

# FERTIGUNGSPLANUNG IN DER ADDITIVEN FERTIGUNG



Wintersemester 2020/21

### **GLIEDERUNG**

1. Einführung in das Thema Fertigungsplanung
2. Standardisierung in der AM
3. **Prozesskette der Additiven Fertigung**
4. Produktentstehungsprozess
5. Modelle und Prototype
6. Rapid Manufacturing
7. Gestaltung der Additiven Fertigungsprozesse
  - 7.1. Additive Fertigungsverfahren
  - 7.2. Planung der Prozesse
8. Nachbearbeitung von additiv gefertigten Teilen
9. Mechanische Bearbeitung
10. Qualitätssicherung und Prüfplanung
11. Kostenplanung

### DEFINITIONEN

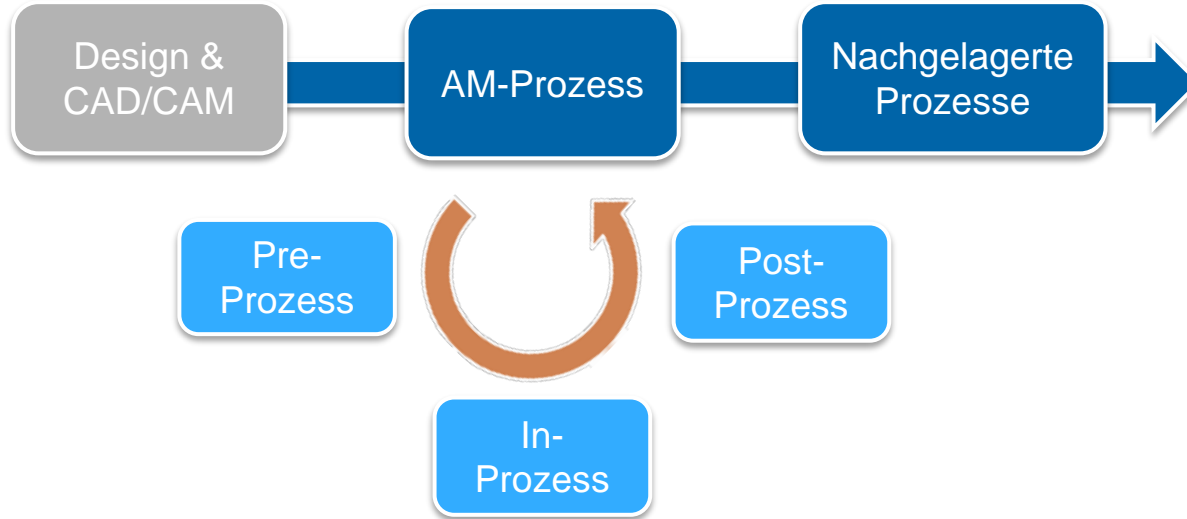
- **Prozesskette der additiven Fertigung** – ist eine modellhafte, deterministische Darstellung aller fortschreitenden Schritte zur Herstellung eines Erzeugnisses mittels der Verfahren der additiven Fertigung und umfasst sowohl vorbereitende, als auch erzeugende Prozesse.
- Prozesse der additiven Fertigung stehen in engem Zusammenhang mit anderen Funktionen eines Produktionssystems, wie Entwicklung, Management oder Service. Besonders eng verbunden sind Prozesse mit logistischen Prozessen, die der Beschaffung, dem Materialfluss und der Distribution dienen. Die Auslegung der Prozesskette unterliegt die Prinzipien und Methoden des Produktionssystems, welche im Rahmen der **Arbeitsplanung** berücksichtigt werden.

# AUFBAU DER VORLESUNG

3	Prozesskette der Additiven Fertigung
3.1	Struktur des AM-Prozesses
3.2	Verfahrensspezifische Merkmale der Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung
3.3	Schritte zur Planung der Additiven Fertigung

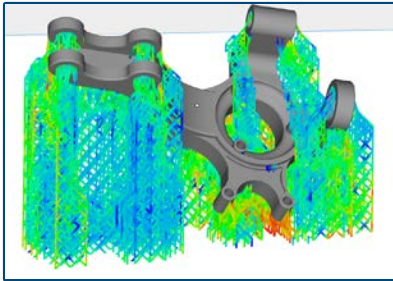
# STRUKTUR DES ADDITIVEN FERTIGUNGSPROZESSES

Nach VDI 3405 wird der Ablauf des AM-Prozesses in die drei Schritte **Pre-Prozess**, **In-Prozess** und **Post-Prozess** untergliedert.



# STRUKTUR DES ADDITIVEN FERTIGUNGSPROZESSES: PRE-PROZESS

## Pre-Prozess



„Pre-Prozess beschreibt alle erforderlichen Operationen, die erfolgen, bevor das Bauteil in der additiven Fertigungsanlage gefertigt werden kann. Dazu gehören insbesondere die **Datenvorbereitung**, die Erzeugung von Zusatz- und Hilfsgeometrien (z.B. Stützkonstruktionen), das **Anordnen** der Bauteile im Bauraum und die **Schichtdatengenerierung**. Neben der Datenvorbereitung werden mit diesem Begriff auch weitere prozessvorbereitende Maßnahmen, z.B. die hardwareseitige Anlagenvorbereitung (Materialbefüllung etc.), beschrieben.“ [VDI 3405]

# STRUKTUR DES ADDITIVEN FERTIGUNGSPROZESSES: IN-PROZESS

In-Prozess



„In-Prozess beschreibt die aus dem Pre-Prozess resultierenden Fertigungsoperationen, die von der additiven Fertigungsanlage ausgeführt werden. Dazu zählt insbesondere der **schichtweise Bauteilaufbau**. Ebenfalls werden die noch in der Anlage erfolgenden Arbeitsschritte zum **Entpacken** oder **Entnehmen** der Bauteile hier eingruppiert“ [VDI 3405]

# STRUKTUR DES ADDITIVEN FERTIGUNGSPROZESSES: POST-PROZESS

## Post-Prozess



„Post-Prozess beschreibt die an dem Bauteil durchgeführten Arbeitsschritte, die nach der Entnahme aus der Anlage durchgeführt werden müssen. Dazu zählen u.a. **Entfernung von Pulverrückständen** oder **Stützkonstruktionen** und zwingend **erforderliche Schritte** zur Herstellung der technologisch erreichbaren Bauteileigenschaften“ [VDI3405]

# STRUKTUR DES ADDITIVEN FERTIGUNGSPROZESSES: NACHGELAGERTE PROZESSE

## Nachgelagerte Prozesse



„Die Nachbehandlung von Metall- und Kunststoffprodukten aus additiven Fertigungsverfahren kann erforderlich sein, um ausgewählte Eigenschaften zu erzielen, zu verbessern oder weitere Merkmale einzubringen. Dazu gehören beispielsweise die Oberflächengüte, die mechanischen Eigenschaften und die Haptik.“ [VDI 3405]

# AUFBAU DER VORLESUNG

3	Prozesskette der Additiven Fertigung	
	3.1	Struktur des AM-Prozesses
	3.2	Verfahrensspezifische Merkmale der Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung
	3.3	Schritte zur Planung der Additiven Fertigung

# VERFAHRENSSPEZIFISCHE MERKMALE DER FERTIGUNGSPLANUNG IN DER ADDITIVEN FERTIGUNG

- Im Unterschied zu klassischen Fertigungsprozessen der Teilefertigung findet die additive Fertigung des Werkstücks -ohne Halbzeug- in einem Prozess statt. Dadurch fallen alle Prozessschritte zur Halbzeugfertigung weg. Kurze Prozessfolgen sparen Zeit und Kosten; aber: höhere Werkstoffkosten beachten!
- Durch den Wegfall der Rohteilfertigung steigt die Anforderungen an die Additive Fertigung, da in diesen Prozessen gleichzeitig die Werkstoffeigenschaften beeinflusst werden.
- Die Vorteile der Prozesskürzung sollen unter Berücksichtigung der Qualitäts- und Ertragssteigerung realisiert werden.

# ADDITIV GEFERTIGTES BAUTEIL ALS FERTIGUNGSAUFGABE

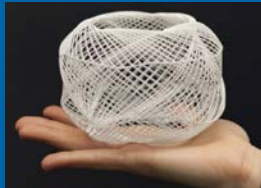
## konstruktive Merkmale

- Datenqualität
- Integrierte Geometrie
- Dimension (makro/mikro)
- Struktur
- Oberflächengenauigkeit und –qualität

## fertigungstechnische Merkmale

- fertigungsgerechte Geometrie und Bemaßung
- Spannmöglichkeiten

## Bauteil



## werkstofftechnische Merkmale

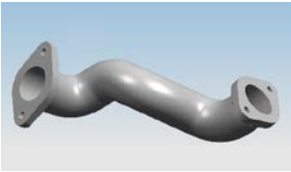
- Materialkomponente
  - Monowerkstoff
  - Verbundwerkstoffe
  - Gradientenwerkstoff
- Werkstoffarten
  - Modell- /Konstruktionswerkstoff
- Recyclingsfähigkeit
  - komplett, teilweise oder nicht bioabbaubar

## anwendungsspezifische Merkmale

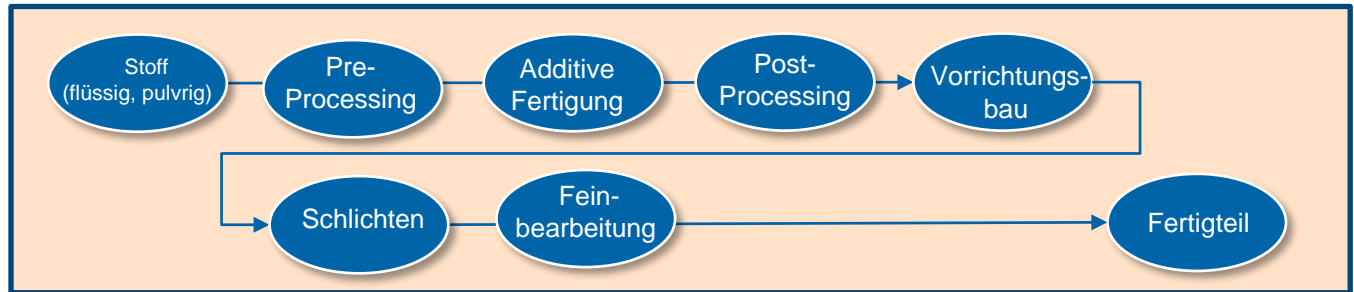
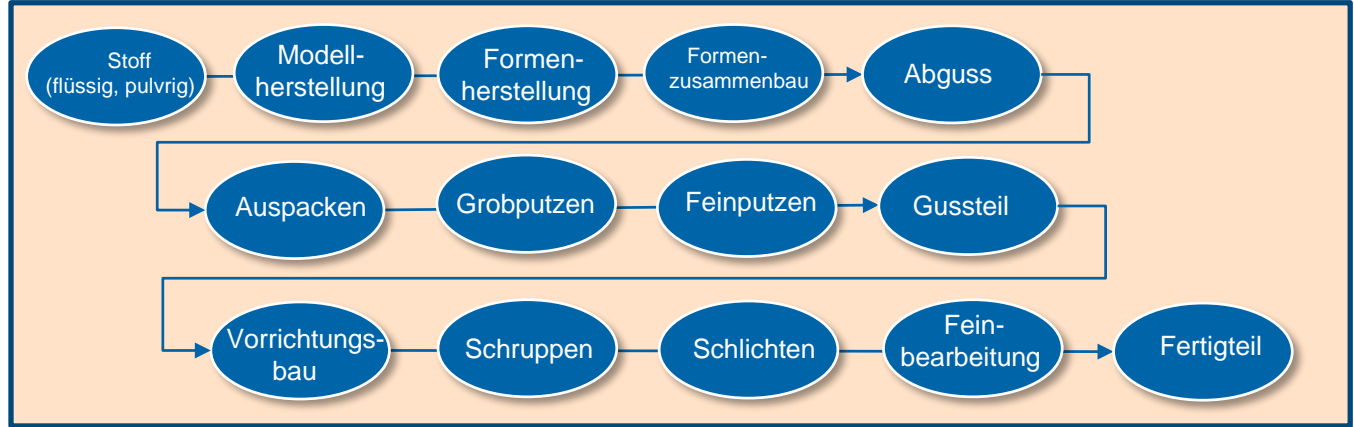
- Prototyp
- vollfunktionsfähiges Endprodukt
- Serienprodukt

# PROZESSVARIANTEN FÜR DIE FERTIGUNG EINES PROTOTYP

Saugrohr



Material: AlSi10Mg



Klassisch

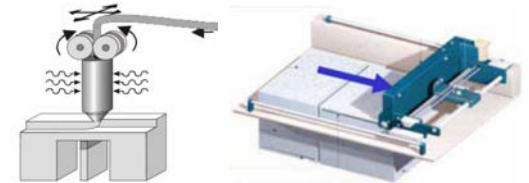
Additiv

# PROBLEMORIENTIERTE SCHRITTE DER FERTIGUNGSPLANUNG ADDITIVER PROZESSE

**Was?** → Analyse der Werkstückdaten: Werkstoff, Abmessungen, Komplexität, Qualitäts- und Genauigkeitsanforderungen, Stückzahl, Liefertermin



**Wie?** → Auswahl geeigneter AM- und Folgeverfahren und Festlegung von Prozessschritten (Bauteil AF, mechanische Bearbeitung, Wärmehandlung, usw.)



# PROBLEMORIENTIERTE SCHRITTE DER FERTIGUNGSPLANUNG ADDITIVER PROZESSE

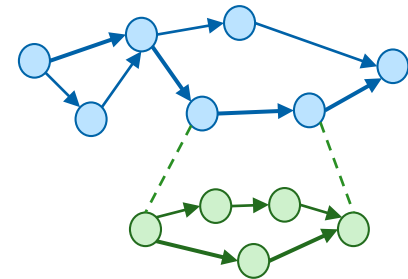
**Womit?** →

Auswahl der Fertigungsmittel zur Realisierung der Fertigungsaufgabe

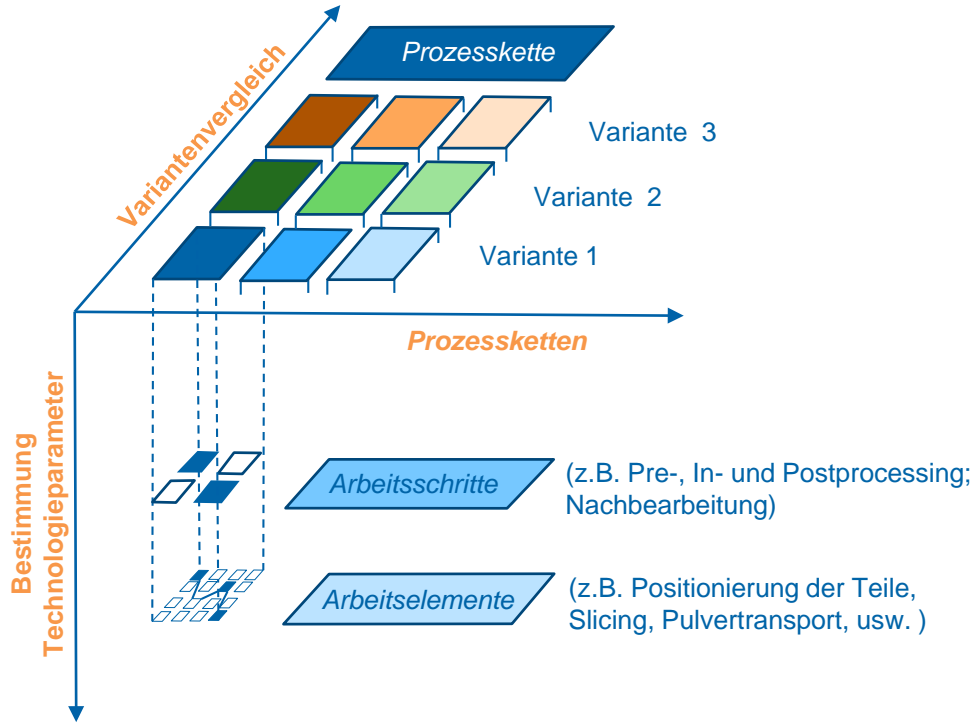


**In welcher Reihenfolge?** →

Bestimmung von (möglichst alternativen) Arbeitsfolgen unter wirtschaftlicher Betrachtung verschiedener Prozessvarianten und Auswahl einer optimalen technologischen Lösung



# ZUSAMMENHANG DER PLANUNGSSCHRITTE



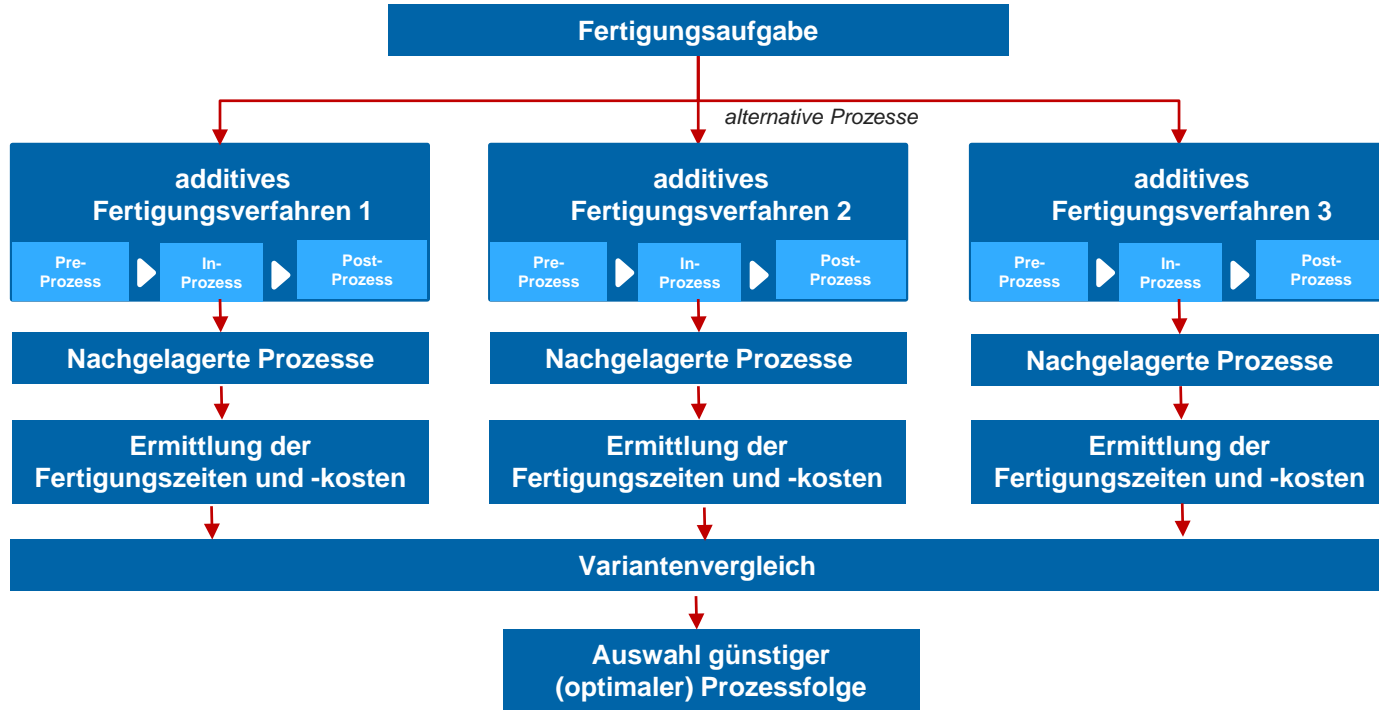
# AUFBAU DER VORLESUNG

3	Prozesskette der Additiven Fertigung
3.1	Struktur des AM-Prozesses
3.2	Verfahrensspezifische Merkmale der Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung
3.3	Schritte zur Planung der Additiven Fertigung

# SCHRITTE ZUR PLANUNG DER ADDITIVEN FERTIGUNG

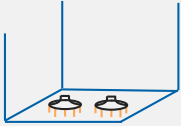
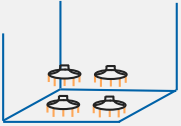
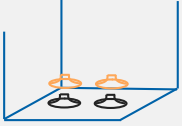





# ALTERNATIVE PROZESSVARIANTEN



# Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung

## ALTERNATIVE PROZESSVARIANTEN – BEISPIEL IMPELLER

	SLM	EBM	BJ
<b>Pre-Prozess:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orientierung</li> <li>▪ Skalierung</li> <li>▪ Platzierung</li> <li>▪ Support erzeugen</li> <li>▪ Boole'sche Operation</li> <li>▪ Slicing</li> <li>▪ Pulver/Inertisieren/Heizen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orientierung</li> <li>▪ Skalierung</li> <li>▪ Platzierung</li> <li>▪ Support erzeugen</li> <li>▪ Boole'sche Operation</li> <li>▪ Slicing</li> <li>▪ Pulver/Vakuum/Heizen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orientierung</li> <li>▪ Skalierung</li> <li>▪ Platzierung</li> <li>▪ (Boole'sche Operation)</li> <li>▪ Slicing</li> <li>▪ Pulver/Binder</li> </ul> 
<b>In-Prozess:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Laserstrahl-Schmelzen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronenstrahl-Schmelzen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Binder Jetting</li> </ul> 
<b>Post-Prozess:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pulver entfernen</li> <li>▪ Entnehmen Bauplattform + Teile</li> <li>▪ Abtrennen von Bauplattform</li> <li>▪ Entfernen Support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entnehmen „Bauraum“</li> <li>▪ Entfernen Pulverkuchen</li> <li>▪ Entfernen Support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pulver entfernen</li> <li>▪ Entnehmen Teile („Grünling“)</li> </ul>
<b>Nachgelagerte Prozesse:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (HIP)</li> <li>▪ Flächen Fräsen</li> <li>▪ Polieren</li> <li>▪ Qualitätssicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (HIP)</li> <li>▪ Flächen Fräsen</li> <li>▪ Polieren</li> <li>▪ Qualitätssicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entbindern („Curing“)</li> <li>▪ (HIP)</li> <li>▪ Sintern</li> <li>▪ Flächen Fräsen</li> <li>▪ Polieren</li> <li>▪ Qualitätssicherung</li> </ul>

# ALTERNATIVE PROZESSVARIANTEN



SLM



1x Kontur  
x Meter Hatch

- 1 Laser
- 2 mechanische Spiegel
- ggf. Polygonscanner

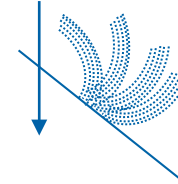
EBM



1x Kontur  
x Meter Hatch

- 1 Elektronenstrahl
- 2 Magnetfeld-Ablenkeinheiten
- bis 7 Melpools

BJ



0,1 m Überfahrweg in X  
Hatch 1-5 Bahnen (wg. Druckbreite)

- 1 Druckkopf
- >1000 Düsen

Welche Randbedingungen aus Auftragsicht werden ihre Entscheidung beeinflussen?



Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung

# Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung 2020 – 03

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



TU Bergakademie Freiberg | Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung | Professur für Additive Fertigung  
Agricolastraße 1 | 09599 Freiberg DE | Tel.: +49 3731 39 2986 | <http://www.imkf.tu-freiberg.de> | Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler