

*Modul 3:
Tools in der Produktion -
Ausgewählte Technologien der
Lasermaterialbearbeitung*

29.03.2023

Vortragender:

Dr. Richard Görgl

JR-MATERIALS

Laser- und Plasmatechnologien

richard.goergl@joanneum.at

+43 (0) 316 876 3319

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

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

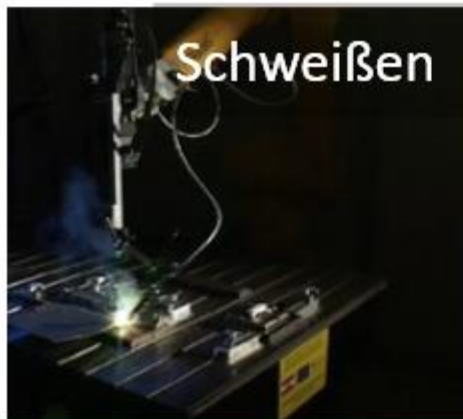
Sensoren und
Funktionales Drucken
Jan Hesse

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**



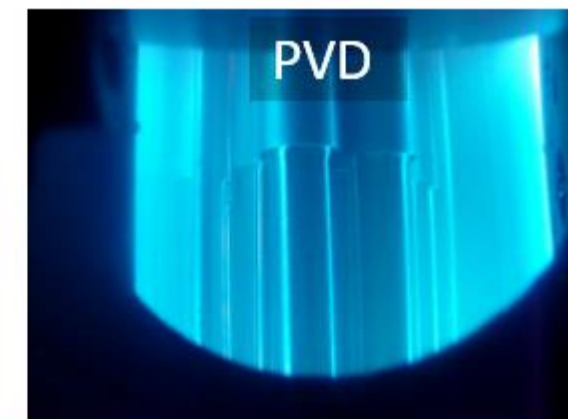
Additive Manufacturing

- **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, 6 kW, 8 kW) *Trumpf*
 - minimum stable power \approx 100 W
- ... a fourth laser to come soon

■ Optics

- Different laser heads with various focal lengths
 - beam focusing range 50 μ 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)

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

- TruPrint 1000
- EOS M280
- SamyLab (to come in May 2023)

■ Peripherals

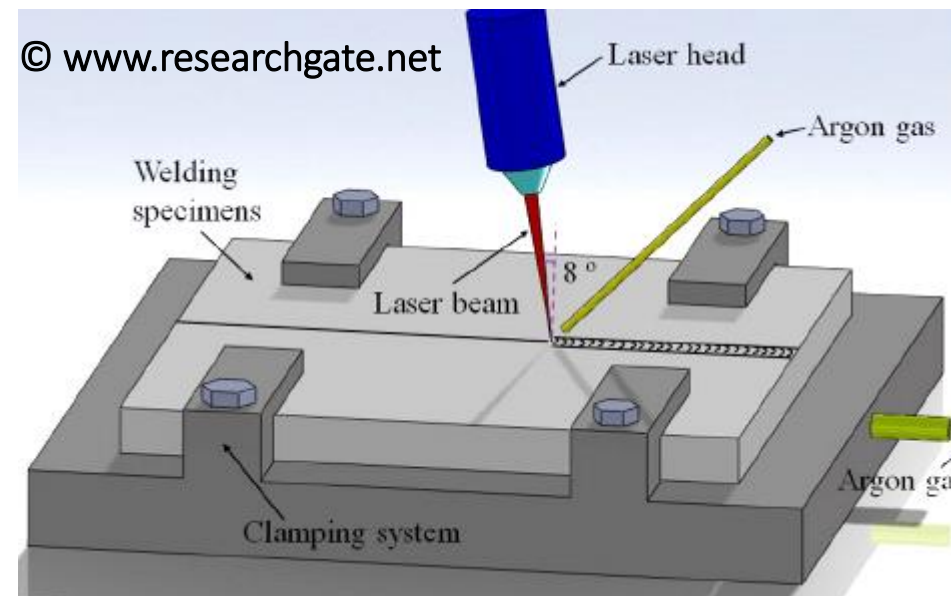
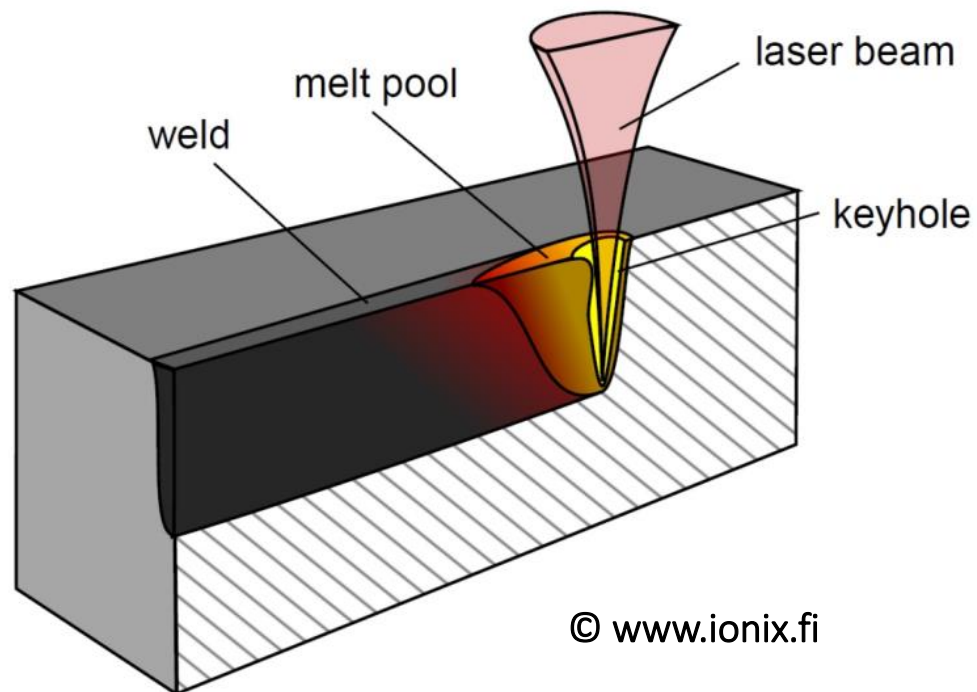
- Laser beam analysis devices
- Laser power monitors
- Metallography
- Light microscopy
- REM
- Hardness testing
- Fatigue testing
- X-ray fluorescence analysis
- Workshop

Laserschweißen

Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

Technologien: Laserschweißen

12



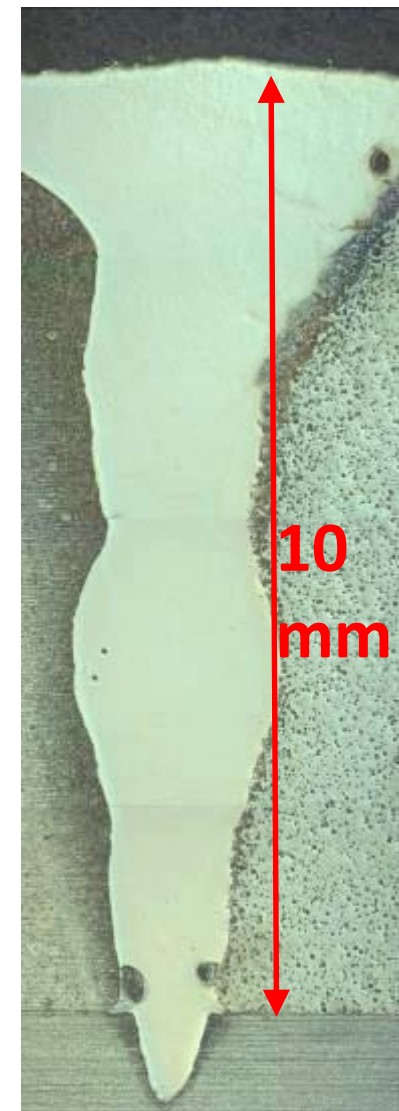
- Hohe Präzision
- Reproduzierbarkeit

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.

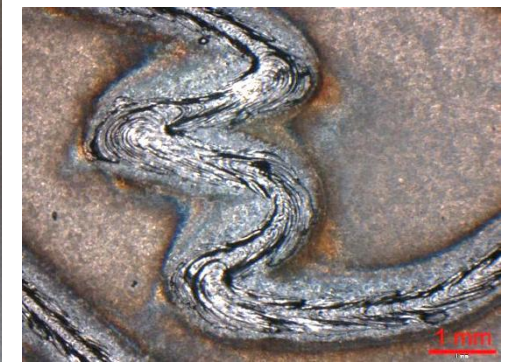
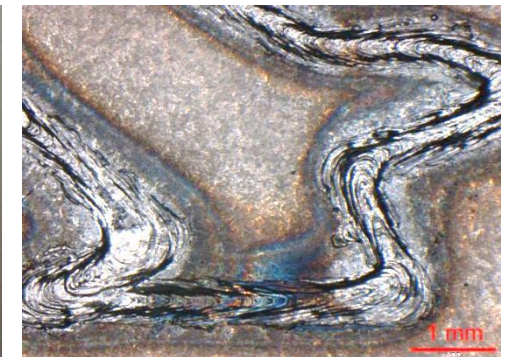


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

Laserschweißen - neue Optiken

16

- PFO (Programmable Focusing Optics, „Scanneroptik“)
- Komplexe homogene Schweißnähte bei extrem hohen Geschwindigkeiten und Richtungsänderungen möglich

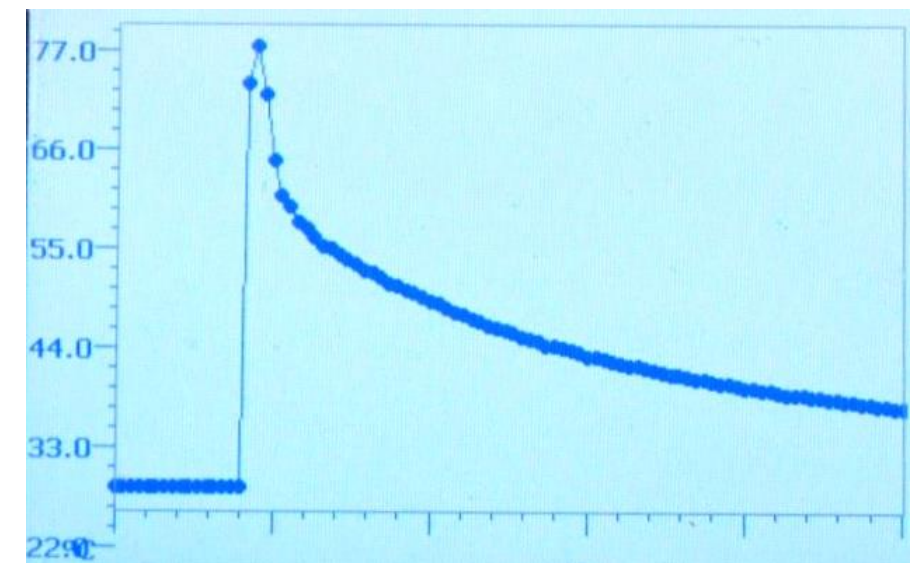
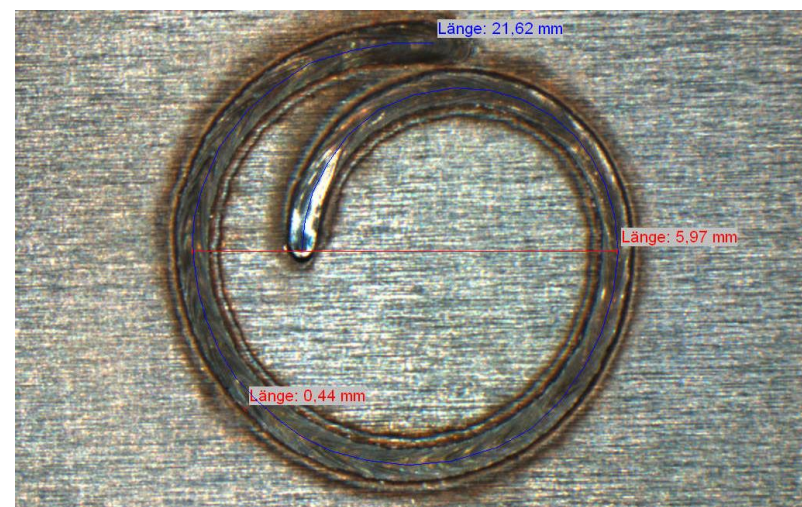
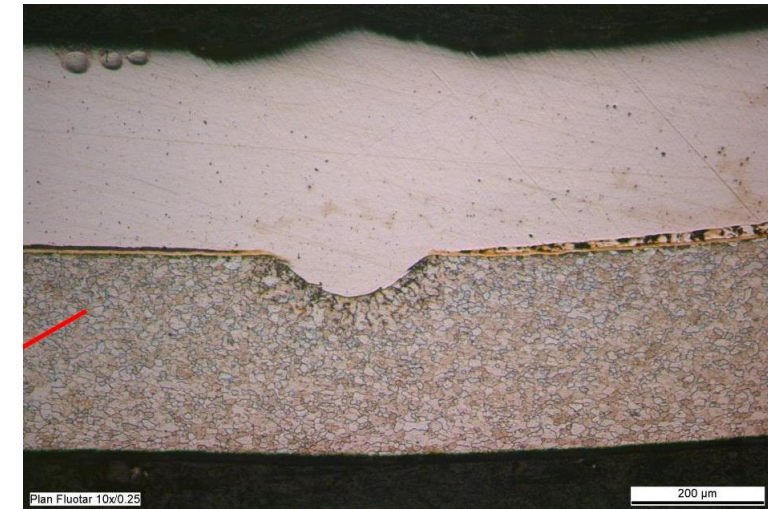


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

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)

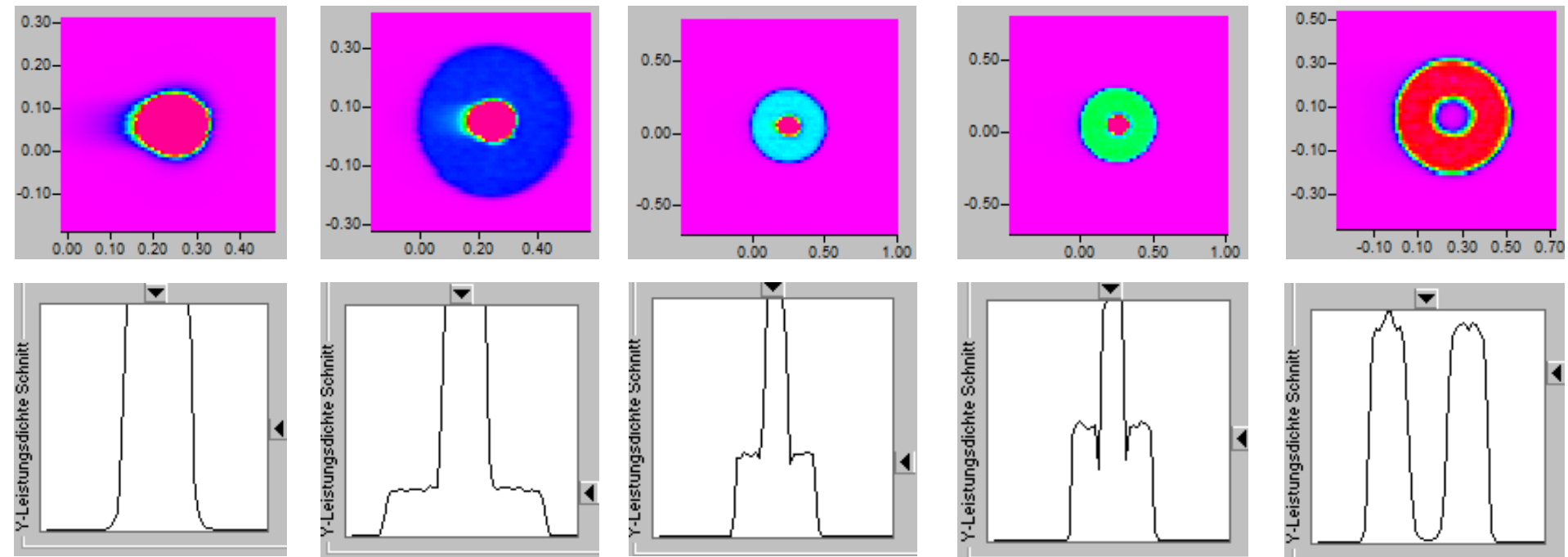
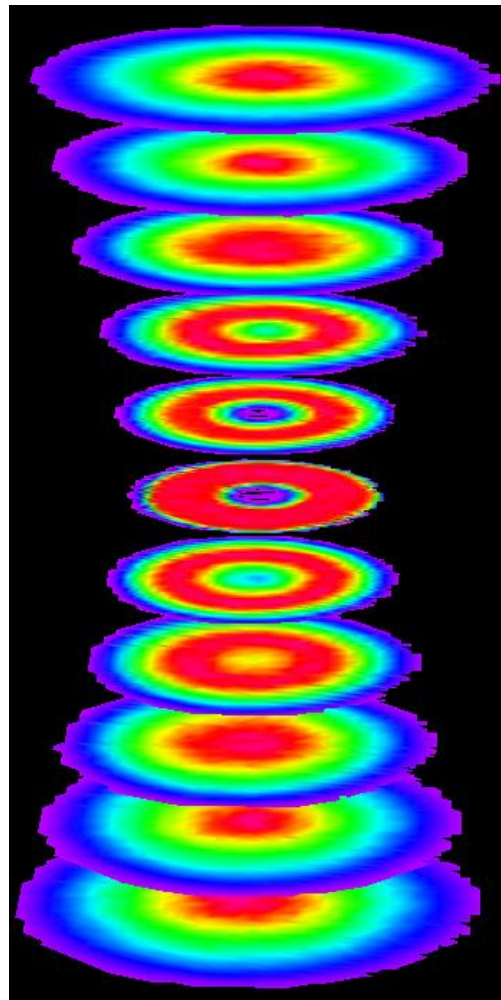


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

Laserschweißen - neue Optiken

18

- „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

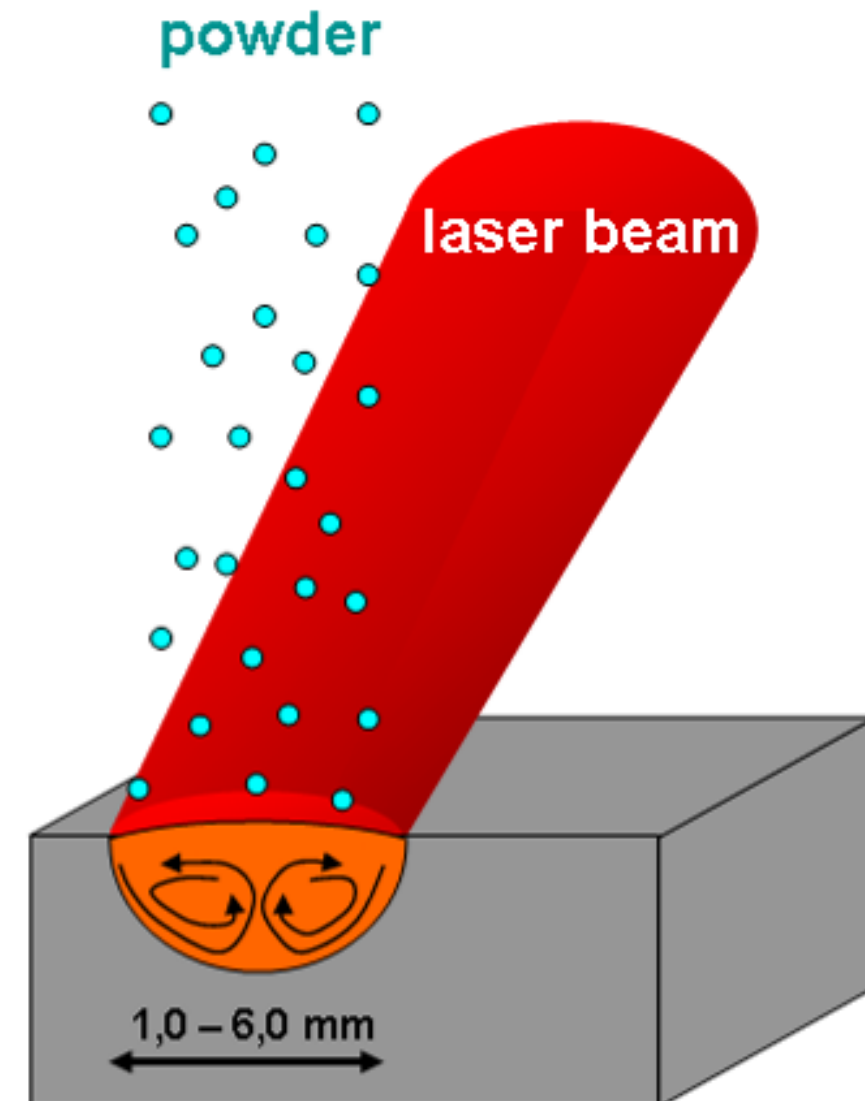
Laserlegieren

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

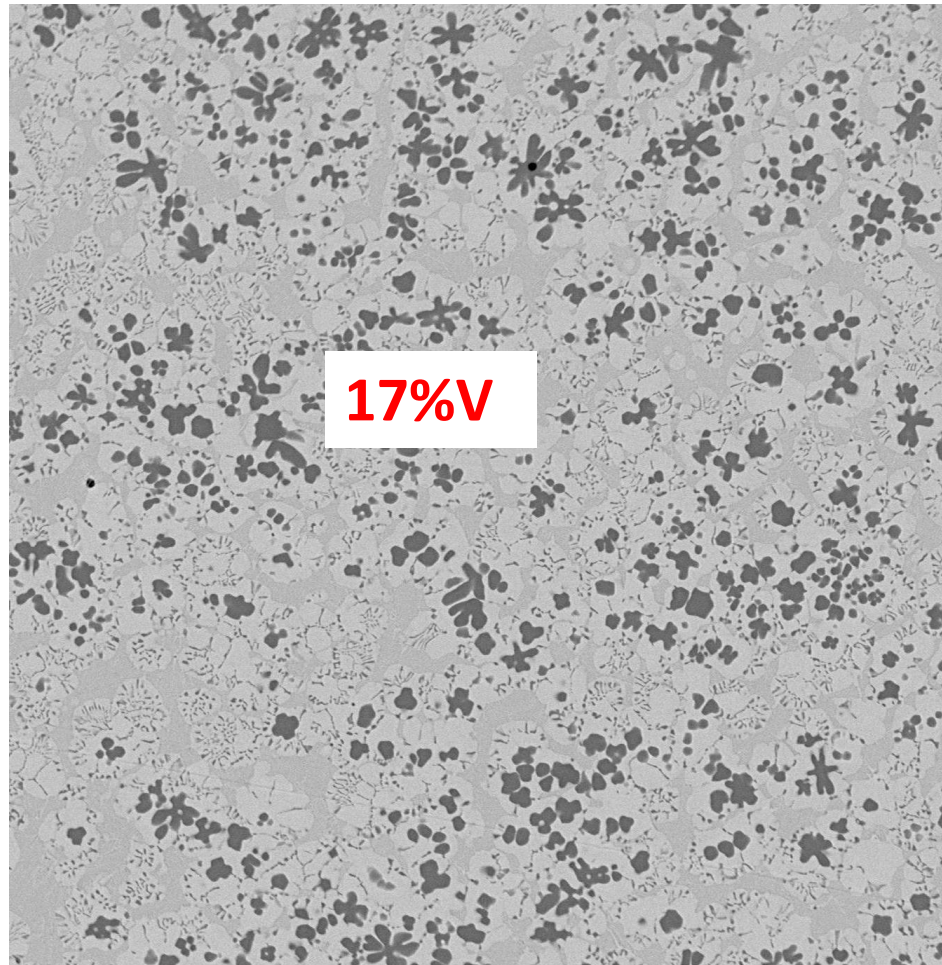


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

22

Laserlegieren - Rückstromsperrn 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**

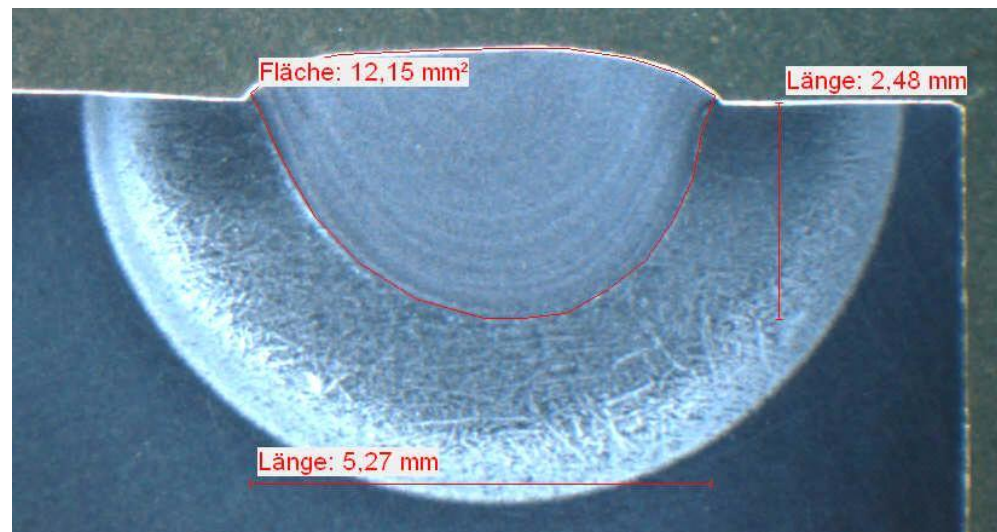
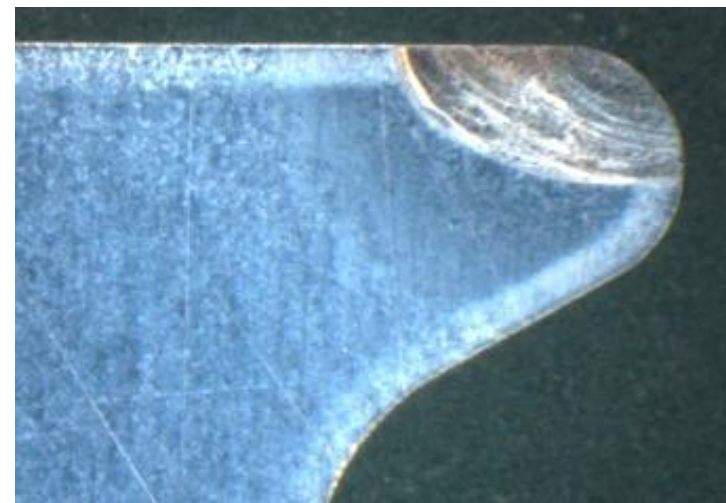
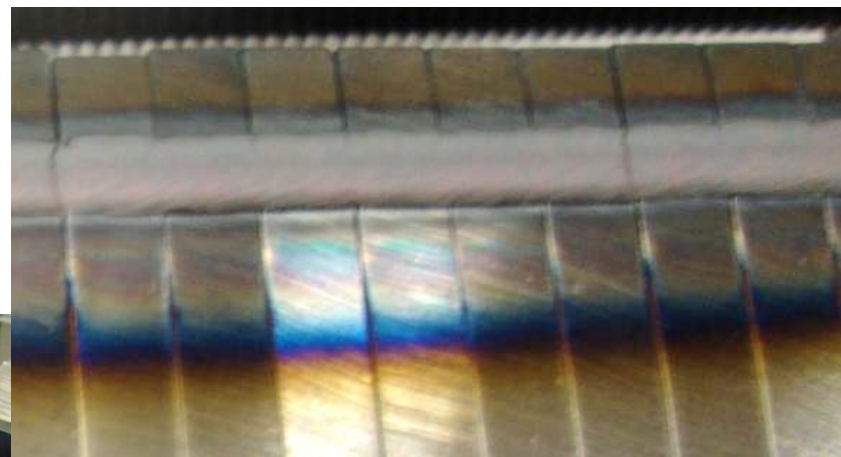


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

Laserlegieren - Biegesegmentkanten

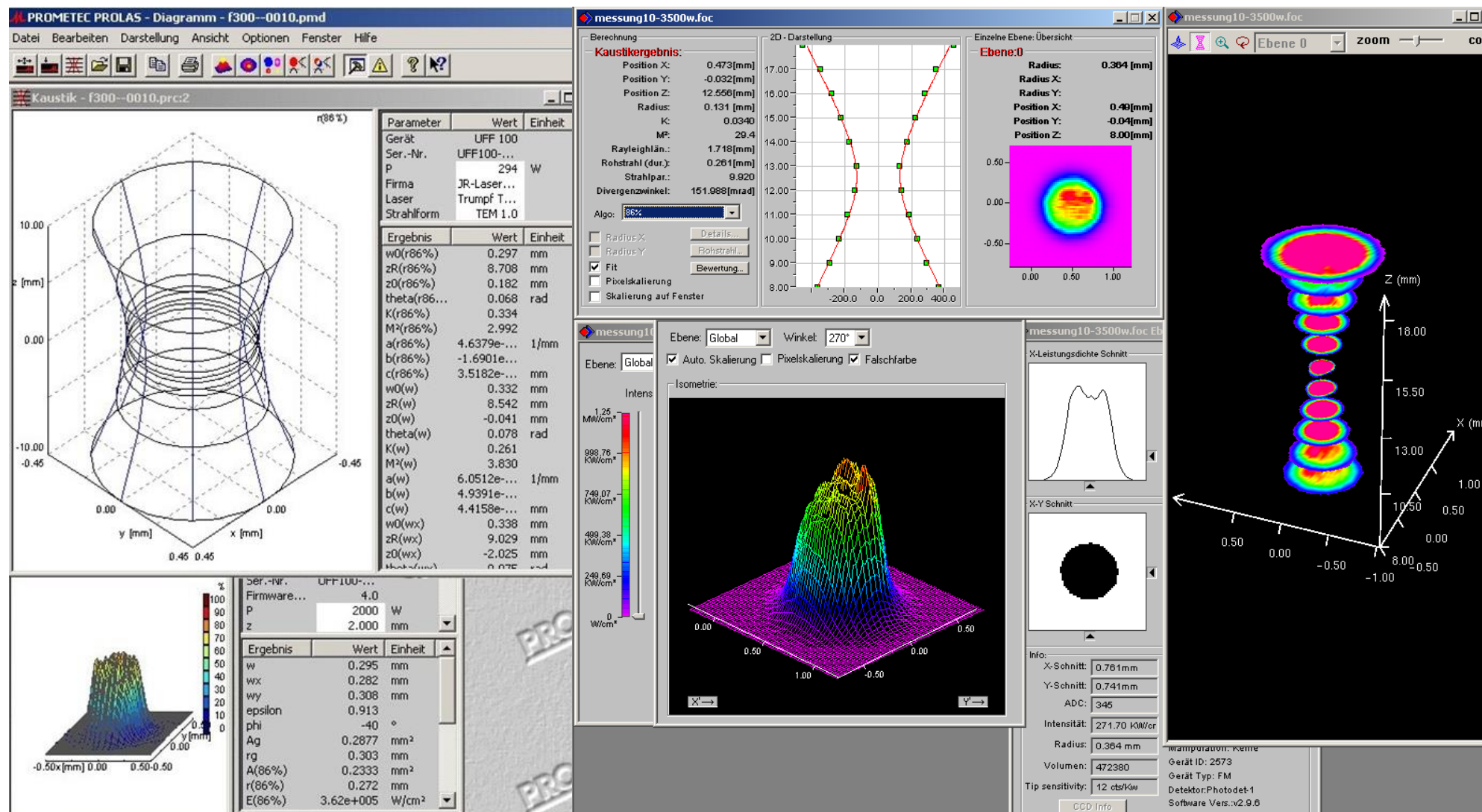
24

- Kanten von Biegesegmenten unterliegen extremsten Belastungen



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

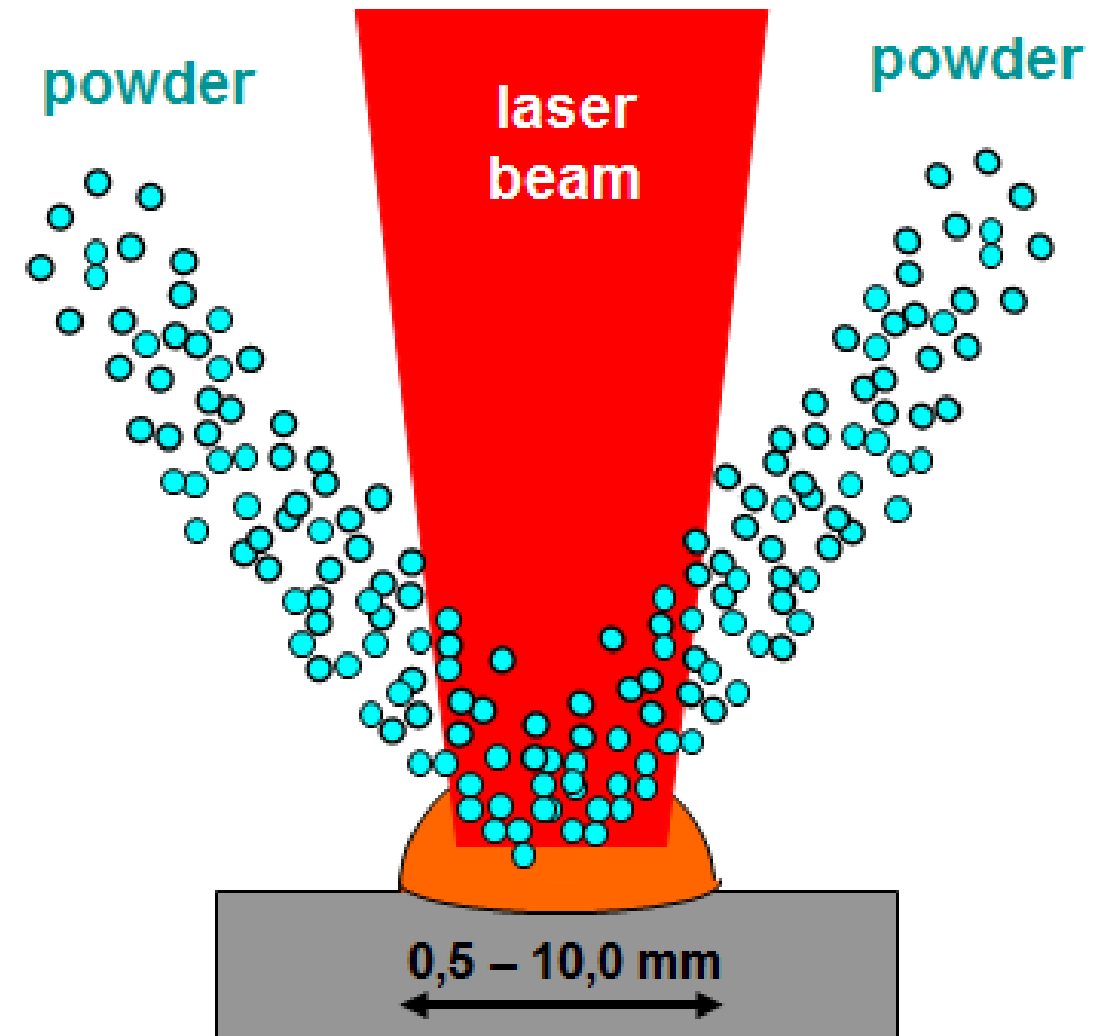
Laser Beam Analysis



Laserauftragschweißen

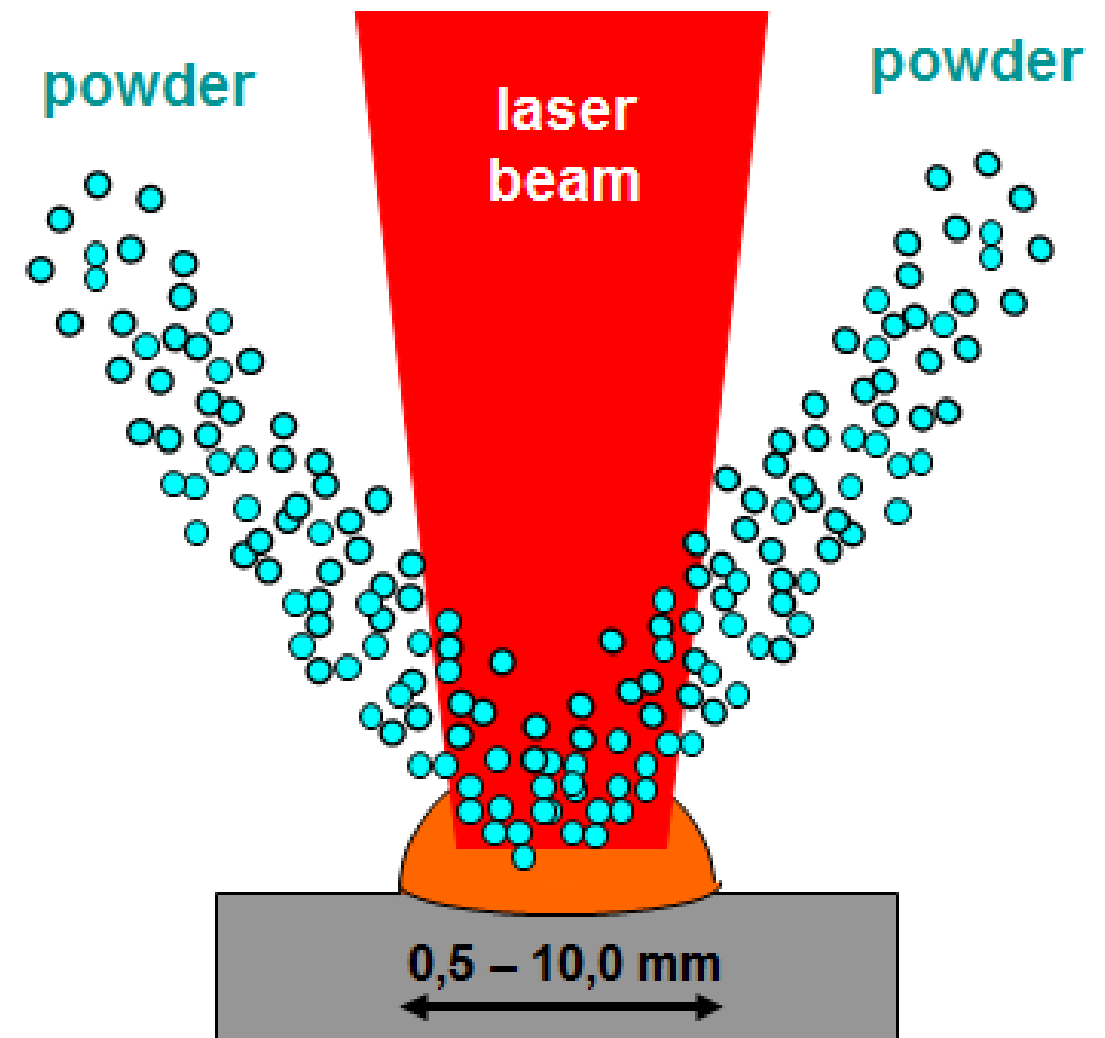
Laserauftragsschweißen - Prinzip

- 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

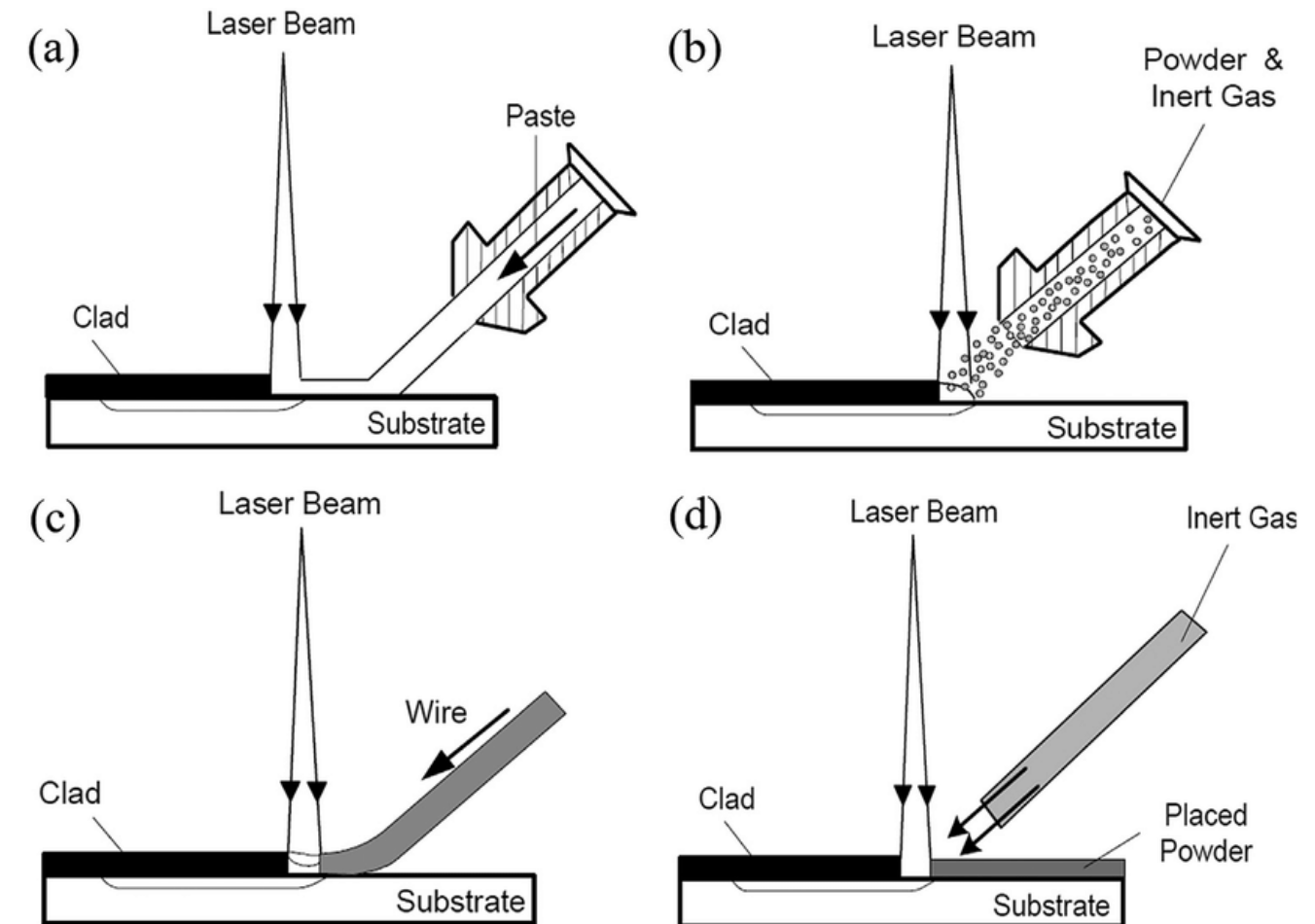
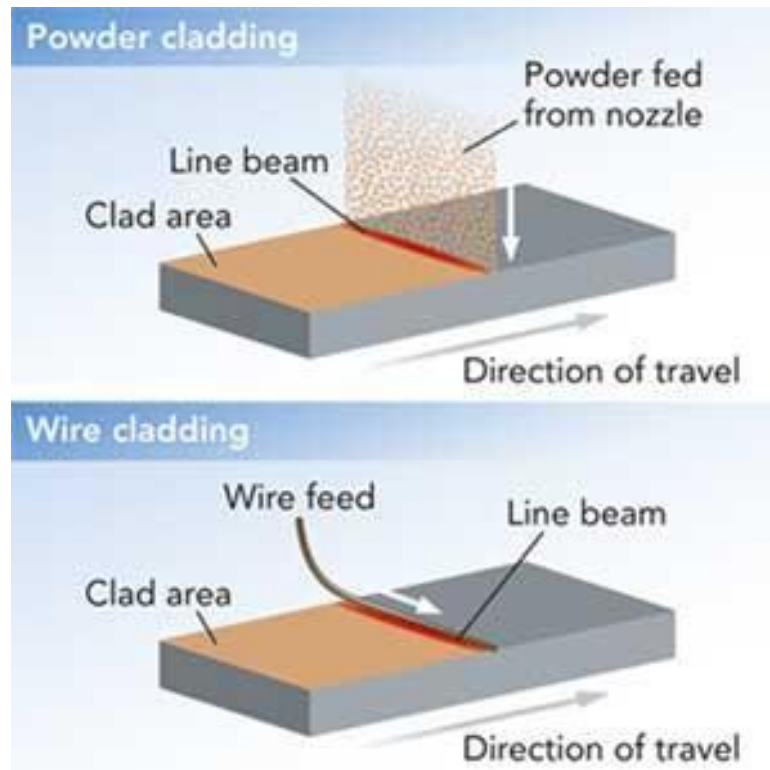
- Prozessparameter
 - Laserleistung
 - Fokussierung (Strahldurchmesser)
 - Pulverförderrate
 - Verfahrensgeschwindigkeit
 - Spurabstand
 - Schichtabstand



Laserauftragsschweißen - Prinzip

■ Was braucht man zum Laserauftragsschweißen?

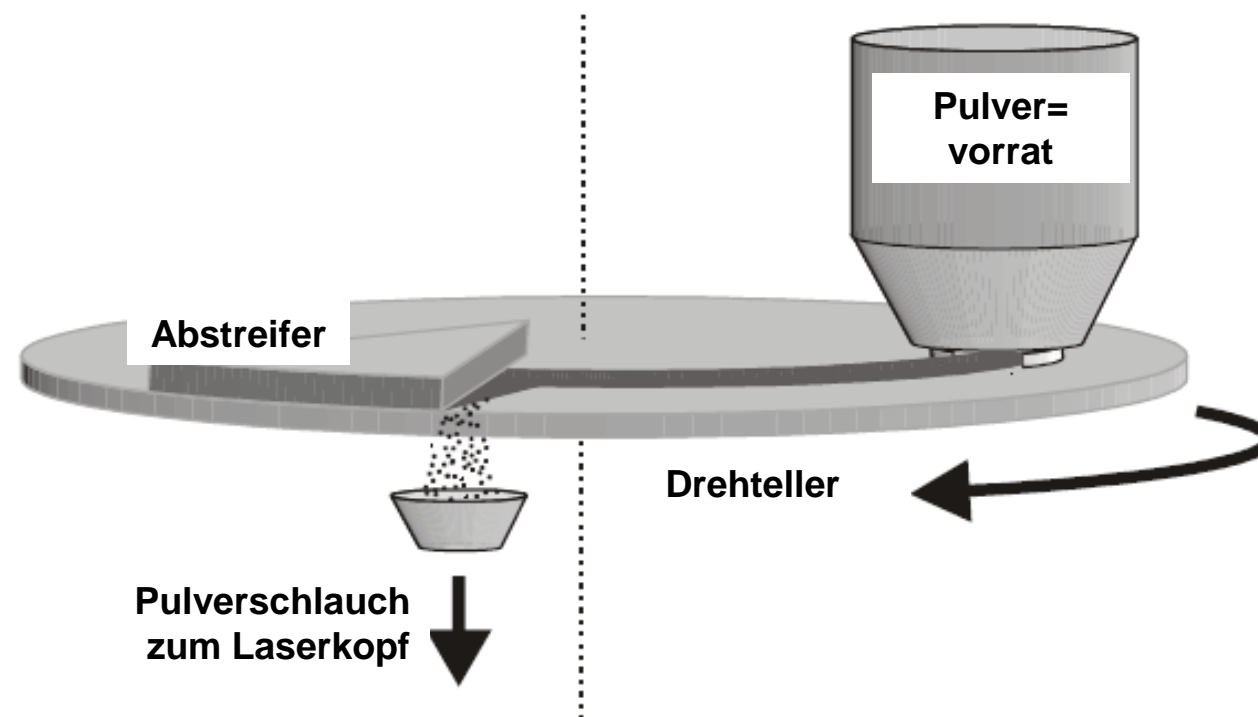
- Laserstrahl
- Material, welches aufgeschweißt wird
- Grundmaterial, worauf aufgeschweißt wird



Laserauftragsschweißen - Prinzip

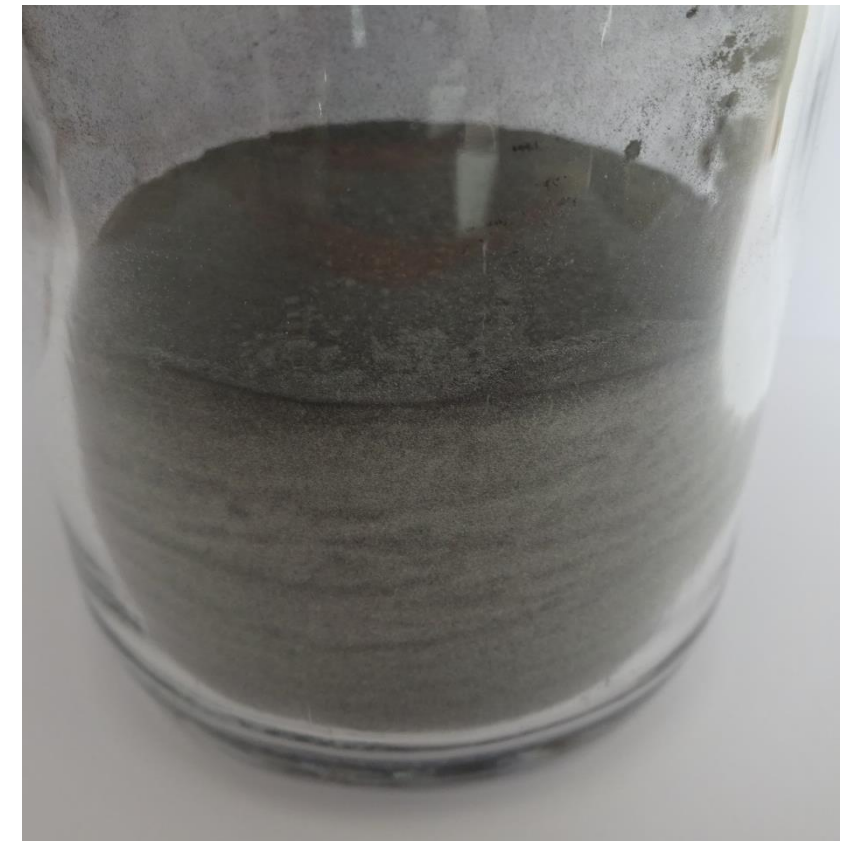
■ Pulverzufuhr

- 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

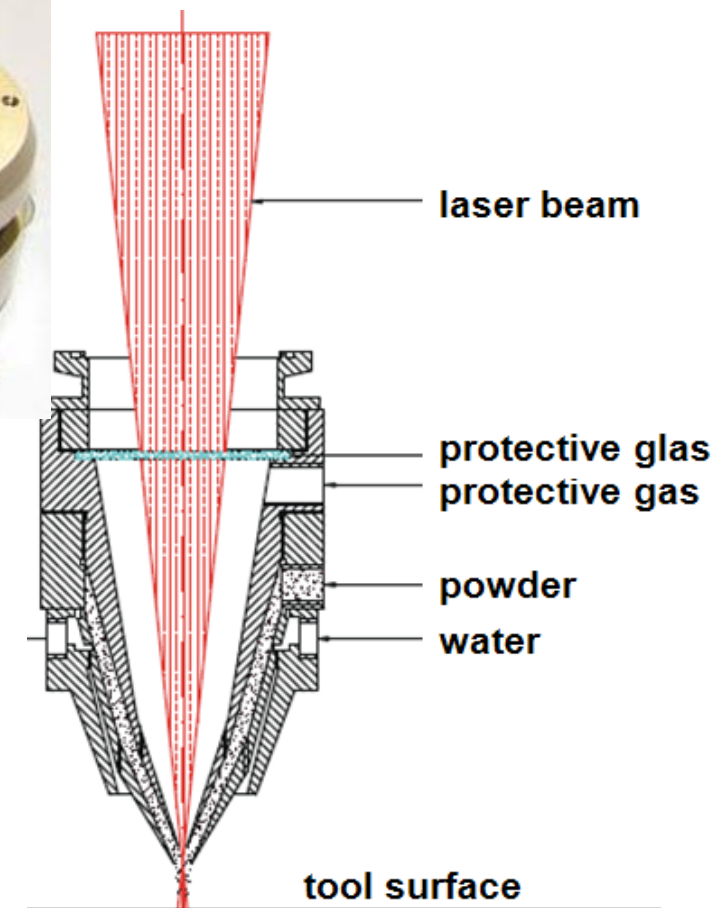
- koaxiale Düse
 - homogener Pulverstrom



3-Strahl-Düse



Ringdüse



Laserauftragsschweißen - Prinzip

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 (λ) 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)

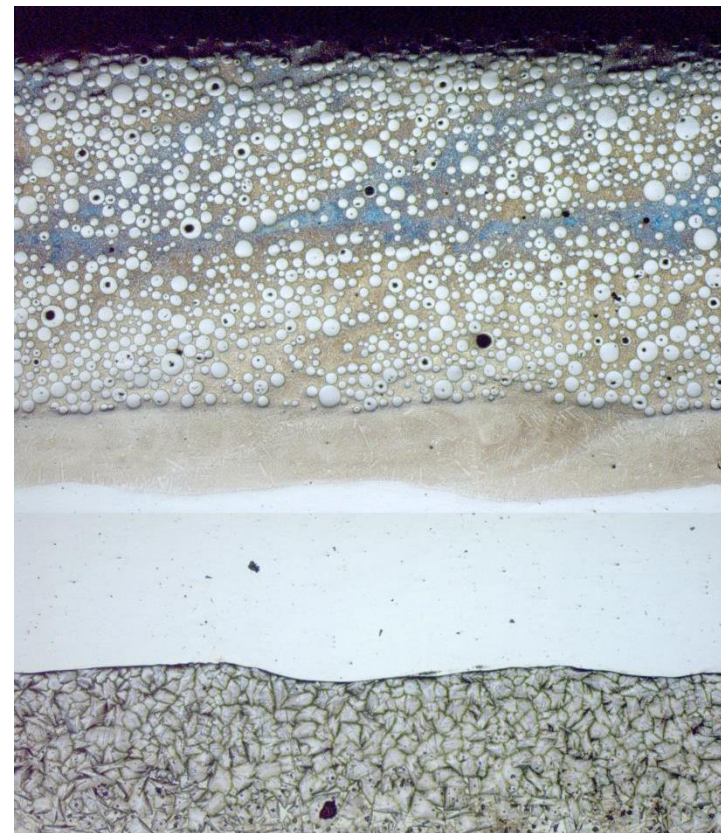
Laserauftragsschweißen - Prinzip

■ 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

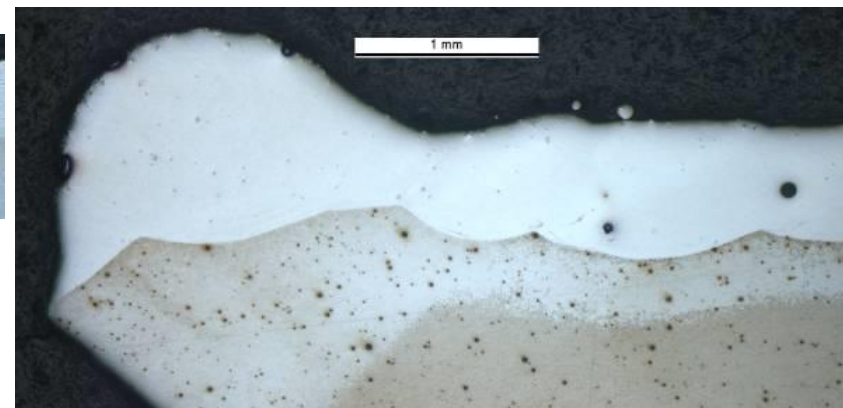
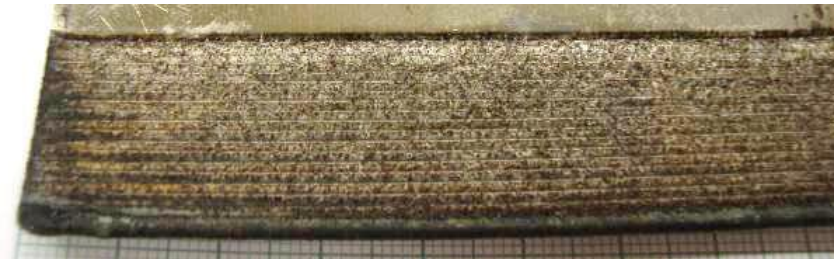
- Erstversuch mit konstanten Prozessparametern



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

- schmales Prozessfenster

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



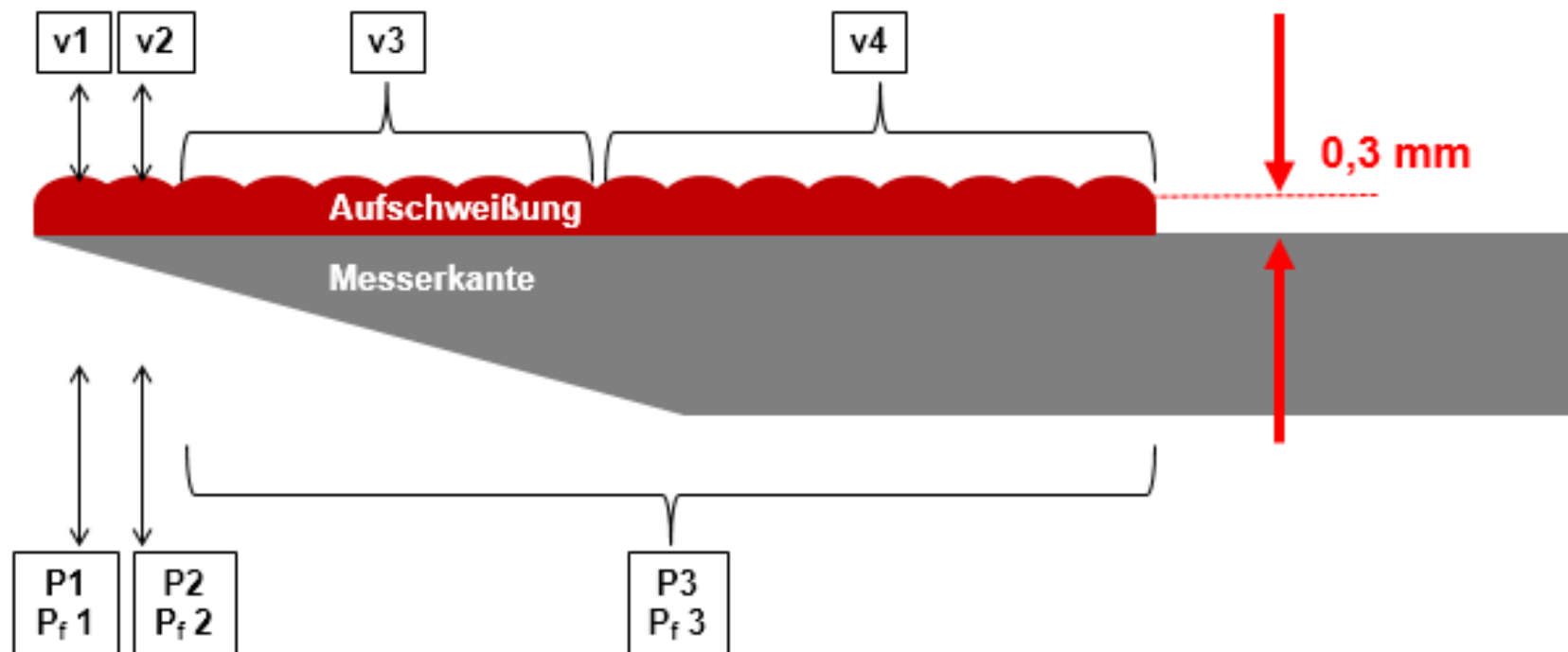
$P = 1390 \text{ W}$, $E_s = 836 \text{ J/cm}$
Aufschweißung sicher bis an die Kante
Kante angeschmolzen

Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Schneidmesser von Erntemaschinen

■ Lösung:

Bereiche mit unterschiedlichen Parametersätzen



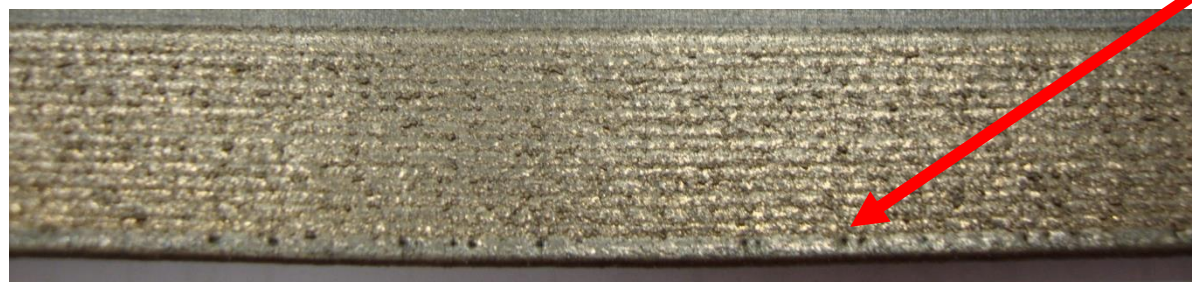
Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Schneidmesser von Erntemaschinen

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



- extrem schmales Prozessfenster



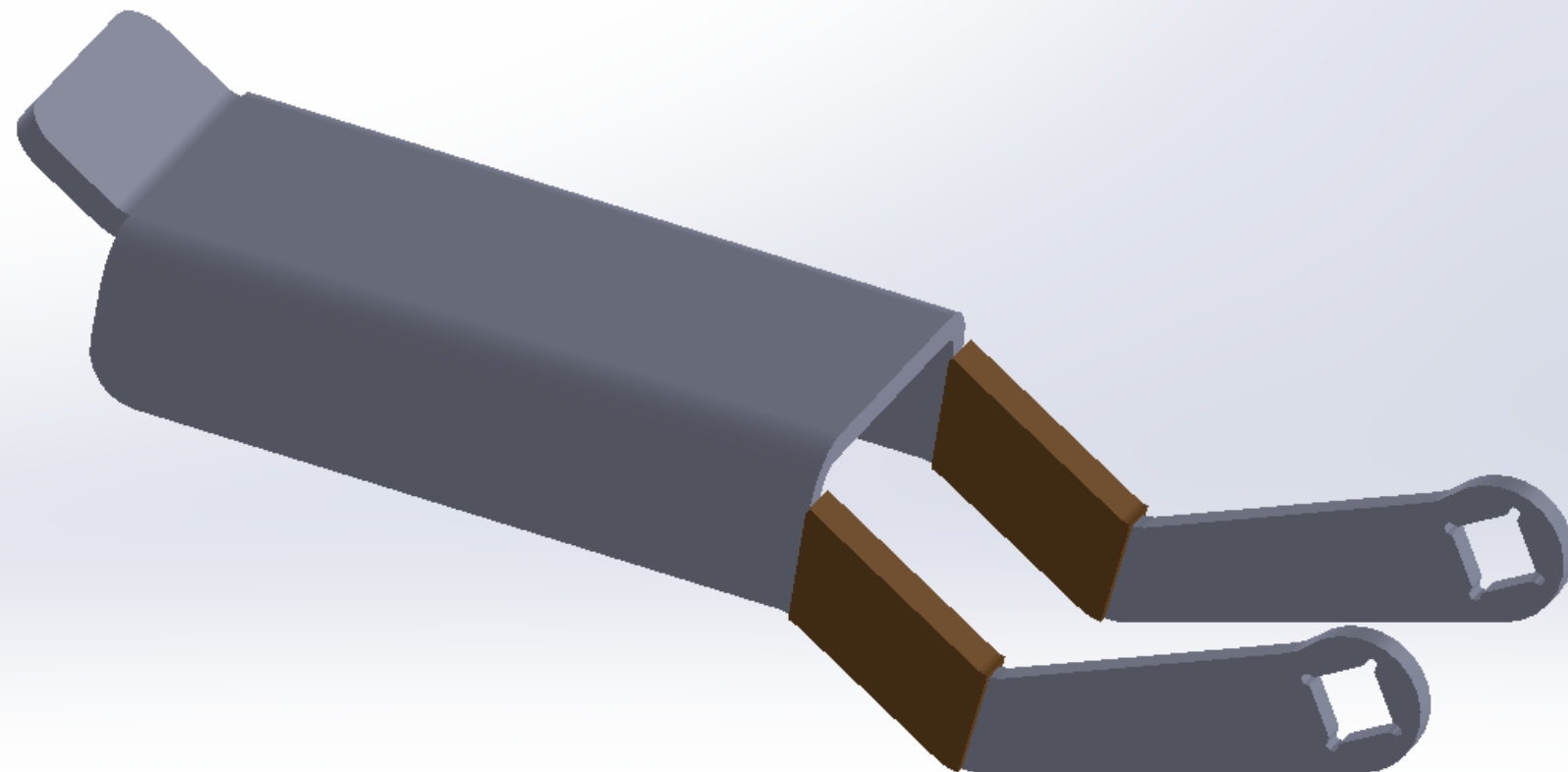
$\Delta P = 50 \text{ W}$
($P \approx 1300 \text{ W}$)

Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Überfüllsicherungshebel

Randbedingungen ...

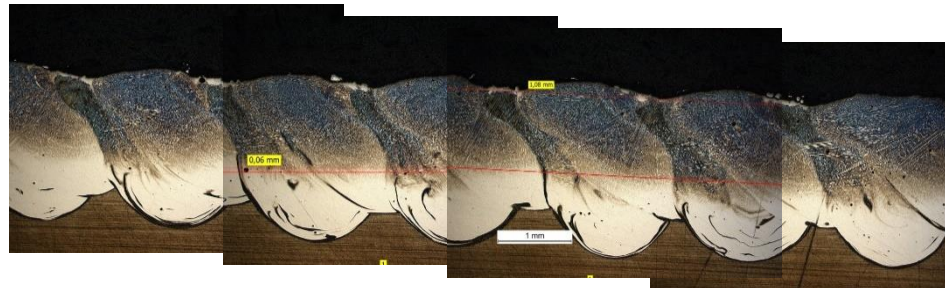
- Aufschweißung mit Inconel 625 (hochtemperaturbeständig)
- Blechstärke 5 mm
- Aufschweißung in einem Stück



Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Überfüllsicherungshebel

Prozesseinstellung und erste Versuche:



Prozesseinstellung auf Stahlplättchen



Versuch Nr. 1:
komplettes Durchschmelzen
des Bügels.

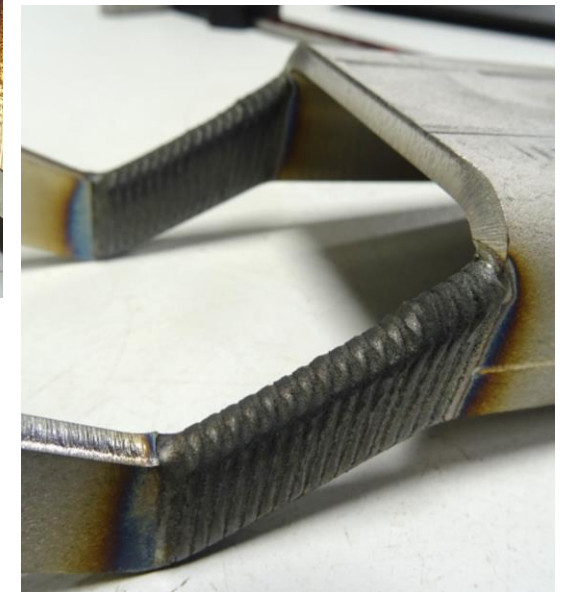
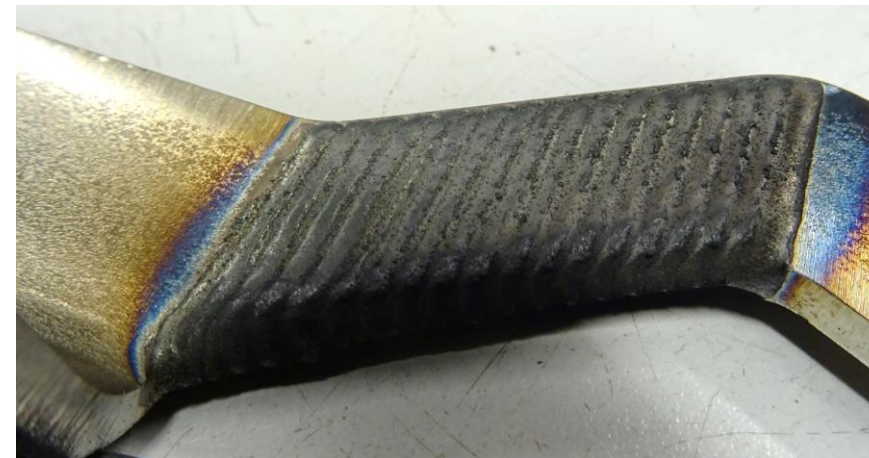


Versuch Nr. 2:
Anschmelzen des
Bügel

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)

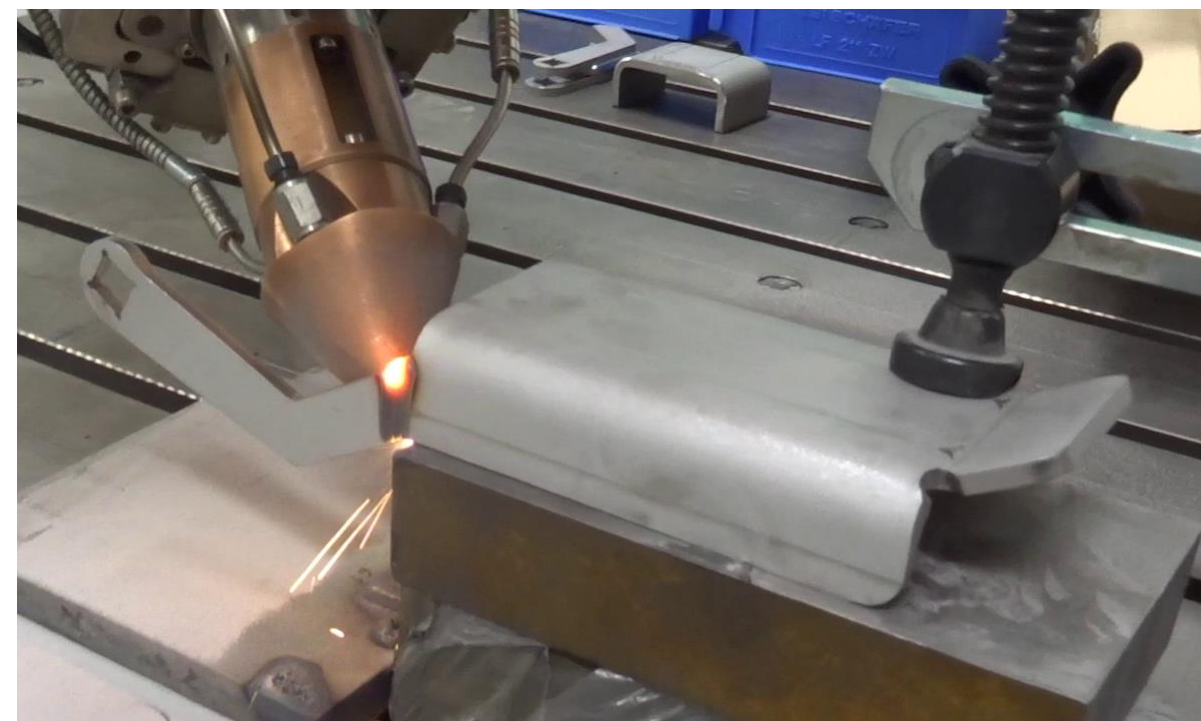
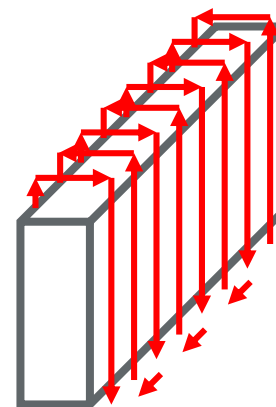
Überfüllsicherungshebel

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;
...

```

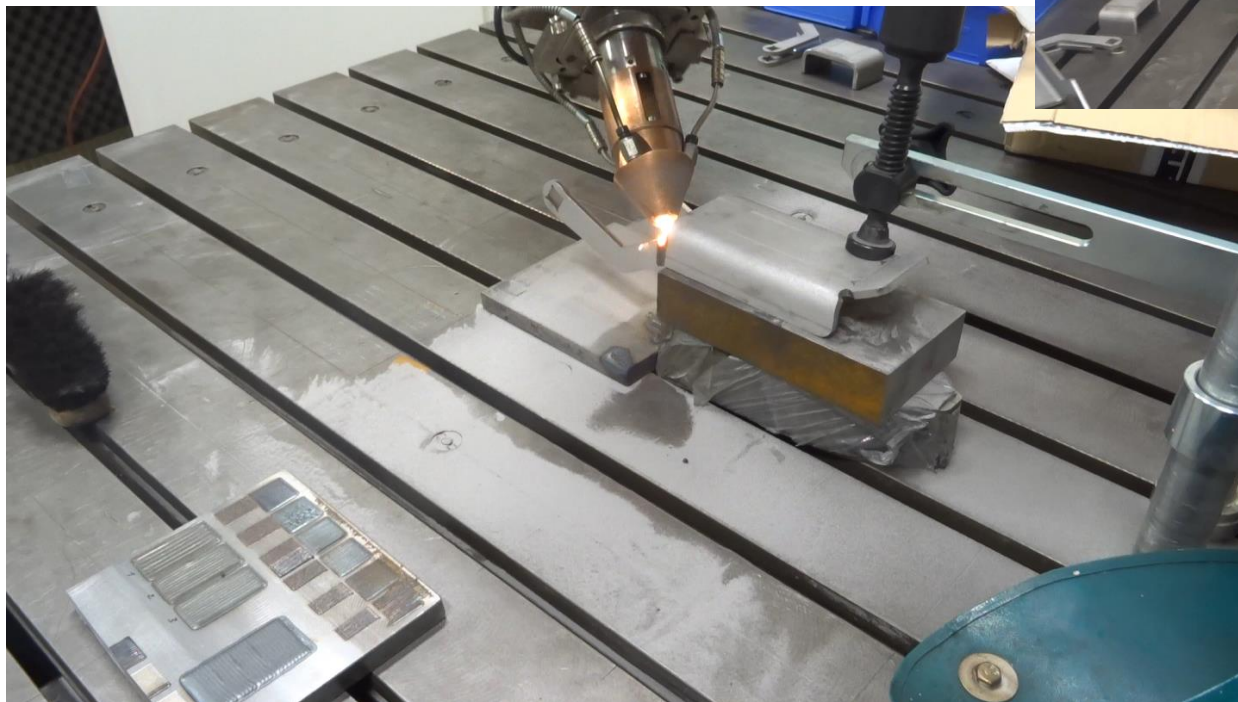
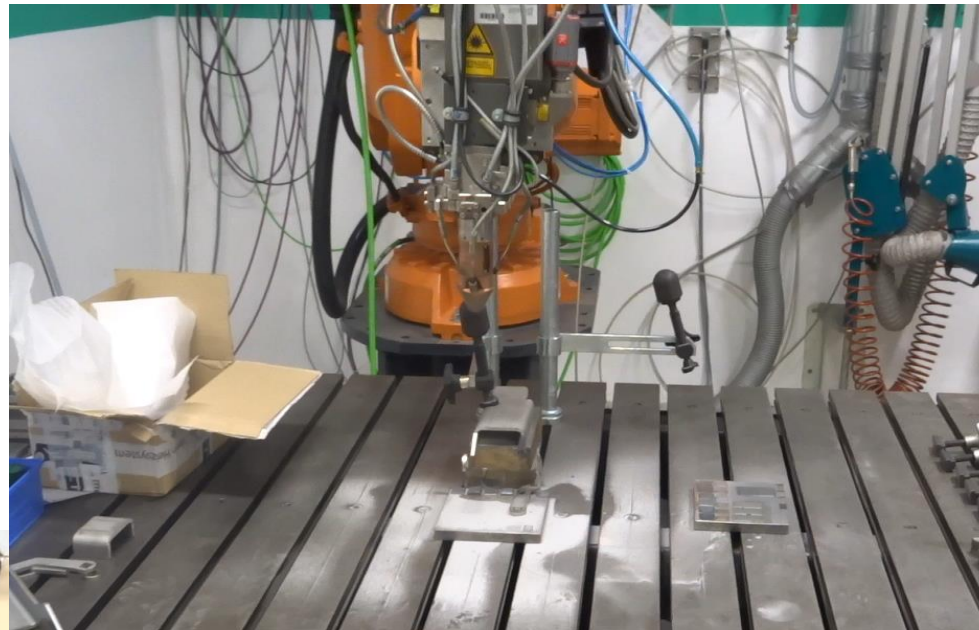


45

Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Überfüllsicherungshebel

Showtime ...

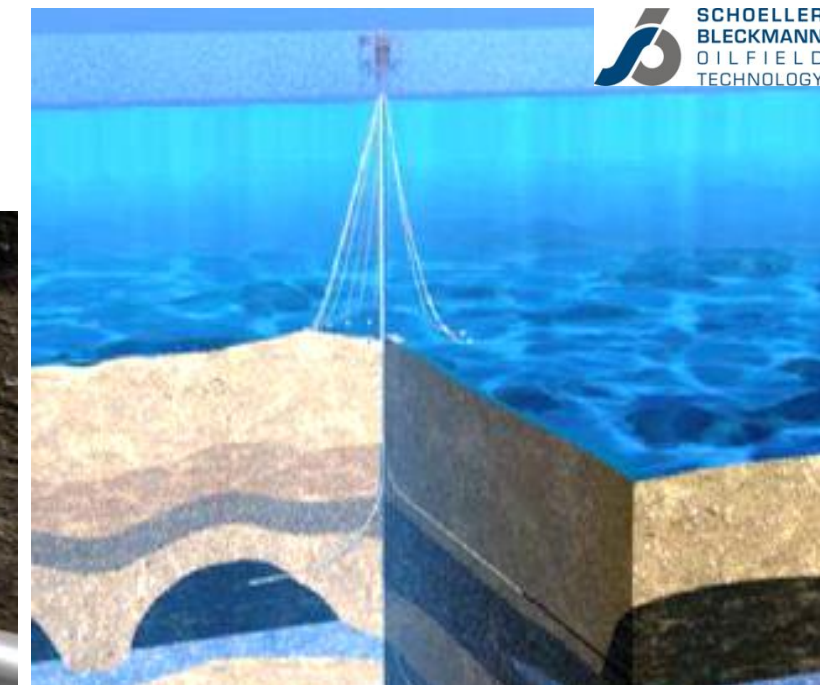
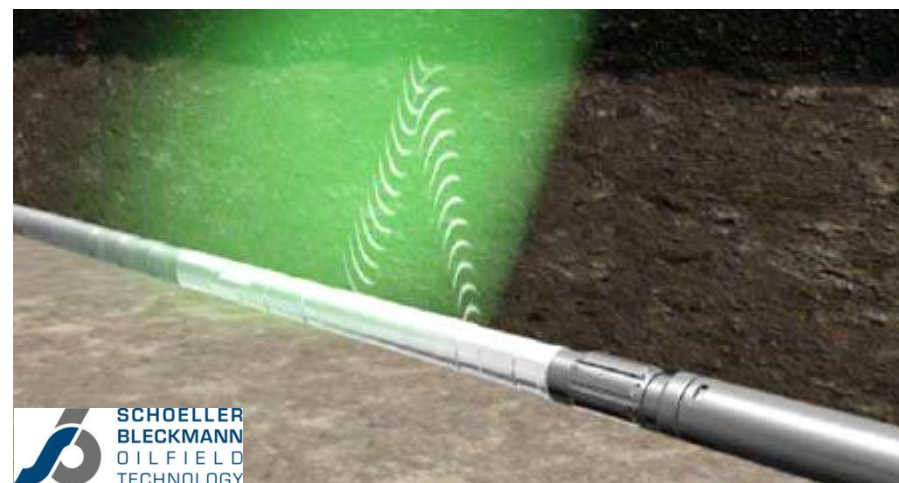


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

Laserauftragsschweißen - Panzern von Bohrsträngen zur Ölfeldexploration

46

- 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

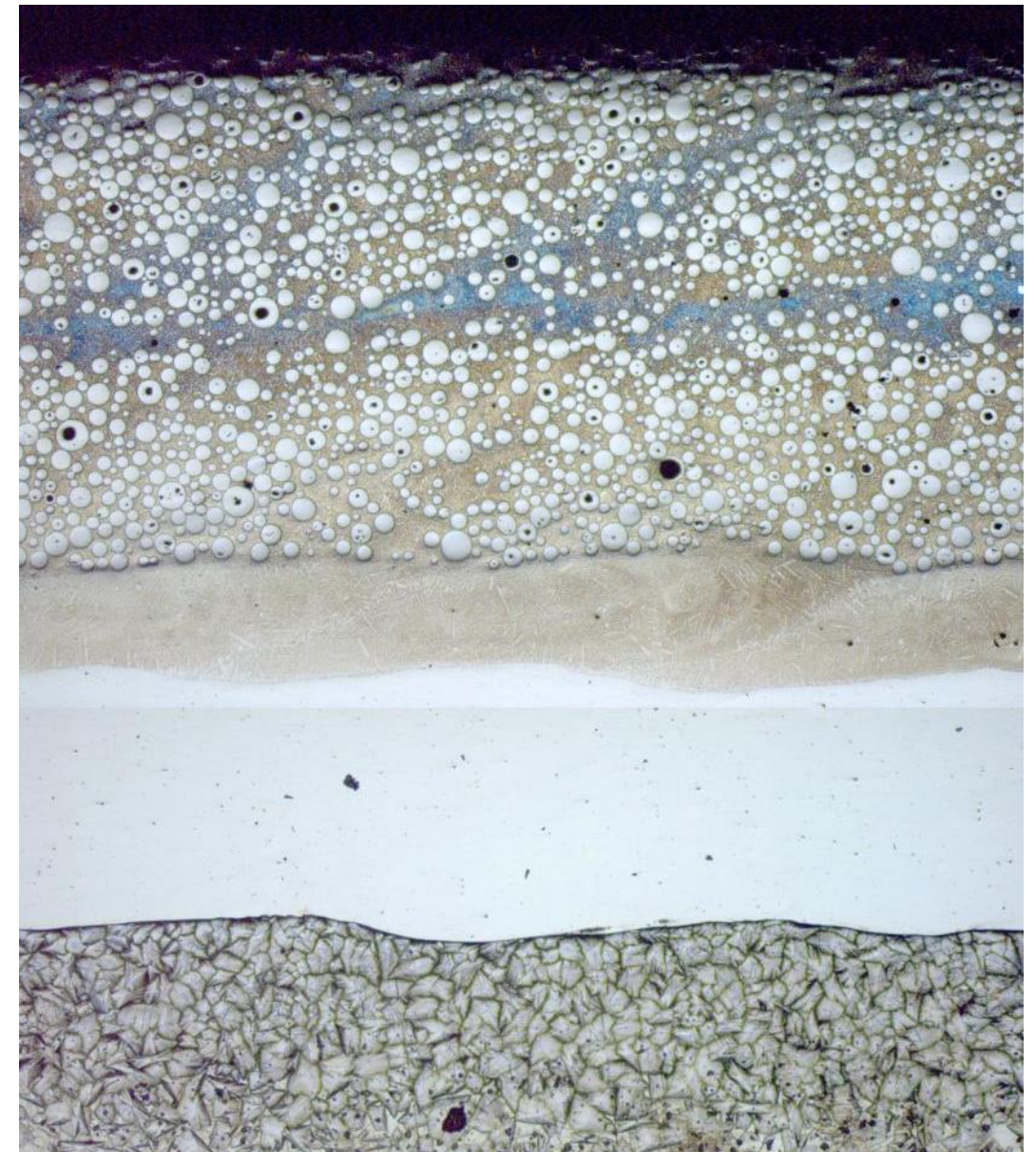
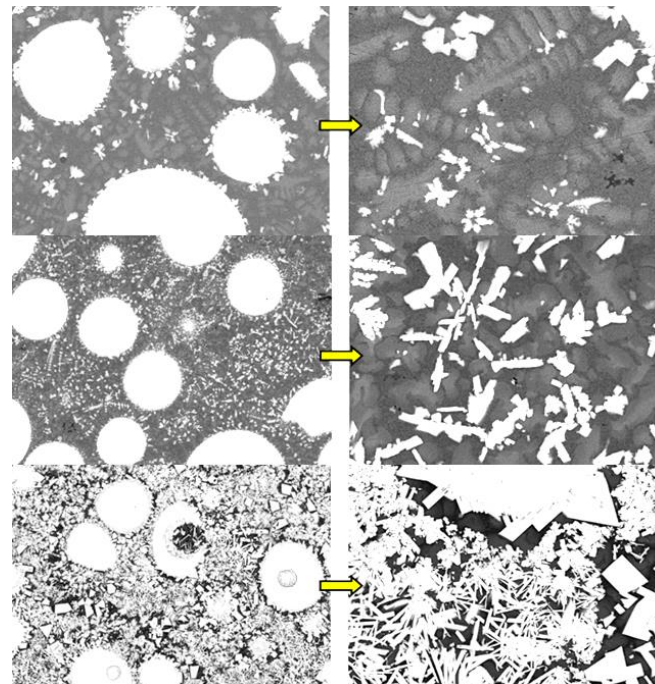
47

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

■ Kontrolle der Mikrostruktur

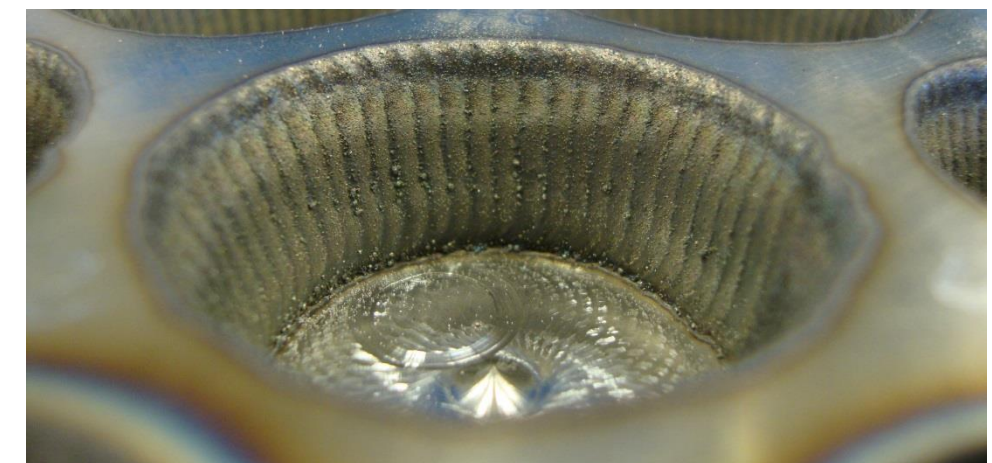
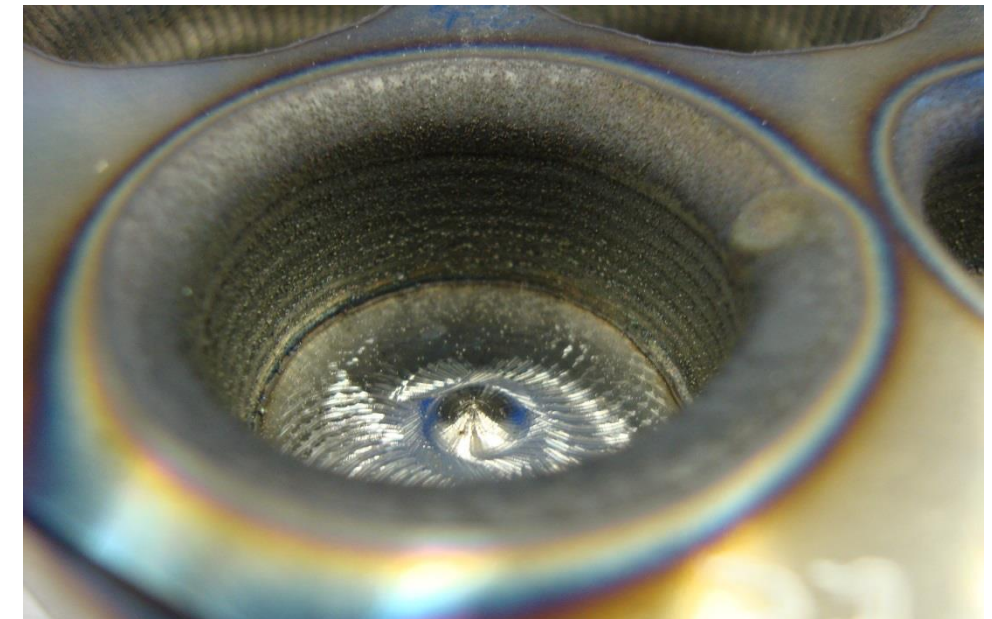
- Schmelzgrad der WC-Partikel über die Laserleistung gut steuerbar, wodurch auch der Härtegrad der Schicht eingestellt werden kann

■ Prozessübergabe an



Laserauftragsschweißen - Schutzschichten (2D)

Laserauftragsschweißen an der Innenseite von Bohrungen



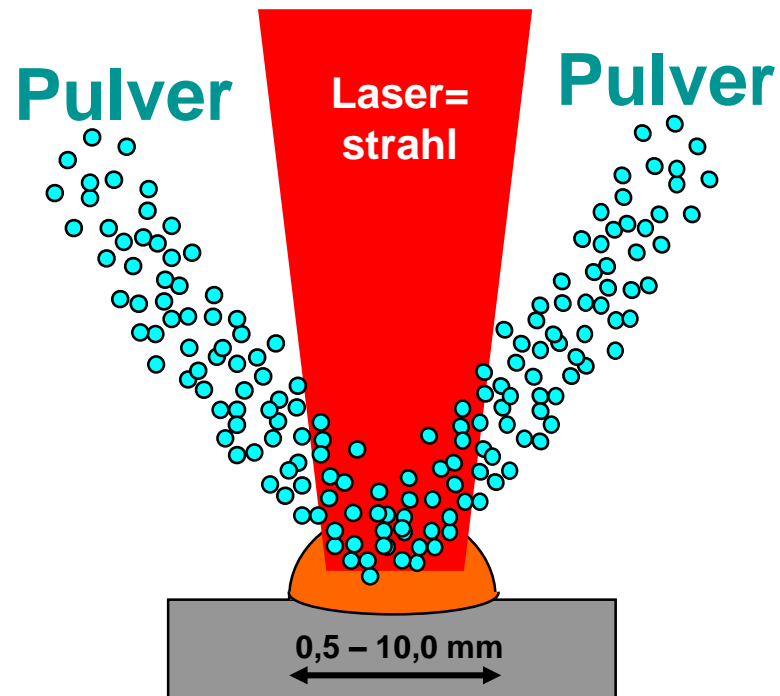
Laserauftragsschweißen - Prinzip

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

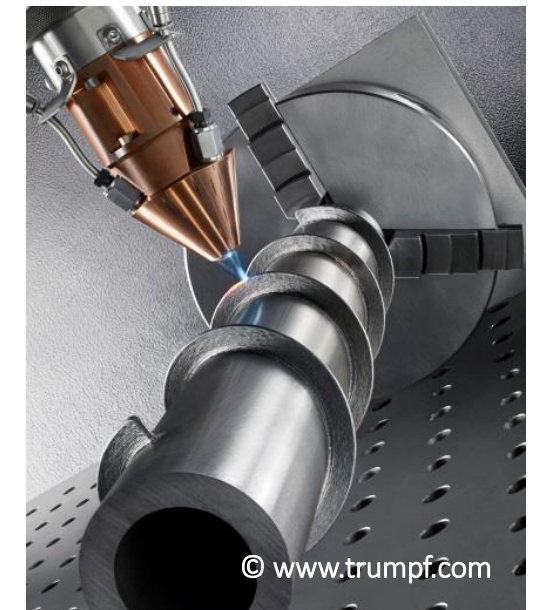
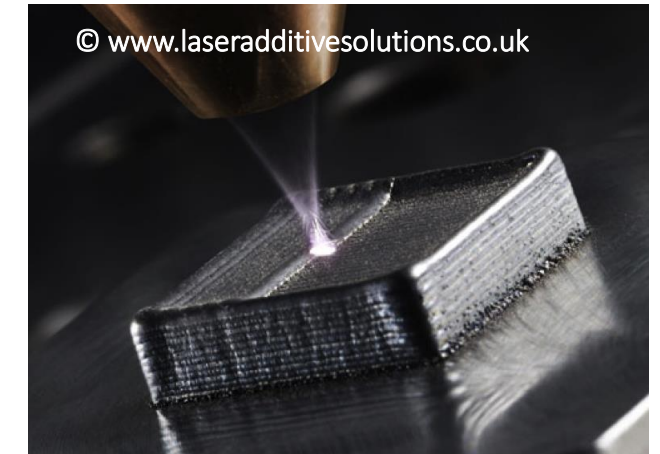


Laserauftragsschweißen

- 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

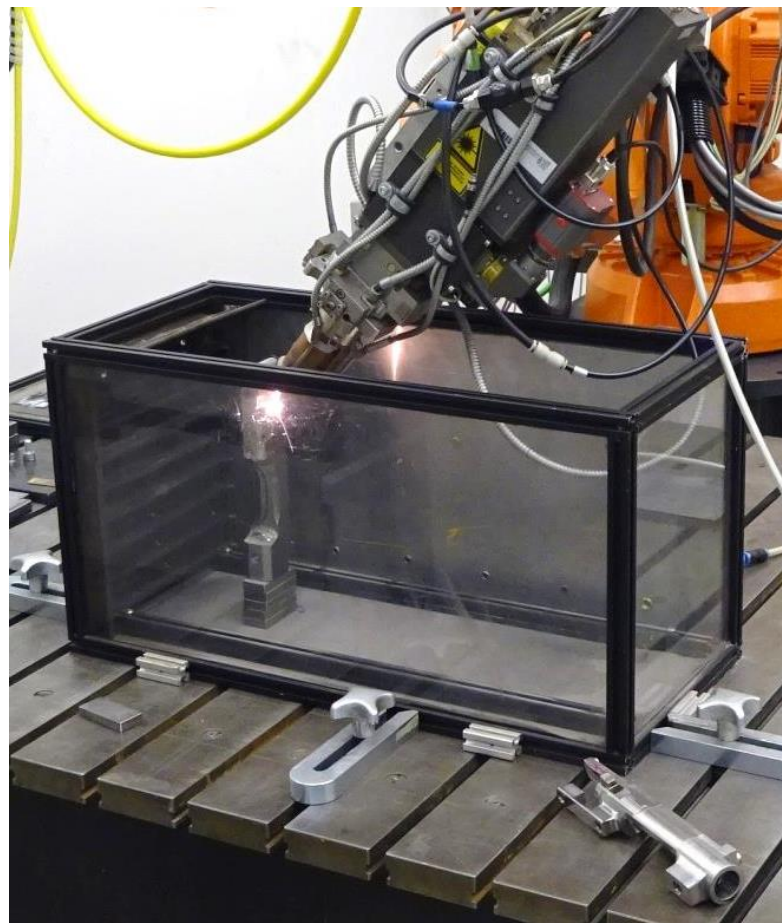
- Reparaturprozess durch abwechselndes Aufschweißen und Fräsen



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?

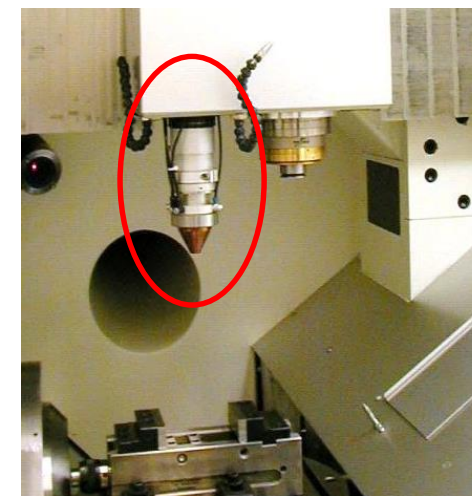
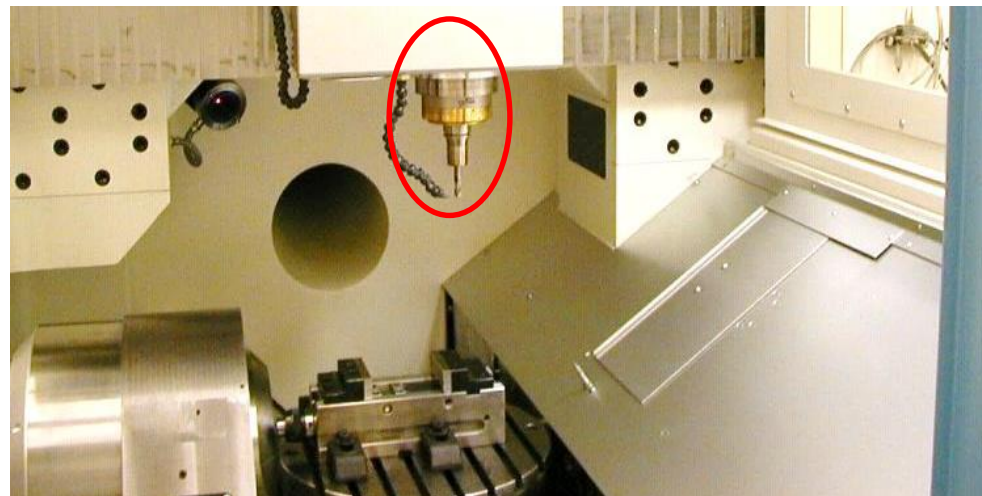
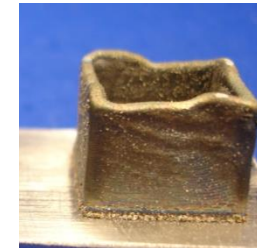


- Niemand! Wir alle dachten, planten und bauten bereits additiv!

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



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



Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

60

Laserauftragsschweißen - L-DED

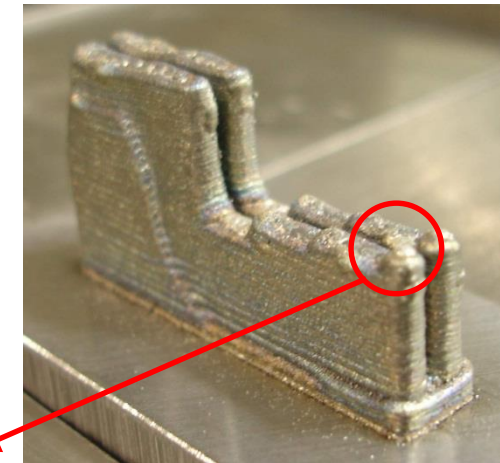
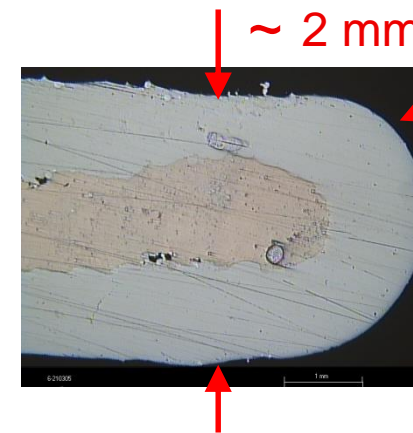
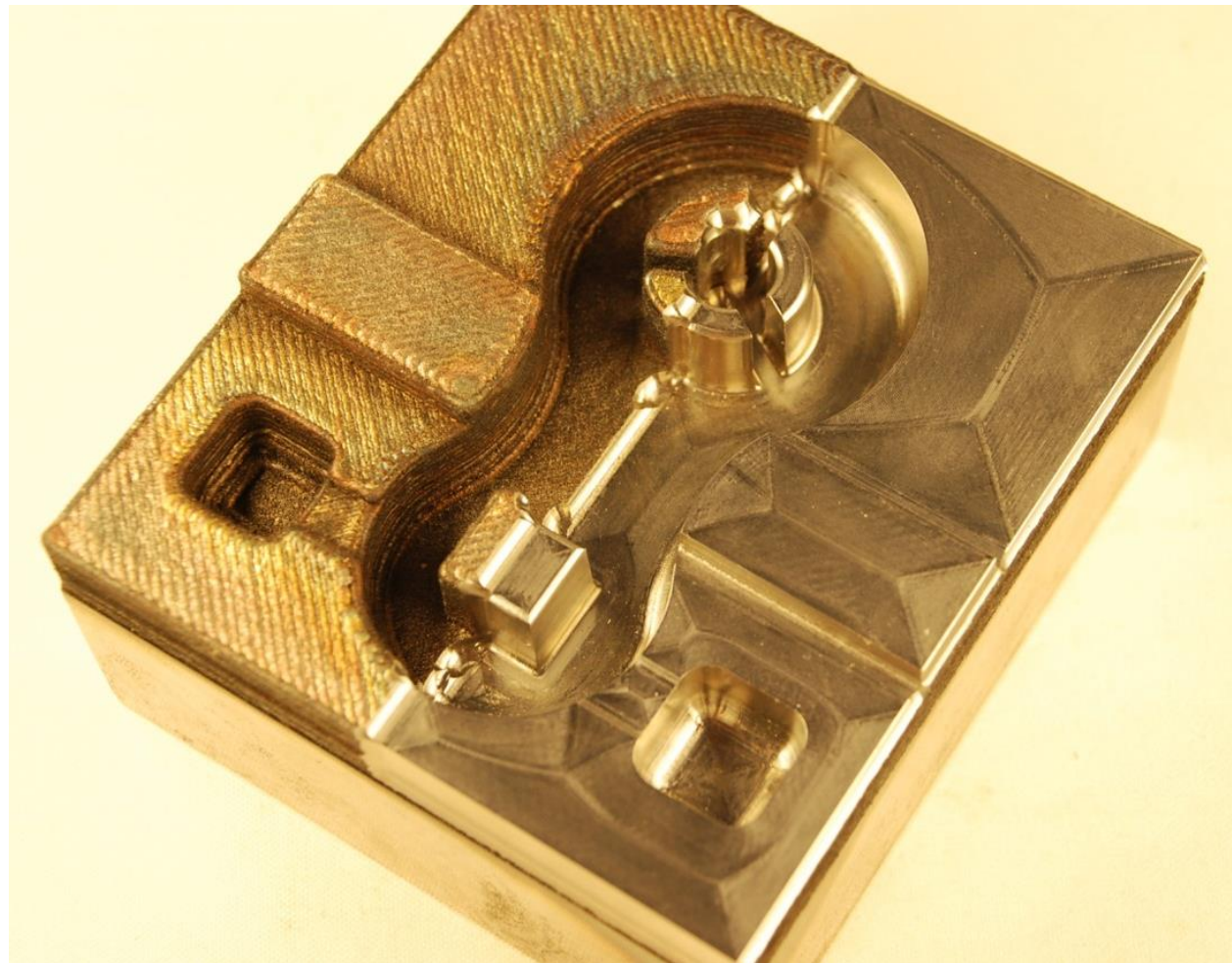
- Demo-Kelch (gefertigt 2006!)



61

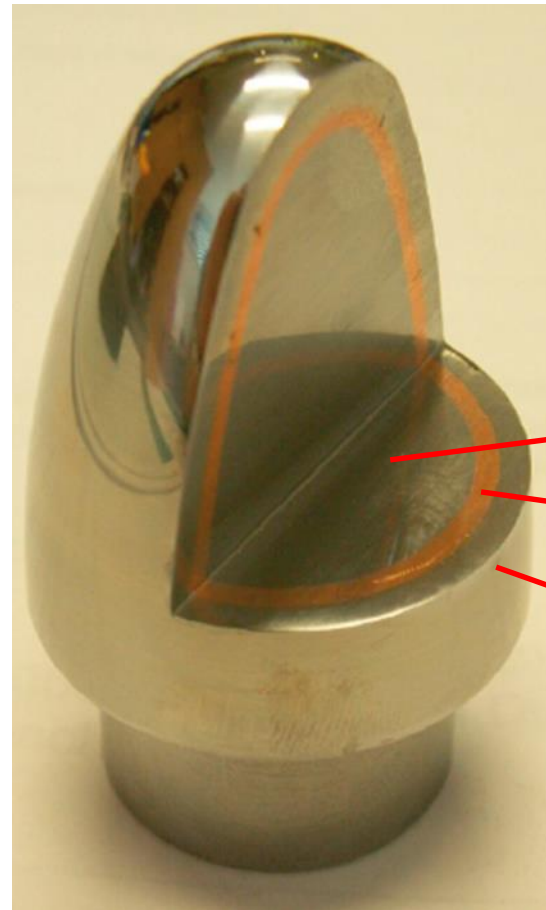
LMD - Generative Fertigung (3D)

Komplexere Bauteile inkl. zerspanender Nachbearbeitung



LMD - Generative Fertigung (3D)

Funktionelles Bauteil mit kostengünstigem Inneren, verschleißbeständiger Oberfläche und erhöhter Wärmeleitfähigkeit



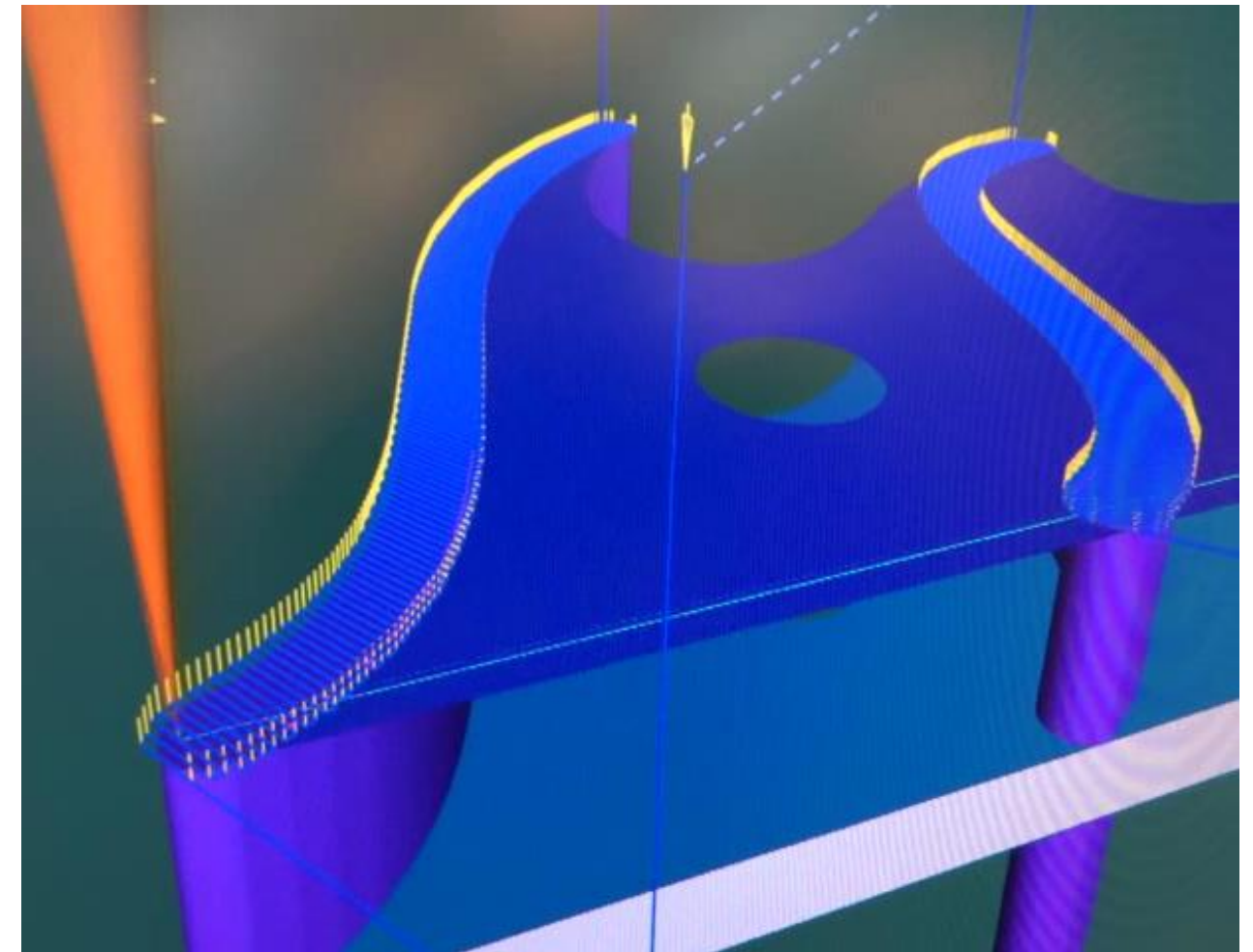
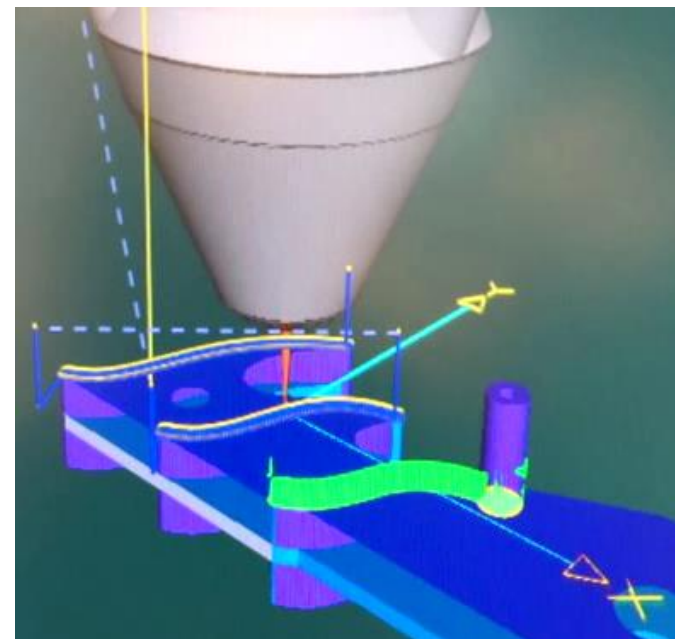
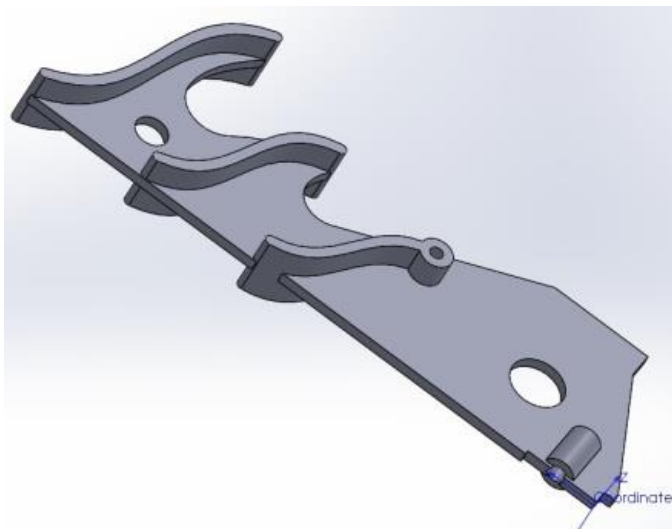
kostengünstiger Grundwerkstoff

Cu-Schicht zur besseren
Wärmeleitung

verschleißbeständige Oberfläche

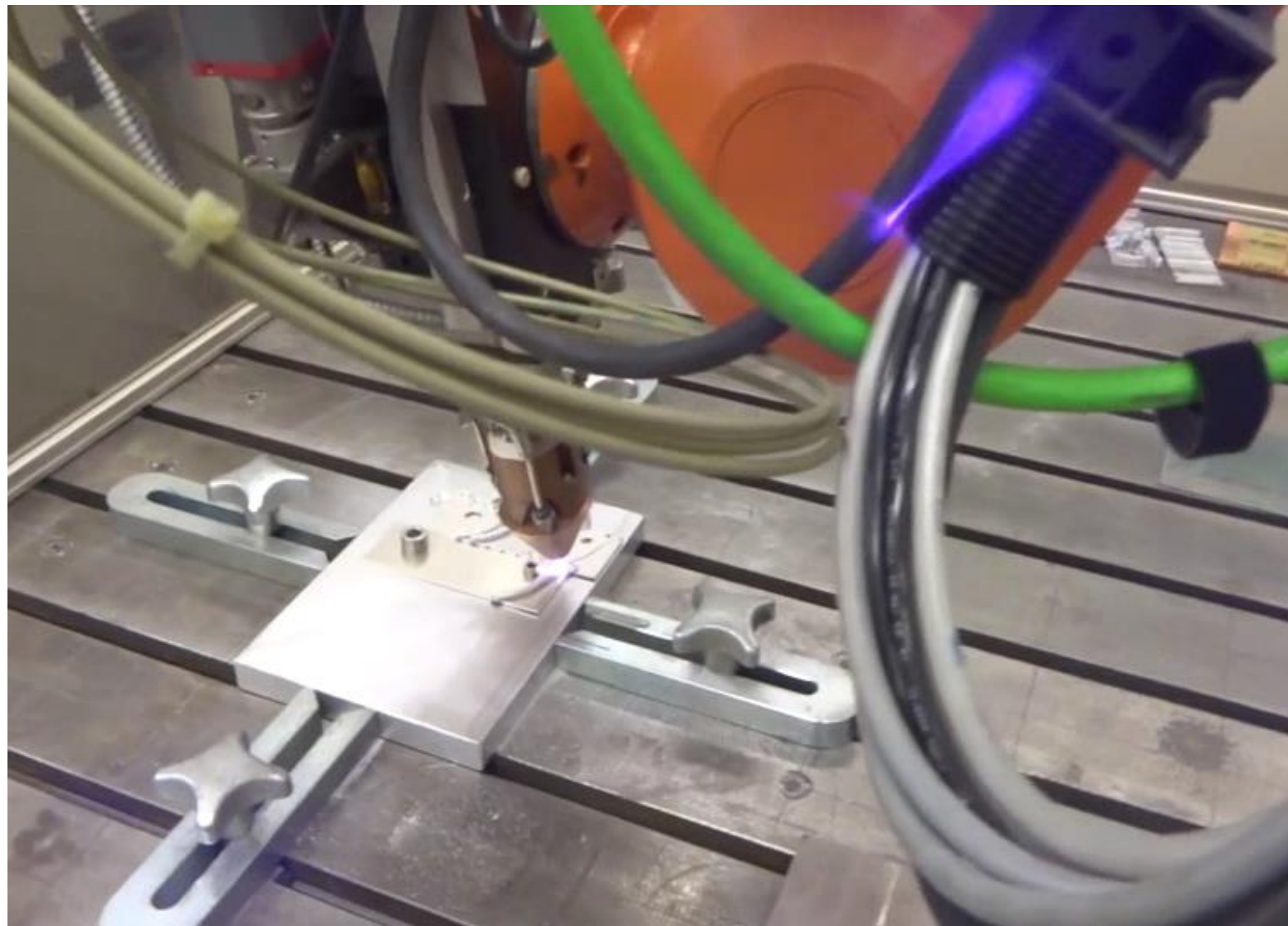
Additive manufacturing (LMD) ...of aerospace components

- CAD model and motion path simulation with TopLas3D



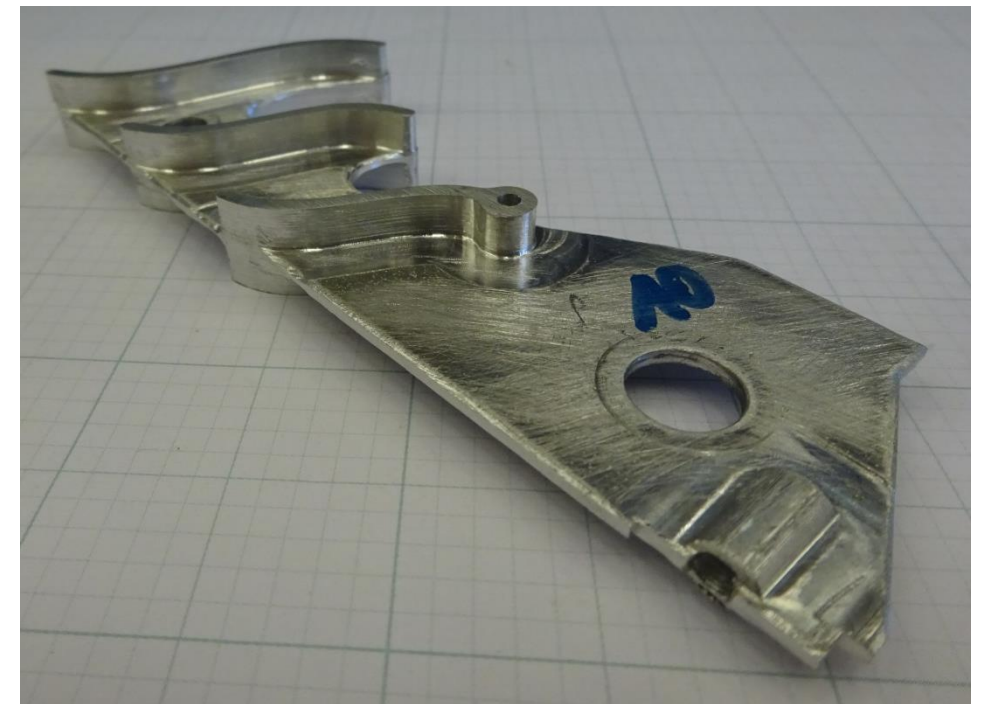
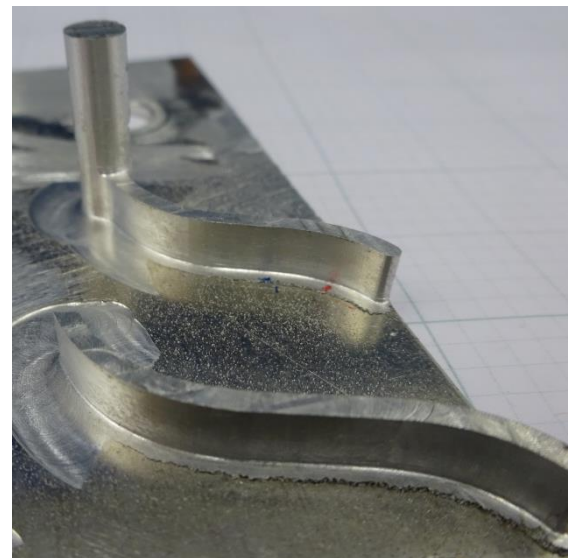
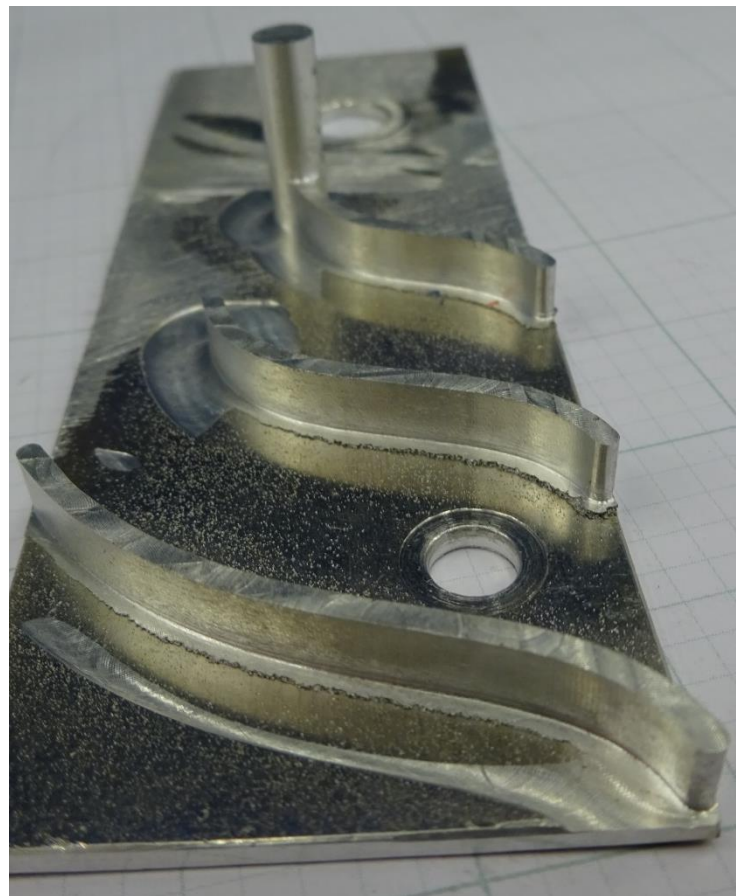
LMD - Generative Fertigung (3D)

Aufschweißprozess mit zwischenzeitlichem Planfeilen

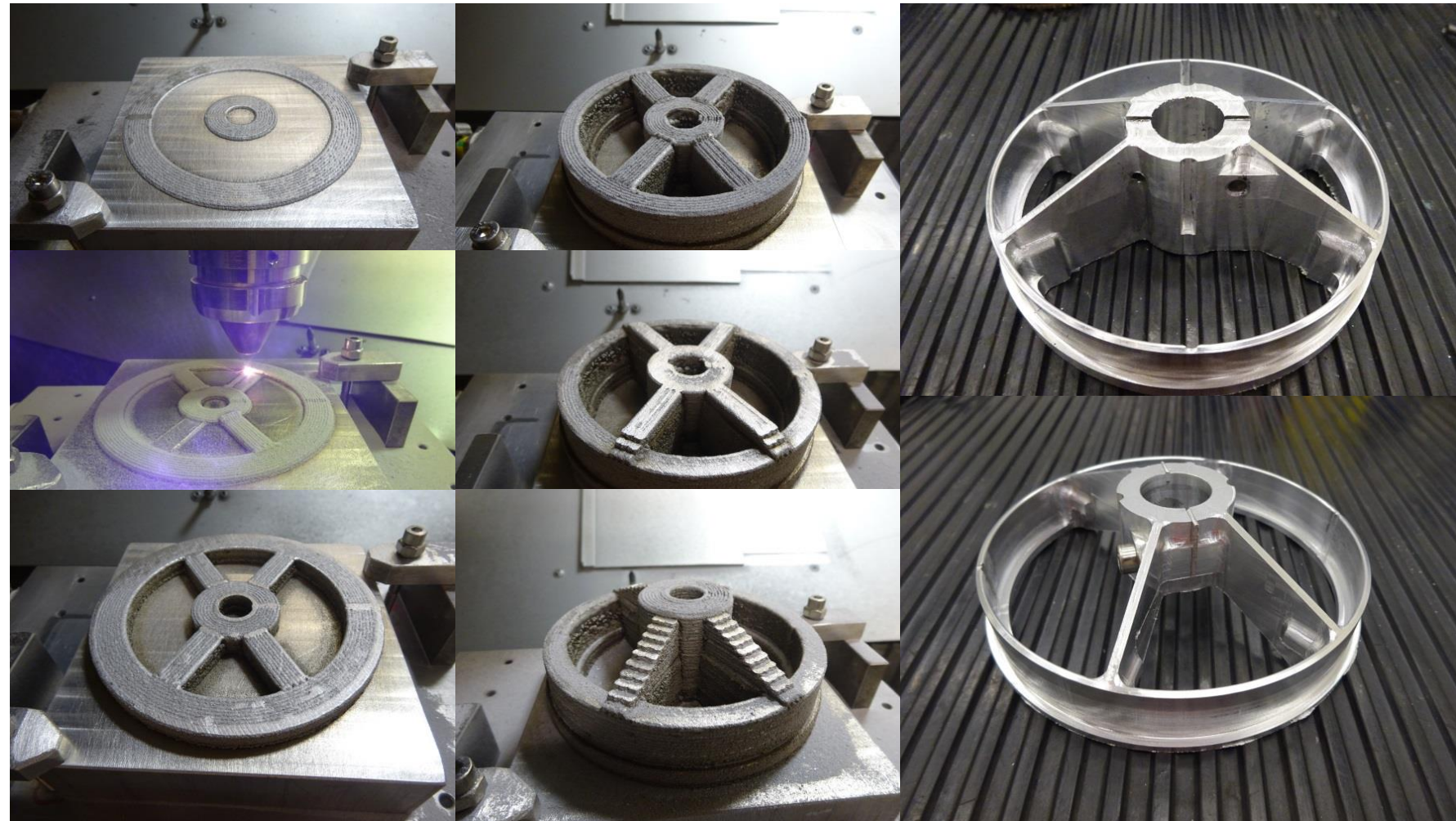


LMD - Generative Fertigung (3D)

Aufschweißprozess mit zwischenzeitlichem Planfeilen

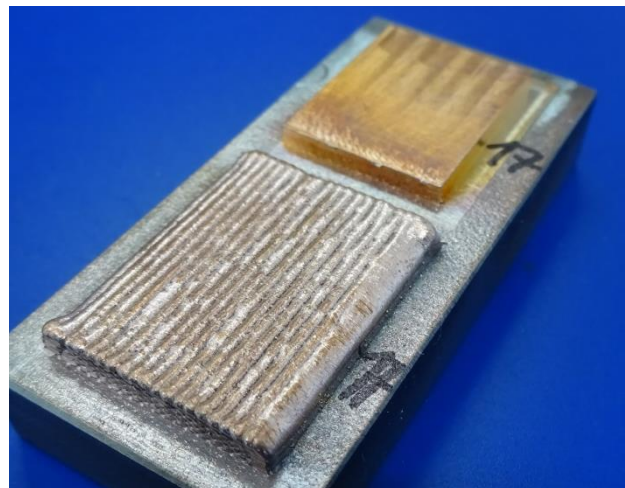
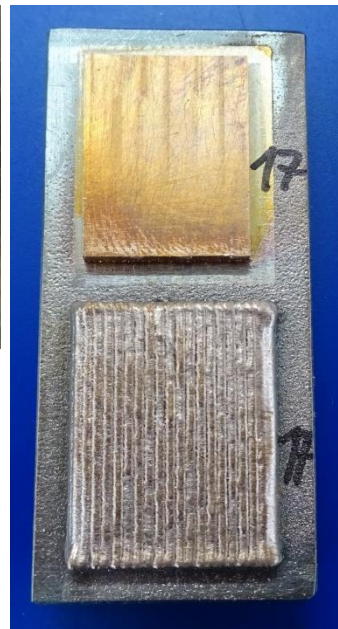


Additive manufacturing (LMD) ...of aerospace components

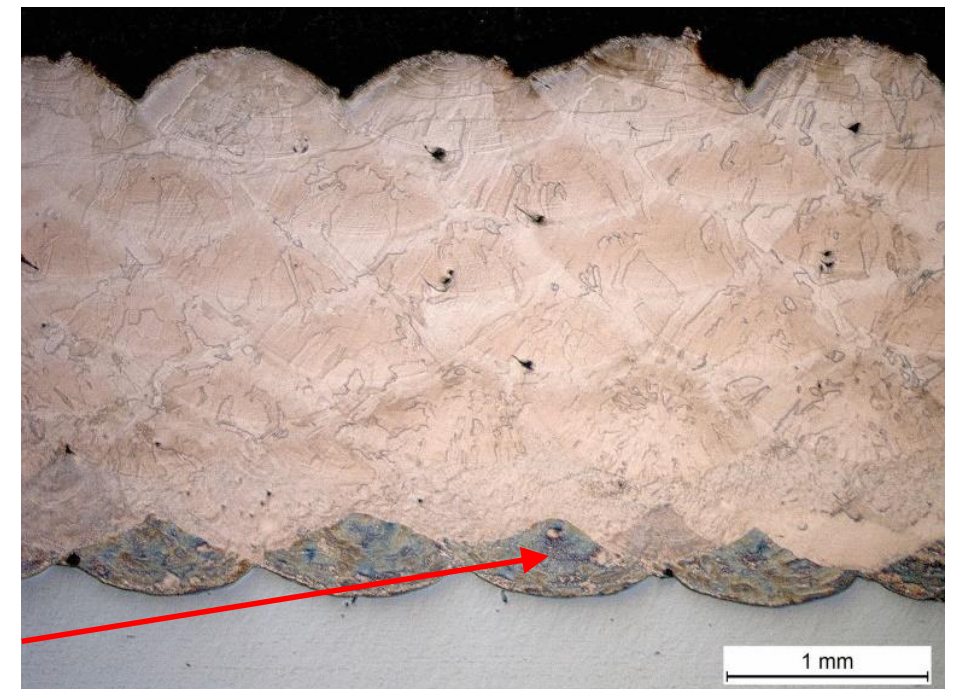


LMD - Generative Fertigung (3D)

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



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



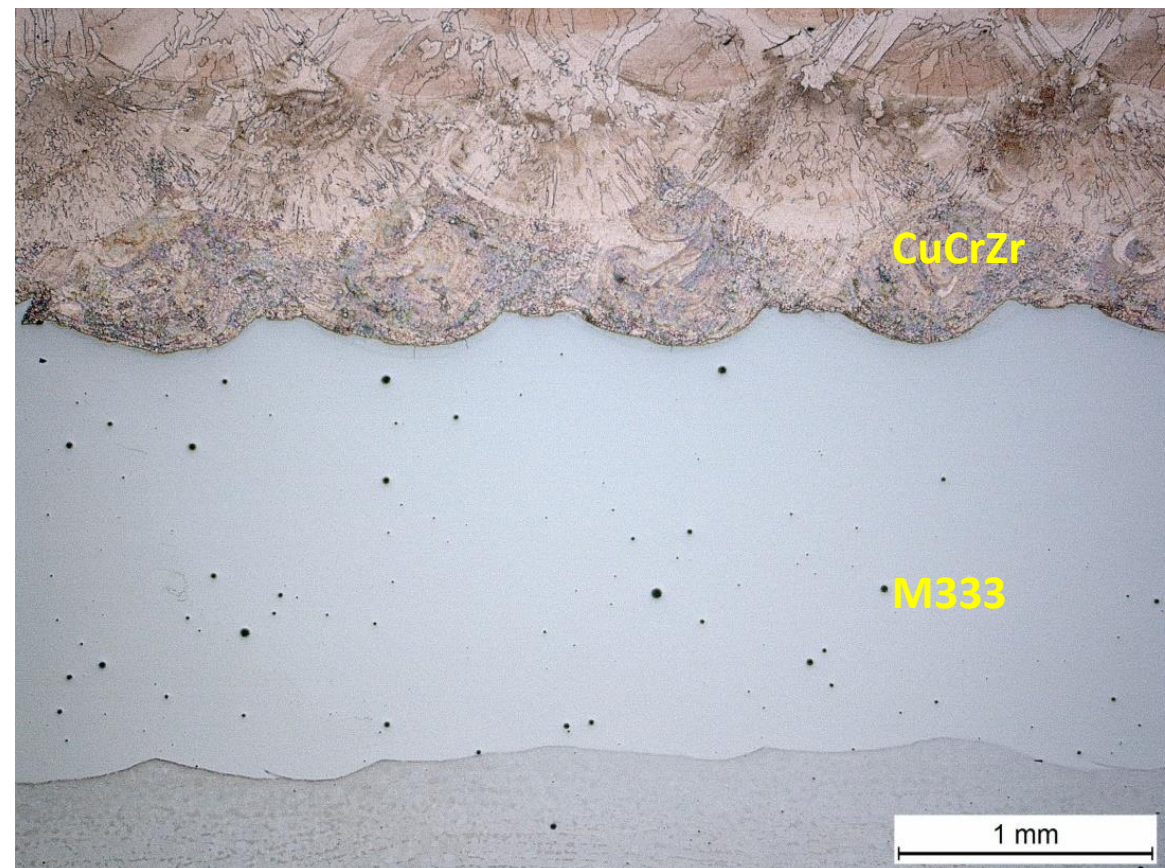
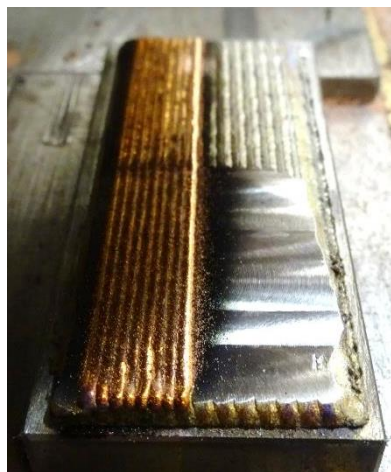
Aufmischungszone

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

LMD - Generative Fertigung (3D)

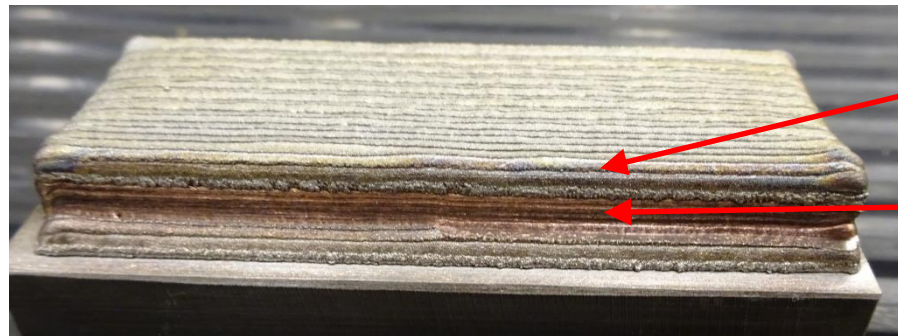
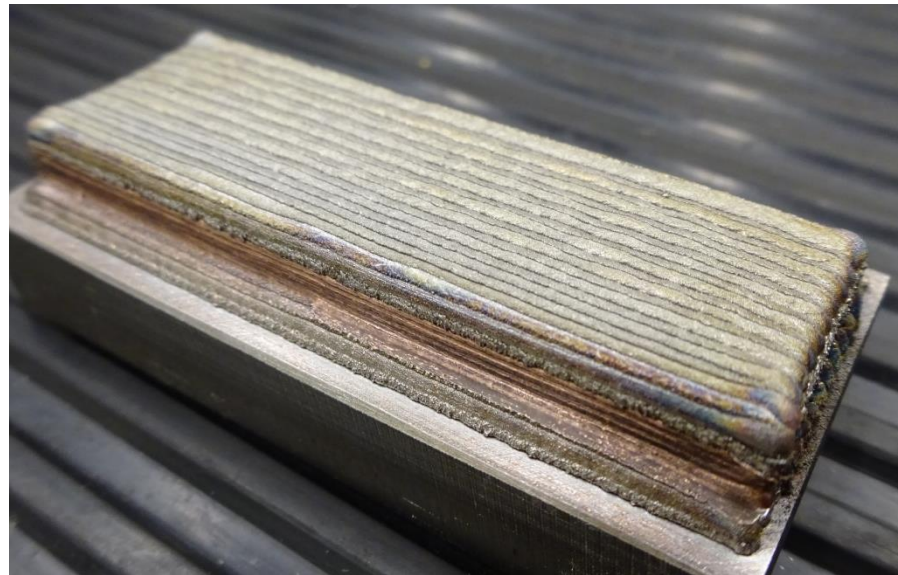
Sandwich-Strukturen (z.B. Cu/Stahl)

- Sandwich aus CuCrZr und M333

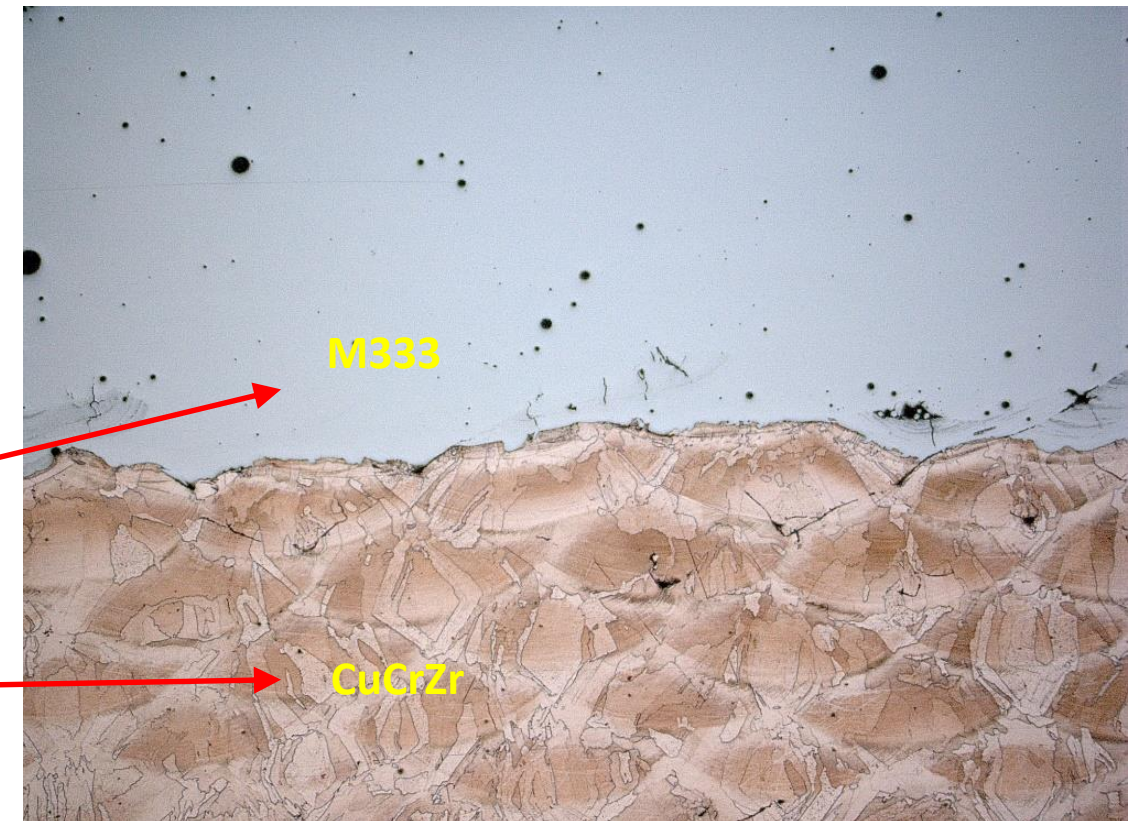


LMD - Generative Fertigung (3D)

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



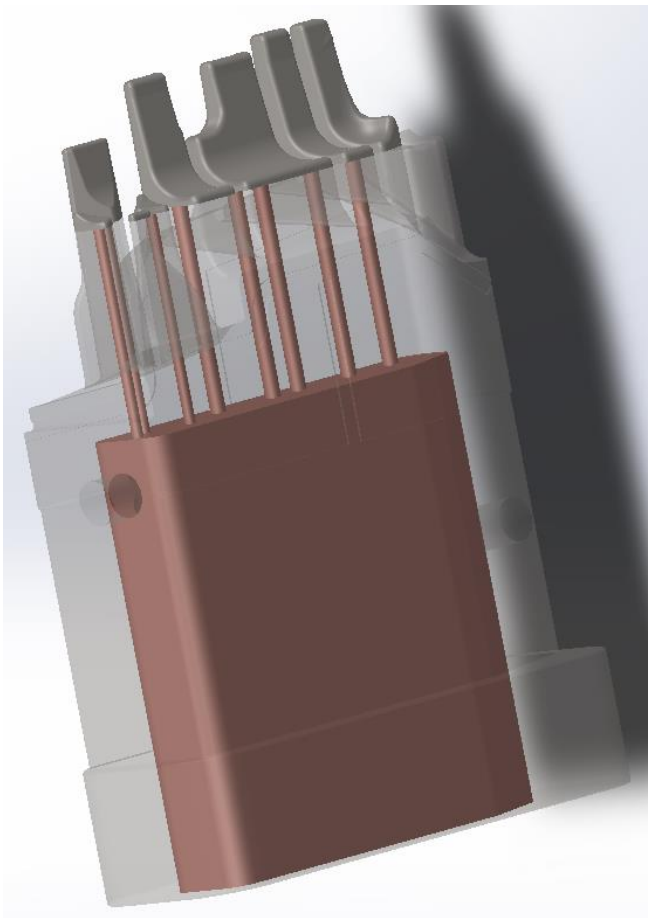
- Risse zwischen CuCrZr und M333
- ...könnte durch eine Zwischenschicht aus einer Mischung vermieden werden



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/m²K
- 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)



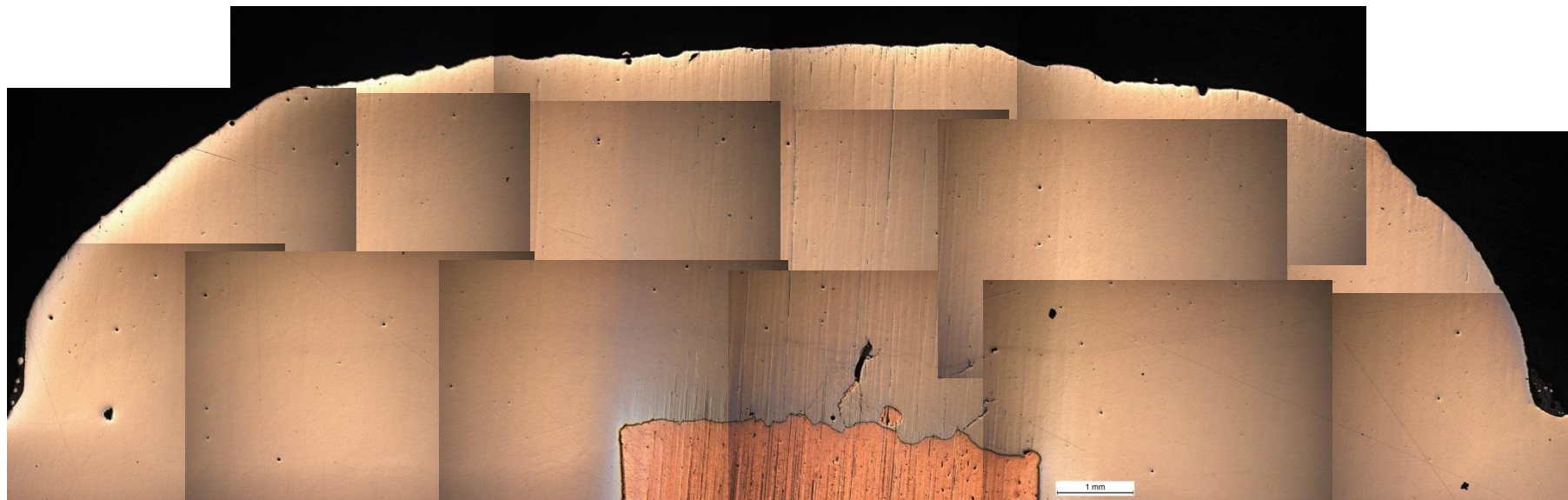
Steel: $\lambda \approx 50 \text{ W / m}\cdot\text{K}$

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 ...

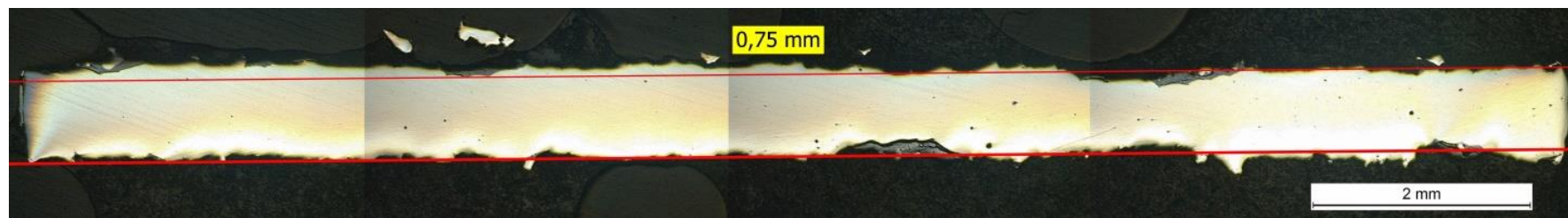


LMD - Generative Fertigung (3D)

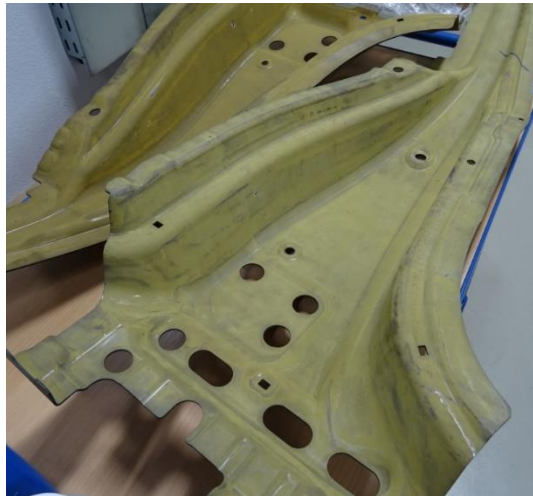
Feine Strukturen (z.B. dünne Wände)



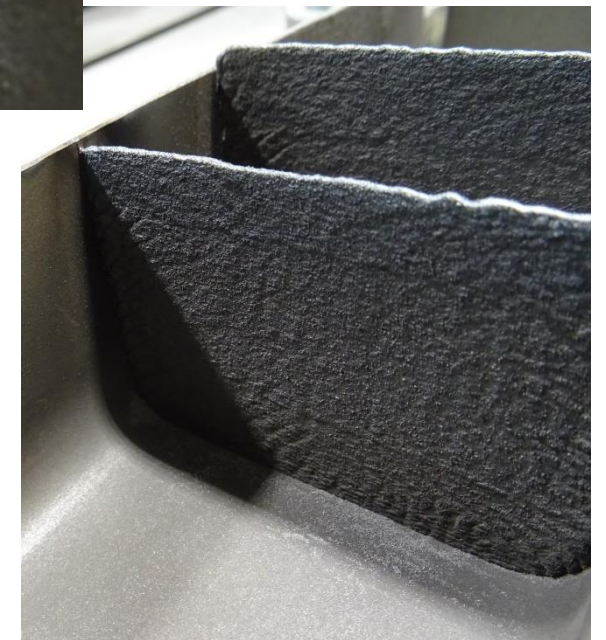
Selbstverständlich müssen hier die Parameter (vor allem die Leistung) in Abhängigkeit vom Baufortschritt angepasst werden, um einen Wärmestau zu verhindern...



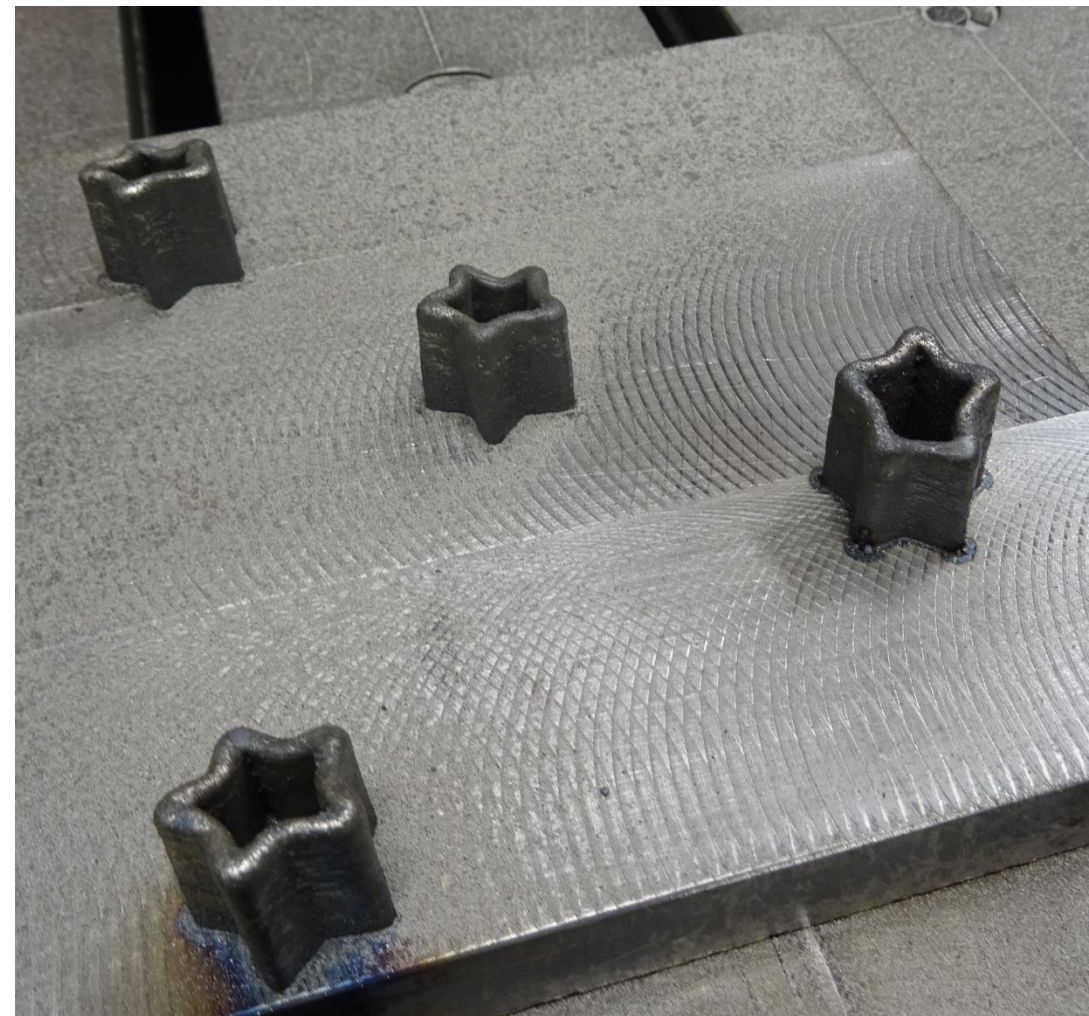
Reinforcement struts in B-pillars



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



75 *Fertigung einer simplen Geometrie*



L-DED

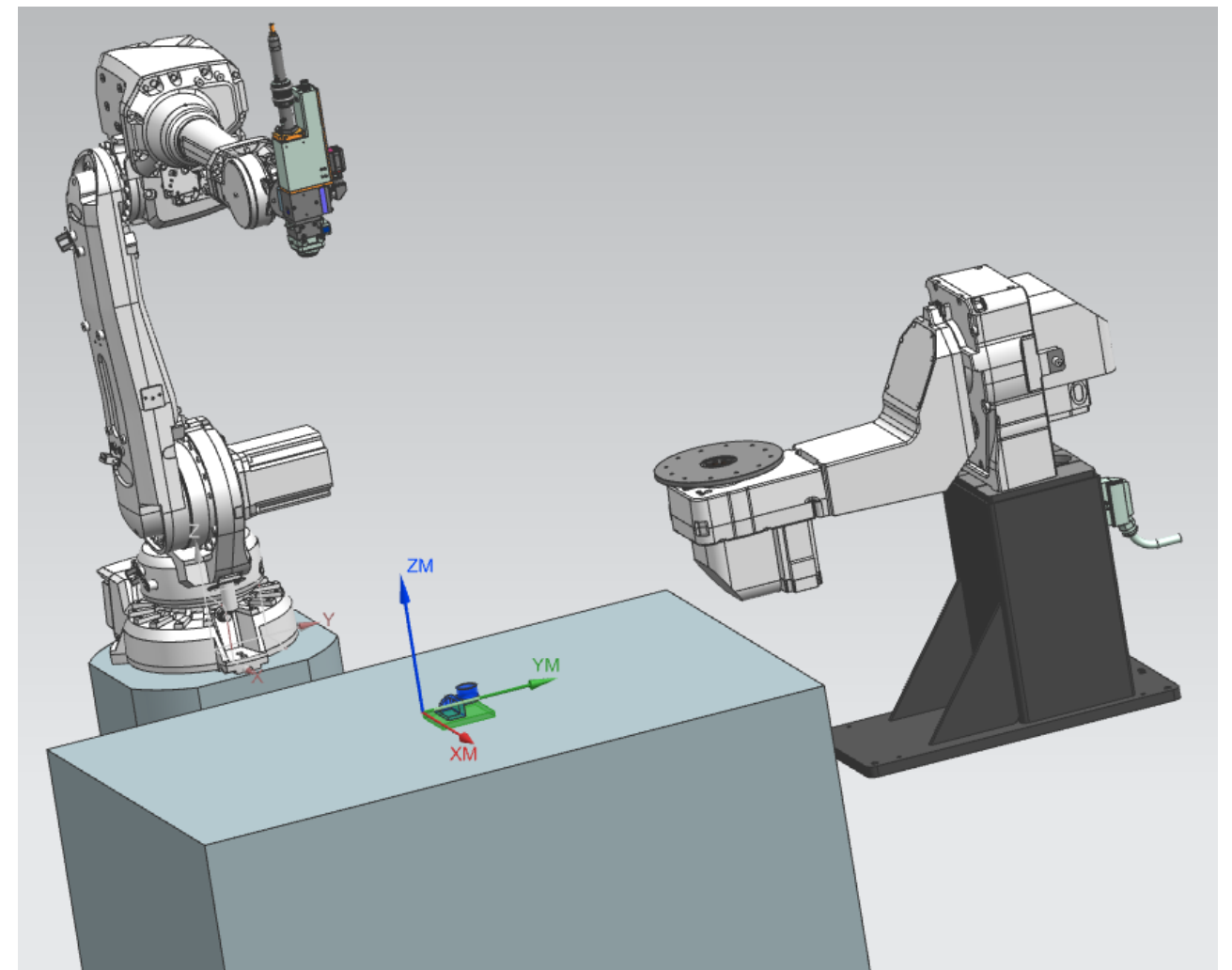
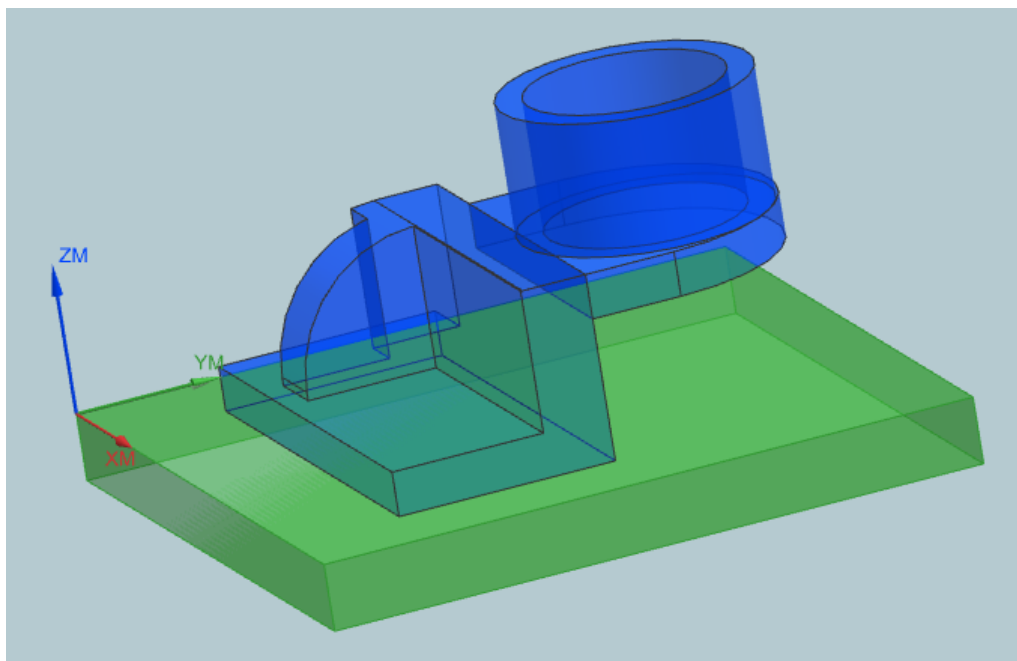
Bahnplanung & Simulation

Siemens NX

77 *Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)*

Siemens NX: Additive manufacturing add-on

- Import der CAD-Daten
- Anlage in Software hinterlegt



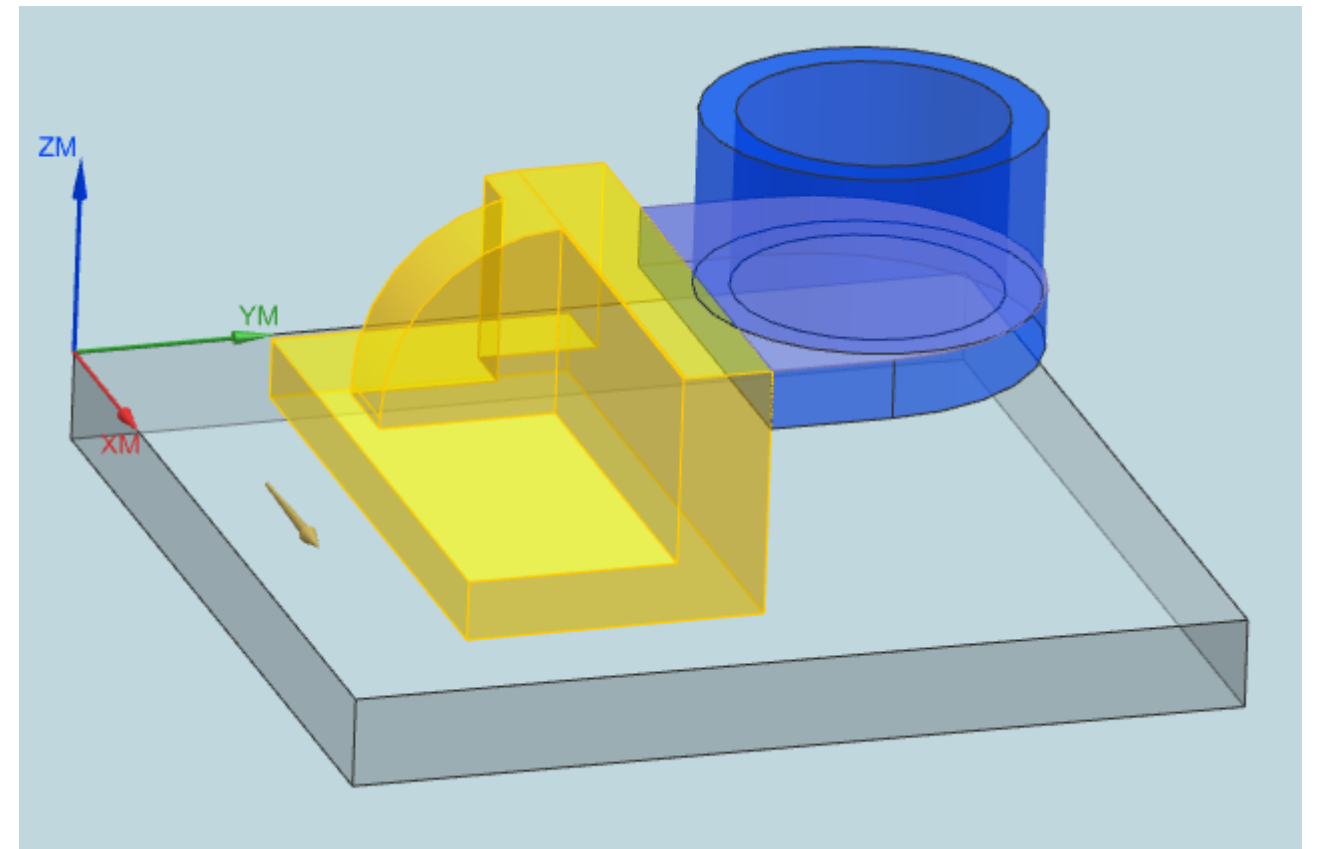
Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Siemens NX: Additive manufacturing add-on

Operationsuntertyp

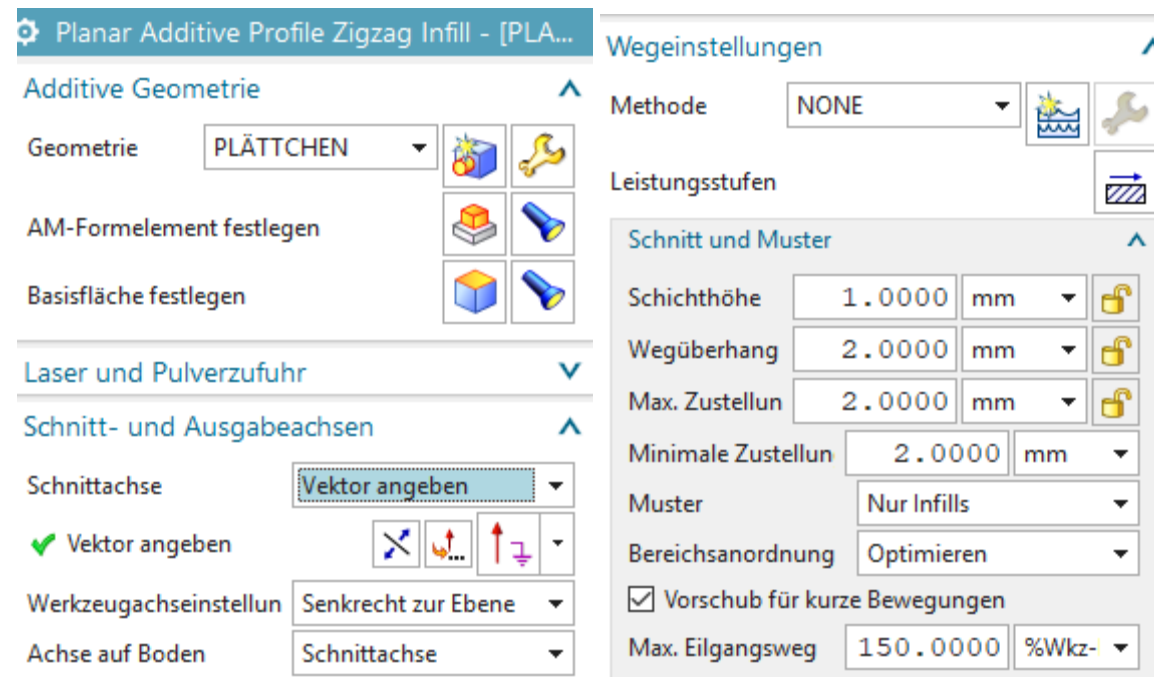


- Grobauswahl der Schweißstrategie
- Definition von Grundmaterial und Bauvolumen



Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Erzeugung der Bahn

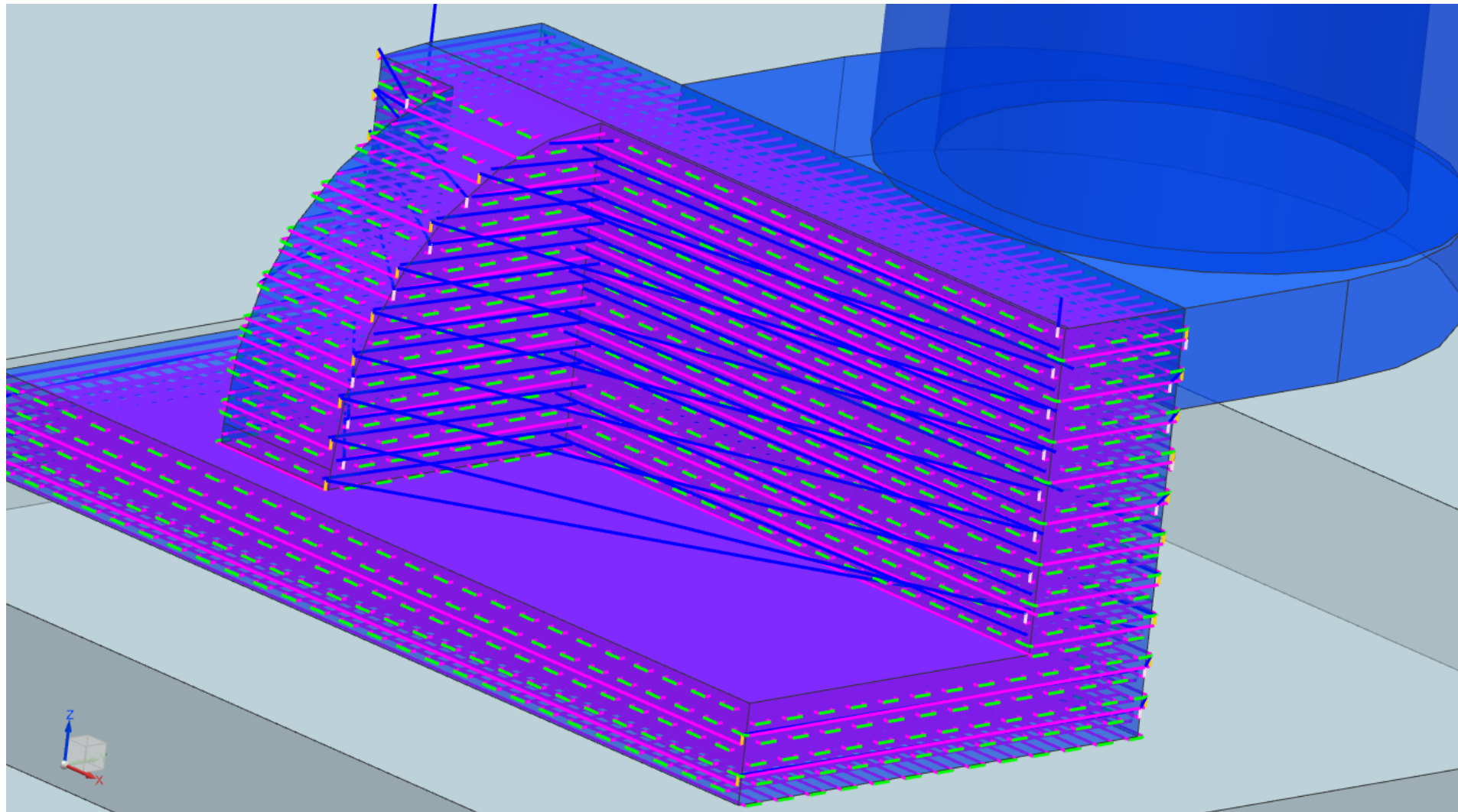


Auswahl von:

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

Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

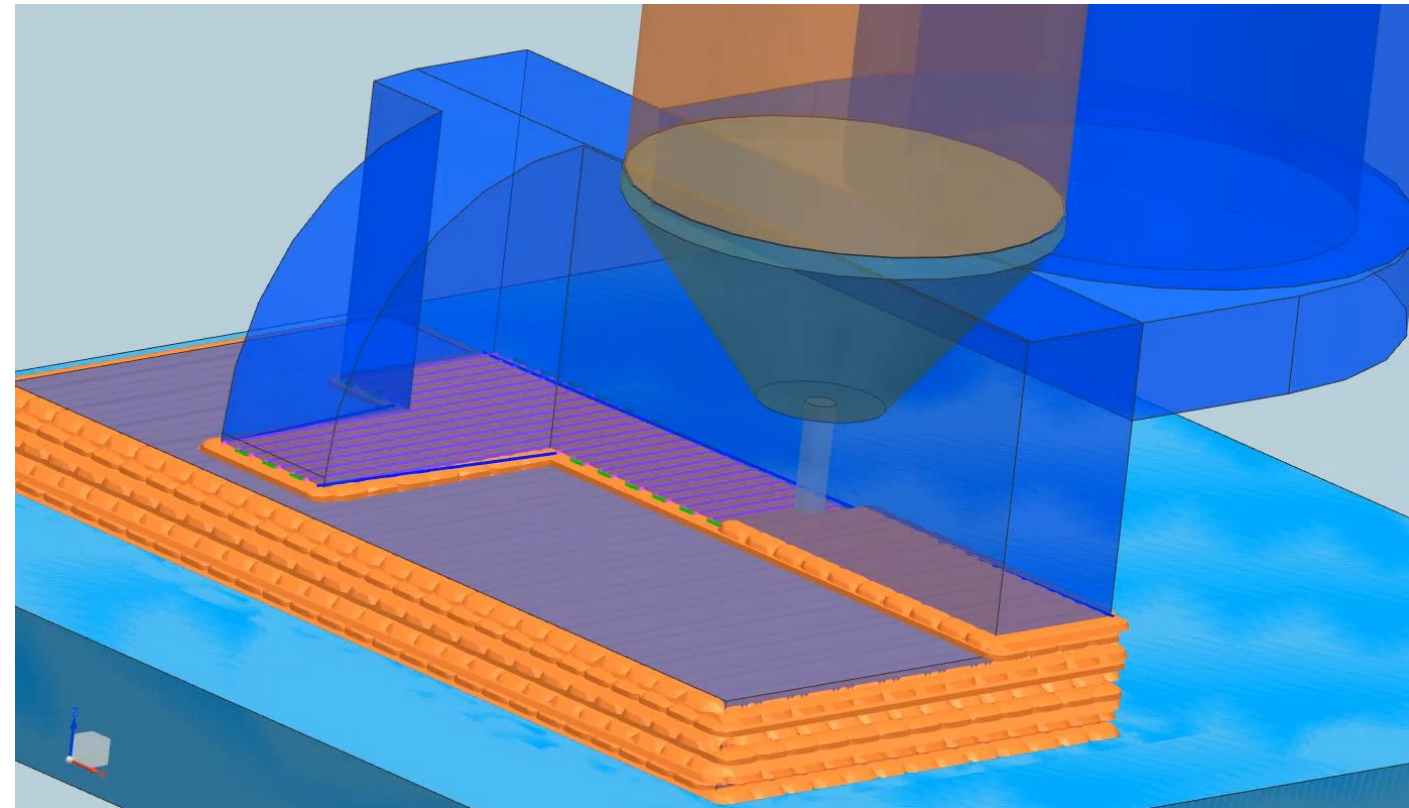
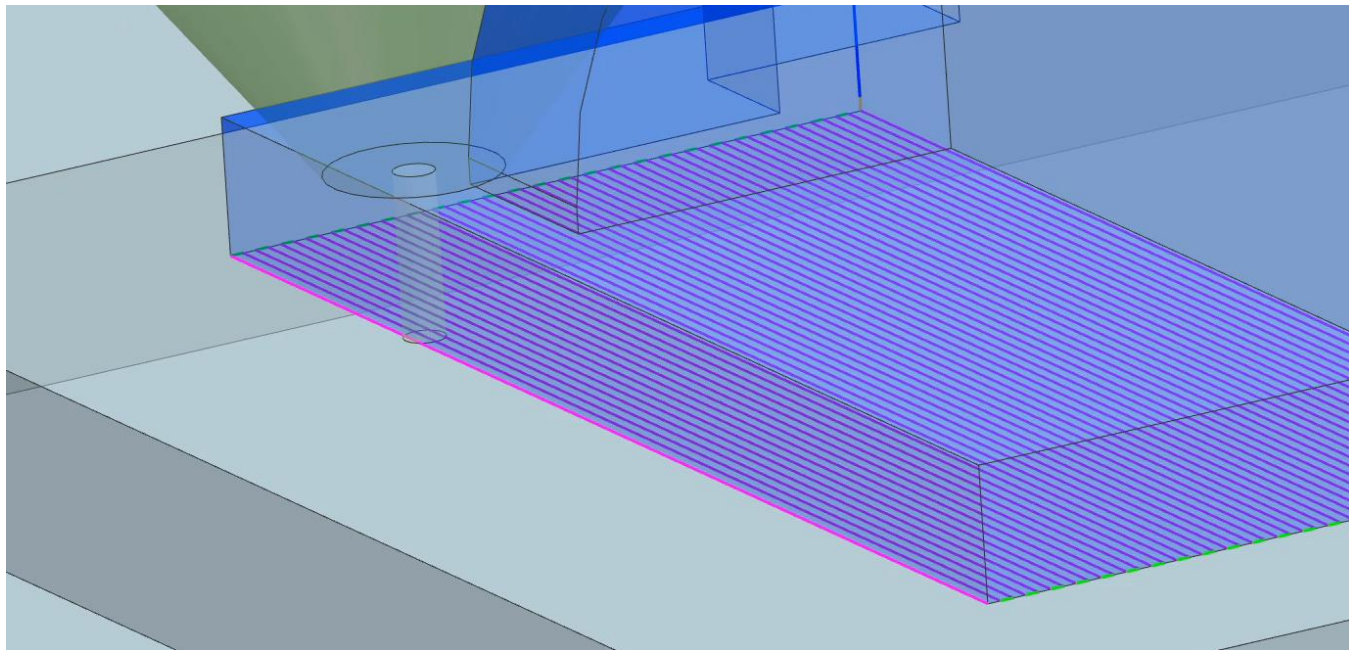
Erzeugung der Bahn



81

Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Erzeugung der Bahn





Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Erzeugung des Maschinencodes

Robotersteuerung [VOL 1]

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

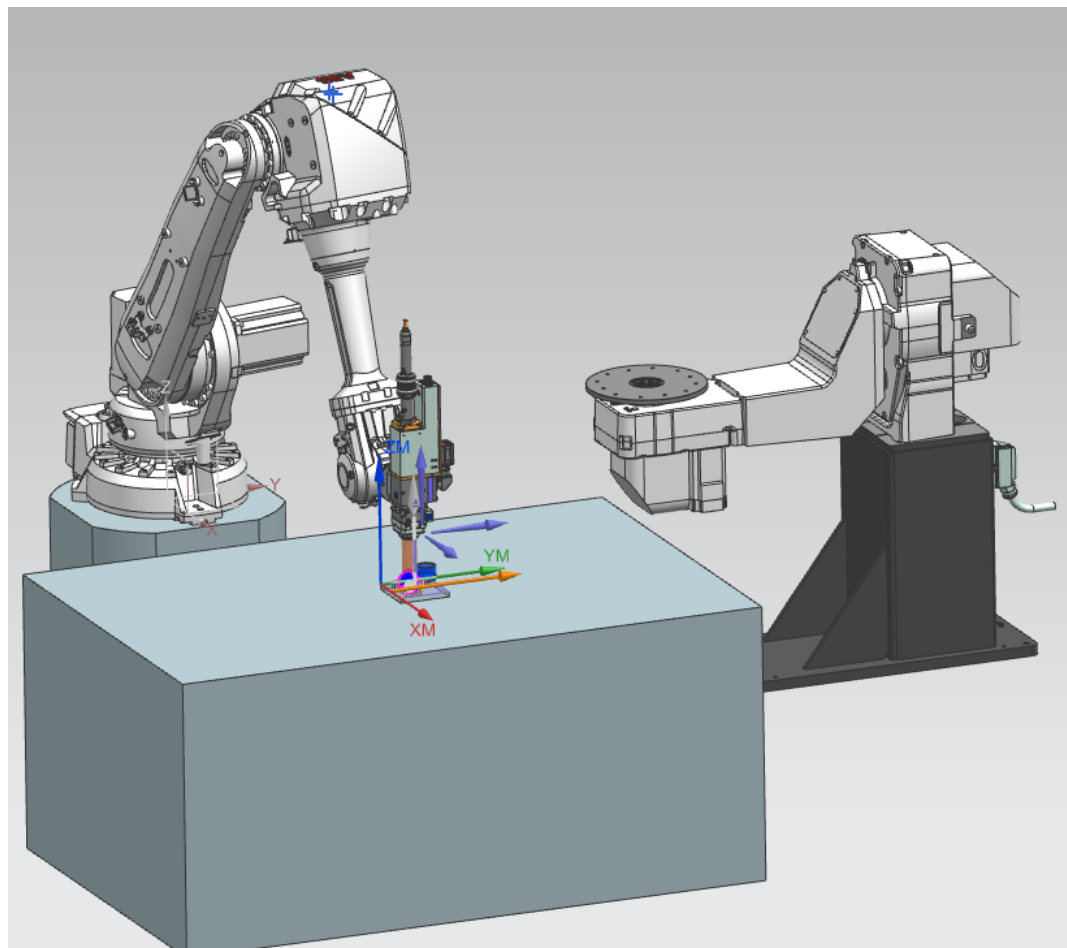
Roboterweg bei "OK" und "Anwenden" prüfen

OK Anwenden Abbrechen

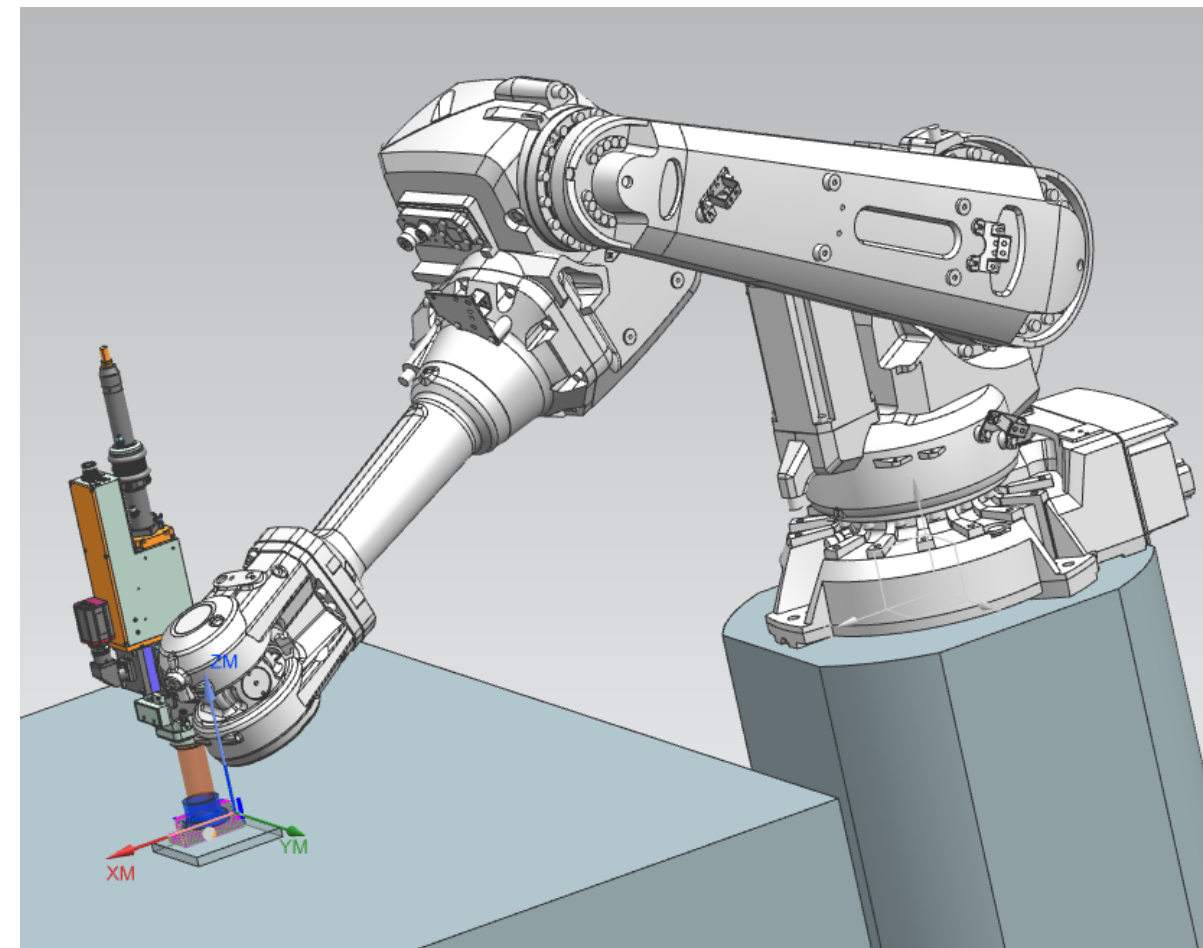
Interface für Roboterkonfiguration

Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Erzeugung des Maschinencodes



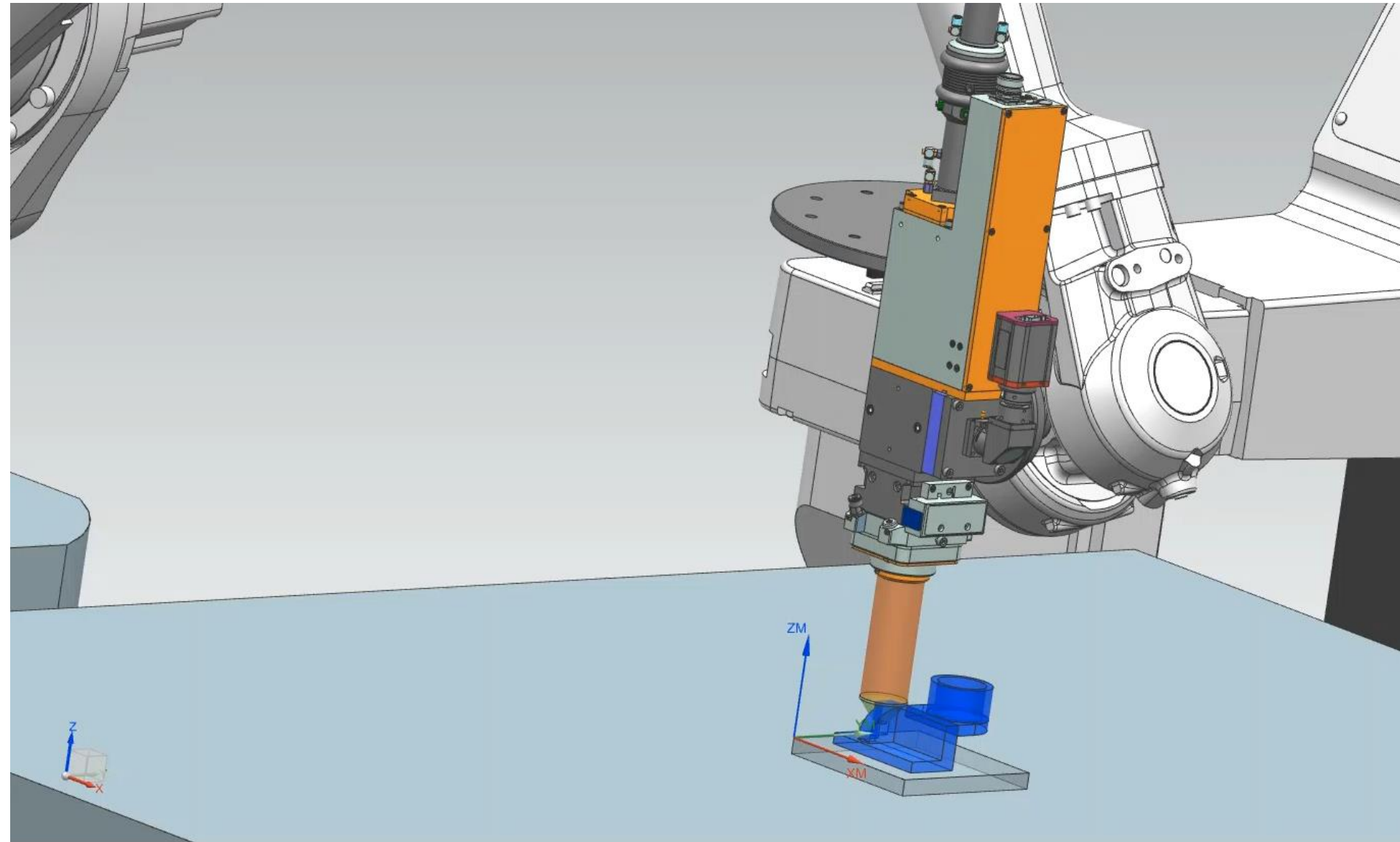
sinnvolle Achskonfiguration



absurde Achskonfiguration

Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Simulation der Fertigung



Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Erzeugung des Maschinencodes

```

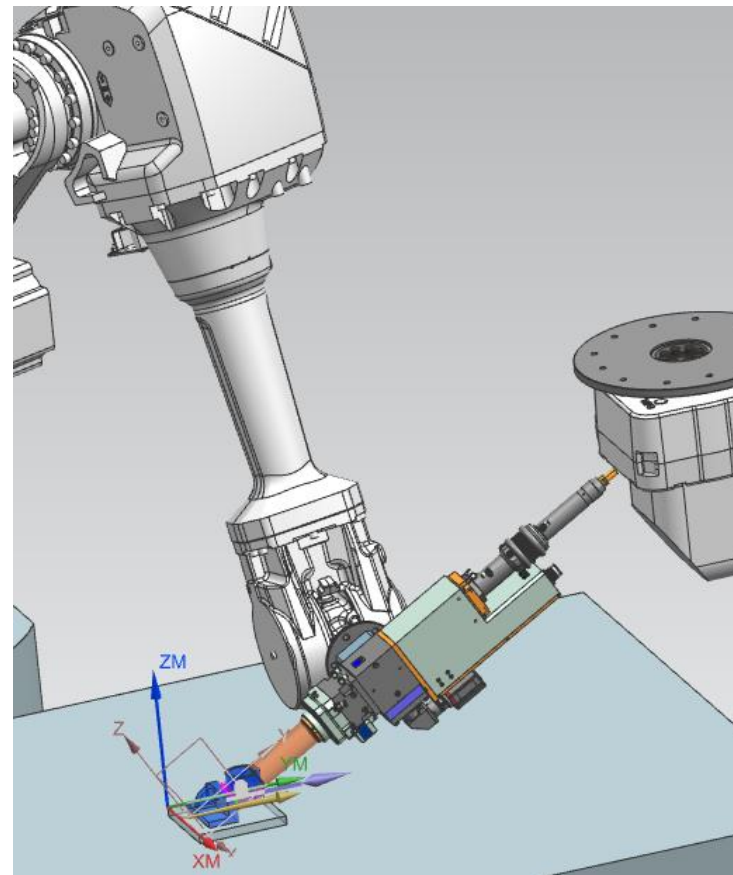
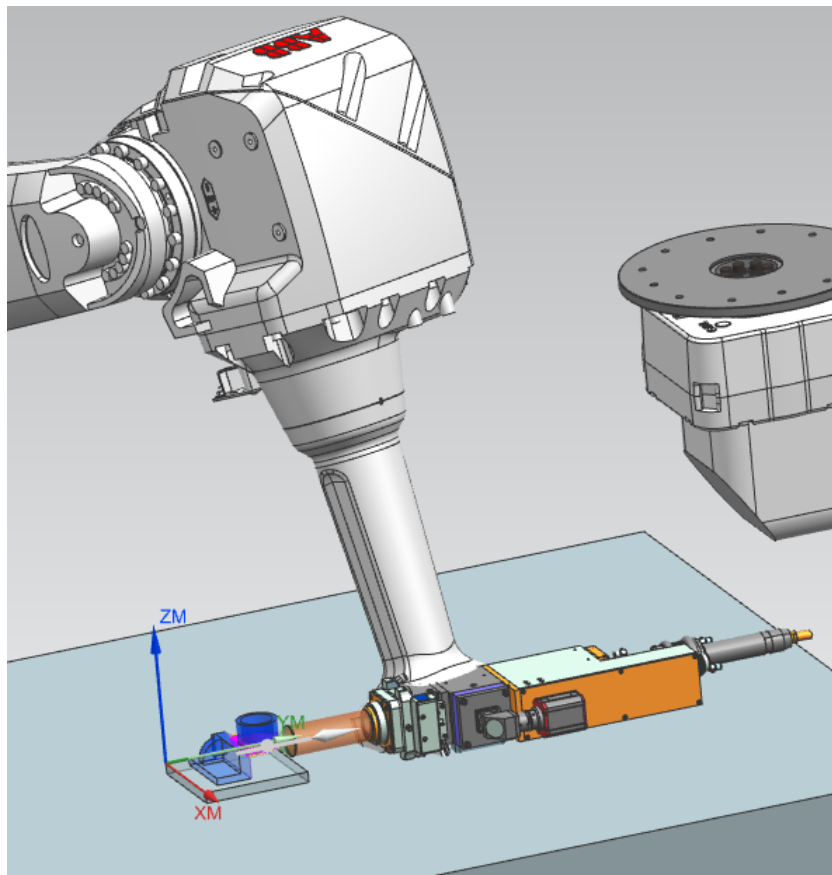
MODULE 2020_01 - Vorlage mit Demobauteil zum Starten
!# NX CAM Robotics 12.0.2.9 to Abb-Rapid
!# -----
!# CREATED : 13/07/2020 15:34:00 by gor
!# CELL    : Starten.prt
!# ROBOT   : ABB_IRB_4600_60_205
!# WOBJ    : PLÄTTCHEN [FALSE,TRUE,"",[[0,0,0],[1,0,0,0]],[[1305.000,125.000,85.000],[1.000000,0.000000,0.000000,0.000000]]]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

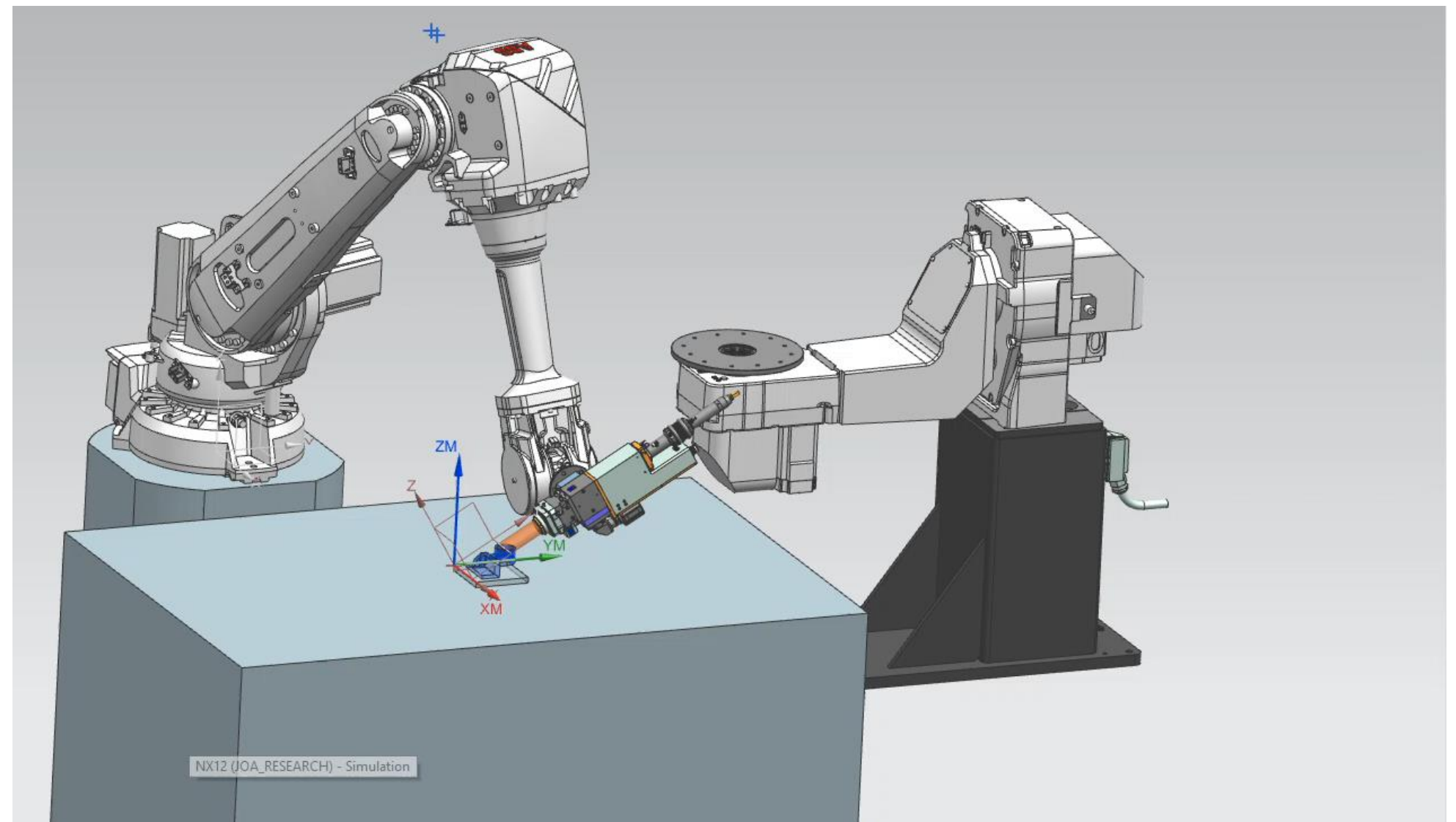
Bahnplanung / Simulation



Korrekte Auswahl der Schnittrichtung und Werkzeugorientierung nötig

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

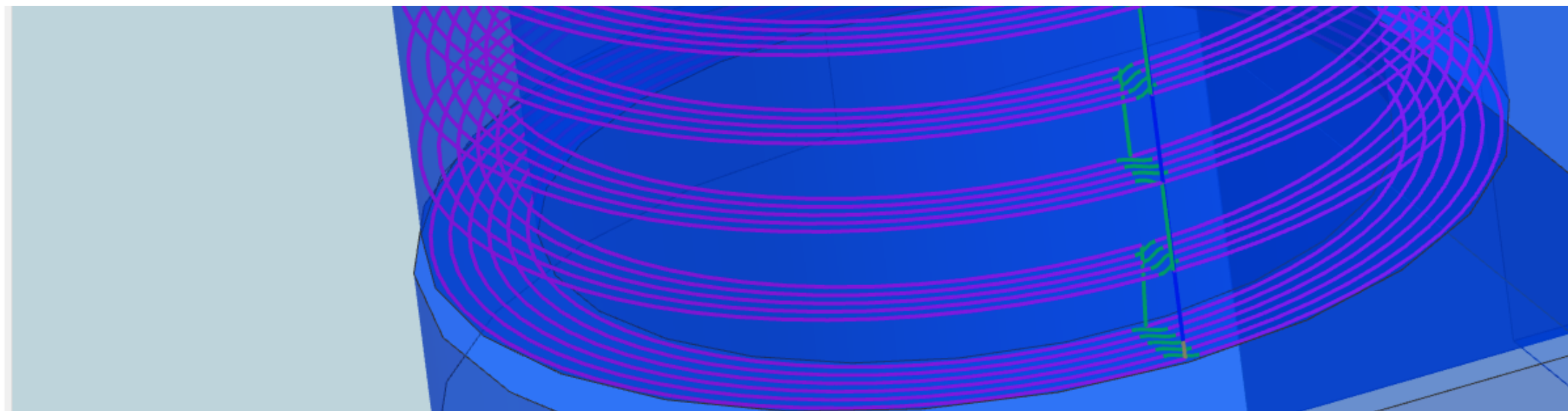
Rotationswinkel

Bereichsanordnung

Erste Stufe

Konturbearbeitung

Wegform in Ecken



Schichthöhe mm

Wegüberhang mm

Max. Zustellun mm

Minimale Zustellun mm

Muster

Schicht zu Schicht üf

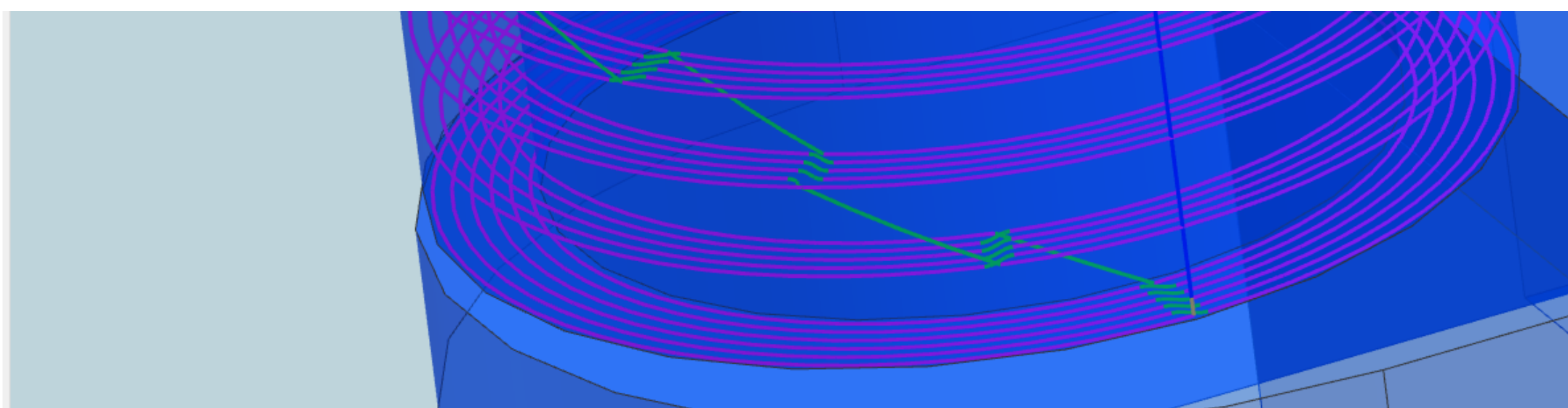
Rotationswinkel

Bereichsanordnung

Erste Stufe

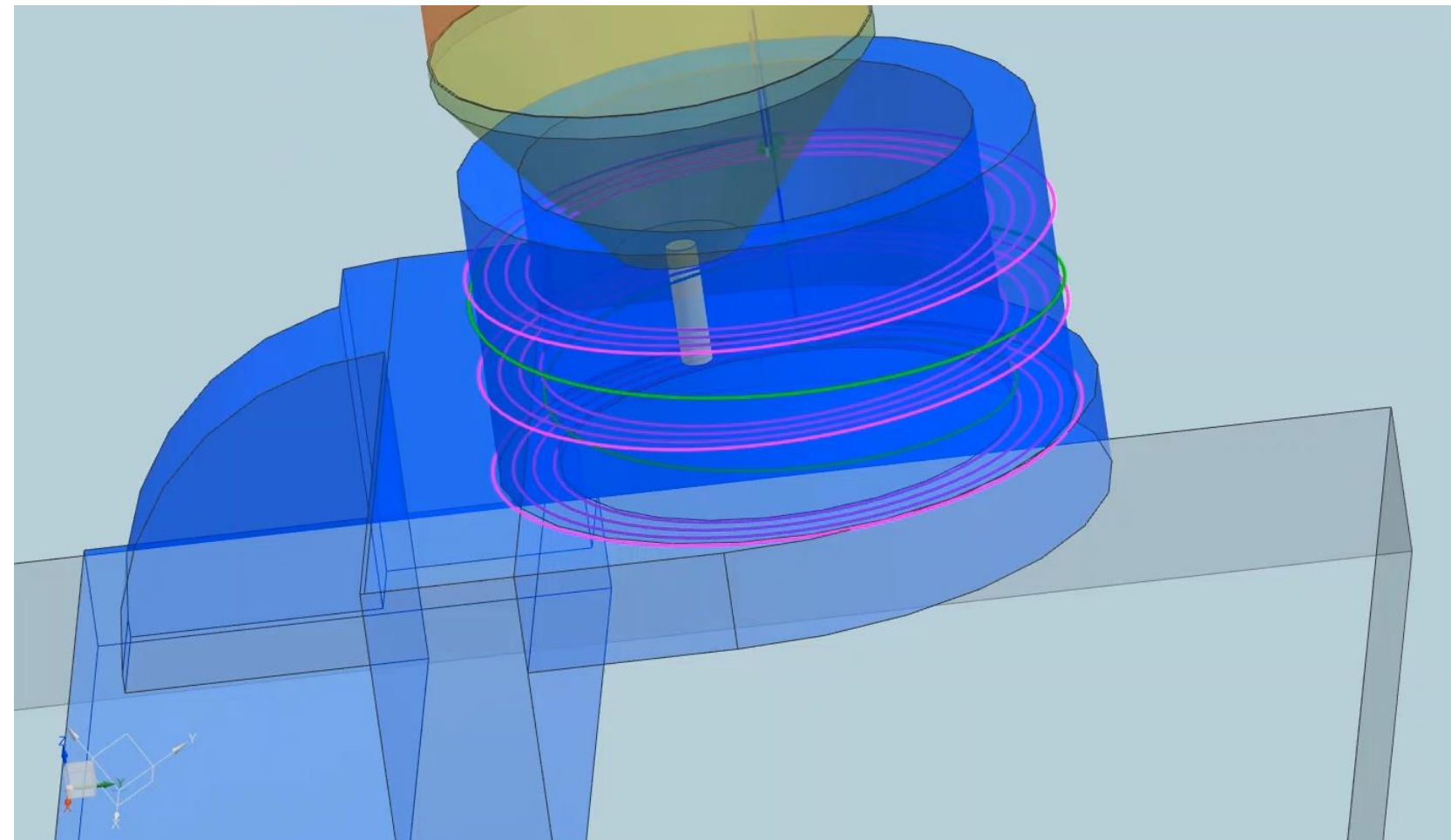
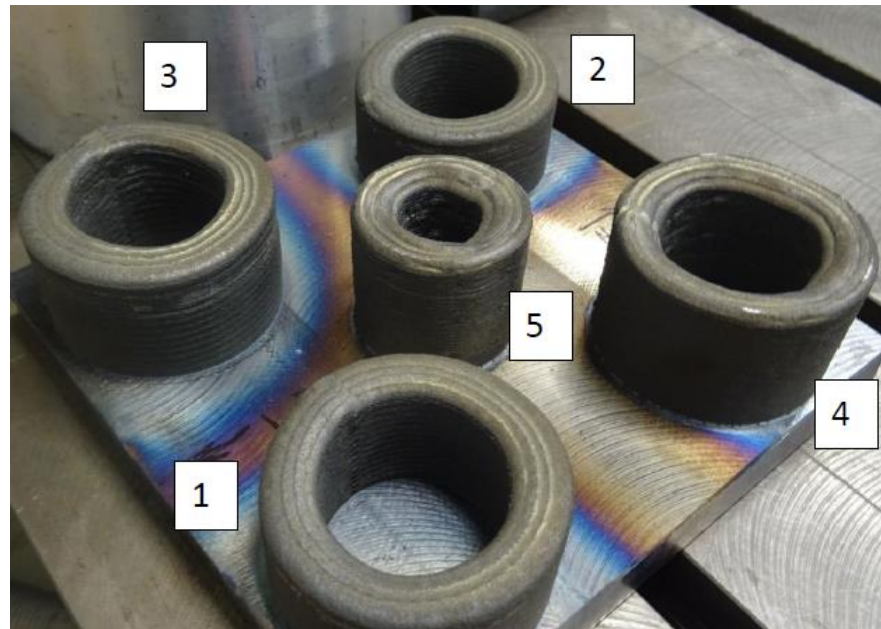
Konturbearbeitung

Wegform in Ecken



Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

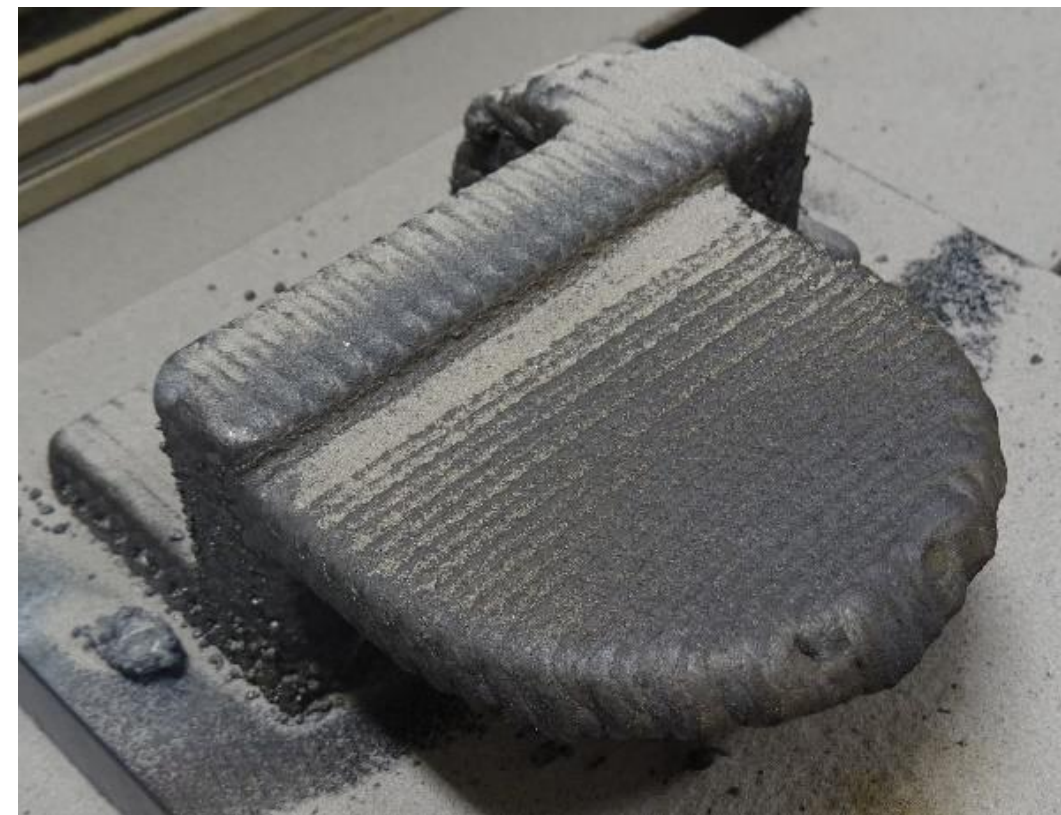
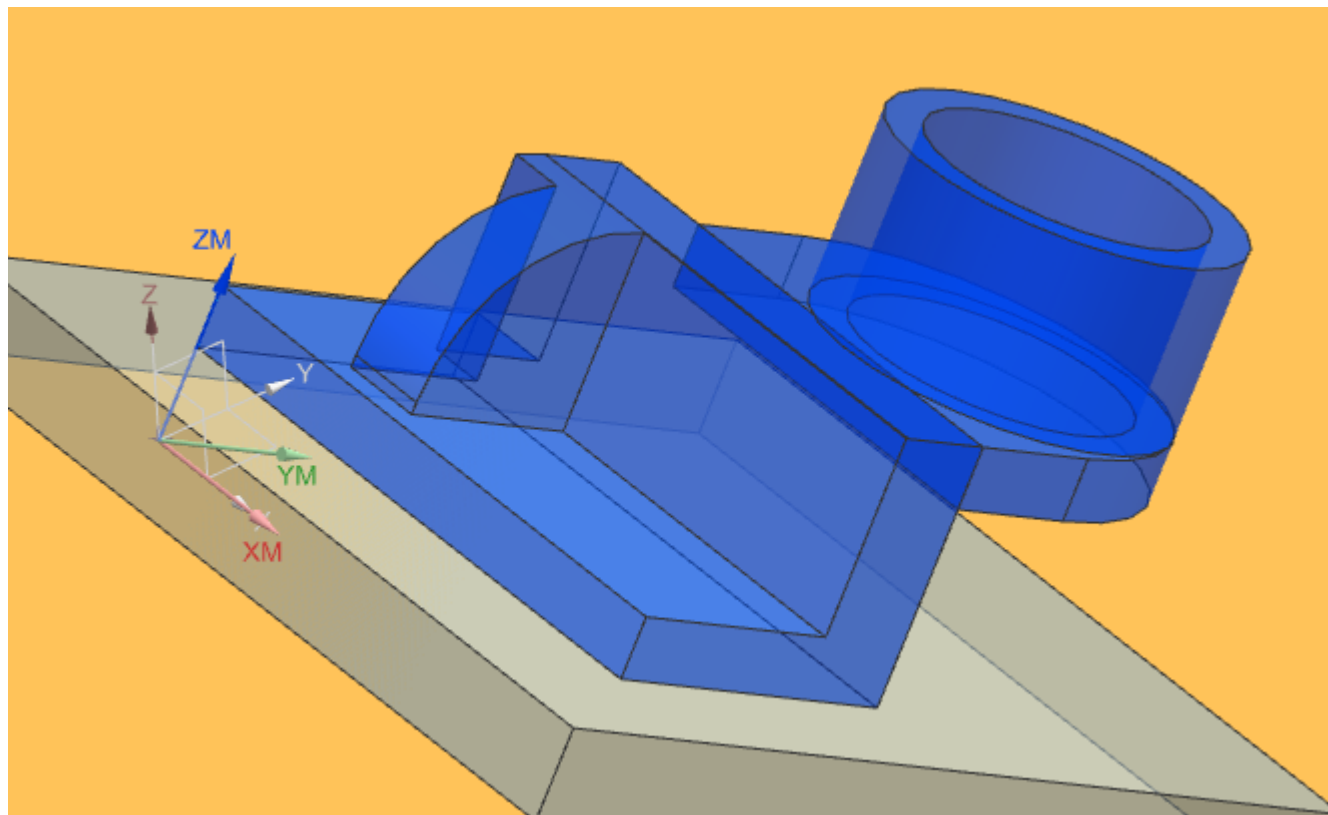
Bahnplanung



- 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



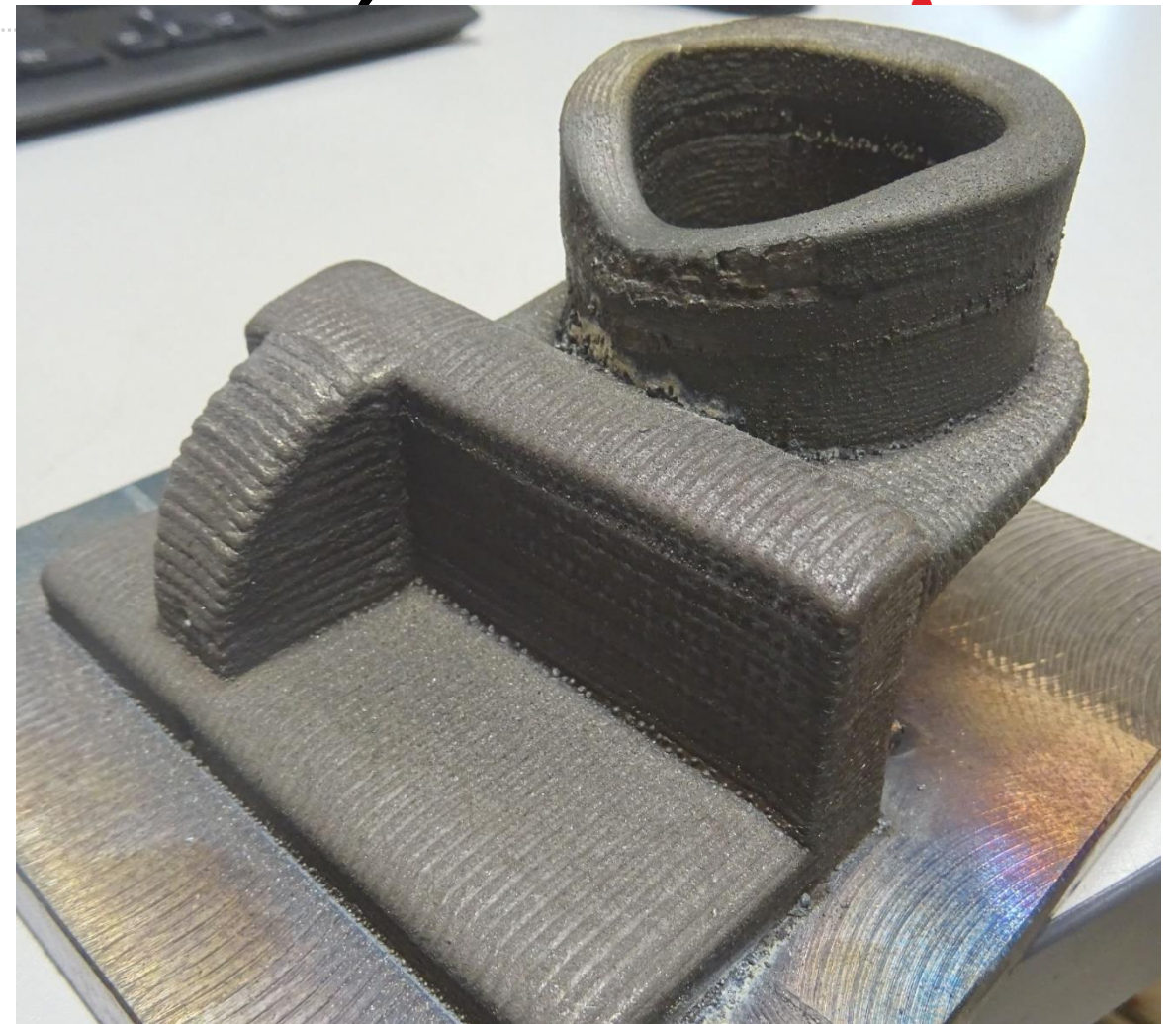
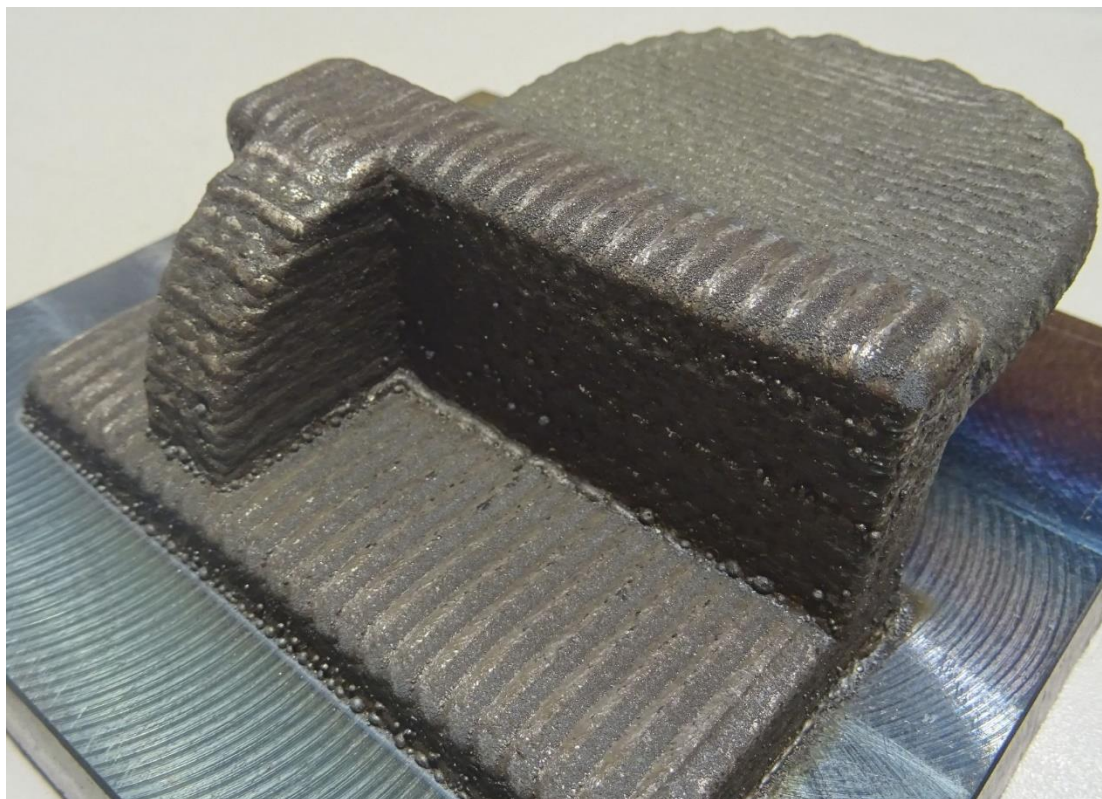
In Abhängigkeit von den exakten Schweißparametern kann es passieren, dass die Endhöhe der fertigen Bauteils nicht exakt der programmierten Höhe entspricht...

91

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

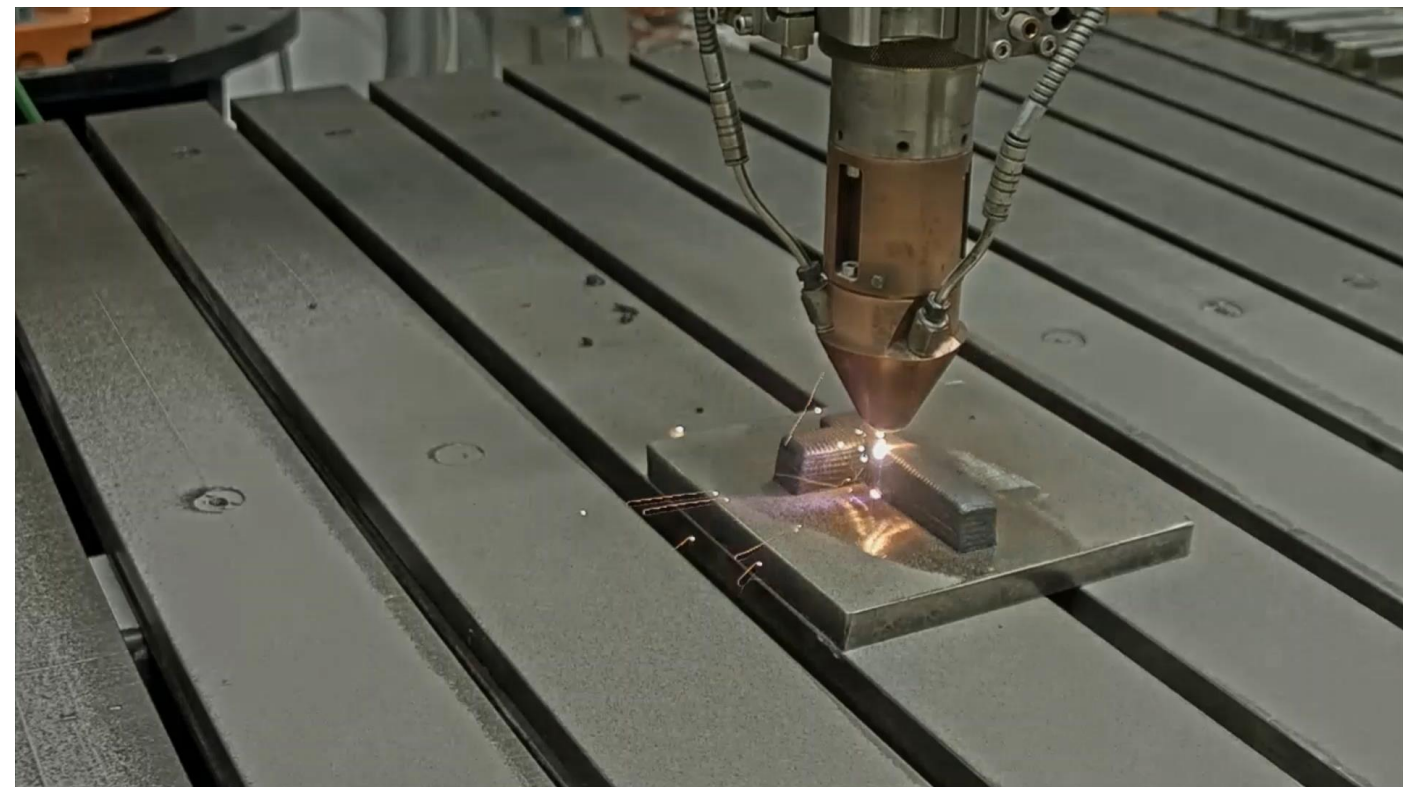
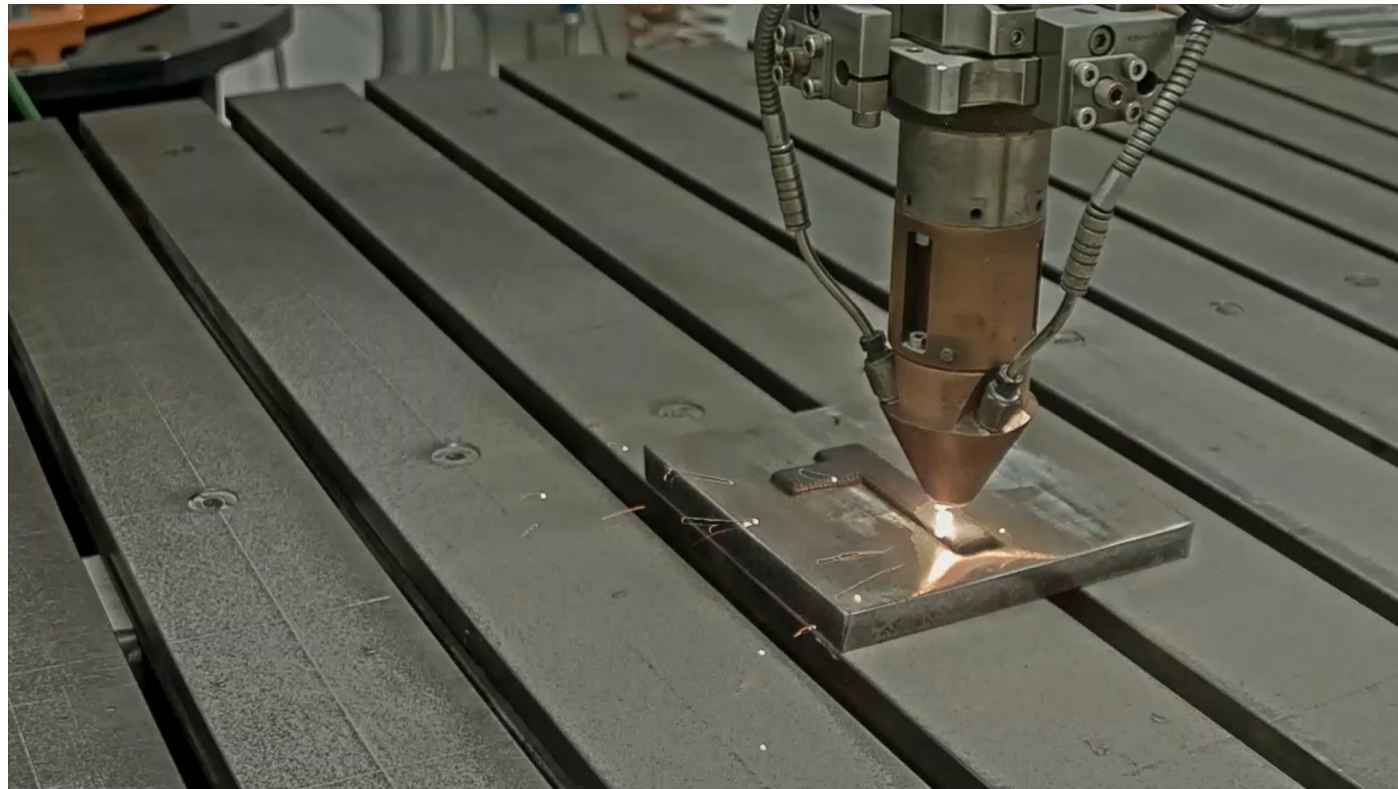
Fertigung des simulierten Demo-Bauteils

Volumen 1



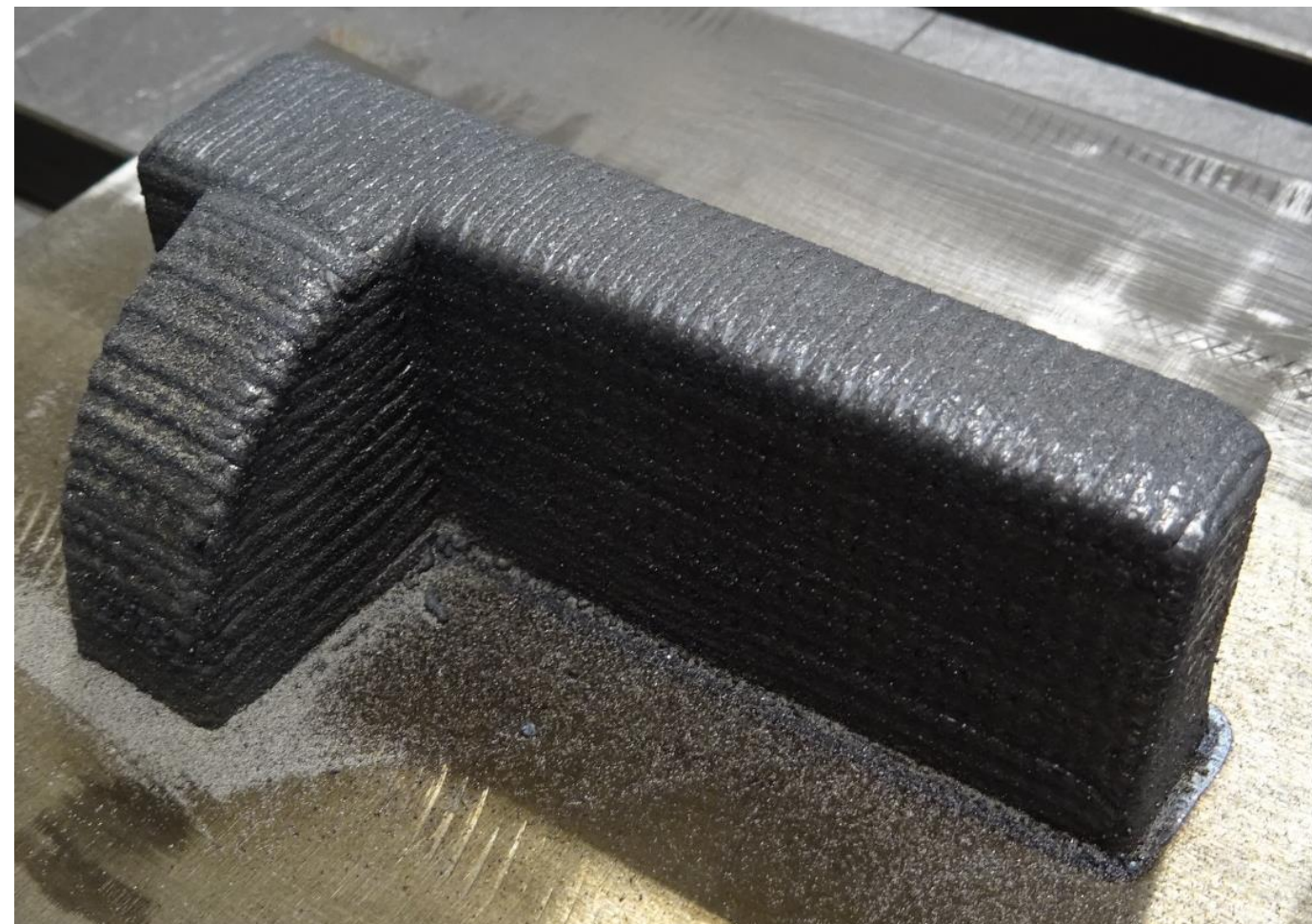
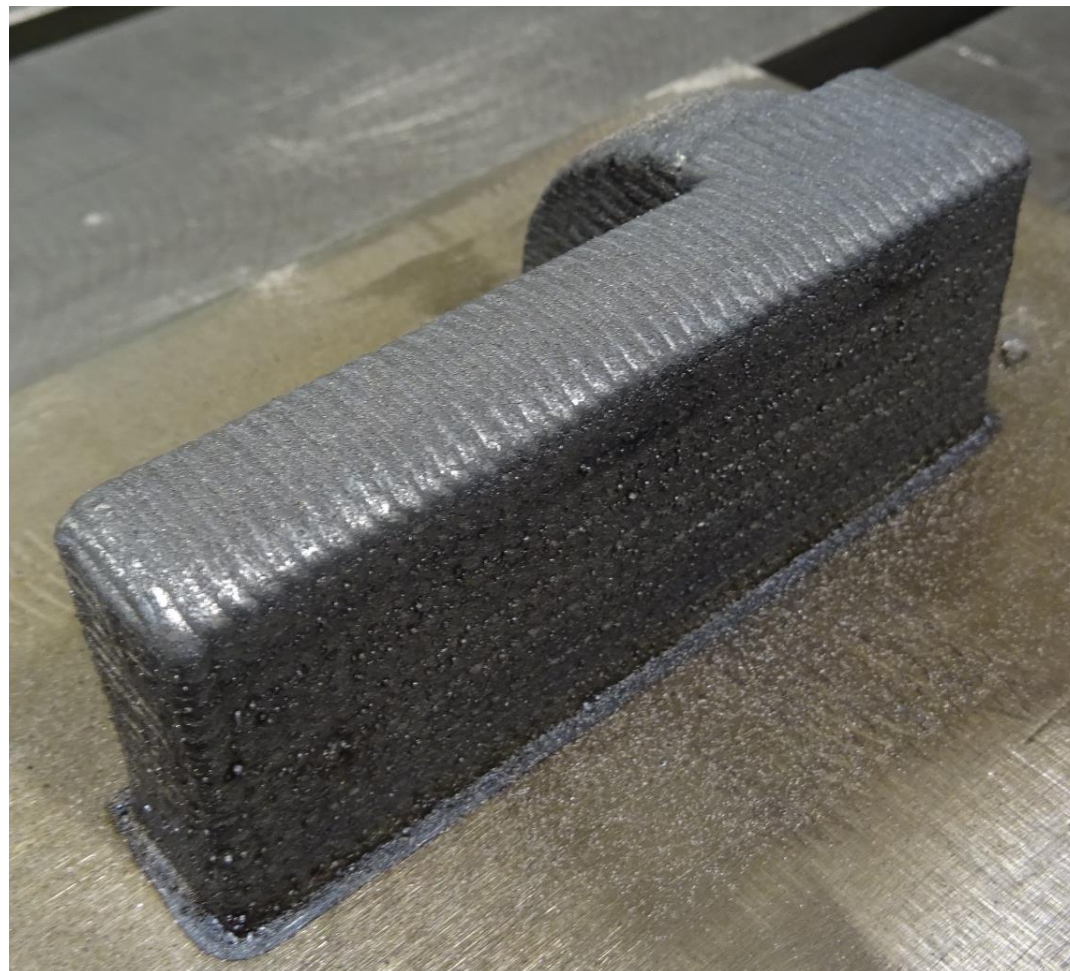
95 *Fertigung des simulierten Demo-Bauteils*

Volumen 1



Fertigung des simulierten Demo-Bauteils

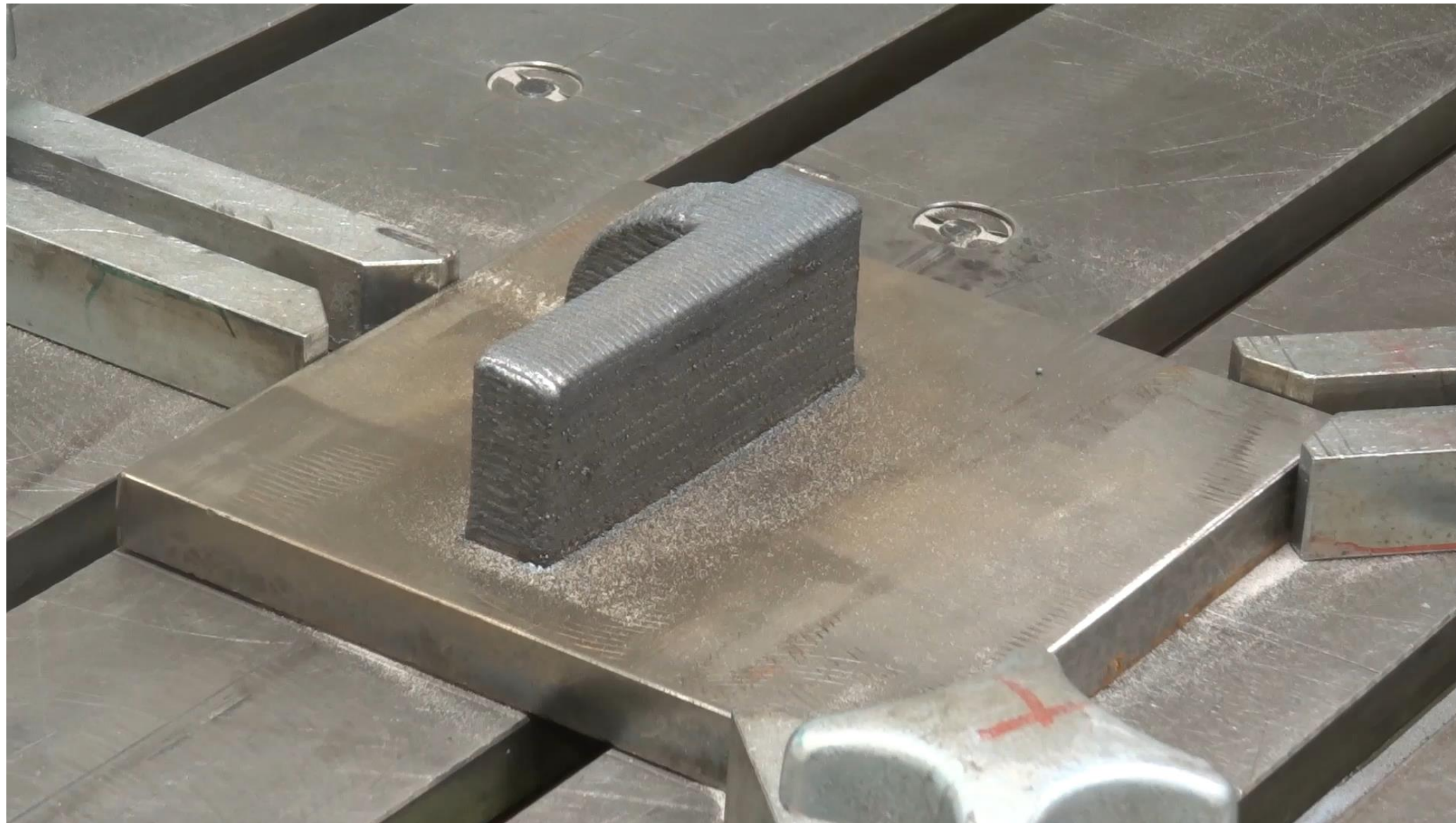
Volumen 1



97

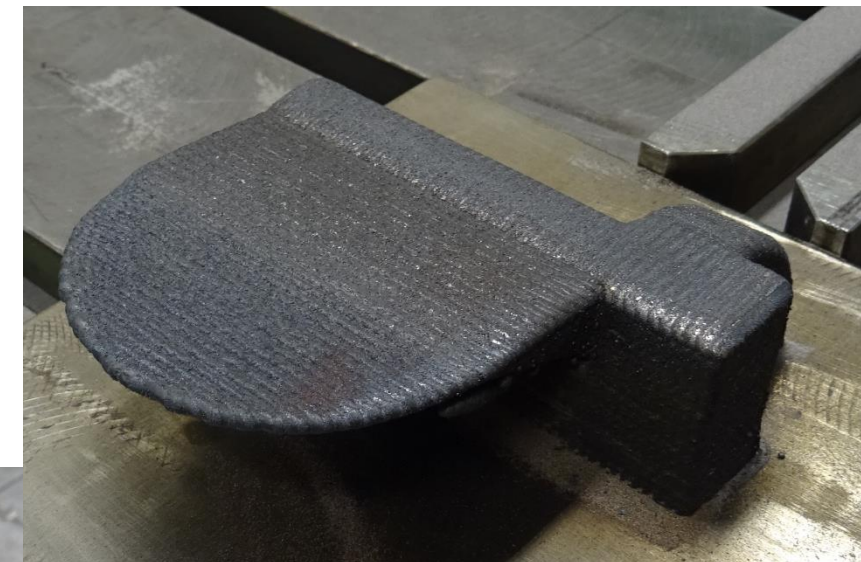
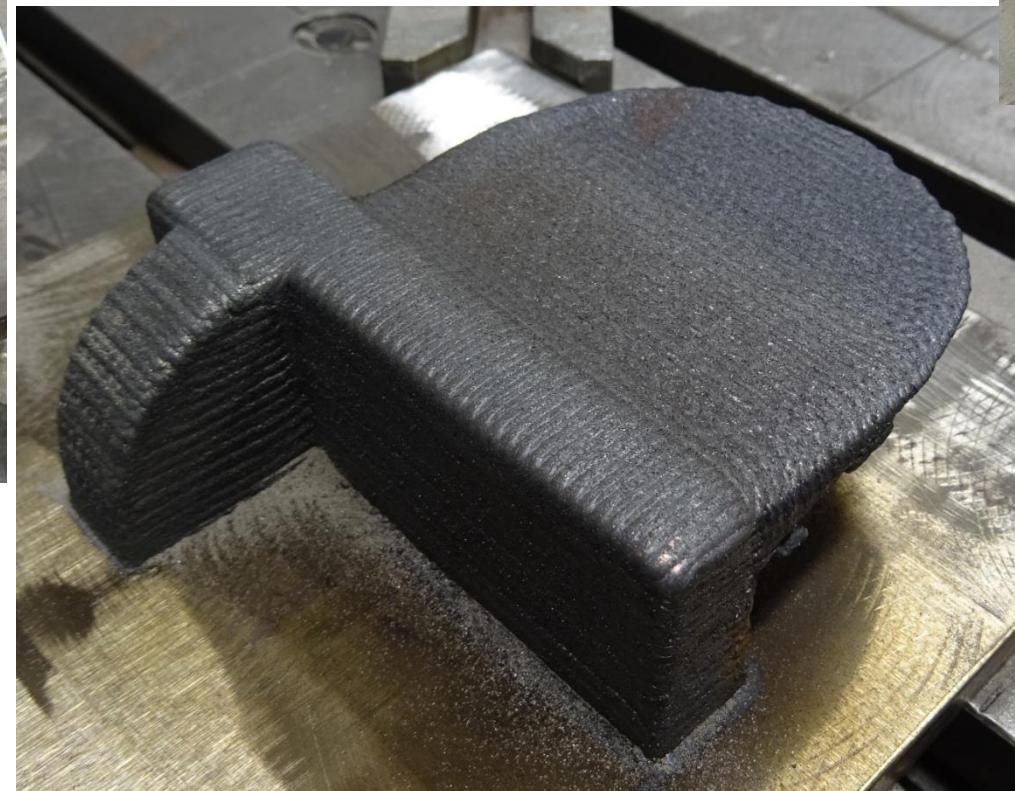
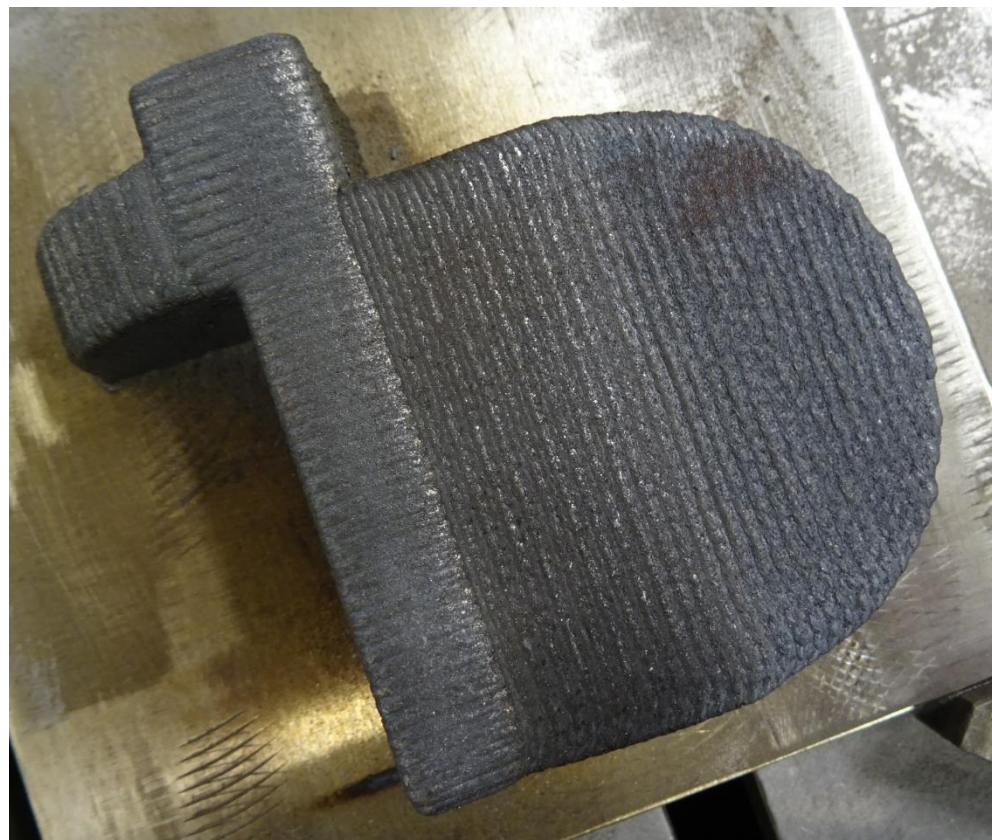
Fertigung des simulierten Demo-Bauteils

Volumen 2



Fertigung des simulierten Demo-Bauteils

Volumen 2



99

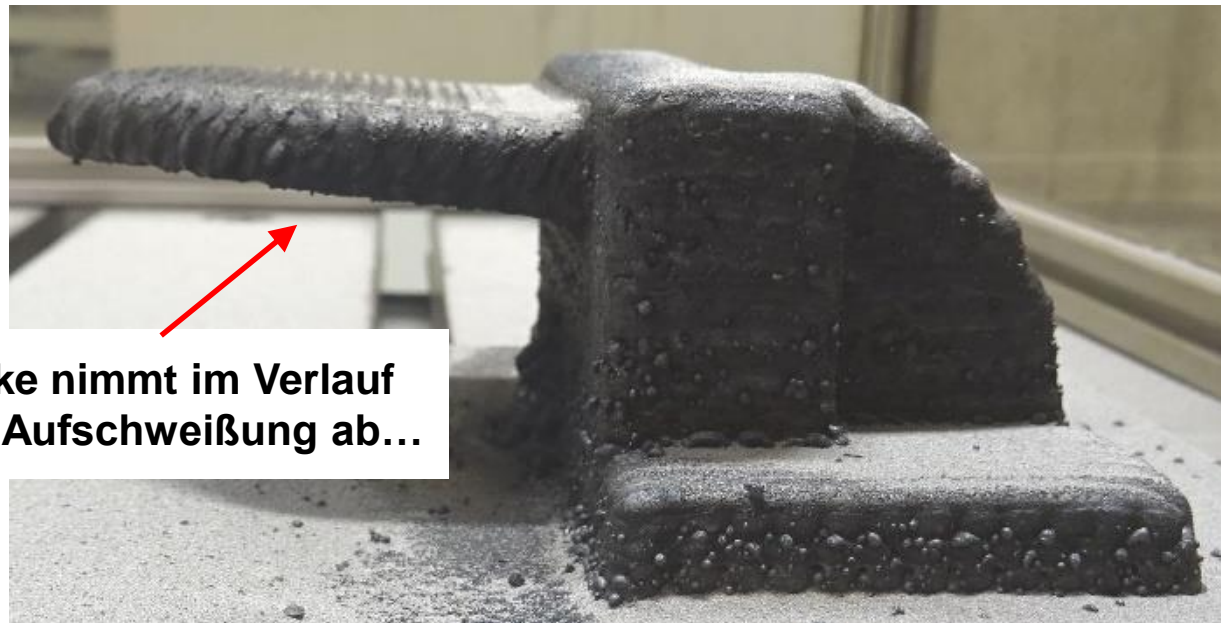
Fertigung des simulierten Demo-Bauteils

Volumen 3

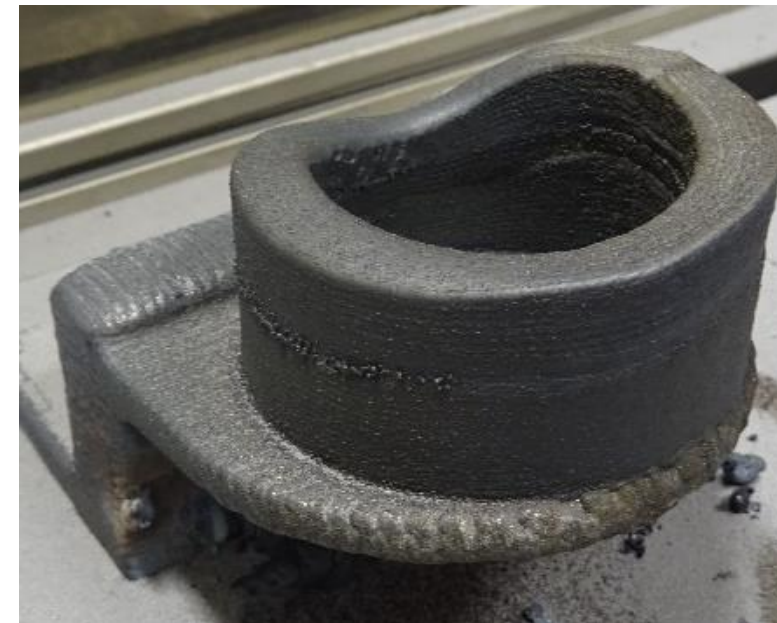


Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Fertiges Bauteil



Dicke nimmt im Verlauf
der Aufschweißung ab...



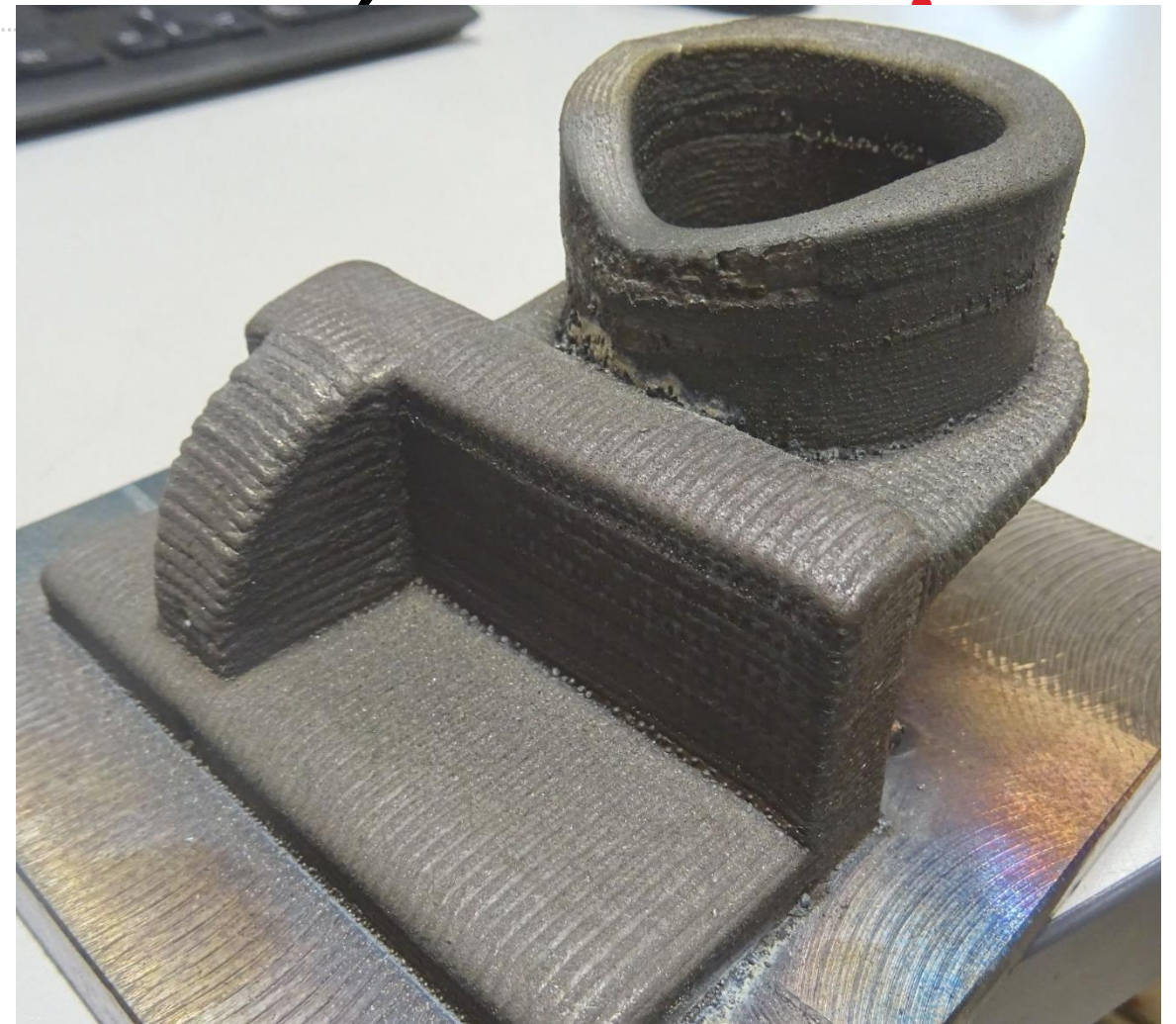
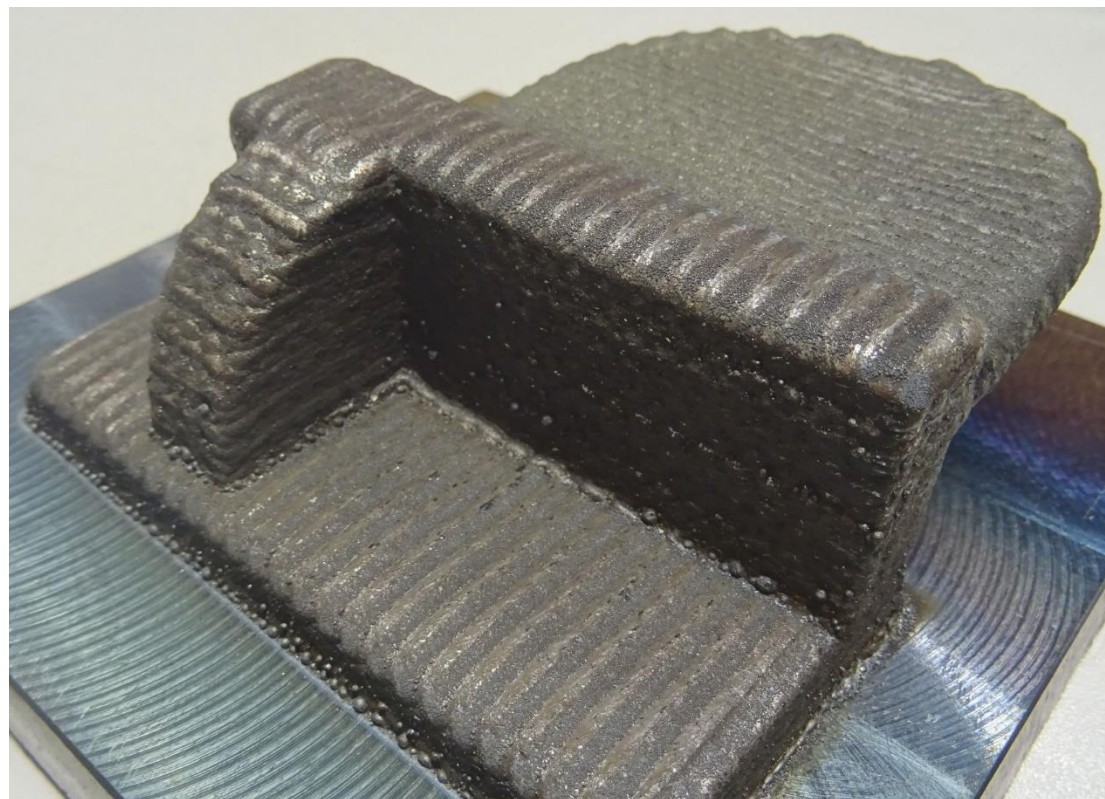
Die Stufe kann zu Unstetigkeiten führen, die sich im Verlauf des weiteren Bauprozesses fortsetzen...

101

Bahnplanung & Simulation (Siemens NX)

Fertiges Bauteil

- Mit unterschiedlichen Auflösungen...

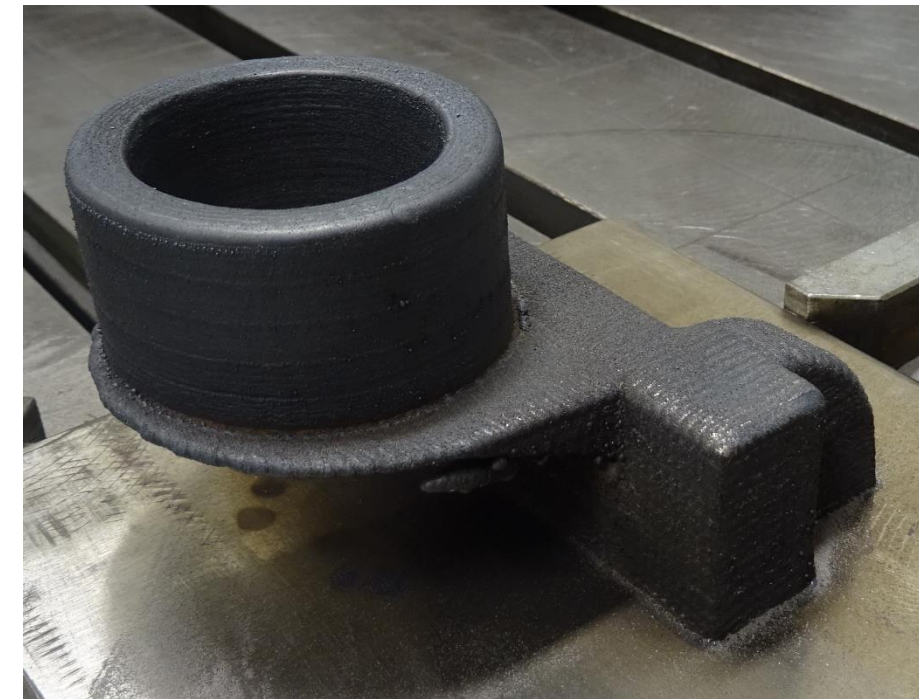
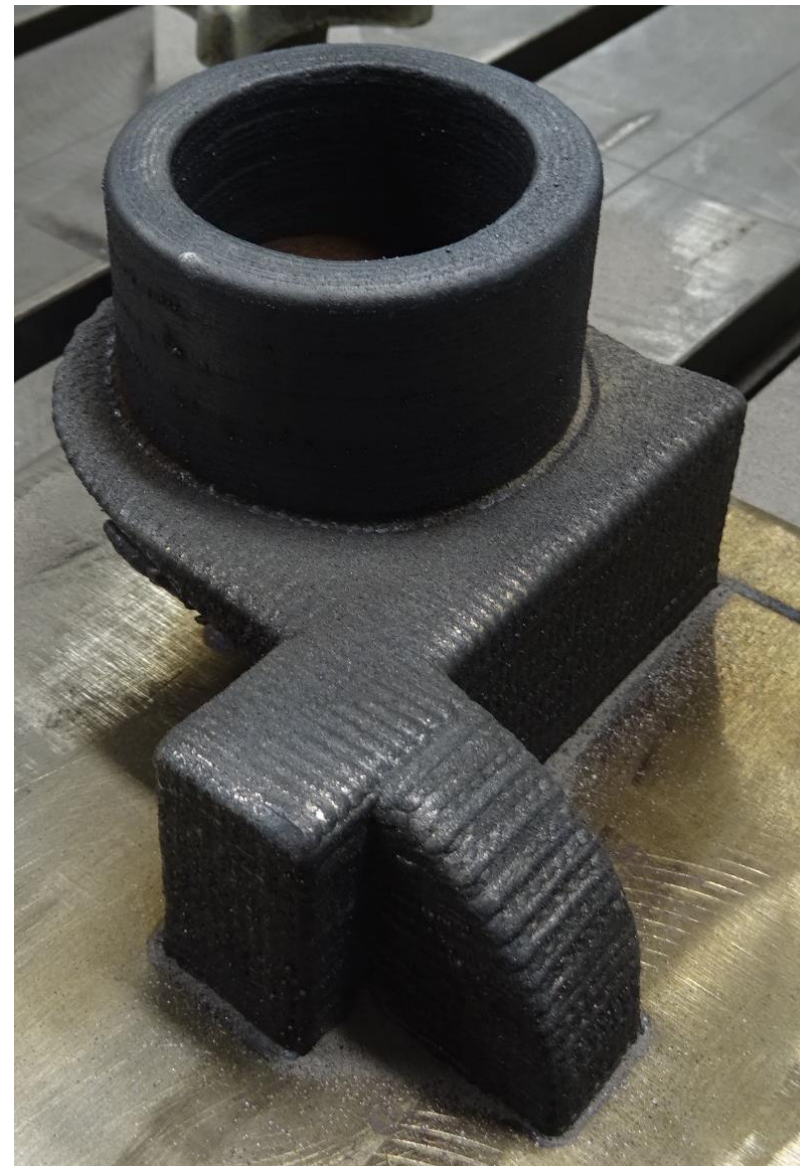
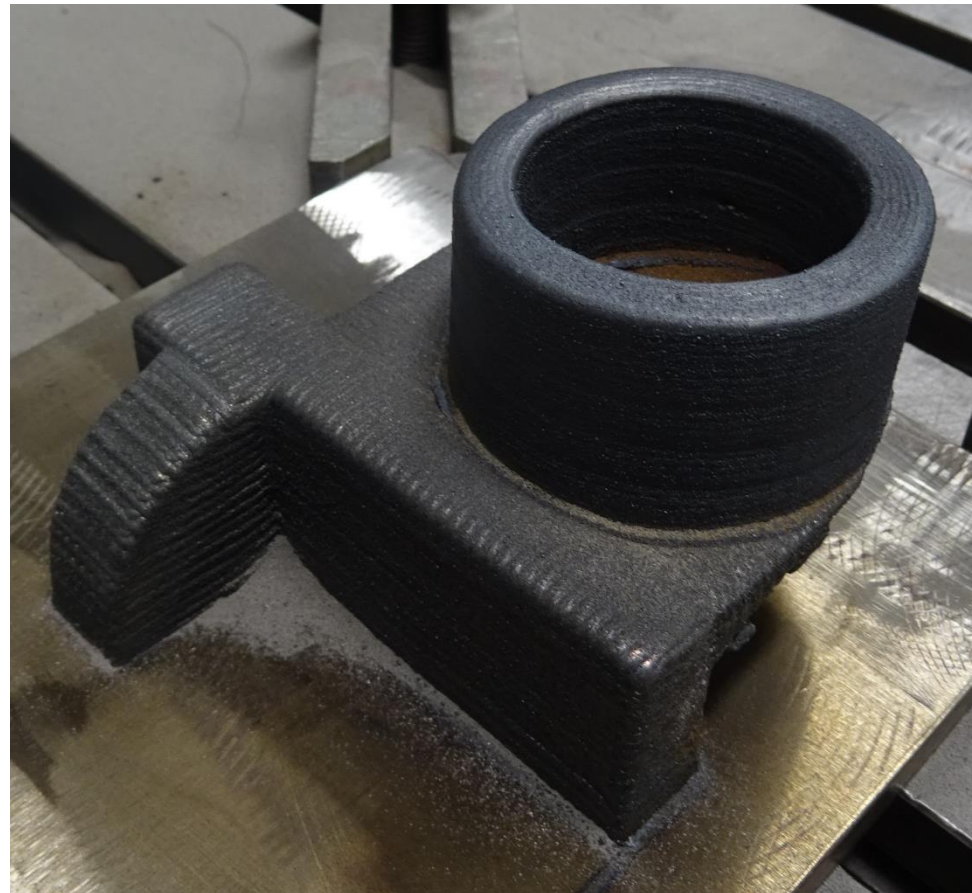


...Software erspart die
Prozessentwicklung nicht...

102

Fertigung des simulierten Demo-Bauteils

Volumen 3



Generative Fertigung mittels Laserauftragsschweißen

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

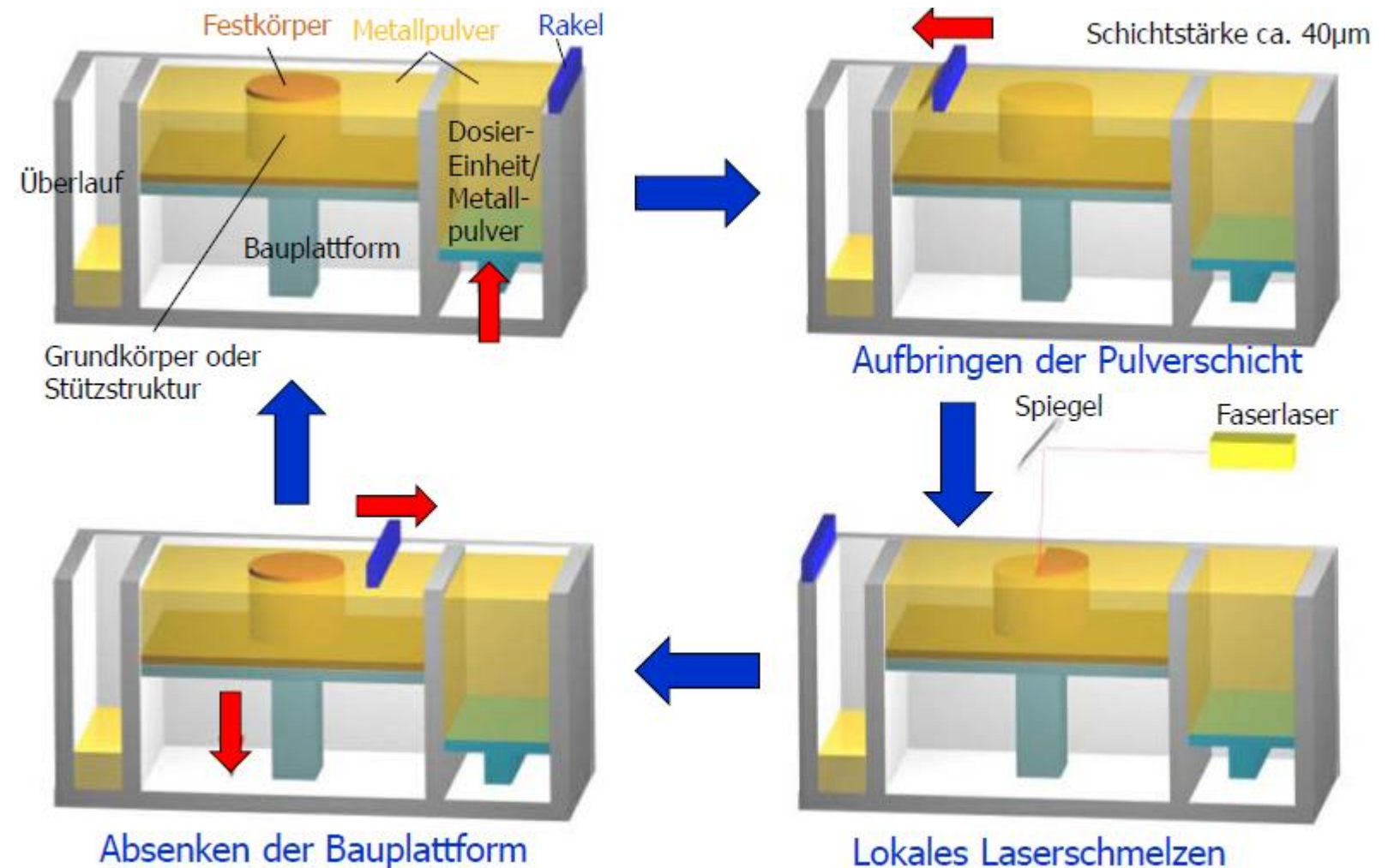
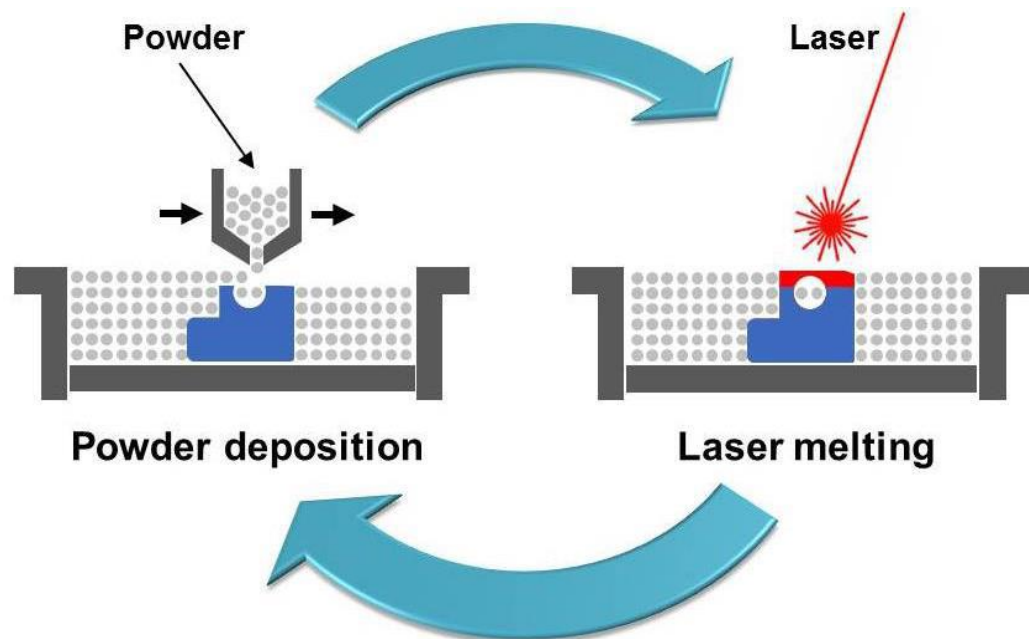
(...nur ganz kurz...)

Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

105

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



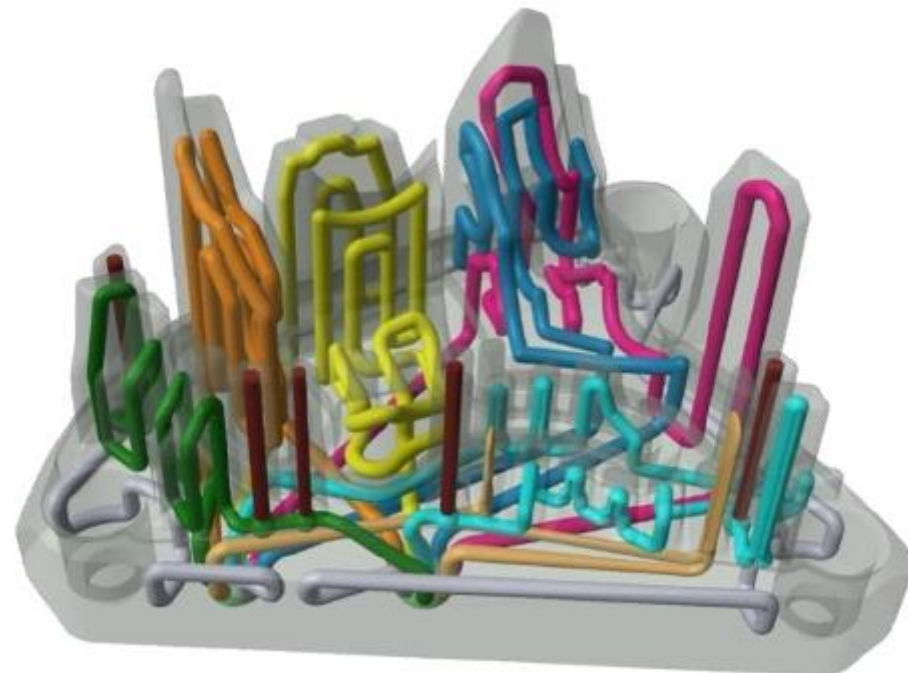
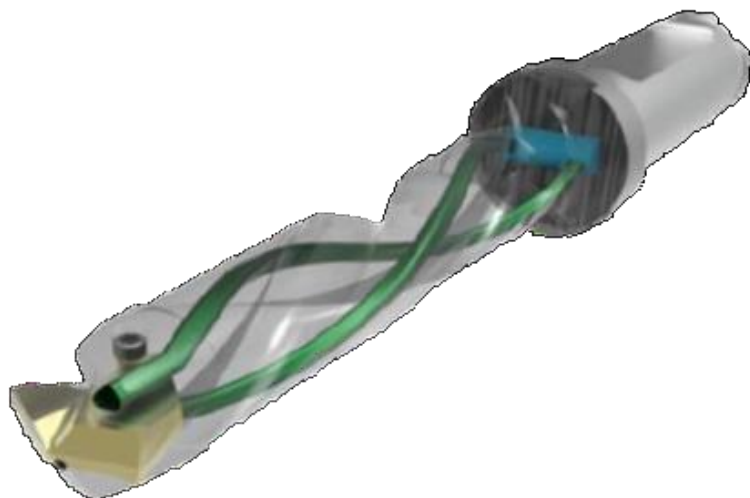
Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

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

106

■ Vorteile

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



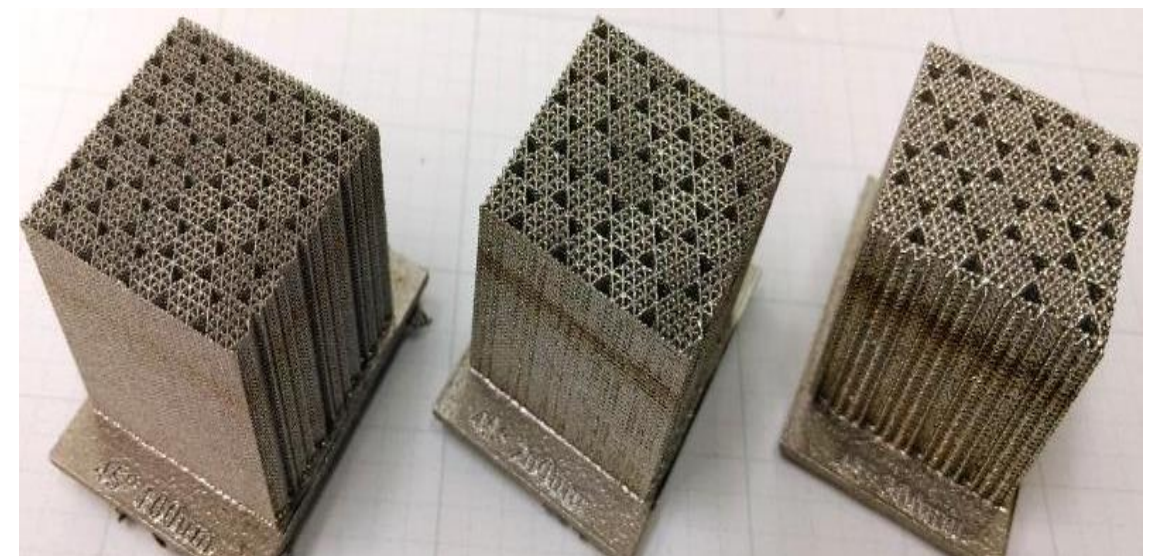
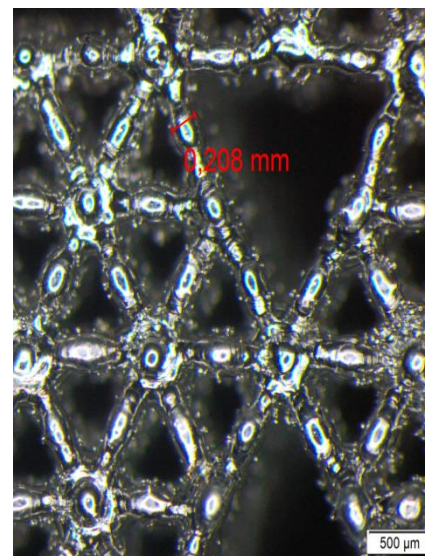
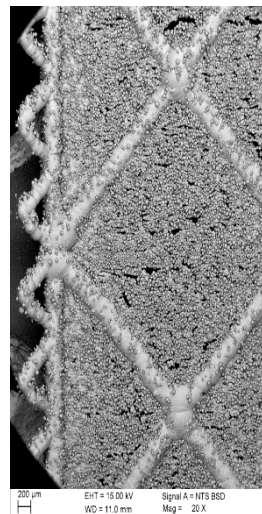
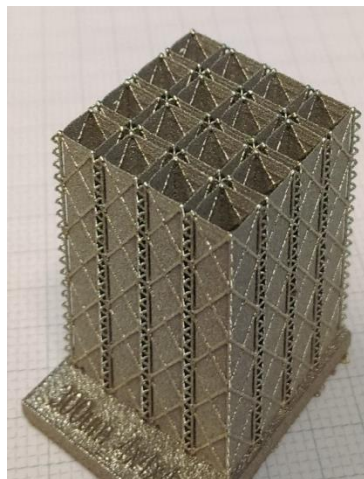
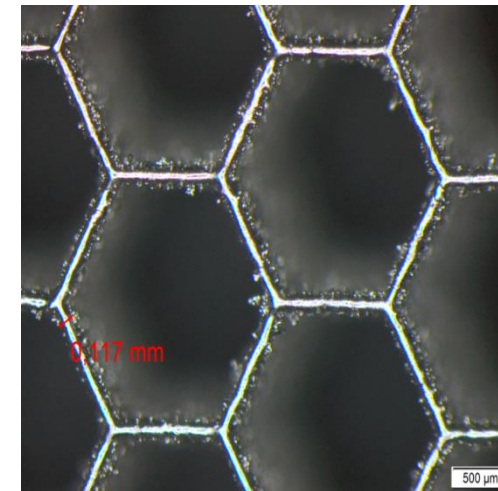
Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

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

107

Beispiele

- Funktionelle Gitterstrukturen
 - Katalysatoren
 - Vibrationsdämpfung
 - Strukturen für Knochenimplantate

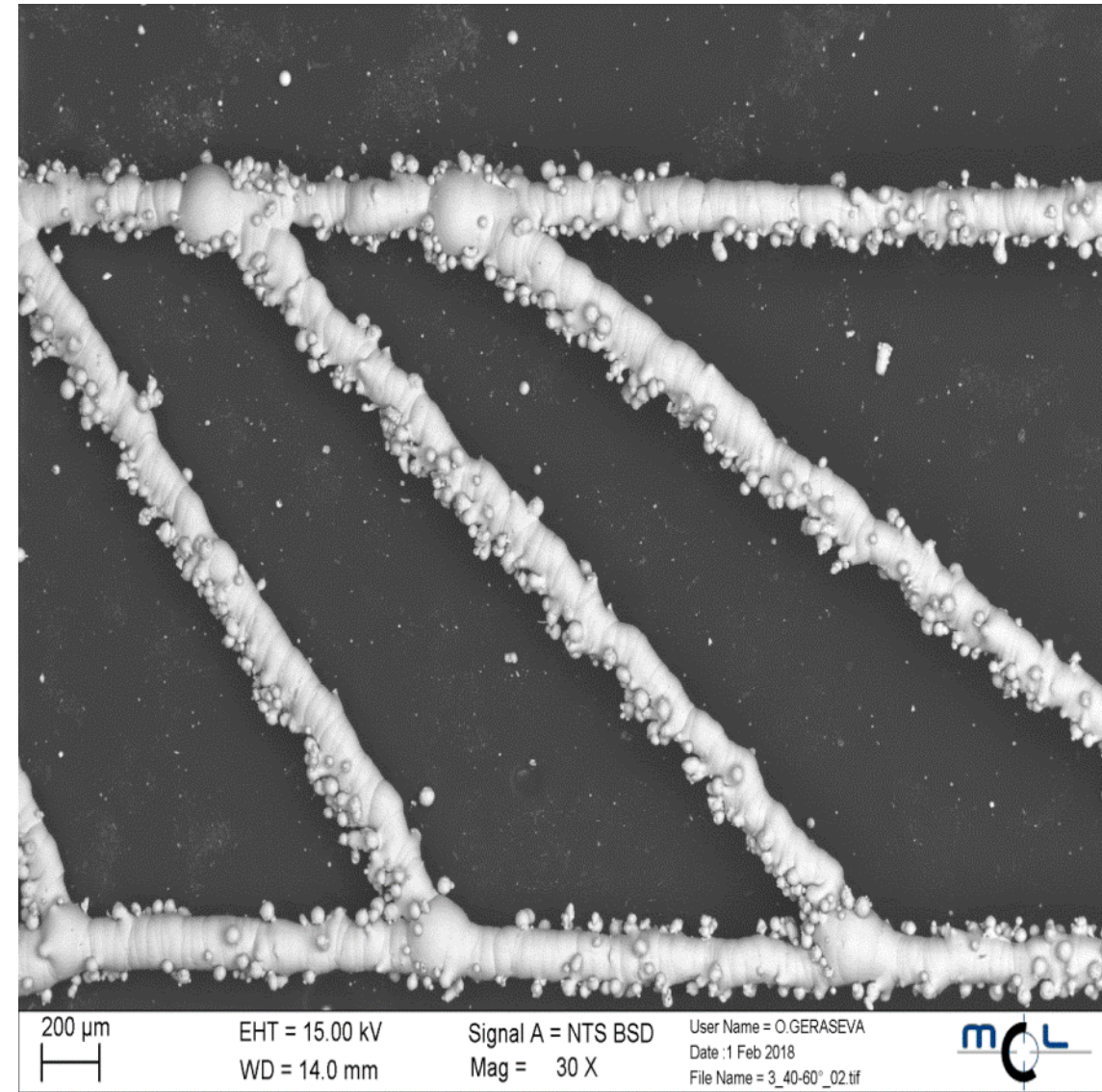


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

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

108

■ Feinste Strukturen

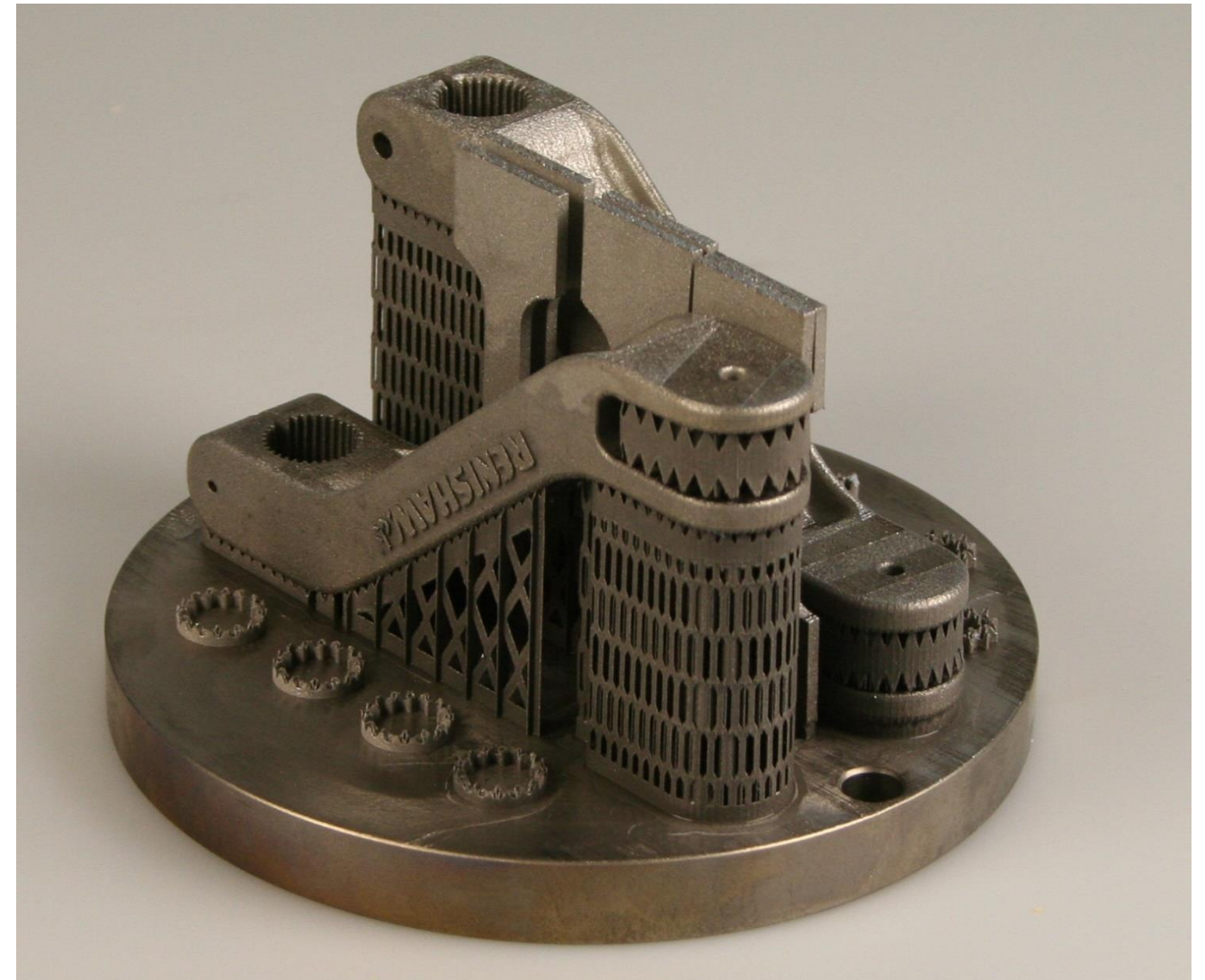


Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

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

109

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



Laserproduktionstechnik & Generative Fertigung

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

110

- 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...

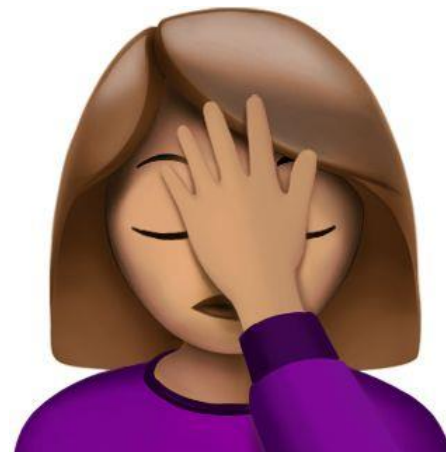
Because of the term „3D printing“ the field of additive manufacturing has originally been assigned to the „paper and printing“ division of the *German Mechanical Engineering Industry Association (VDMA, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) !!!*

Source:

Verfahren im Überblick

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

published by *x-technik IT & Medien GmbH*

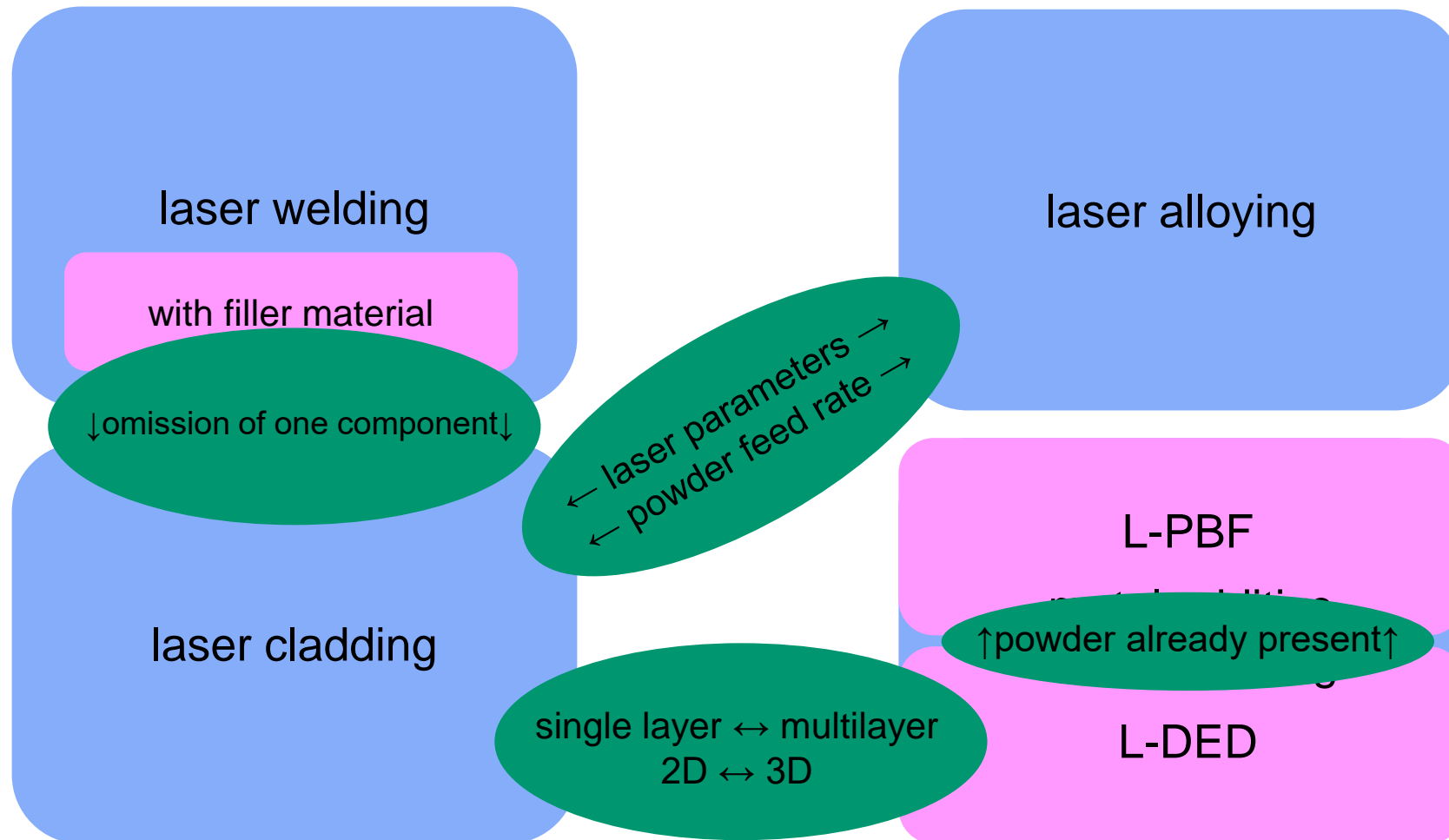


Vergleich L-DED vs. L-PBF

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 ³ /min	<< 1 cm ³ /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...



© 3Druck.com

© home-of-welding.com



Thank you for your attention!

JOANNEUM RESEARCH
Forschungsgesellschaft mbH

MATERIALS –
Institute for Surface Technologies and Photonics

Leobner Straße 94a
8712 Niklasdorf

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

www.joanneum.at/materials

