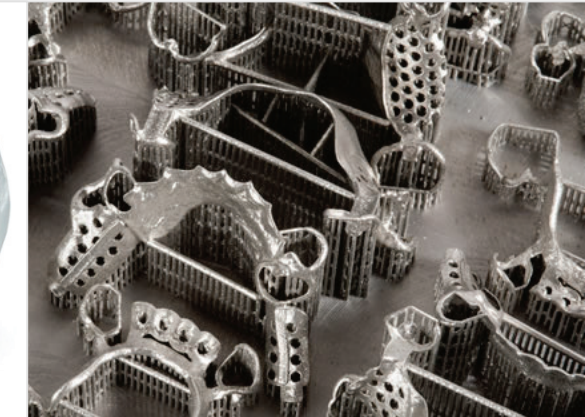
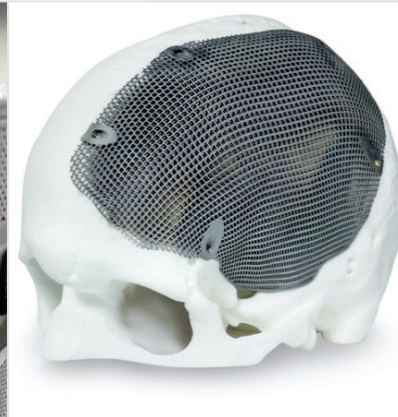
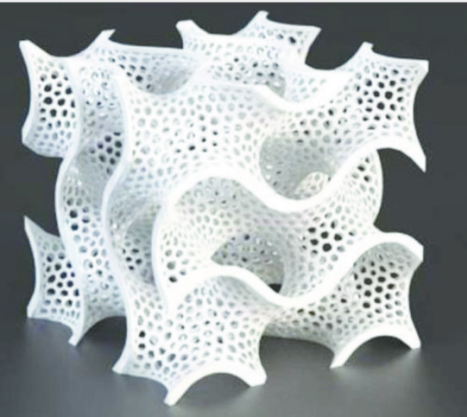


ADDITIVE FERTIGUNG – KLASSIFIZIERUNG



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

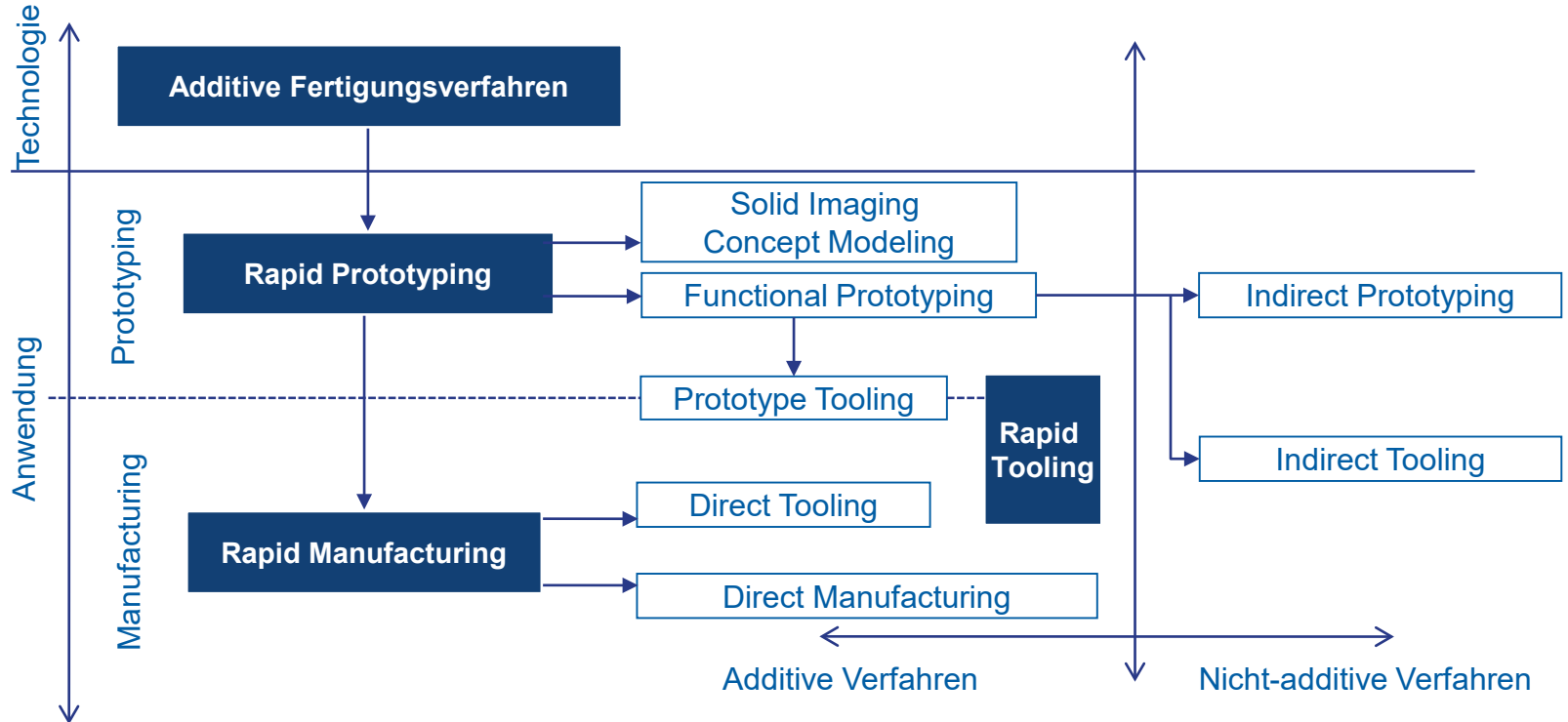
AUFBAU DER VORLESUNG

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

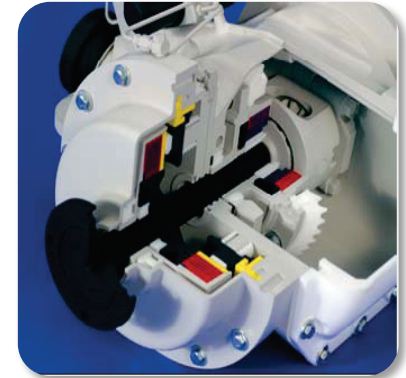


RAPID PROTOTYPING

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

Kupplungsprototyp



Architekturmodell

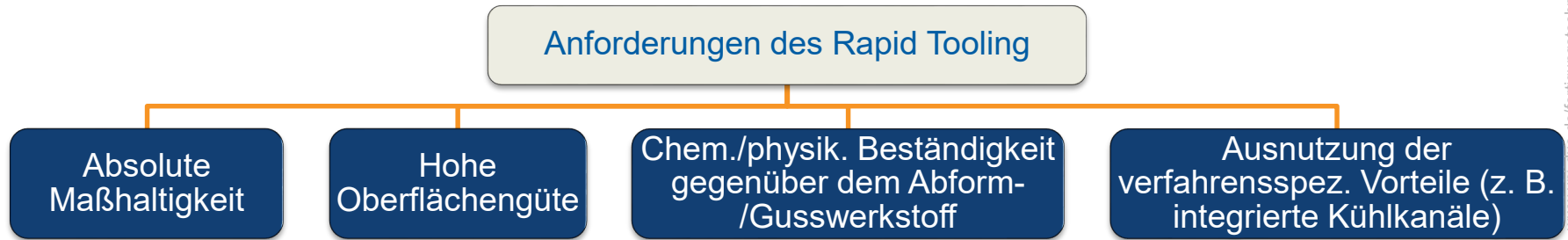


4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

RAPID TOOLING

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

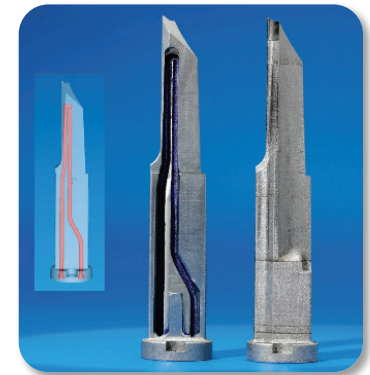
Rapid Manufacturing bezeichnet die wirtschaftliche Herstellung von **Endprodukten** mittels additiven Fertigungsverfahren. Darunter fallen sowohl Positive als Einzelstücke oder in Kleinserien als auch Negative wie z. B. Gussformen oder Werkzeugeinsätze.

- 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

Titanimplantat



Konturnah gekühltes Bauteil



RAPID MANUFACTURING (RM)

Vorteile des Rapid Manufacturing

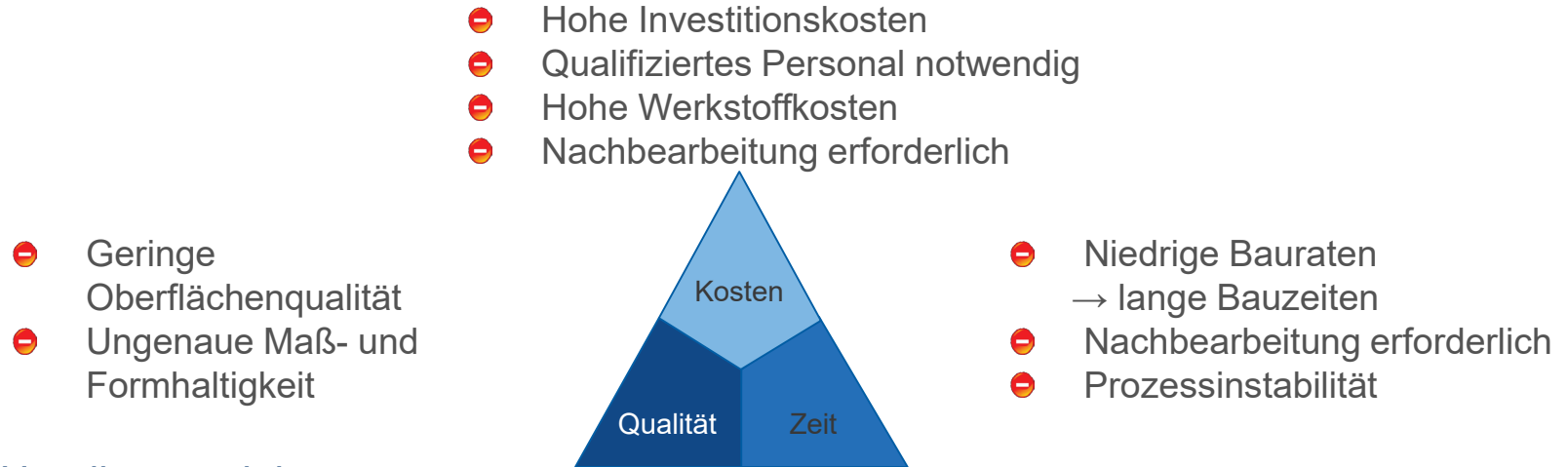
- + Neue Geometriefreiheitsgrade
 - Hinterschnitte
 - Funktionsintegration
 - neue Designmöglichkeiten
- + Fertigung individueller Bauteile (Mass-Customization)
- + Ersatzteilproduktion „on demand“
- + Parallelproduktion unterschiedlicher Bauteile
- + Konstanter Rüstaufwand
- + Geringe Instandhaltungskosten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

4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

RAPID MANUFACTURING (RM)

Nachteile des Rapid Manufacturing

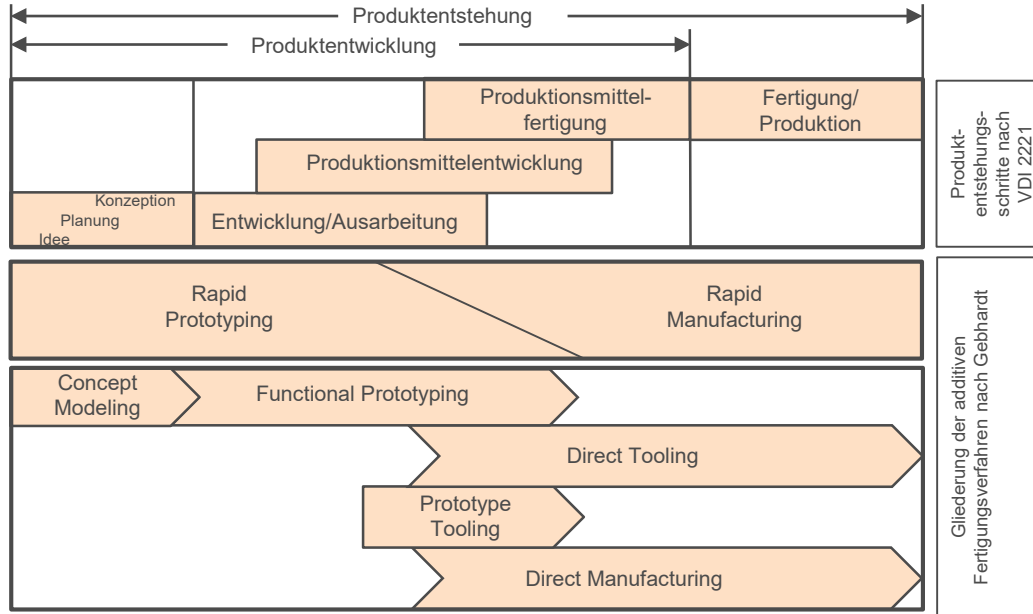
(Bei „reiner“ Substitution konventioneller Fertigungsverfahren)



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>Anwendung: 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>Anwendung: 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>Anwendung: 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>Anwendung: Überprüfen des Bauteils in Versuch und Vorserie</p>
	Produkt / Bauteil	<p>Bestimmungsgemäß eingesetztes Bauteil oder marktfähiges Produkt .</p> <p>Anwendung: Kleinserie, Rapid Manufacturing, individuelle Produkte</p>

4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

RP

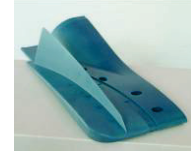
Funktionsprototyp (*Lasersintern*)

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.)	+++	++	+	++	+++

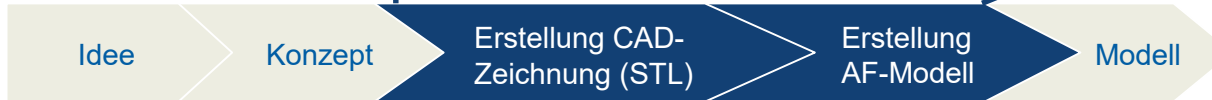
4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

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

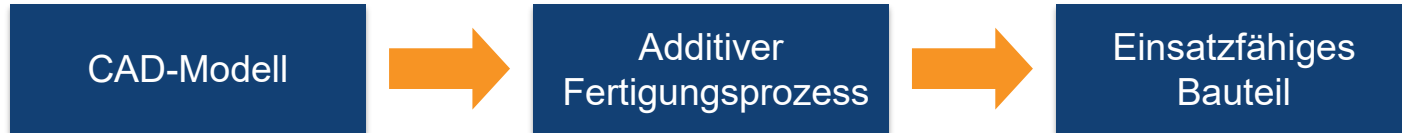
3. Einteilung / Klassifizierung
 1. Einteilung nach VDI 3405
 2. Einteilung nach physikalischen Verfahren
 3. Einteilung nach Materialzustand

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"> Manuelle Entfernung der Stützstruktur Automatischer Waschprozess Nachhärtung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> Biokompatibilität Hohe Genauigkeit und Oberflächengüte 		<ul style="list-style-type: none"> Strahlen Tauchlack
Zahnrestauration aus CoCr	Produkt (Serienteil)	Selektives Strahlschmelzen	<ul style="list-style-type: none"> Manuelle Entfernung der Stützstruktur durch Fräsen Manuelle Reinigung durch Partikelstrahlen 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Genauigkeit Gute Werkstoffeigenschaften Biokompatibilität Dauerbelastbarkeit 		<ul style="list-style-type: none"> Verblendung mit Keramik
Kabelstecker KFZ- Bereich aus PA12	Funktions-Prototyp	Selektives Lasersintern	<ul style="list-style-type: none"> Manuelle Reinigung durch Partikelstrahlen 	<ul style="list-style-type: none"> Dauerbelastbarkeit 		

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.

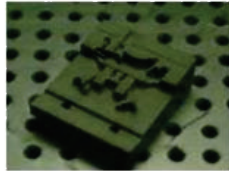


4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

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

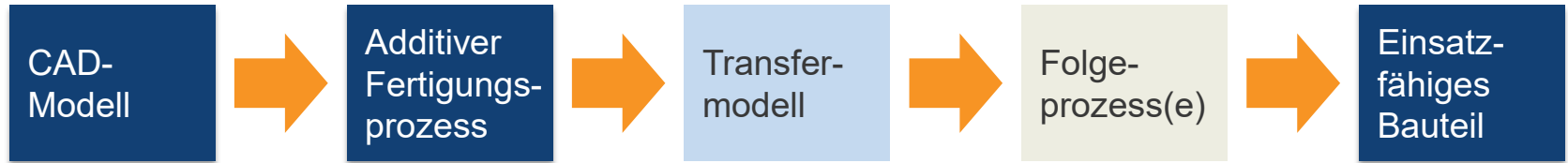
[www.3dsystems.com]

4 Klassifizierung und Verfahrensablauf

INDIREKTE PROZESSKETTE

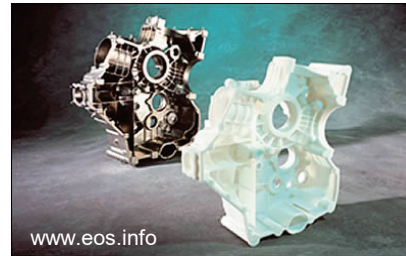
Die additiv hergestellten Teile entsprechen nicht den einsatzfähigen Teilen, sondern ersetzen Einrichtungen, Modelle oder Werkzeuge für nachfolgende Fertigungsverfahren wie Erodieren, Umformen oder Gießen.

- 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 (LBM / SLM)					
Elektronen-Strahlschmelzen (EBM)					
Fused Filament Fabrication (FFF / FDM / MEX)					
Multi-Jet Modeling (MJM) / Poly-Jet-Modeling (PJM)					
3-D Drucken / binder jetting (3DP / BJ)					
Layer Laminated Manufacturing (LLM / LOM / USM)					
Digital Light Processing (DLP)					
Thermotransfer-Sintern					

Quellen: Universität Duisburg / Essen

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

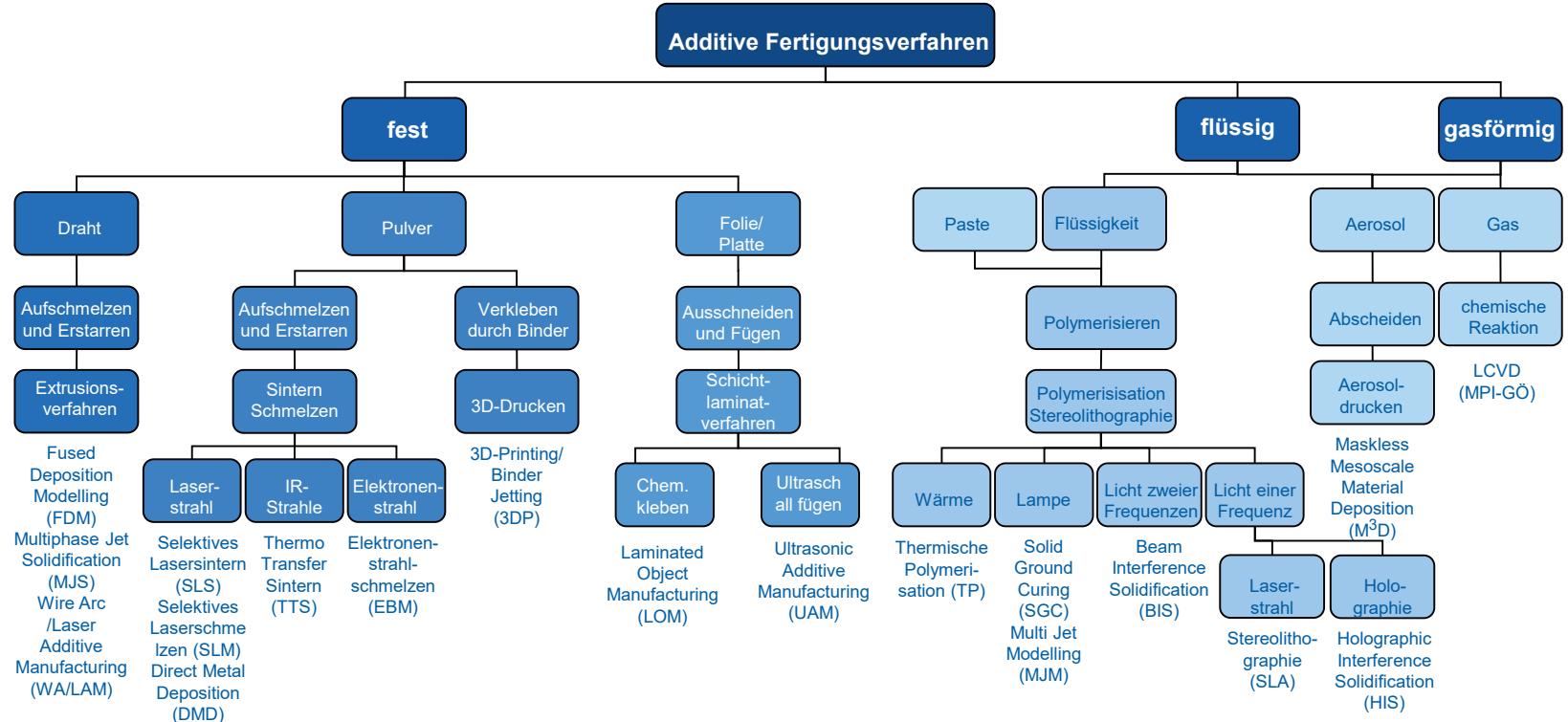
- An- oder Aufschmelzen und Verfestigen von Pulvern, Pulvermischungen oder Granulaten (Sinter- und Schmelzverfahren)
- Ausschneiden oder Ausfräsen aus Folie, Bändern oder Platten (Schicht-Laminat-Verfahren)
- An- oder Aufschmelzen und Verfestigen von festen Materialien (Extrusionsverfahren)
- Verkleben 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 21 – 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

