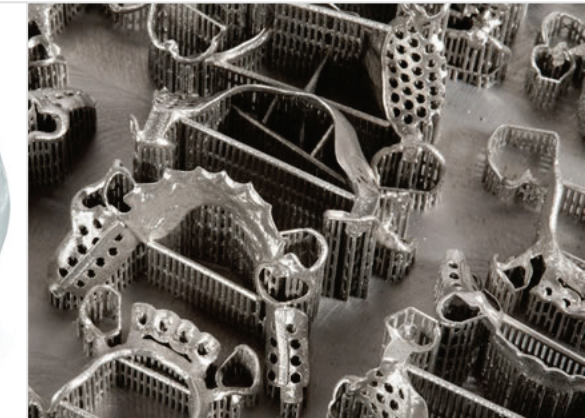
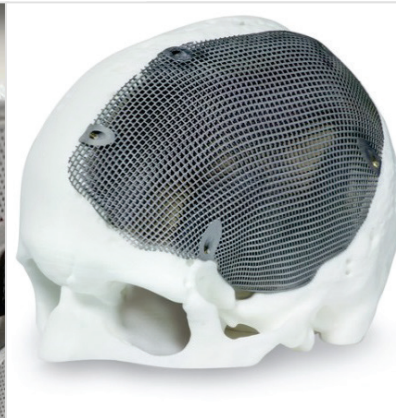
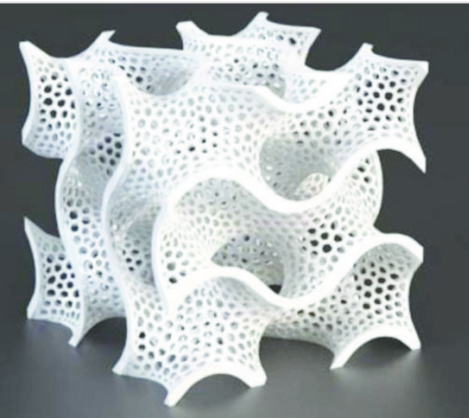


ADDITIVE FERTIGUNG

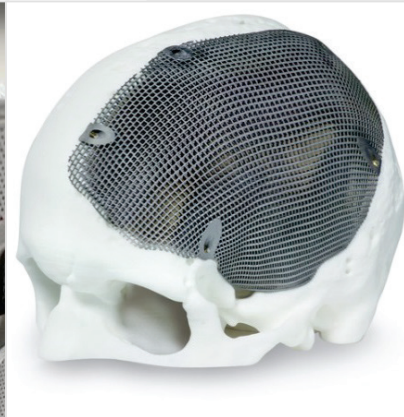
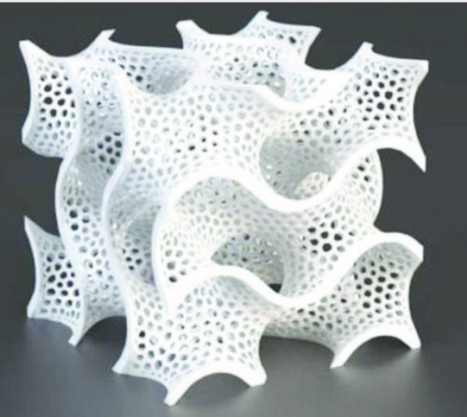


Sommersemester 2021

GLIEDERUNG

1. Einführung in das Thema additive Fertigungstechnik
2. Produktentstehungsprozess
3. Modelle und Prototypen in der Produktentwicklung
4. Klassifizierung
5. Preprocessing (Datenaufbereitung, Datennutzung)
- 6. Additive Fertigungsverfahren**
7. Postprocessing
8. Wirtschaftlichkeit

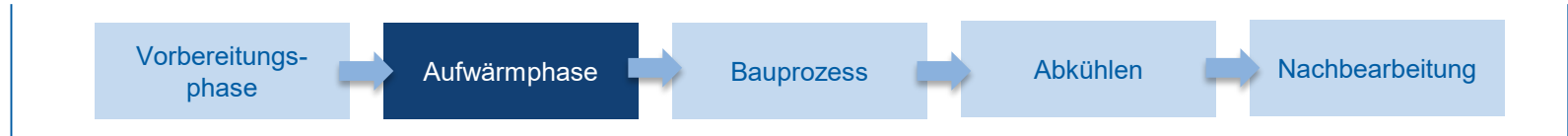
ADDITIVE FERTIGUNG – SLS II BAUPROZESS



Sommersemester 2021

6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: AUFWÄRMPHASE



IR-Strahler:

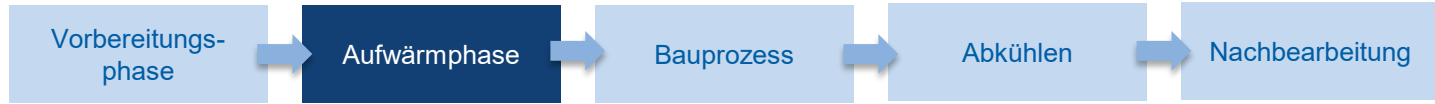
- Die Differenz zwischen Schmelz- und Vorwärmtemperatur T an der Pulveroberfläche muss möglichst gering sein (maximal 10 - 12 °C)
- Temperaturdifferenz führt durch Schrumpfung zu Eigenspannungs- und Verzugseffekten

Der Vorwärmtemperatur kommt daher eine zentrale Bedeutung zu.

- Ist sie zu niedrig, kommt es zu nicht ausreichender Versinterung/Verschmelzung und Verzug
- Ist die Vorwärmtemperatur zu hoch gewählt, kann sie ein Zusammenbacken des gesamten Pulverkuchens bewirken

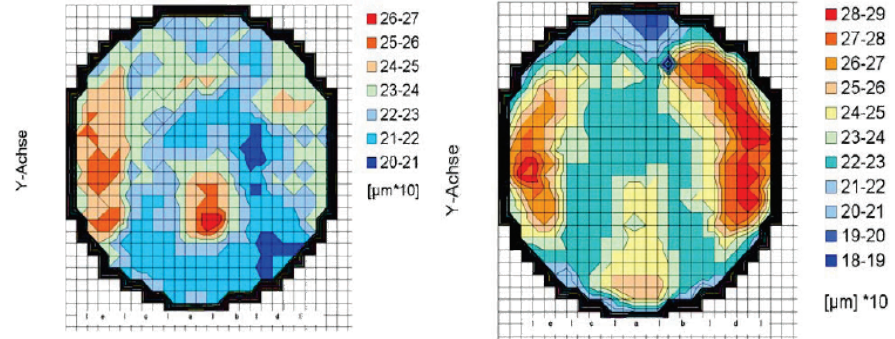
6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: AUFWÄRMPHASE



Homogenität:

- Durch längere Zykluszeiten wird ein gleichmäßiges Temperaturprofil innerhalb des Pulverbettes ausgebildet
- Homogen ausgebildetes Temperaturprofil ist eine notwendige Voraussetzung für qualitativ hochwertige Lasersintererteile
- In der ca. 2,5 h dauernden Phase werden keine Bauteile generiert
- Die Aufwärmphase hängt sehr von der Anlage, Bauraumgröße und auch der zu erreichenden Aufwärmtemperatur ab und kann daher variieren

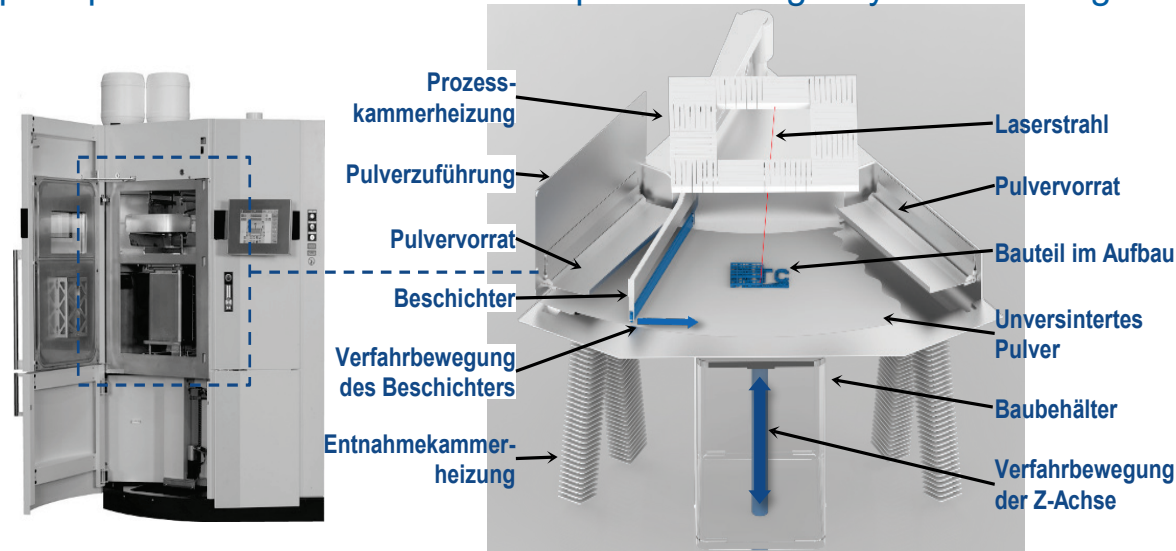


6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Funktionsprinzip des Laser-Sinterns am Beispiel des Anlagensystems Formiga P 100

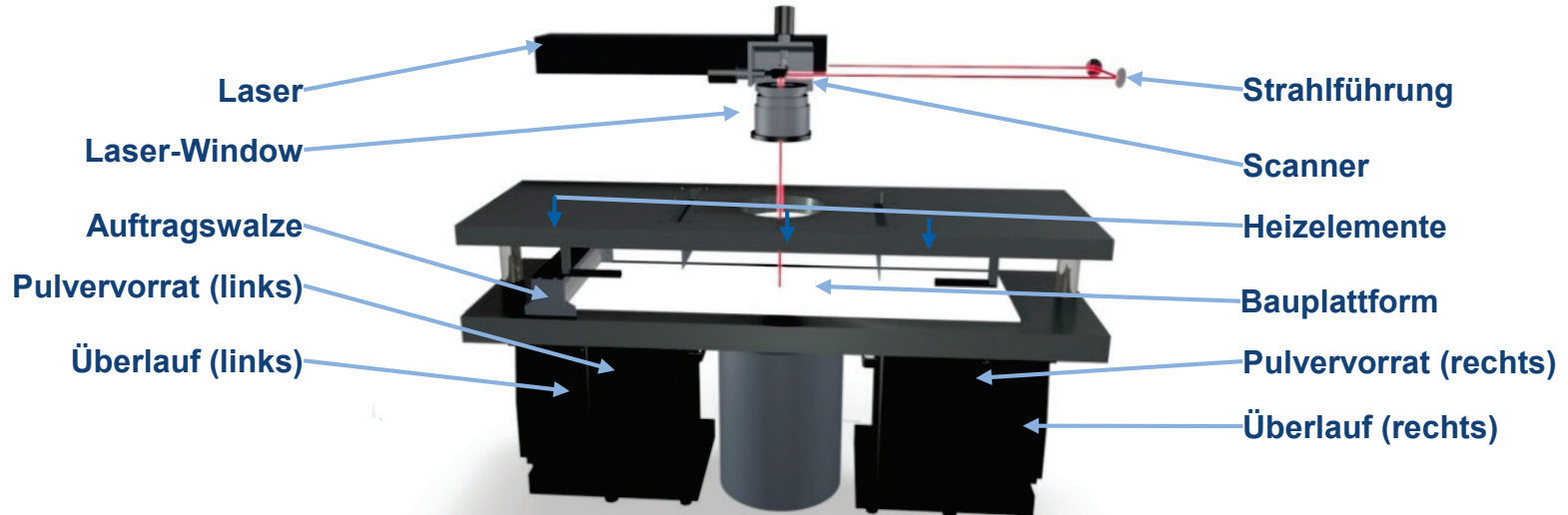


6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS

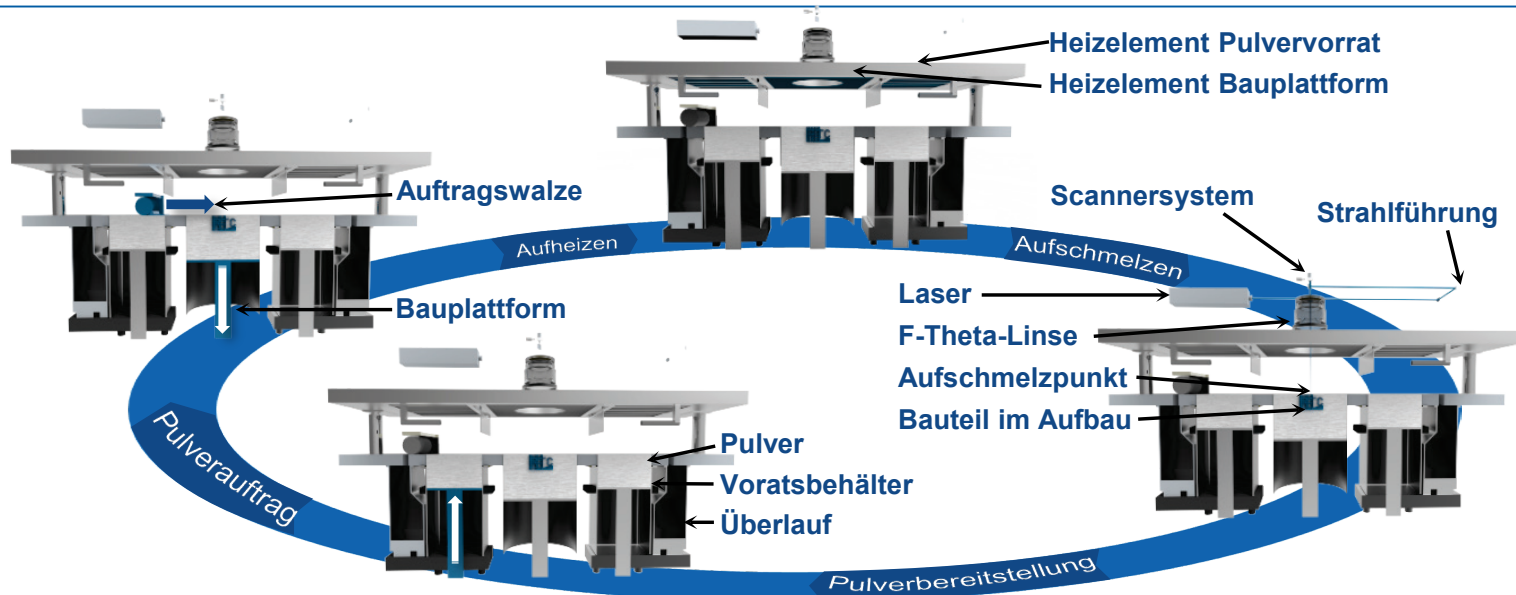


Funktionsprinzip des Laser-Sinterns am Beispiel des Anlagensystems DTM 2000



6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS

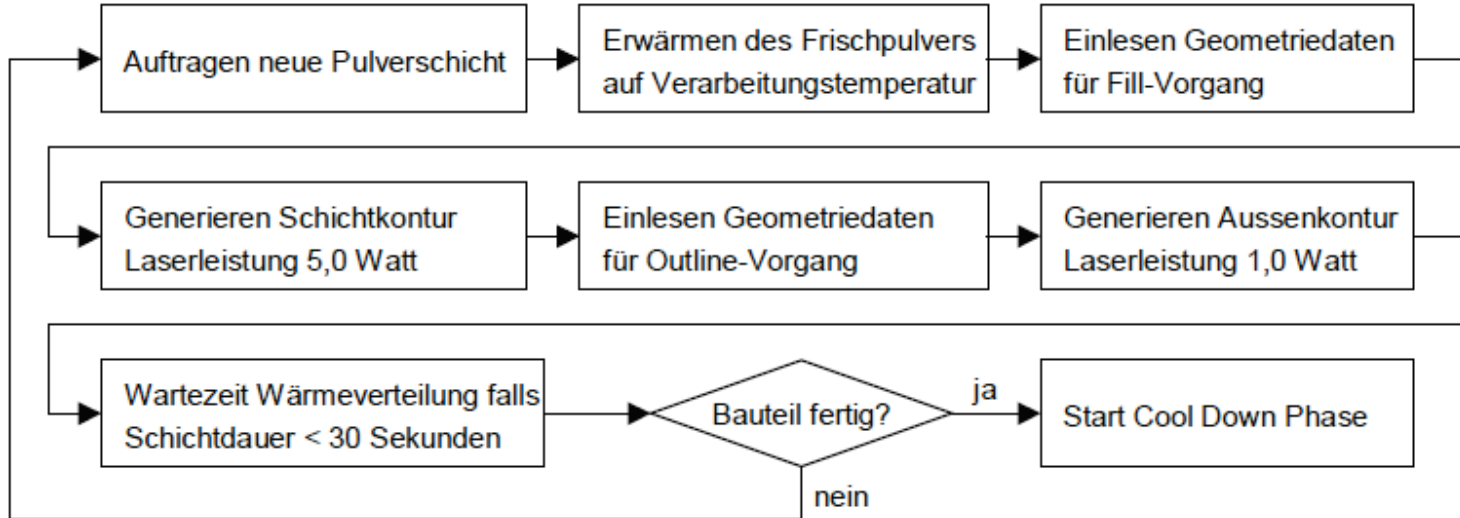


6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Kontinuierlicher Ablauf nach folgendem Schema



6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Laser

- Der Einsatz eines **CO₂-Lasers** bringt den Vorteil einer hohen Absorption der Strahlung mit einer Wellenlänge von 10,6 µm durch Kunststoffe mit sich.
- Je nach Ablenksystem(-geschwindigkeit) werden verschiedene Laserleistungen eingesetzt. Beispiel: Der in der Sinterstation 2000 und 2500 eingesetzte Laser ist ein wassergekühlter CO₂-Laser vom Typ Synrad 48-5 mit einer Leistung von 50 Watt. In der Sinterit-Anlage ist ein IR-Dioden-Laser mit nur 5 Watt eingebaut.

Zur Beschreibung eines Laserstrahls dienen die Größen:

- Strahlleistung P_b
- Intensitätsprofil I
- Strahlradius r_b
- Wellenlänge λ



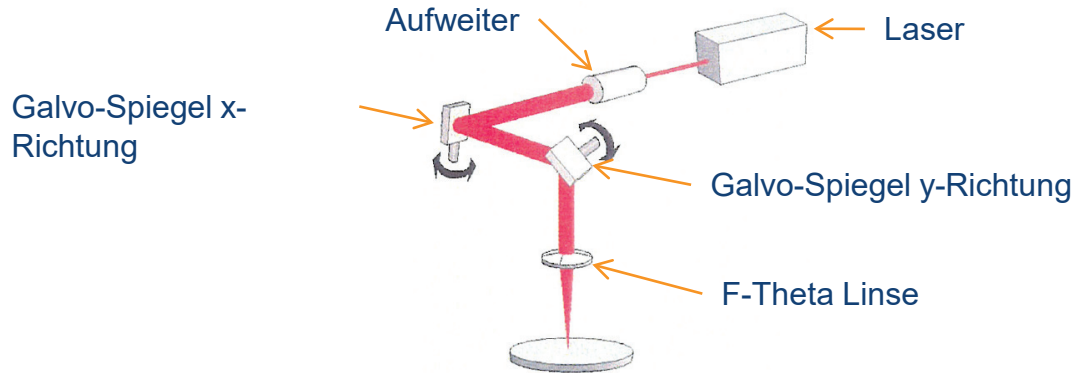
6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Scanner

- Frei programmierbare Ablenkensysteme, die den Laserstrahl auf der Bauebene bewegen
- Drehbare motorgetriebene Spiegeleinheiten (Galvanometerprinzip)
- Zwei Galvos werden orthogonal zueinander ausgerichtet (je einer in x- und y-Richtung)



6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Flächenbelichtung

- Der Fill-Laser dient zur Erzeugung der Schichtgeometrie und liefert die Energie zum Aufschmelzen des Pulvers
- Energieeintrag des Lasers ist bestimmt durch seine Leistung, die Scangeschwindigkeit und den Hatch
- Die Leistung bestimmt den Verdichtungsgrad des Werkstoffs

Konturbelichtung

- Der Outline-Laser hat die Aufgabe im Anschluss an die Schichtgenerierung die Randkonturen eines Teils zu belichten und zu glätten
- Der Outline-Laser fährt exakt die Randkontur ab und glättet die seitlichen Flächen eines Bauteils
- Die Verwendung des Outline-Lasers kann je nach Komplexität der Kontur die Prozesszeit erheblich vergrößern
- Verbessert die mechanischen Eigenschaften durch Verringerung von Kerbstellen

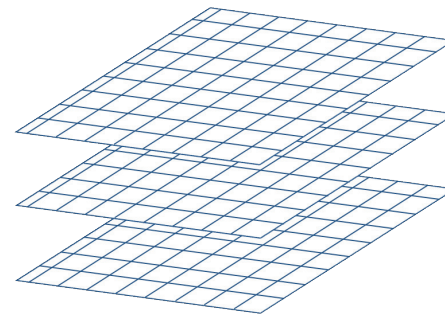
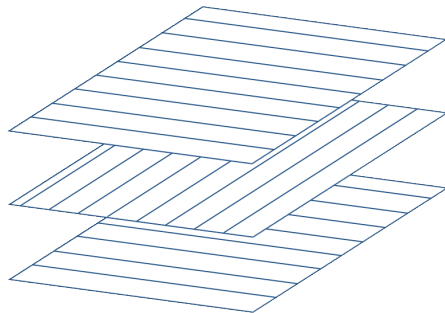
6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Belichtungsstrategien

- Zur Generierung einer Schicht ist es notwendig, den Laserstrahl entsprechend der gewünschten Struktur über das Pulverbett zu führen
- Bei der Linearen Strategie verlaufen die Sinterlinien parallel zur X-/ Y-Achse:
- Bei der Kreuzstrategie kreuzen sich die Sinterlinien in jeder Schicht:

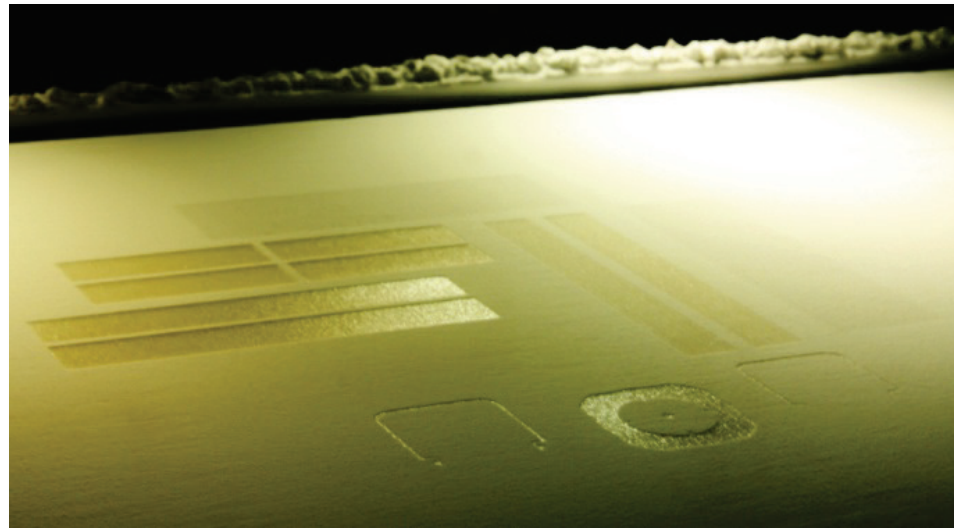


6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Homogenes Schmelzbad



6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

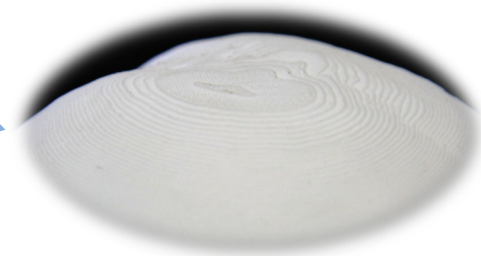
SLS: BAUPROZESS



Oberflächengüte

- Makroskopisch sind Pulveranhaftungen und Stufungen erkennbar
- Mikroskopisch sind Pulveranhaftungen und Schmelzausläufer erkennbar
- Rauheitswerte an Seitenflächen $R_a = 18 \mu\text{m}$
- Rauheitswerte an Flächen in der x - y - Ebene ca. $R_a = 15 \mu\text{m}$

Treppenstufeneffekt bei einem durch SLS hergestellten Schädelmodell



6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: BAUPROZESS



Festigkeiten

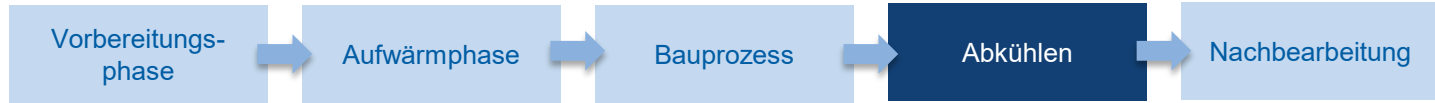
- Die Festigkeiten erreichen bis zu 95 % der Werte, die spritzgegossene Bauteile aus formal identischen Werkstoffen aufweisen.

Beispielhafte mechanische Eigenschaften des Werkstoffes Duraform Ex:

Messungen	Methode / Bedingungen	Messergebnis
Zugfestigkeit, max.	ASTM D638	48 MPa
Zugmodul	ASTM D638	1517 MPa
Zugdehnung	ASTM D638	5 %
Reißdehnung	ASTM D638	47 %
Biegefestigkeit	ASTM D790	42 MPa
Biegefestigkeit, max.	ASTM D790	46 MPa
Biegemodul	ASTM D790	1310 MPa
Härte, Shore D	ASTM D2240	74
Schlagzähigkeit (Izod gekerbt, 23°C)	ASTM D256	74 J/m
Schlagzähigkeit (Izod ungekerbt, 23°C)	ASTM D256	1486 J/m
Gardner Schlagzähigkeit	ASTM D5420	11,8 J

6 Additive Fertigungsverfahren – 1 Powder bed fusion

SLS: ABKÜHLEN



Kontrolliertes Abkühlen verhindert Verzug

- Auftragen einer 4 -10 mm starken Pulverschicht zur Isolierung des Pulverkuchens gegen die Umgebung
- Die Pulverschicht verhindert ein schnelles Abfließen der Wärme aus dem oberen Bereich des Pulverkuchens





Additive Fertigung

Additive Fertigung 21 – 06

SLS II - Bauprozess

Technische Universität Bergakademie Freiberg
IMKF - Additive Fertigung
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler
Tel: +49 3731 39 30 66
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de



imkf
INSTITUT FÜR MASCHINENELEMENTE
KONSTRUKTION UND FERTIGUNG

