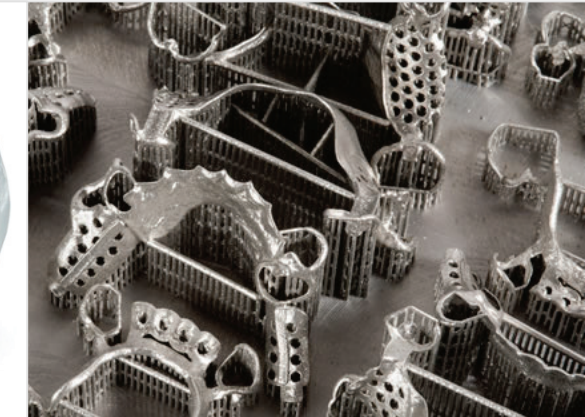
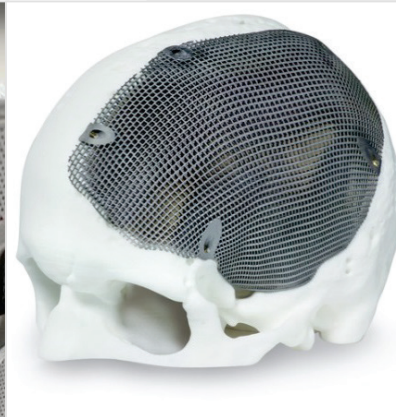
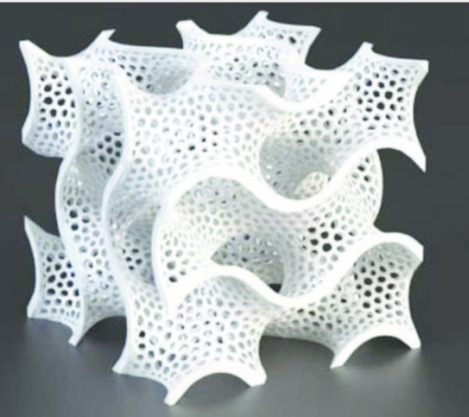


# ADDITIVE FERTIGUNG – KLASSIFIZIERUNG



Sommersemester 2020

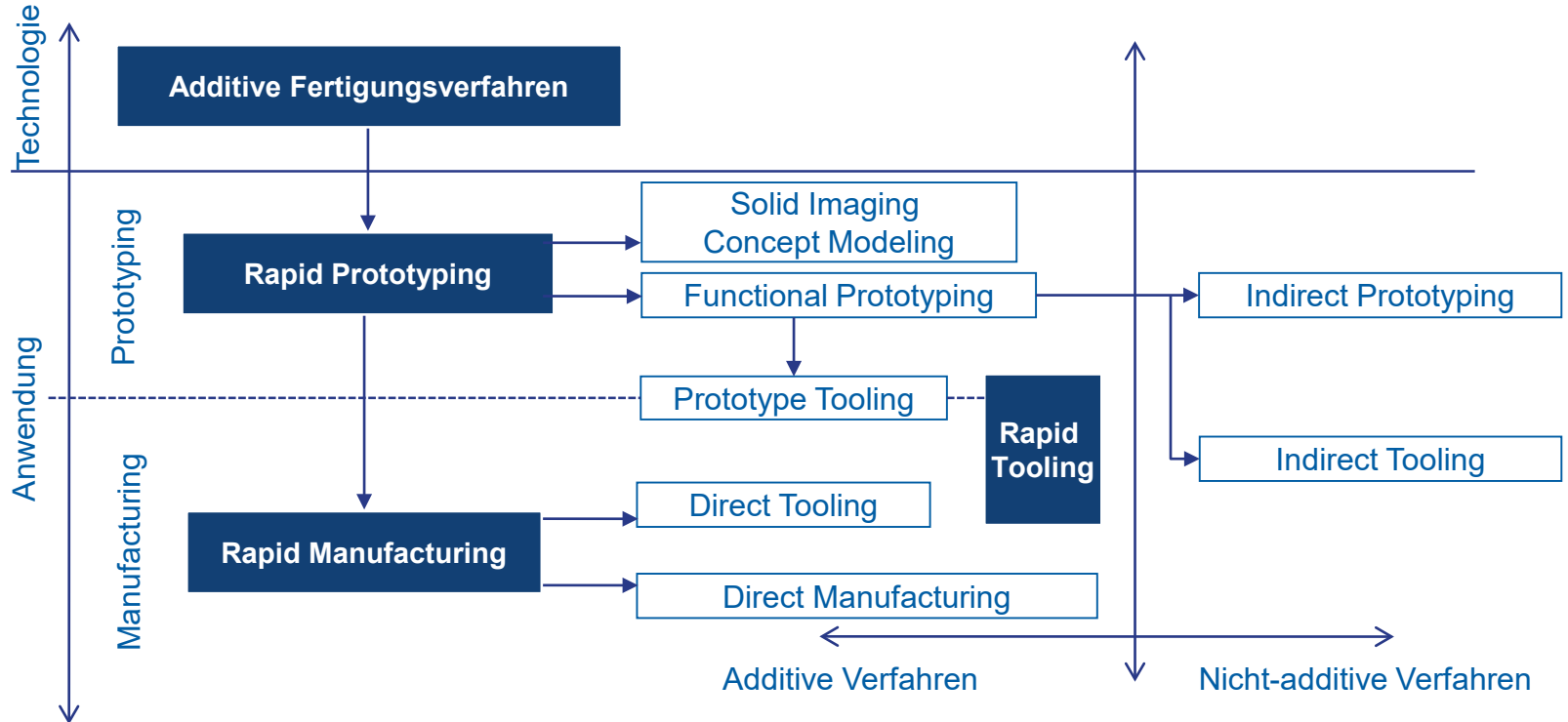
# GLIEDERUNG

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

# AUFBAU DER VORLESUNG

1. Unterteilung der additiven Fertigungsverfahren
  1. Rapid Prototyping
  2. Rapid Tooling
  3. Rapid Manufacturing
  
2. Unterteilung nach Prozessketten
  1. Direkte Prozesse
  2. Direkte (mehrstufige) Prozesse
  3. Indirekte Prozesse
  
3. Einteilung / Klassifizierung
  1. Einteilung nach VDI 3405
  2. Einteilung nach physikalischen Verfahren
  3. Einteilung nach Materialzustand

# UNTERTEILUNG DER ADDITIVEN FERTIGUNGSVERFAHREN



# UNTERTEILUNG DER ADDITIVEN FERTIGUNGSVERFAHREN



## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

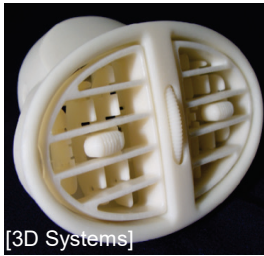
# RAPID PROTOTYPING (RP)

**Rapid Prototyping** bezeichnet die Anwendung der Technologie der additiven Fertigungsverfahren zur Herstellung von Modellen und Prototypen, also von physischen Bauteilen ohne Produktcharakter.

- Additive Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität (Prototypen, Versuchsteile)
- Eigenschaften: ausgewählte Merkmale, z. B. Geometrie oder Haptik
- Material kann, muss aber nicht Serienmaterial sein
- Konstruktion kann, muss aber nicht fertigungsgerecht im Sinne der Serienfertigung sein

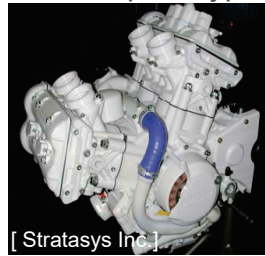
### Beispiele:

Lüftungsbedienelement



[3D Systems]

Motorenprototyp



[Stratasys Inc.]

Architekturmodell



[zcorp]

Kupplungsprototyp



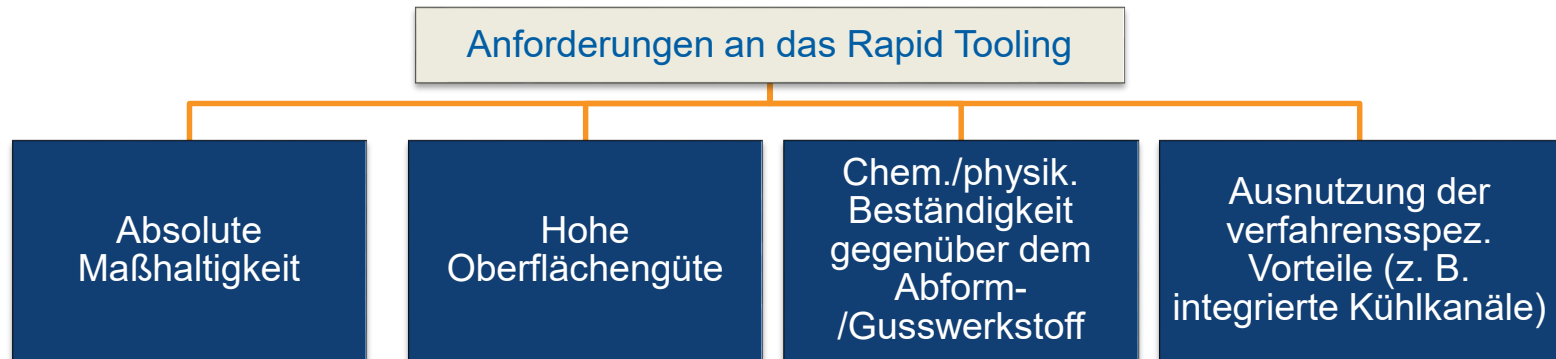
[Stratasys Inc.]

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# RAPID TOOLING (RT)

Rapid Tooling bezeichnet die additive Herstellung von Werkzeugeinsätzen, Werkzeugen, Lehren und Formen.

- Schnelle Produktbereitstellung
- Kurze Entwicklungszeiten der Werkzeuge
- Gut geeignete Alternative zum herkömmlichen Werkzeugbau
- Geeignet für kleine und mittelgroße Produktserien
- Möglichkeit Kühlkanäle zu integrieren



## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# RAPID MANUFACTURING (RM)

Rapid Manufacturing bezeichnet die wirtschaftliche Herstellung von Endprodukten mittels additiven Fertigungsverfahren. Darunter fallen sowohl Positive als Einzelstücke oder in Kleinserien als auch Negative wie z. B. Gussformen oder Werkzeugeinsätze.

- Additive Herstellung von Endprodukten (häufig auch als Serienteile bezeichnet)
- Eigenschaften: Weist alle Merkmale des Endproduktes auf oder wird vom Kunden für den „Serieneinsatz“ akzeptiert
- Material ist identisch mit dem des Endprodukts
- Konstruktion entspricht der des Endprodukts

### Beispiele:

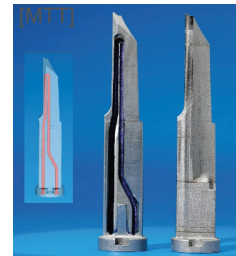
Titanimplantat



Schmuck



Konturnah  
gekühltes Bauteil



Zahnprothese



## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# RAPID MANUFACTURING (RM)

## Vorteile des Rapid Manufacturing

- + Neue Geometriefreiheitsgrade
  - Hinterschnitte
  - Funktionsintegration
  - neue Designmöglichkeiten
- + Fertigung individueller Bauteile (Mass-Customization)
- + Ersatzteilproduktion „on demand“
- + Parallelproduktion unterschiedlicher Bauteile
- + Konstanter Rüstaufwand
- + Geringe Instandhaltungskosten
- + „Werkzeugloser / verschleißfreier“ Betrieb


## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# RAPID MANUFACTURING (RM)

## Nachteile des Rapid Manufacturing

(Bei „reiner“ Substitution konventioneller Fertigungsverfahren)

- ➖ Hohe Investitionskosten
    - ➖ Qualifiziertes Personal notwendig
    - ➖ Hohe Werkstoffkosten
    - ➖ Nachbearbeitung erforderlich
- 
- ➖ Geringe Oberflächenqualität
  - ➖ Ungenaue Maß- und Formhaltigkeit

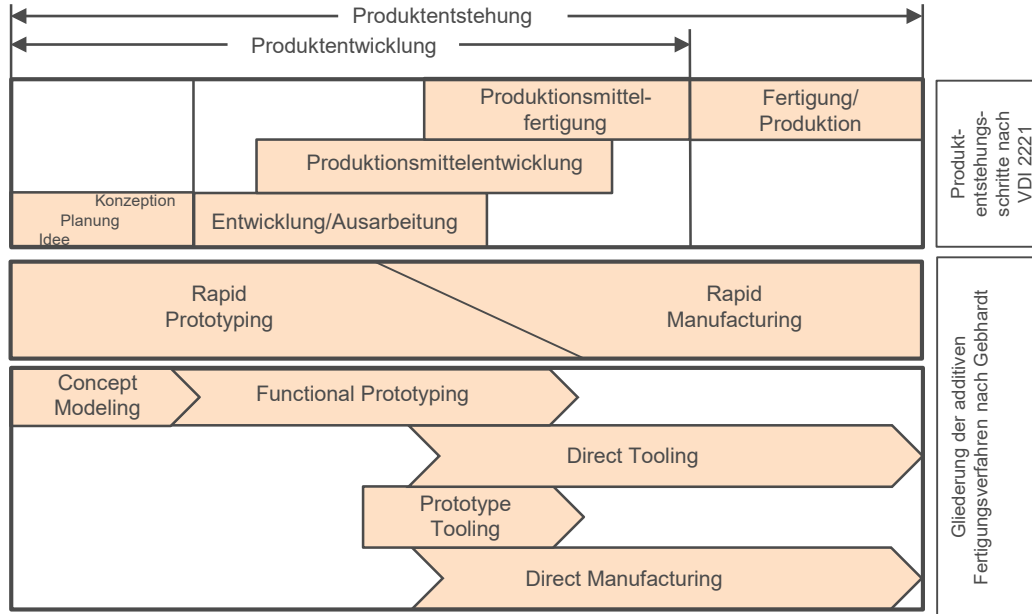


- ➖ Niedrige Bauraten  
→ lange Bauzeiten
  - ➖ Nachbearbeitung erforderlich
  - ➖ Prozessinstabilität

## Handlungsspielraum:

- Unzureichender Wissenstransfer zwischen den Anwendern und zu potenziellen Anwendern
- Niedriger Bekanntheitsgrad der Eigenschaften der additiven Verfahren

# EINTEILUNG IN DIE PRODUKTENTSTEHUNGSPHASEN



Quellen: Gebhardt, A. Additive Fertigung. Hanser Verlag, 2016

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# BAUTEILARTEN UND VERWENDUNGSZWECK nach VDI 3405

RP	Konzeptmodell	<p>Beim Konzeptmodell handelt es sich um die frühest mögliche physische Realisierung eines Produktdesigns oder Produktkonzepts (Solid-Image). Material, Funktion und Maße entsprechen nicht den Produkthanforderungen. Wichtigste Zielgröße ist die Anmutung. Es können skalierte, additive gefertigte Bauteile (Proportionalmodelle) zum Einsatz kommen.</p> <p><b>Anwendung:</b> Überprüfen des ästhetischen Eindrucks im Anwendungsumfeld</p>
	Geometrie-prototyp	<p>Bei Geometrieprototypen handelt es sich um additiv gefertigte Bauteile, bei denen die Beurteilung von Maß, Form und Lage von Bedeutung ist. Die Materialeigenschaften sind dabei sekundär.</p> <p><b>Anwendung:</b> Überprüfen der Geometrie (z. B. Einbauuntersuchung)</p>
	Funktions-prototyp	<p>Bei Funktionsprototypen handelt es sich um additiv gefertigte Bauteile, die bereits definierte Produktfunktionen des späteren Serienteiles erfüllen. Eine Überprüfung einiger oder aller Funktionalitäten ist möglich. Form und Gestalt können vom späteren Produkt abweichen.</p> <p><b>Anwendung:</b> Überprüfen von (Teil-)Funktionen</p>
RM	Technischer Prototyp	<p>Technische Prototypen unterscheiden sich in den geforderten Eigenschaften nicht wesentlich vom späteren Serienteil. Sie können jedoch auf einem anderen Wege als dem Serienverfahren gefertigt worden sein.</p> <p><b>Anwendung:</b> Überprüfen des Bauteils in Versuch und Vorserie</p>
	Produkt / Bauteil	<p>Bestimmungsgemäß eingesetztes Bauteil oder marktfähiges Produkt .</p> <p><b>Anwendung:</b> Kleinserie, Rapid Manufacturing, individuelle Produkte</p>

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# BEISPIELE AUS DER PRAXIS

RP

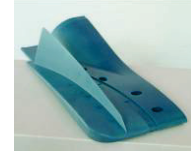
### Funktionsprototyp (*Lasersintern*)

Kabelstecker  
Kfz-Bereich  
aus PA 12



### Funktionsprototyp (*Stereolithographie*)

Aerodynamischer  
Funktionskörper aus  
nanogefülltem Epoxid-Harz



### Konzeptmodell (*Stereolithographie*)

Designstudie - Bett



### Geometrieprototyp (*Lasersintern*)

Gepäckträger –  
Motorrad



RM

### Produkt (*Stereolithographie*)

Im-Ohr-Hörgerät  
aus Acrylat



### Produkt (*selektives Strahlschmelzen*)

Zahnrestauration aus CoCr



## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# QUALITÄTSKRITERIEN FÜR PROTOTYPEN

Kriterienkategorie	Konzeptmodell	Geometrie-prototyp	Funktions-prototyp	Technischer Prototyp	Produkt
Geometrische Größen (Maße, Geometrie, Winkel, Oberfläche etc.)	+	+++	++	++	+++
Mechanische Eigenschaften (Festigkeit, Härte, Dehnung etc.)		+	++	+++	+++
Materialeigenschaften (Gewicht, Porosität, Leitfähigkeit, Isotropie etc.)			++	+++	+++
Verarbeitungseigenschaften (Schweißbarkeit, Zerspanbarkeit, Lackierbarkeit etc.)		+	++	++	+++
Anmutung (Form, Haptik, Textur etc.)	+++	++	+	++	+++
Wirtschaftlichkeit und Organisation (Kosten, Lieferzeit etc.)	+++	++	+	++	+++

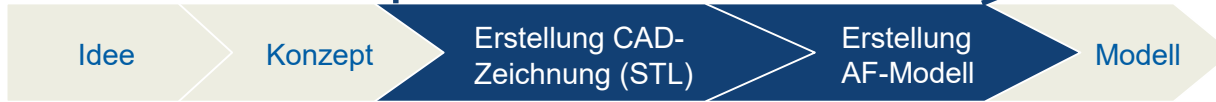
## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# MODELLERSTELLUNG UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF DIE PROZESSKETTE

### Konventionelle Betrachtung



### Additive Betrachtung



- Konstrukteure müssen “out of the box” denken (AM-gerechte Gestaltung)
- Neue Möglichkeiten z. B. durch direkte Baugruppenfertigung, Leichtbau, TopOpt...
- Bauteileigenschaften teilweise über Prozessparameter einstellbar
- Häufig Entfall der Montage
- Mehrwerte am Bauteil oder Folgeprozessen schaffen
- Hohes Potenzial Leichtbau

# AUFBAU DER VORLESUNG

1. Unterteilung der additiven Fertigungsverfahren
  1. Rapid Prototyping
  2. Rapid Tooling
  3. Rapid Manufacturing
  
2. Unterteilung nach Prozessketten
  1. Direkte Prozesse
  2. Direkte (mehrstufige) Prozesse
  3. Indirekte Prozesse
  
3. Einteilung / Klassifizierung
  1. Einteilung nach VDI 3405
  2. Einteilung nach physikalischen Verfahren
  3. Einteilung nach Materialzustand

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# DIREKTE PROZESSKETTE

Einsatzfähige Teile entstehen im gewünschten Werkstoff in einem einstufigen Prozess, wobei ggfs. Supportentfernung und Reinigung erforderlich sein kann. Diese Prozesse bieten damit je nach Technologie und Werkstoffverfügbarkeit in der Regel die größten Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren hinsichtlich:

- Funktionsintegration
- Kosten
- Zeit



### Applikationsbeispiel

- Im-Ohr-Hörgerät  
Direkte Herstellung via Digital Light Processing



## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# DIREKTE PROZESSKETTE - BEISPIELE

Anwendungsbeispiel	Bauteilart	Additiver Fertigungsprozess	Finishen	spezifische Merkmale des Bauteils	Bestimmungsgemäßes Teil	Optional: Nachbehandlung
Im-Ohr Hörgerät aus Acrylat	Produkt (Serienteil)	Stereolithographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Entfernung der Stützstruktur</li> <li>Automatischer Waschprozess</li> <li>Nachhärtung erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biokompatibilität</li> <li>Hohe Genauigkeit und Oberflächengüte</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Strahlen</li> <li>Tauchlack</li> </ul>
Zahnrestauration aus CoCr	Produkt (Serienteil)	Selektives Strahlschmelzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Entfernung der Stützstruktur durch Fräsen</li> <li>Manuelle Reinigung durch Partikelstrahlen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Genauigkeit</li> <li>Gute Werkstoffeigenschaften</li> <li>Biokompatibilität</li> <li>Dauerbelastbarkeit</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Verblendung mit Keramik</li> </ul>
Kabelstecker KFZ- Bereich aus PA12	Funktions-Prototyp	Selektives Lasersintern	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Reinigung durch Partikelstrahlen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dauerbelastbarkeit</li> </ul>		

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# DIREKTE (MEHRSTUFIGE) PROZESSKETTE

Einsatzfähige Teile entstehen in mehreren Schritten, bei denen sich typischerweise an die additive Fertigung ein oder mehrere Folgeprozesse anschließen (z.B. chemische oder thermische Umwandlungen, Infiltration).

Sinnvoll, wenn eigentliche Geometrieerstellung schnell und/oder kostengünstig erfolgen soll und zusammen mit dem Aufwand der nachfolgenden Schritte immer noch Vorteile gegenüber alternativen Fertigungsverfahren bleiben.

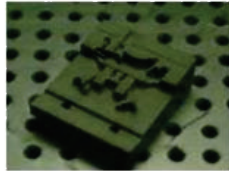


4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# DIREKTE (MEHRSTUFIGE) PROZESSKETTE - BEISPIELE

## Rohrleitungen

Herstellung eines Grünlings, der anschließend infiltriert wird.



Herstellung des Grünlings in der Sintermaschine



Einbetten des Grünlings und Bronze-Infiltrats in Aluminiumpulver



Entbinden und Bronzeinfiltrieren im Ofenprozess



Oberflächenbehandlung je nach Anwendung

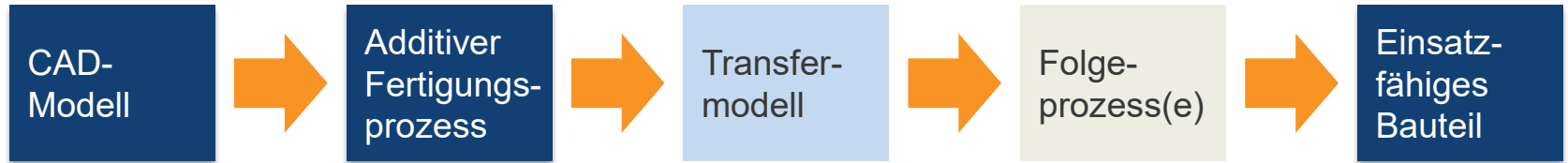
[[www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)]

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# INDIREKTE PROZESSKETTE

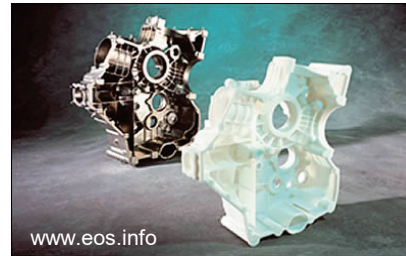
Die additiv hergestellten Teile entsprechen nicht den einsatzfähigen Teilen, sondern ersetzen Einrichtungen, Modelle oder Werkzeuge für nachfolgende Fertigungsverfahren wie Erodieren, Umformen oder Gießen.

- Zeit- und Kostenvorteile, wenn durch den Einsatz solcher Teile Modelleinrichtungen oder Werkzeuge eingespart werden können



### Applikationsbeispiel

- Getriebegehäuse  
Feinguss mit verlorenem RP-Modell aus amorphem Kunststoff



# AUFBAU DER VORLESUNG

1. Unterteilung der additiven Fertigungsverfahren
  1. Rapid Prototyping
  2. Rapid Tooling
  3. Rapid Manufacturing
  
2. Unterteilung nach Prozessketten
  1. Direkte Prozesse
  2. Direkte (mehrstufige) Prozesse
  3. Indirekte Prozesse
  
3. Einteilung / Klassifizierung
  1. Einteilung nach VDI 3405
  2. Einteilung nach physikalischen Verfahren
  3. Einteilung nach Materialzustand

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# EINTEILUNG NACH VDI 3405

Verfahren	Werkstoff				
	Papier	Kunststoff	Formsand	Metall	Keramik
Stereolithografie (SLA)					
Laser Sintern (SLS)					
Laser-Strahlschmelzen (SLM)					
Elektronen-Strahlschmelzen (EBM)					
Fused Filament Fabrication (FFF / FDM)					
Multi-Jet Modeling (MJM) / Poly-Jet-Modeling (PJM)					
3-D Drucken / binder jetting					
Layer Laminated Manufacturing (LLM)					
Digital Light Processing (DLP)					
Thermotransfer-Sintern					

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# EIGNUNG IN ABH. VON PRODUKTANFORDERUNGEN

Nach VDI 3405

Additives Fertigungsverfahren	Anforderungskriterien						
	Gestalterisch	Geometrisch	Verarbeitungs- technisch	Mechanisch	Thermisch	Elektrisch	Chemisch
Stereolithografie	+	+	o	o	o	o	o
Laser Sintern	o	+	+	+	+	+	+
Laser-Strahlschmelzen	o	+	+	+	+	+	+
Elektronen-Strahlschmelzen	o	+	+	+	+	+	+
Fused Filament Fabrication	o	o	+	+	+	+	+
Multi-/Poly-Jet Modeling	+	+	+	o	o	-	-
3-D Drucken / binder jetting	+	o	o	-	-	-	-
Layer Laminated Manufacturing	o	+	o	o	o	-	-
Digital Light Processing	+	+	o	o	o	-	-

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# EINTEILUNG NACH PHYSIKALISCHEN VERFAHREN

### 1. Generieren aus der flüssigen Phase

- Verfestigung, vorzugsweise durch Polymerisation flüssiger oder teigiger Materialien (laser- oder lampengestützte Stereolithographie, Polymerdrucken)

### 2. Generieren aus der festen Phase

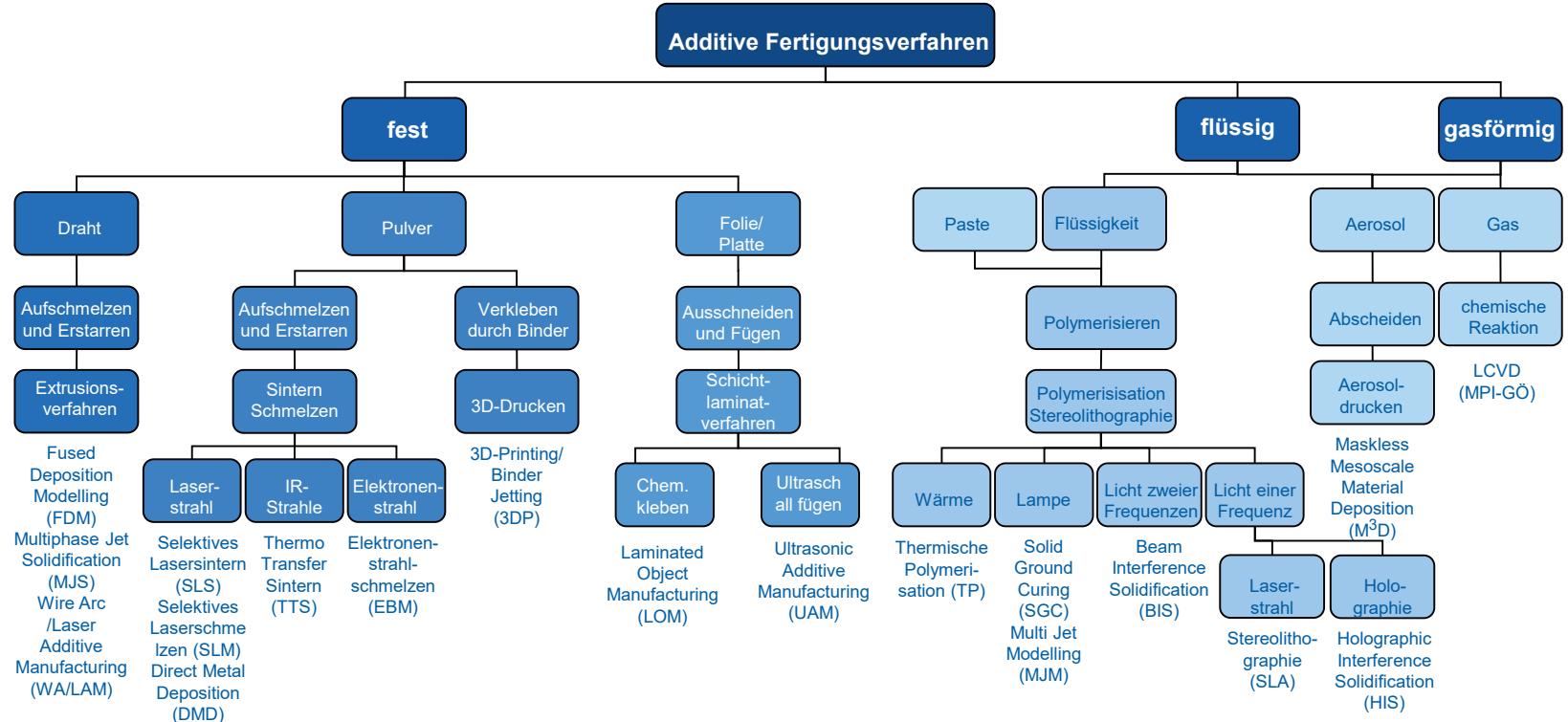
- An- oder Aufschmelzen und Verfestigen von Pulvern, Pulvermischungen oder Granulaten (Sinter- und Schmelzverfahren)
- Ausschneiden oder Ausfräsen aus Folie, Bändern oder Platten (Schicht-Laminat-Verfahren)
- An- oder Aufschmelzen und Verfestigen von festen Materialien (Extrusionsverfahren)
- Verkleben von Granulaten oder Pulvern durch Binder (3D-Printing)

### 3. Generieren aus der Gasphase

- Physikalisches Abscheiden aus Aerosolen
- Chemisches Abscheiden aus der Gasphase

## 4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

# EINTEILUNG NACH MATERIALZUSTAND (AUSZUG)





Additive Fertigung

# Additive Fertigung 20 – 04 – Klassifizierung

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

