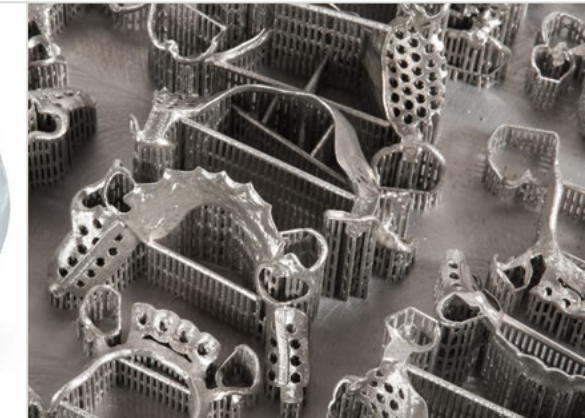
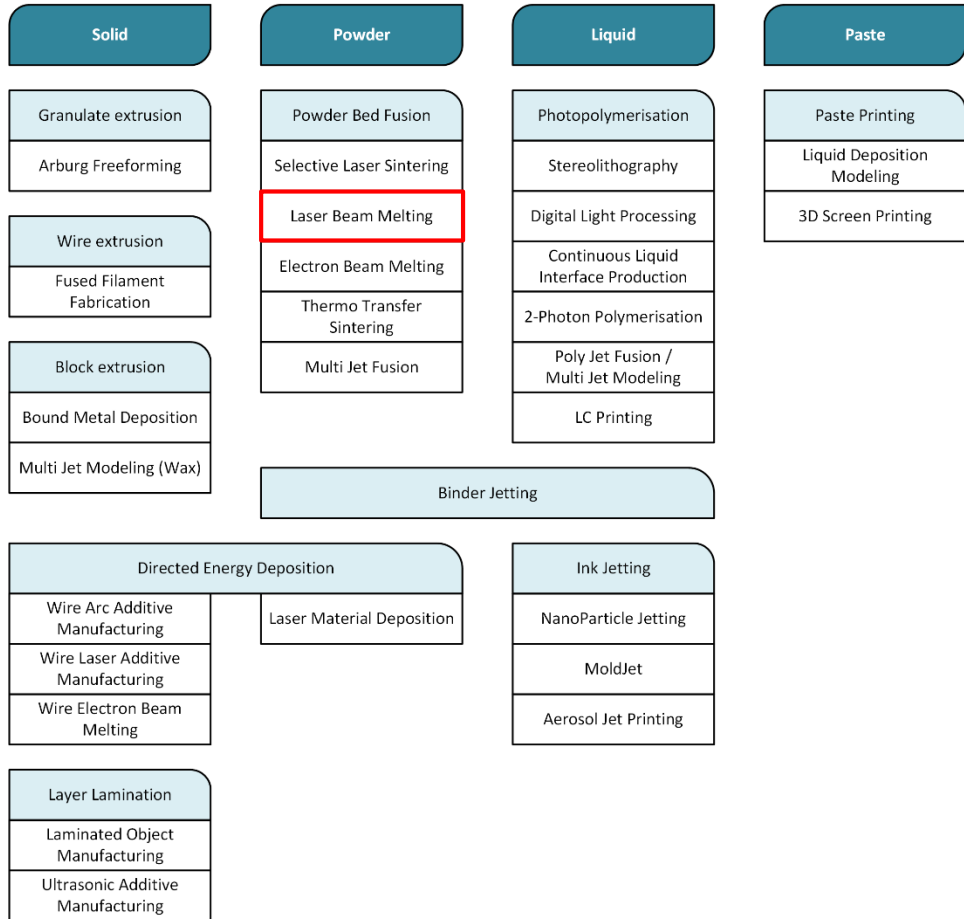


ADDITIVE FERTIGUNG – LASER BEAM MELTING



Sommersemester 2020

LASER BEAM MELTING



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LASER BEAM MELTING – VIDEO



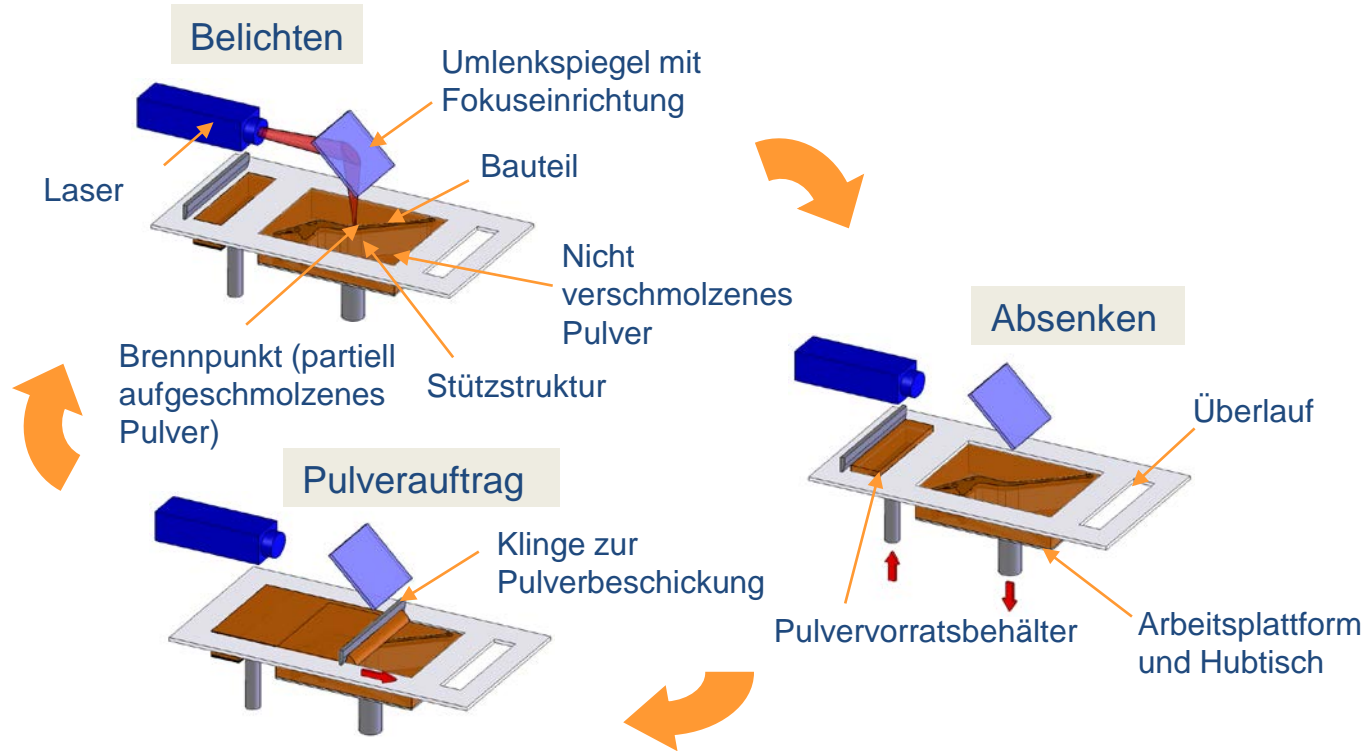
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: KURZBESCHREIBUNG

Bauprozess	Schicht-für-Schicht-Bauprozess durch lokales Aufschmelzen pulverförmigen Materials mittels Laser und Verschmelzen (Verschweißen) beim Erstarren
Ausgangsmaterial	pulverförmig: in der Regel Metalllegierungen
Bindungsmechanismus	Physikalisch (thermisch)
Vorgehen bei Materialverarbeitung	Vektororientiert
Aktivierungsenergie	Thermische Energie der Laserstrahlung
Postprozess	Stützkonstruktion entfernen; Verbesserung der Oberfläche durch Folgetechnologien

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VERFAHRENSABLAUF

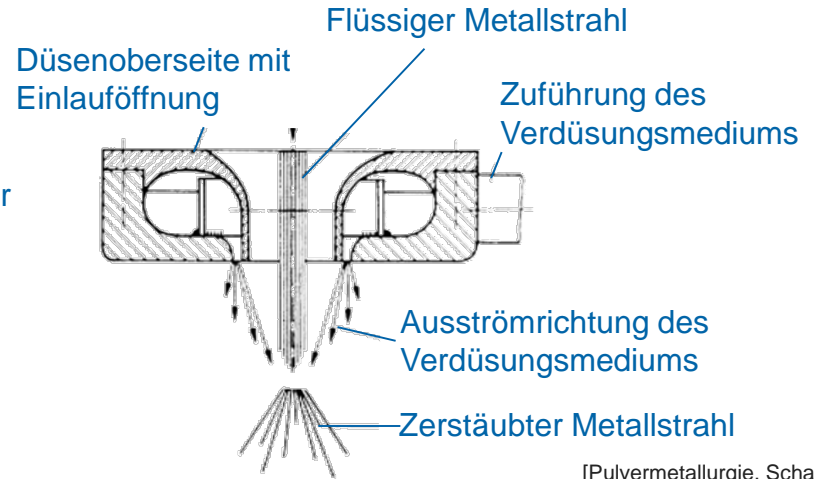
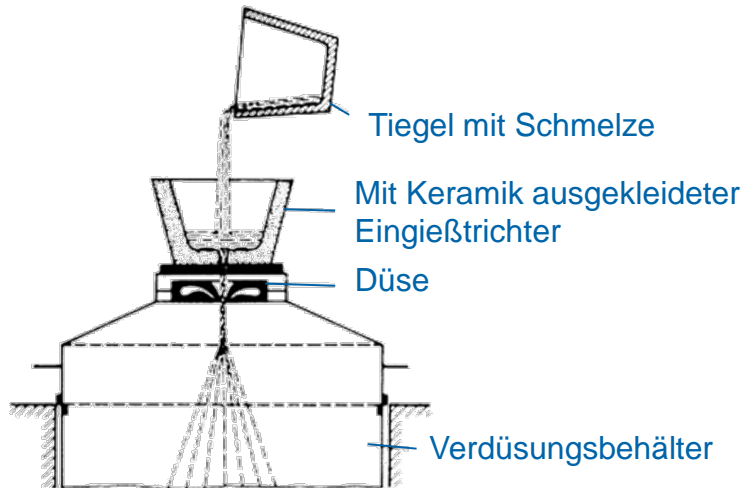


6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: METALLPULVERHERSTELLUNG

Druckluft- und Druckluftwasserverdüsung

- Das Ausgangsmaterial für den Strahlschmelzprozess liegt in Pulverform vor
- Wasserverdüsung: für die Herstellung von Pulvern aus Eisen, Stahl, Kupfer und -legierungen
- Druckluftverdüsung: Aluminium, Zink, teilweise auch Kupfer



[Pulvermetallurgie, Schatt]

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

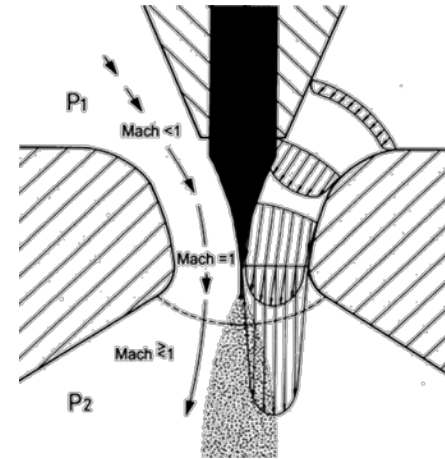
LBM: METALLPULVERHERSTELLUNG

Inertgasverdüsung

- Verwendung:
 - Oxidationsempfindliche Werkstoffe // Hochreine Pulver aus Sonderstahl // Superlegierungen // hochlegierte Werkstoffe

Lavaldüse

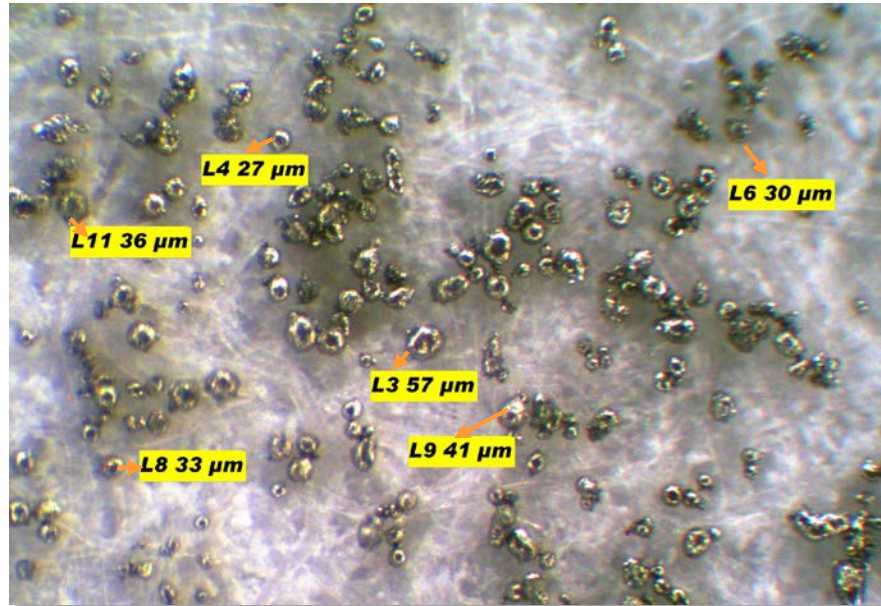
- Erzeugung von feinkörnigen, kugeligen, schnell abgekühlten Pulvern
- Mittlerer Teilchendurchmesser $d_{50} = 10 - 80 \mu\text{m}$
- Vergleichsweise enge Korngrößenverteilung



LBM: METALLPULVERHERSTELLUNG

Pulvermerkmale

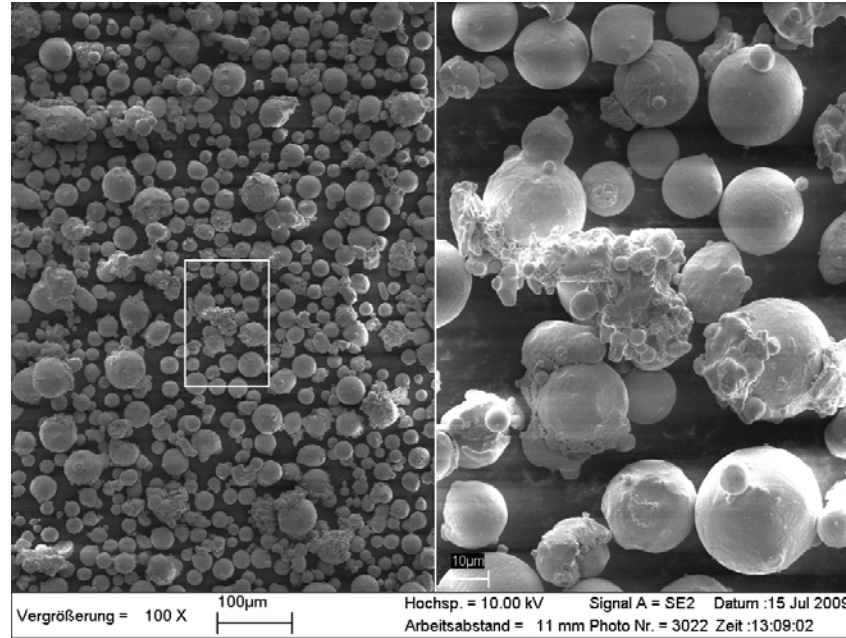
- Durchmesser der sphärischen Pulverpartikeln liegt je nach Anlagenparameter zwischen 10 µm und 80 µm



LBM: METALLPULVERHERSTELLUNG

Pulvermerkmale

- Beim Verdüsen kann es zu „Verklebungen“ zwischen einzelnen Pulverkörnern kommen



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: KOMMERZIELL VERFÜGBARE MATERIALIEN

Produktklasse	Werkstoff-Typ	Typische Anwendungen
Martensit-aushärtender Stahl	18 Mar 300/1.2709	Serien-Spritzgusswerkzeuge; Maschinenbauteile
Edelstahl	Edelstahl 17-4/1.4542	Funktionsprototypen und Serienteile; Maschinenbau und Medizintechnik
	härtbarer Edelstahl 15-5/1.4540	Funktionsprototypen und Serienteile; Maschinenbau und Medizintechnik
	1.4404/UNS S31673	Lifestyle: Schmuck, Funktionselemente in Yachten, Brillenfassungen etc. Luft -und Raumfahrt: Stützbauteile, Klammern etc. Medizin: Funktionsprototypen und Serienteile in z. B. Endoskopie und Orthopädie
Nickel-Legierung	Inconel™ 718, UNS N07718, AMS 5662, W.Nr 2.4668	Funktionsprototypen und Serienteile; hochtemperaturbeständige Turbinenbauteile
	Inconel™ 625, UNS N06625, AMS 5666F, W.Nr 2.4856	Funktionsprototypen und Serienteile; hochtemperaturbeständige Turbinenbauteile
	UNS N06002	Bei anspruchsvollen Temperaturbedingungen und hohem Oxidationsrisiko, z. B. Verbrennungskammern, Nachverbrennern und Abgasrohren in Gasturbinen (Luftfahrt u. am Boden), Flügelrädern, Rollenherden und Ausbauelementen für industrielle Öfen

2.1 Urformen

LBM: KOMMERZIELL VERFÜGBARE MATERIALIEN

Produktklasse	Werkstoff-Typ	Typische Anwendungen
Kobalt-Chrom	CoCrMo Superlegierung, UNS R31538, ASTM F75	Funktionsprototypen, Serienteile, Maschinenbau, Medizintechnik, Dental
	CoCrMo Superlegierung	Dental-Restaurationen (Serienfertigung)
Titan	Ti6Al4V Leichtmetall	Funktionsprototypen und Serienteile; Luft- und Raumfahrt, Motorsport etc.
	Ti6Al4V ELI	Funktionsprototypen und Serienteile in der Medizintechnik
Aluminium	AlSi10Mg Leichtmetall	Funktionsprototypen und Serienteile; Maschinenbau, Motorsport etc.
Kupfer	CuCrZr	Raketentriebwerke
	CuNi2SiCr	Wärmetauscher
Wolfram	W	Scatter Grind - Medizintechnik

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: KOMMERZIELL VERFÜGBARE MATERIALIEN

Werkstoff - Cobalt Chrome MP1

- Sehr feinkörnige Kobalt-Chrom-Molybdän-basierte Pulvermischung
- Sehr gute mechanische Eigenschaften
- Gute Korrosionsbeständigkeit und Temperaturbeständigkeit
- Nickelfrei ($< 0,1\%$)
- Sterilisierbar (Stichwort: biomedizinische Anwendungen)

Typische Anwendungen:

- Zahnmedizinische Implantate, Hochtemperaturanwendungen z. B. in Turbinen

Mechanische Eigenschaften:

- Zugfestigkeit: bis zu 1300 MPa
- Streckgrenze: bis zu 960 MPa
- Reißdehnung: 11 %
- E-Modul: ca. 220 GPa
- Max. Betriebstemperatur: 1150 °C

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: KOMMERZIELL VERFÜGBARE MATERIALIEN

Werkstoff - StainlessSteel PH1

- Edelstahl in feiner Pulverform
- Zusammensetzung entspricht der europäischen Werkstoffnummer 1.4545
- Hohe Korrosionsbeständigkeit
- Gute mechanische Eigenschaften
- Hervorragende Duktilität

Typische Anwendungen:

- Funktionsteile, Kleinserien, individualisierte Produkte und Ersatzteile, Teile mit hoher Korrosionsbeständigkeit und Sterilisierbarkeit , Teile mit hoher Festigkeit und Duktilität

Mechanische Eigenschaften:

- Zugfestigkeit: bis zu 1150 MPa
- Dehngrenze: bis zu 1050 MPa
- Reißdehnung: 17 %
- E-Modul: ca. 190 GPa

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: KOMMERZIELL VERFÜGBARE MATERIALIEN

Werkstoff - MaragingSteel MS1

- Martensitisch aushärtender Stahl
- Chemische Zusammensetzung entspricht der europäischen Werkstoffnummer 1.2709
- Höchste Festigkeit bei guter Duktilität
- Sehr gute Zerspanbarkeit
- Durch thermische Nachbehandlung Härte von bis zu 55 HRC (Rockwell-Härte)

Typische Anwendungen:

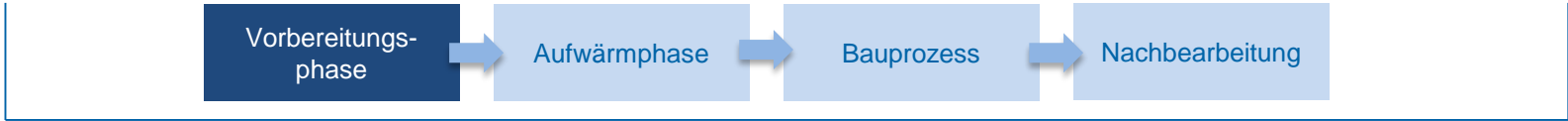
- Spritzguss- und Druckgussformen, hochbelastbare Maschinenteile

Mechanische Eigenschaften:

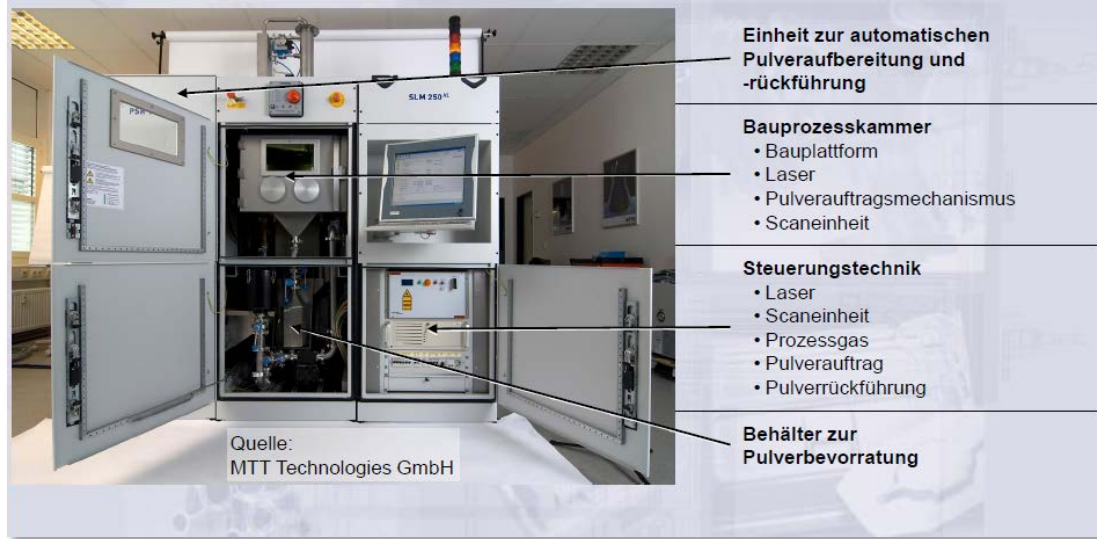
- Zugfestigkeit: bis zu 1100 MPa (1950 MPa nachgehärtet)
- Streckgrenze: bis zu 1000 MPa (1900 MPa nachgehärtet)
- Reißdehnung: 8 %
- E-Modul: ca. 180 GPa
- Max. Betriebstemperatur: 400 °C

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE

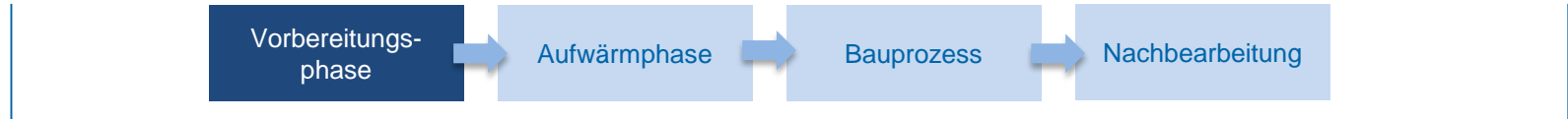


Anlagenkomponenten



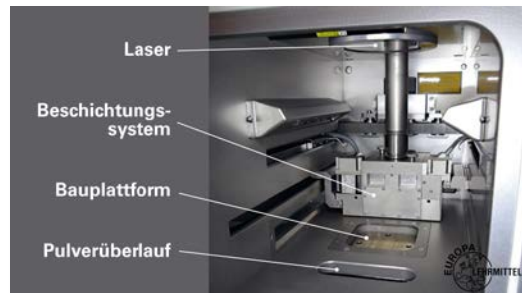
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



Anlagenkomponenten im Baurauminneren

- Beheizbarer, evakuierter und unter Schutzgas prozessgeführter Bauraum, in dem Teile gefertigt werden
- Beschichtungssystem zum Aufbringen und Ebenen der Pulverschichten
- Beschichterbefüllung zur Pulverversorgung der Pulverauftragskomponente
- Pulverabsaug- und -zuführsystem
- Evtl. integrierte Handschuheingriffe zum Entnehmen der Bauteile aus der Prozesskammer



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE

Vorbereitungs-
phase

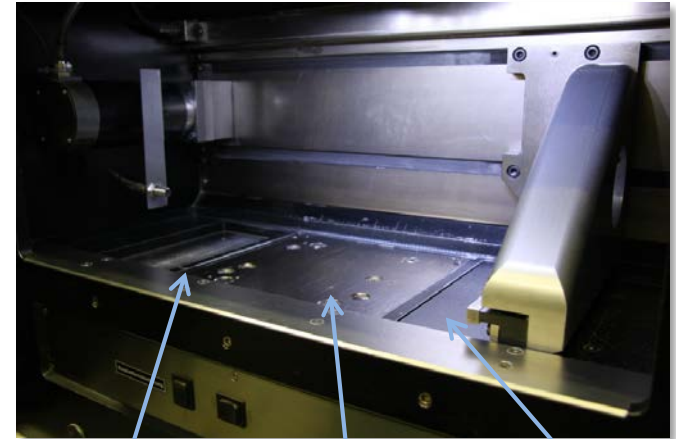
Aufwärmphase

Bauprozess

Nachbearbeitung

Einrichten der Maschine

- Einsetzen und Verschrauben der Bauplattform
- Befüllung des Vorratsbehälters mit dem Werkstoff
 - Nach jedem Bauprozess muss das Pulver neu gesiebt werden, um Spratzer oder oxidierte Pulverpartikel zu entfernen
- Inertisierung des Bauraums mit Stickstoff, Argon, ...
 - Vermeidung von evtl. Pulverexplosionen
 - Oxidation und eine damit einhergehende unansehnliche Verfärbung und Veränderung der mechanischen Eigenschaften kann verhindert werden



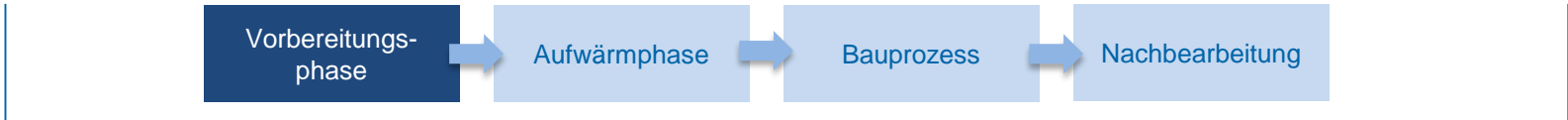
Überlaufbehälter

Vorratsbehälter

Bauplattformträger

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



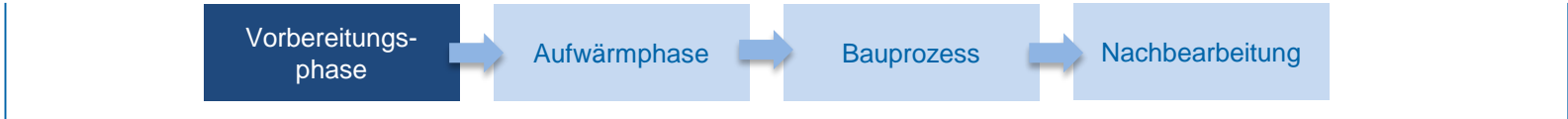
Stützkonstruktionen

- Bei der additiven Fertigung von Metallbauteilen sind hohe Temperaturen notwendig
 - Hoher Schmelzpunkt bei Metallen
 - Hohe Laserleistung im Vergleich zu Kunststoffverfahren
- Hohe Temperaturgradienten von bis zu 7×10^6 K/s
 - Hohe Eigenspannung im Bauteil
 - Hoher Verzug



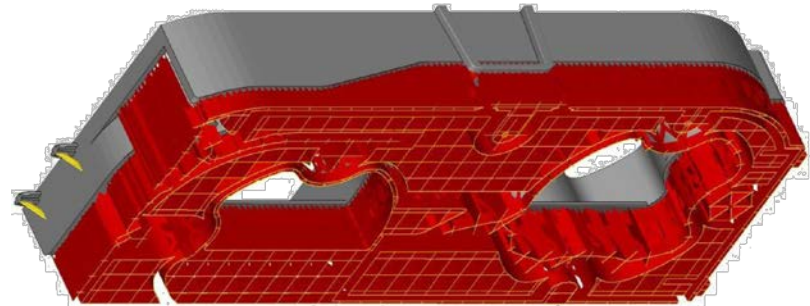
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



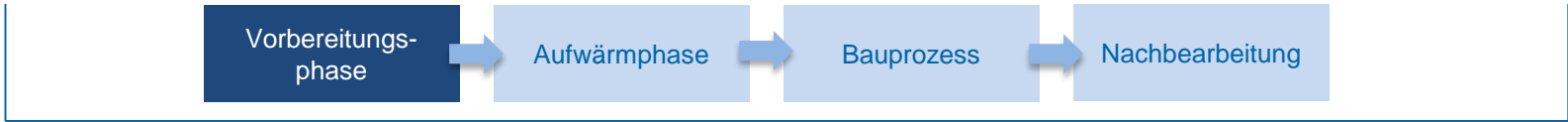
Die Erzeugung der Stützkonstruktionen wird in 5 Schritten durchgeführt

- Festlegung der Supporterzeugungparameter in den Maschineneigenschaften (dieser Schritt muss nicht jedes Mal ausgeführt werden, wenn funktionierende Parameter gefunden und gespeichert sind)
- Automatische Supporterzeugung auf Basis der hinterlegten Parameter
- Manuelle Anpassung der automatisch erzeugten Supports
- Graphische Bearbeitung und Kontrolle der Supportstrukturen in 2D und 3D
- Sichern und Exportieren der Supportstrukturen



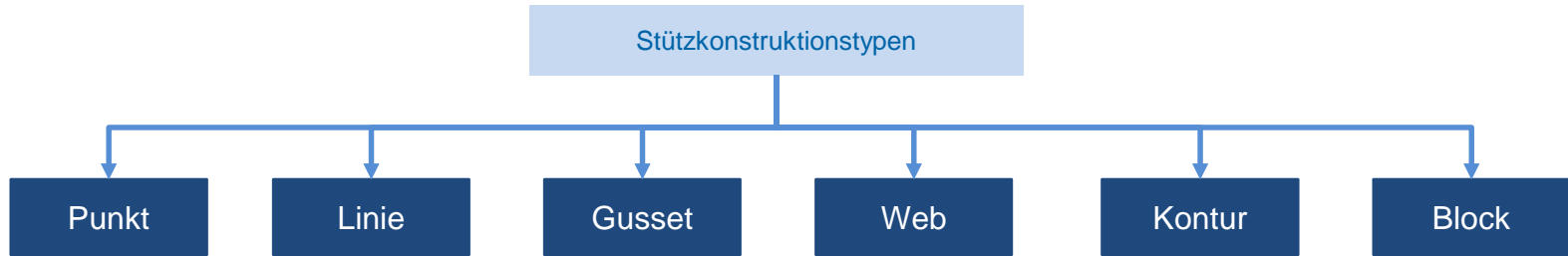
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



Auswahl der Stützkonstruktionen

- Alle aktiven Stützkonstruktionstypen werden bei der automatischen Erzeugung berücksichtigt

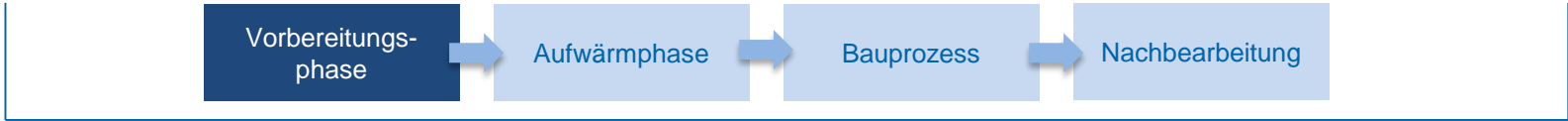


Auswahl der Oberflächen

- Auswahlwinkel: Flächen mit einem steileren Winkel werden als selbsttragend eingestuft
- Filter: Oberflächenfilter, Unbeschränkter Oberflächenfilter, Spitze Kanten-Filter
- Maximale Höhe

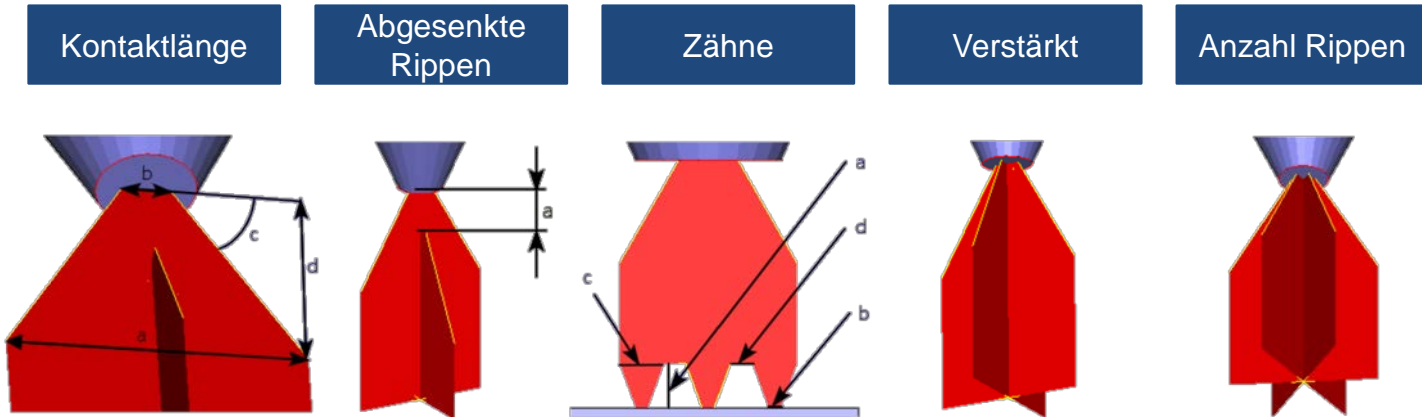
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



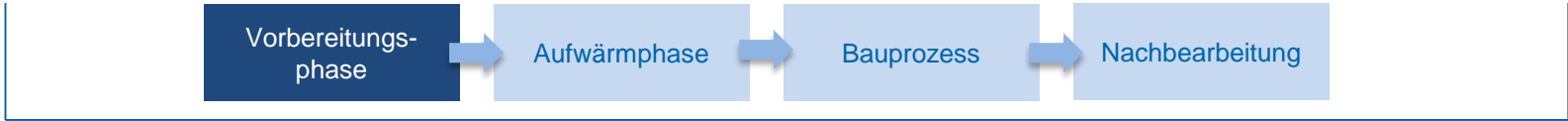
Stützkonstruktionstyp - Punkt

- Unterstützung sehr kleiner Flächen
- Für die Erzeugung von Punktsupporten können folgenden Parametergruppen definiert werden:



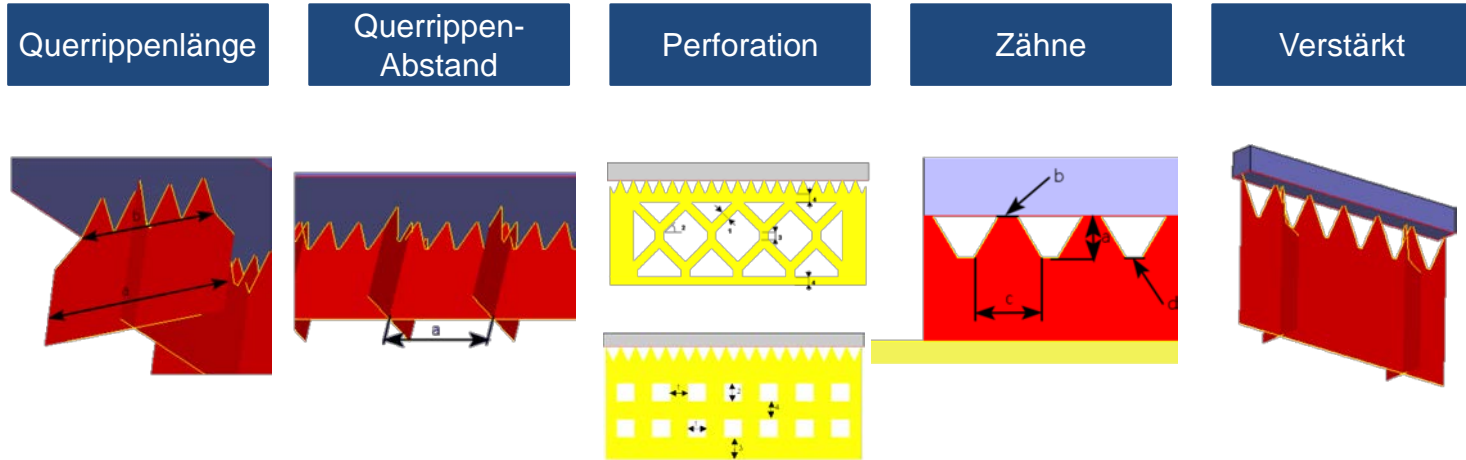
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



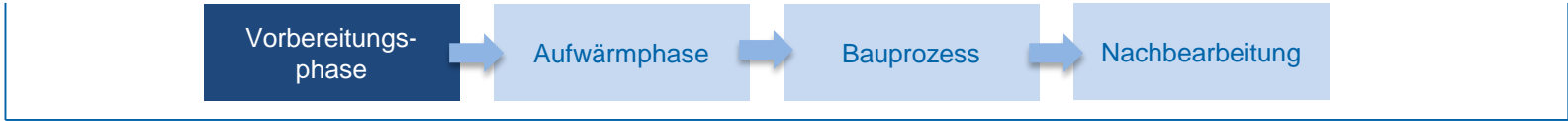
Stützkonstruktionstyp - Linie

Nutzung bei schmalen, nach unten weisenden Flächen



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

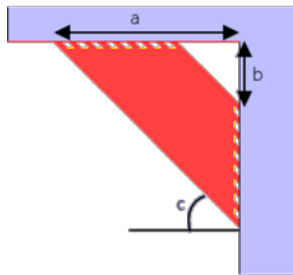
LBM: VORBEREITUNGSPHASE



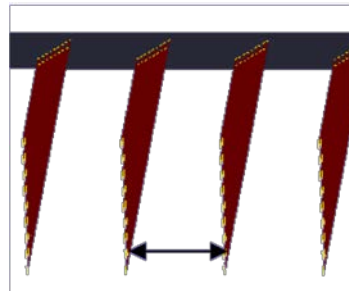
Stützkonstruktionstyp - Gusset (Knotenblech)

Unterstützung sehr hoch liegender Flächenüberhänge, die nicht freitragend sind

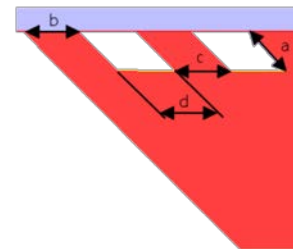
Gusset



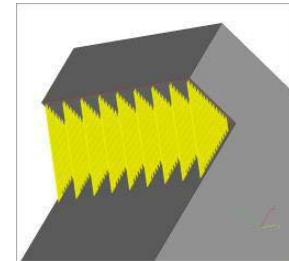
Intervall



Zähne

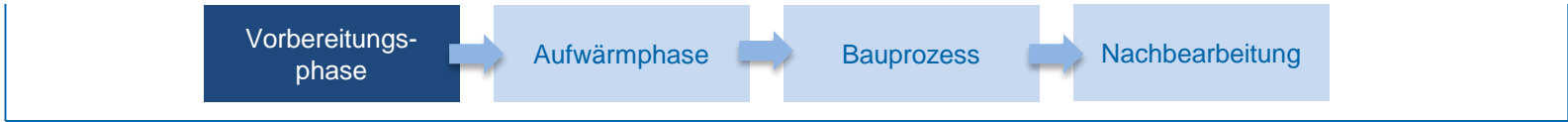


Vertikale Wände



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



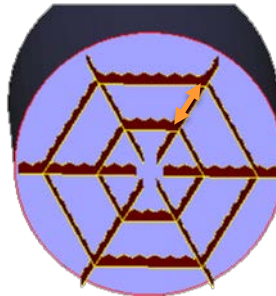
Stützkonstruktionstyp – Web

Zur Unterstützung kreisförmiger Flächen

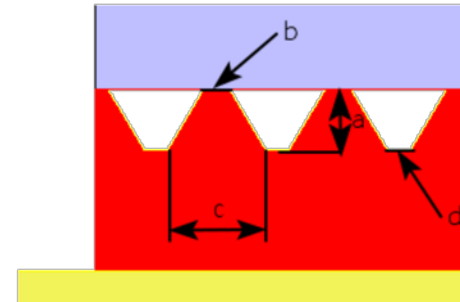
Web



Hatching

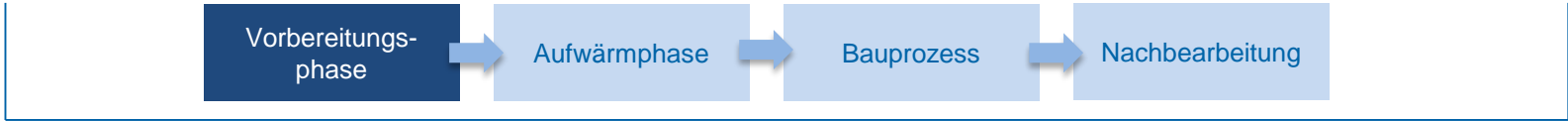


Zähne



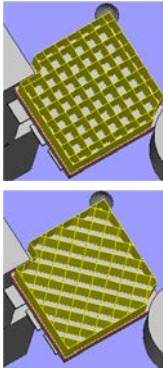
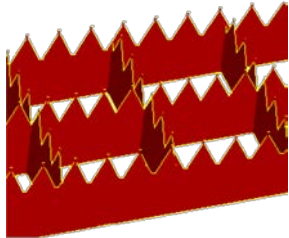
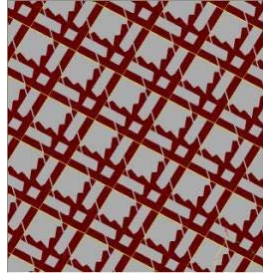
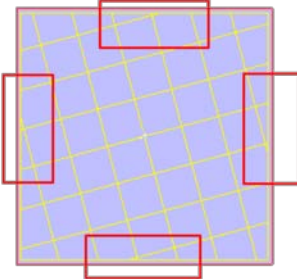
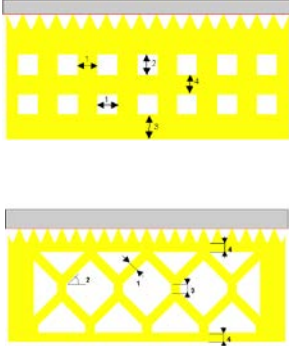
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



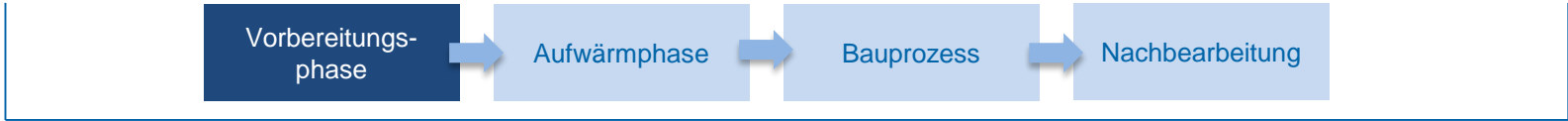
Stützkonstruktionstyp - Block

Für die Unterstützung großer Flächen

Hatching	Zähne	Fragmentierung	Hatchbeseitigung	Perforation
				

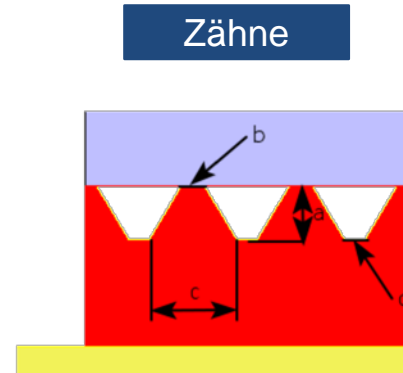
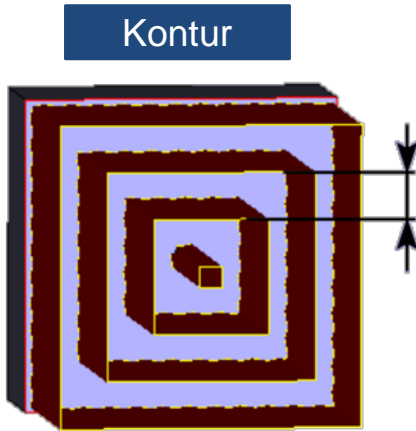
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



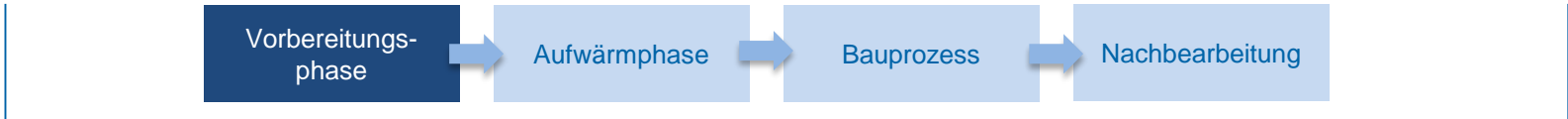
Stützkonstruktionstyp - Kontur

Kontursupports besitzen im Gegensatz zu Blocksupports kein Gitter, sondern nur Konturen, die gegeneinander versetzt sind

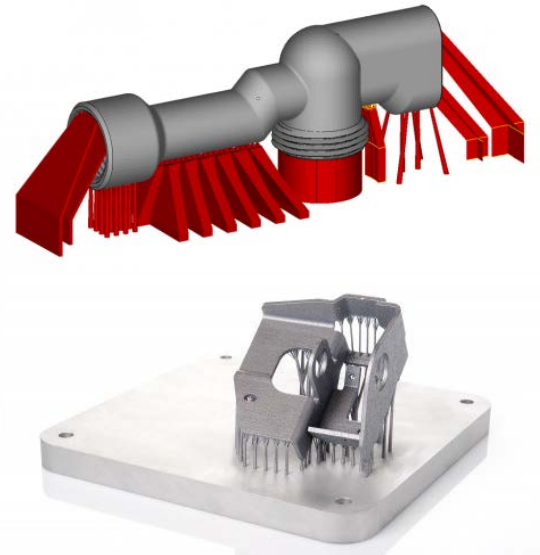


6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE

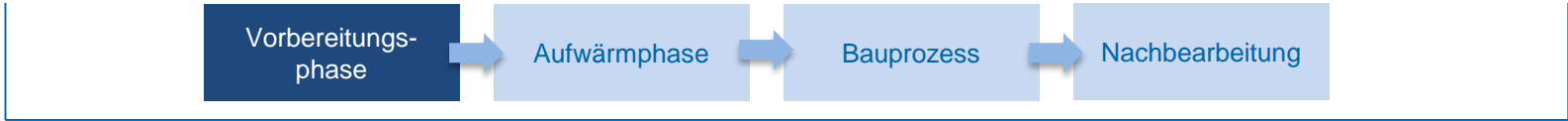


Sonderformen an Stützkonstruktionen

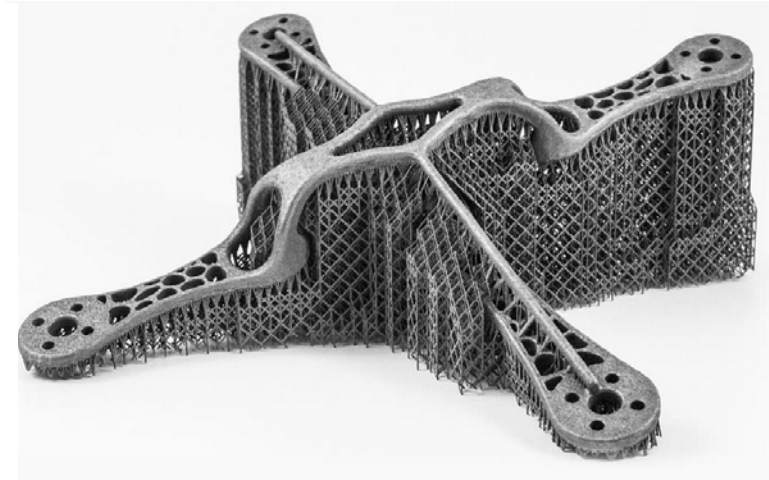
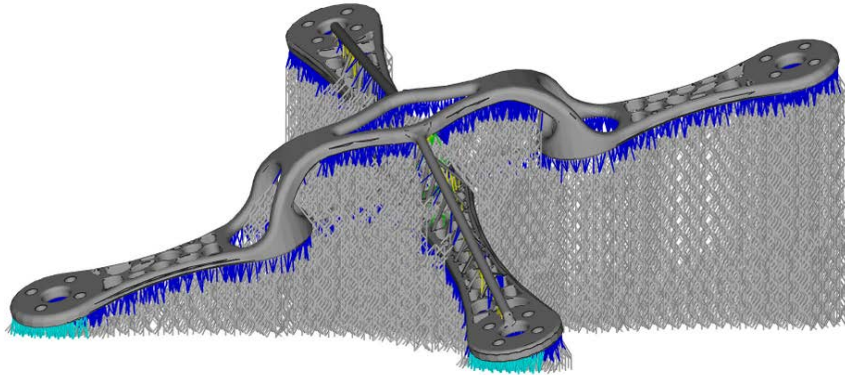


6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VORBEREITUNGSPHASE



Materialise e-Stage



Screenshot of Materialise e-Stage structure applied to the drone, designed by Fouad Lotrach

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: AUFWÄRMPHASE



- Erwärmung der Substratplatte auf 80 °C (EOSINT M 290)
- Je nach Anlagentyp Erwärmung der Bauplattformheizung auf ≈ 400 °C möglich

Die Beheizung der Bauplattform hat Einfluss auf:

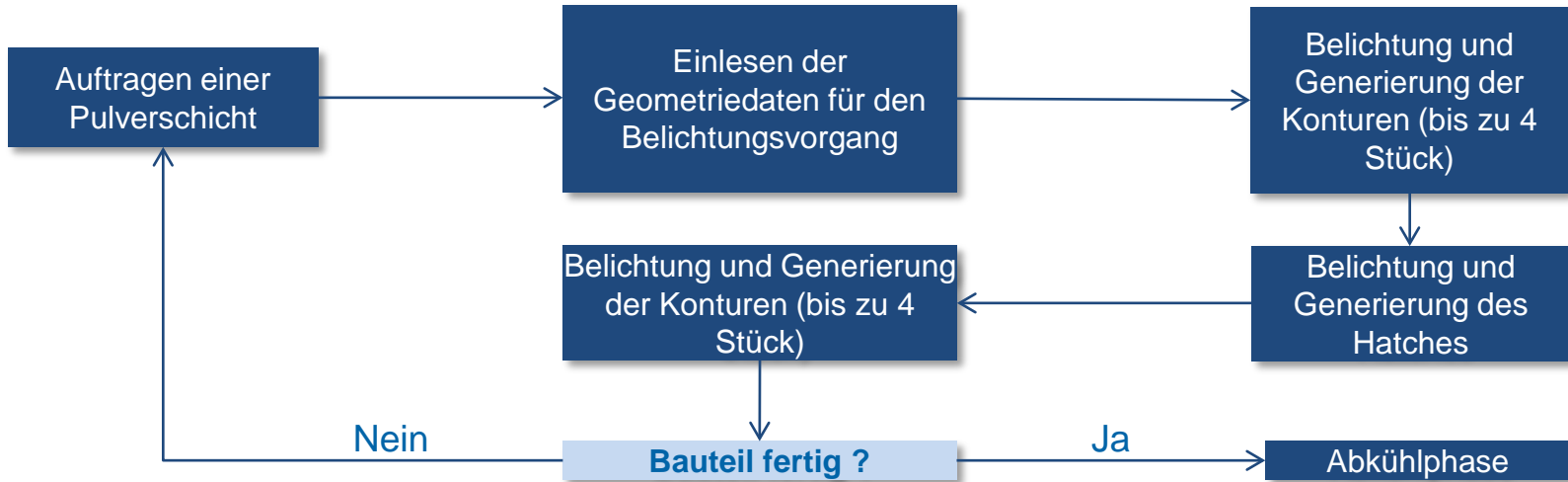
- Mechanischen Eigenschaften der generierten Bauteile
- Verzug und somit Maßgenauigkeit
- Oberflächenqualität
- Gefügebildung

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Prinzipielles Schema zur Schichtgenerierung

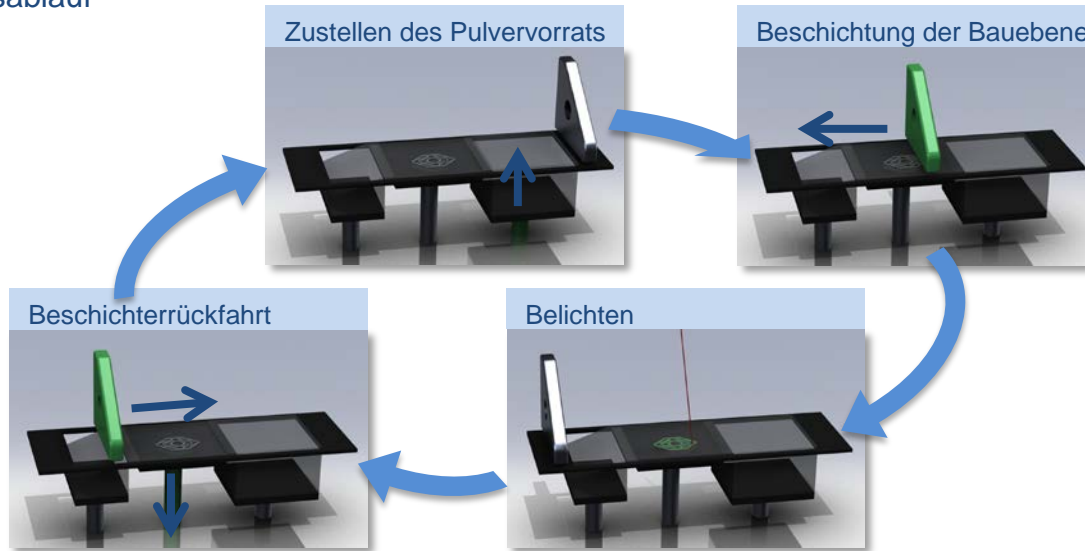


6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Verfahrensablauf



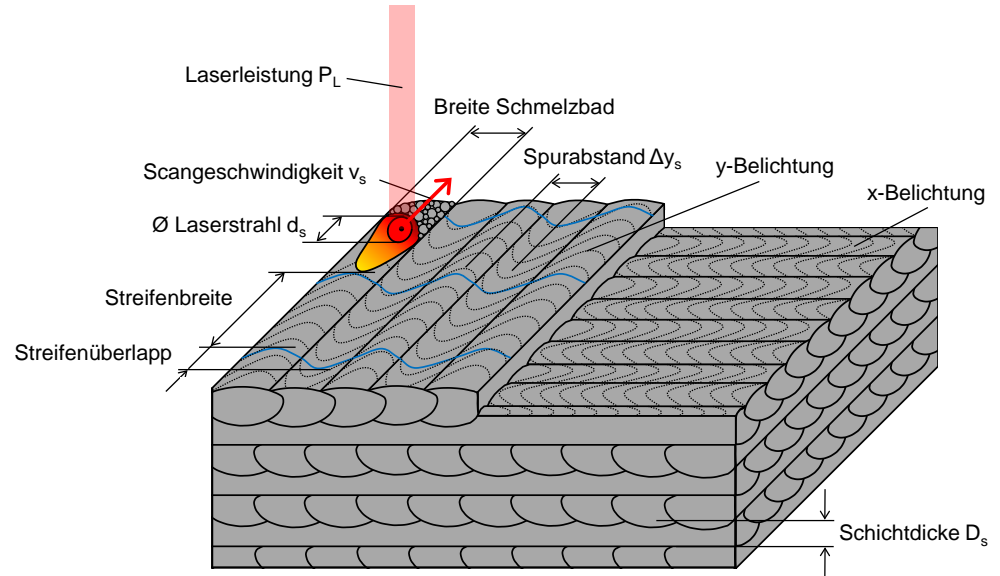
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Aufschmelzverhalten

- Anlagenparameter sind so zu wählen, dass ein vollständiges Aufschmelzen erfolgt
- Nach dem Tiefschweißprozess erstarrt das Material und erzeugt somit eine feste Verbindung mit der darunter liegenden Schicht



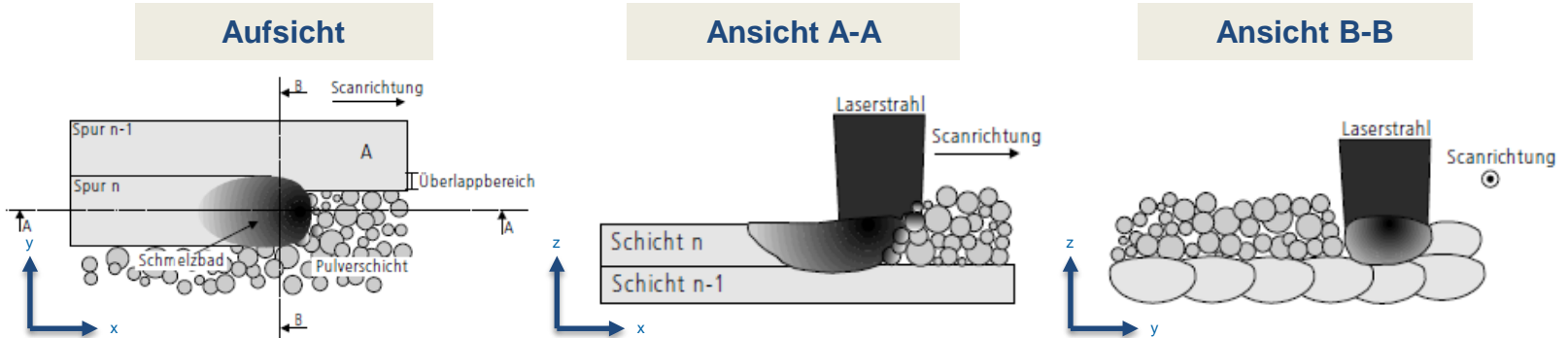
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Realisierung einer idealen metallurgischen Verbindung

- Alle Pulverpartikel in der Wechselwirkungszone müssen aufgeschmolzen werden
- Bereits erstarrte Nachbarschicht muss erneut aufgeschmolzen werden
- Oberfläche der darunterliegenden Schicht muss teilweise aufgeschmolzen werden
- 2,5 bis 3 Schichten werden bei jeder neuen Schicht durchgeschmolzen



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

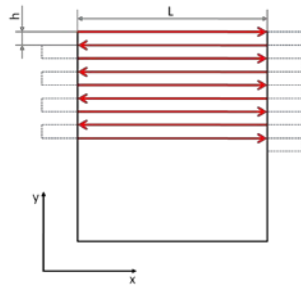
LBM: BAUPROZESS



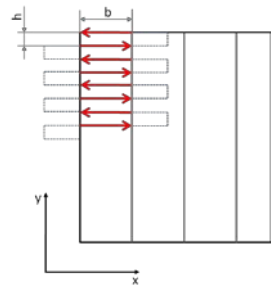
Scanstrategien

- Unterschieden wird zwischen
 - Flächenbelichtung (Laser an)
 - Leerlauf (Laser aus)
 - Konturbelichtung

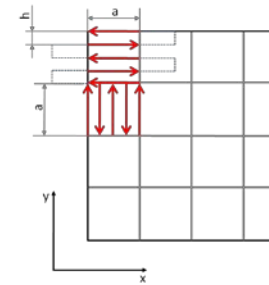
Einfache Flächenbelichtung



Streifenbelichtung



Quadrat-Belichtung



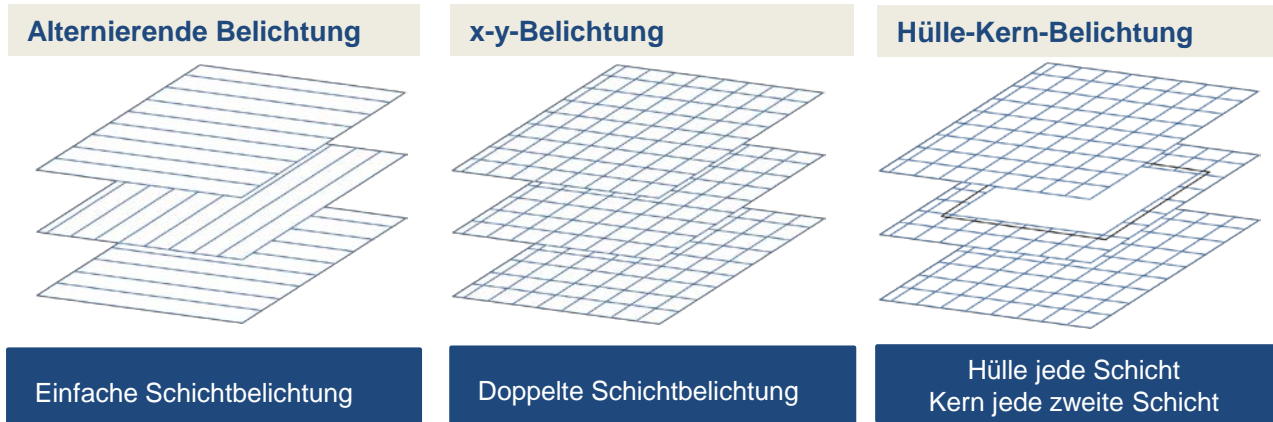
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Scanstrategien

- Kompensation von anisotropen Gefügeausbildungen
- Symmetrische Verteilung der Schwindungs- und Spannungseffekte



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Gefüge

- Im Bauprozess werden einzelne Spurbreiten von Material verschmolzen, bildlich werden hier mehrere dichtgepackte Schweißnähte erzeugt, man spricht hier auch vom Mikroschweißen
- Schichtdicken beim Strahlschmelzen bewegen sich i. d. Regel zwischen 20 µm – 60 µm

Schliff in Bauebene

(Material Hastelloy X)



Schliff senkrecht zur Bauebene

(Material Hastelloy X)



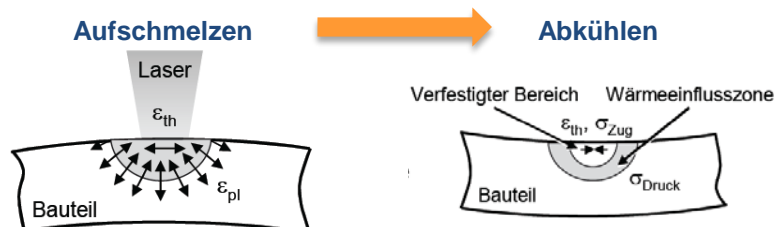
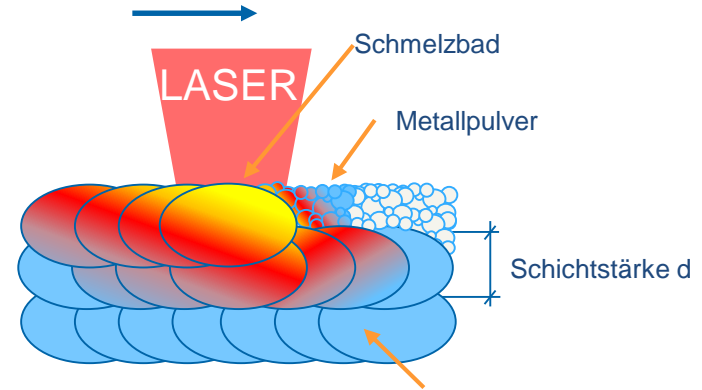
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Entstehung von Eigenspannungen

- Prozessbedingt schnelle Abkühlung des aufgeschmolzenen Metallpulvers (Ca. 7×10^6 K/s)
- Temperature Gradient Mechanism (TGM)
 - Örtliche inhomogene, elastische und plastische Verformungen
 - Ausprägung von Zug- und Druckspannungen



[Residual stresses in selective laser sintering and melting - Kruth]

- ϵ_{th} : Thermische Dehnung
- ϵ_{pl} : Plastische Dehnung
- σ_{Druck} : Druckspannungen
- σ_{Zug} : Zugspannungen

www.uni-due.de/fertigungstechnik

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

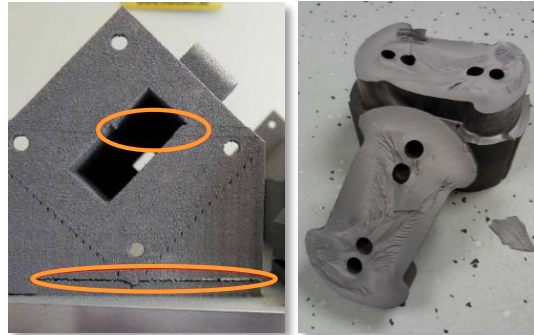
LBM: BAUPROZESS



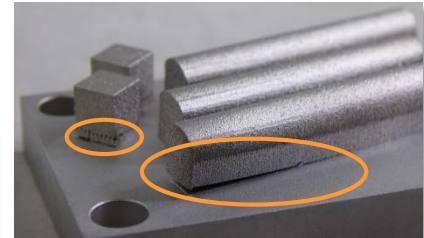
Prozessfehler resultierend aus Eigenspannungen

- Gefährdung der Prozessstabilität
- Gefahr des Bauteilversagens im Belastungszustand
- Verminderte Maßhaltigkeit

Risse in Support und/oder Bauteil



Delamination der Supportanbindung



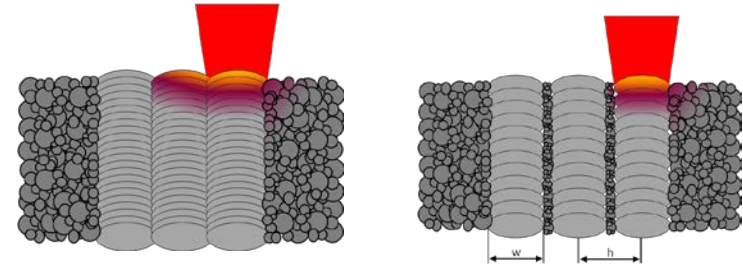
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS

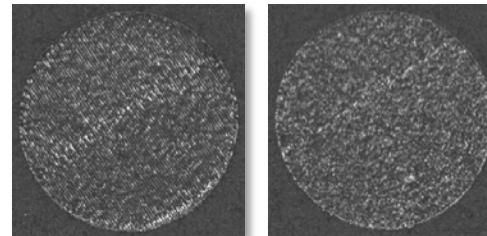


Prozessstabilität – häufige Ursachen für Fehler

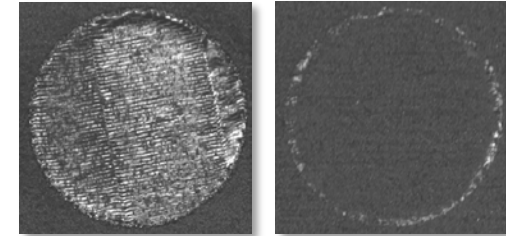
- Fehlerhafte Parameter
- Verschmutztes Laserwindow
- Defektes Laser-/Scannersystem
- Defekt / Verschleiß Absenkung



Spur- und Schichtverbund



Zu hoher Energieeintrag



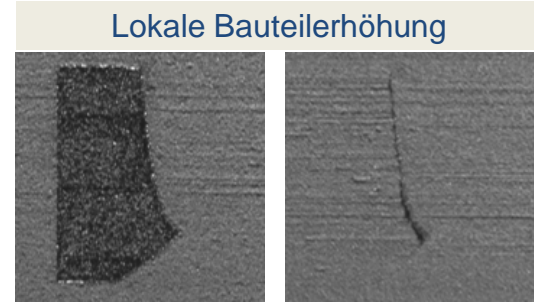
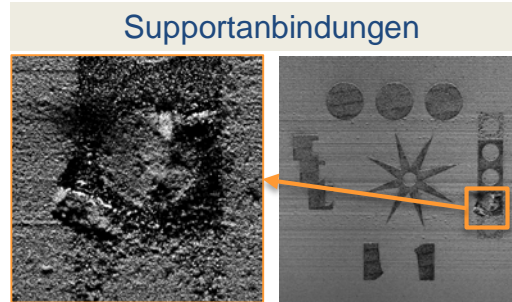
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Prozessstabilität – Einfluss des Werkstoffes

- Pulverqualität, geprägt durch:
 - Fremdpartikel
 - Zunehmende Oxidation
 - Chemische Zusammensetzung



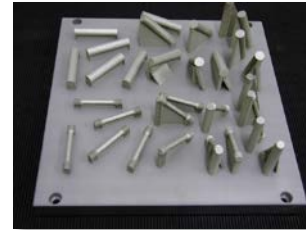
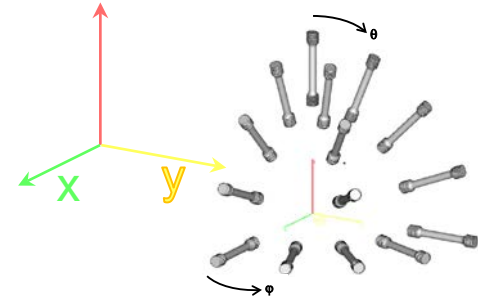
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Anisotropie

- Anisotrope mechanische Eigenschaften bei strahlgeschmolzenen Bauteilen
 - Anisotropie: Richtungsabhängigkeit einer Eigenschaft.
 - Je nach Orientierung der Bauteile im Bauprozess ergeben sich unterschiedliche Festigkeiten
- Üblicherweise beste Festigkeitswerte bei einem Polarwinkel von $\Phi = 90^\circ$ (entspricht der Bauebene)
 - Weniger Schichten
 - Besserer metallurgischer Zusammenhalt innerhalb einer Schicht als zwischen den Schichten



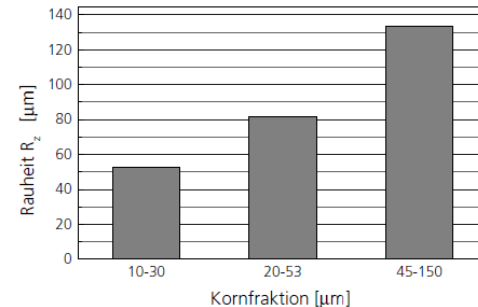
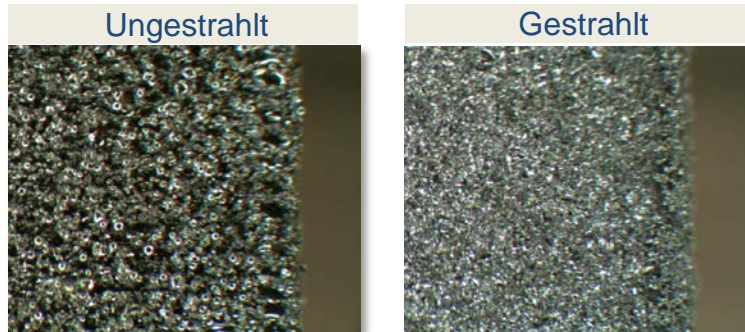
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: BAUPROZESS



Oberflächengüte

- Wie beim Laser-Sintern Probleme mit Pulveranhaftungen und Schmelzausläufern
- Im Vergleich zu konventionell hergestellten Bauteilen schlechte Oberflächenqualität bzw. Rauheitswerte
- Verbesserung der Oberflächenqualität im Postprocessing notwendig



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: NACHBEARBEITUNG

Vorbereitungs-
phase

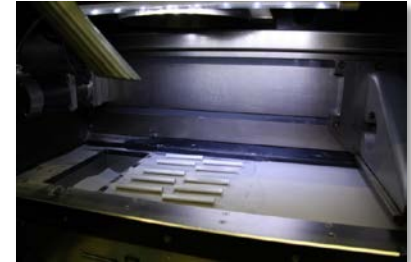
Aufwärmphase

Bauprozess

Nachbearbeitung

Notwendige Nachbearbeitungsschritte

1. Nicht verschmolzenes Pulver wird entfernt
2. Bauplattform wird dem Prozessraum entnommen
3. Bauteile werden von der Bauplattform abgetrennt
4. Verbleibende Supportstrukturen müssen mechanisch (i. d. R. durch manuelles Abtrennen mit Hammer und Meißel, Sägen,) entfernt werden
5. Pulveranhaftungen werden durch Strahlen entfernt



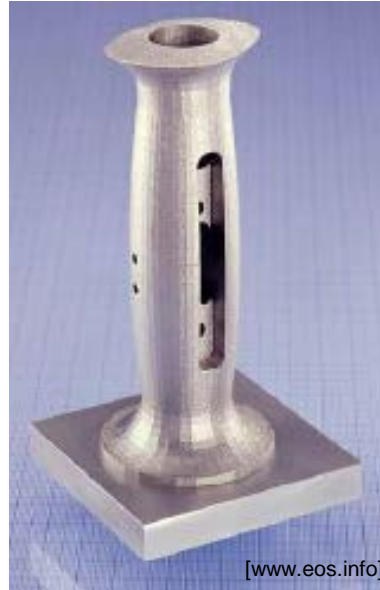
6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANWENDUNGSBEISPIELE

Werkzeugeinsatz mit kontur-
angepassten Kühlkanälen



Komplexe
mechanische
Funktionsteile



Individualteile, z. B. Knieimplantate



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANWENDUNGSBEISPIELE



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: VOR-/ NACHTEILE

- + Fertigung direkter Metallbauteile
- + Herstellung von Funktionsmodellen
- + Zumeist einphasiges Verfahren
- + Wiederverwendung des nicht genutzten Materials
- Anisotrope mechanische Eigenschaften
- Stützkonstruktionen erforderlich
- Aufwendige Nachbearbeitung notwendig
- Inertgas notwendig
- Niedrige Oberflächengüte
- Hohe Energiekosten
- Hohe Eigenspannung bei metallischen Bauteilen

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANLAGEN

Anlagentyp:	EOS M 290
Hersteller:	EOS GmbH
Bauraum:	250 mm x 250 mm x 325 mm
Schichtdicke:	20 - 100 µm
Laser:	Yb-Faserlaser; 400 W
Scangeschwindigkeit:	bis 7000 mm/s
Abmessungen:	2.500 mm x 1.300 mm x 2.190 mm

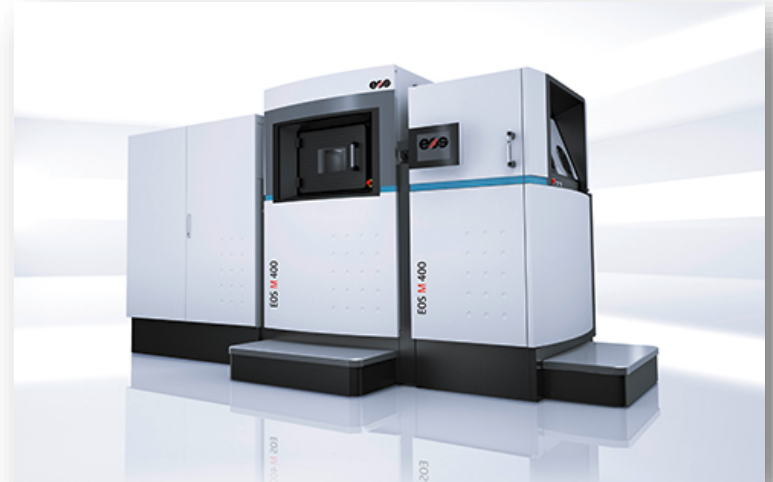


Quelle: www.eos.de

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANLAGEN

Anlagentyp:	EOS M 400
Hersteller:	EOS GmbH
Bauraum:	400 mm x 400 mm x 400 mm
Schichtdicke:	20 - 100 µm
Baufortschritt:	2 -20 mm³/s
Laser:	Yb-Faserlaser; 1 kW
Abmessungen:	4.181 mm x 1.613 mm x 2.355 mm



Quelle: www.eos.de

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANLAGEN

Anlagentyp:	M2 cusing
Hersteller:	Concept Laser GmbH
Bauraum:	250 mm x 250 mm x 280 mm
Schichtdicke:	20 - 80 µm
Baufortschritt:	2 -20 cm³/h
Laser:	Faserlaser; 200 W, Option 400 W



Quelle: www.concept-laser.de

6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANLAGEN

Anlagentyp:	SLM 500 HL
Hersteller:	SLM Solutions GmbH
Bauraum:	500 mm x 280 mm x 325 mm
Schichtdicke:	20 - 100 μm
Baufortschritt:	bis zu 25 cm^3/h
Laser:	Faserlaser; bis zu 2x (400 W+1000 W)



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANLAGEN

Anlagentyp:	TRUPrint 3000
Hersteller:	TRUMPF GmbH&Co.KG
Bauraum:	Ø300 mm x 400 mm
Schichtdicke:	20 - 150 µm
Scangeschwindigkeit:	bis 11.000 mm/s
Laser:	Faserlaser; 500 W



6 Additive Fertigungsverfahren – Powder bed fusion

LBM: ANLAGEN

Anlagentyp:	S-Titanium Pro
Hersteller:	AURORA Labs (Australien)
Bauraum:	200 x 200 x 500 mm ³
Schichtdicke:	30-200 µm
Scangeschwindigkeit:	N/A
Laser:	Gaslaser; 300 W





Additive Fertigung

Additive Fertigung 20 – 06-06

Laser Beam Melting

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

