



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **IWF**



Vorlesung Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder, 02. Juli 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **IWF**



Kapitel 8: Generative Fertigung

Dr.-Ing. Anke Müller, 02. Juli 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

Einheiten der Vorlesung Fertigungstechnik

Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580



Bildquellen: Pexels

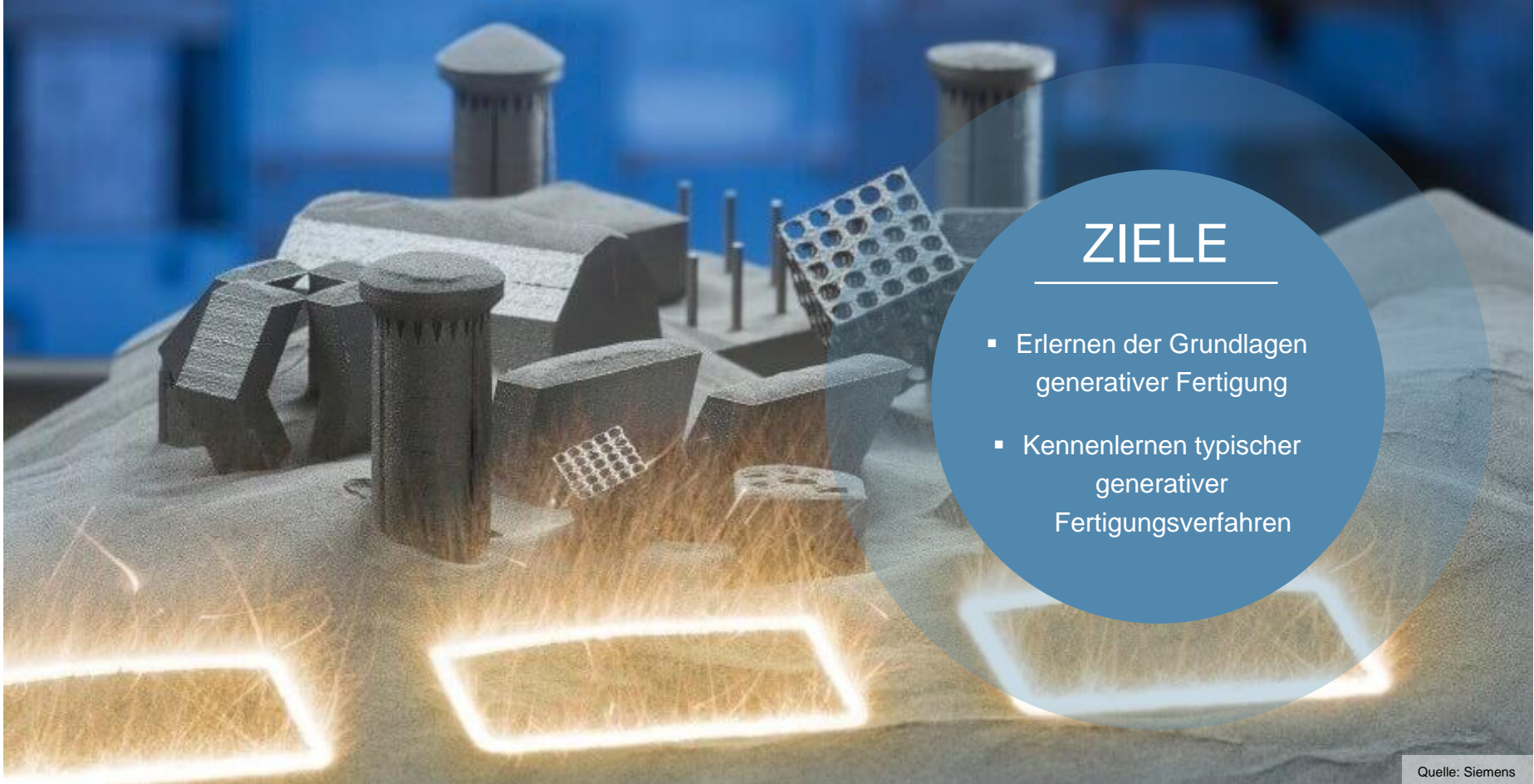
Einheiten der Vorlesung Fertigungstechnik

Generative Fertigung



Bildquellen: Pexels

Ziele der heutigen Vorlesung



ZIELE

- Erlernen der Grundlagen generativer Fertigung
- Kennenlernen typischer generativer Fertigungsverfahren

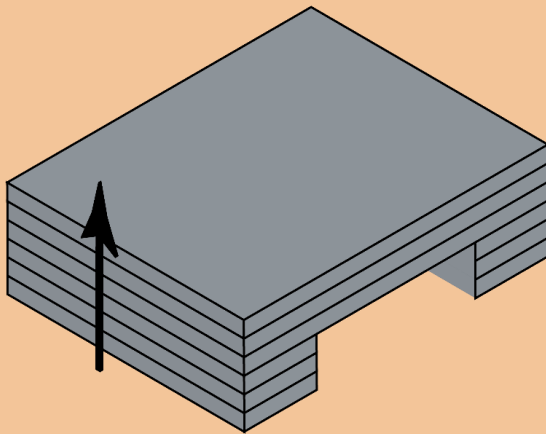
Quelle: Siemens

Was ist Generative Fertigung?

Generative und Subtraktive Verfahren

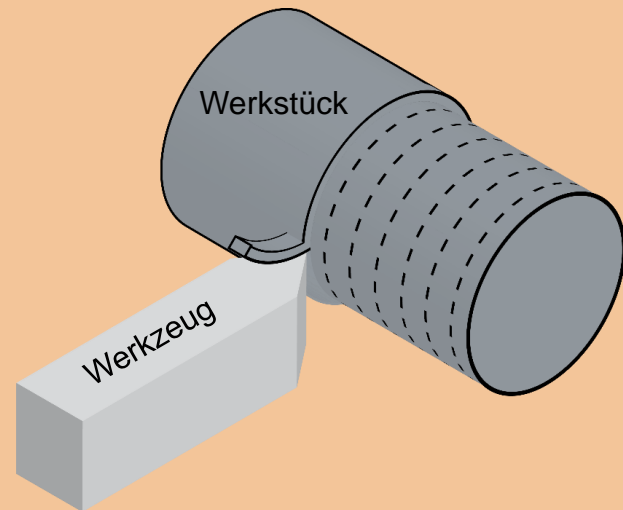
Fertigungsverfahren

Generative Verfahren



- Schichtweiser Aufbau
- Keine Späne
- Keine Kühlschmierstoffe

Subtraktive Verfahren



- Trennverfahren
- Späne
- Kühlschmierstoffe

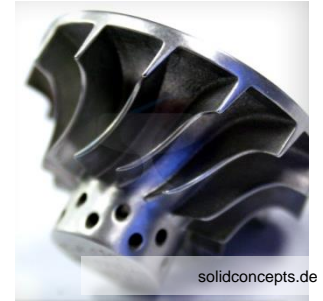
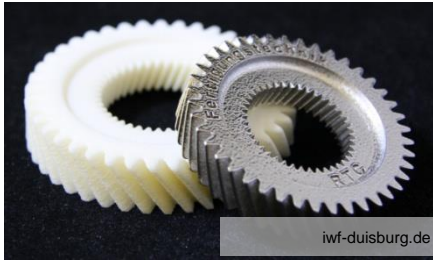
Generative Fertigung

Motivation

Kundenanforderungen

Globalisierte Märkte

Konkurrenz



Innovationen

Qualität, Zeit, Kosten positiv beeinflussen

Trends wie Miniaturisierung, Vernetzung, Individualisierung, Nachhaltigkeit bedienen

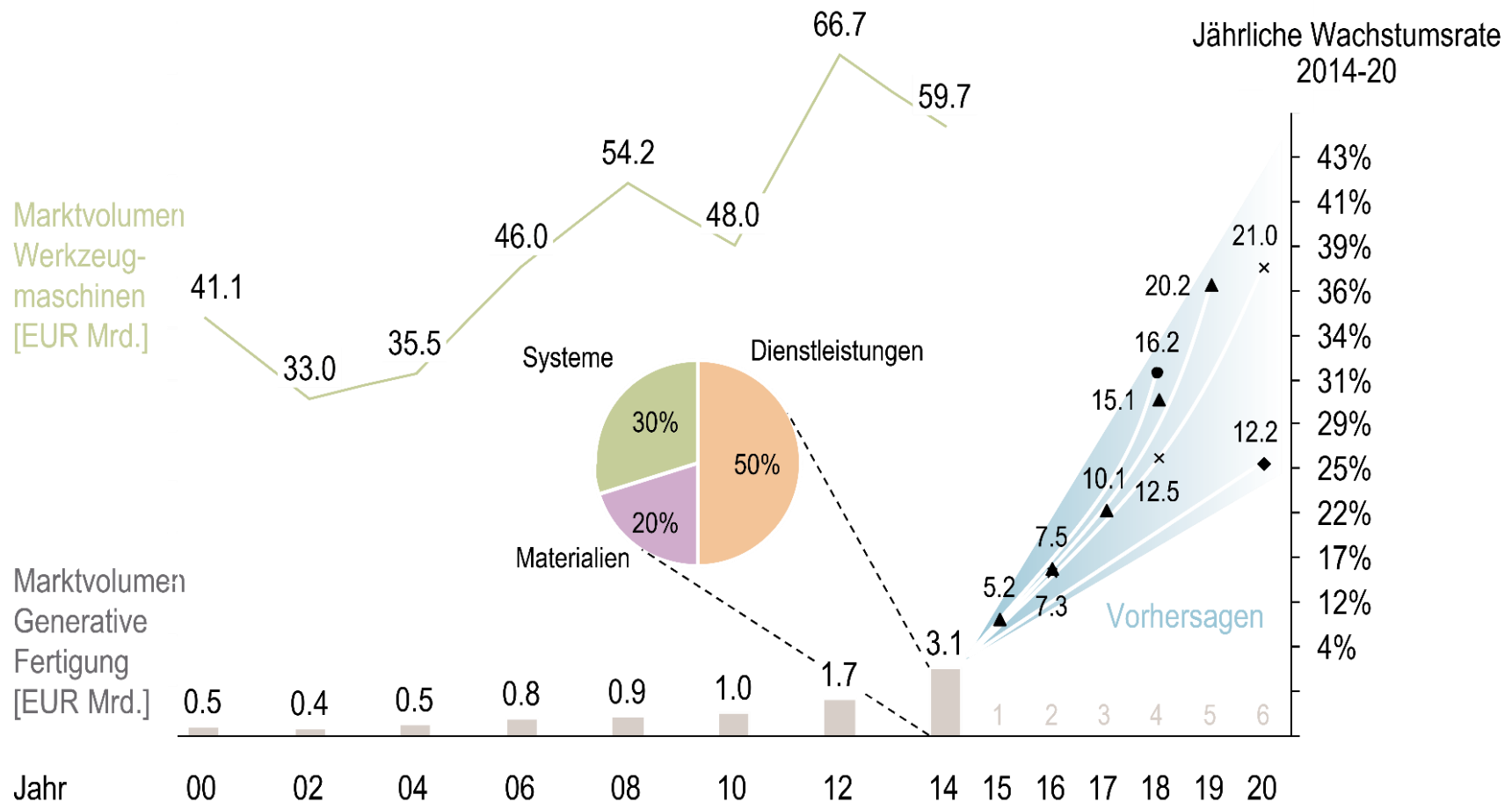
Flexibel und reaktionsschnell kundenspezifische Anforderungen umsetzen

GENERATIVE FERTIGUNG



Globale Entwicklung generativer Fertigungstechnik

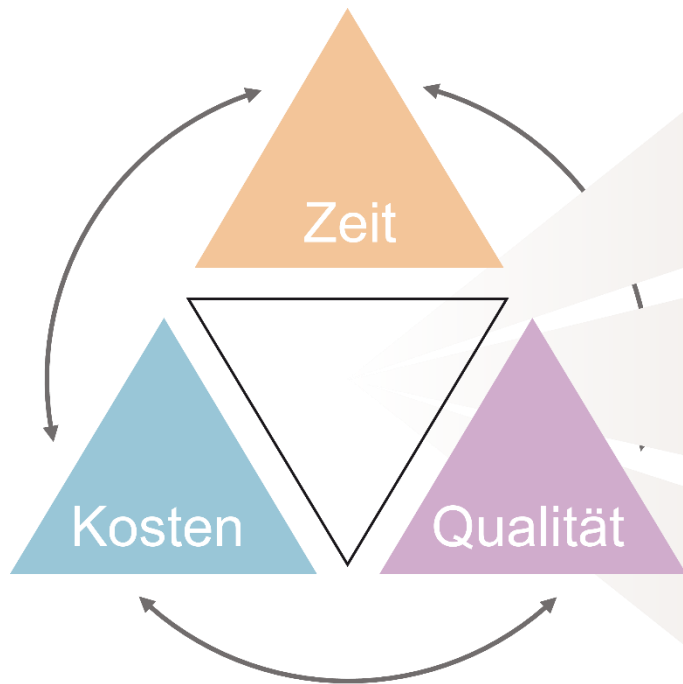
Wachstumsraten von 40 % pro Jahr Vorhergesagt



Quelle: nach Roland Berger

Trends generativer Fertigung

Optimum im Spannungsfeld Zeit, Kosten und Qualität



Zeit

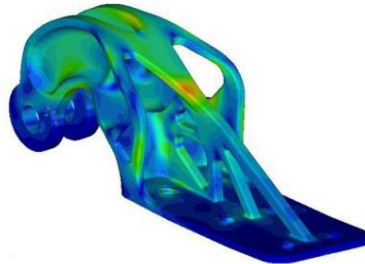
Multi-Laser-Konzepte ermöglichen eine Steigerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die Verarbeitungszeit wird so reduziert

Kosten

Höherer Automatisierungsgrad und erweiterte Produktionskonzepte reduzieren den Arbeitsaufwand und somit die Kosten

Qualität

Verschiedene Prozessüberwachungssysteme (Pulver, Atmosphäre, Beschichtung, etc.) ermöglichen einen höheren Qualitätsstandard



Quelle: Roland Berger

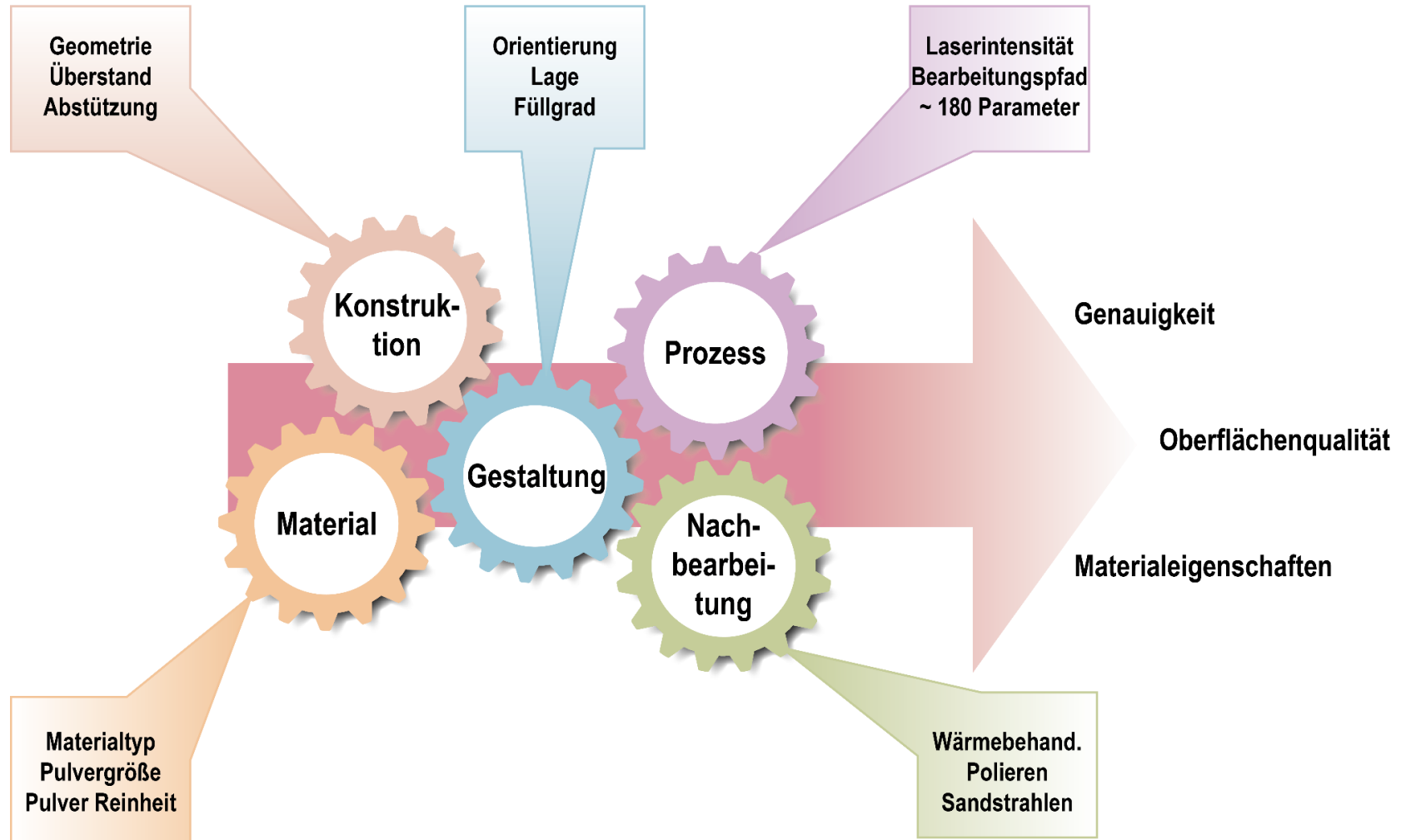


Quelle: Roland Berger

Quelle: nach Roland Berger

Generative Fertigung

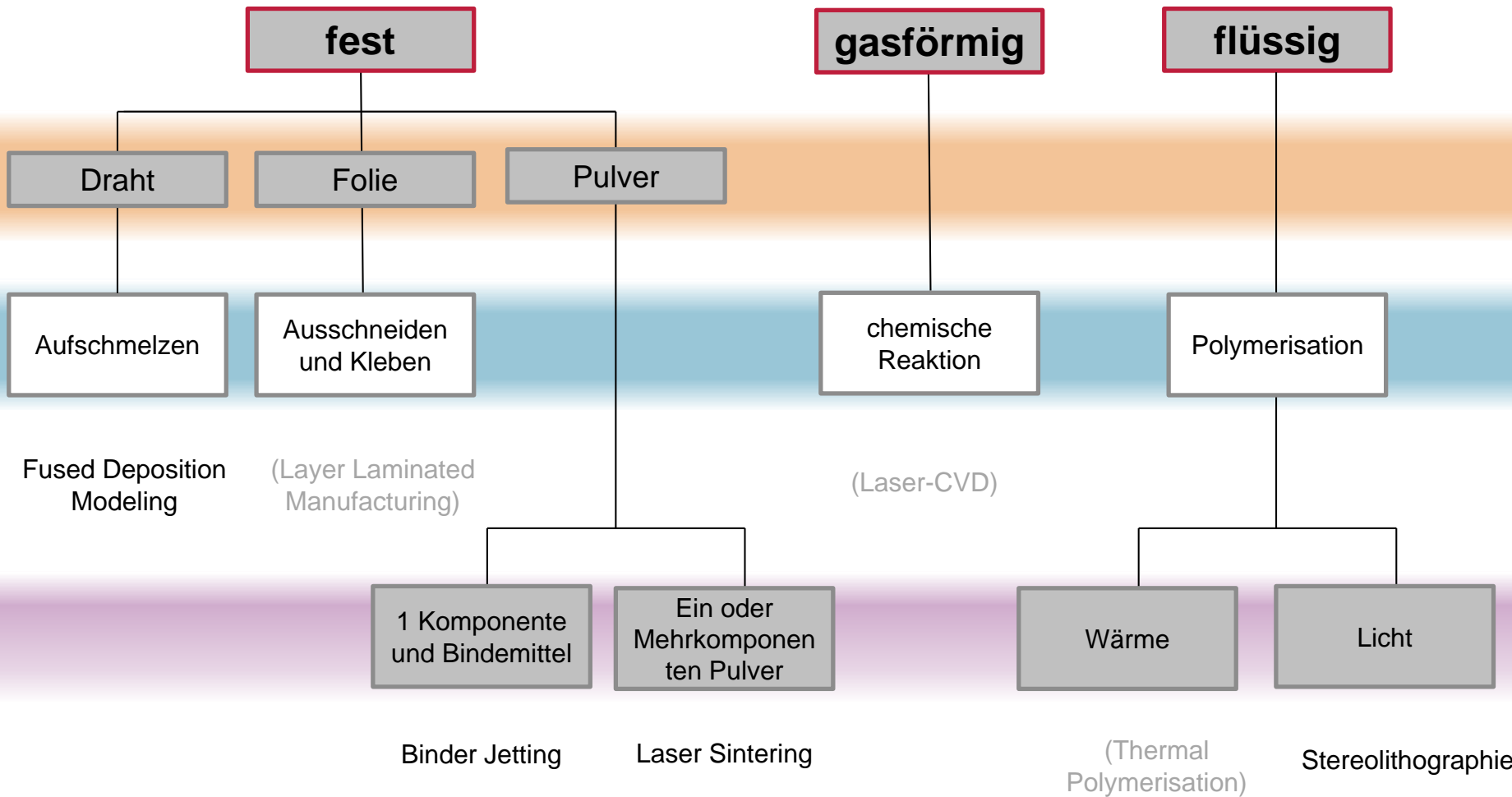
Komplexität des Produktionsprozesses



Quelle: nach Roland Berger

Generative Verfahren

Ausgangsstoffe



Generative Fertigung

Anwendung additiv gefertigter Bauteile

Kommunikation

- Interne Kommunikation / Kundenkommunikation
- Dokumentation
- Marktstudien

Prozessplanung

- Referenzmodell zur Planung des Fertigungsprozesses
- Urmodell für Abformtechniken



Anschauung

- geometrische Überprüfung des Entwurfs
- Überprüfung der Proportionen/Designs
- Validierung des CAD-Modells

Funktion

- funktionale Überprüfung
- Ergonomie
- Verifikation des Wirkprinzips

Generative Fertigung

Begrifflichkeiten

Virtuelle Prototypen

Anhand virtueller Prototypen können erste Berechnungen und Simulationen durchgeführt werden

Rapid Prototyping

Herstellung von Konzept- oder Design-, Geometrie- und Funktionsmodellen, die insbesondere hinsichtlich des Materials und der Oberflächenqualität nicht einem Endprodukt entsprechen



Rapid Tooling

Herstellung von Vorrichtungen, Werkzeugen und Formen

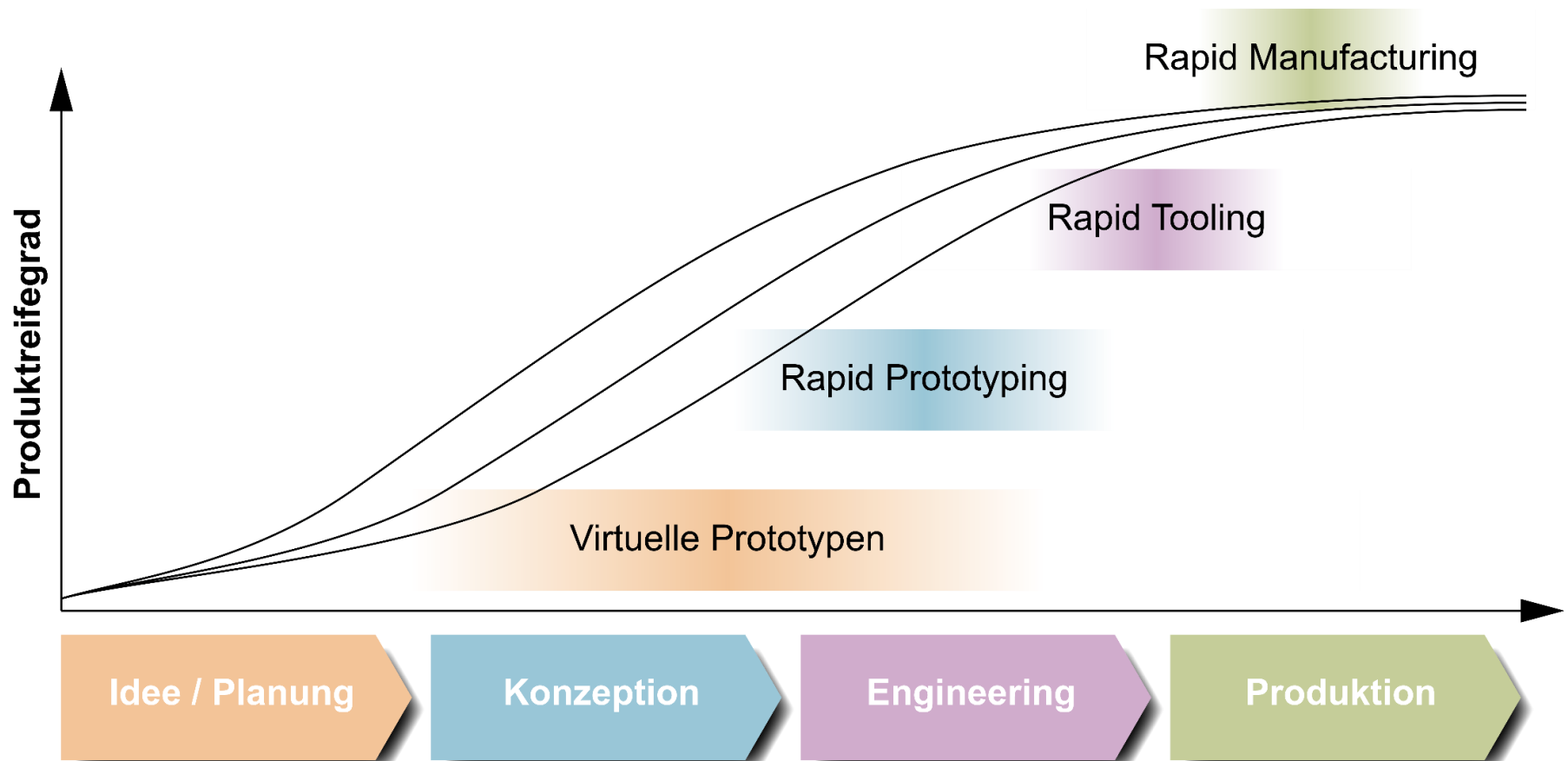


Rapid Manufacturing

Herstellung von einzelnen kundenspezifischen Endprodukten in Einzel- oder Kleinstserien

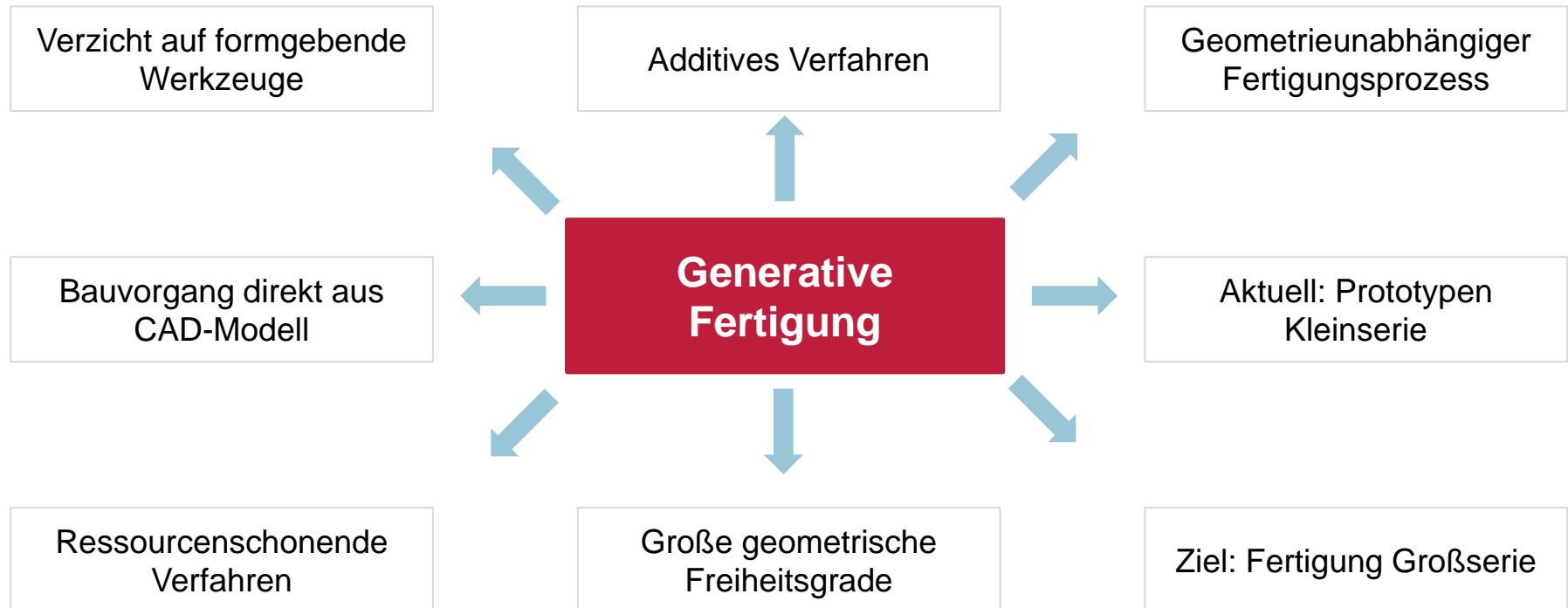


Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing innerhalb eines Produktentstehungsprozesses

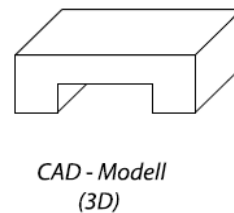


Generative Fertigung

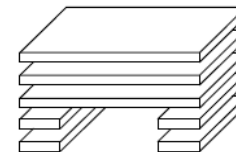
Kennzeichen



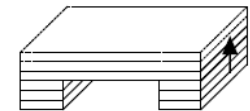
3druck.com



CAD - Modell
(3D)



zerlegen
in Schichten



schichtweiser
Bauteilaufbau

Quelle: Risse

Konstruktive Gestaltungsmöglichkeiten

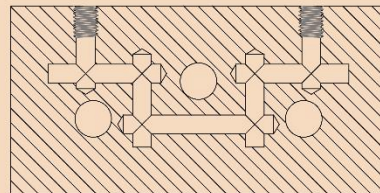
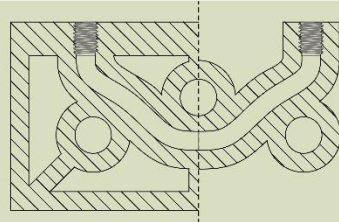
Hohes Maß an Gestaltungsfreiheit additiver Fertigungsverfahren

Optimierte Baugruppe durch Laser-Sintering



Ursprüngliche Schweiß-Baugruppe

- + Material und Bauteileinsparung
- + Strömungsgünstiger Kanal
- + Dünnere Wandstärken
- + Hohes Maß an Gestaltungsfreiheit

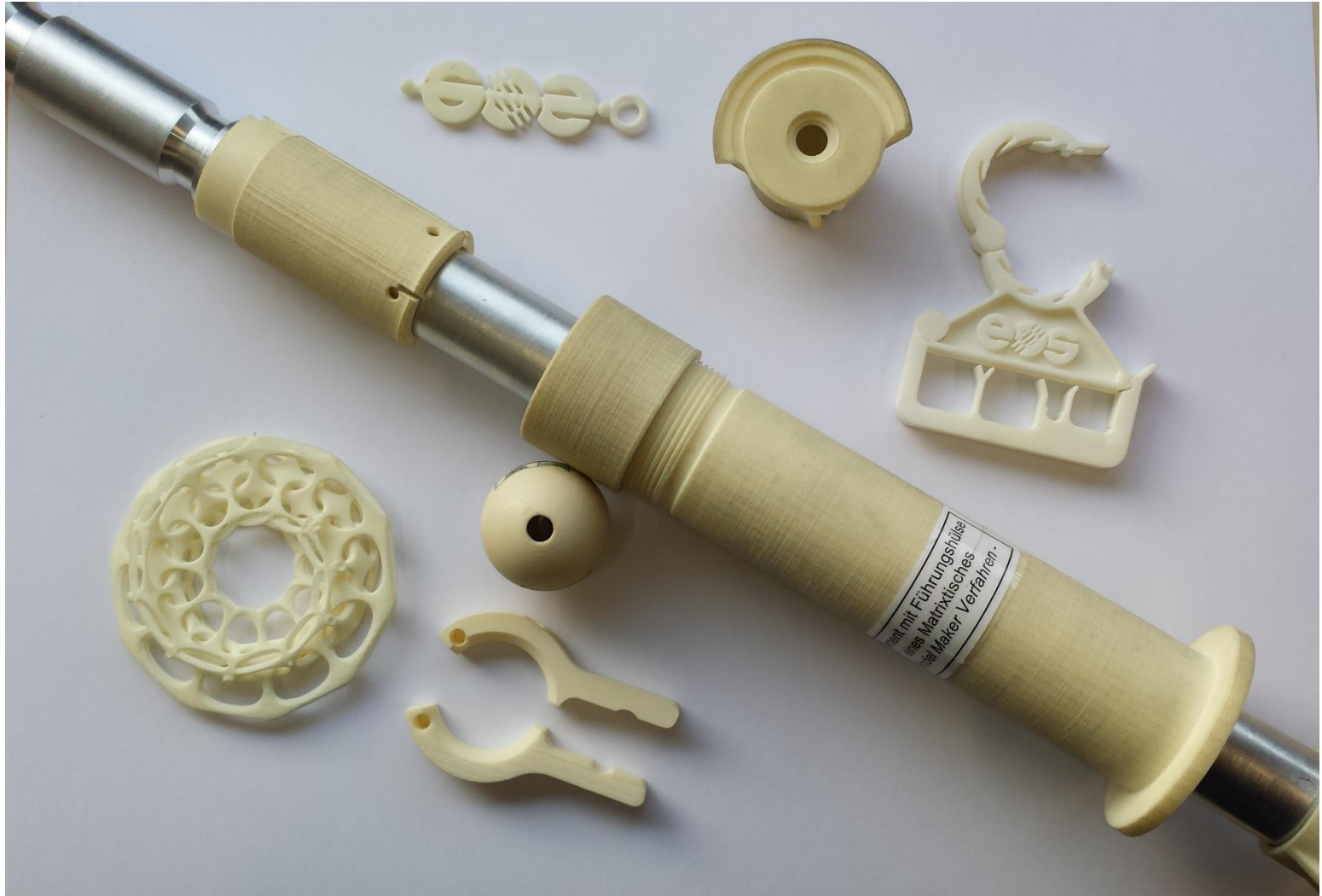


- Lange Bauzeit (massive Bauweise)
- Strömungsungünstig
- Sacklöcher behindern Reinigung
- Begrenzte Gestaltungsmöglichkeit

Laser-Sintering

Schweiß-baugruppe

Generative Fertigung Schaustücke



Ziele der heutigen Vorlesung

- Erlernen der Grundlagen generativer Fertigung
- Kennenlernen typischer generativer Fertigungsverfahren











Quelle: funk-maschinenbau











Quelle: nach Roland Berger

Technologien zur generativen Fertigung

Material	Technologien		
	Aufbau durch Polymerisation	Aufbau durch Verkleben	Aufbau durch Verschmelzen
Keramik		 Binder Jetting BJ	 Laser Melting SLM
Metall			 Electron Beam Melting EBM
Sand			
Kunststoff	 Stereolithography SL		 Fused Deposition Modeling FDM
	 Photopolymer Jetting PJ		 Laser Sintering LS
Wachs			 Material Jetting MJ
Beständigkeit			Tiefer → Höher
Oberfläche			Glatter → Rauer
Detailgenauigkeit			Höher → Tiefer
Anwendungsbereich			Prototypen → Funktionale Teile

Quelle: nach additively

Technologien zur generativen Fertigung

Material	Technologien				
	Aufbau durch Polymerisation		Aufbau durch Verkleben	Aufbau durch Verschmelzen	
Keramik			 Binder Jetting BJ	 Laser Melting SLM	
Metall					 Electron Beam Melting EBM
Sand					
Kunststoff	 Stereolithography SL	 Photopolymer Jetting PJ		 Fused Deposition Modeling FDM	 Laser Sintering LS
Wachs					 Material Jetting MJ
Tiefer		Beständigkeit		Höher	
Glatter		Oberfläche		Rauer	
Höher		Detailgenauigkeit		Tiefer	
Prototypen		Anwendungsbereich		Funktionale Teile	

Quelle: nach additively



Stereolithography (SLA, SL)



- UV-Laser härtet flüssiges Photopolymer an der Oberfläche eines Bades
- Durch Absenken der Plattform wird das Bauteil aufgebaut

Photopolymere



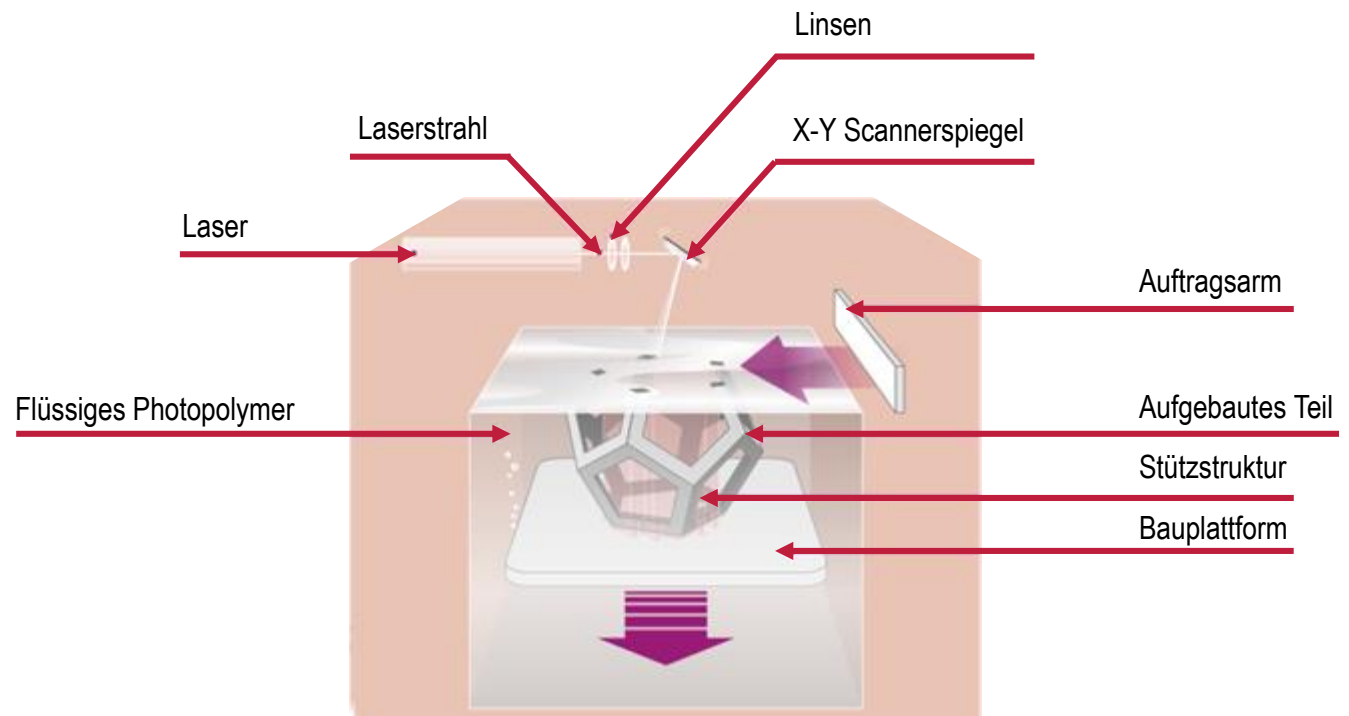
Schichtdicken:
0,05 mm – 0,1 mm



Genauigkeit: +/- 0,15 mm



Nachbehandlung in
Nachbenetzungsöfen



Quelle: nach additively.com



Technische
Universität
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik
03. Juli 2017 | Folie 22

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **IWF**

Stereolithography (SLA, SL)



Vorteile



Fertigung großer Teile

Gute Oberflächenqualität

Große Palette an Materialien

Duroplastischer Kunststoff



Nachteile

Technologie nur für Photopolymere geeignet

Photopolymere altern und sind nicht beständig

Materialien kostenintensiv

Langsamer Bauprozess



Photopolymer Jetting (PJ)



- Druckköpfe sprühen flüssige Photopolymere auf eine Bauplattform
- Materialaushärtung findet mittels UV-Lampen statt

Photopolymere,
ABS, Acrylate



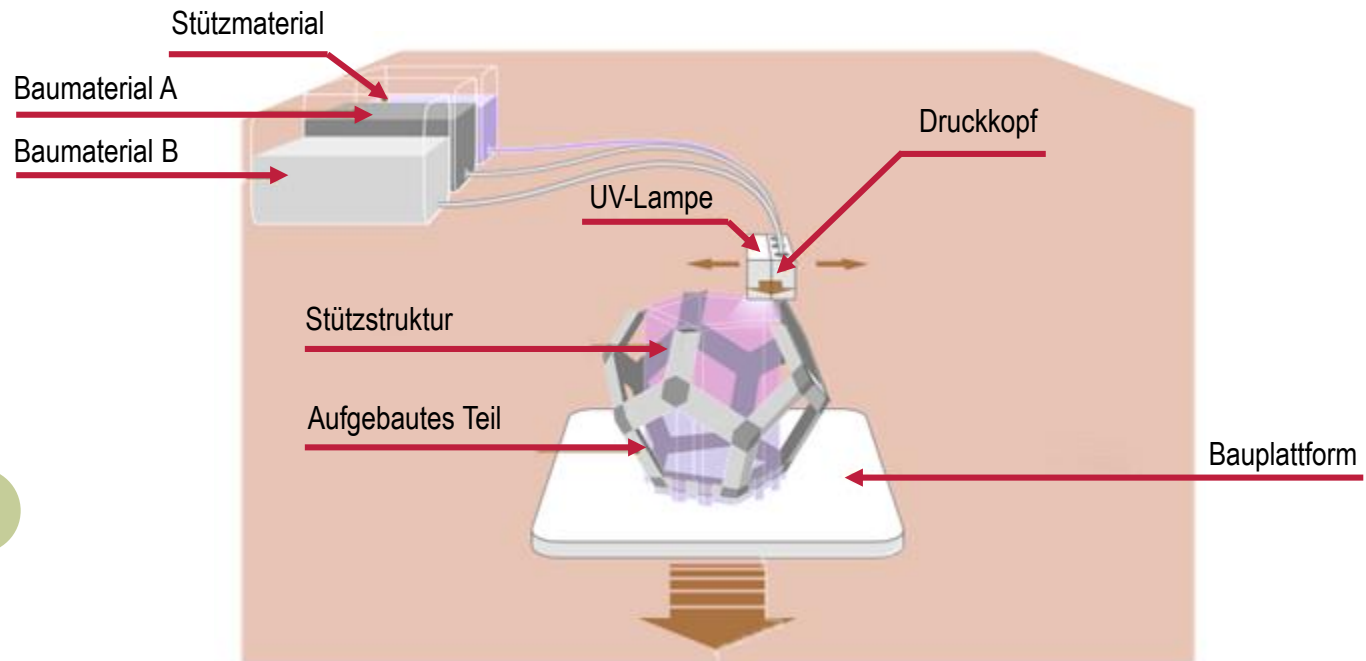
Schichtdicken:
0,016 mm



Genauigkeit: +/- 0,025 mm



Nachbearbeitung notwendig



Quelle: nach additively.com



Photopolymer Jetting (PJ)

Vorteile



Auftrag mehrerer verschiedener Materialien möglich

Abstufung der Härte des Bauteils möglich

Sehr genaue Bauteile mit hoher Oberflächengüte



Nachteile









Technologie nur für Photopolymere geeignet

Photopolymere altern und sind nicht beständig

Materialien kostenintensiv

Langsamer Bauprozess

Technologien zur generativen Fertigung

Material	Technologien			
	Aufbau durch Polymerisation	Aufbau durch Verkleben	Aufbau durch Verschmelzen	
Keramik		 Binder Jetting BJ	 Laser Melting SLM	
Metall				 Electron Beam Melting EBM
Sand				
Kunststoff	 Stereolithography SL	 Photopolymer Jetting PJ	 Fused Deposition Modeling FDM	 Laser Sintering LS
Wachs				 Material Jetting MJ
Tiefer		Beständigkeit	Höher	
Glatter		Oberfläche	Rauer	
Höher		Detailgenauigkeit	Tiefer	
Prototypen		Anwendungsbereich	Funktionale Teile	

Quelle: nach additively



Binder Jetting (BJ)



- Druckköpfe applizieren flüssigen Kleber auf dünne Pulverschichten
- Verklebung der Pulverschichten erzeugt Bauteil

Keramik, Metalle,
Kunststoffe, Sand



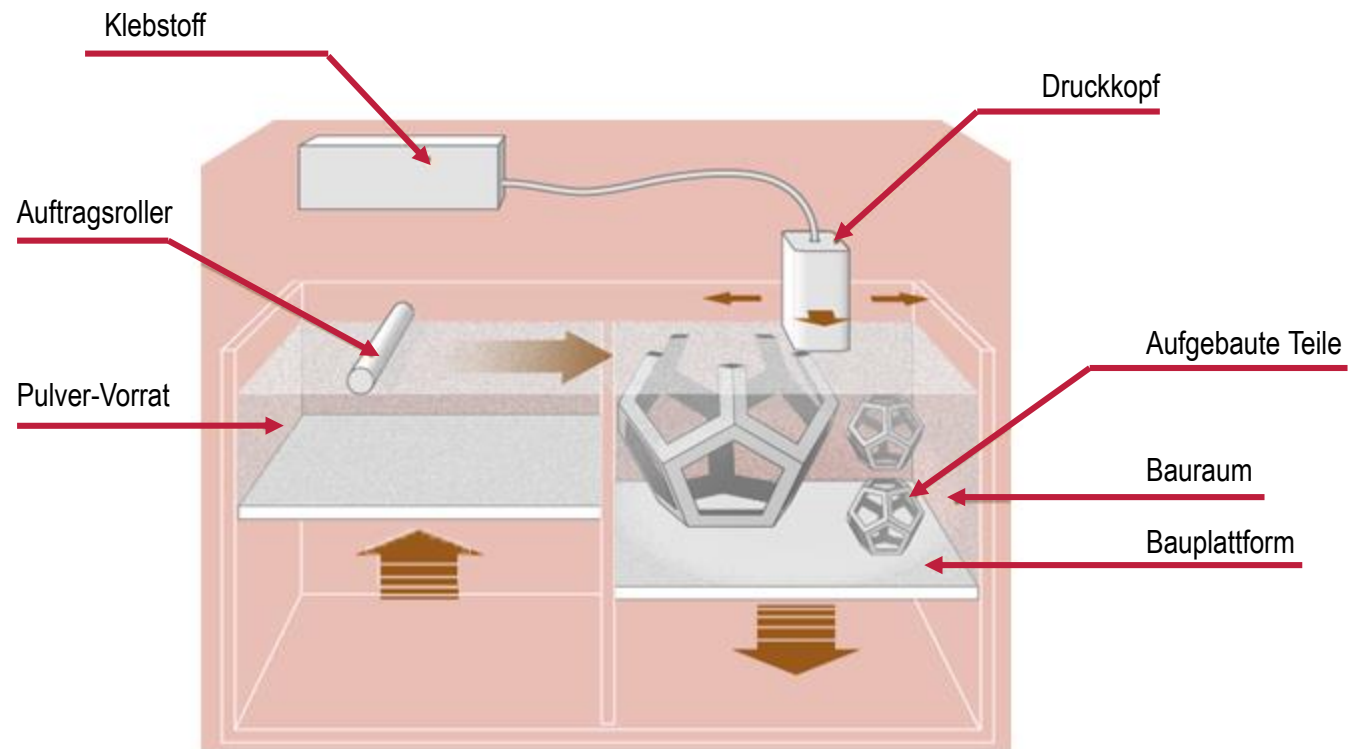
Schichtdicken:
0,09 mm



Genauigkeit: +/- 0,13 mm



Nachbehandlung nur
bedingt möglich



Quelle: nach additively



Binder Jetting (BJ)

Vorteile



Herstellung bunter Bauteile möglich (Zufuhr über Klebstoff)

Schnelle und preiswerte Technologie

Viele Materialien können verarbeitet werden

Stützstruktur wird nicht benötigt (nicht verklebtes Pulver stützt)



Nachteile

Beschränkte mechanische Eigenschaften

Nachgelagertes Sintern zur Steigerung der Festigkeit nötig

Schrumpfungen im Sinterprozess



Scharnier (Airbus)



Teekanne

Quelle: nach additively, 3dhubs











Technische
Universität
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik

03. Juli 2017 | Folie 31

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **WMF**

Technologien zur generativen Fertigung

Material	Technologien			
	Aufbau durch Polymerisation	Aufbau durch Verkleben	Aufbau durch Verschmelzen	
Keramik		 Binder Jetting BJ	 Laser Melting SLM	
Metall				 Electron Beam Melting EBM
Sand				
Kunststoff	 Stereolithography SL  Photopolymer Jetting PJ		 Fused Deposition Modeling FDM	 Laser Sintering LS
Wachs				 Material Jetting MJ
Tiefer		Beständigkeit	Höher	
Glatter		Oberfläche	Rauer	
Höher		Detailgenauigkeit	Tiefer	
Prototypen		Anwendungsbereich	Funktionale Teile	

Quelle: nach additively



Selective Laser Melting (SLM)



- Dünne Metallpulverschicht wird durch Laser selektiv aufgeschmolzen
- Bauteile werden Schicht um Schicht im Pulverbett aufgebaut

Keramik, Metalle



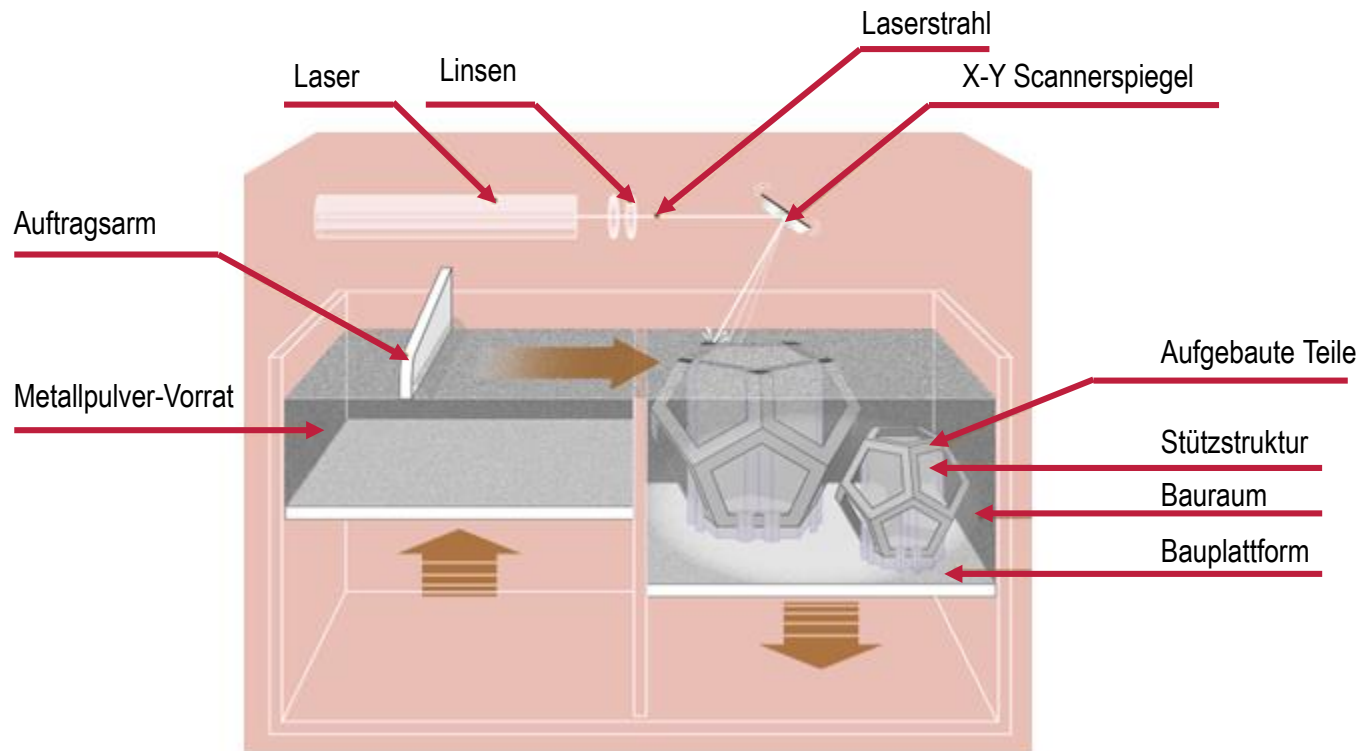
Schichtdicken:
0,03 mm



Genauigkeit: +/- 0,05 mm



Nachbehandlung wie
bei Schweißteilen



Quelle: nach additively

Selective Laser Melting (SLM)



Vorteile



Herstellung von Bauteilen mittels Standardmetallen

Gute mechanische Eigenschaften

Weiterverarbeitung wie geschweißtes Bauteil



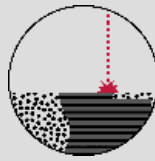
Nachteile

Zur Wärmeabfuhr werden Stützstrukturen benötigt

Oberflächenqualität und Toleranzen limitiert

Langsame und teure Technologie

Ausbildung von Geometriesprüngen



Electron Beam Melting (EBM)



- Dünne Metallpulverschicht wird durch Elektronenstrahl selektiv aufgeschmolzen
- Bauteile werden Schicht um Schicht im Pulverbett aufgebaut

Metalle



Schichtdicken:
0,05 mm



Genauigkeit: +/- 0,2 mm



Nachbehandlung zur
Verbesserung der Oberfläche



Elektronenstrahl-Säule

Elektronenstrahl

Metallpulver-Vorrat

Aufgebaute Teile

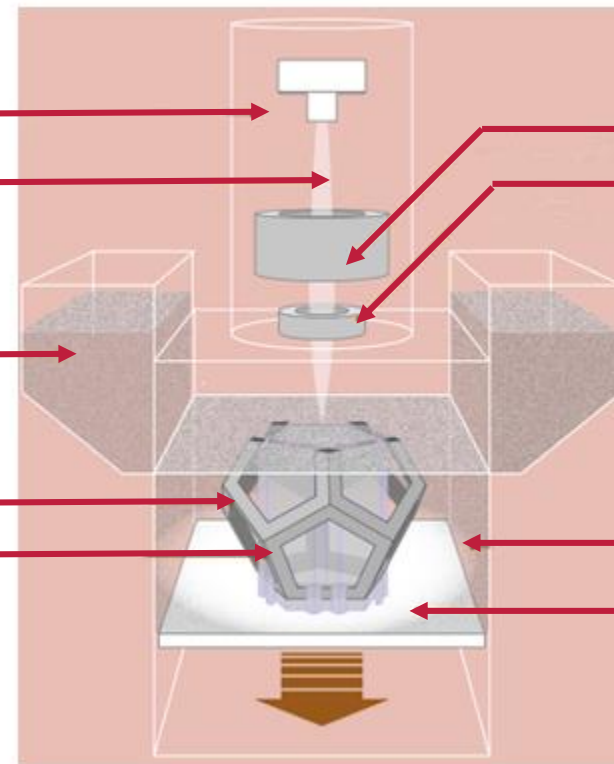
Stützstruktur

Strahlablenkung

Fokussierung

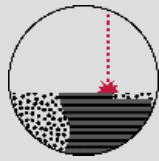
Bauplattform

Bauplattform



Quelle: nach additively

Electron Beam Melting (EBM)



Vorteile



Herstellung von Bauteilen mittels Standardmetallen

Gute mechanische Eigenschaften

Weniger thermische Spannungen als beim Laser Sintern



Nachteile

Zur Wärmeabfuhr werden Stützstrukturen benötigt

Oberflächenqualität schlechter als beim Laser Sintern

Langsame und teure Technologie

Hüftimplantat





Fused Deposition Modeling (FDM)



- Kunststoffdraht wird aufgeschmolzen und durch Düse extrudiert
- Bauteile werden Schicht um Schicht durch Ablegen des Kunststoffs aufgebaut

Kunststoffe



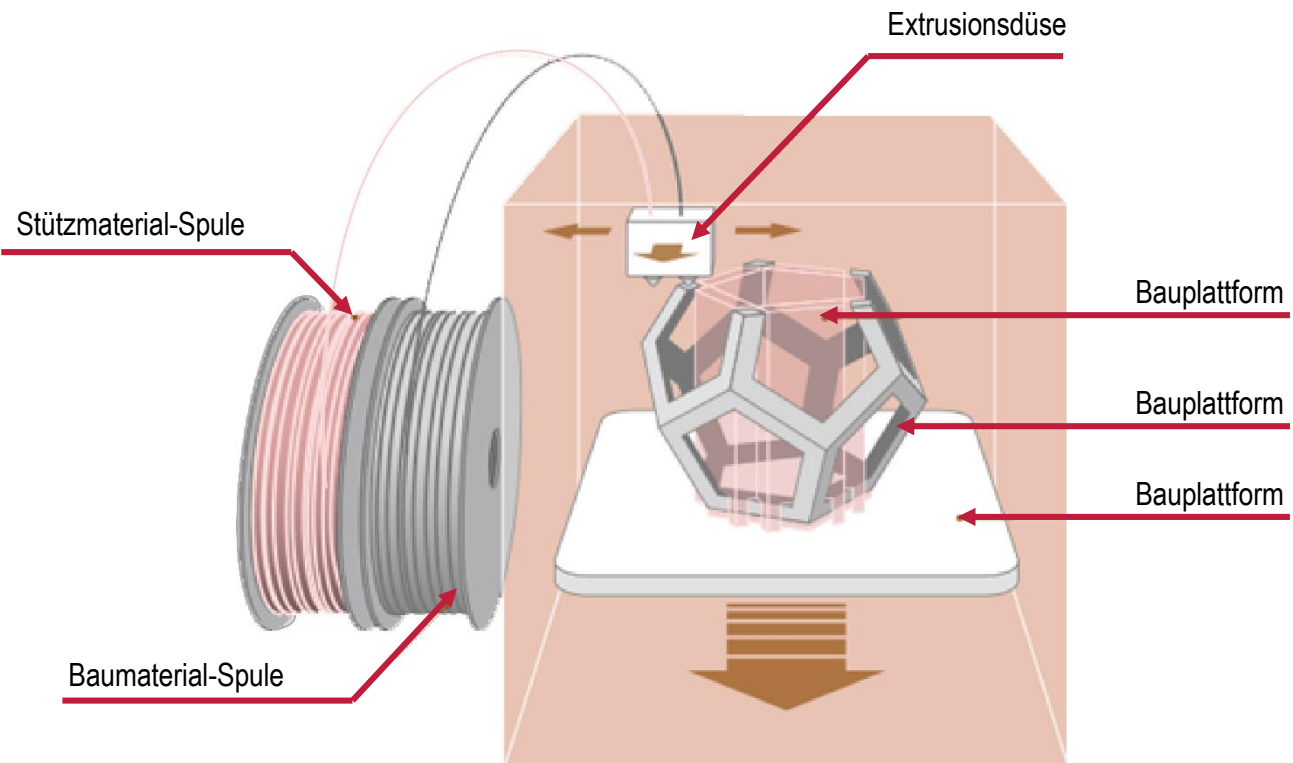
Schichtdicken:
0,2 mm



Genauigkeit: +/- 0,2 mm



Nachbehandlung zur
Verbesserung der Oberfläche



Quelle: nach additively



Fused Deposition Modeling (FDM)

Vorteile



Herstellung von funktionalen Bauteilen aus Kunststoffen

Gute mechanische Eigenschaften

Zeitbeständig



Nachteile

Anisotropie durch Schichtaufbau

Stufenstruktur der Oberfläche

Feine Details nicht zu realisieren

Quelle: 3d-activation.de

Quelle: nach additively

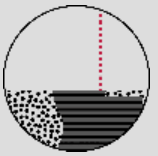


Technische
Universität
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik

03. Juli 2017 | Folie 41

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **WZL**



Selective Laser Sintering (SLS)



- Dünne Kunststoffschicht wird von Laser selektiv aufgeschmolzen
- Bauteile werden Schicht um Schicht im Pulverbett aufgebaut

Kunststoffe



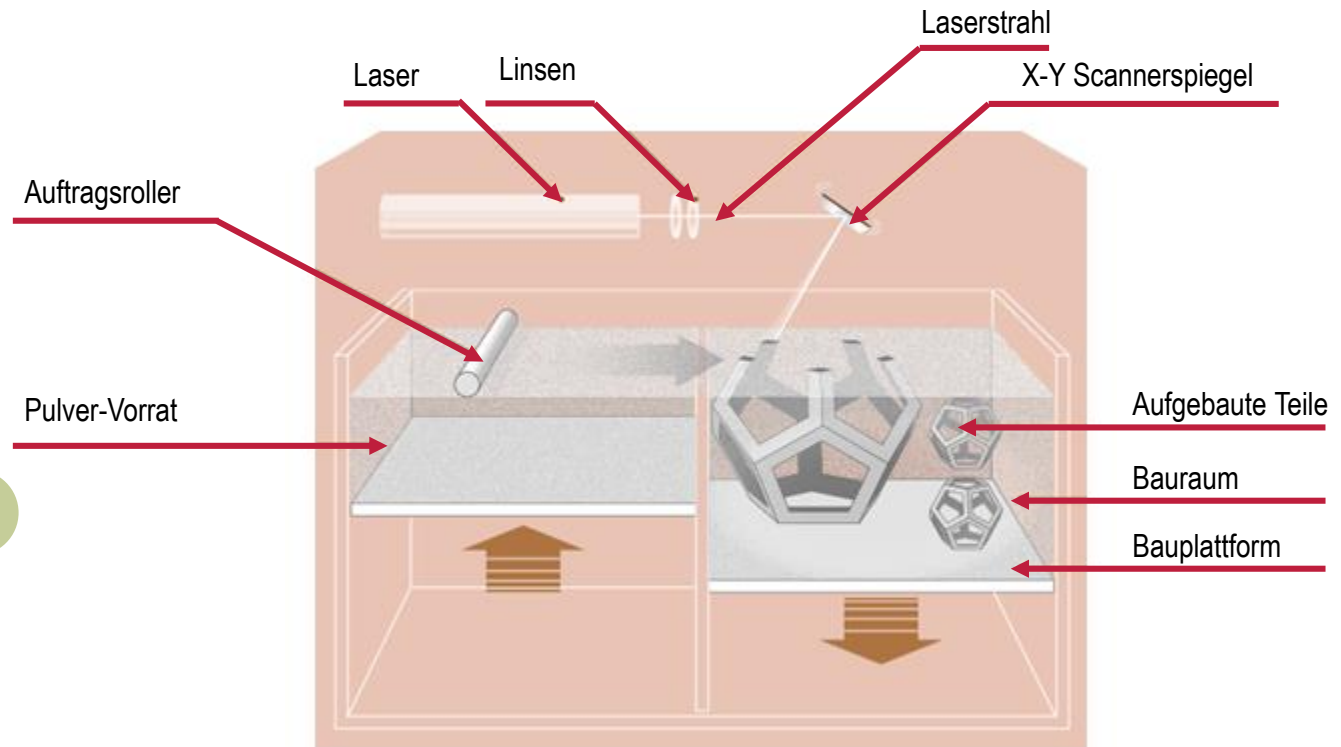
Schichtdicken:
0,1 mm



Genauigkeit: +/- 0,25 mm

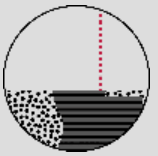


Nachbehandlung zur
Verbesserung der Oberfläche



Quelle: nach additively

Selective Laser Sintering (SLS)



Vorteile



Herstellung von funktionalen Bauteilen aus Kunststoffen

Gute mechanische Eigenschaften

Viele Materialien verfügbar

Preiswertes Verfahren



Nachteile

Postprozess relativ aufwendig

Oberflächenqualität bedingt gut

Prozessgase



Material Jetting (MJ)



- Druckköpfe sprühen geschmolzenes Wachs auf eine Bauplattform
- Wachs verfestigt sich bei schichtweisem Aufbau

Wachs



Schichtdicken:
0,1 mm



Genauigkeit: +/- 0,25 mm



Nachbehandlung nur
bedingt möglich



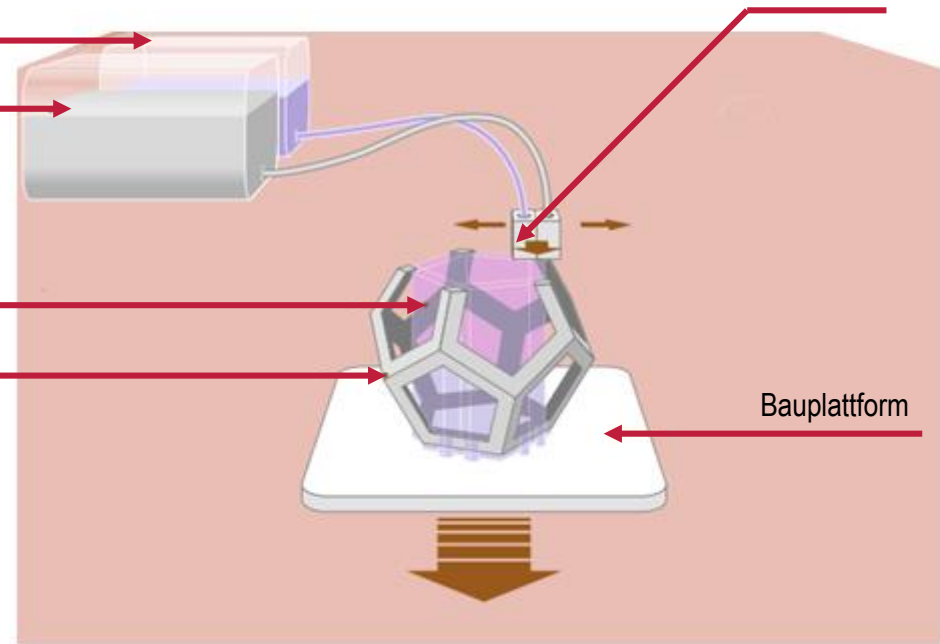
Stützmaterial

Baumaterial

Stützstruktur

Aufgebautes Teil

Bauplattform



Quelle: nach additively



Material Jetting (MJ)

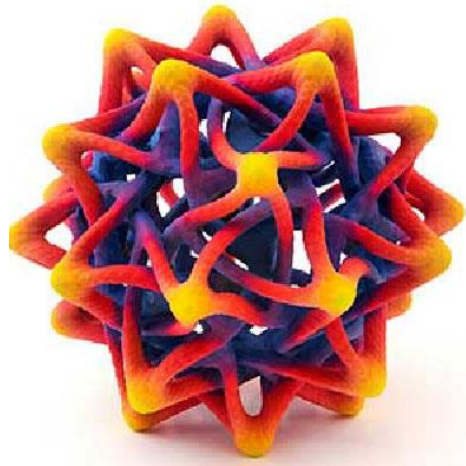
Vorteile



Hohe Genauigkeit

Gute Oberflächengüte

Herstellung von Guss-Wachsen



Nachteile

Nur Wachs-ähnliche Materialien einsetzbar

Bauteile fragil

Langsamer Prozess



Technische
Universität
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik
03. Juli 2017 | Folie 47

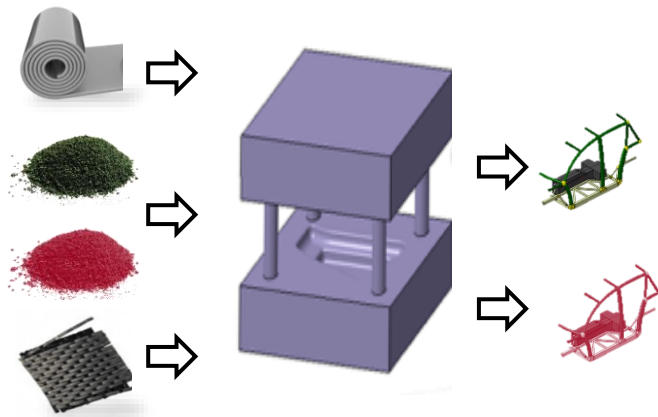
Quelle: nach additively, chemx.

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **WMF**

Visionen generativer Fertigungsverfahren

Neue Technologien / Prozesse im Fahrzeugbau

Heute:



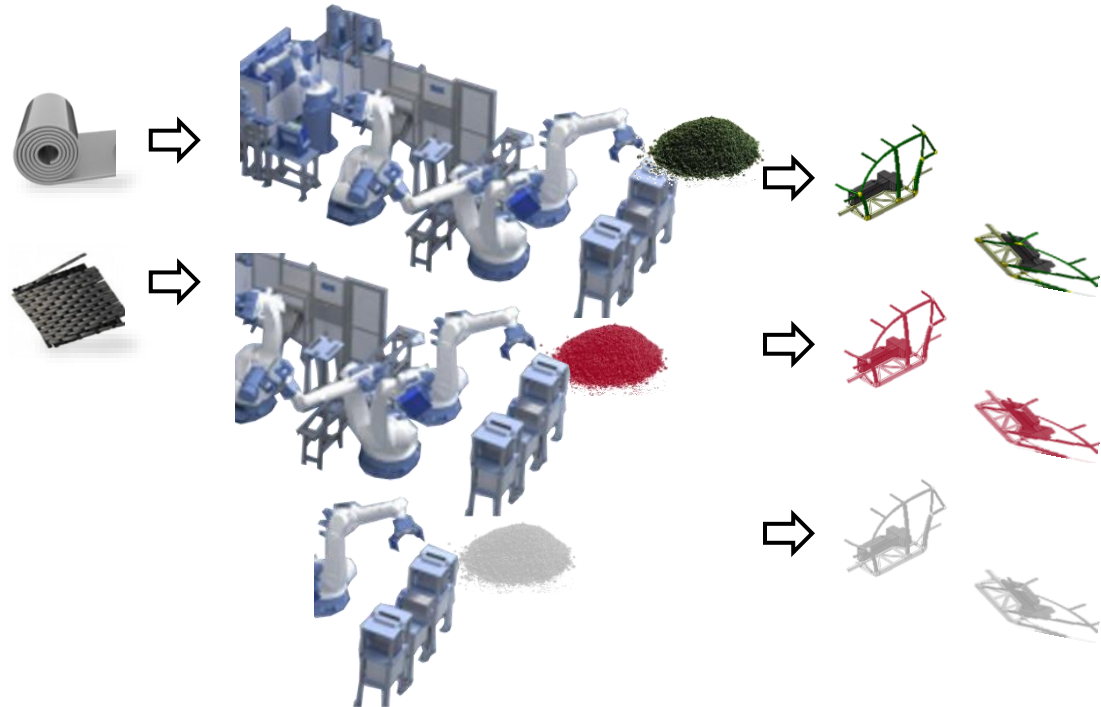
seriell

**wenige große
Anlagen**

verkettet

**Betriebsmittel
produktspezifisch**

Vision: „Digitalisierte Fertigung“



parallel

**mehrere kleine
Anlagen**

**flexibler
Materialfluss**

**Betriebsmittel
produktflexibel**

additiv

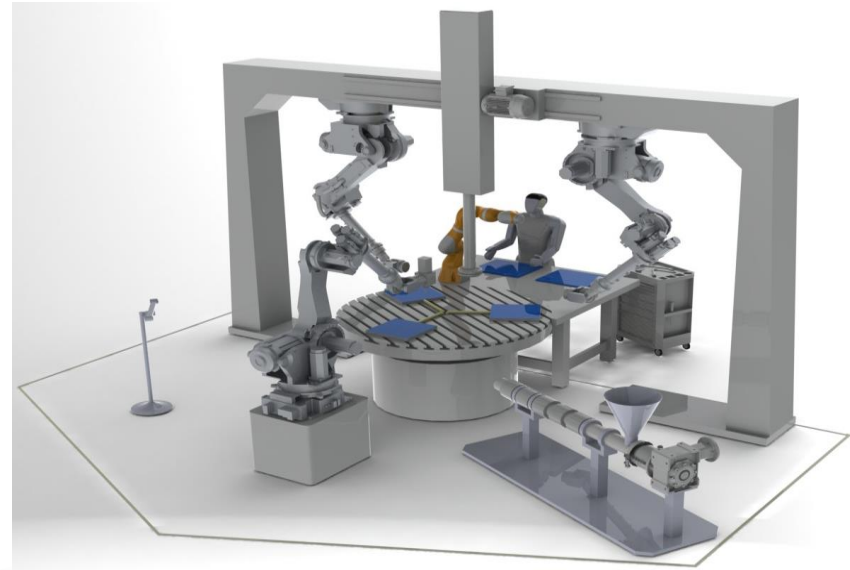
**„intelligente“
Steuerung**

Visionen generativer Fertigungsverfahren

„Incremental Manufacturing Lab“ (DFG-Großgerät)

Motivation: „Additive Großserienfertigung“

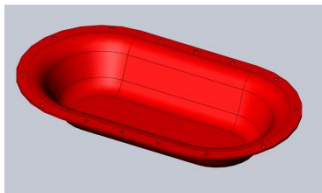
- Additive Fertigung ist Zukunftstechnologie zur flexiblen Herstellung (variantenreicher) Bauteile
- Additive Fertigung erreicht nur in Kombination mit volumenfähigen Verfahren eine hohe Produktivität



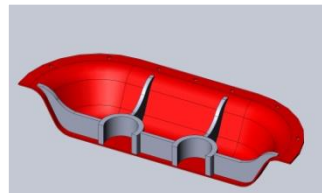
Lösungsansatz:

„Low-Cost-Vorform“

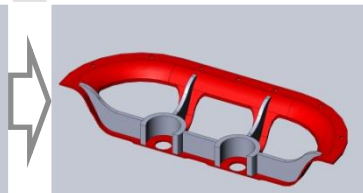
Finalisierung und Detailausprägung durch additive & subtraktive Verfahren



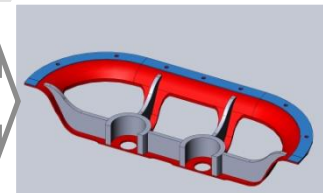
+



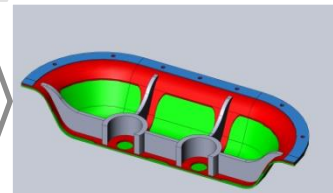
Anspritzen / Fügen



Spanen



„Andrucken“ (z.B. FDM)



(Lokales) Verpressen

Forschung: Flexible Automatisierung, Fertigungsverfahren, Werkstoffe, Produktionsmesstechnik, MRK

Denkanstöße, Vertiefungen

1. Nennen Sie drei Unterscheidungsmerkmale subtraktiver und additiver Fertigungsverfahren!
2. Was ist Rapid Tooling?
3. Welche vier Modellarten gibt es?
4. Nennen sie die Ausgangsstoffe der generativen Verfahren sowie ein zugehöriges Verfahren!
5. Wie funktioniert das Fused Deposition Modeling und welche Ausgangsstoffe werden eingesetzt?
6. Nennen Sie ein wesentlichen Vor- und Nachteil der Stereolithographie!

Formulieren Sie eine **geeignete Klausuraufgabe** zu den Inhalten des heutigen Themas der Vorlesung und posten Sie diese im StudIP.

Etwa 30 % der von Ihnen formulierten Fragen werden in der Klausur verwendet!



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **IWF**



Vorlesung Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder, 02. Juli 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik