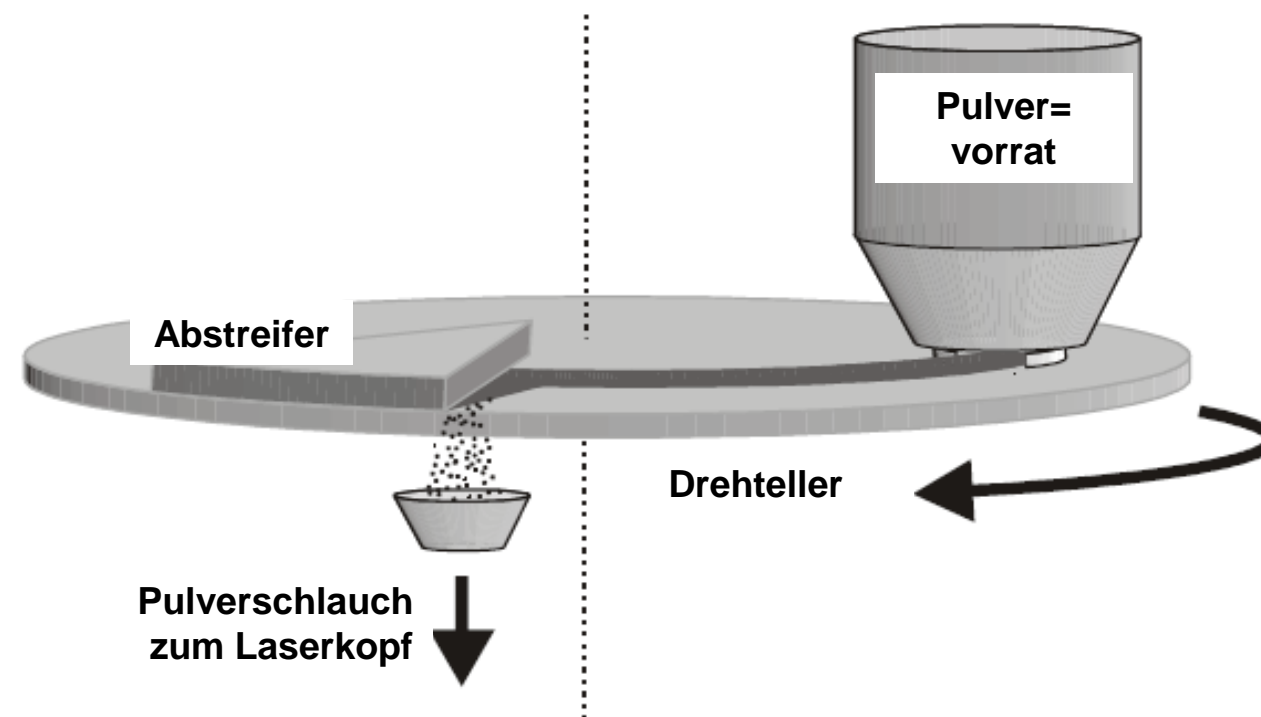
- Laserstrahl
- Material, welches aufgeschweißt wird
- Grundmaterial, worauf aufgeschweißt wird



# Laserauftragsschweißen - Prinzip

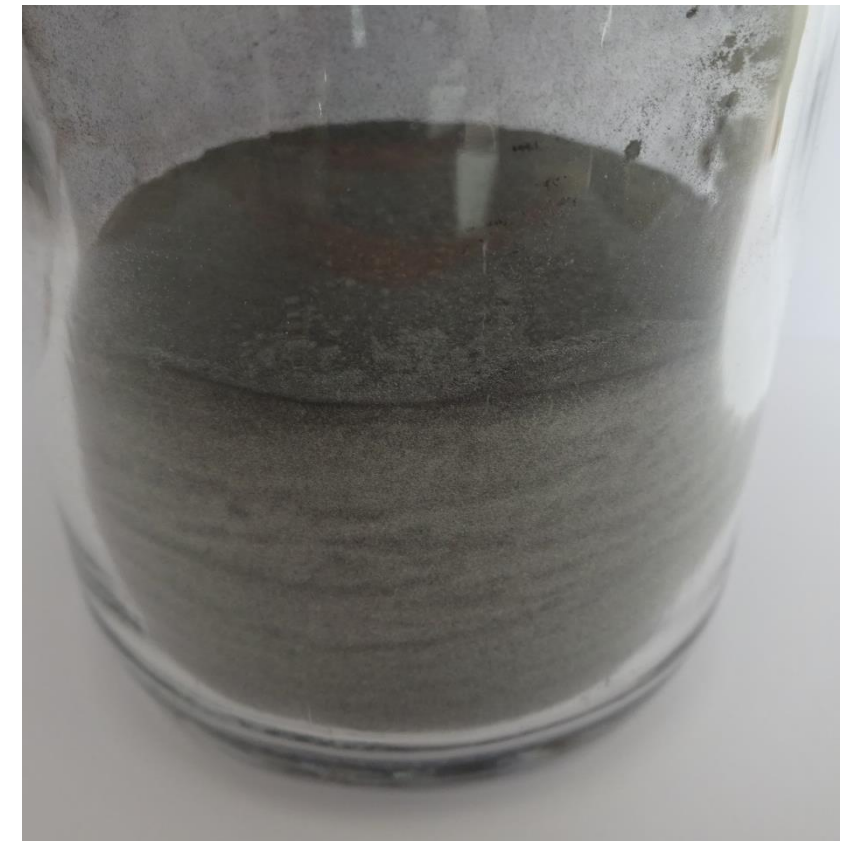
## ■ Pulverzufuhr

- Pulverförderrate wird simpel über die Rotationsgeschwindigkeit eines Drehtellers eingestellt



# Laserauftragsschweißen - Prinzip

- Pulvermischung möglich
  - Durch Verwendung eines dualen Pulverförderers findet die Mischung unmittelbar vor dem Prozess statt
- Eine normale Mischung ist meist nicht möglich – die Mischung wird nicht homogen und segregiert auch wieder



# Laserauftragsschweißen - Prinzip

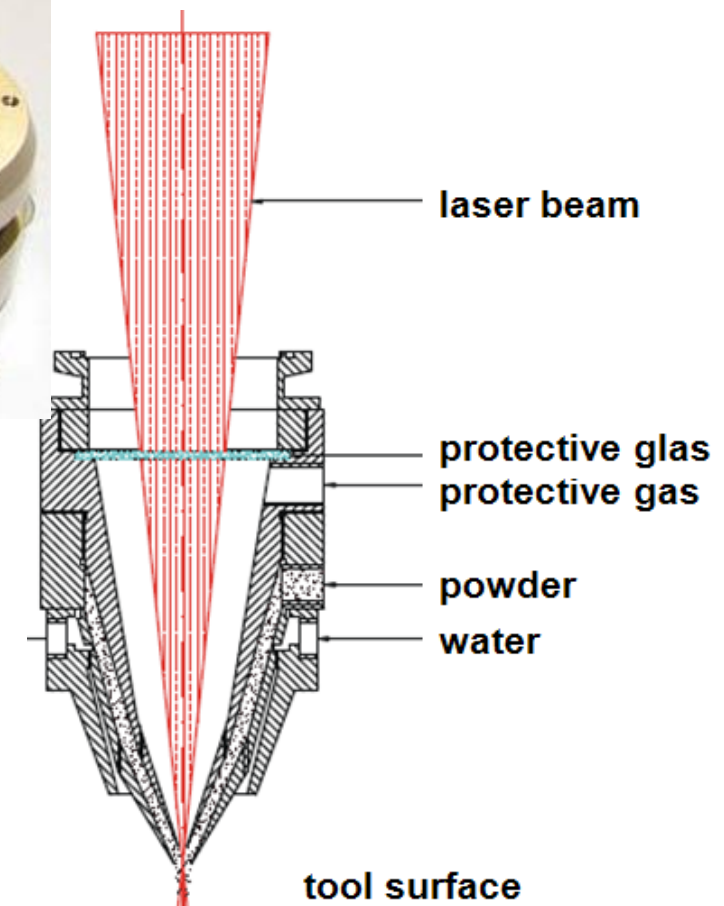
- koaxiale Düse
  - homogener Pulverstrom



3-Strahl-Düse



Ringdüse





# ***Laserauftragsschweißen - Prinzip***

- 6-Strahl-Düse (neu)
  - 25 mm Arbeitsabstand
  - modular aufgebaut



# ***Laserauftragsschweißen - Prinzip***

---

## **Physikalisches**

- Voraussetzung für schmelzmetallurgische Verbindung:
  - Die Legierungen müssen ineinander löslich sein
  - Phasengleichgewicht muss möglich sein
  
- ...wenn nicht, braucht man eine entsprechende Zwischenschicht zwischen Grundmaterial und eigentlicher Schutzschicht...

# ***Laserauftragsschweißen - Prinzip***

## **Physikalisches**

- Aufmischungszone zwischen Grundmaterial und Schicht
  - typischerweise wenige Zehntel Millimeter
  - aufgrund von Konvektionsströmen im Schmelzbad
  
- Haupteinflussgrößen
  - Schmelzpunkte ( $T_m$ ) der beiden Materialien
  - Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) der beiden Materialien
  
- Ideal:  $T_{m(\text{Grundmaterial})} > T_{m(\text{Aufschweißung})}$ 
  - sonst kann das Grundmaterial während der Abkühlphase zu stark erwärmt werden, was zu Anbindungsfehlern führen kann

# ***Laserauftragsschweißen - Prinzip***

---

## **Physikalisches**

### ■ Rissbildung

- Heißrisse aufgrund thermischer Spannungen in der Abkühlphase
  - Wahrscheinlichkeit steigt mit der Härte des aufgeschweißten Materials
- Rissbildung aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung

### ■ Abhilfe

- Vorwärmung des Grundmaterials
  - → Reduktion der Abkühlrate (und damit der thermischen Spannungen)
- weichere Bufferschicht als Rissstopper
  - (wenn Risse in Aufschweißung erlaubt, im Grundmaterial jedoch nicht)

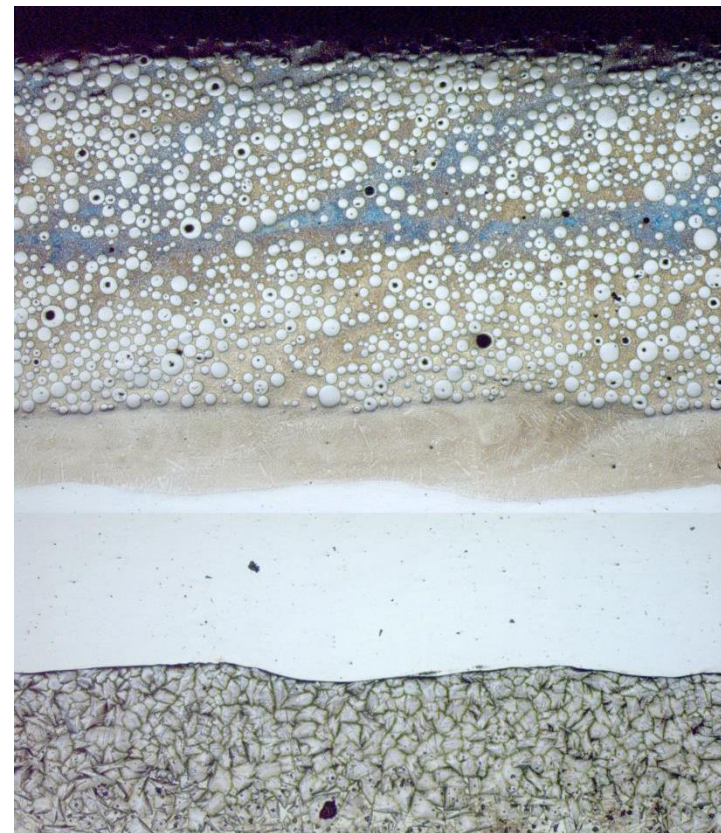
# Laserauftragsschweißen - Prinzip

## ■ Beispiel einer komplexen Aufschweißung

### ■ 4 Lagen

- Bufferschicht (C276)
- Interface (NiCrBSi)
- Hardfacing 1 ( $W_2C/WC + NiCrBSi$ )
- Hardfacing 2 ( $W_2C/WC + NiCrBSi$ )

### ■ Gesamtdicke = $4.0^{\pm 0.2}$ mm



# Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

## Schneidmesser von Erntemaschinen

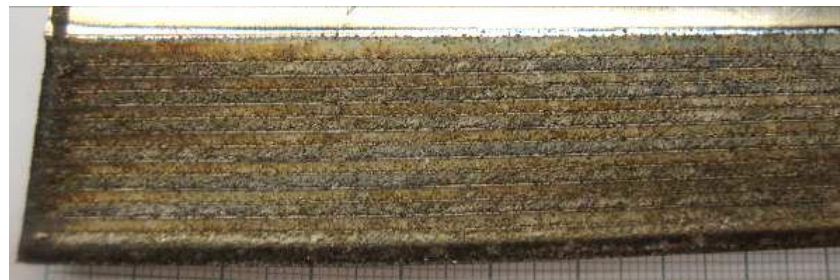


- Herausforderungen:
  - scharfe Kante
  - dünne und gleichmäßige Aufschweißung

# Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

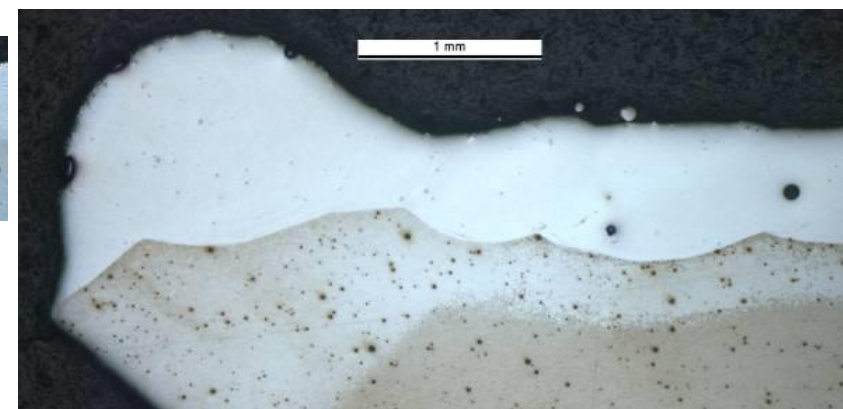
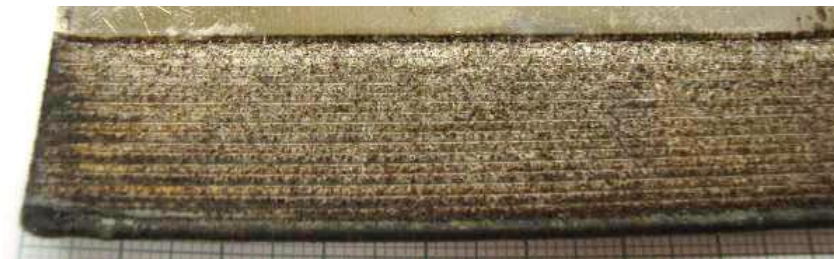
## Schneidmesser von Erntemaschinen

- Erstversuch mit konstanten Prozessparametern



$P = 1220 \text{ W}$ ,  $E_s = 732 \text{ J/cm}$   
Kante unversehrt  
Aufschweißung nicht bis zur Kante

- schmales Prozessfenster
- $\Delta P < 170 \text{ W}$



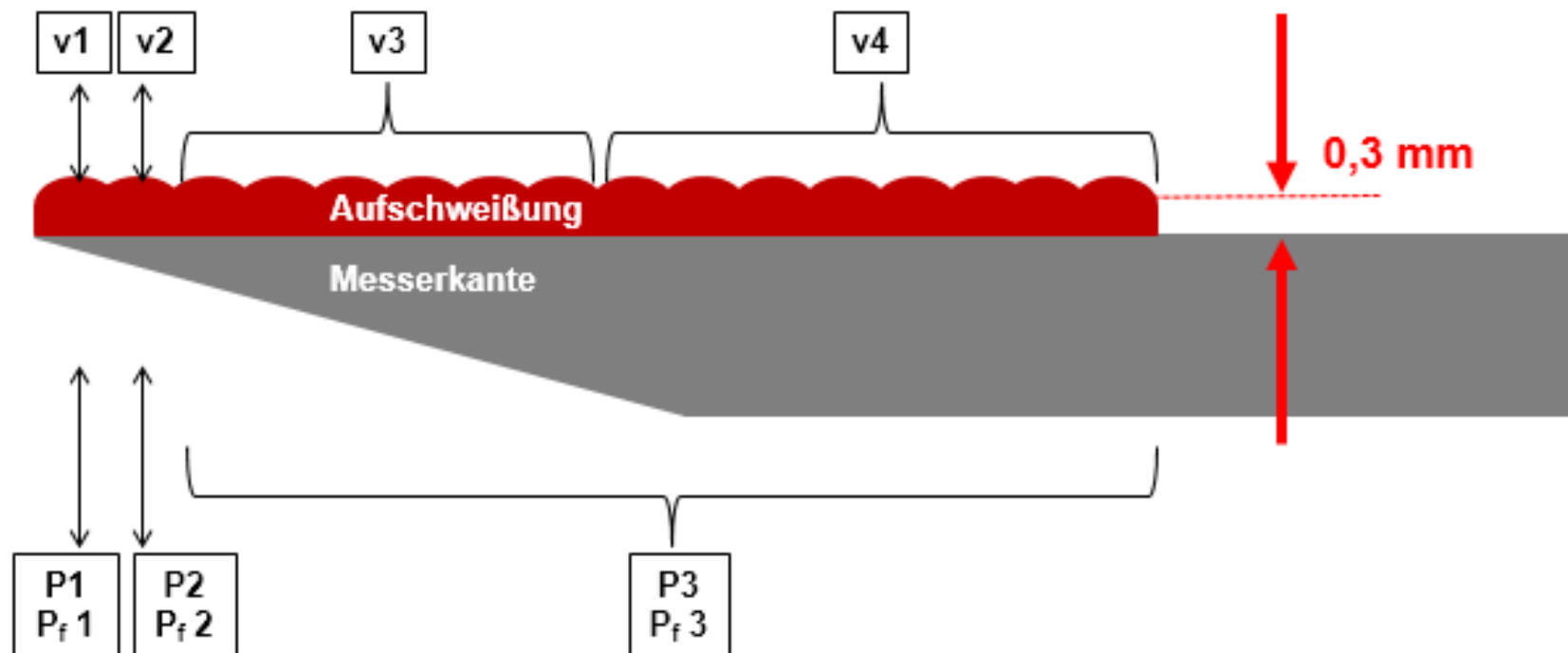
$P = 1390 \text{ W}$ ,  $E_s = 836 \text{ J/cm}$   
Aufschweißung sicher bis an die Kante  
Kante angeschmolzen

# Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

## Schneidmesser von Erntemaschinen

### ■ Lösung:

Bereiche mit unterschiedlichen Parametersätzen





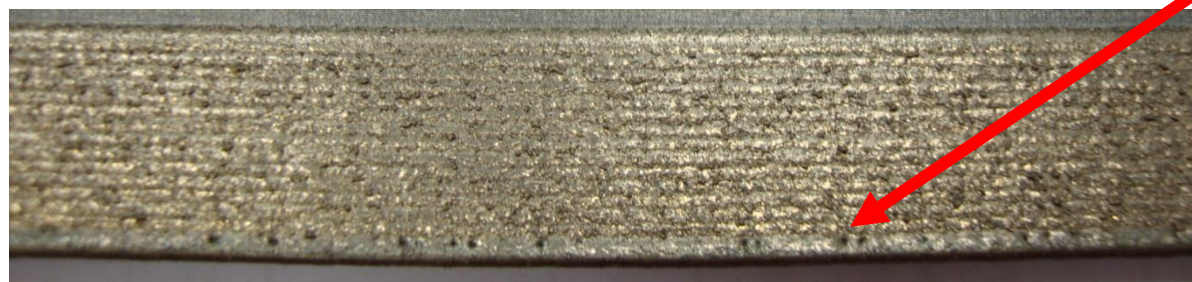
# Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

## Schneidmesser von Erntemaschinen

- Akzeptabler Kompromiss
  - fast gleichmäßige Aufschweißung
  - minimales Abschmelzen der Kante



- extrem schmales Prozessfenster



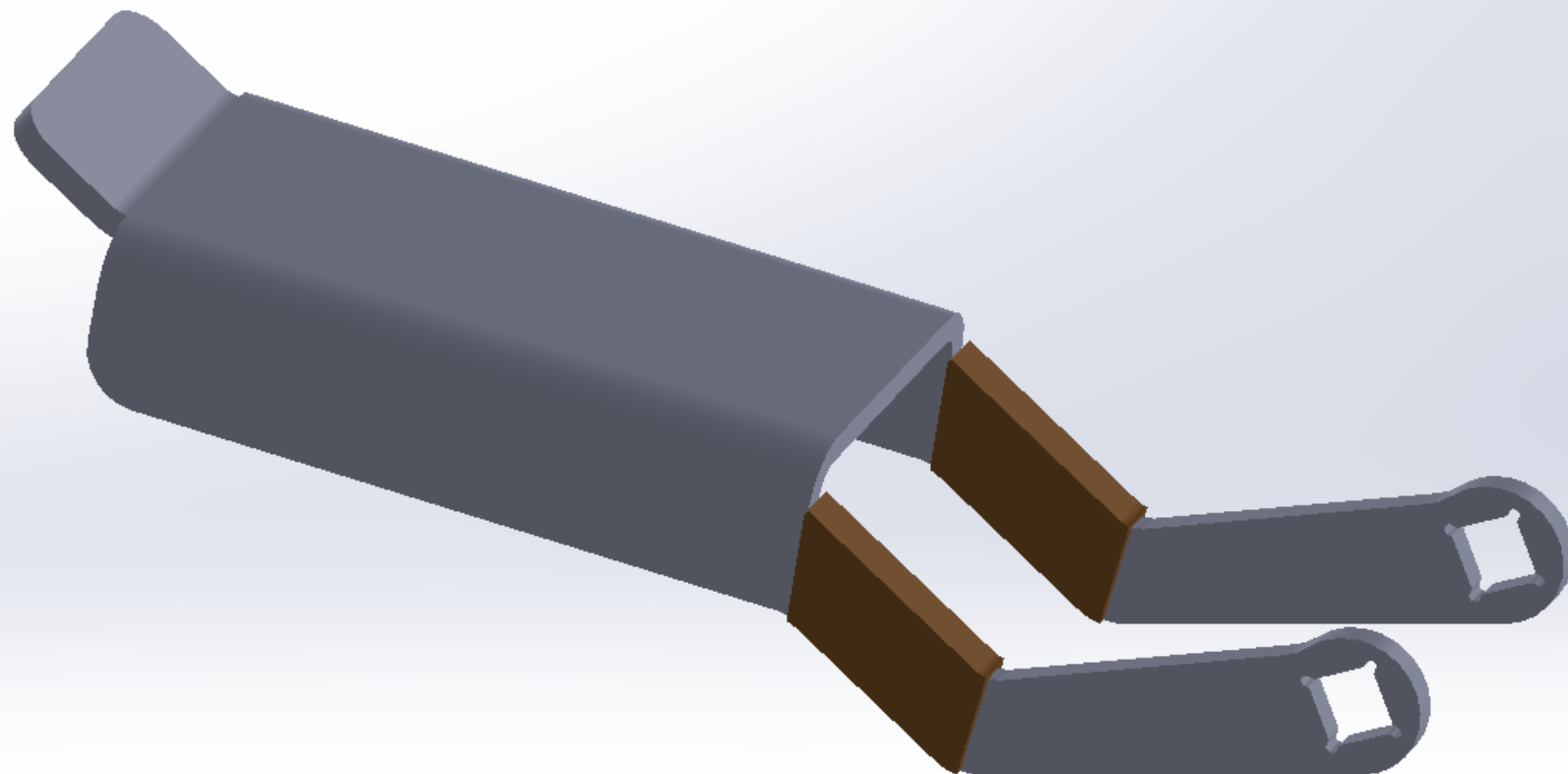
$\Delta P = 50 \text{ W}$   
( $P \approx 1300 \text{ W}$ )

## ***Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)***

### **Überfüllsicherungshebel**

Randbedingungen ...

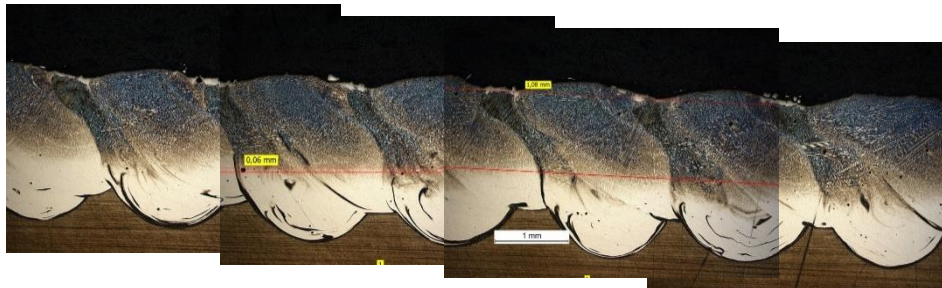
- Aufschweißung mit Inconel 625 (hochtemperaturbeständig)
- Blechstärke 5 mm
- Aufschweißung in einem Stück



# ***Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)***

## **Überfüllsicherungshebel**

Prozesseinstellung und erste Versuche:



Prozesseinstellung auf Stahlplättchen



Versuch Nr. 1:  
komplettes Durchschmelzen  
des Bügels.

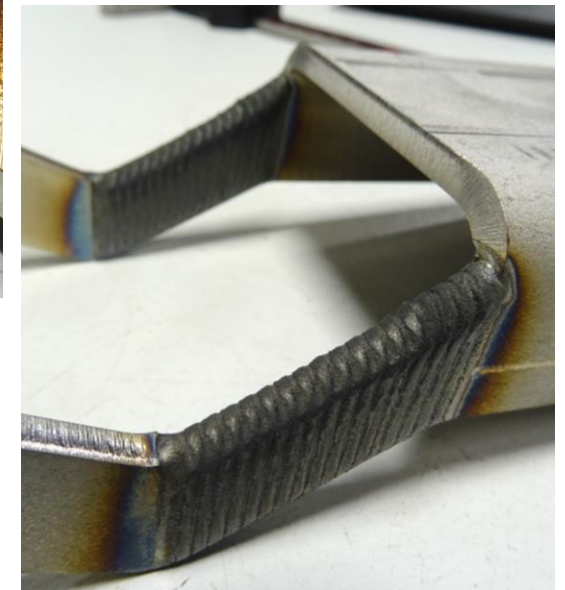
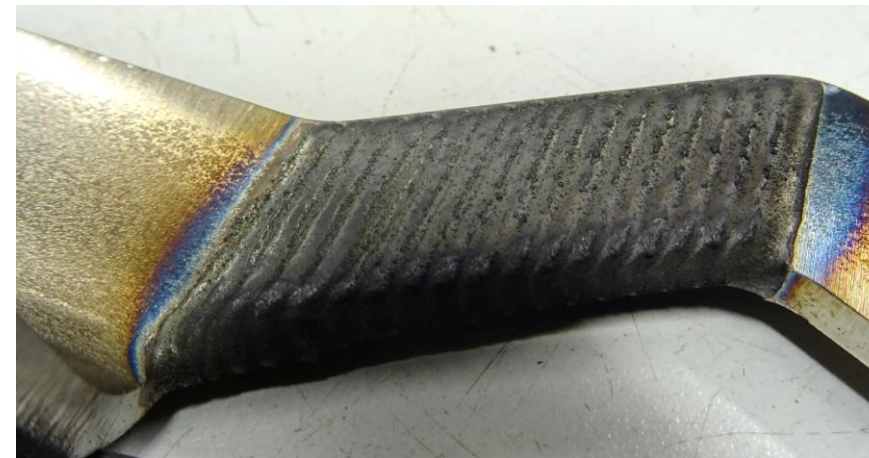


Versuch Nr. 2:  
Anschmelzen des  
Bügel

## ***Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)***

### **Überfüllsicherungshebel**

Lösung: Start mit höherer Leistung, um dann während der ersten Bewegungszyklen die Leistung sukzessive zu verringern, sodass die Erwärmung des Bügels während des gesamten Prozesses nicht zu stark wird.



# Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

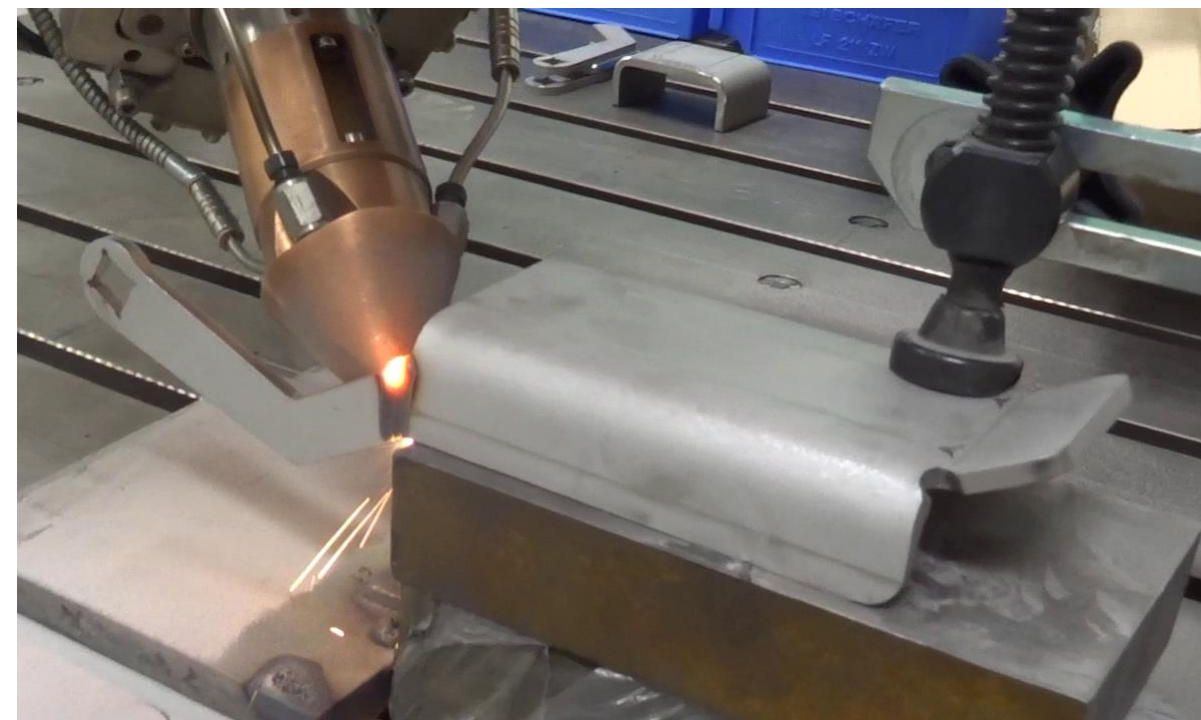
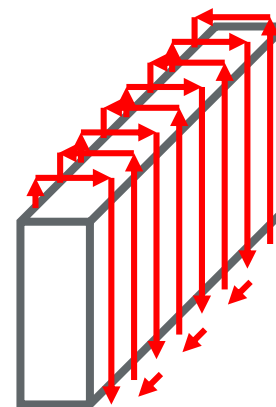
## Überfüllsicherungshebel

### Geometrische Herausforderung ...

```

...
vmmin:=2; SpAb:=1.0; angleY:=31; angleX:=55;
MoveL [[xyz.x,xyz.y,xyz.z+200],vert,StdConf,noExtAx],v200,z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],v100,z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
PULVER_Start; WaitTime 2; LASER_3kW_on;
MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx], v40, z1, tAF_KopfWObj:=variabel;
FOR i FROM 1 TO 5 DO
xyz.z := xyz.z + 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.y := xyz.y - 3; angleX:=30; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.y := xyz.y - 3; angleX:=55; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.z := xyz.z - 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.x := xyz.x + SpAb; xyz.z := xyz.z - tan(30);
MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.z := xyz.z + 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.y := xyz.y + 3; angleX:= 30; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.y := xyz.y + 3; angleX:= 55; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.z := xyz.z - 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.x := xyz.x + SpAb; xyz.z := xyz.z - tan(30);
MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
nLeistung:=nLeistung-100; LEISTUNG_2_setzen nLeistung;
ENDFOR
angleX:=30;
FOR i FROM 6 TO 10 DO
xyz.z := xyz.z + 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.y := xyz.y - 6; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.z := xyz.z - 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.x := xyz.x + SpAb; xyz.z := xyz.z - tan(30);
MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.z := xyz.z + 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180-angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.y := xyz.y + 6; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.z := xyz.z - 20; MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
xyz.x := xyz.x + SpAb; xyz.z := xyz.z - tan(30);
MoveL [xyz,OrientZYX(180,-angleX,180+angleY),StdConf,noExtAx],[vmmin*1000/60,500,5000,1000],z1,tAF_KopfWObj:=variabel;
ENDFOR
angleX:=20;
...

```

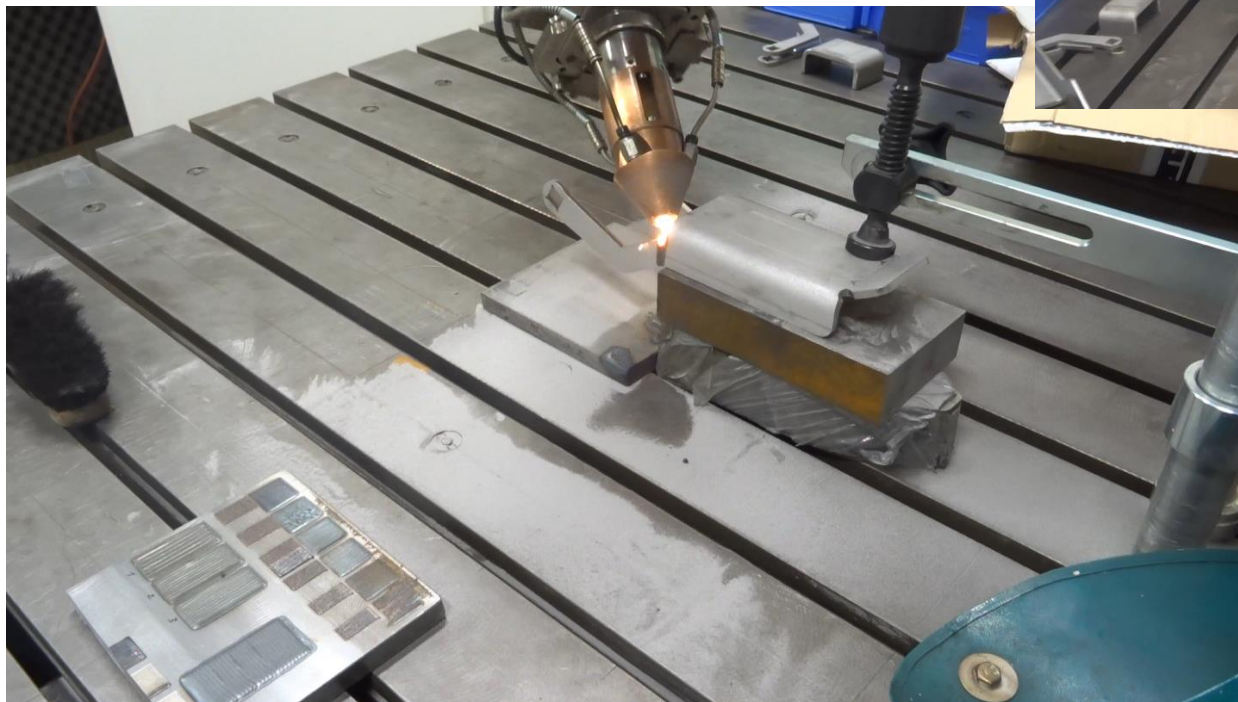
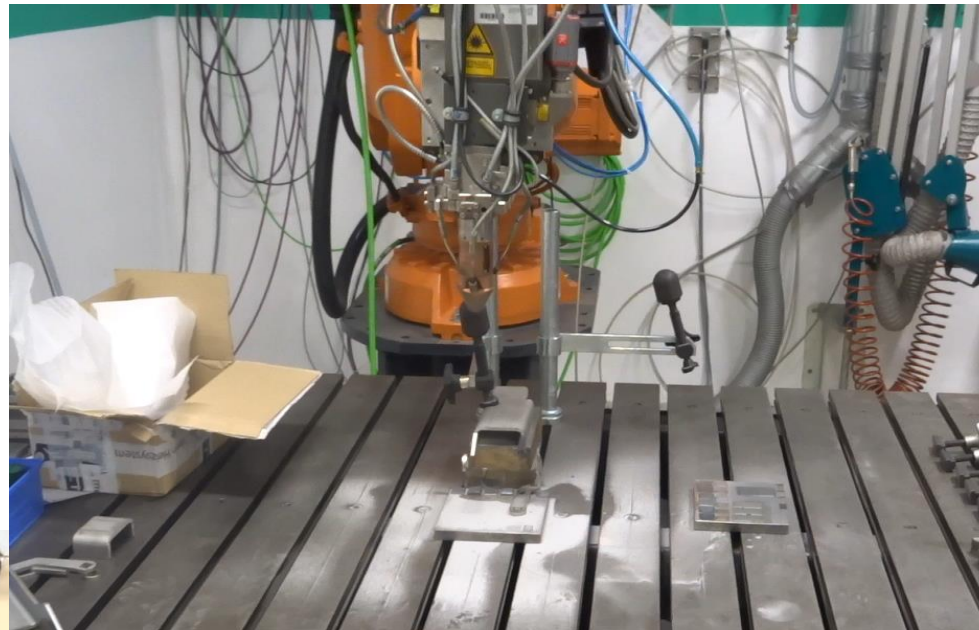


46

# Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Überfüllsicherungshebel

Showtime ...

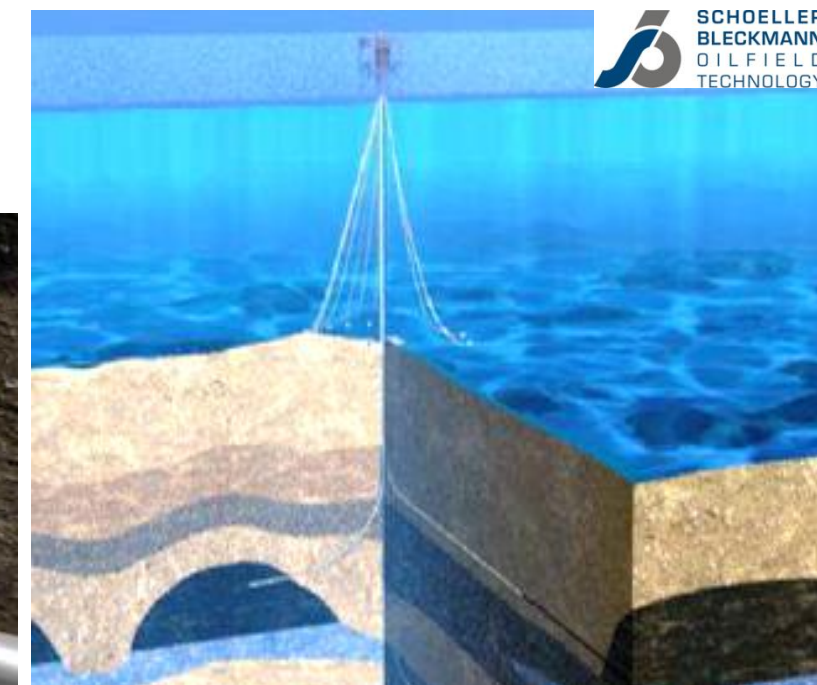
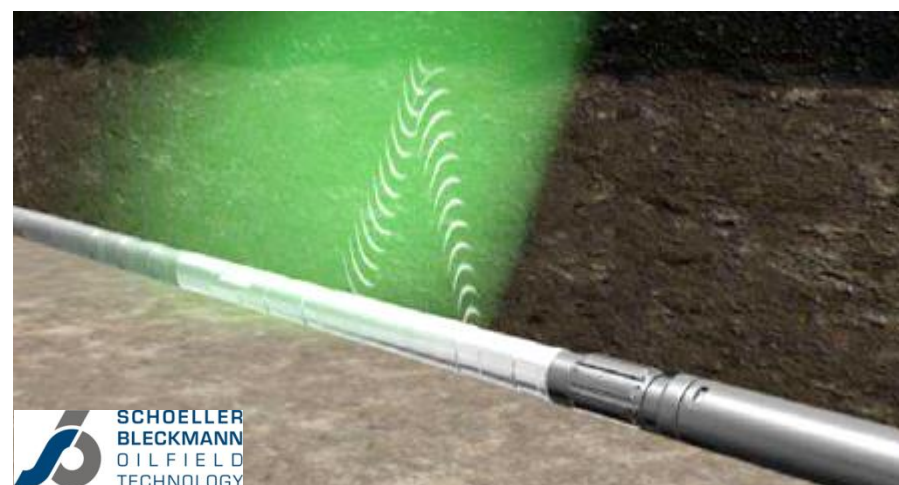


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserauftragsschweißen - Panzern von Bohrsträngen zur Ölfeldexploration

47

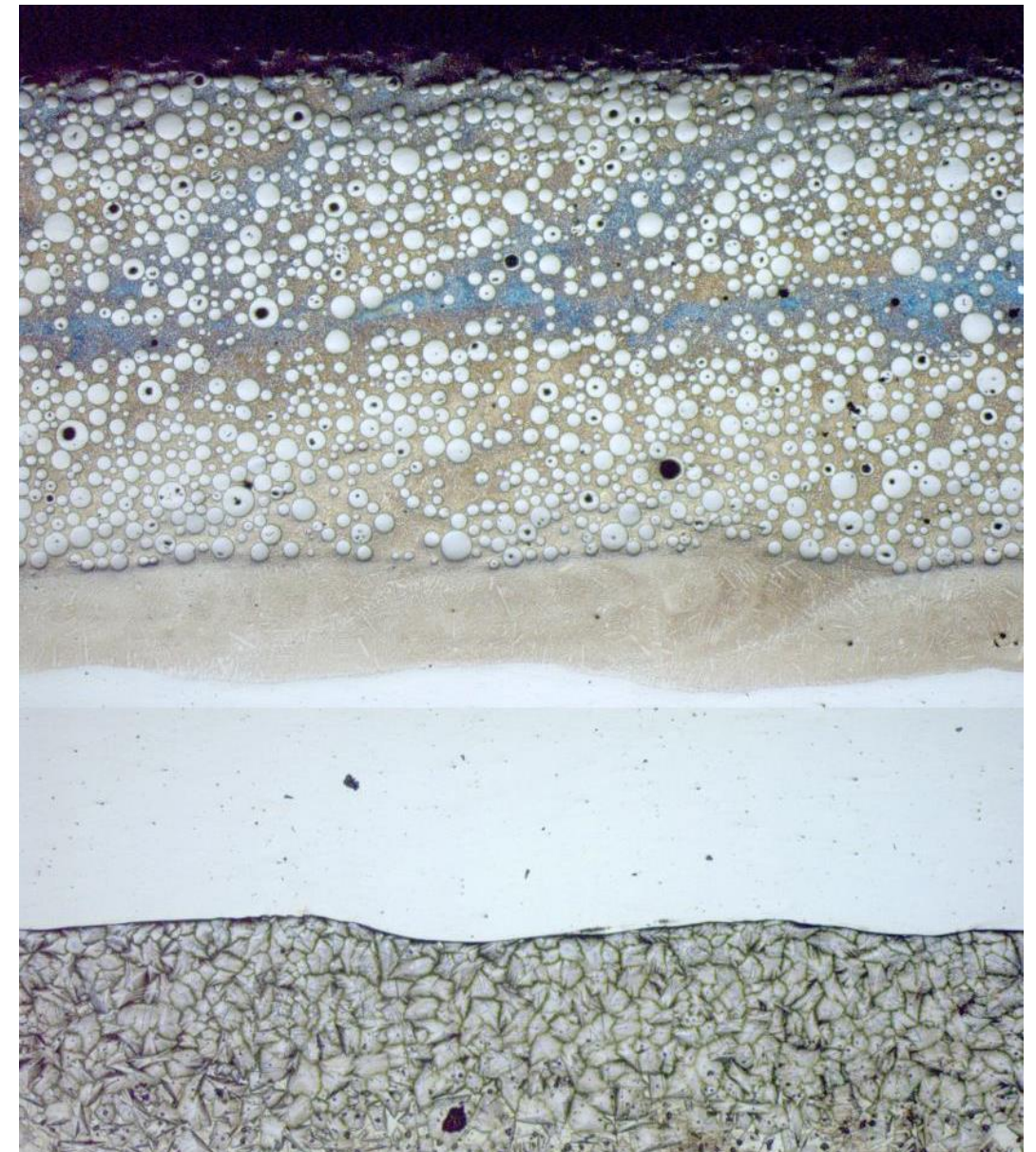
- Einsatz unter extremsten Bedingungen
- Sensible Elektronik involviert
  - Paramagnetische Legierungen mit nicht ausreichender Verschleißbeständigkeit
  - Zusätzlicher Verschleißschutz an kritischen Stellen nötig



# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## Laserauftragsschweißen - Panzern von Bohrsträngen zur Ölfeldexploration

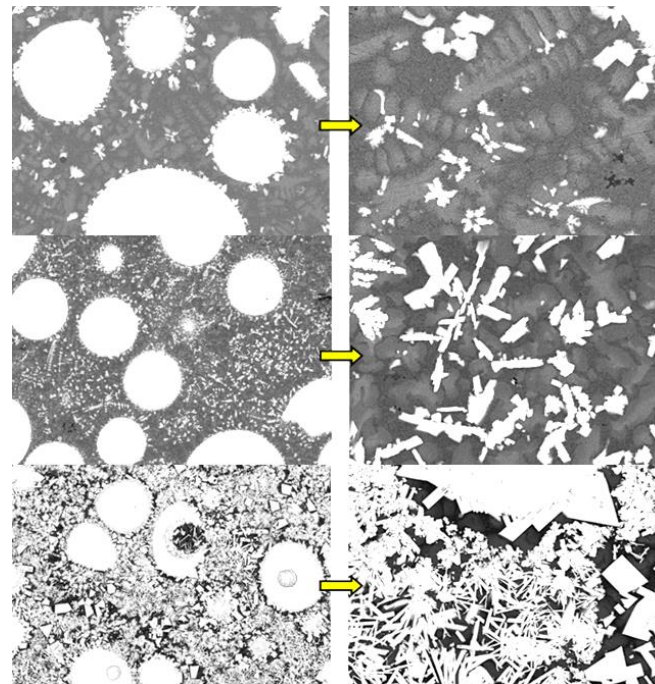
- Entwicklung eines Schichtsystems aus 4 Lagen
  - Bufferlage (C276)
  - Interface (NiCrBSi)
  - Hardfacing 1 (W2C/WC + NiCrBSi)
  - Hardfacing 2 (W2C/WC + NiCrBSi)
- Gesamtdicke =  $4.0 \pm 0.2$  mm



### ■ Kontrolle der Mikrostruktur

- Schmelzgrad der WC-Partikel über die Laserleistung gut steuerbar, wodurch auch der Härtegrad der Schicht eingestellt werden kann

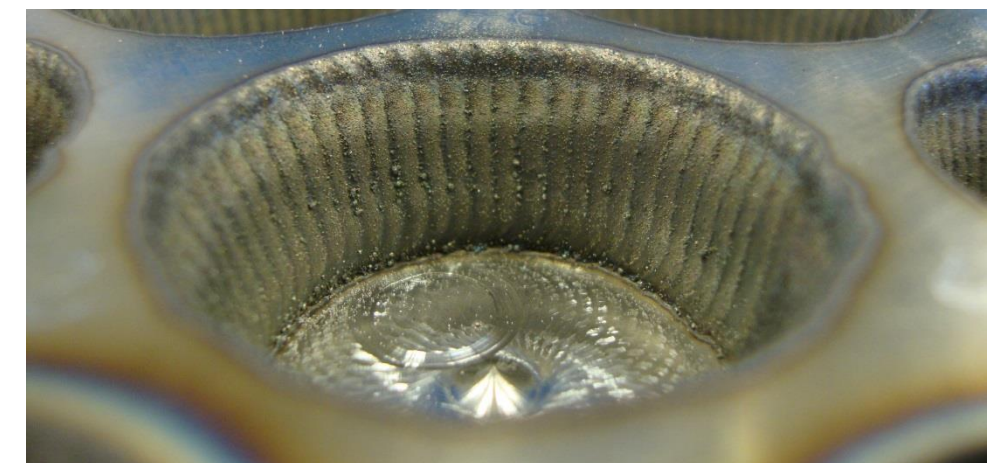
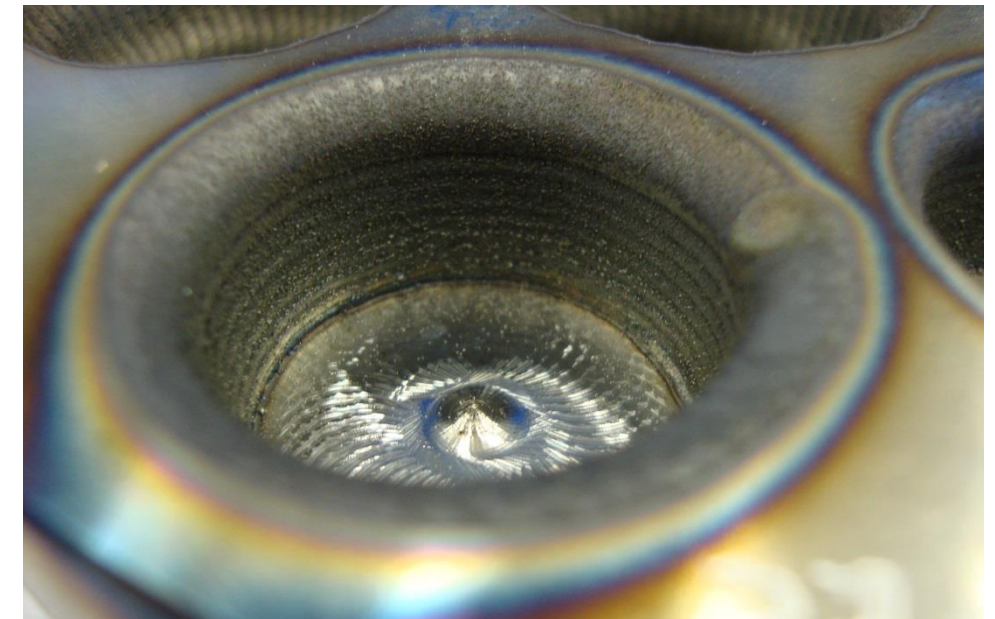
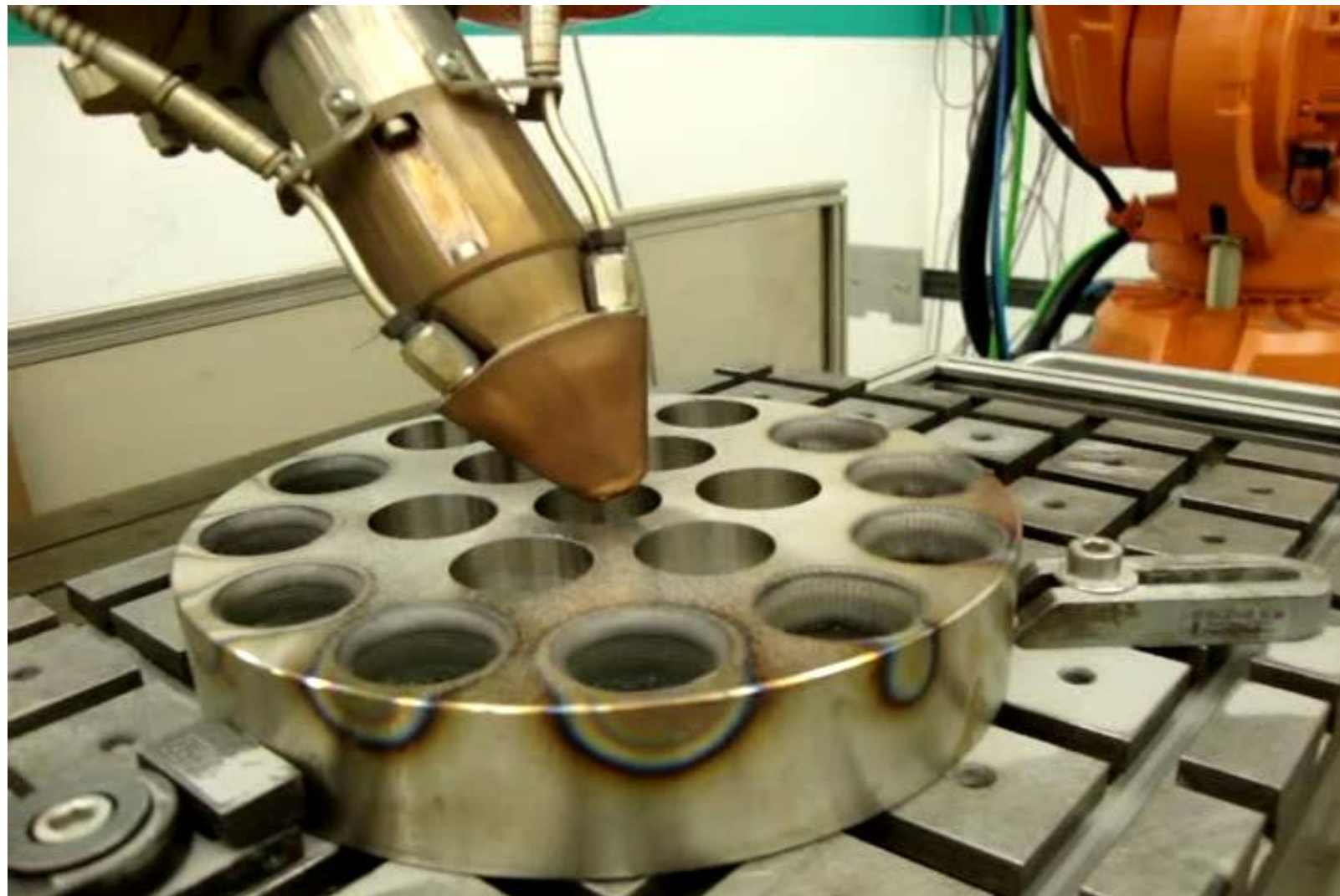
### ■ Prozessübergabe an





# ***Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)***

**Laserauftragsschweißen an der Innenseite von Bohrungen**



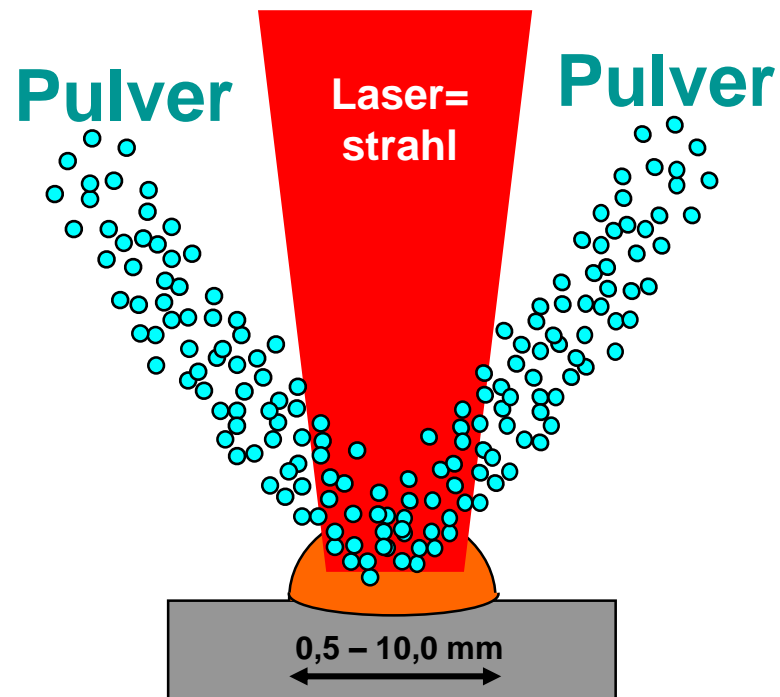
# Laserauftragsschweißen - Prinzip

## Physikalisches

- Elemente bedeuten jeweils die Hauptkomponente der Legierung

cladding base	Al	Ti	Fe (steel)	Co (stellite)	Ni	Cu
Al	Green	Green	Brown	Red	???	???
Ti	Green	Green	Red	???	???	???
Fe (steel)	Brown	Red	Green	Green	Green	Green
Co (stellite)	Red	???	Green	Green	Green	???
Ni	???	???	Green	Green	Green	Green
Cu	???	???	Green	???	Green	Green

# Laserauftragsschweißen - Anwendungsgebiete

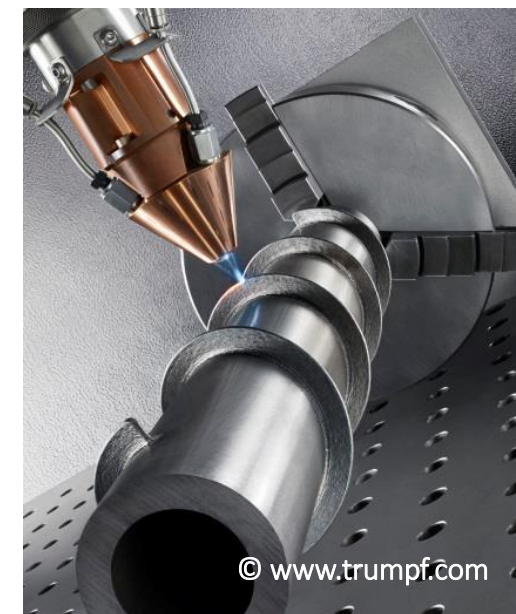


## Laserauftragsschweißen

- Schutzschichten
- Reparatur / Formänderung
- Generative Fertigung (LMD)



Reparatur



Generative Fertigung

# Laserauftragschweißen

## 2,5D - Reparatur

# ***Laserauftragsschweißen - Reparatur (2,5D)***

## **Reparatur eines verschlissenen Schmiedegesenks**

■ vorher



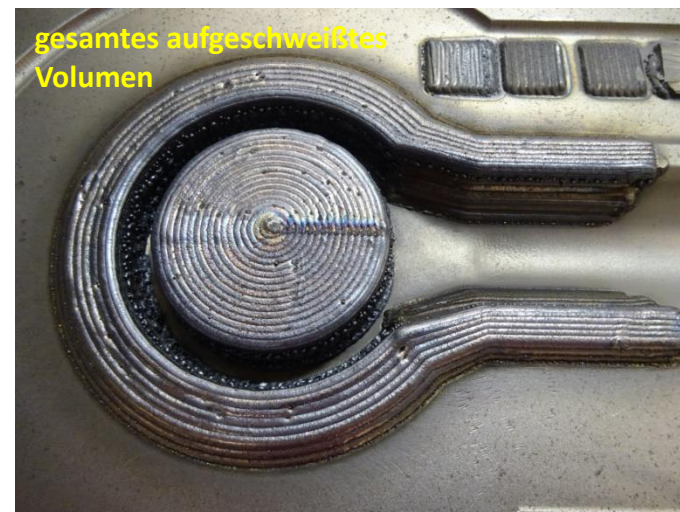
■ nachher



# Laserauftragsschweißen - Reparatur (2,5D)

## Reparatur eines verschlissenen Schmiedegesenks

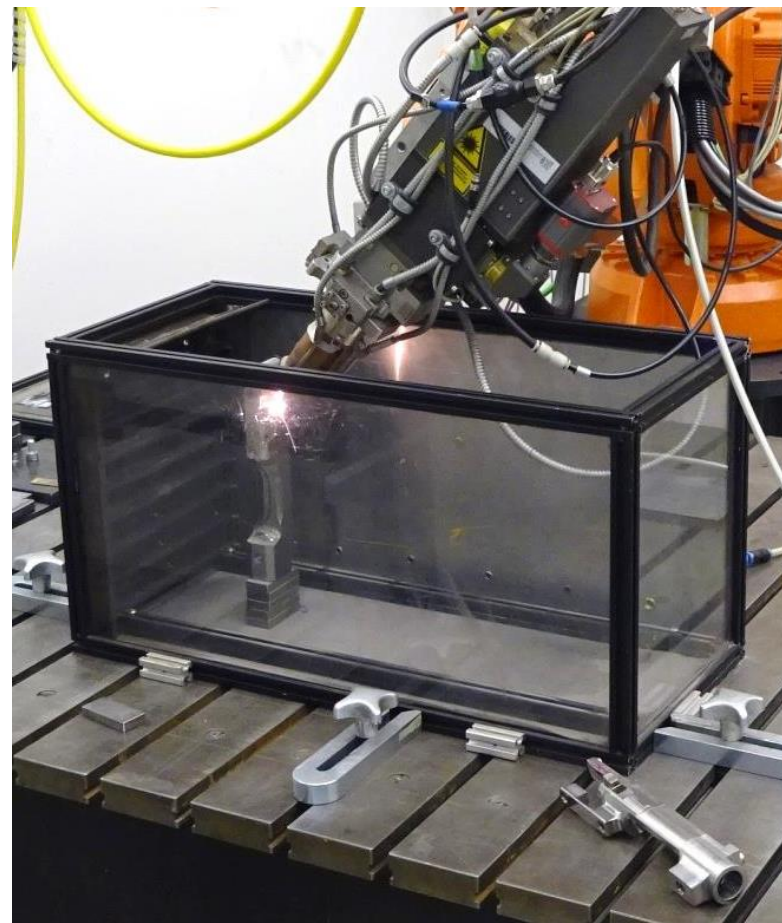
- Reparaturprozess durch abwechselndes Aufschweißen und Fräsen



# ***Laserauftragsschweißen - Reparatur (2,5D)***

## **Reparatur eines Gewehrbauteils**

- Nachträgliche Änderung der Geometrie







# Laserauftragschweißen

3D – Generative Fertigung

„L-DED“

# Additives Denken

Wer hat noch keine praktischen Erfahrungen mit Generativer Fertigung?

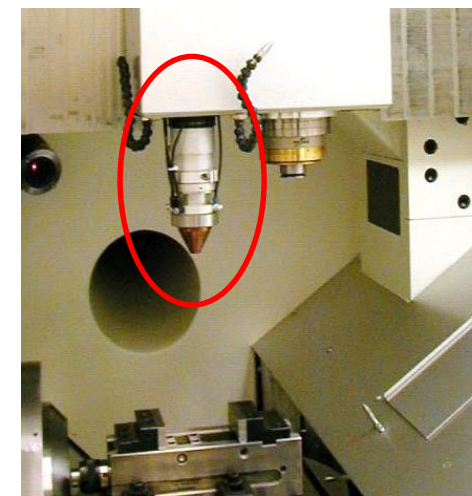
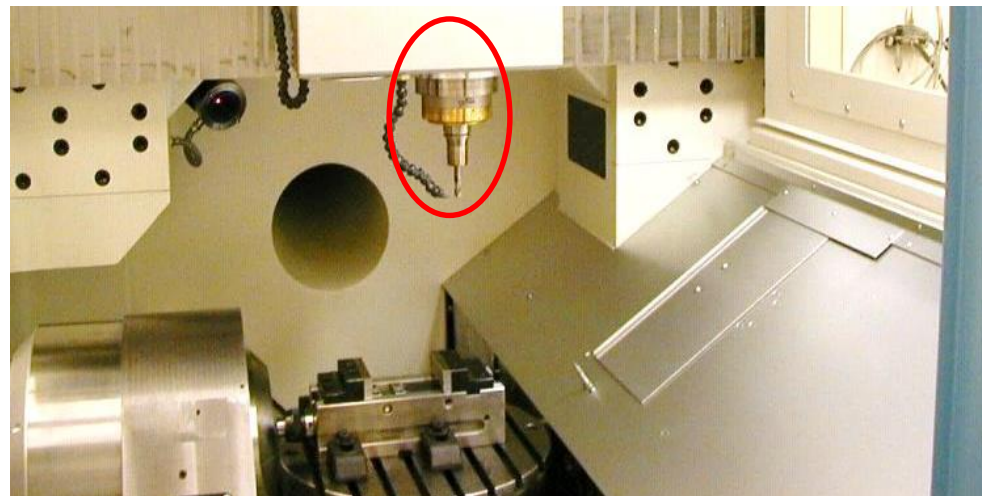
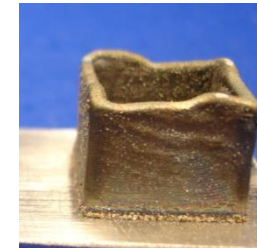


- Niemand! Wir alle dachten, planten und bauten bereits additiv!

# LMD - Generative Fertigung (3D)

## Ausgleichen unvermeidlicher Höhenunterschiede

- komplexe Programmierung
- Online-Prozesskontrolle und -Steuerung
- regelmäßiges Planfräsen
  - nur wirtschaftlich, wenn ohne Umspannen möglich



Kombinierte Laser- und Frässtation (Prototyp seit 2004)

...klingt bekannt ?

- ... gilt auch für Nachbearbeitung !

# LMD - Generative Fertigung (3D)

... 10 Jahre später:

kommerziell erhältliche  
kombinierte Laser- und  
Fräsanlage von DMG Mori  
seit 2014

LASERTEC 65 3D

Additive Manufacturing  
mit Alleinstellungsmerkmalen.



## Highlights

- + Flexibilität der generativen Fertigung kombiniert mit der Präzision der spanenden Bearbeitung
- + Laseraufbau des Werkstückes mit zwischenzeitlicher Fräsbearbeitung möglich
- + Hohe Aufbauraten mit Coaxial-Pulverdüse
- + Großer Arbeitsraum für Werkstücke bis  $\varnothing$  500 mm x 400 mm Höhe
- + Reduzierter Materialeinsatz

LASERTEC 65 3D: Generative Fertigung in Fertigteilqualität

Laserauftragschweißen mit  
integrierter Fräs-Bearbeitung.

Die einmalige Technologiekombination von Laserauftragschweißen mittels Pulverdüse und Fräsen auf der LASERTEC 65 3D ist ein **innovatives, generatives Fertigungsverfahren**, welches eine schnellere Herstellung komplexer Geometrien und individualisierter Bauteile ermöglicht. Insbesondere **große Bauteile bis  $\varnothing$  500 mm lassen sich mit dieser Hybridlösung kostengünstig herstellen**. Der flexible Wechsel zwischen Laser- und Fräsbearbeitung ermöglicht zudem die direkte Bearbeitung von Bauteilsegmenten, welche am Fertigteil später nicht mehr erreichbar sind. Bei dem Verfahren wird ein Auftragsprozess mittels Metallpulverdüse umgesetzt, der bis zu **10 x schneller ist als das Generieren im Pulverbett**. Störende Stützgeometrien sind durch das 5-achsige Auftragen nicht notwendig. **DMG MORI bietet die komplette Prozesskette**: angefangen bei der NC-Programmierung im hybriden CAD / CAM, über Technologieparameter aus einer Materialdatenbank, bis zur eigentlichen Bauteilbearbeitung, Prozessüberwachung und -dokumentation.



# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

61

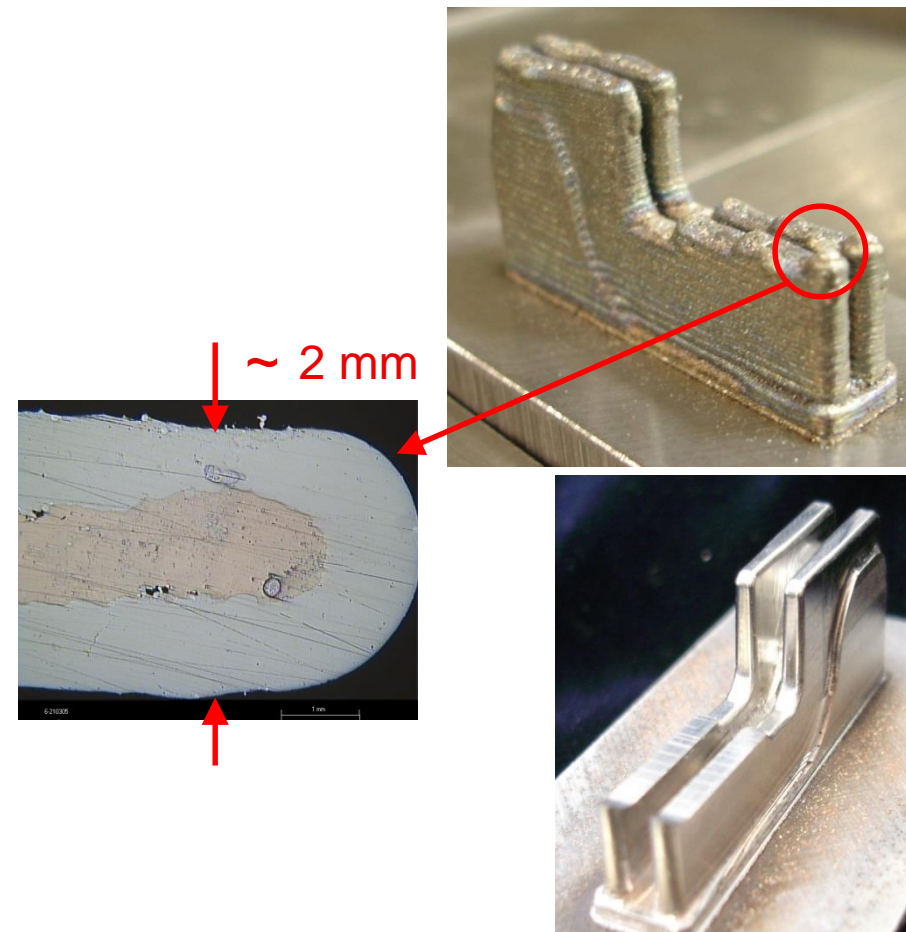
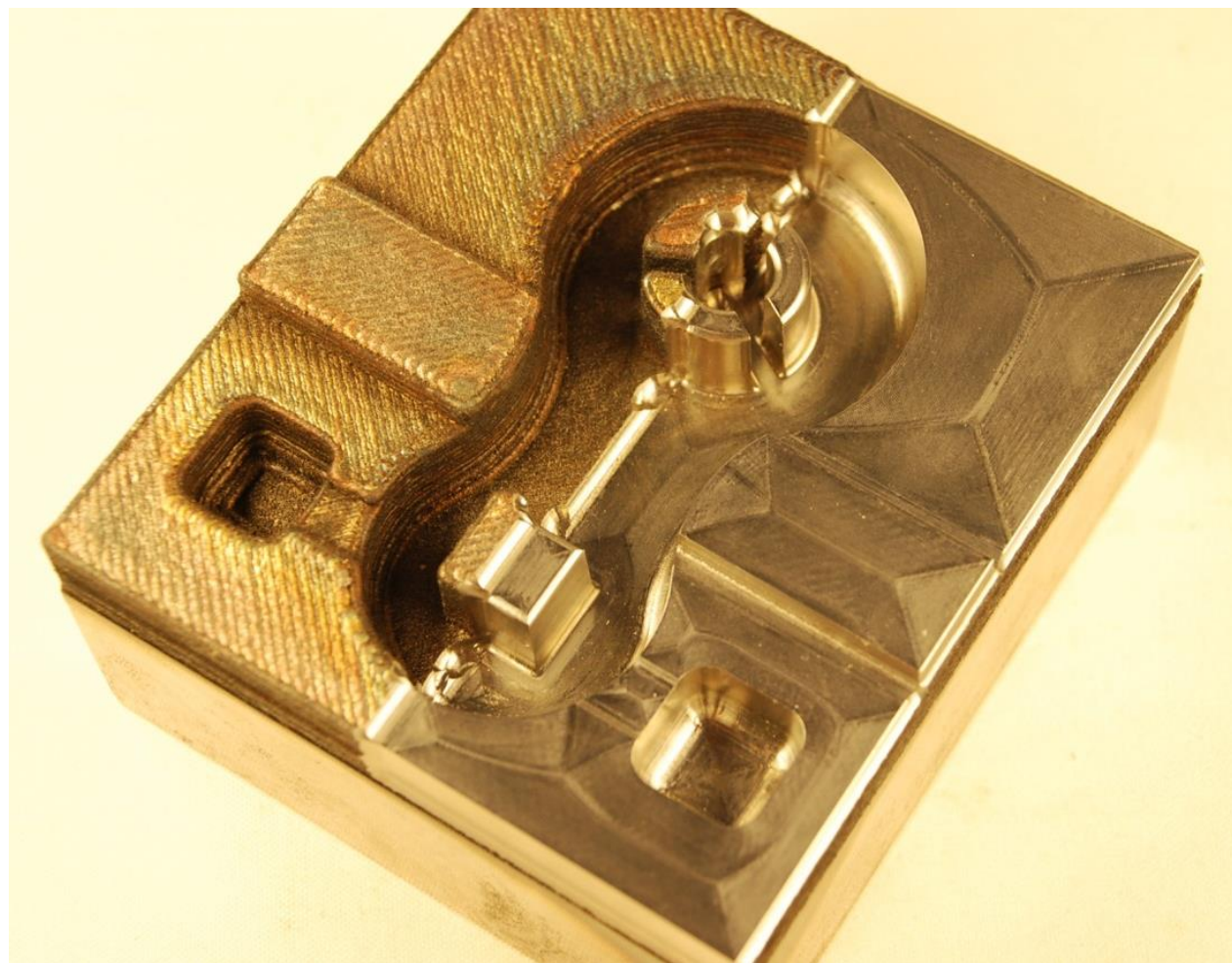
## Laserauftragsschweißen - L-DED

- Demo-Kelch (gefertigt 2006!)



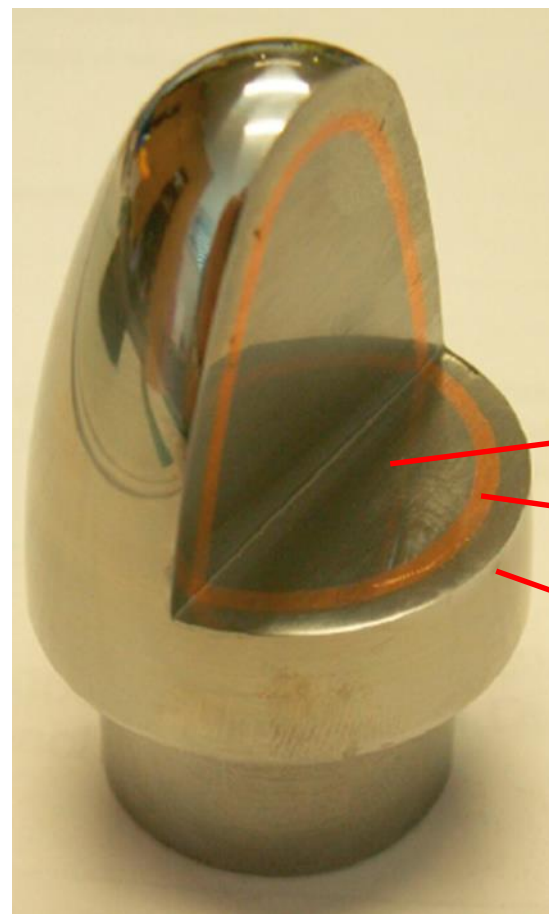
# LMD - Generative Fertigung (3D)

Komplexere Bauteile inkl. zerspanender Nachbearbeitung



## ***LMD - Generative Fertigung (3D)***

**Funktionelles Bauteil mit kostengünstigem Inneren, verschleißbeständiger Oberfläche und erhöhter Wärmeleitfähigkeit**



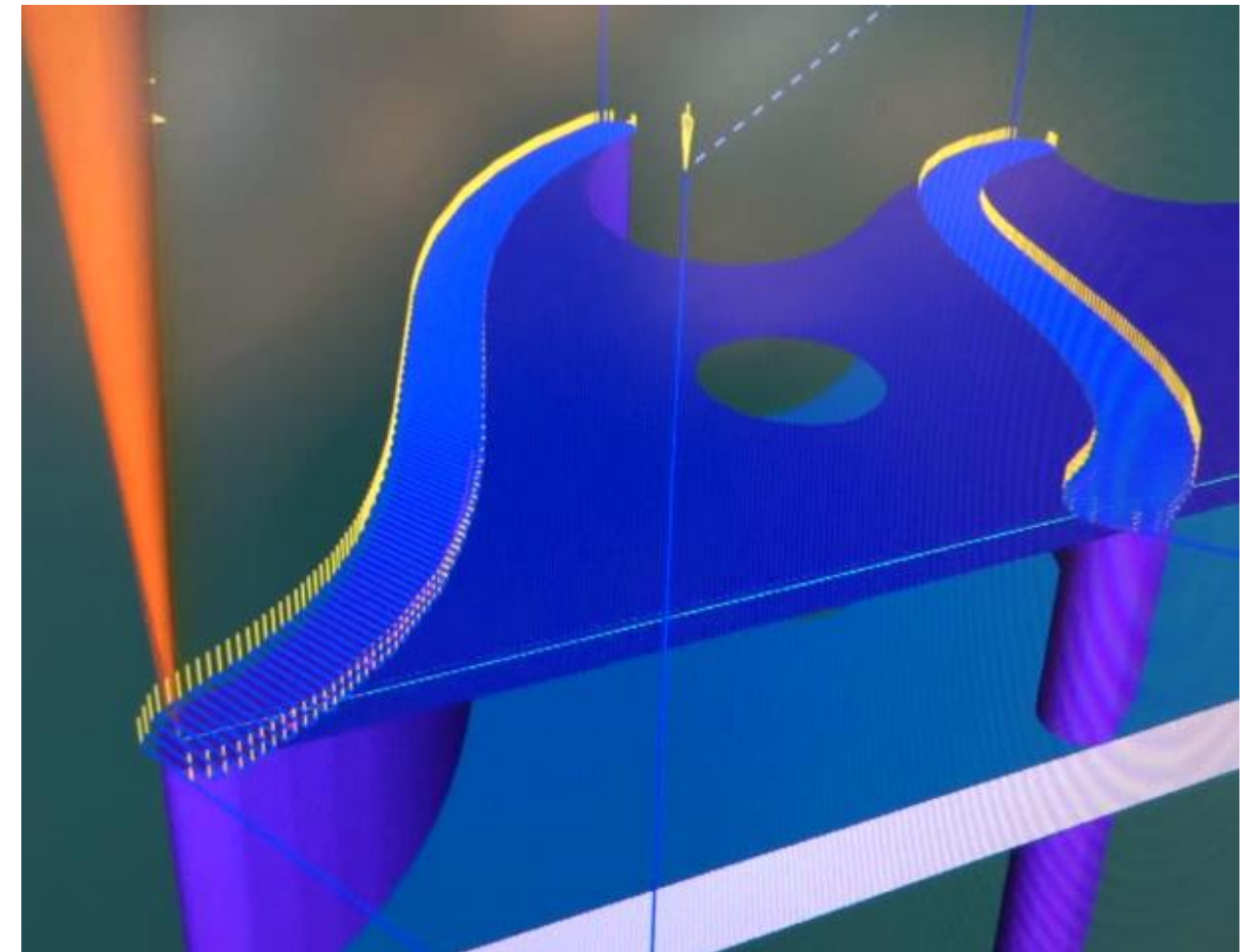
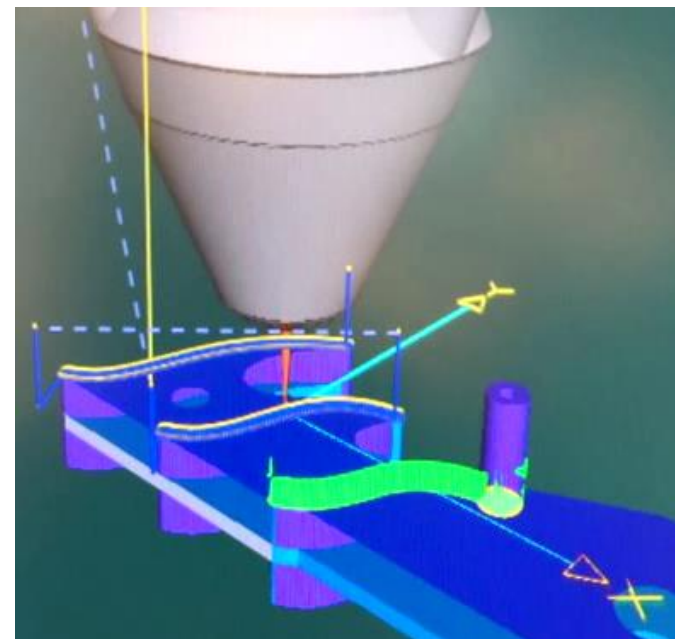
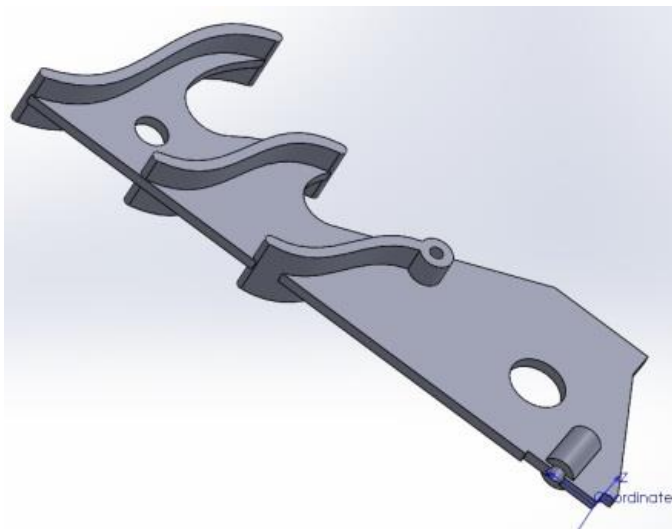
kostengünstiger Grundwerkstoff

Cu-Schicht zur besseren  
Wärmeleitung

verschleißbeständige Oberfläche

# Additive manufacturing (LMD) ...of aerospace components

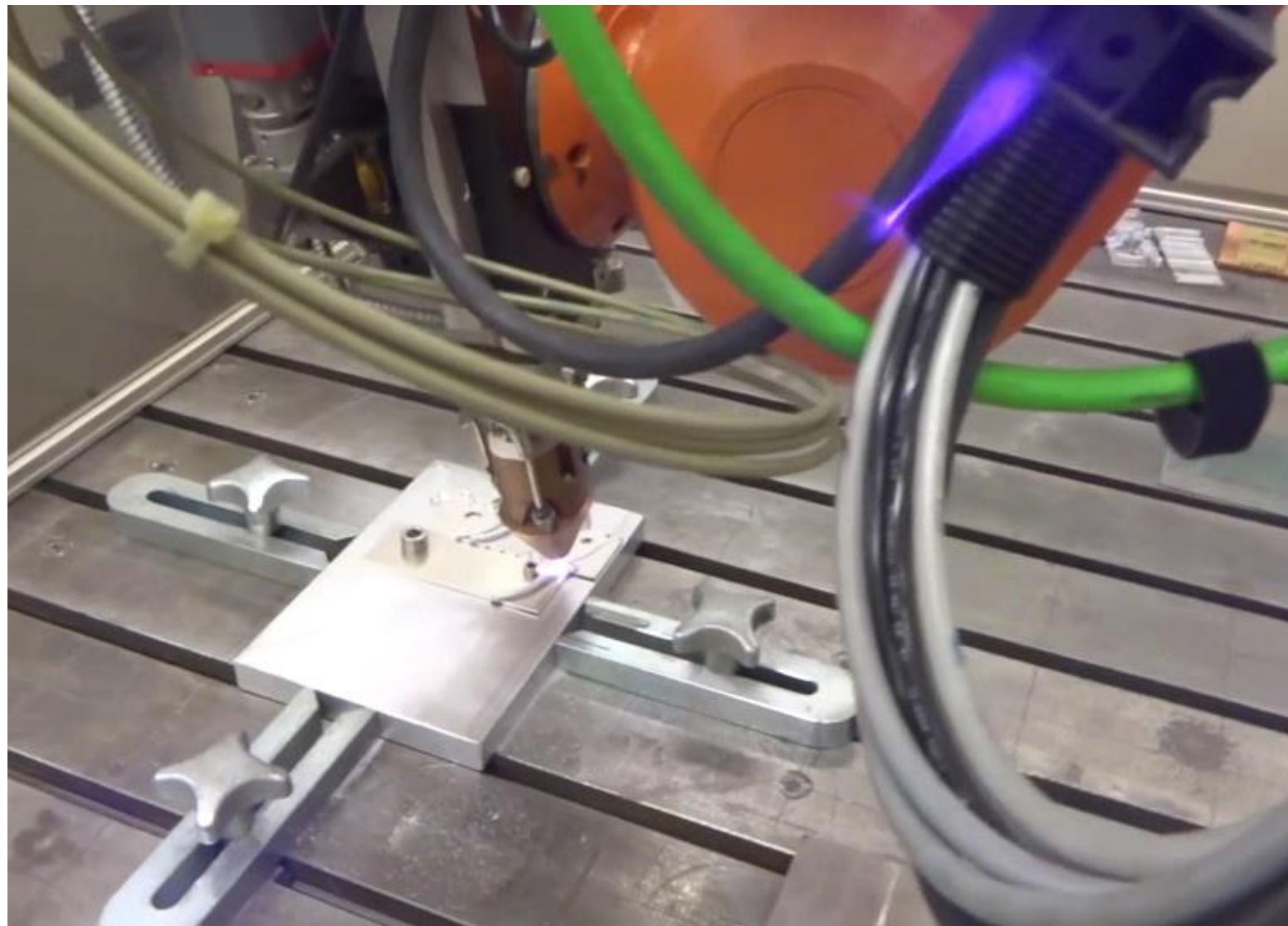
- CAD model and motion path simulation with TopLas3D





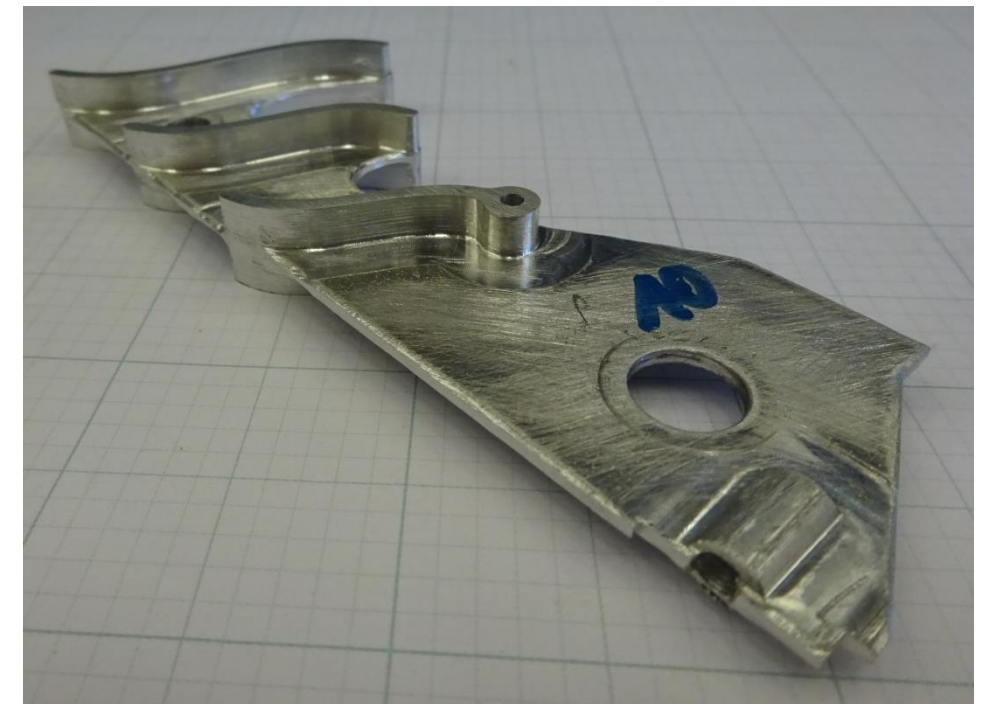
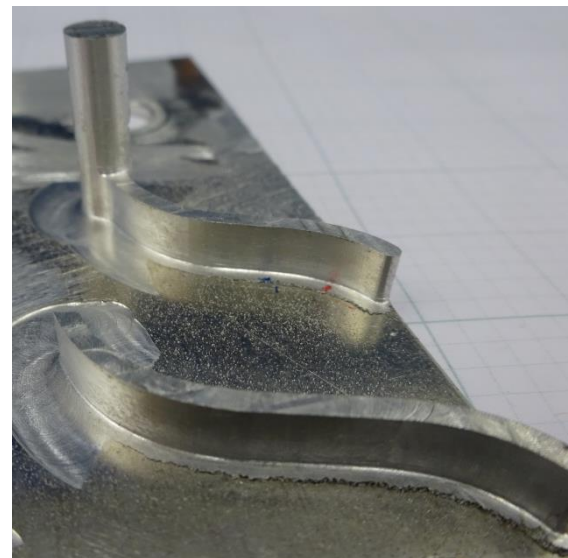
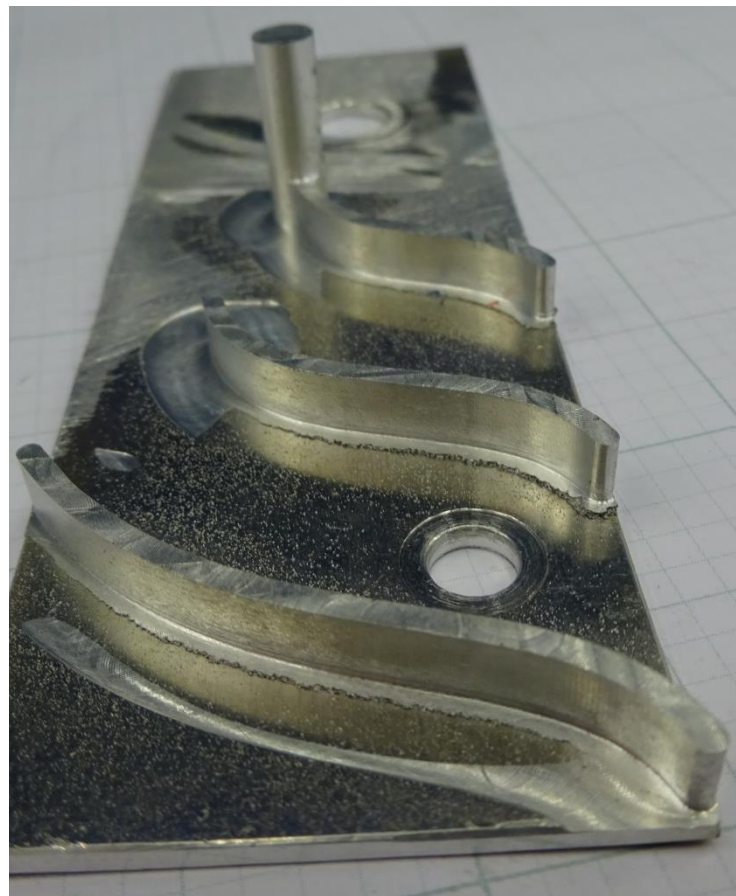
# *LMD - Generative Fertigung (3D)*

**Aufschweißprozess mit zwischenzeitlichem Planfeilen**

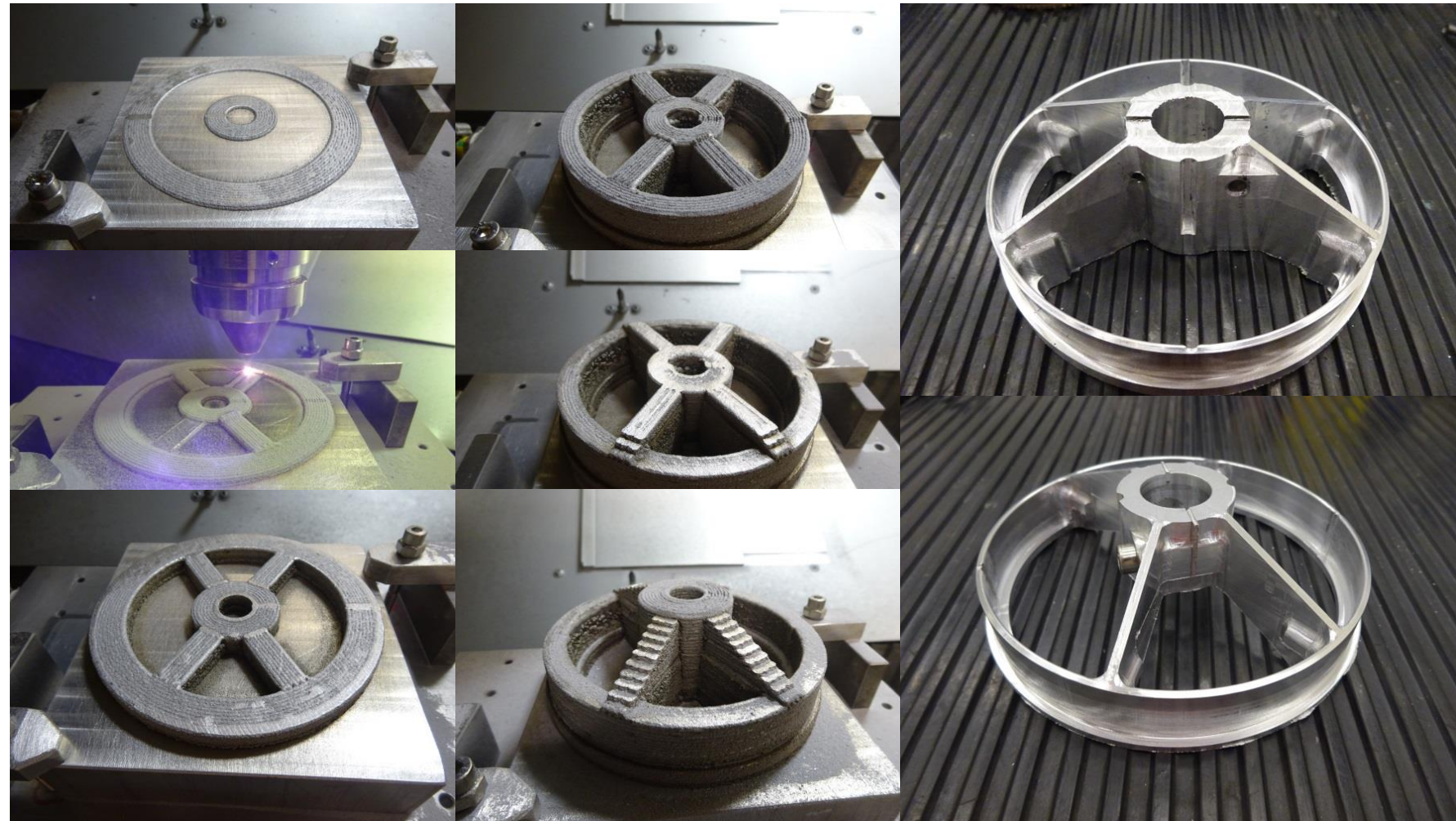


# *LMD - Generative Fertigung (3D)*

**Aufschweißprozess mit zwischenzeitlichem Planfeilen**

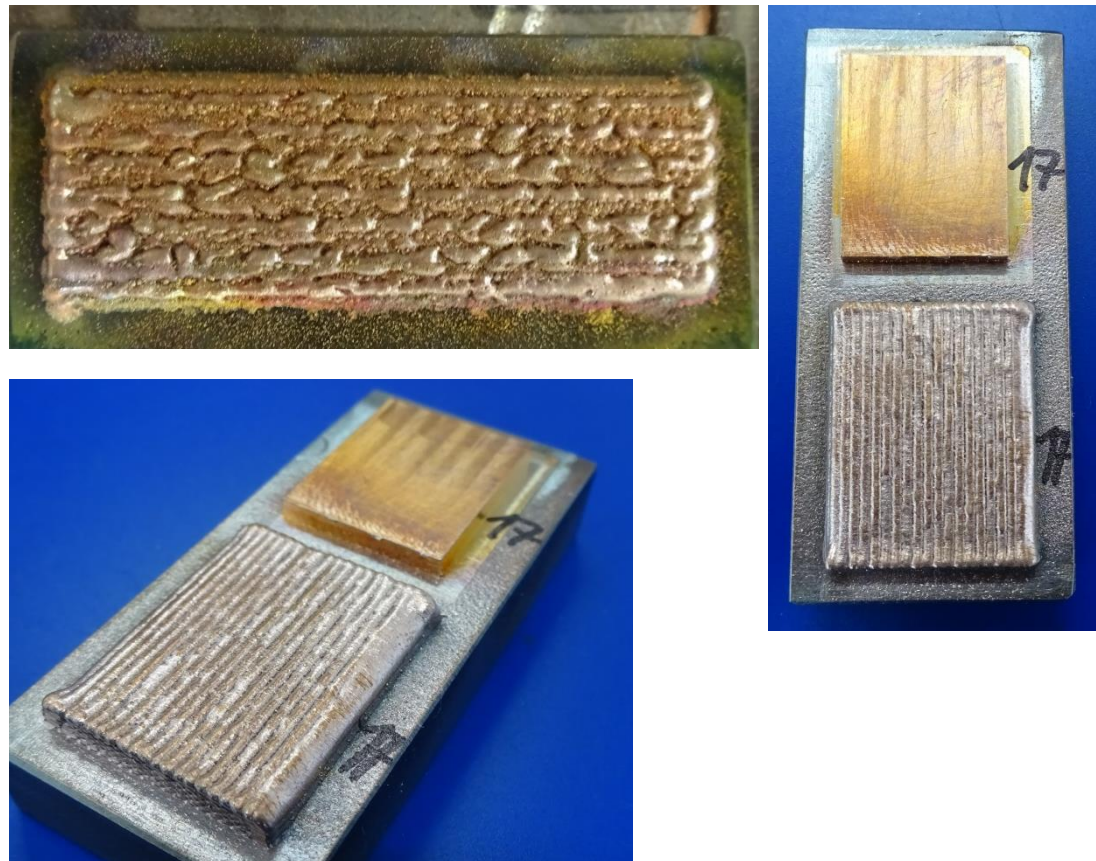


# Additive manufacturing (LMD) ...of aerospace components

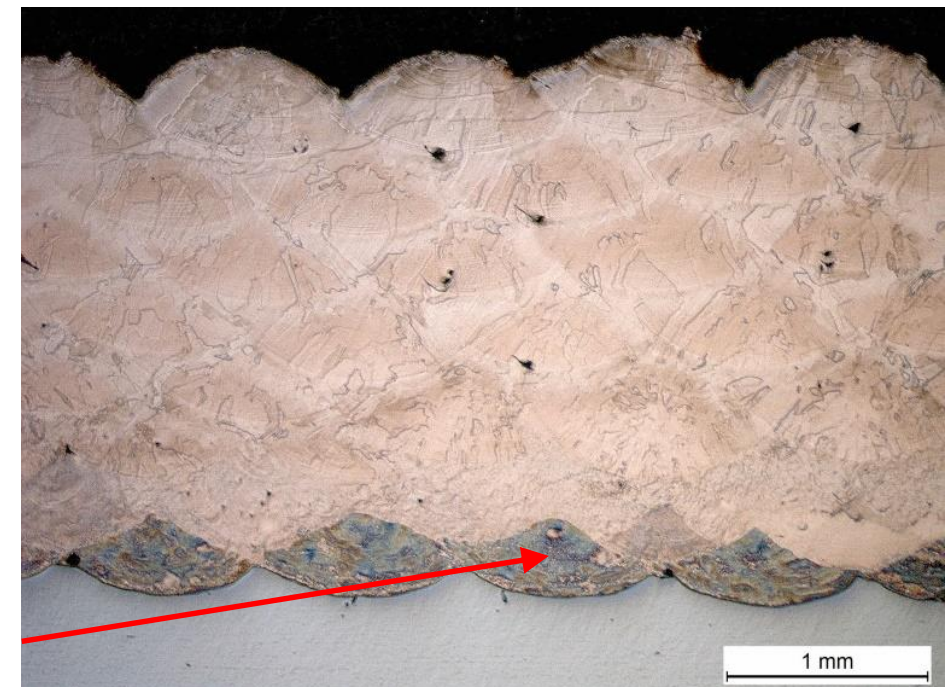


# LMD - Generative Fertigung (3D)

## Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)



Cu %	Cr %	Zr %	Fe %	Si %
bal	0,5 - 1,2	0,03 - 0,3	≤ 0,8	0,1



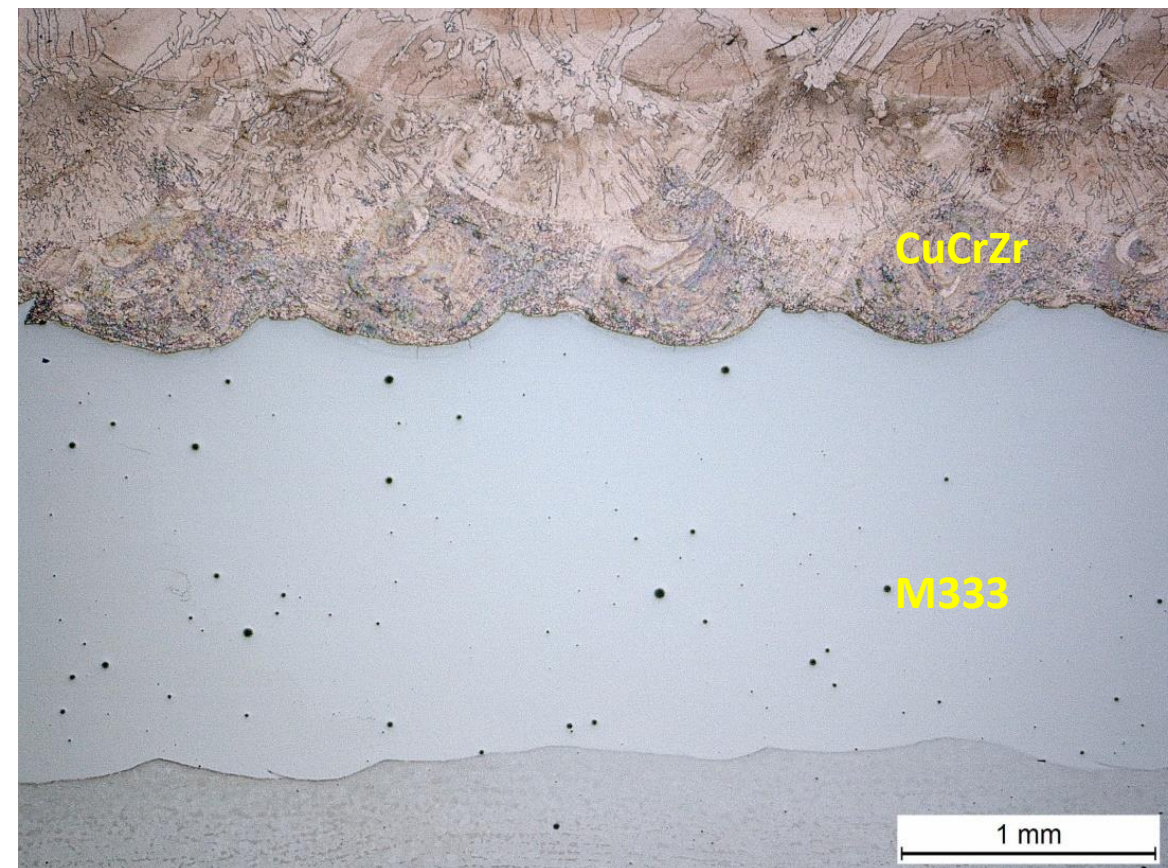
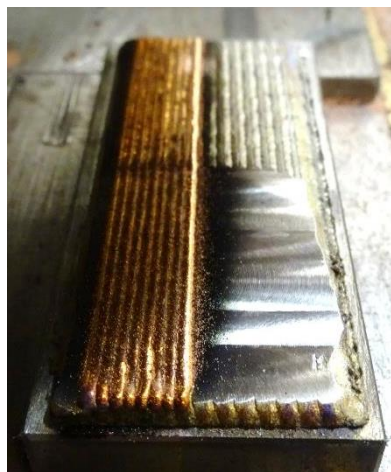
Aufmischungszone

- Parameteranpassung von Lage zu Lage, um Balling-Effekt zu vermeiden

# LMD - Generative Fertigung (3D)

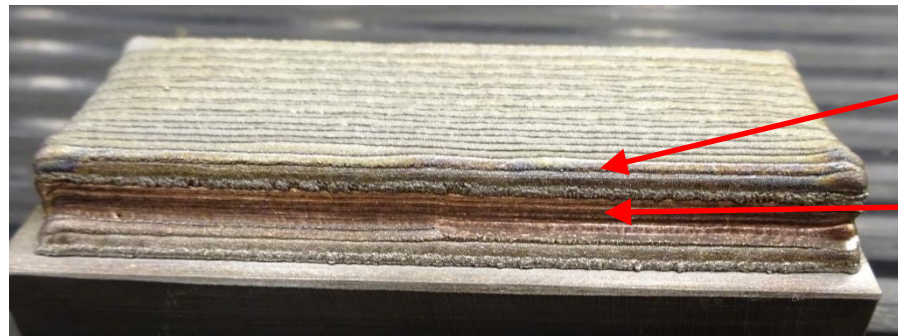
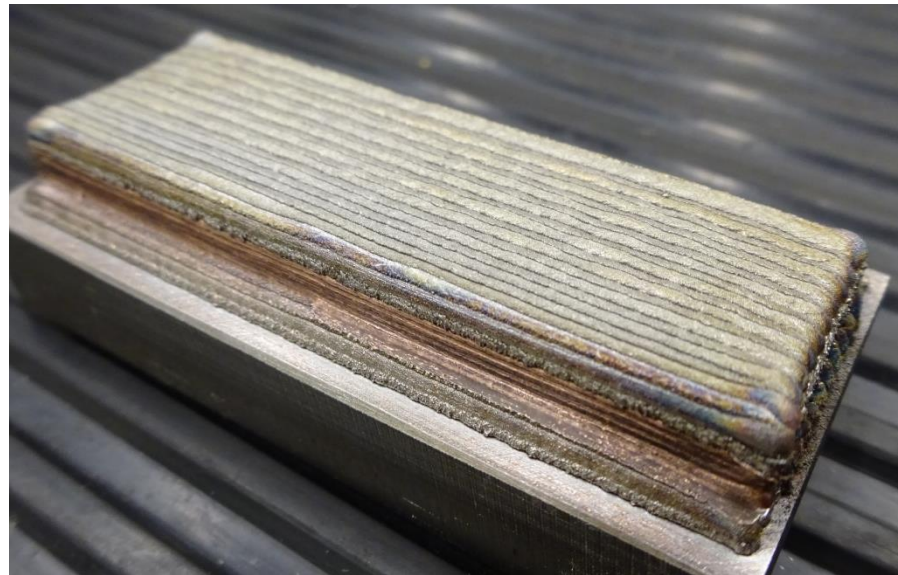
## Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)

- Sandwich aus CuCrZr und M333

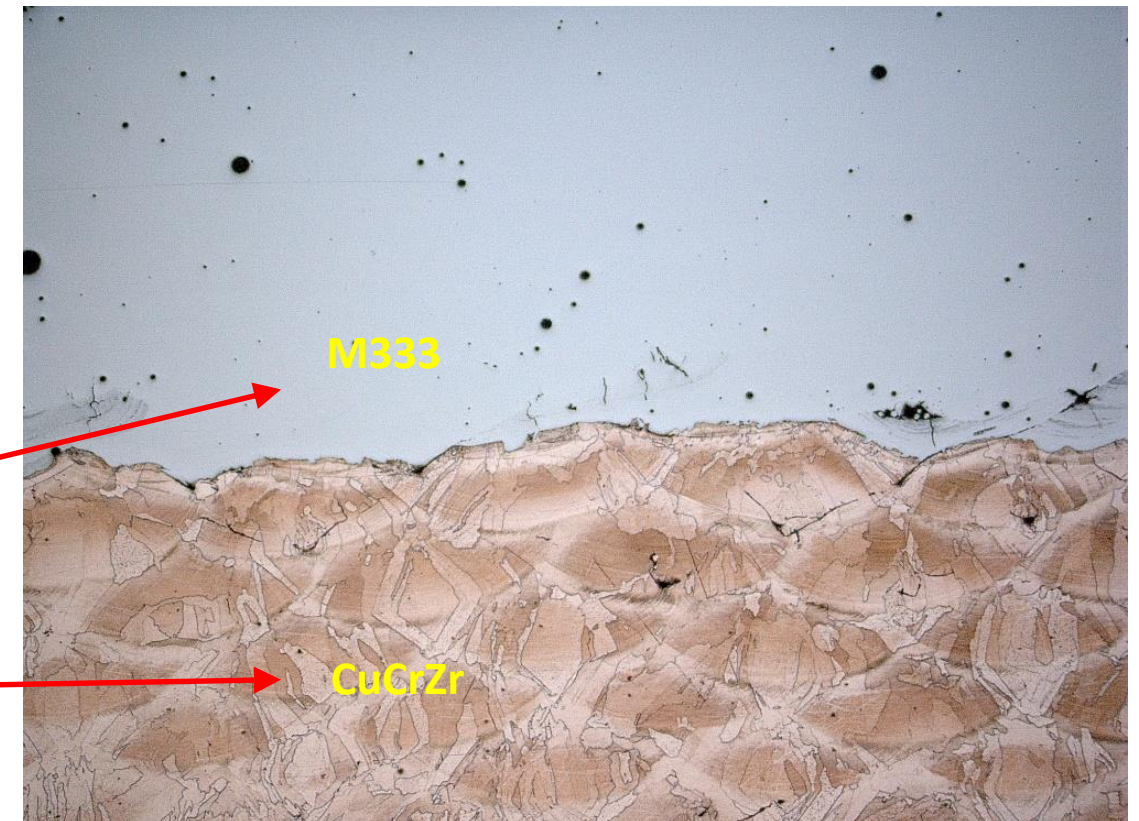


# LMD - Generative Fertigung (3D)

## Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)



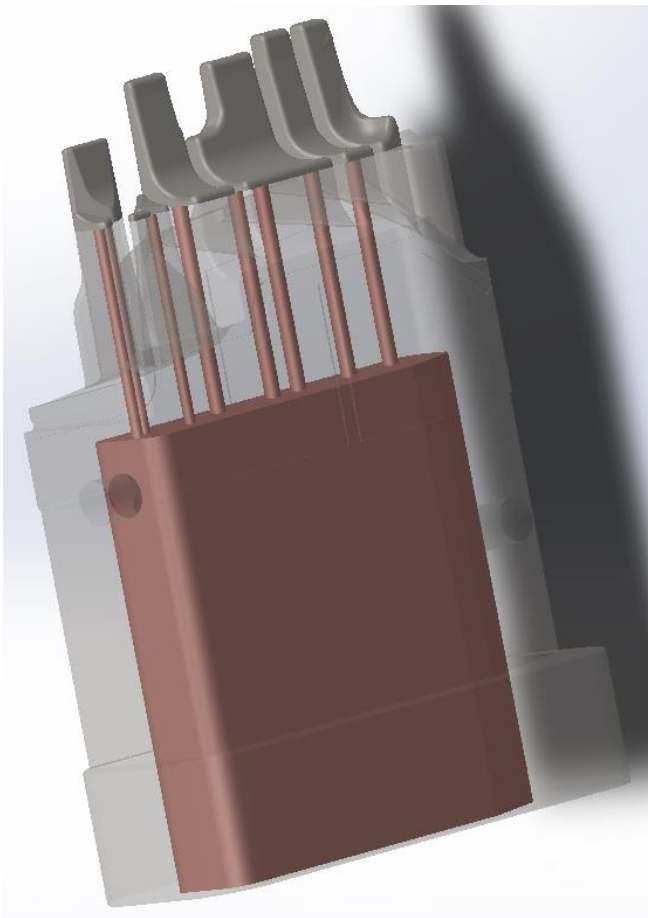
- Risse zwischen CuCrZr und M333
- ...könnte durch eine Zwischenschicht aus einer Mischung vermieden werden



# LMD - Generative Fertigung (3D)

## Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)

- Final application: partly additive manufacturing of a plastic injection mould



- $\varnothing$  10 mm -> 17,4 l/min
- Heat transfer coefficient:  
konstant 15.000 W/m<sup>2</sup>K
- Material
  - > Shell: Böhler M333 (21 - 25 W/(m·K))
  - > Core: CuCr1Zr (310 - 336 W/(m·K))

# LMD - Generative Fertigung (3D)

## Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)

- Vorexperiment – Aufschweißung von Stahl
- Gibt es einen Parametersatz, der sowohl auf Cu als auch auf Stahl geeignet ist ?
- ...nein, wegen der stark unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit!



Cu:  $\lambda = 401 \text{ W / m}\cdot\text{K}$

keine ausreichende Anbindung an Grundmaterial (Cu)



Steel:  $\lambda \approx 50 \text{ W / m}\cdot\text{K}$

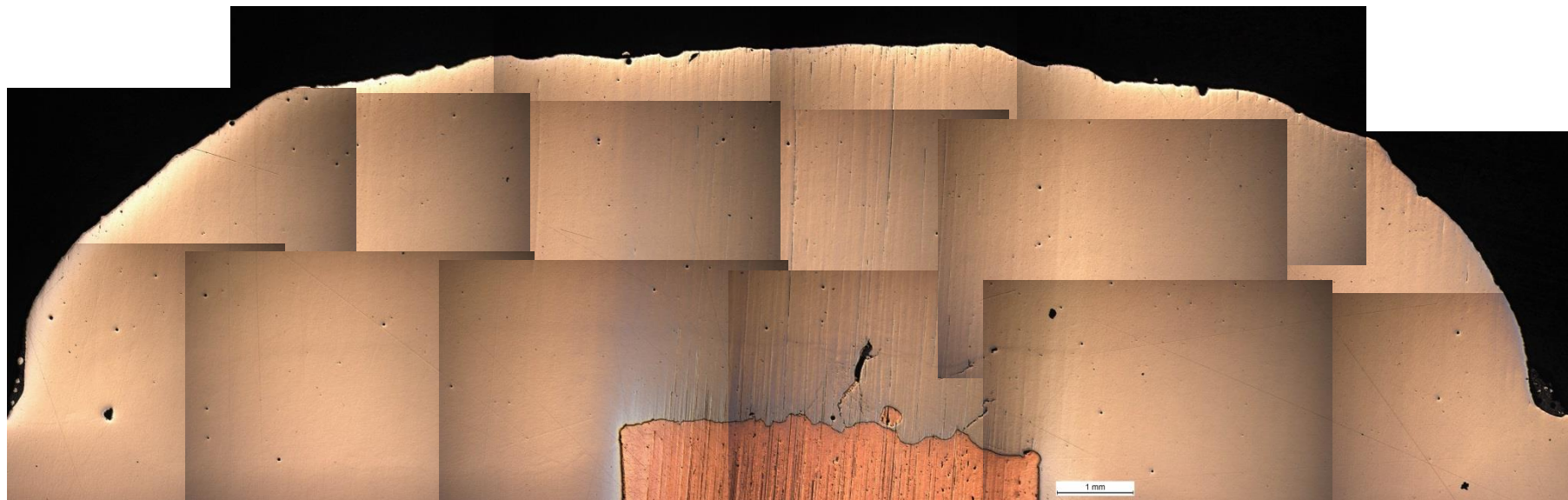
fast schon Plasmazündung auf Stahl



# *LMD - Generative Fertigung (3D)*

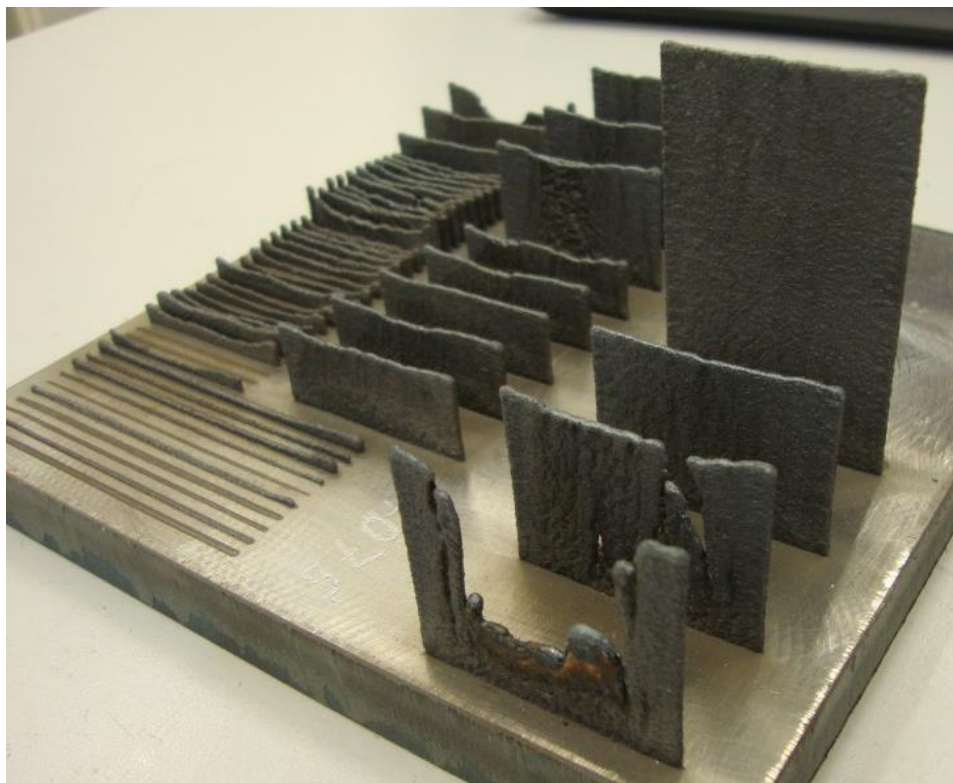
## Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)

- Aber es funktioniert, wenn nur eine kleine Cu-Fläche als Grundmaterial vorliegt ...

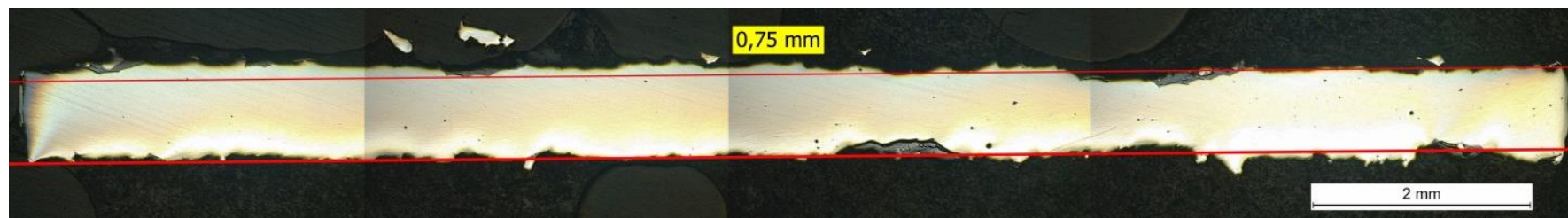


# *LMD - Generative Fertigung (3D)*

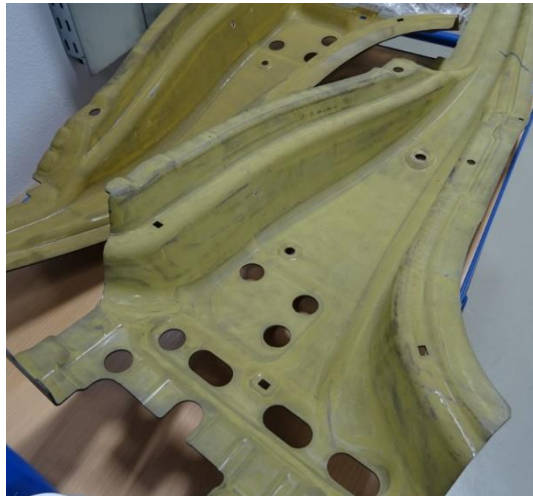
## Feine Strukturen (z.B. dünne Wände)



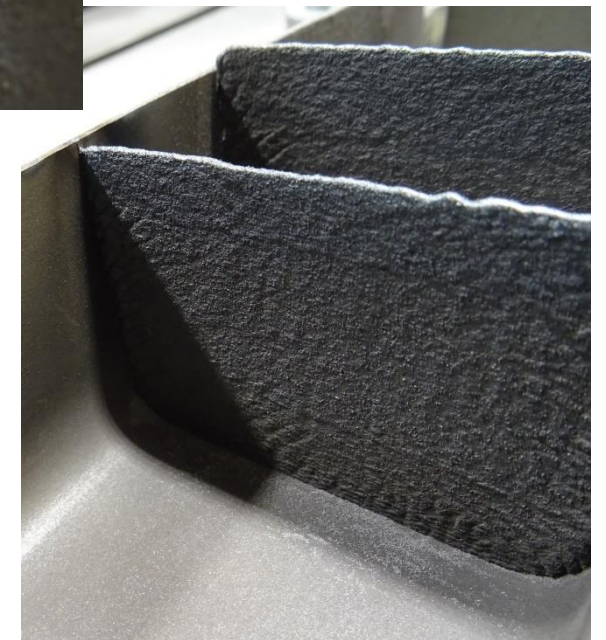
Selbstverständlich müssen hier die Parameter (vor allem die Leistung) in Abhängigkeit vom Baufortschritt angepasst werden, um einen Wärmestau zu verhindern...



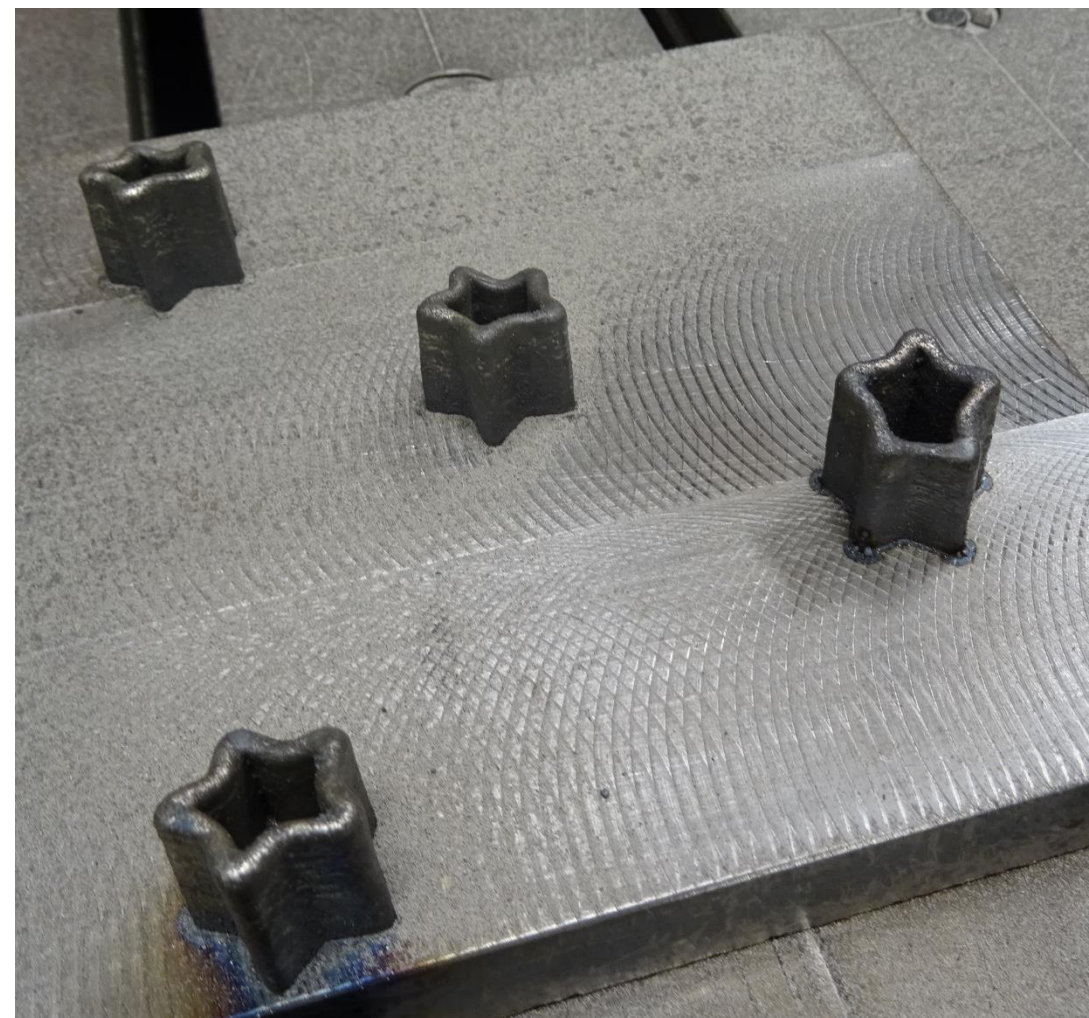
## *Reinforcement struts in B-pillars*



- $P = 200 \text{ W}$
- $\varnothing = 160 \text{ }\mu\text{m}$



76 *Fertigung einer simplen Geometrie*



# L-DED

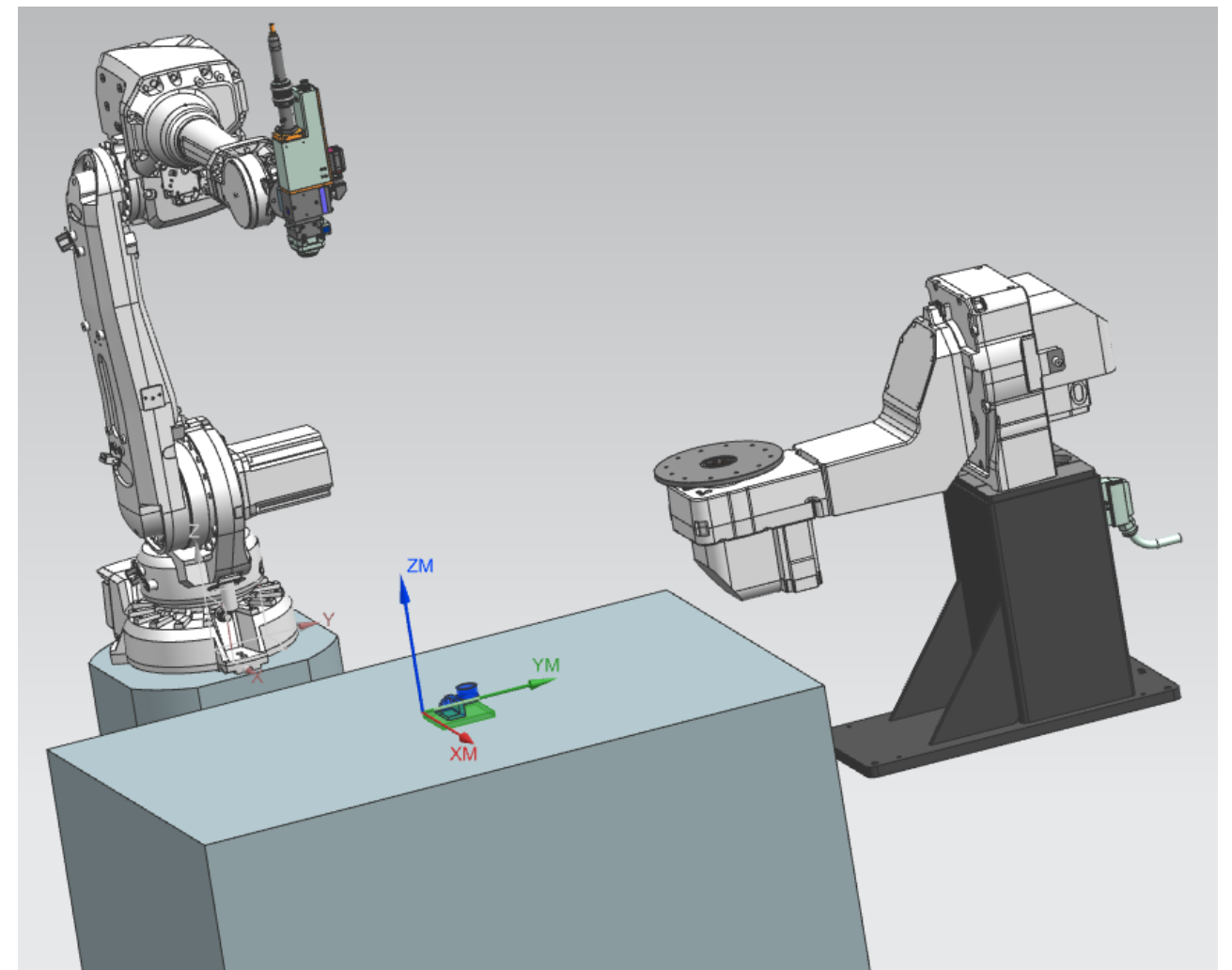
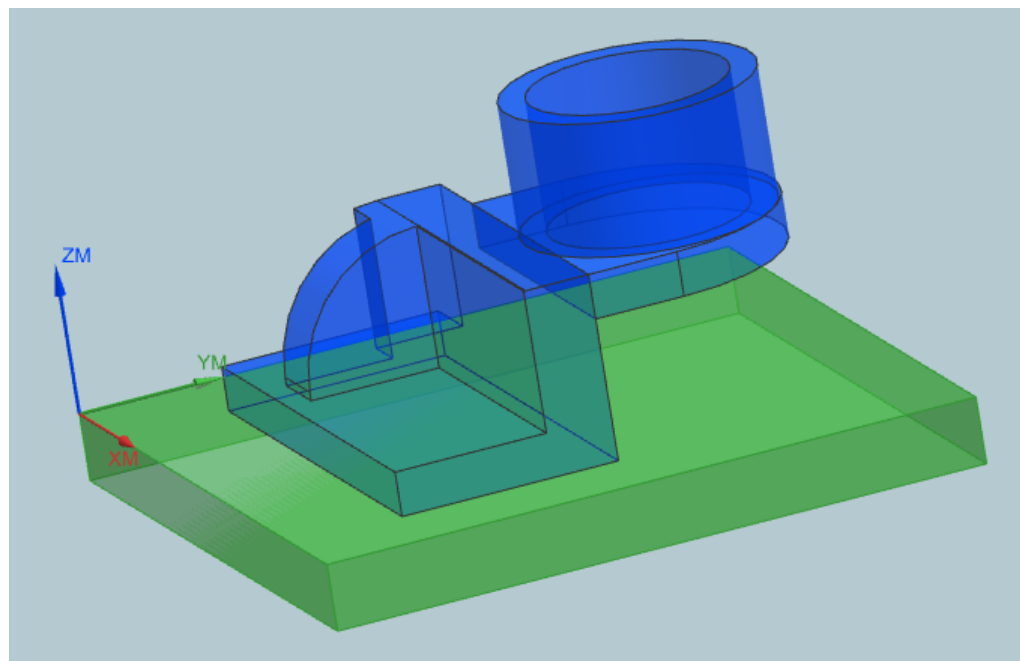
## Bahnplanung & Simulation

## Siemens NX

# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Siemens NX: Additive manufacturing add-on

- Import der CAD-Daten
- Anlage in Software hinterlegt



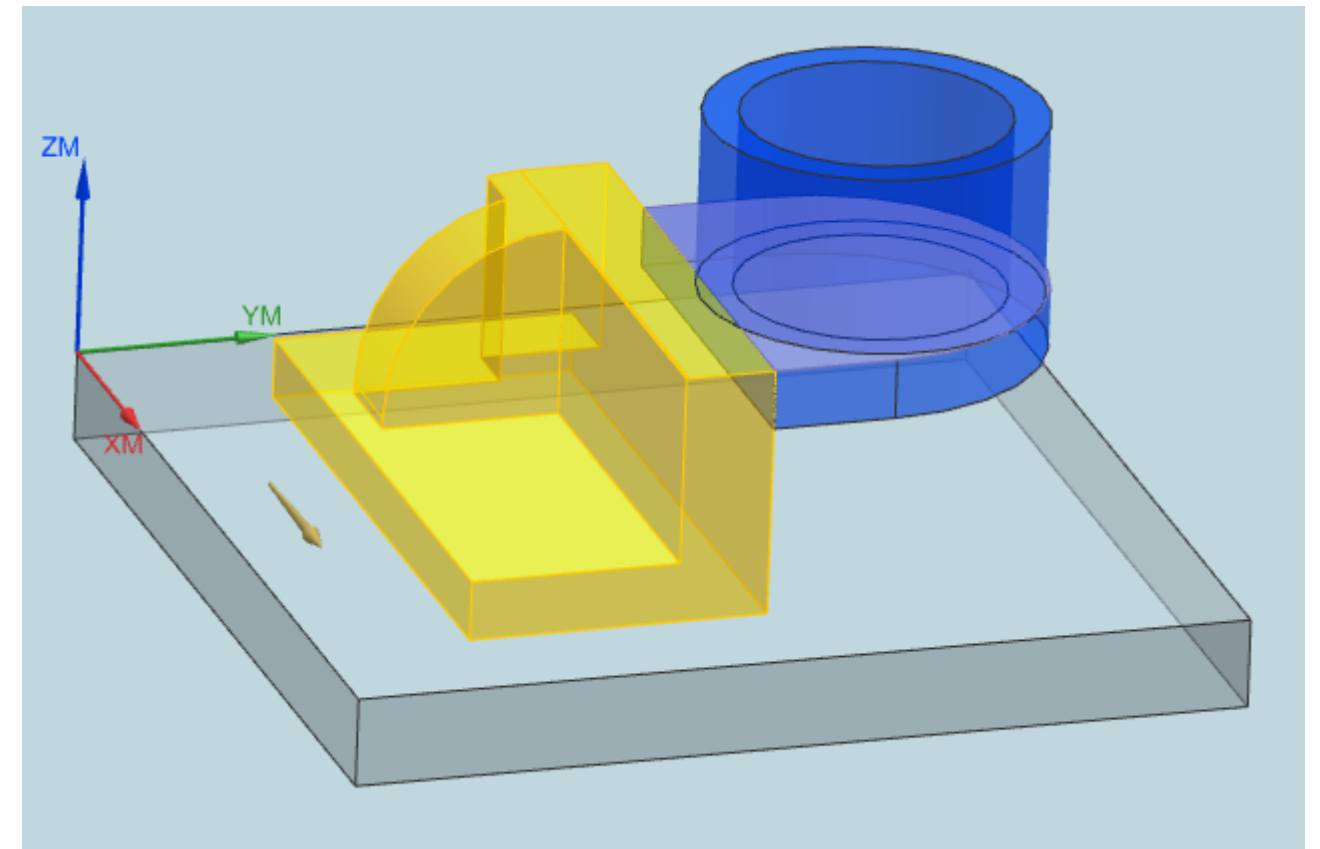
# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Siemens NX: Additive manufacturing add-on

### Operationsuntertyp



- Grobauswahl der Schweißstrategie
- Definition von Grundmaterial und Bauvolumen



# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Erzeugung der Bahn

Planar Additive Profile Zigzag Infill - [PLA...]

Additive Geometrie

Geometrie: PLÄTTCHEN

AM-Formelement festlegen

Basisfläche festlegen

Laser und Pulverzufuhr

Schnitt- und Ausgabeachsen

Schnittachse: Vektor angeben

✓ Vektor angeben

Werkzeugachseinstellung: Senkrecht zur Ebene

Achse auf Boden: Schnittachse

Wegeinstellungen

Methode: NONE

Leistungsstufen

Schnitt und Muster

Schichthöhe: 1.0000 mm

Wegüberhang: 2.0000 mm

Max. Zustellun: 2.0000 mm

Minimale Zustellun: 2.0000 mm

Muster: Nur Infills

Bereichsanordnung: Optimieren

Vorschub für kurze Bewegungen

Max. Eilgangsweg: 150.0000 %Wkz-

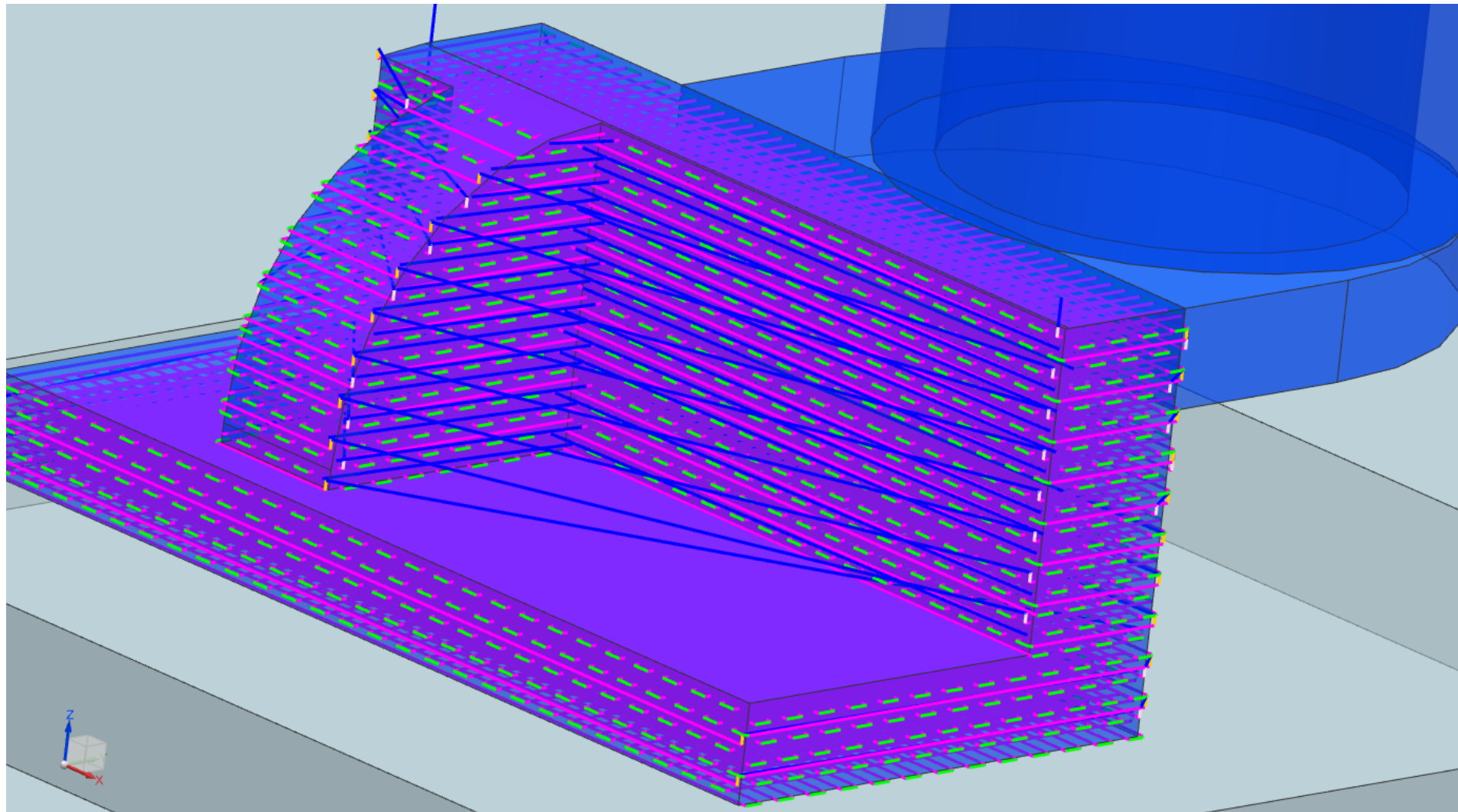
Auswahl von:

- Laserparameter (Leistung, Fokussierung, ...)
- Verfahrensgeschwindigkeit
- Pulverfördertrate
- Schichtdicke
- Schnittrichtung
- Spurabstand
- Überhang
- An- und Abfahrwege
- ...



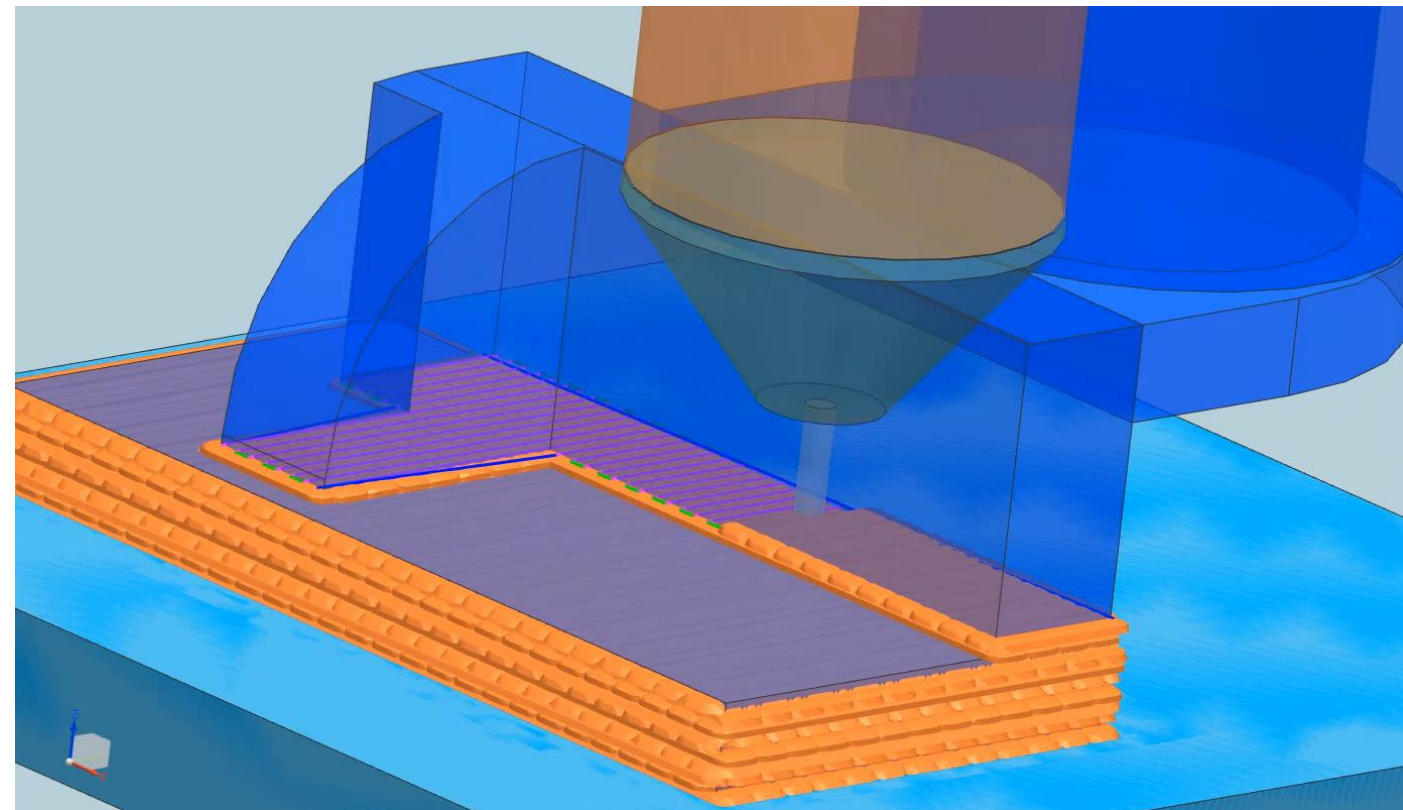
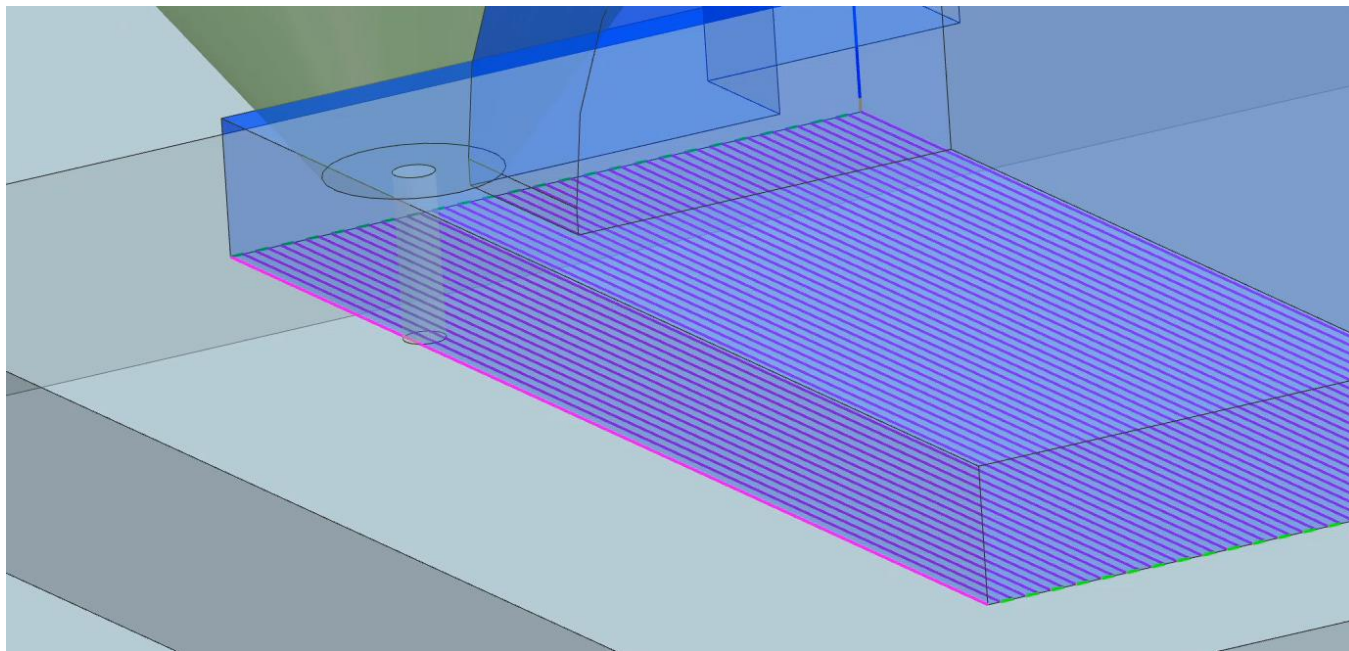
# *Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)*

## Erzeugung der Bahn



82 ***Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)***

**Erzeugung der Bahn**



# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Erzeugung des Maschinencodes

Robotersteuerung [VOL]

Roboterbewegung

Bewegungstyp

\* Wegsegment auswählen (0)

Gesteuerte Achsen

Andere Achsen

Robotik

Konfiguration: J3+ J5+ OH-

Konfiguration sperren

Haltungen

Regeln

Wkz-Orientierung | Konfiguration

Modus: Relativ zu Teil

Orientierung

Vorschau

More Rules

Einstellungen

Kollisionserfassung

Kollisionspaare festlegen

Roboterregeln bei "OK" und "Anwenden" ausführen

Roboterweg bei "OK" und "Anwenden" prüfen

OK Anwenden Abbrechen

Roboterbewegung

Bewegungstyp

\* Wegsegment auswählen (0)

Gesteuerte Achsen

J1	-158.405	-180.00		180.00
J2	-82.5699	-90.00		150.00
J3	-119.577	-180.00		75.00
J4	-147.606	-360.00		360.00
J5	-119.796	-125.00		120.00
J6	-97.0635	-360.00		360.00

Robotik

Konfiguration: J3+ J5- OH+

Konfiguration sperren

Regeln

Wkz-Orientierung | Konfiguration

Modus: Nicht definiert

More Rules

Einstellungen

Kollisionserfassung

Kollisionspaare festlegen

Roboterregeln bei "OK" und "Anwenden" ausführen

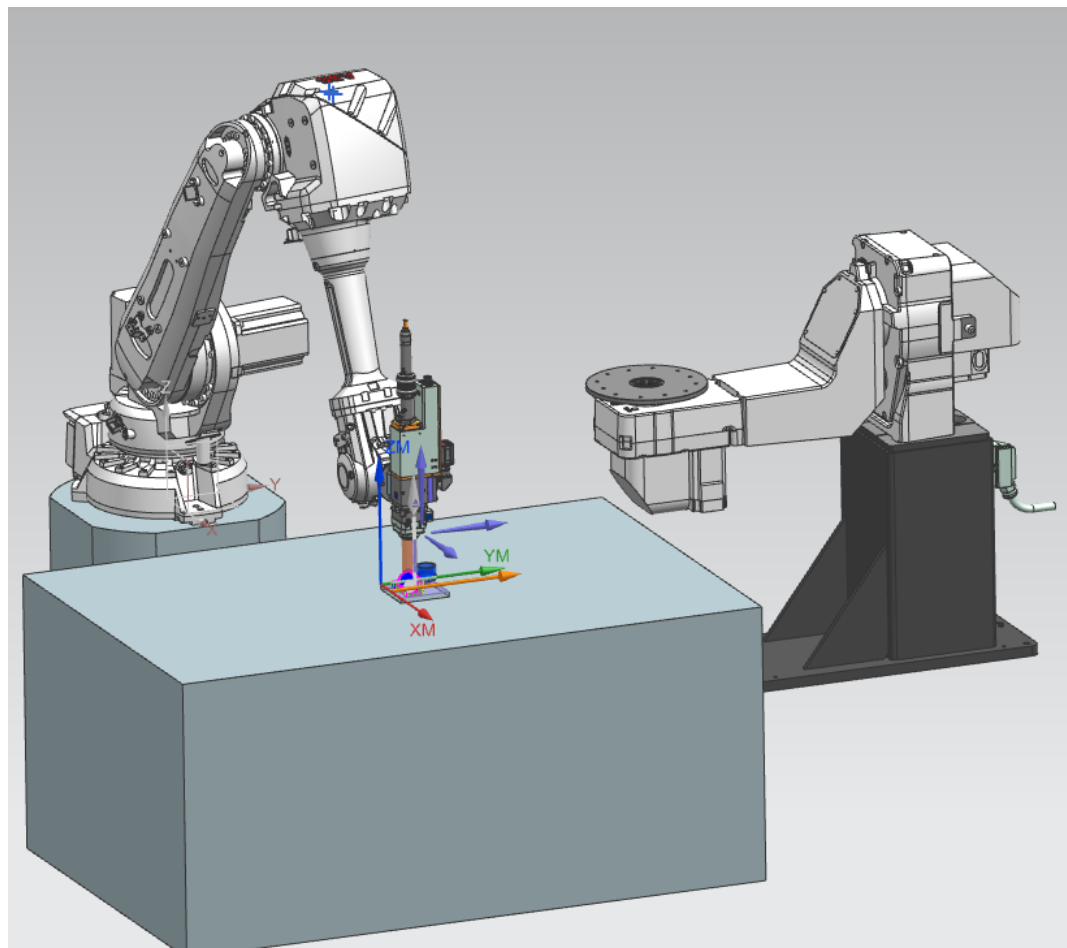
Roboterweg bei "OK" und "Anwenden" prüfen

OK Anwenden Abbrechen

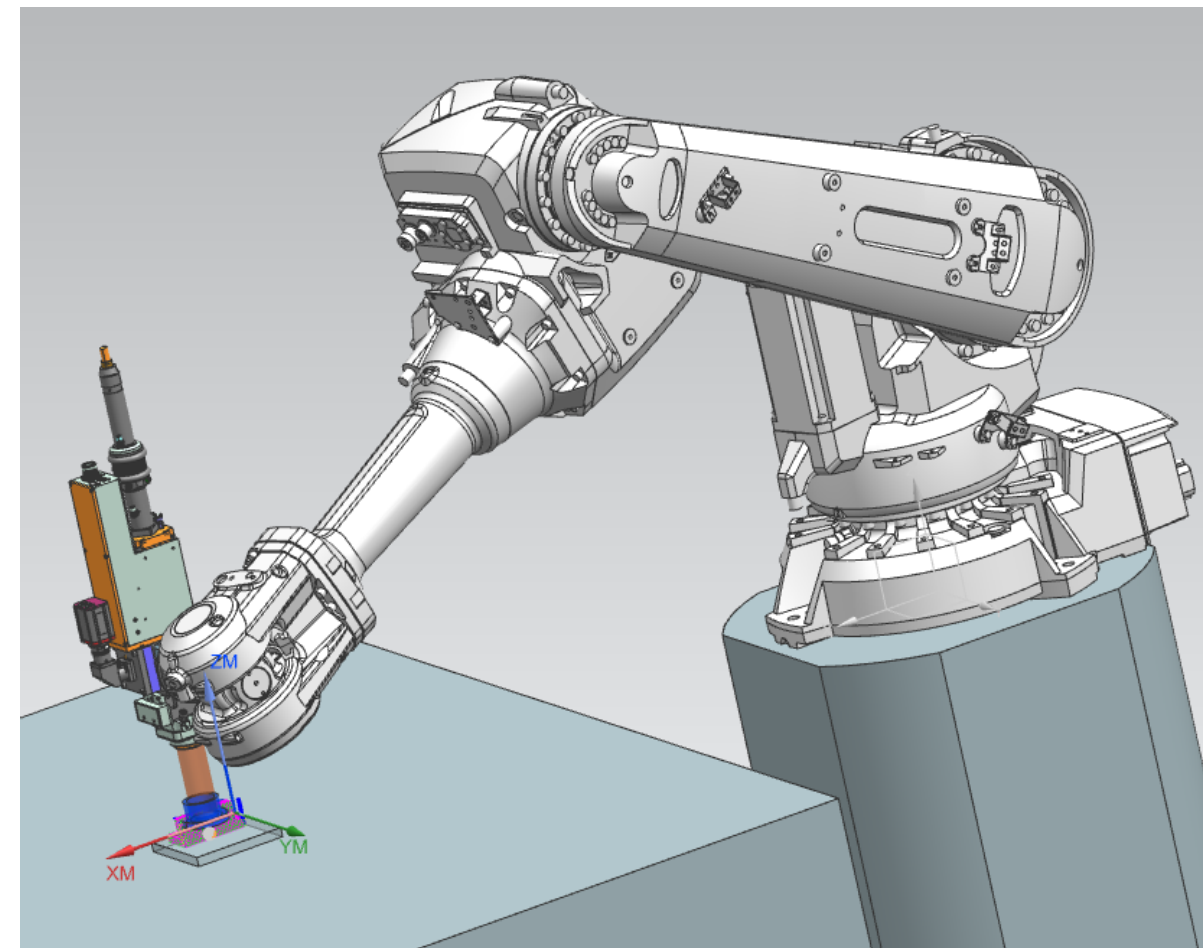
Interface für Roboterkonfiguration

# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Erzeugung des Maschinencodes



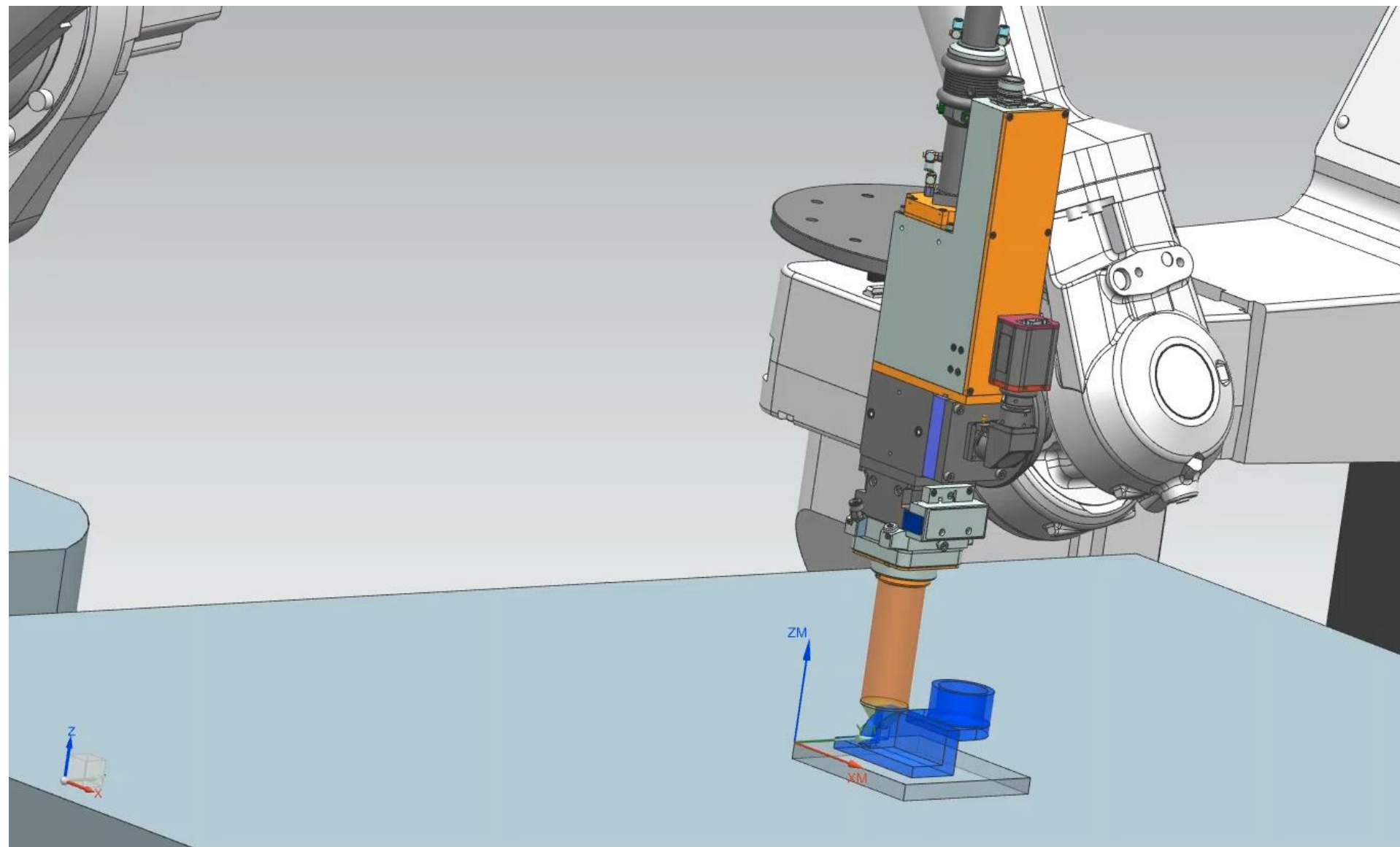
sinnvolle Achskonfiguration



absurde Achskonfiguration

# *Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)*

## Simulation der Fertigung



# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Erzeugung des Maschinencodes

```

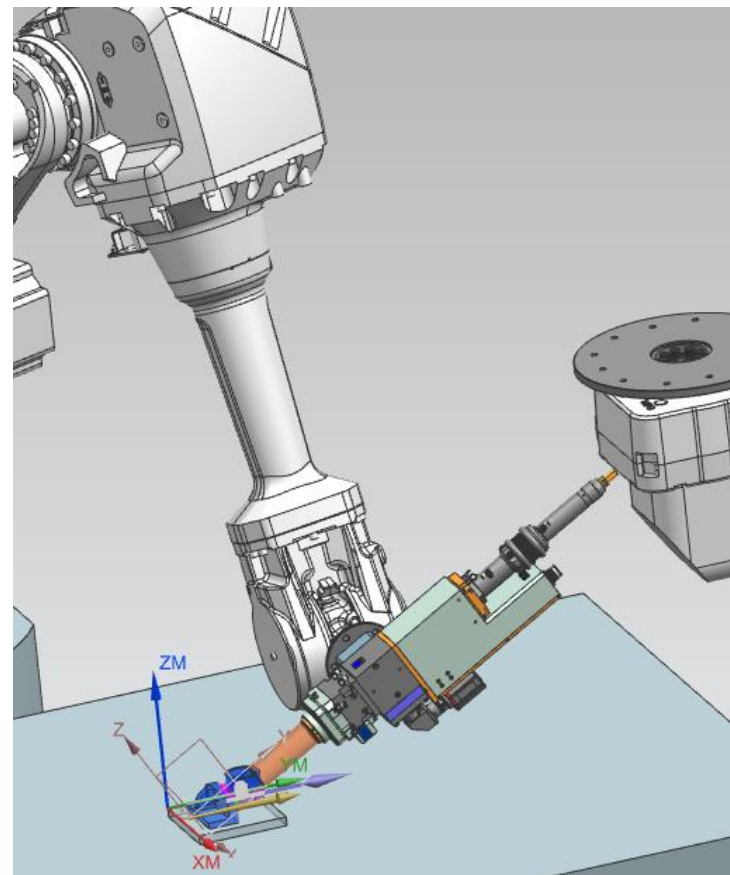
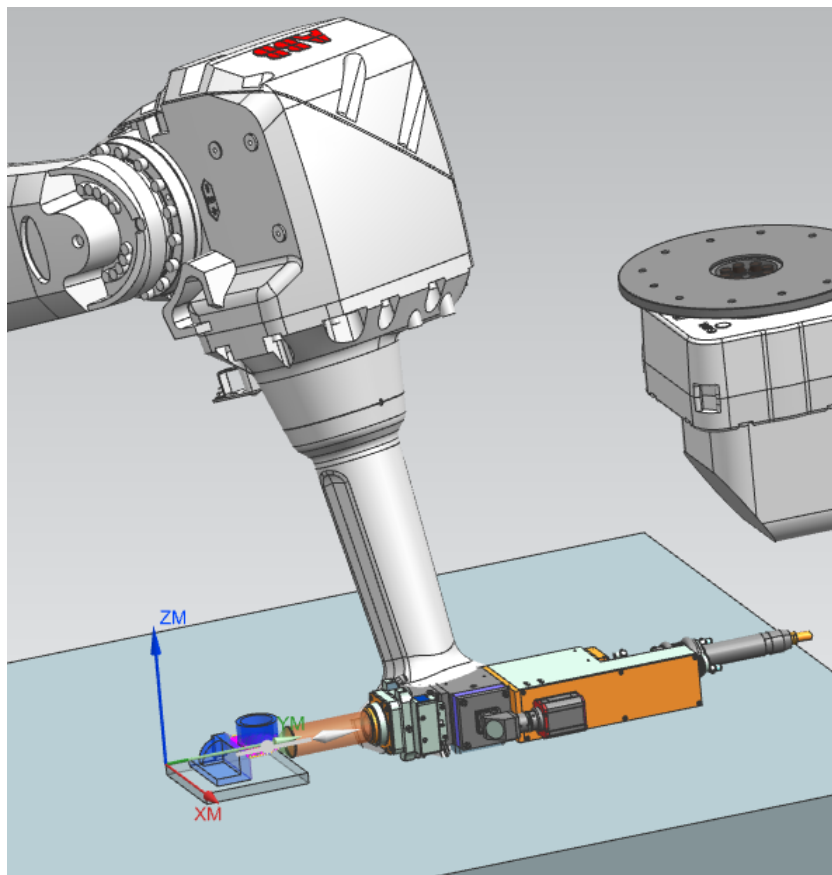
MODULE 2020_01 - Vorlage mit Demobauteil zum Starten
!# NX CAM Robotics 12.0.2.9 to Abb-Rapid
!# -----
!# CREATED : 13/07/2020 15:34:00 by gor
!# CELL    : Starten.prt
!# ROBOT   : ABB_IRB_4600_60_205
!# WOBJ    : PLÄTTCHEN [FALSE,TRUE,"",[[0,0,0],[1,0,0,0]],[[1305.000,125.000,85.000],[1.000000,0.000000,0.000000,0.000000]]]
!# TOOL    : TAF_KOPF [TRUE,[[293.300,0.000,74.000],[0.707107,0.000000,0.707107,0.000000]],[0,[0,0,0],[1,0,0,0],0,0,0]]

PROC VOL1()
nProgNr := 11;
feed_cut:=1000.0;
feed_rapid:=6000.0;
LEISTUNG_2_setzen 1000;
FOKUS_setzen 100;
TRUDISK_3kW_start;
  MoveL [[25.500,74.497,44.912],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_rapid/60,500,5000,1000],z100,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,74.497,1.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z20,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,74.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z20,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
PULVER_Start; WaitTime 2; LASER_3kW_on;
  MoveL [[129.500,74.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[129.500,73.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,73.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,72.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[129.500,72.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[129.500,71.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,71.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,70.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[129.500,70.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[129.500,69.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;
  MoveL [[25.500,69.497,0.000],[-0.000000,0.000000,1.000000,0.000000],[0,0,-1,1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09],[feed_cut/60,500,5000,1000],z1,TAF_KOPF\Wobj:=PLÄTTCHEN;

```

# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

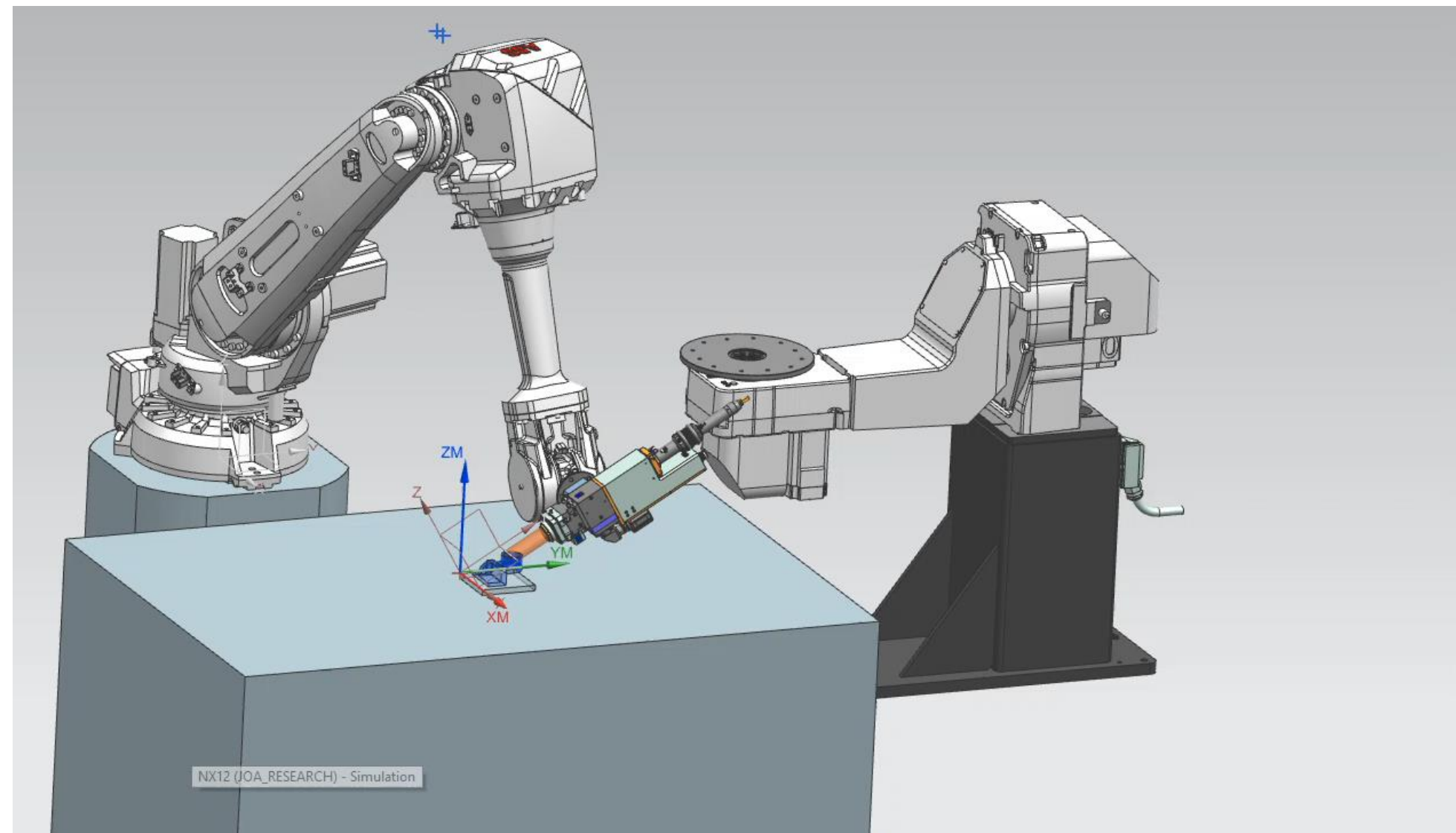
## Bahnplanung / Simulation



Korrekte Auswahl der Schnittrichtung und Werkzeugorientierung nötig

# 88 *Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)*

## Bahnplanung / Simulation





# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Bahnplanung

**Schnitt und Muster**

Schichthöhe  mm

Wegüberhang  mm

Max. Zustellun  mm

Minimale Zustellun  mm

Muster

Schicht zu Schicht üf

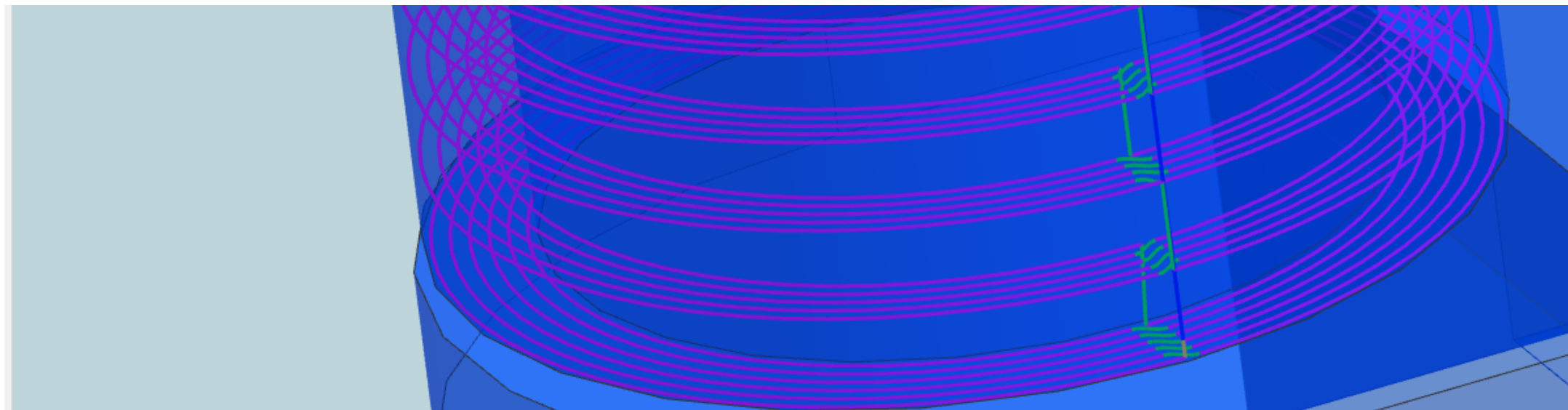
Rotationswinkel

Bereichsanordnung

Erste Stufe

Konturbearbeitung

Wegform in Ecken



Schichthöhe  mm

Wegüberhang  mm

Max. Zustellun  mm

Minimale Zustellun  mm

Muster

Schicht zu Schicht üf

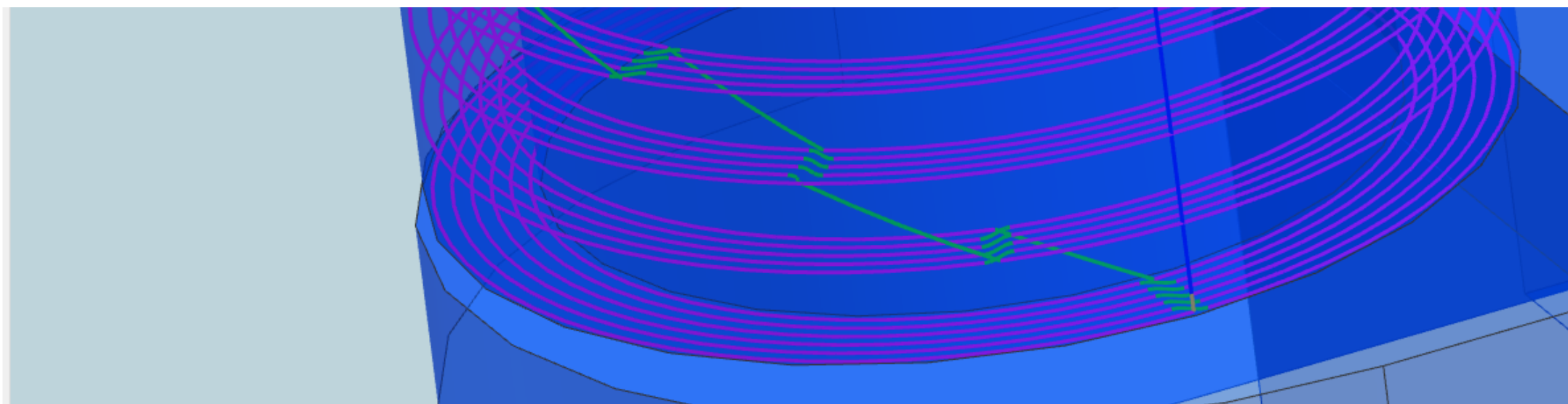
Rotationswinkel

Bereichsanordnung

Erste Stufe

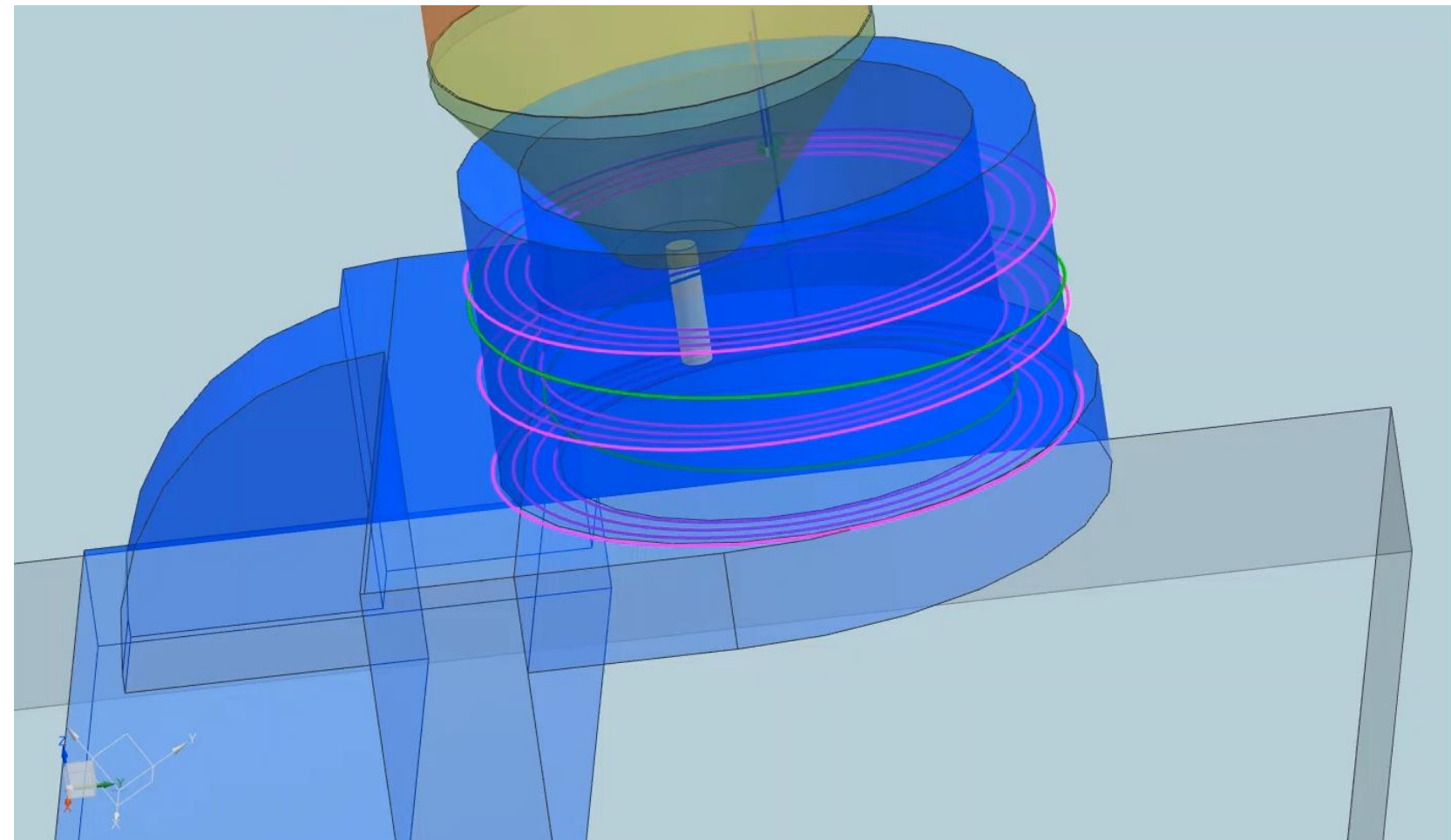
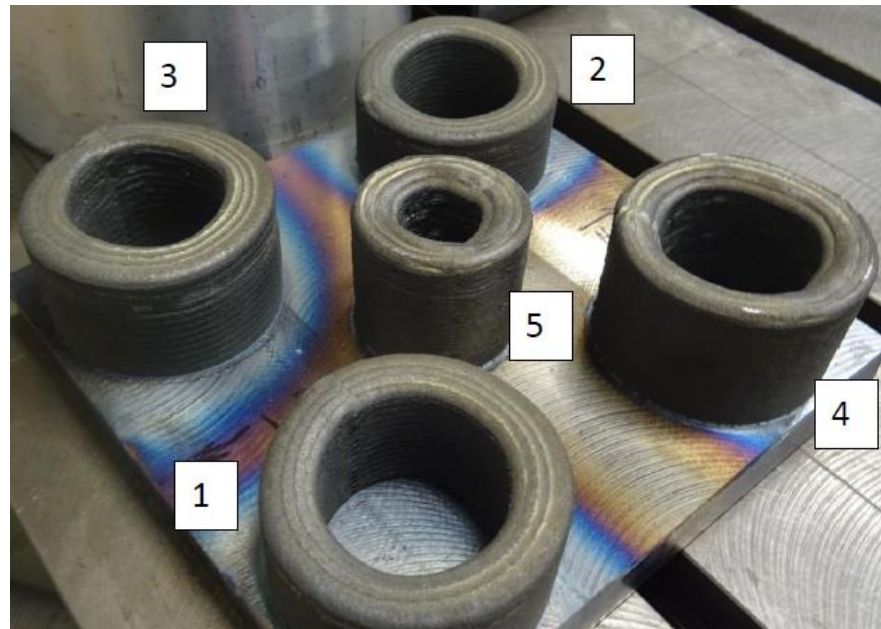
Konturbearbeitung

Wegform in Ecken



# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

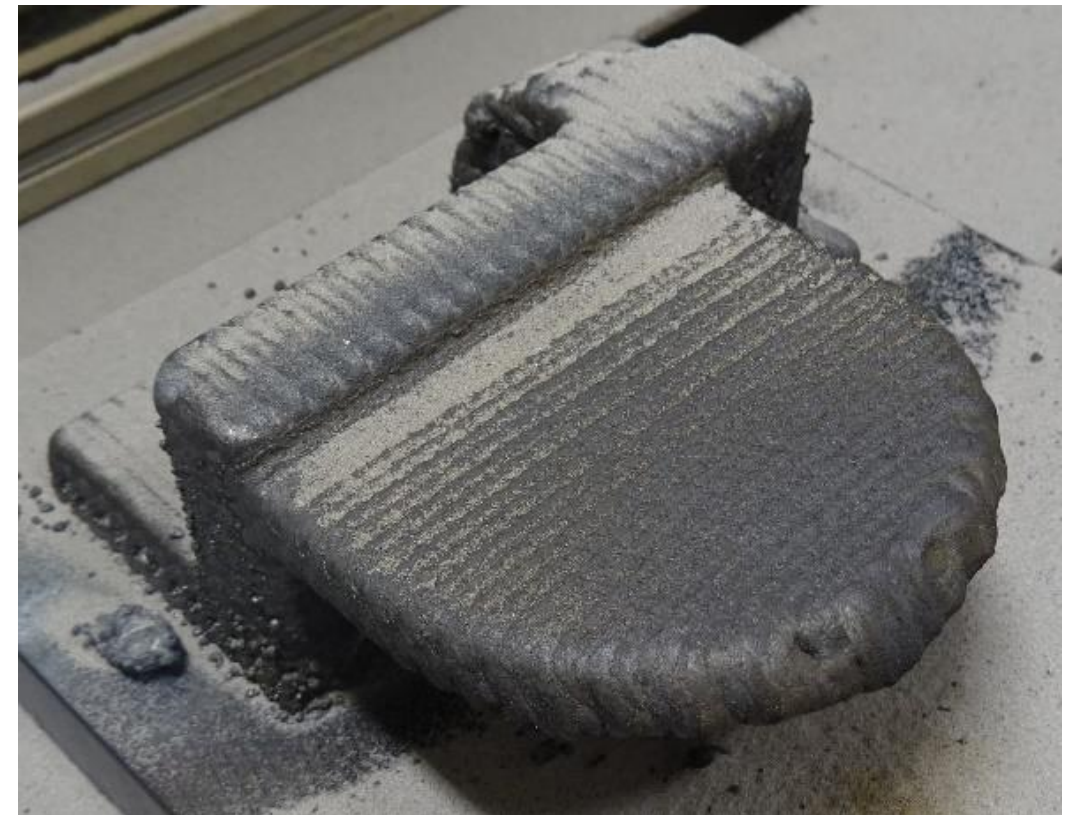
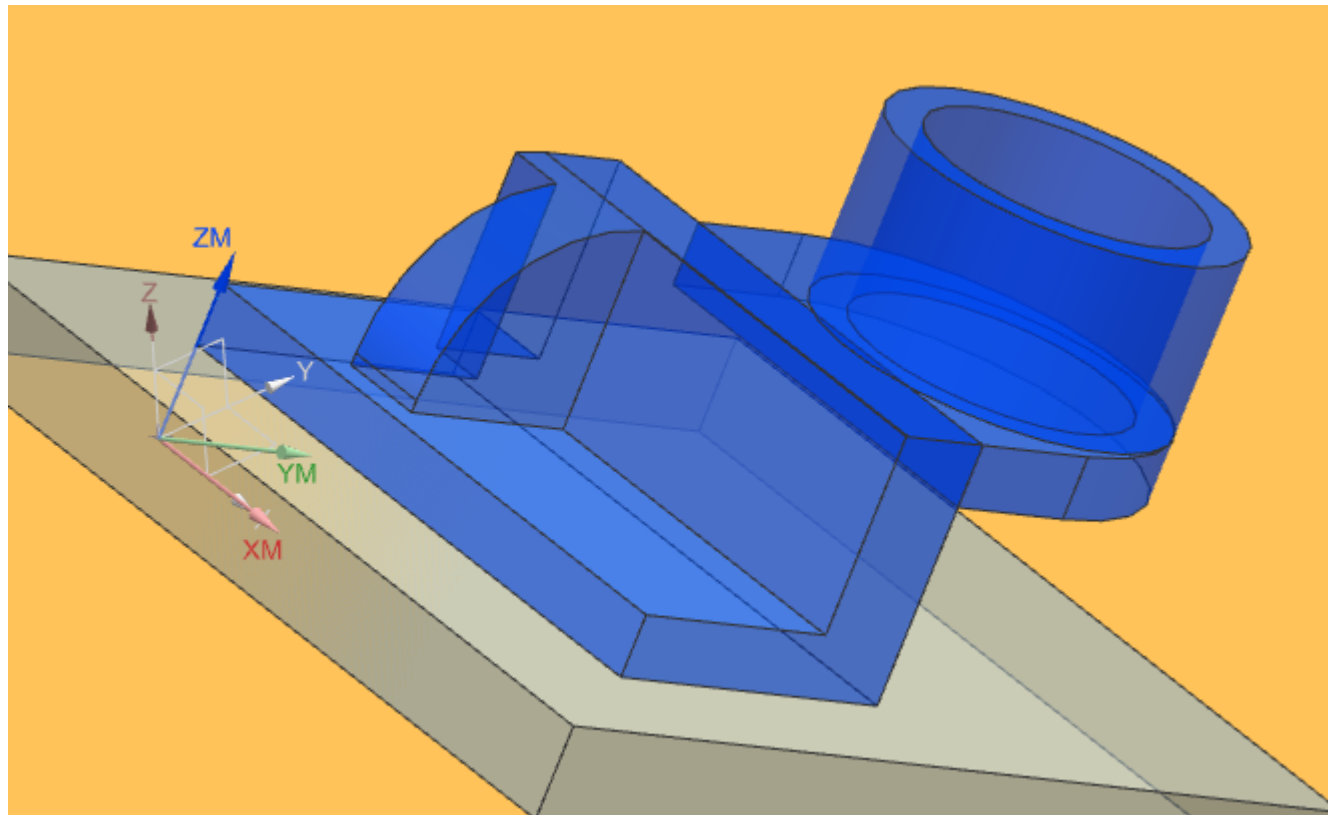
## Bahnplanung



- 1: only infills, azimuthal offset = 0°
- 2: only infills, azimuthal offset = 125°
- 3: only infills, azimuthal offset = 360°
- 4: edges separately, azimuthal offset = 0°
- 5: edges separately, azimuthal offset = 125°

# Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

## Fertiges Bauteil

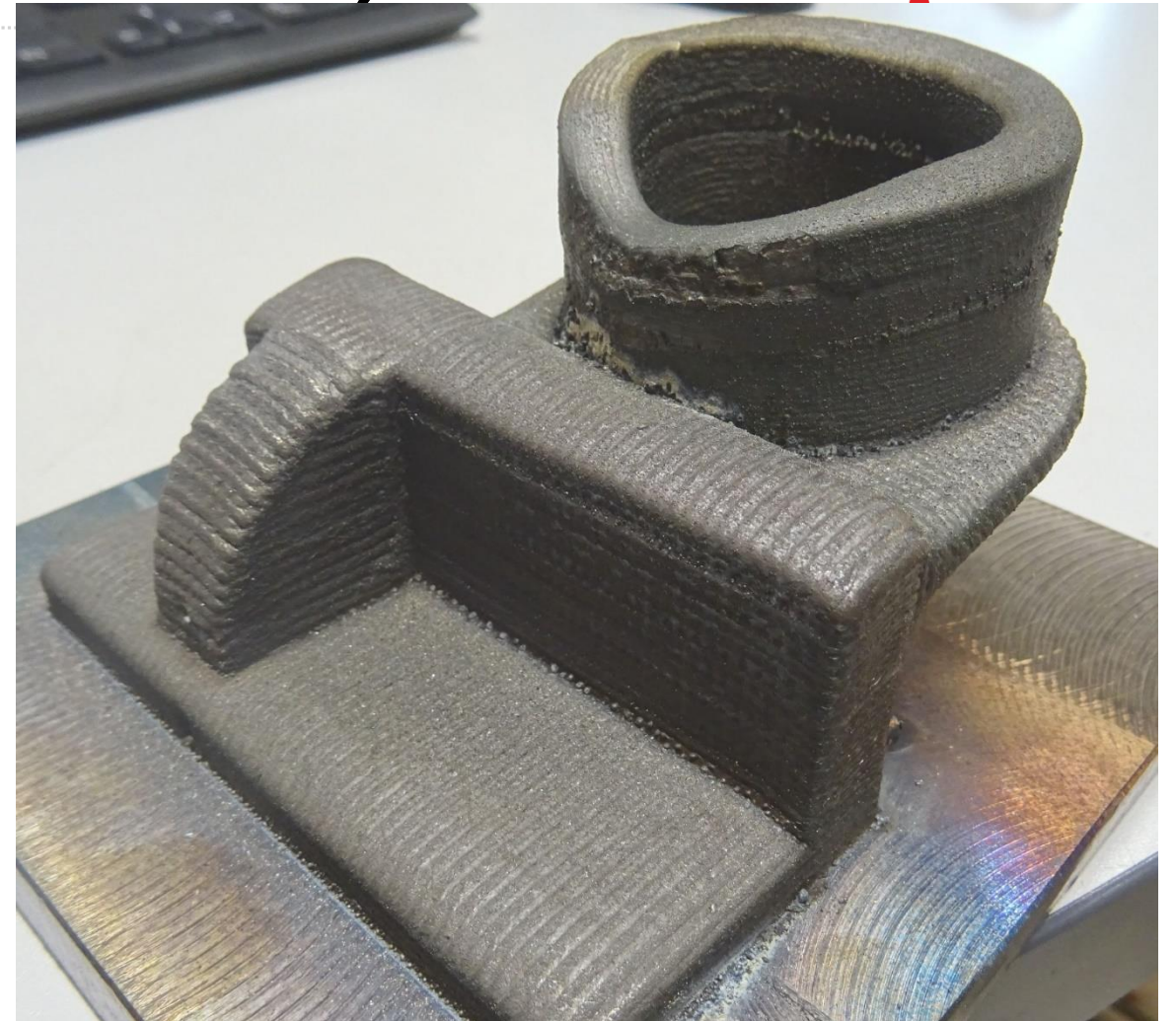
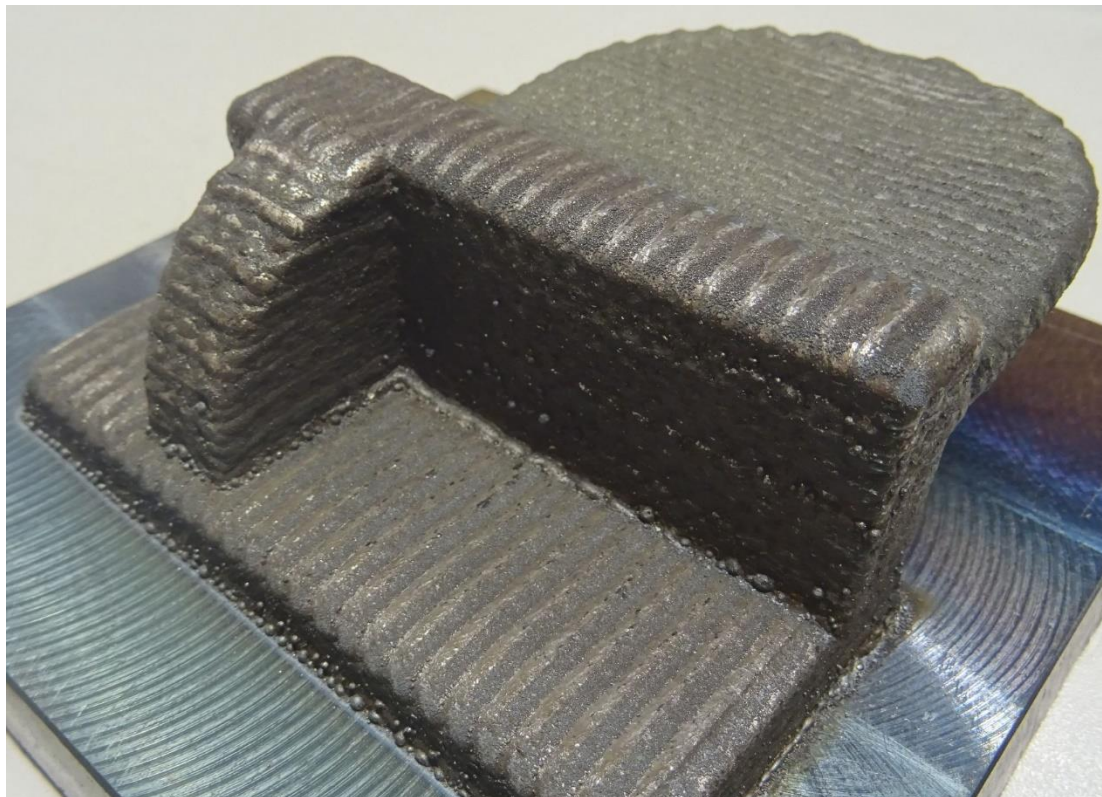


In Abhängigkeit von den exakten Schweißparametern kann es passieren, dass die Endhöhe der fertigen Bauteils nicht exakt der programmierten Höhe entspricht...

## ***Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)***

### **Fertiges Bauteil**

- Mit unterschiedlichen Auflösungen...



...Software erspart die  
Prozessentwicklung nicht...

# ***Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)***

## **Resümee Siemens NX**

- Die Prozessentwicklung wird durch die Software nicht erspart.
- Die konkreten Schweißparameter beeinflussen das Ergebnis – insbesondere die finale Geometrie.
- Auch für einfache Geometrien kann die Form und Größe des finalen Volumens von den programmierten Werten abweichen – eine gewisse Anpassung der Parameter und/oder der Schweißstrategie ist oftmals nötig.
- Da in den meisten Fällen ohnehin eine Nachbearbeitung der Oberflächen nötig ist, ist es sinnvoll, mit einem gewissen Übermaß zu planen.
- **Die Software ist mächtig und liefert zufriedenstellende Ergebnisse ...**  
**... aber höchstwahrscheinlich nicht bereits beim ersten Versuch.**

# L-DED

## Fertigung eines Demo-Bauteils

95

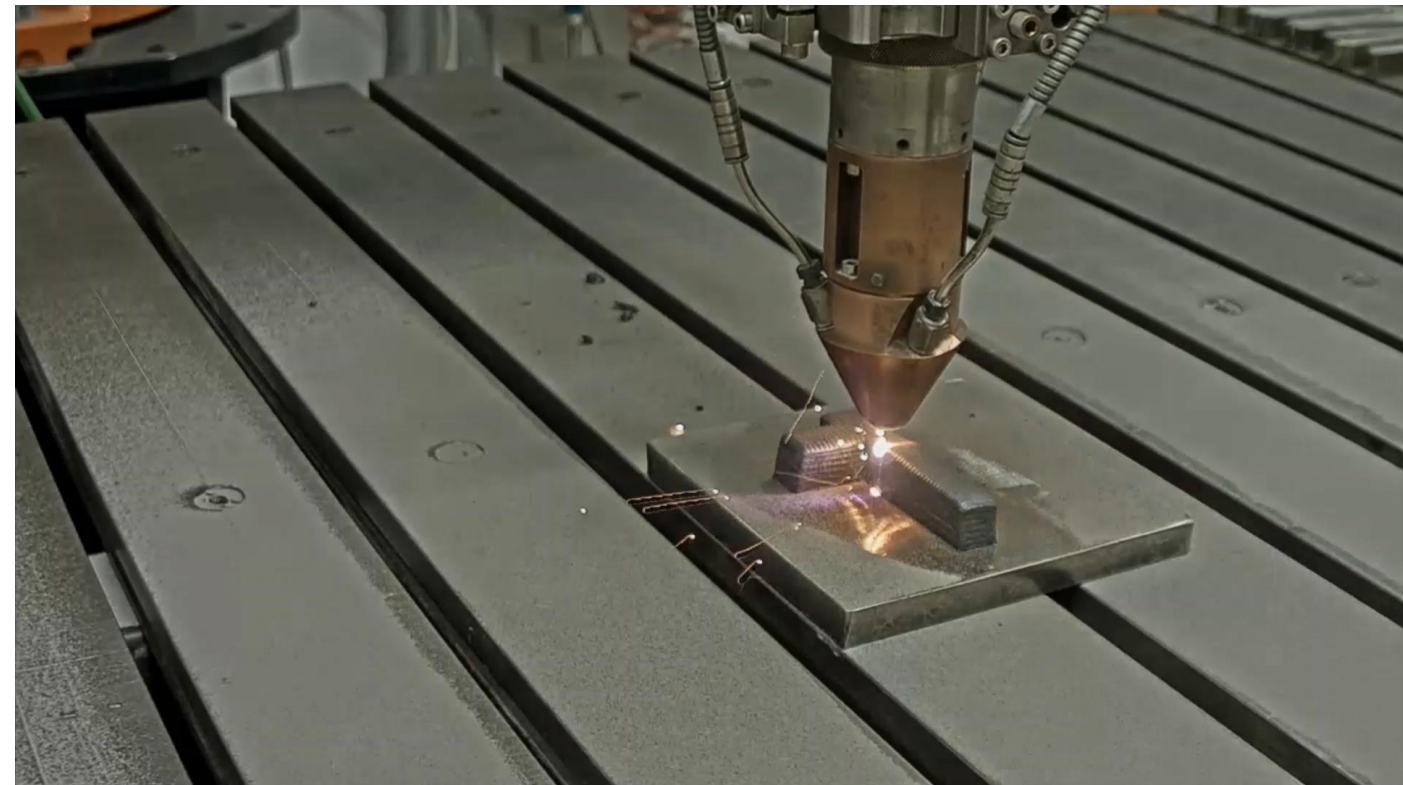
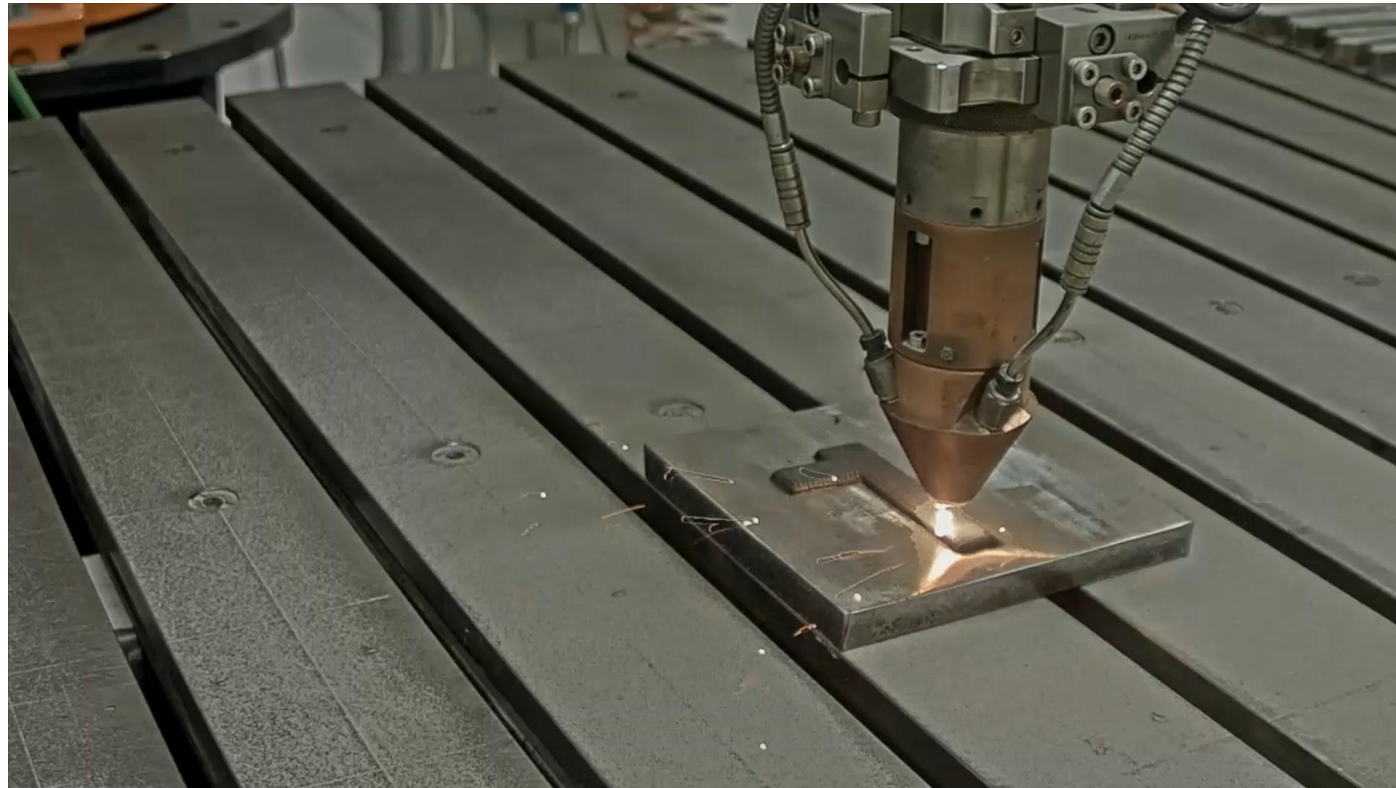
# *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

Volumen 1



96 *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

Volumen 1

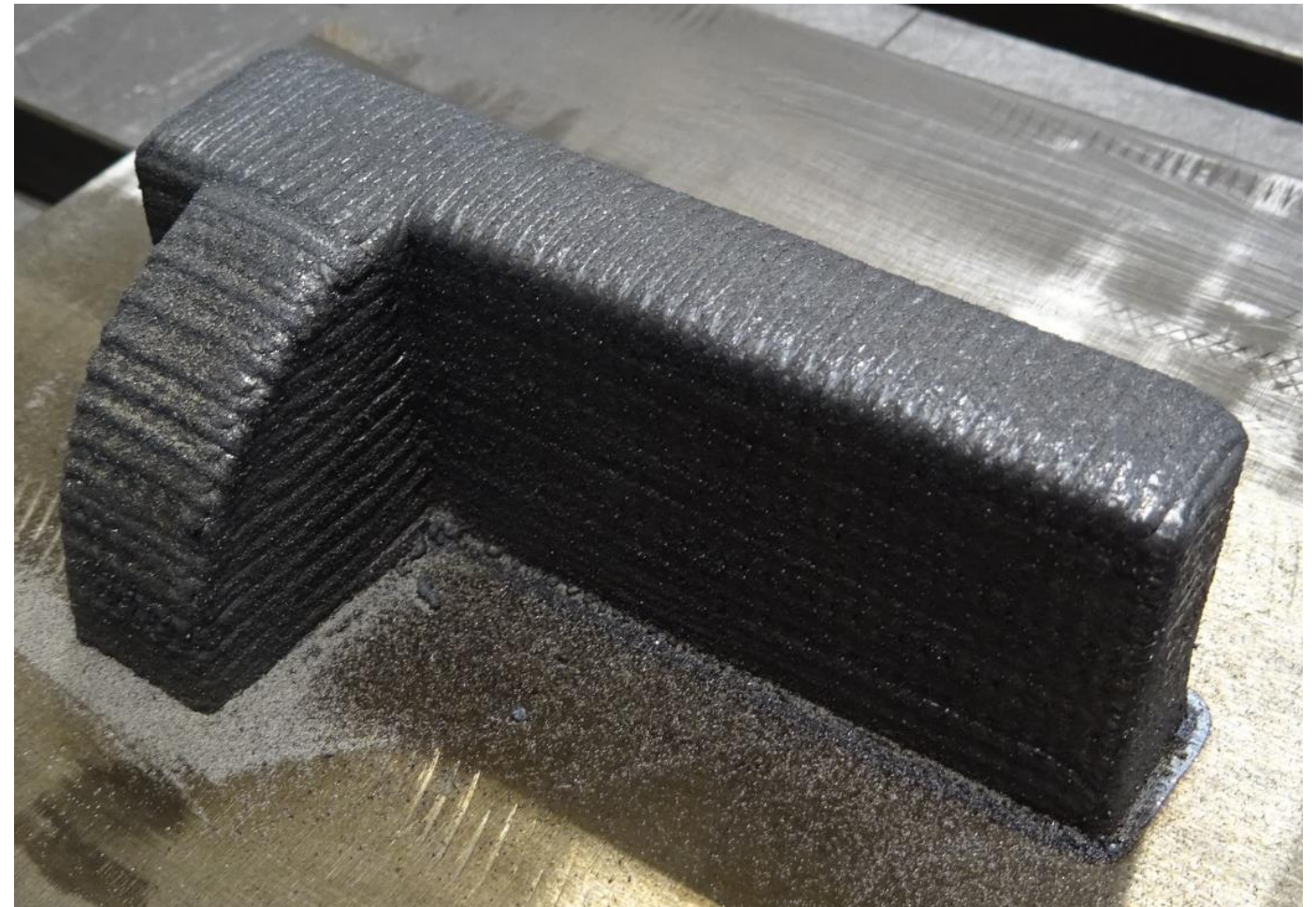
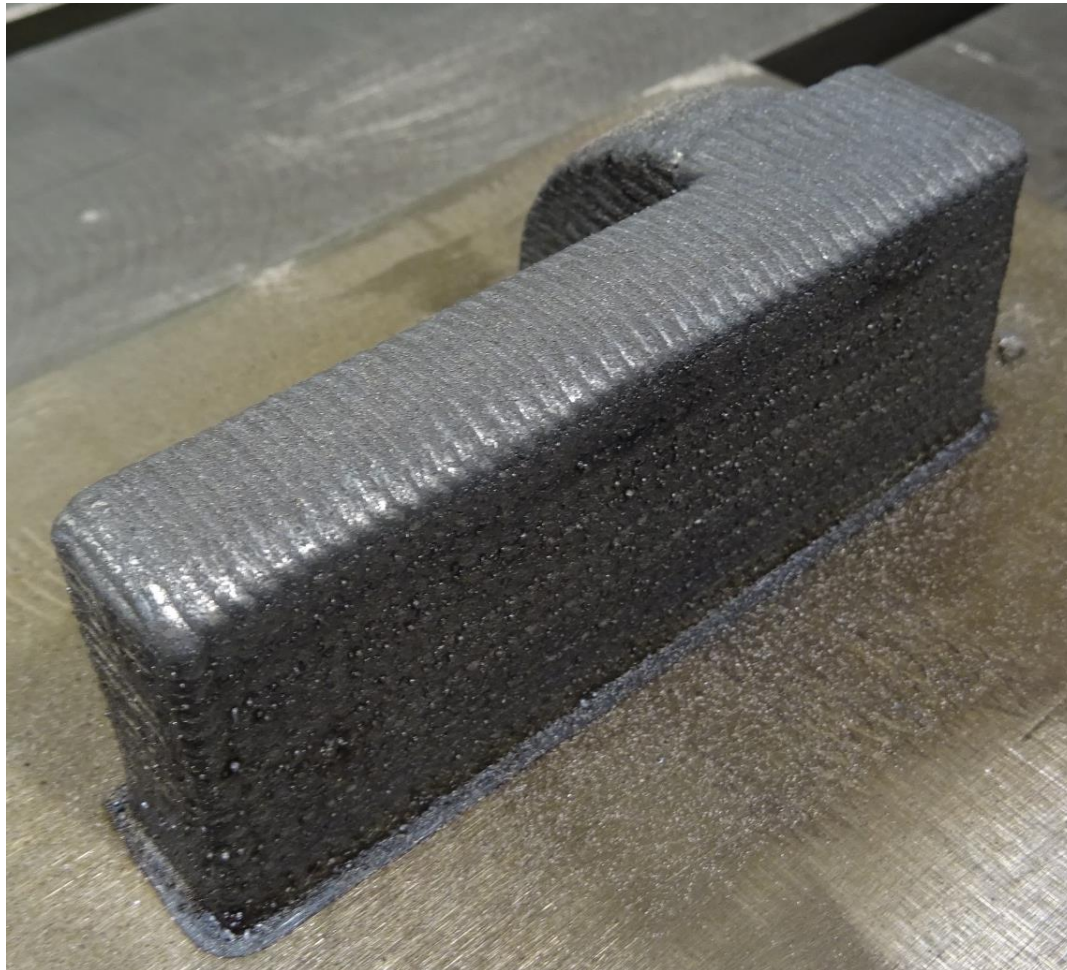




97

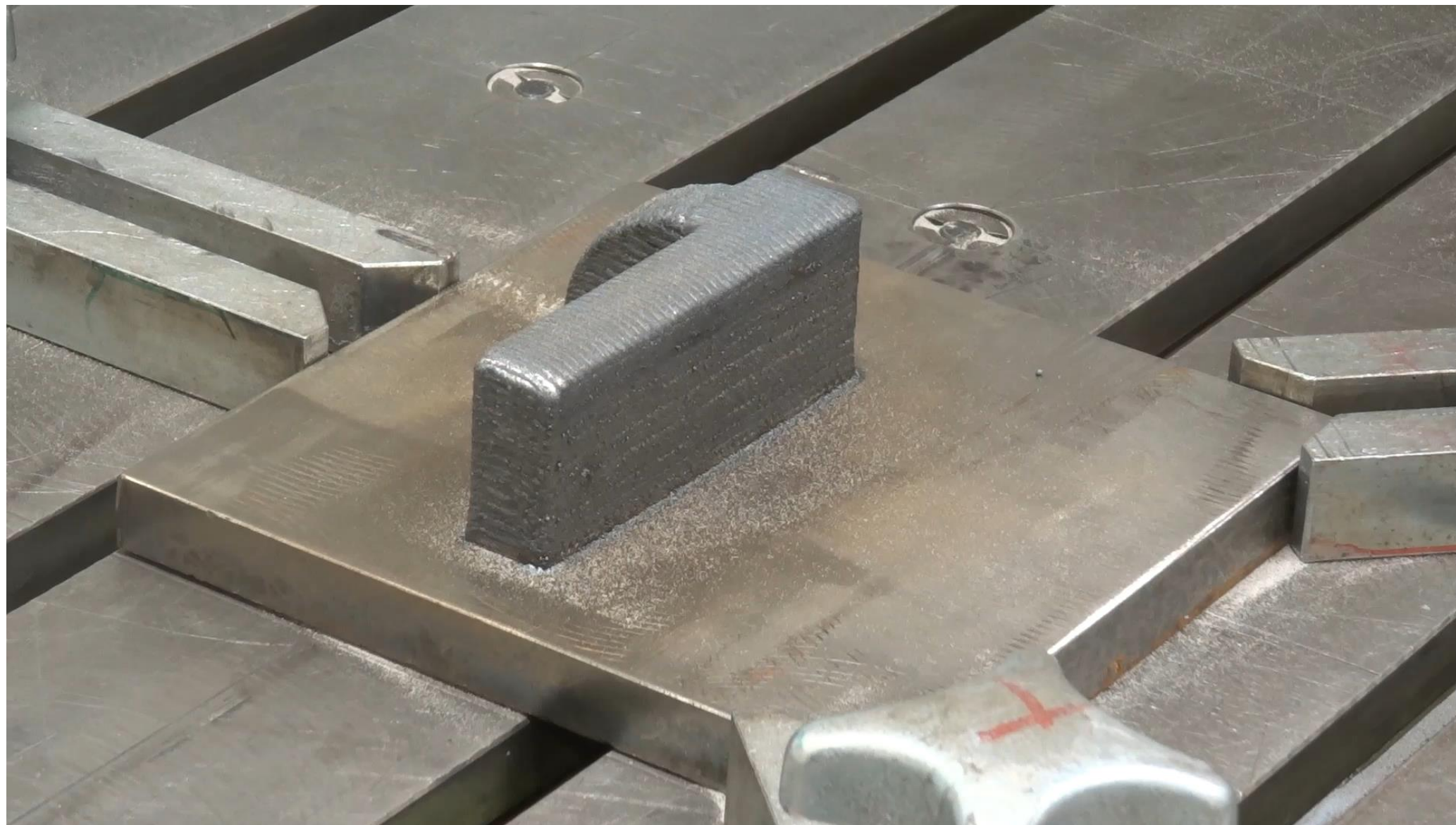
# *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

## Volumen 1



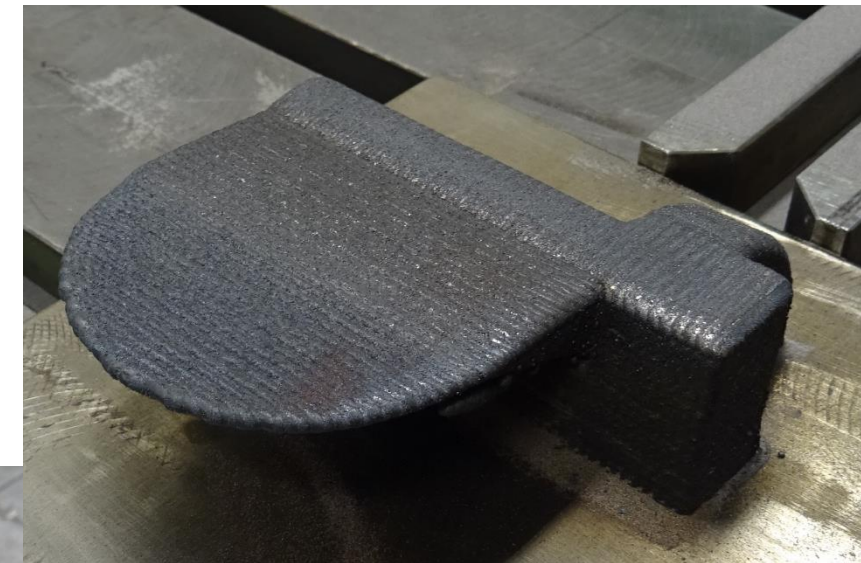
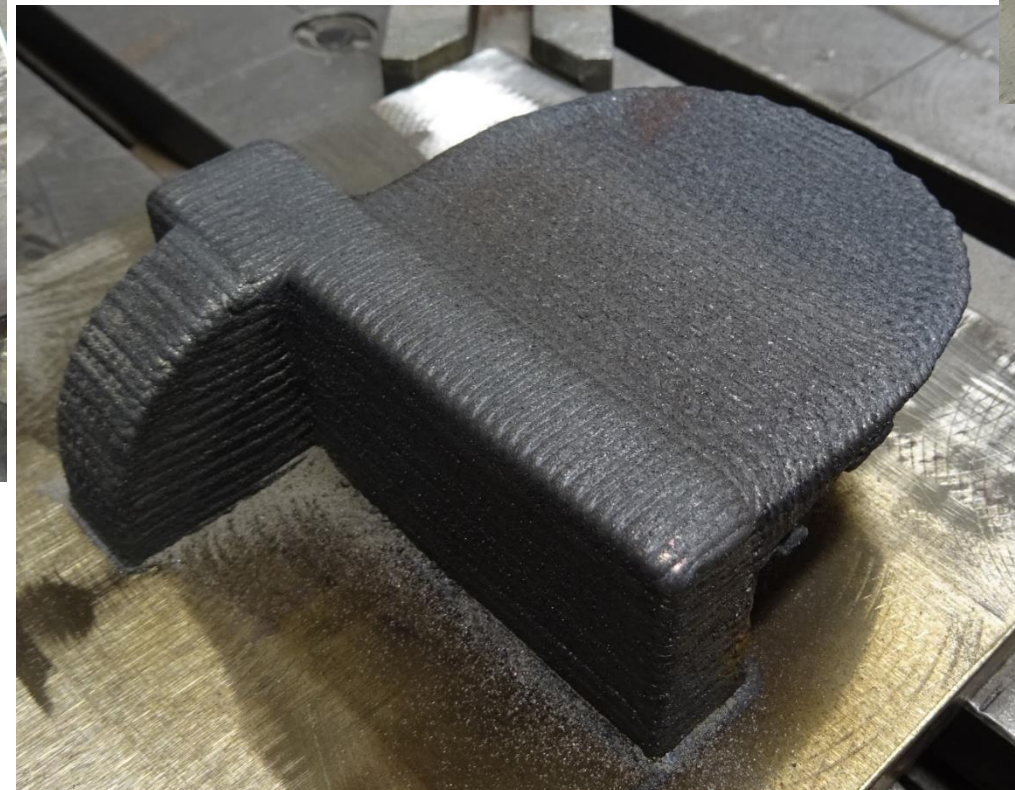
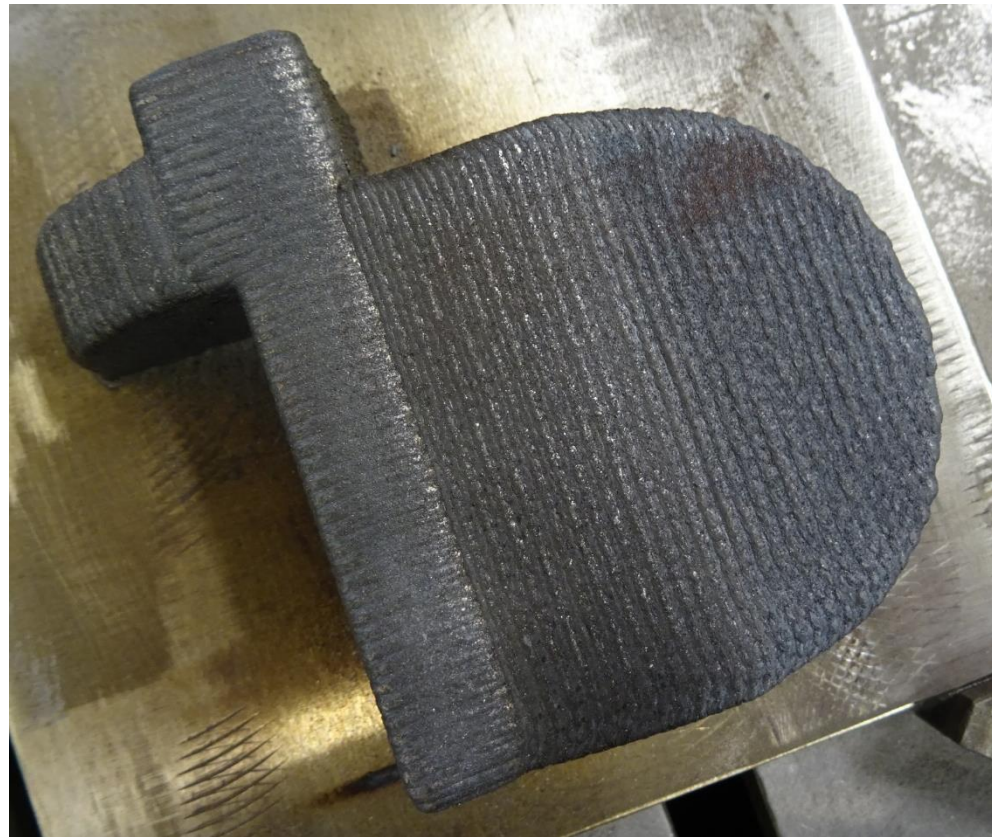
# *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

## Volumen 2



99 *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

Volumen 2



100

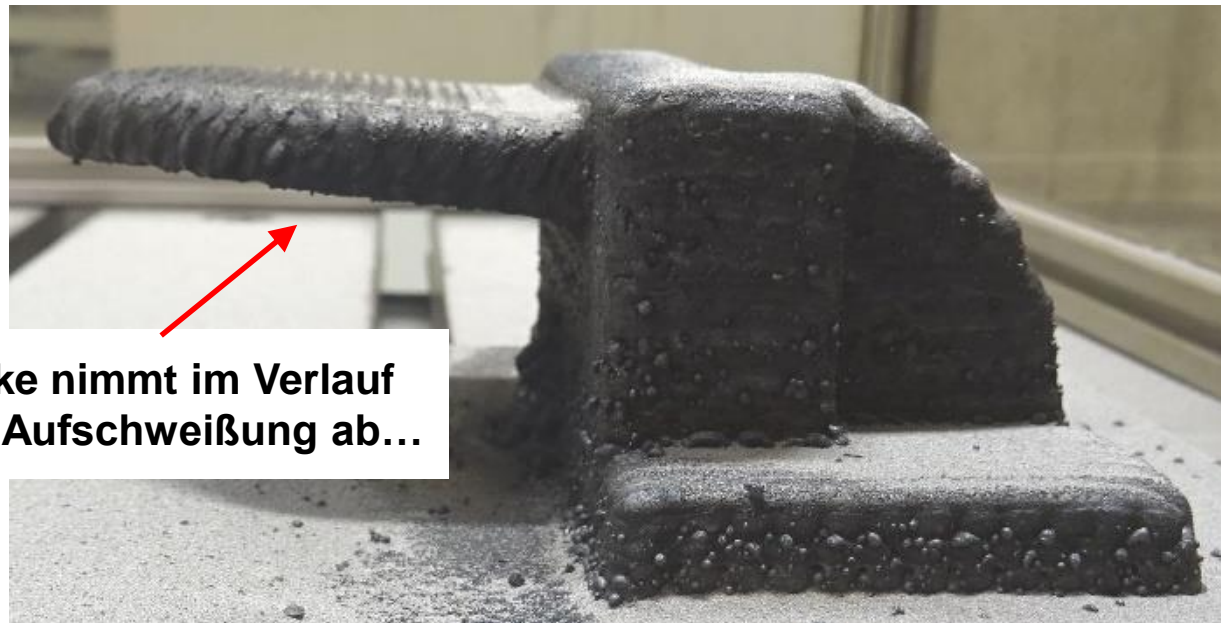
# *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

Volumen 3

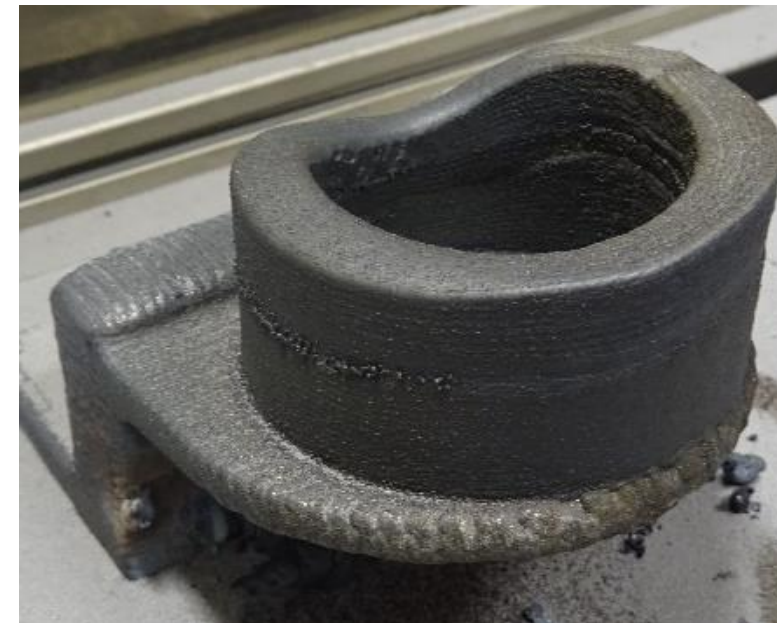


# *Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)*

## Fertiges Bauteil



Dicke nimmt im Verlauf  
der Aufschweißung ab...

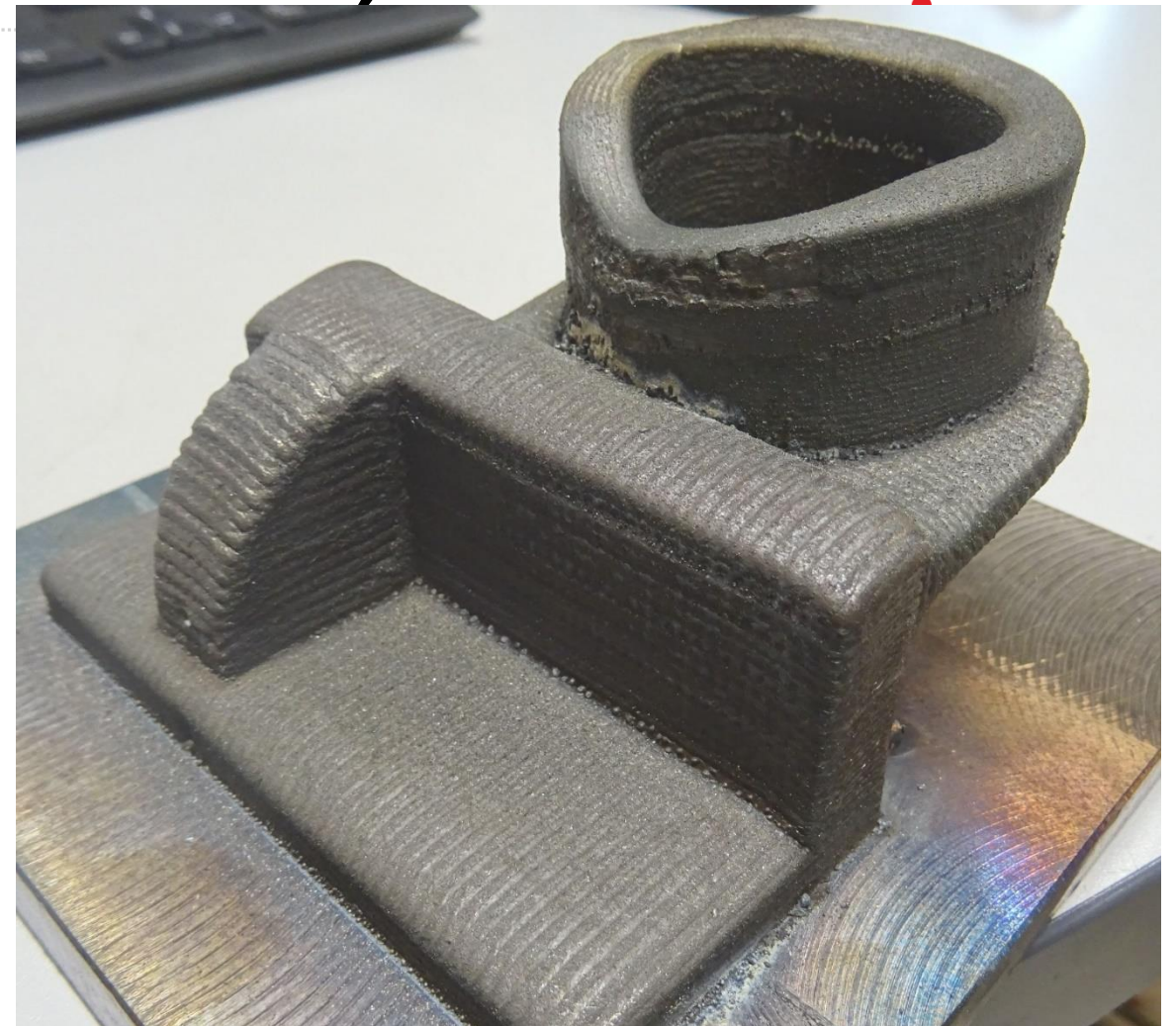
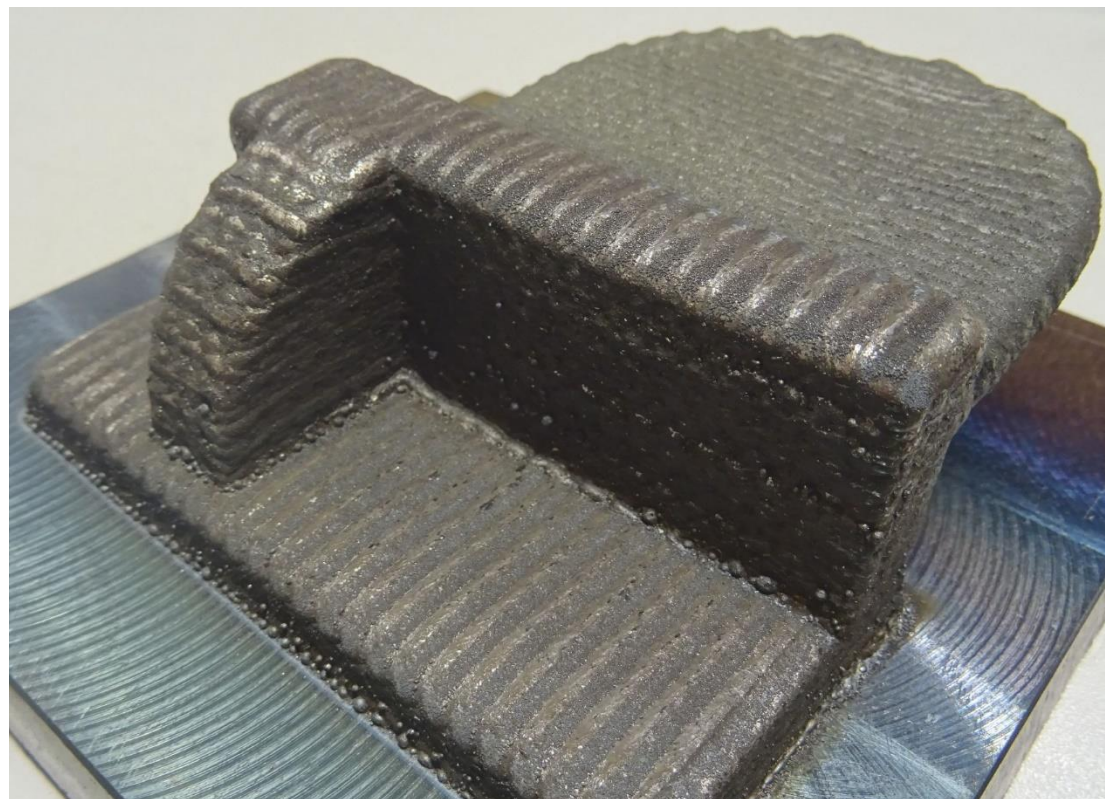


Die Stufe kann zu Unstetigkeiten führen, die sich im Verlauf des weiteren Bauprozesses fortsetzen...

# *Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)*

## Fertiges Bauteil

- Mit unterschiedlichen Auflösungen...

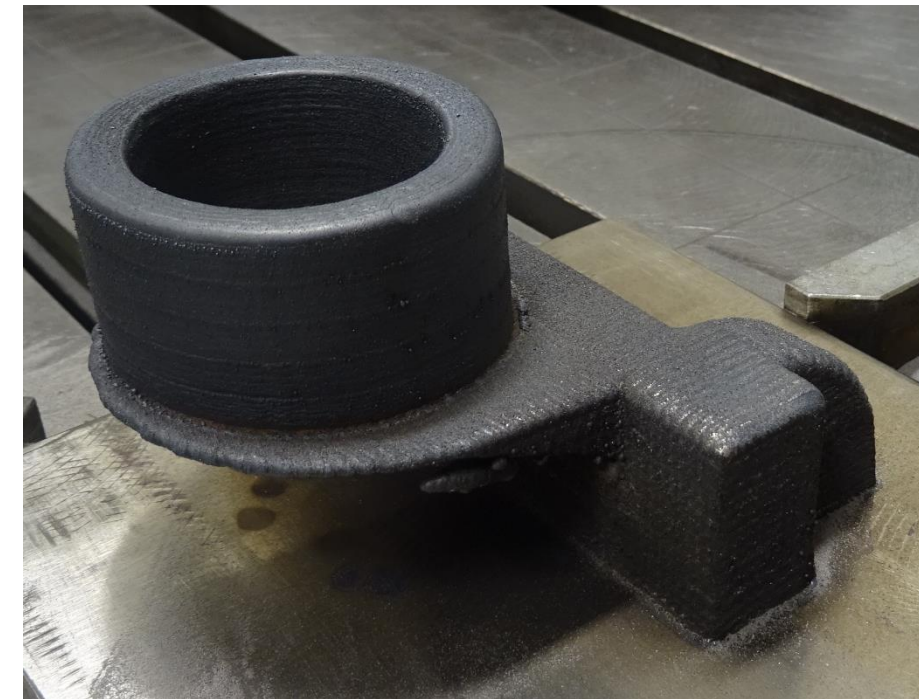
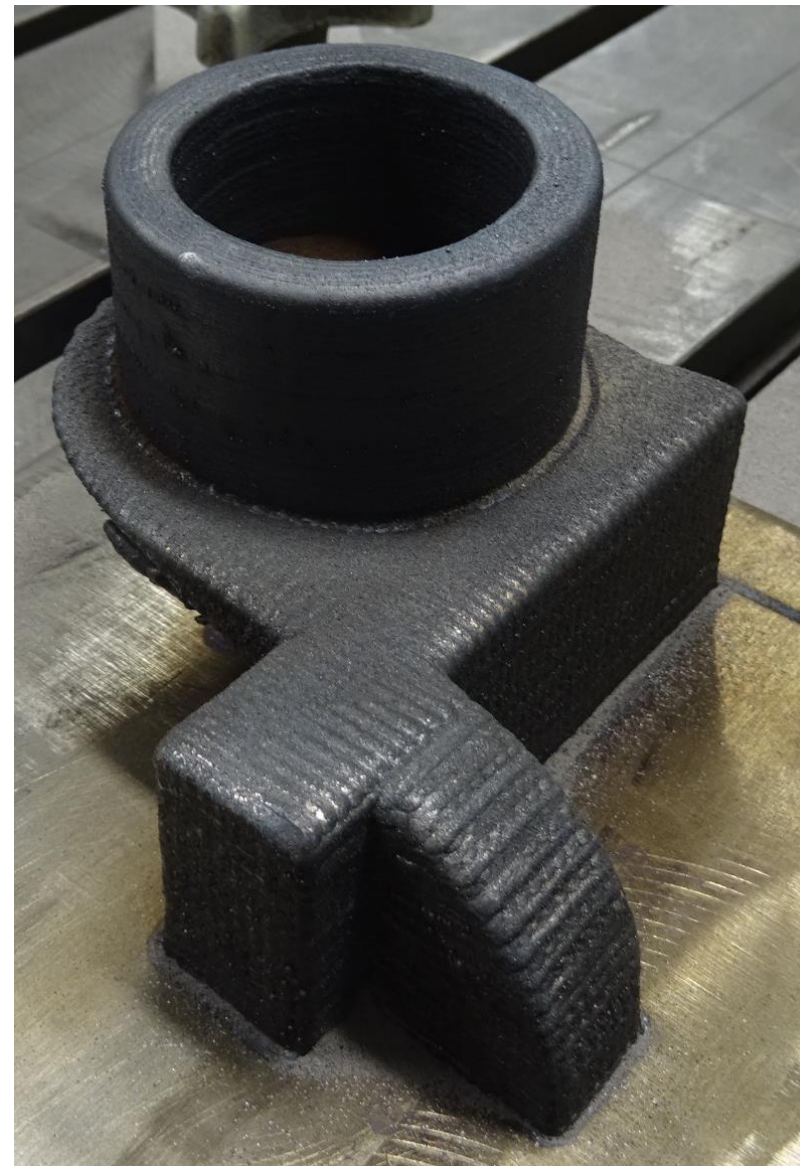
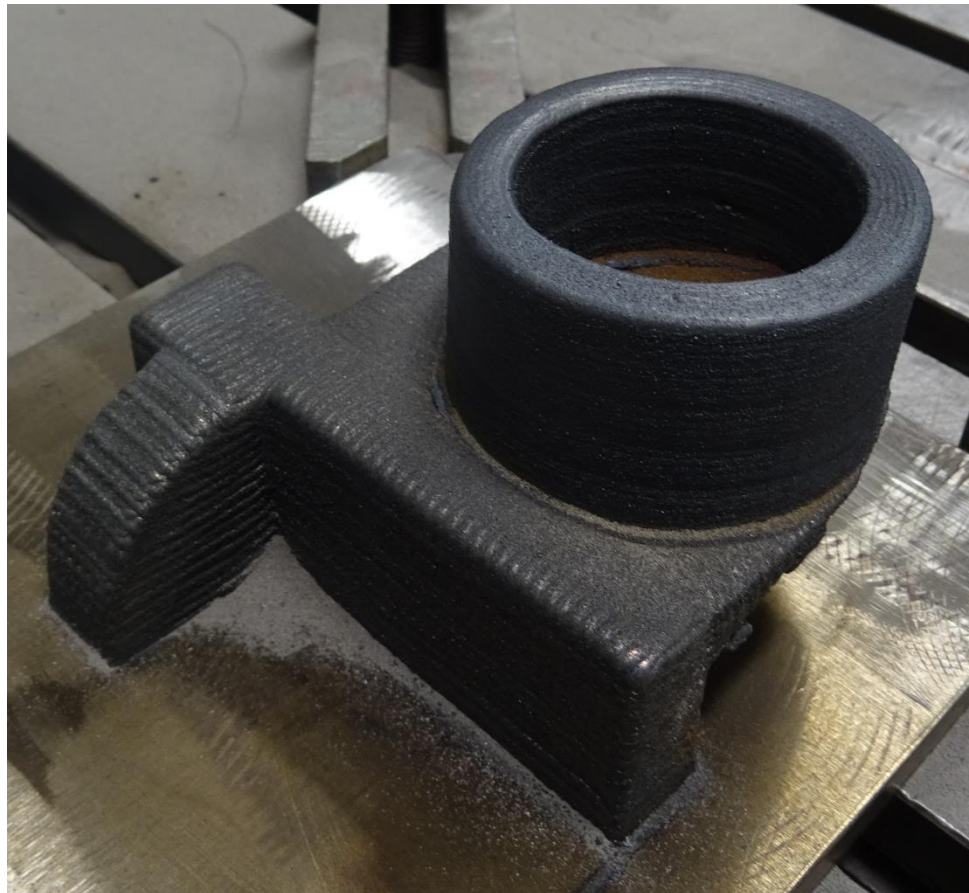


...Software erspart die  
Prozessentwicklung nicht...

103

# *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

## Volumen 3



# *Generative Fertigung mittels Laserauftragsschweißen*

104

## Zusammenfassung

- Die Technologie kann als „State of the Art“ (Stand der Technik) bezeichnet werden, wenngleich für die „fehlerfreie“ Anwendung eine gewisse Erfahrung nötig ist.
- Es gibt mittlerweile geeignete Software zur Bahnplanung – auch für komplexere Oberflächen und Geometrien.
- Die erzeugten NC-Programme sind sehr umfangreich, da auch einfach programmierbare Geometrien als „Punktwolke“ erzeugt werden.
- Die physikalische Entwicklung qualifizierter Parametersätze ist nach wie vor nötig.
- Abhängigkeit von der konkreten Anwendung wird in den meisten Fällen eine Nachbearbeitung nötig sein.



# 3D-Druck

## L-PBF

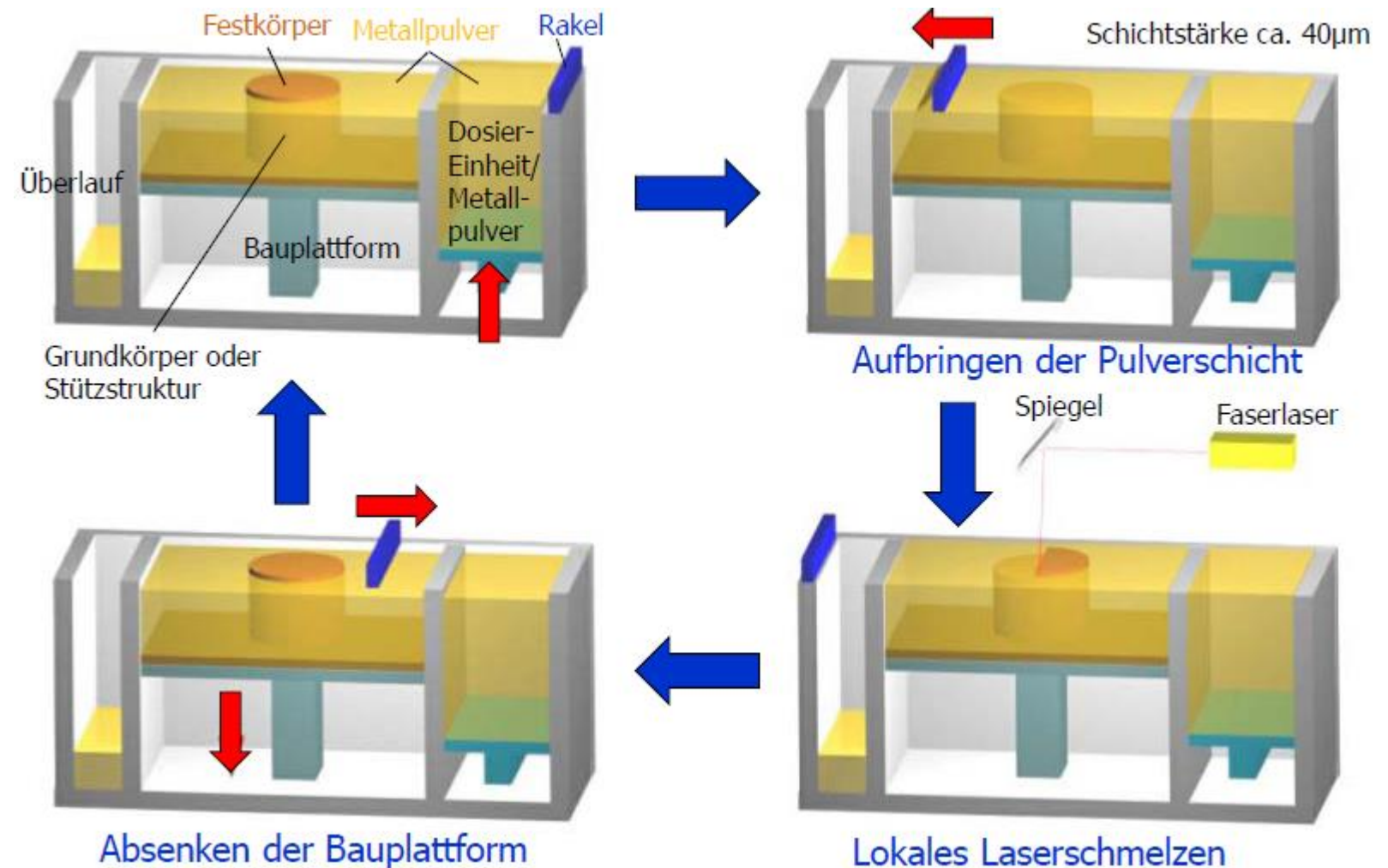
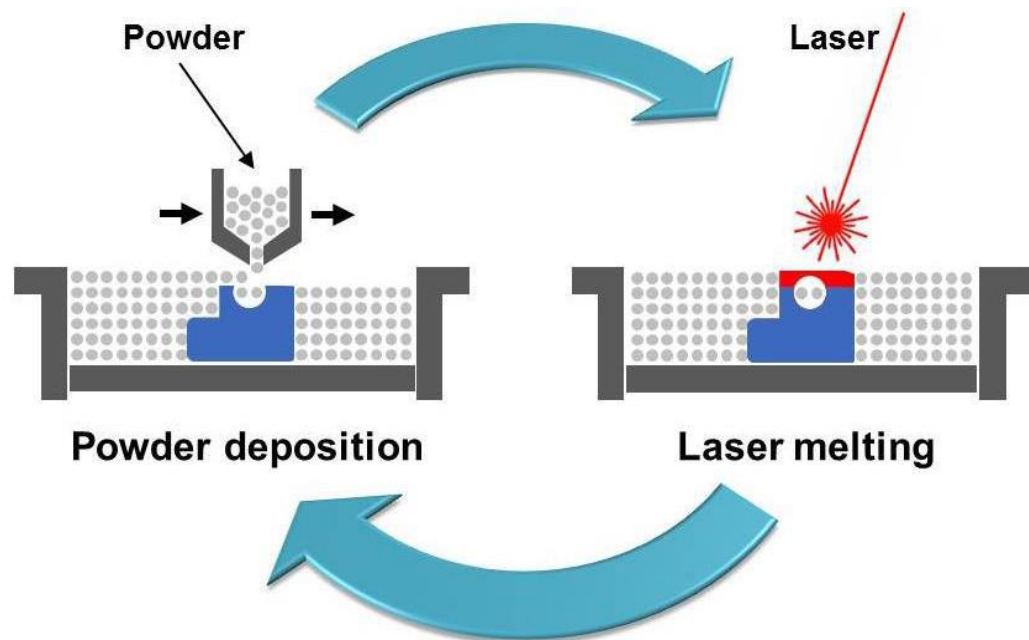
(...nur ganz kurz...)

# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

106

## Technologien: L-PBF (3D-Druck aus dem Pulverbett)

- Prinzip des Laserstrahlschmelzens
  - Metallisches Pulver wird Schicht für Schicht aufgetragen
  - Flächen des finalen Volumens werden mit Laserstrahl verschmolzen



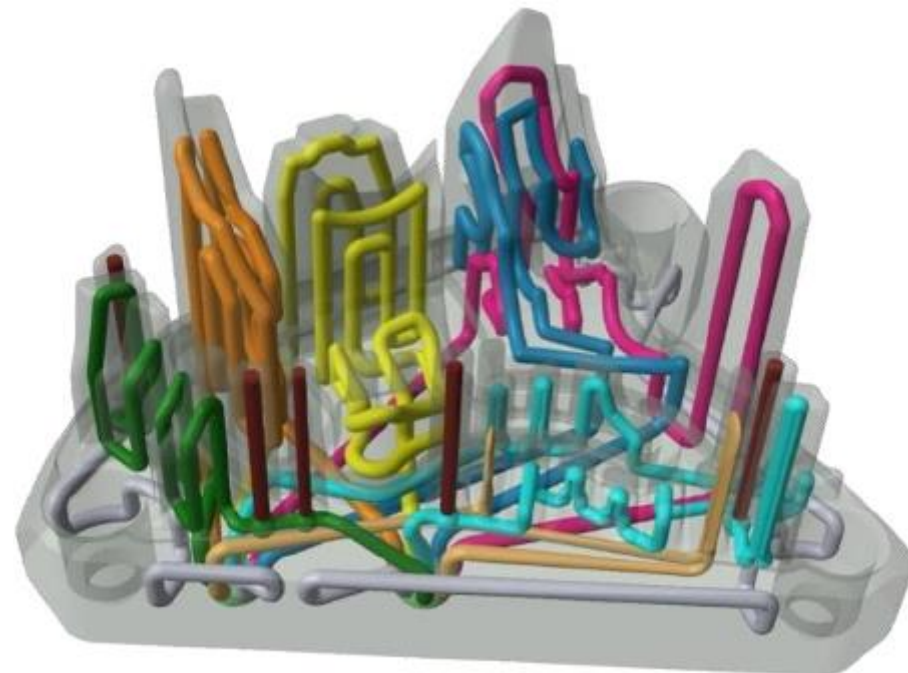
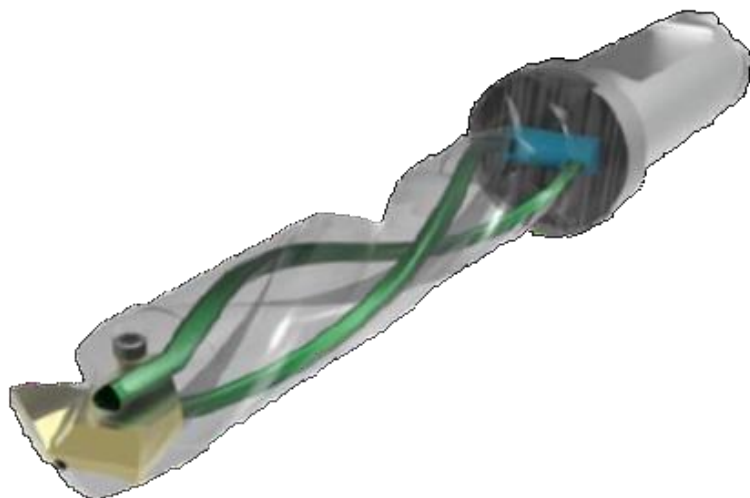
# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## L-PBF (3D-Druck aus dem Pulverbett)

107

### ■ Vorteile

- Strukturelle Komplexität
  - Leichtbau
  - Topologieoptimierung
  - Funktionsintegration
    - z.B. integrierte Kühlkanäle



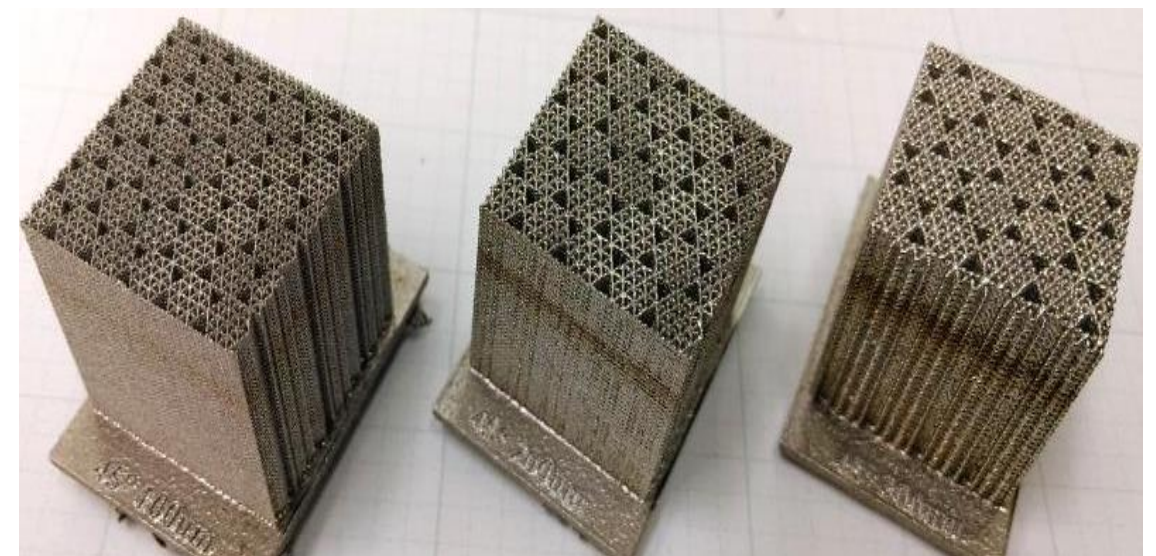
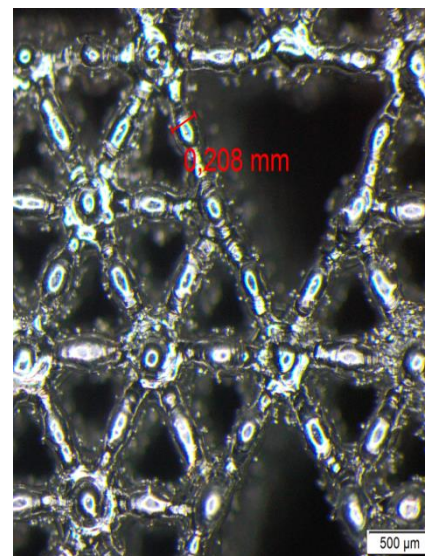
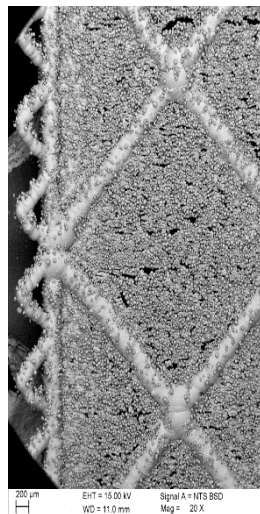
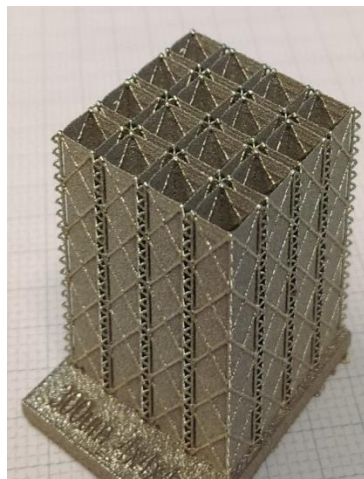
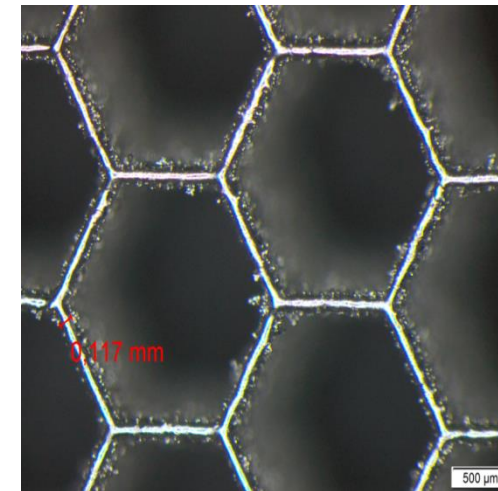
# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## L-PBF (3D-Druck aus dem Pulverbett)

108

### Beispiele

- Funktionelle Gitterstrukturen
  - Katalysatoren
  - Vibrationsdämpfung
  - Strukturen für Knochenimplantate

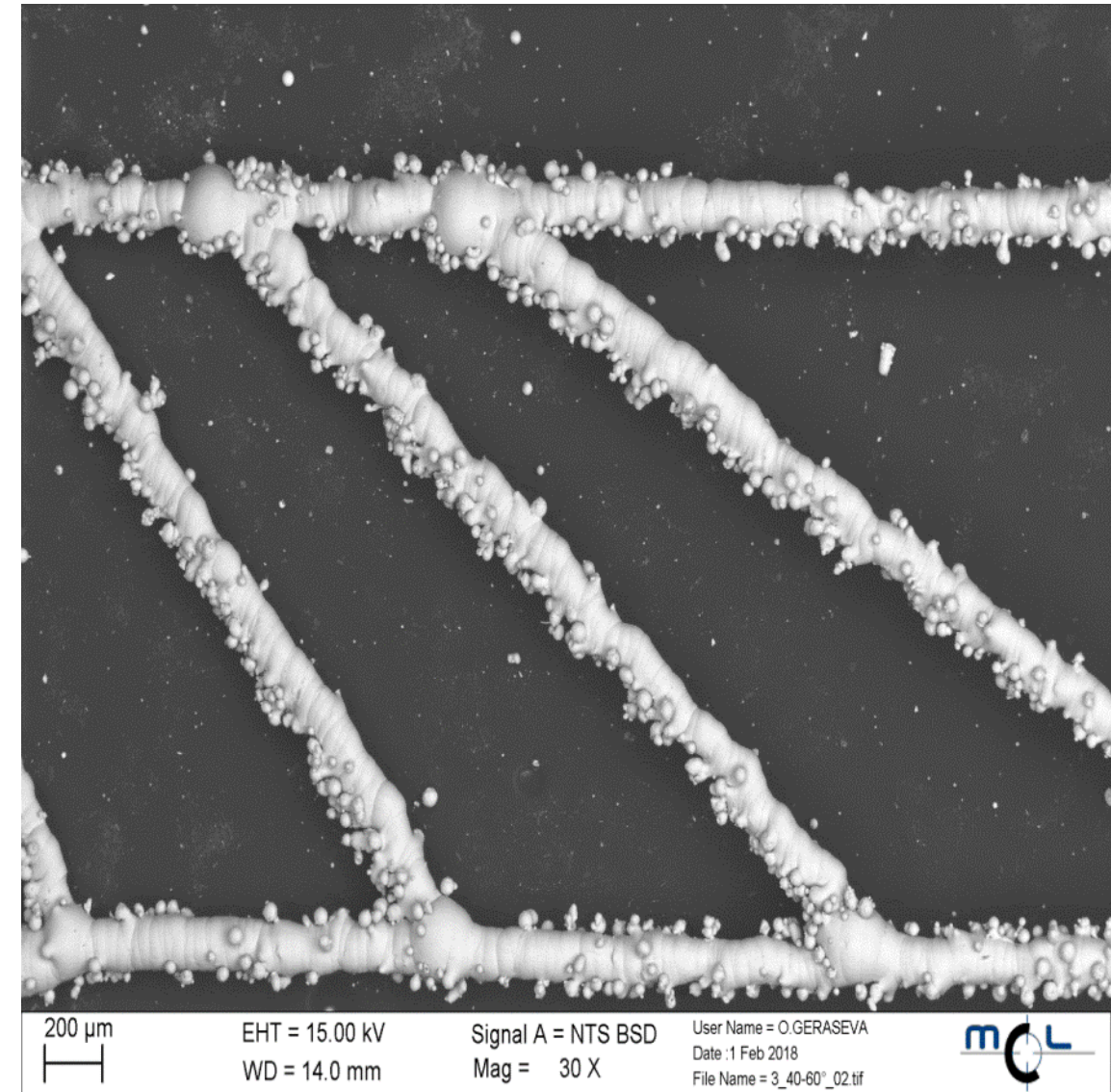


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## L-PBF (3D-Druck aus dem Pulverbett)

109

### ■ Feinste Strukturen

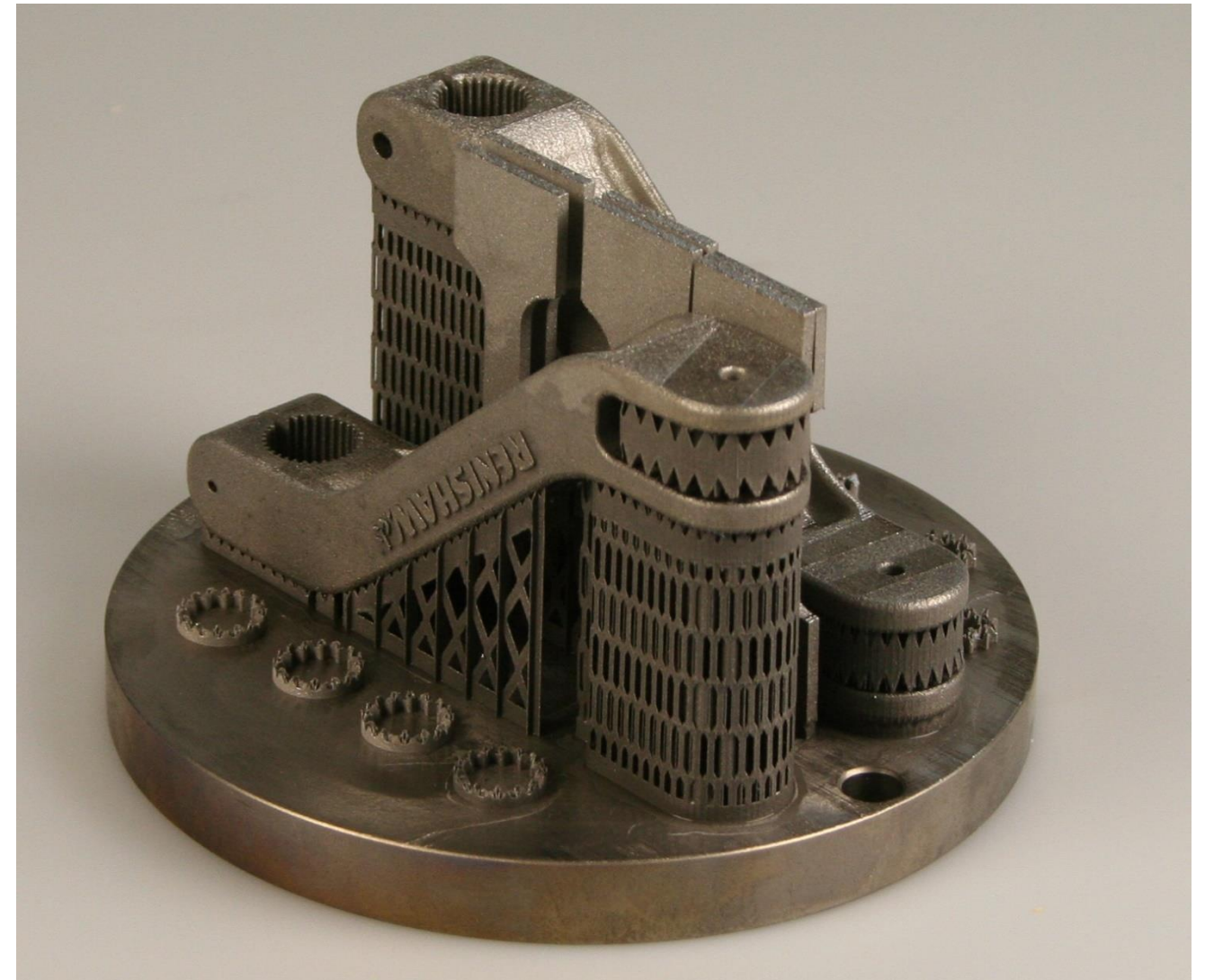


# Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

## L-PBF (3D-Druck aus dem Pulverbett)

110

- Nachbehandlung
  - Oberflächen/Bohrungen/Gewinde
  - Entfernung Stützstrukturen
  - Wärmebehandlung



# **Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung**

## **L-PBF (3D-Druck aus dem Pulverbett) - der Teufel steckt im Detail...**

111

- Bauteilqualität
  - Anisotropie/Richtungsabhängigkeit
  - Oberflächenrauheit/Stufeneffekt
  - Maßgenauigkeit/Verzug
- AM Knowhow
  - Additive Konstruktion
  - Auslegung Stützstrukturen
- Hohe Produktionskosten
  - Materialkosten/Maschinenzeiten
  - Nach- und Vorbereitung Druckjob
- Nachbehandlung
  - Oberflächen/Bohrungen/Gewinde
  - Entfernung Stützstrukturen
  - Wärmebehandlung
- Begrenzte Materialauswahl
  - Rissbildung
  - Lizenzen oder Parameterstudien
  - Versprödung durch Wärmeeinbringung
- Gesundheits- und Sicherheitsrisiko

# Additive manufacturing

## Variety of SLM and LMD names

- SLM (Selective Laser Melting) is a trademarked name by *SLM Solutions Group AG*
- LBM (Laser Beam Melting)
- Other names:
  - SLS (Selective Laser Sintering)
  - DMLS (Direct Metal Laser Sintering)
  - 3D Metal Printing
  - LaserCUSING (trademarked name by *Concept Laser GmbH*)
  - ...

- LMD (Laser Metal Deposition)
- Other names:
  - DLM (Direct Laser Melting)
  - DMD (Direct Metal Deposition)
  - DLD (Direct Laser Deposition)
  - LENS (Laser Engineered Net Shape)
  - 3D Laser Cladding
  - ...



...confusing and even inconsistent

According to ISO:

- L-PBF
- Laser Powder Bed Fusion
- L-DED
- Laser Directed Energy Deposition



---

## *...and weird things may happen due to incorrect terms...*

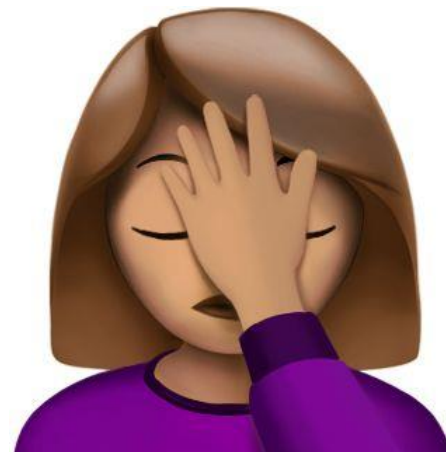
Because of the term „3D printing“ the field of additive manufacturing has originally been assigned to the „paper and printing“ division of the *German Mechanical Engineering Industry Association (VDMA, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) !!!*

Source:

*Verfahren im Überblick*

***Additive Fertigung (No. 3, Oct. 2017, p. 24-25)***

published by *x-technik IT & Medien GmbH*

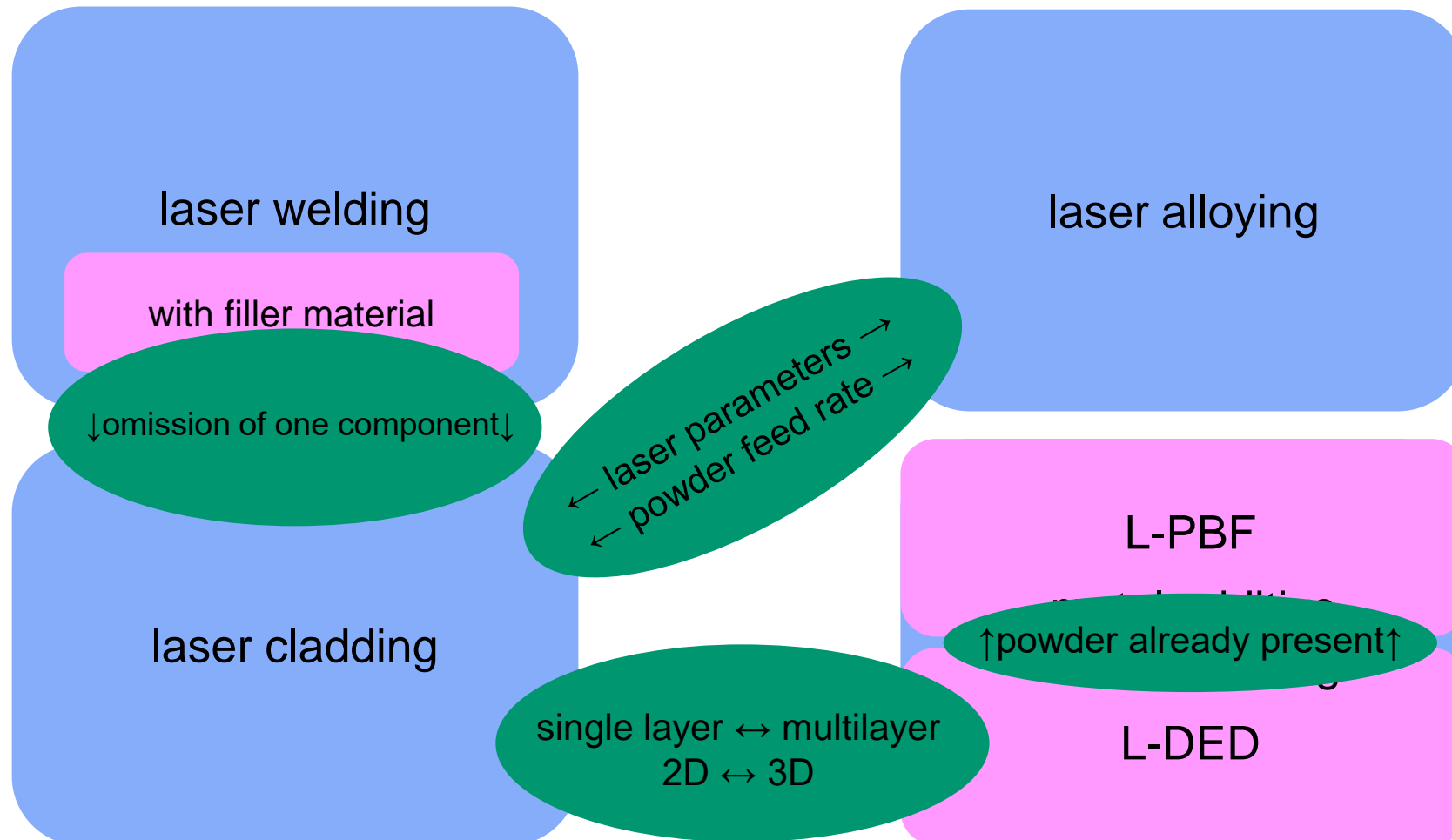


## Vergleich L-DED vs. L-PBF

Kriterium	L-DED	L-PBF
Auflösung, Genauigkeit, Rauheit	≈ 0,5 mm	< 0,05 mm
Geometrische Komplexität	eingeschränkt	(nahezu) uneingeschränkt
Baugröße	Anlage	Prozesskammer
Grundfläche	(nahezu) beliebige Oberfläche	horizontale ebene Oberfläche
Baurate	> 10 cm <sup>3</sup> /min	<< 1 cm <sup>3</sup> /min
Unterbrechungen	möglich	kompliziert und riskant
Materialkombinationen	möglich	(nahezu) unmöglich
Materialauswahl	sehr hoch	derzeit begrenzt
Pulverhandhabung (Nachfüllung, Wechsel)	leicht	kompliziert und zeitaufwändig
Pulvergefahren	keine	giftig, oft selbstentzündlich

- L-DED und L-PBF stehen nicht wirklich in Konkurrenz zueinander!

# ...es ist immer wieder Schweißen, Schweißen und nochmal Schweißen...



*Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!*

JOANNEUM RESEARCH  
Forschungsgesellschaft mbH

MATERIALS –  
Institut für Sensorik, Photonik und Fertigungstechnologien

Leobner Straße 94a  
8712 Niklasdorf

Tel. +43 316 876-3304  
MATERIALSNiklasdorf-Sek@joanneum.at

[www.joanneum.at/materials](http://www.joanneum.at/materials)

