



**Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Horst Wildemann**

Forschungsinstitut -

Unternehmensführung, Logistik und Produktion

Leopoldstr. 145

80804 München

Telefon 089 / 289 240 00

Fax 089 / 289 240 11

**Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten**

Institut für Logistik und Unternehmensführung der

Technischen Universität Hamburg (TUHH)

Am Schwarzenberg-Campus 4

21073 Hamburg

Telefon 040 42878-3525

E-Mail [logu@tuhh.de](mailto:logu@tuhh.de)

## Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

München, 2021

**1**

**Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**

**2**

**Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**

**3**

**Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**

**4**

**Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**

**5**

**Industrialisierungsansätze im Bauprozess**

**6**

**Industrialisierungsansätze im Post-Processing**

**7**

**Literaturverzeichnis**

- 1 Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**
- 2 Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**
- 3 Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**
- 4 Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**
- 5 Industrialisierungsansätze im Bauprozess**
- 6 Industrialisierungsansätze im Post-Processing**
- 7 Literaturverzeichnis**

## Professor



Univ.-Prof. Dr.  
Dr. h. c.  
Wolfgang Kersten  
*Institutsleiter*

## Oberingenieurin



Dr. habil.  
Meike  
Schröder

## stellv. Oberingenieurin



Dr. Birgit  
von See

## Wissenschaftliche Mitarbeiter



Martin  
Brylowski,  
M.Sc.



Florian  
Dörries,  
M.Sc.



Beverly  
Grafe,  
M.Sc.



Hannah-  
Deborah  
Harbich,  
M.Sc.



Sebastian  
Lodemann,  
M.Sc.



Ayman  
Nagi,  
M.Sc. MBA



Sven  
Reimers,  
M.Sc.



Johannes  
Schnelle,  
M.Sc.

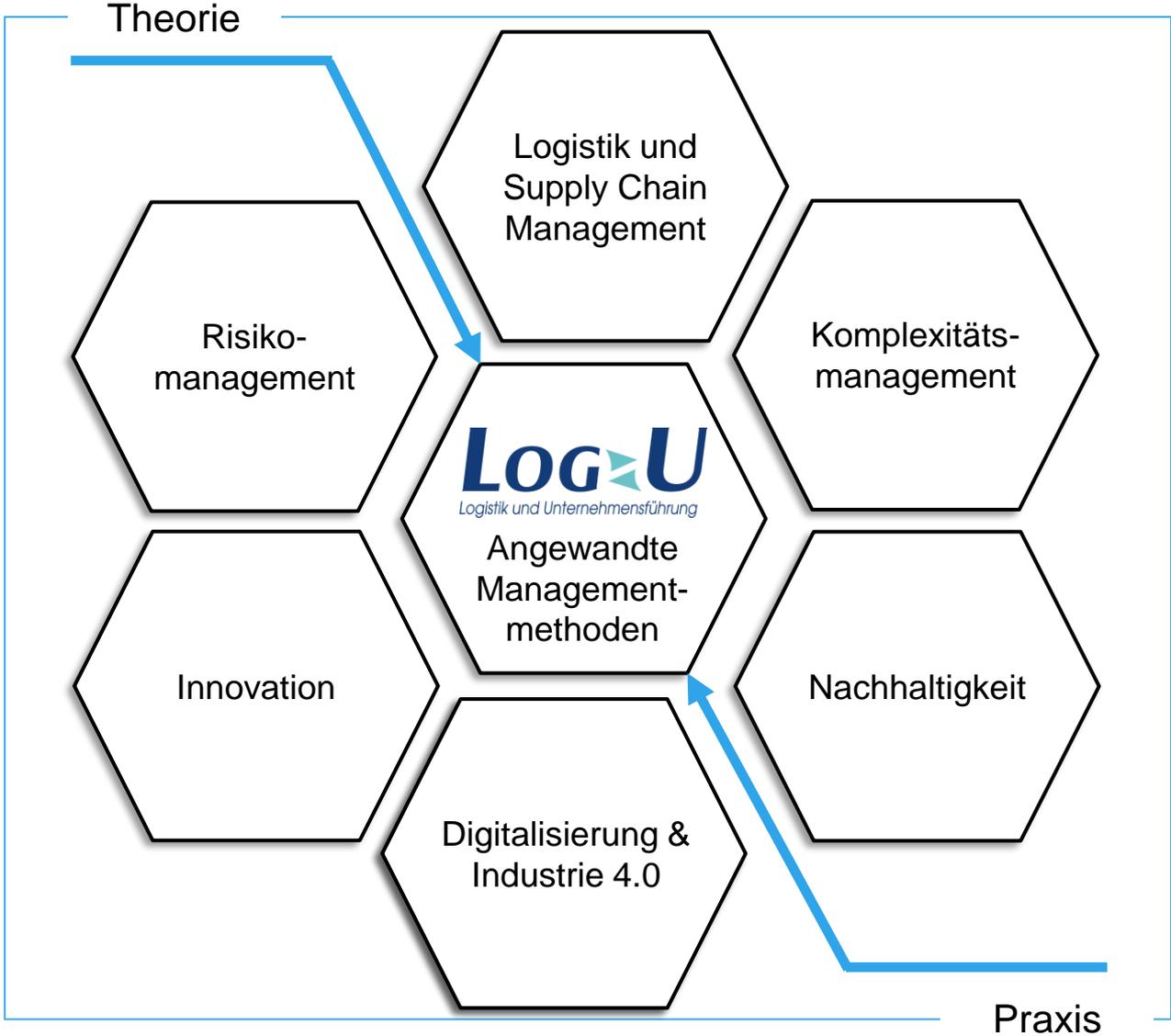


Henning  
Schöpfer,  
M.Sc.



Haowei  
Wang,  
M.Sc.

# Forschungsschwerpunkte des LogU



## DIGITALISIERUNG & INDUSTRIE 4.0

- **Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hamburg** – Projekt des BMWi zur Unterstützung des Mittelstands und Handwerks bei der digitalen Transformation
- **KI-Trainer** – Unterstützung von KMU bei der Optimierung ihrer Lieferketten mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI)



## TECHNOLOGIE- UND PROZESSINNOVATION IN DER LOGISTIK

- **IndAM** – Industrialisierung der additiven Fertigung von Endbauteilen aus Metall in KMU der produzierenden Industrie
- **ChainLog** – AiF-Projekt zur Identifikation und Bewertung von Einsatzpotentialen für Blockchains in Logistik und SCM
- **RiskBlock** – BMBF-Projekt zur Risikominimierung in temperaturgeführten Lieferketten durch Blockchain-Technologie
- **Blockchain für die Kreislaufwirtschaft** – AiF-Projekt zur Konzeption und Evaluation Blockchain-basierter digitaler Zwillinge für Supply Chains der Kreislaufwirtschaft



## NACHHALTIGKEIT

- **digit-S3CA** – AiF-Projekt zur Entwicklung eines Konzepts für den Einsatz von digitalen Technologien im Scope 3 Carbon Accounting



1

**Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**

2

**Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**

3

**Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**

4

**Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**

5

**Industrialisierungsansätze im Bauprozess**

6

**Industrialisierungsansätze im Post-Processing**

7

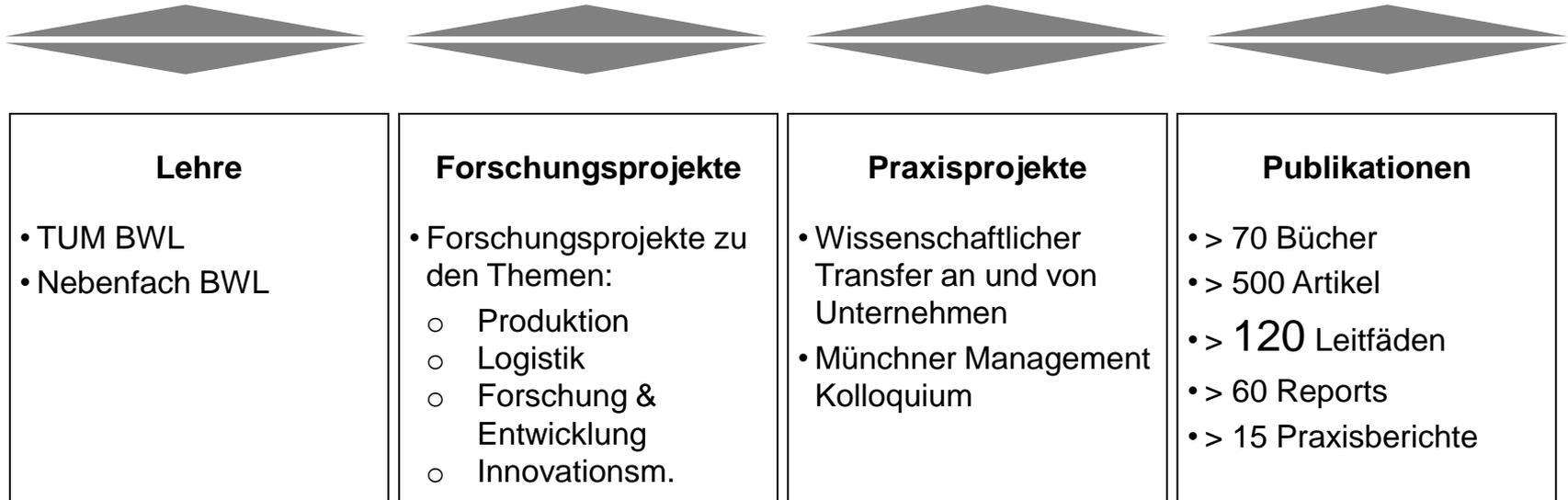
**Literaturverzeichnis**



TU München

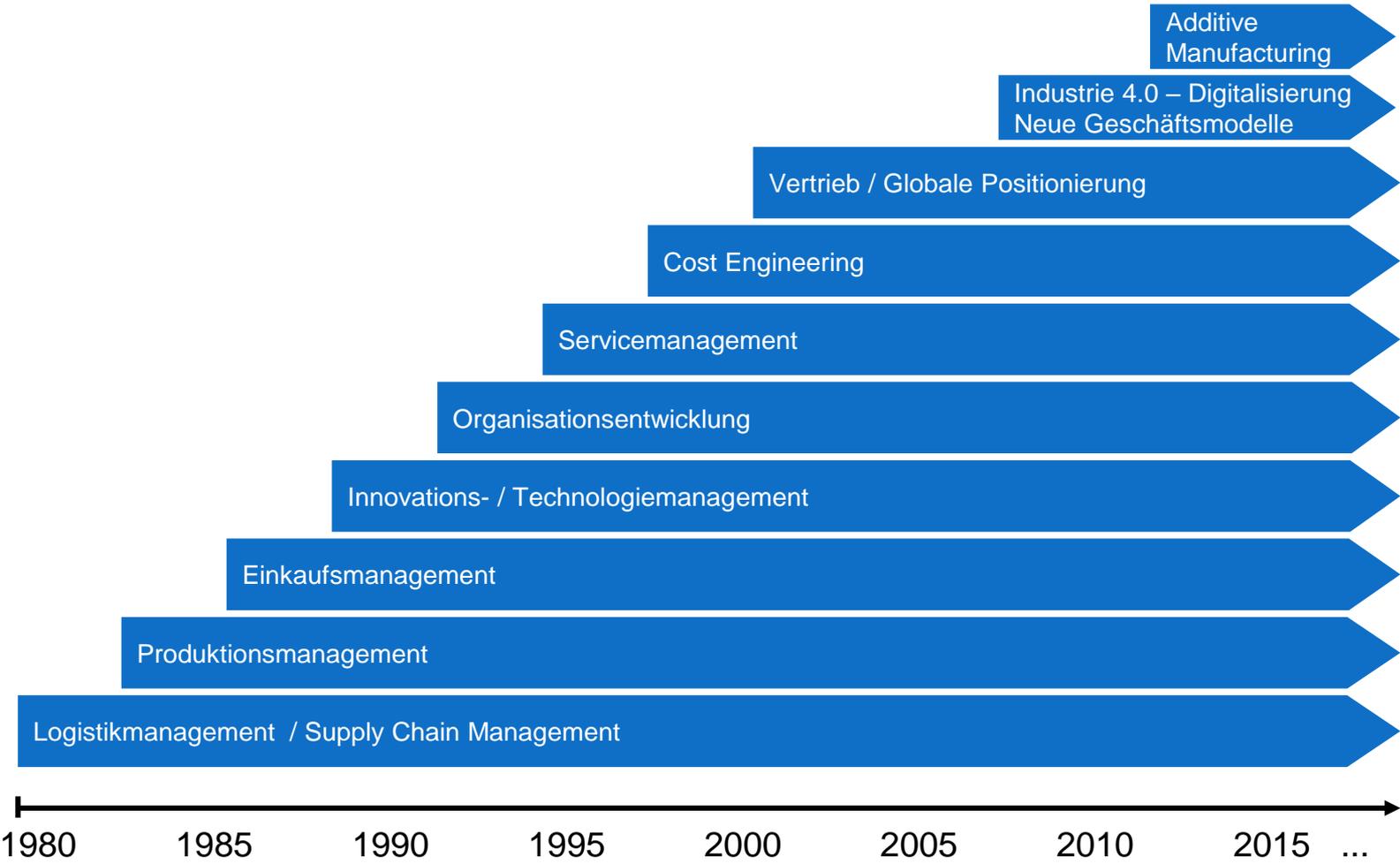
**Forschungsinstitut für Unternehmensführung, Logistik und Produktion**

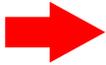
Leitung: Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Horst Wildemann



 ... zielt neben der Lehre auf einen Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Praxis.

# Ausgehend vom Logistikmanagement ...



 ... wurde das Themenspektrum des Forschungsinstituts systematisch ausgebaut.



Horst Wildemann  
Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult.  
Forschungsinstitut - Unternehmensführung,  
Logistik und Produktion  
Technische Universität München



Michael Schöppe  
M.Sc.  
Technische Universität München

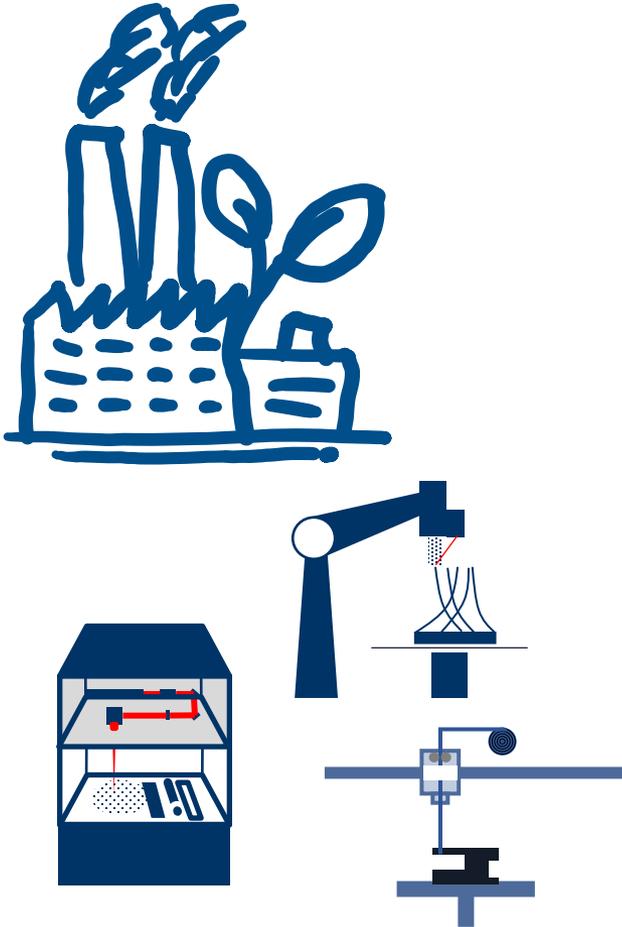


Paul Menold  
M.Sc.  
Technische Universität München



 ... Betriebswirtschaftslehre – Unternehmensführung, Logistik und Produktion.

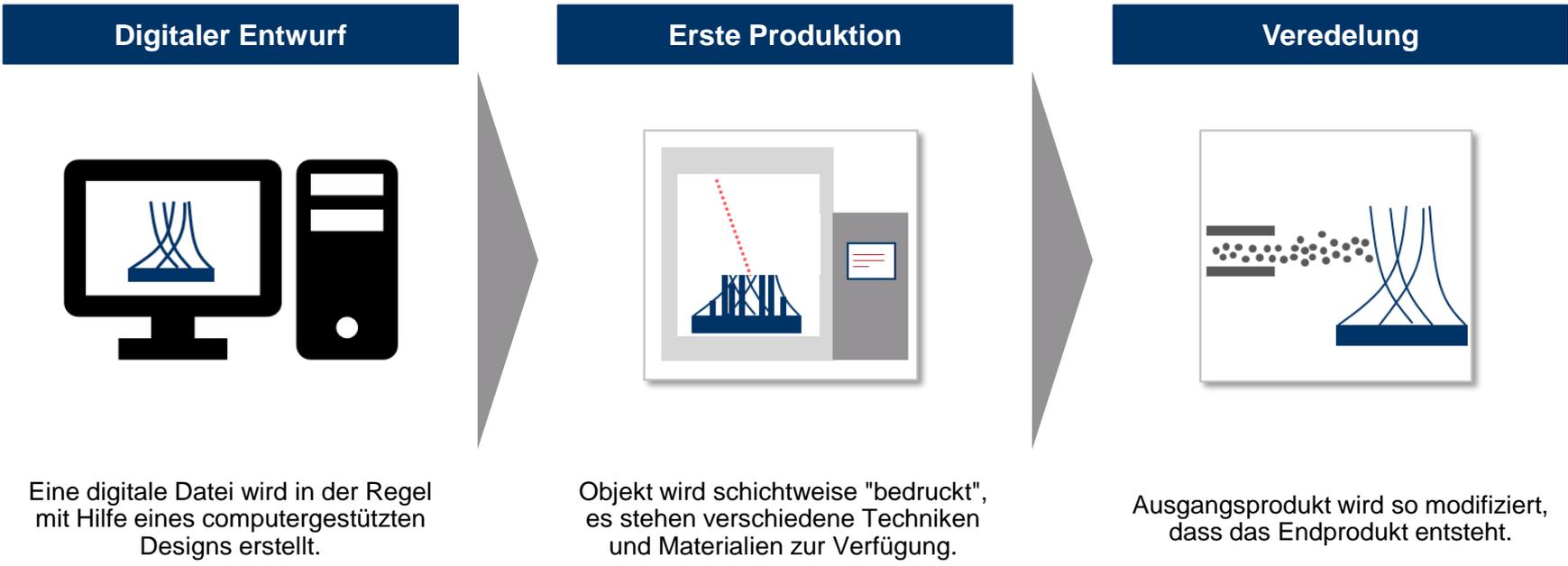
- 1 Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**
- 2 Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**
- 3 Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**
- 4 Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**
- 5 Industrialisierungsansätze im Bauprozess**
- 6 Industrialisierungsansätze im Post-Processing**
- 7 Literaturverzeichnis**



Die Industrialisierung der additiven Fertigung bezeichnet die **Automatisierung**, **Standardisierung** und **Modularisierung** aller additiven Fertigungsprozesse einschließlich der Vor- und Nachbereitungsprozesse sowie der Versorgungsprozesse, mit dem Ziel, eine für **steigende Stückzahlen** ausgelegte, stabile additive Produktion zu ermöglichen. Hierdurch sollen **Produktivität** und **Störungsfreiheit** des additiven Herstellungsprozesses sichergestellt werden, sodass eine Integration in eine Werkstatt-, Gruppen- oder Fließfertigung möglich wird.

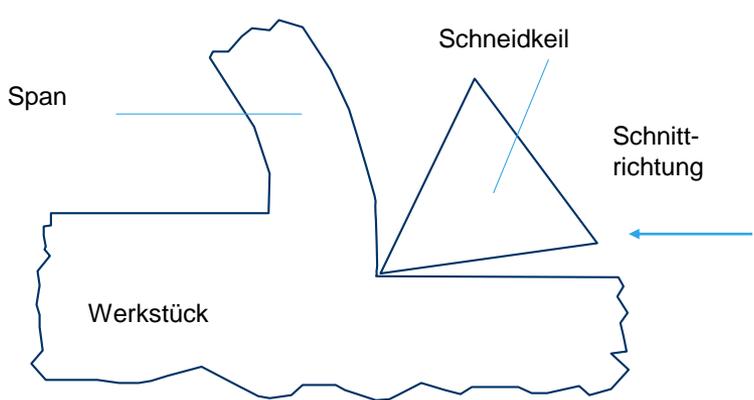
 ... bezeichnet die Erhöhung der Wiederholgenauigkeit der Ergebnisse.

# Die additive Fertigung ermöglicht ...



 ... eine Verkürzung der Wertschöpfungskette.

### Spannende Fertigung



Span

Schneidkeil

Schnitt-richtung

Werkstück

Spanen ist Trennen, bei dem von einem Werkstück mit Hilfe der Schneiden eines Werkzeuges, Werkstoffschichten in Form von Spänen zur Änderung der Werkstückform und/oder Werkstückoberfläche mechanisch abgetrennt werden.

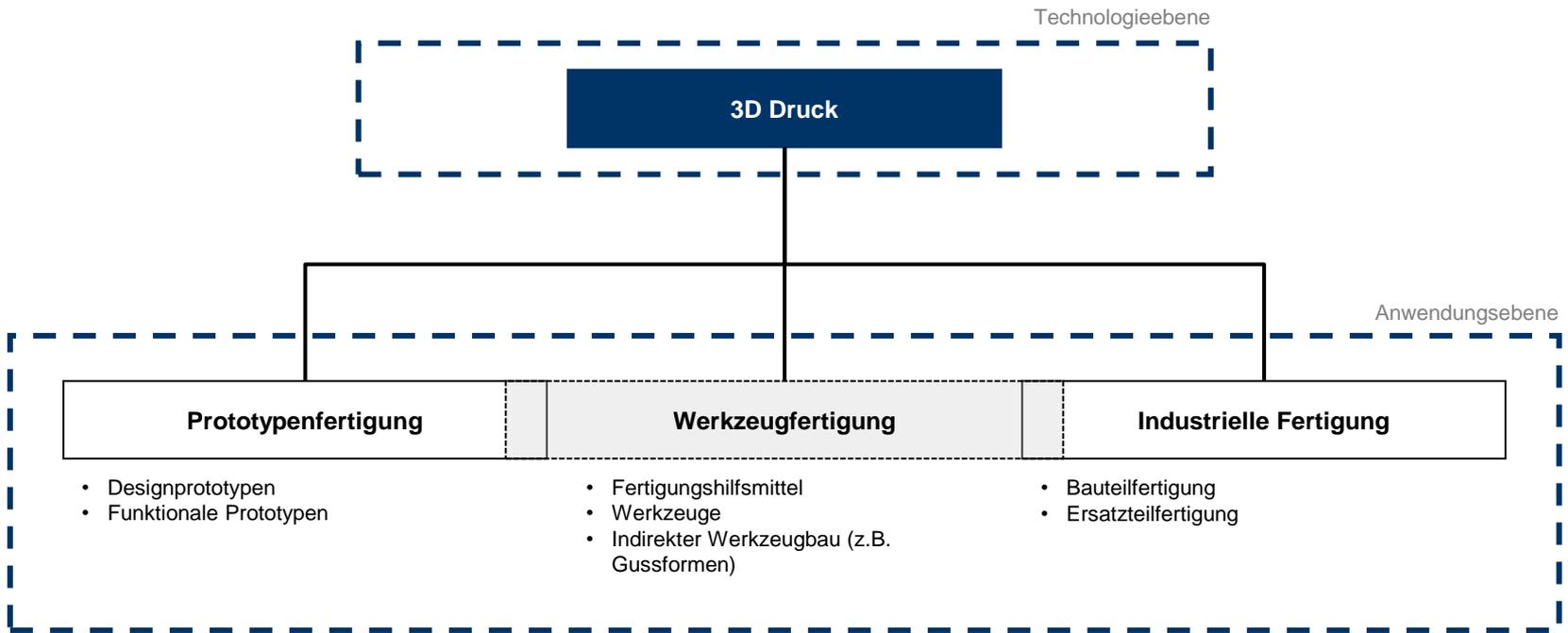
### Additive Fertigung



Bei additiven Fertigungsverfahren werden Bauteile auf CAD-Datenbasis schichtweise aus feinstem Pulver hergestellt. Die Herstellungsprozesse zeichnen sich durch eine sehr hohe Flexibilität und völlig neue Designfreiheiten aus. Bauteile werden in kürzester Zeit und mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften produziert.

 ... wird einem Bauteil schrittweise Material hinzugefügt.

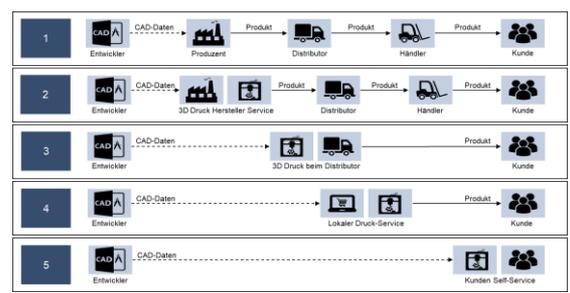
# Additive Fertigungsverfahren unterteilen sich ...



**➔** ... in die Prototypenfertigung, die Werkzeugfertigung und die industrielle, additive Fertigung.

# Vorteile der additiven Fertigung

## 1. Zeit



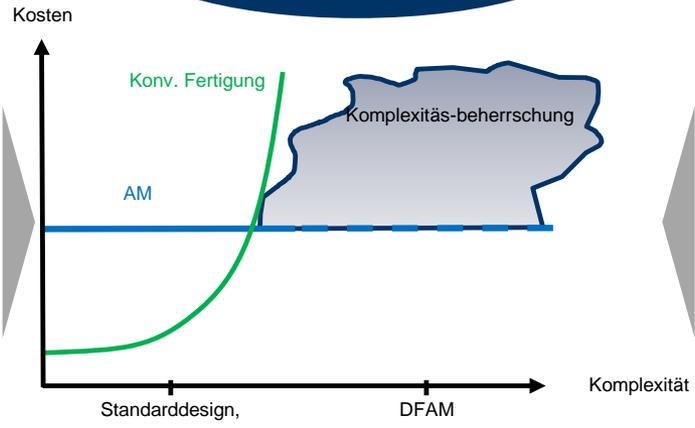
## 2. Ort



## 3. Teilegeometrie



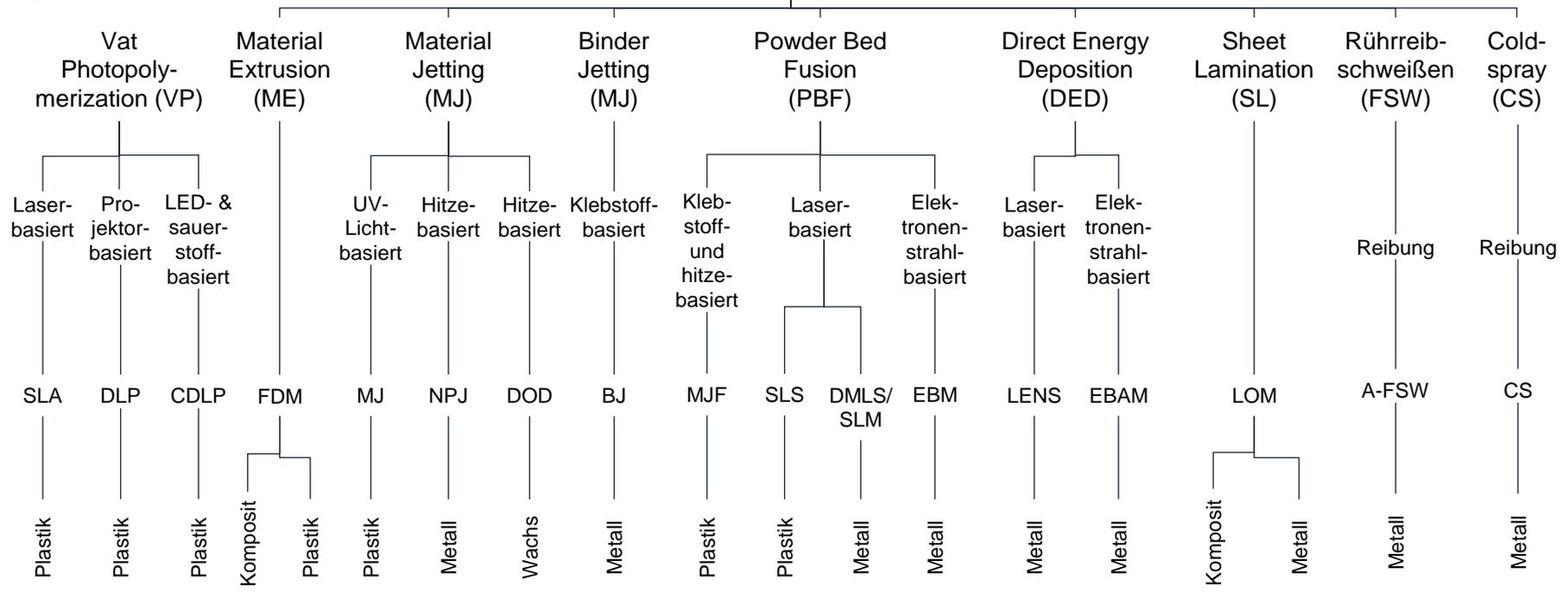
## 3D-Druck / Additive Fertigung



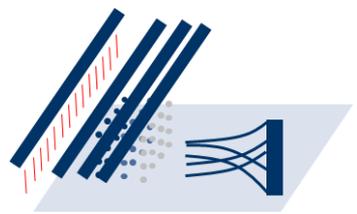
## 4. Produktcharakteristika



## Additive Fertigungsverfahren



**Prozessdarstellung Multi Jet Fusion (MJF)**



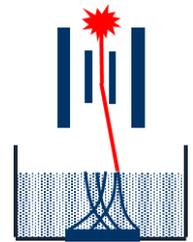
**Prozess**

- Kunststoffpulver wird mittels durch Druckköpfe aufgetragene Flüssigkeit verbunden
- Durch eine chemische Reaktion wird das Bauteil erzeugt
- Durch Applikation unterschiedlicher Flüssigkeiten können die Materialcharakteristika beeinflusst werden

**Abgrenzung**

- Kunststoffbauteile
- Mehrfarbige Bauteile
- Abkühlprozess nach Bauteilfertigstellung notwendig

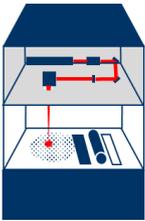
**Prozessdarstellung Electron Beam Melting (EBM)**



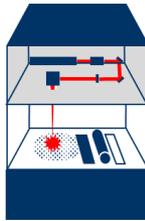
- Elektronenstrahl wird durch Strahlquelle erzeugt
- Umlenkung des Elektronenstrahls durch elektrische Potenzialfelder

- Hohe Energieintensität des Elektronenstrahls
- Hohe Genauigkeit des Strahls
- Hohe Verfahrensgeschwindigkeit, da Elektronenstrahl massenlos ist

**Prozessdarstellung**  
**Selective Laser Sintering (SLS)**



**Prozessdarstellung**  
**Direct Metal Laser Sintering (DMLS)**



**Prozess**

- Kunststoff- oder Metallpulver wird mittels eines Laserstrahls erhitzt
- Das Pulver wird lokal teilweise aufgeschmolzen und mit umliegenden Partikeln verbunden

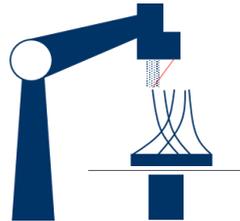
- Metallpulver wird mittels Laserstrahl erhitzt
- Das Pulver wird lokal vollständig aufgeschmolzen

**Abgrenzung**

- Bauteile sind Sinterbauteile mit Restporositäten
- Geringer Bedarf an Stützstrukturen bei Kunststoffbauteilen

- Gussähnliche Bauteile mit geringer Restporosität
- Anisotropien
- Stützstrukturen notwendig

## Prozessdarstellung Laser Generieren



### Prozess

- Aus einer Pulverdüse wird Pulvermaterial auf ein Bauteil oder ein Grundstück aufgetragen und mittels eines Lasers geschmolzen
- Das Bauteil wird schichtweise aufgebaut

### Abgrenzung

- Verwendung von Metallpulvern
- Möglichkeit der Mischung von unterschiedlichen Pulvern
- Keine Notwendigkeit zur Pulveraufbereitung

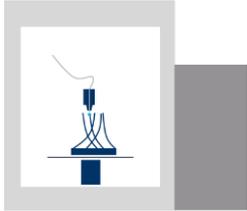
## Prozessdarstellung Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM®)



- Material wird in Form eines oder mehrerer Metalldrähte zugeführt
- Der Draht wird mittels Elektronenstrahl aufgeschmolzen und schichtweise aufgetragen

- Möglichkeit zur Materialmischung durch Verwendung mehrerer unterschiedlicher Drähte
- Prozess muss im Vakuum stattfinden

## Prozessdarstellung 3D-Metal-Print® (3DMP®)



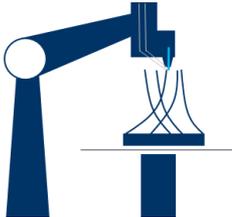
Prozess

- Draht wird entsprechend eines Standard-Lichtbogen-Schweißprozesses aufgeschmolzen
- Das Material wird schichtweise aufgetragen

Abgrenzung

- Etabliertes Verfahren
- Schweißen unter Schutzgasatmosphäre möglich
- Kühlung durch Schutzgas möglich

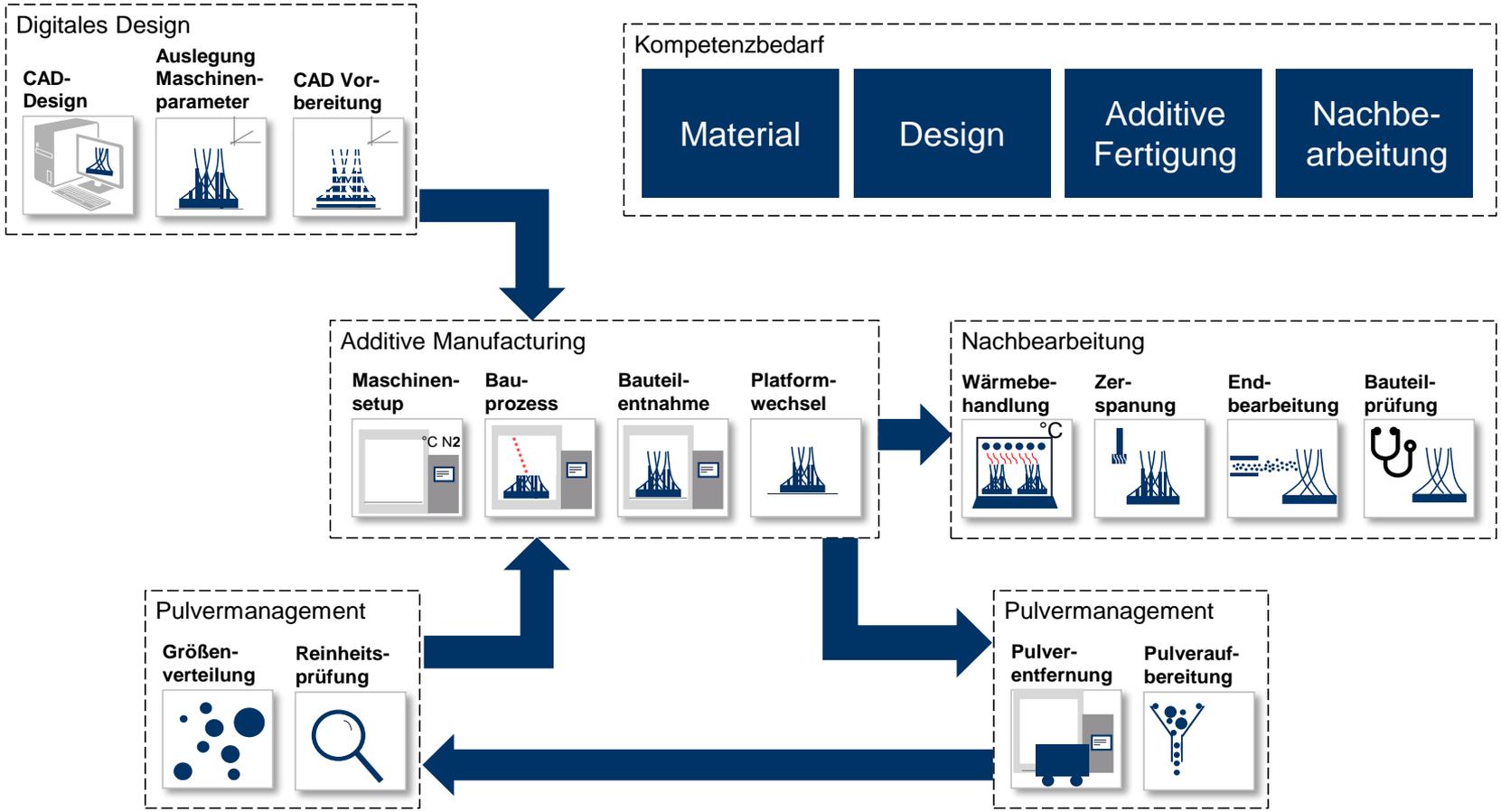
## Prozessdarstellung Rapid Plasma Deposition™ (RPD™)



- Draht wird mittels des etablierten Plasma-Lichtbogenschweißprozesses aufgeschmolzen
- Der Draht wird mittels Elektronenstrahl aufgeschmolzen und schichtweise aufgetragen

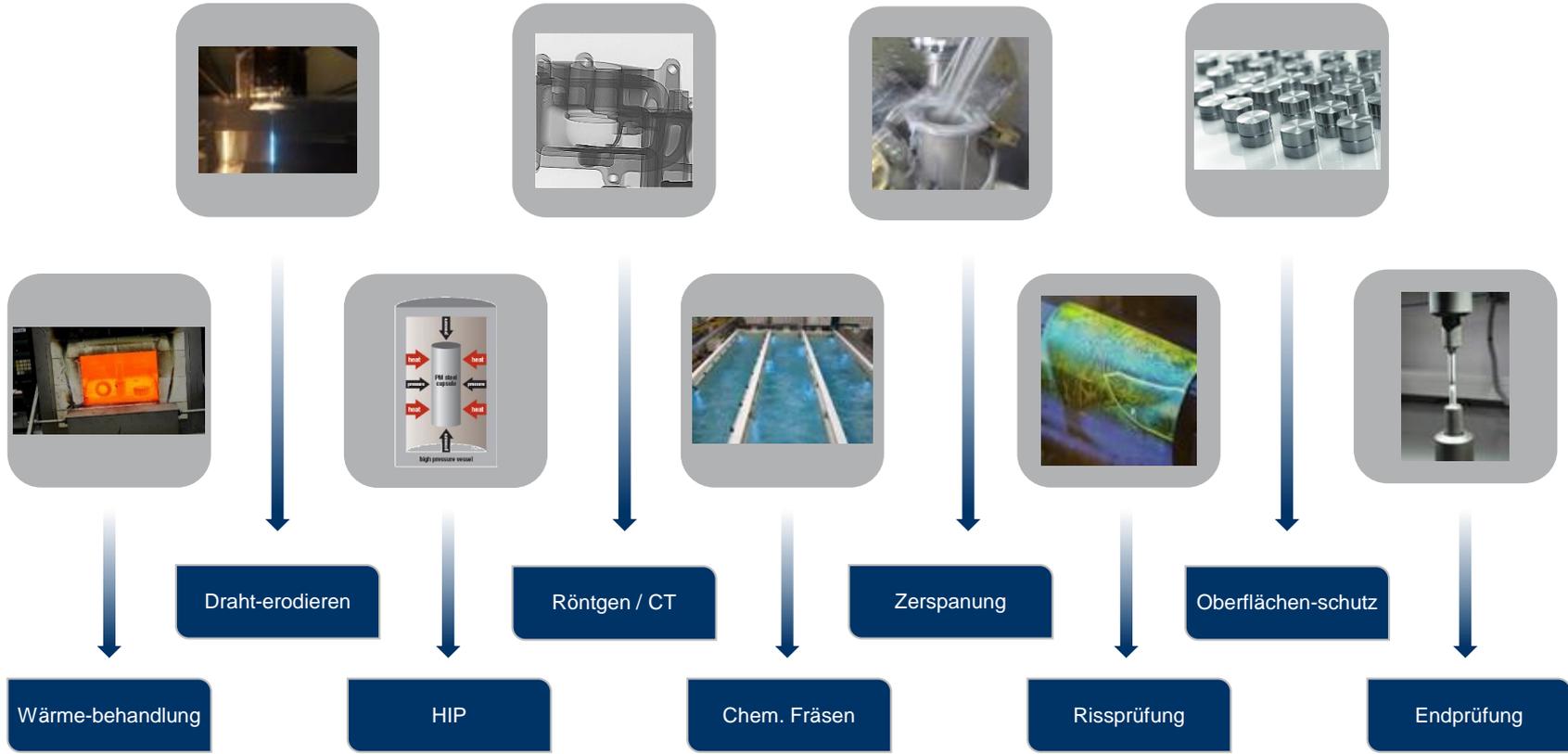
- Etabliertes Verfahren
- Schweißen unter Schutzgasatmosphäre möglich
- Kühlung durch Schutzgas möglich

# Die Industrialisierung der additiven Fertigung ...



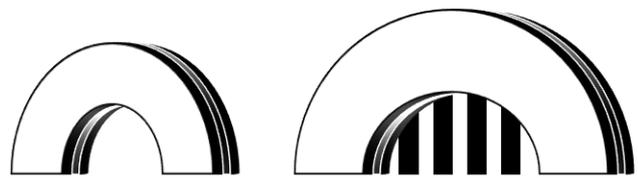
**➔** ... erfordert die ganzheitliche Berücksichtigung der Prozesskette

# Die Nachbereitungsverfahren zeigen ...



**➔** ... die Herausforderung der übergreifenden Industrialisierung der Prozesskette

**Bauteilabstützung**

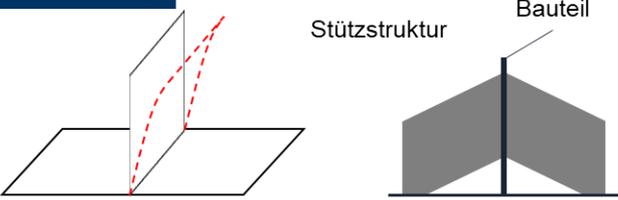


Kleiner Durchmesser ohne Stützstrukturen möglich

Großer Durchmesser benötigt Stützstrukturen

➔ Vermeidung von Absacken

**Wärmeverzug**



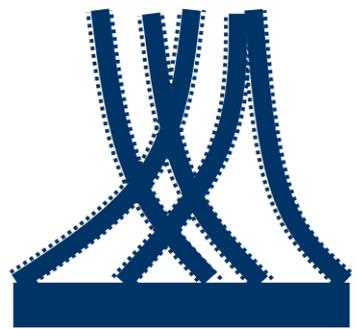
Verzugsgefahr ohne Stützstrukturen

Formsicherung durch Stützstrukturen

➔ Bauteilverzug

**Anforderung an verfahrensspezifisches Auslegungs-Know-How**

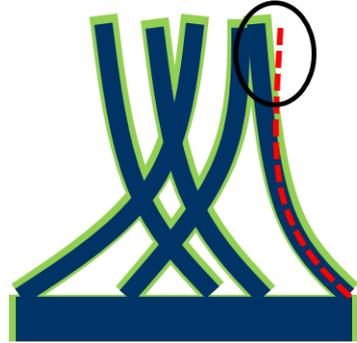
➔ Stützstrukturen



Additiv gefertigte Bauteile weisen teils hohe Oberflächenrauigkeiten auf



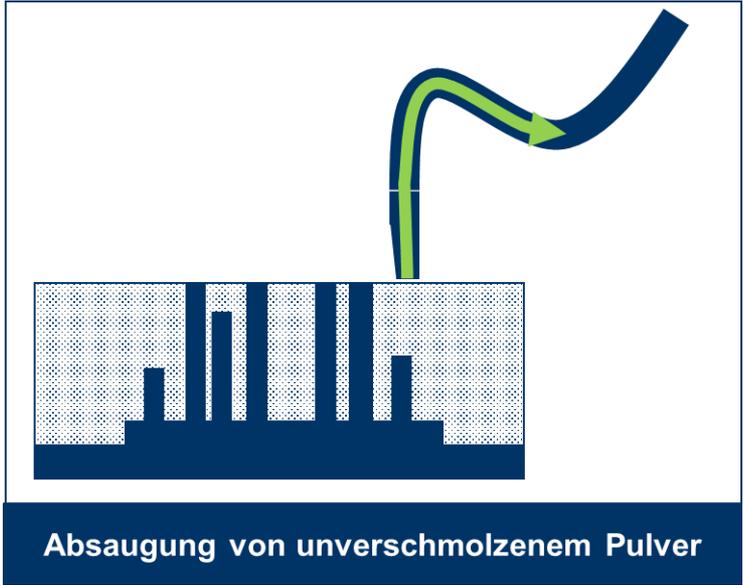
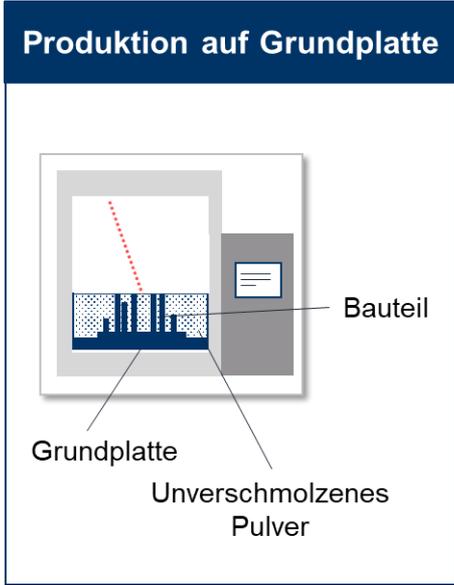
Bei Abkühlung kann das Bauteil unter die vorgegebenen Maße schrumpfen



Übermaße müssen ausreichen, um Bauteilverzug auszugleichen

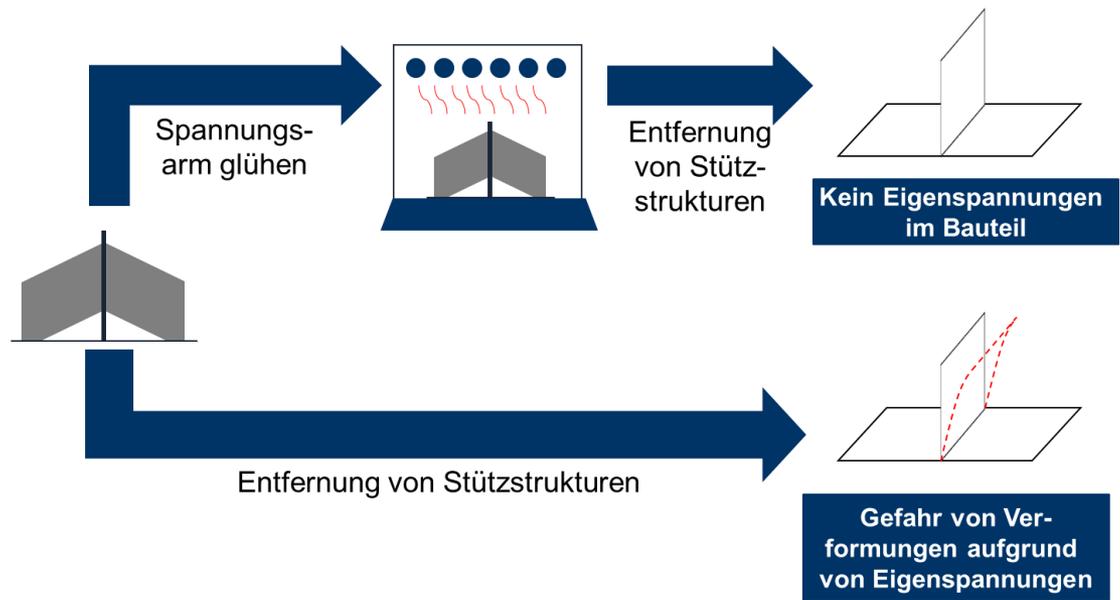
 Übermaße

# Herausforderungen im Post-process:



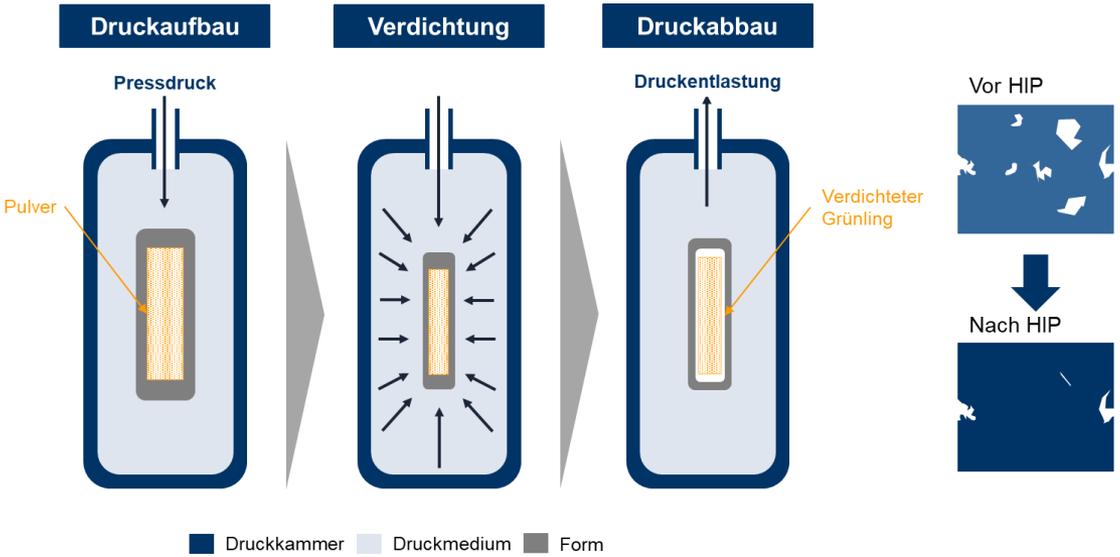
 Entfernung von Pulver

# Herausforderungen im Post-process:



 Wärmebehandlung

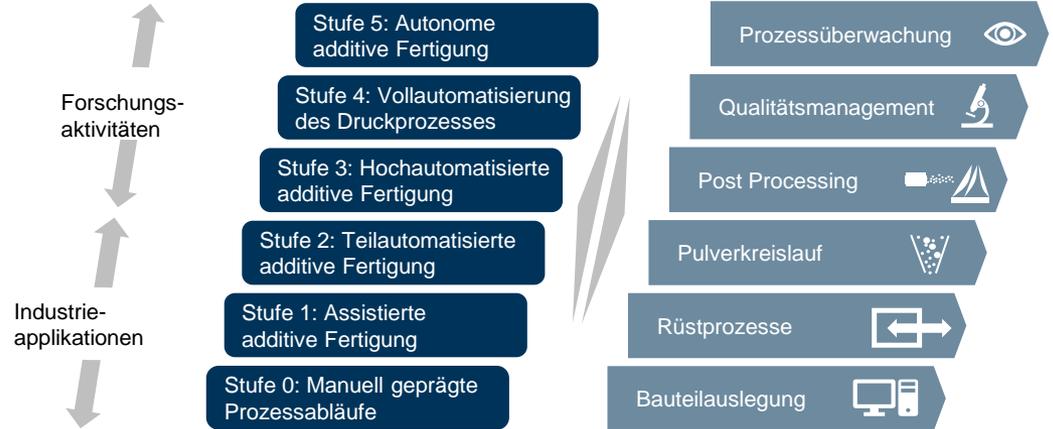
# Herausforderungen im Post-process:



 Heiss-Isostatisch-Pressen

Für jeden Bereich der AM-Prozesskette existieren Industrialisierungsansätze, die

- Interdependenzen aufweisen,
- jeweils ein bestimmtes organisatorisches und technologisches Set-up im Unternehmen voraussetzen und
- in Abhängigkeit des Produktportfolios unterschiedliche Potenziale für den Wertschöpfungsprozess aufweisen.



**➔** ... sind technologisch voneinander abhängig und müssen ganzheitlich betrachtet werden.

## Die Selbsteinschätzung ermöglicht

- die Identifikation von Wertschöpfungsbereichen mit dem höchsten Potenzial für die Industrialisierung
- das Aufzeigen von Abhängigkeiten in der Wertschöpfungskette in Bezug auf die Industrialisierung und
- die Abschätzung des Einflusses der Industrialisierung auf die Herstellkosten.



**➔** ... des Entwicklungsstands zu ermöglichen und die Ableitung von Handlungsempfehlungen

## Analyse der Industrialisierungsansätze

### Gesamtprozesssicht

*Wie wirkt sich die Industrialisierung eines Teilbereiches auf die gesamte Wertschöpfungskette aus?*

### Implementierungskosten

*Mit welchen Kosten habe ich auch angrenzenden Wertschöpfungsbereichen zu rechnen?*

### Interdependenzen

*Welche Technologie setzt welches Set-Up voraus?*

## Erstellung eines Reifegradmodells

### Personeller Investitionsbedarf

*Wie muss das Personal geschult werden, um einen höheren Reifegrad zu erreichen?*

### Finanzieller Investitionsbedarf

*Welche Hard- und Software wird benötigt?*

### Organisatorischer Investitionsbedarf

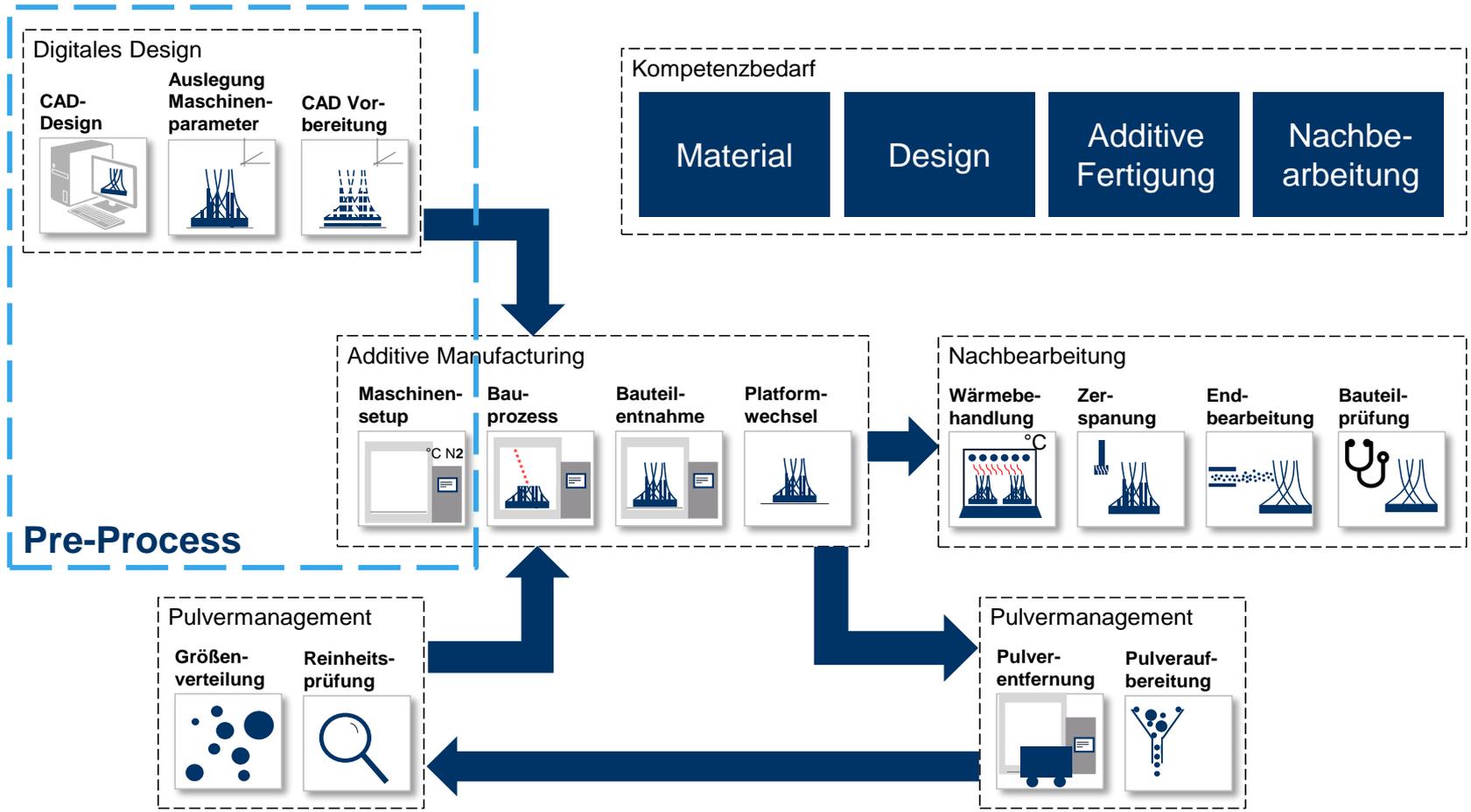
*Sind neue Abteilungen wie ein beratender Vertrieb notwendig?*

Welche Industrialisierungsansätze haben welche Auswirkung auf die Gesamtdurchlaufzeit sowie die Kosten der Produkterstellung?  
Welche neuen Anwendungsfälle ergeben sich für die additive Fertigung

→ Bewertungs- und Benchmarkingmöglichkeit für KMU

 ... liegt in der übergreifenden, wirtschaftlichen Prozessanalyse.

- 1 Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**
- 2 Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**
- 3 Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**
- 4 Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**
- 5 Industrialisierungsansätze im Bauprozess**
- 6 Industrialisierungsansätze im Post-Processing**
- 7 Literaturverzeichnis**



**➔** ... erfordert die ganzheitliche Berücksichtigung der Prozesskette



## Erstellung digitaler Bauteilmodelle...

... umfasst die Auslegung des Bauteildesigns in Bezug auf dessen äußere Form, Gewicht, Bauzeit und innere Strukturen. Zusätzlich sind die Stützstrukturen in das Design einzubringen

## Auslegung von Maschinenparametern...

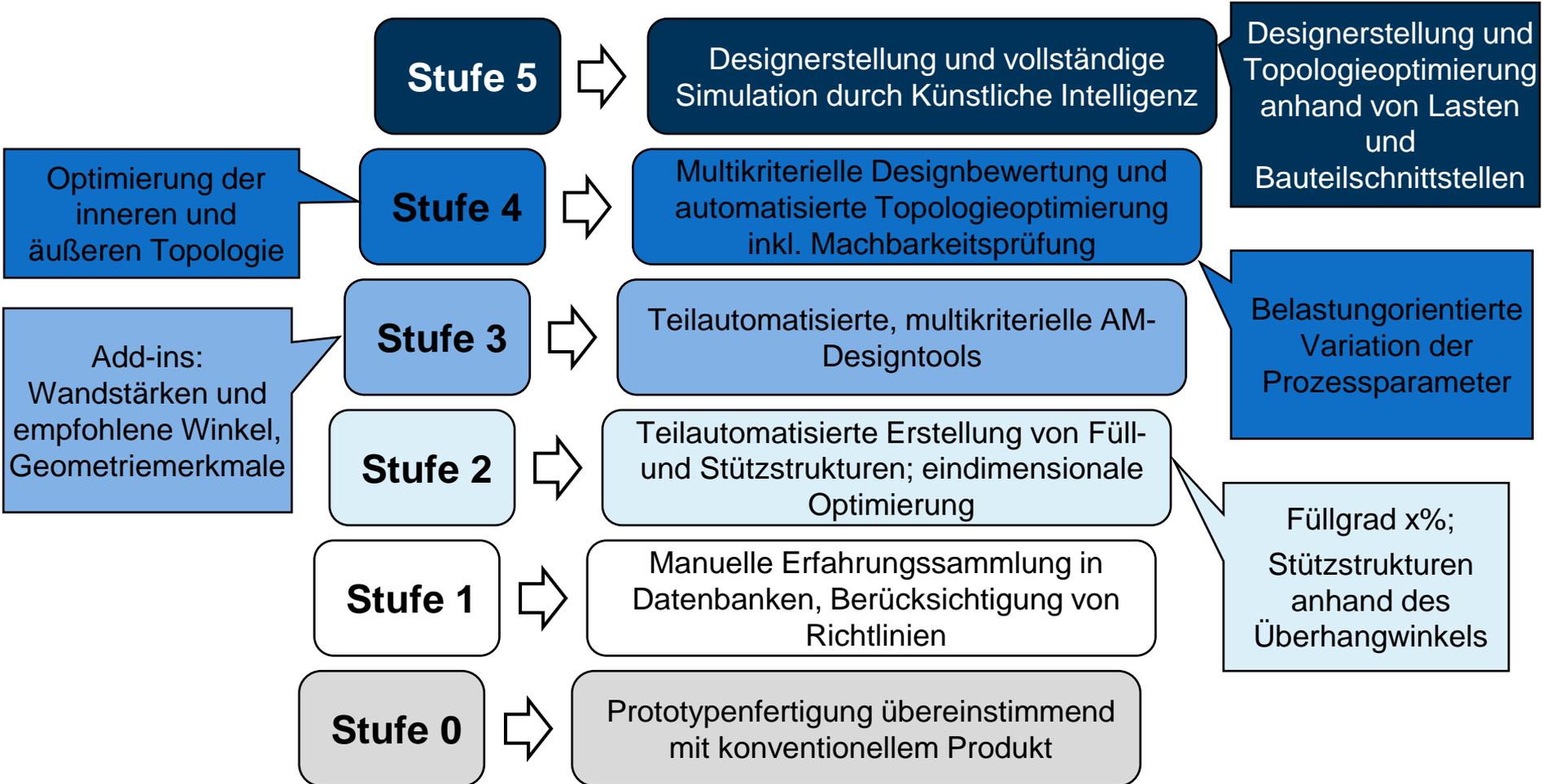
... umfasst die Materialauswahl und die Auslegung der Maschinenparameter wie Geschwindigkeit oder Energieeintrag sowie die Ausrichtung der Bauteile, die die notwendigen Maschinenparameter beeinflusst. Geschwindigkeit und Qualität sich gegeneinander abzuwägen.

## Entpacken und Rüsten der Anlage...

... umfasst die Entnahme des fertigen Bauteils und das Einrichten der Maschine für den neuen Baujob.

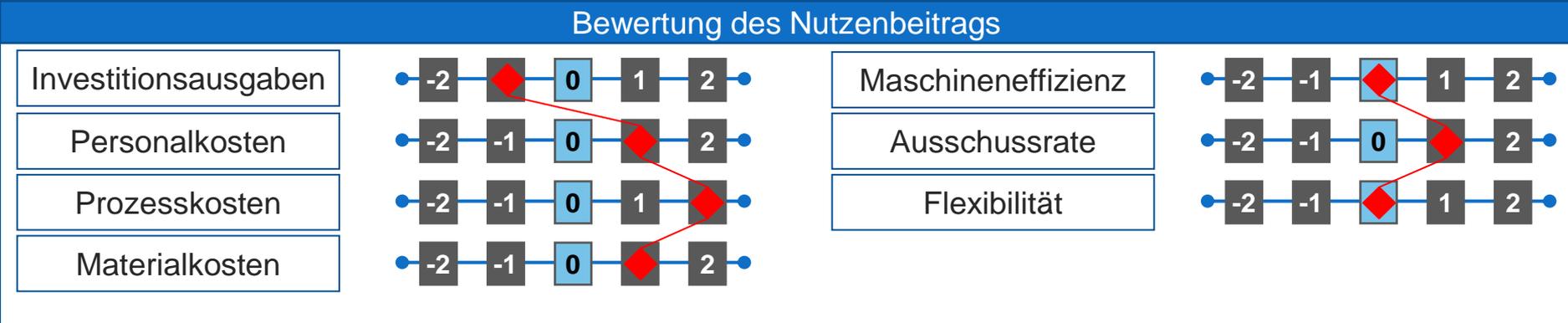
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

## Erstellung digitaler Bauteilmodelle

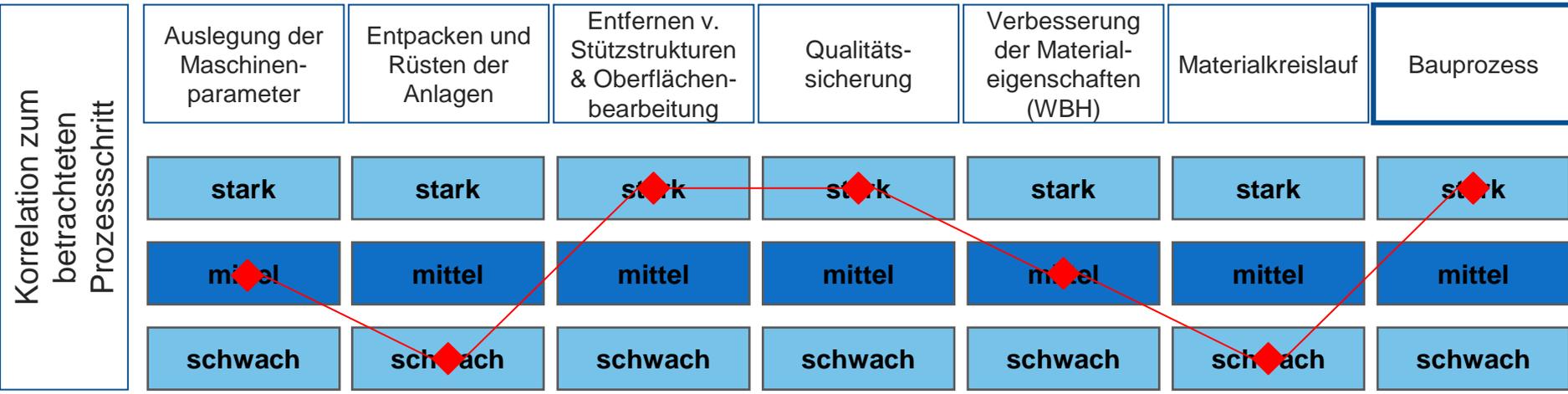


# Bewertung der Industrialisierung

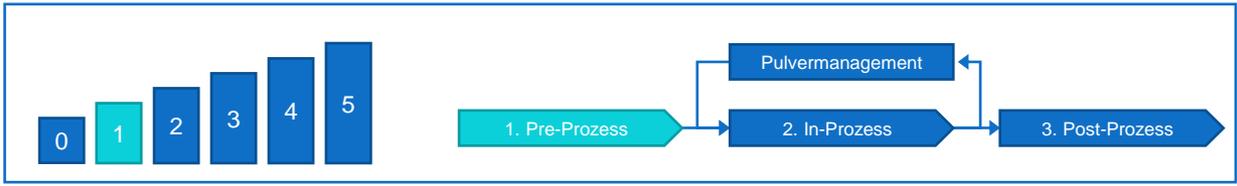
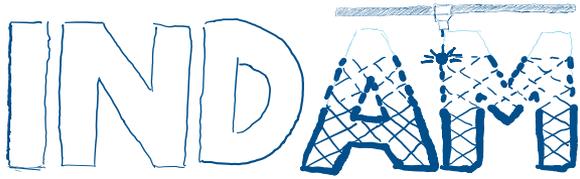
## Erstellung digitaler Bauteilmodelle



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*

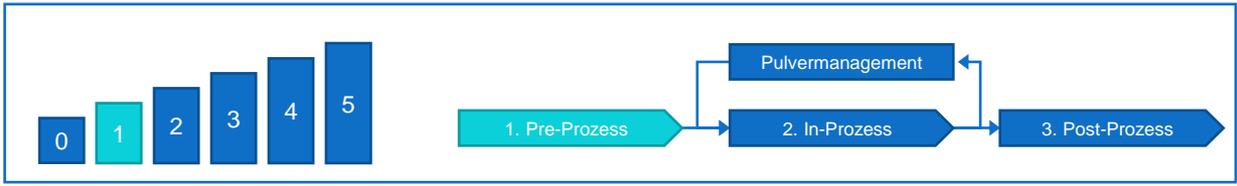
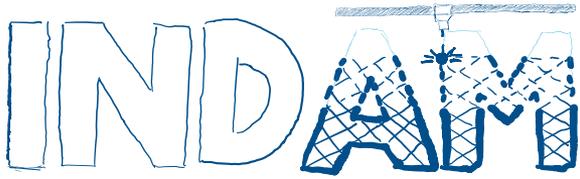


# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



<b>Industrialisierungs- bereich</b>	Erstellung digitaler Bauteilmodelle	Stufe 1	
<b>Industrialisierungs- stufe</b>	Manuelle Erfahrungssammlung, Berücksichtigung von Richtlinien		
<b>Technologien / Use Cases</b>	Richtlinienkataloge		
<b>Technische &amp; Organisatorische Voraussetzungen</b>	Pflege und Ablage der Richtlinien		
<b>Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe: ↑ steigt ↓ sinkt</b>	Investitionsausgaben →	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit ↘	
	Personalkosten ↘		
	Prozesskosten ↘	Maschineneffizienz ↘	
	Materialkosten ↘	Flexibilität v. Prozessabläufen ↘	

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Manuelle Erfahrungssammlung, Berücksichtigung von Richtlinien

Technologien / Use Cases

Datenbanken mit Erfolgsbeispielen

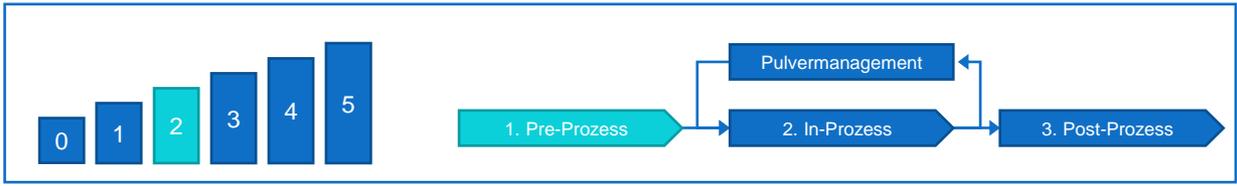
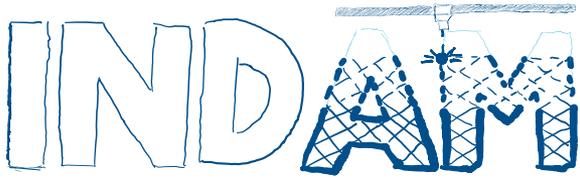
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Elektronische Datenbank

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	→	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	→
Prozesskosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	↓		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Teilautomatisierte Erstellung von Füll- und Stützstrukturen; eindimensionale Optimierung

Technologien / Use Cases

Automatisierte Erstellung innenliegender Strukturen mit Füllgrad x%

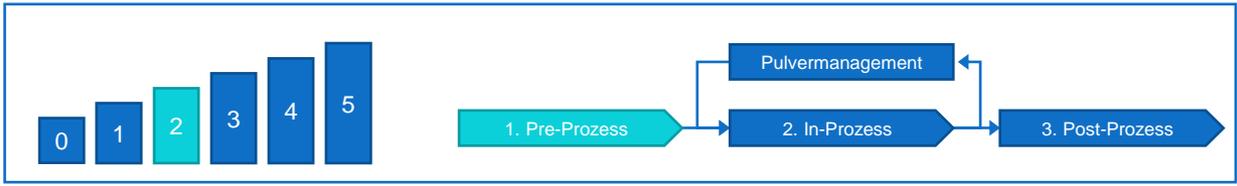
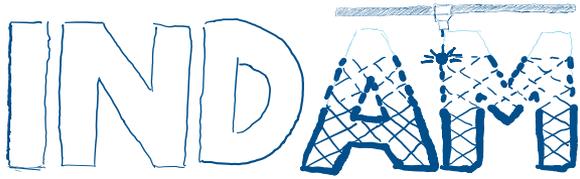
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software zur Designanpassung, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit der Software

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	↗		
Prozesskosten	↗	Maschineneffizienz	↗
Materialkosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→

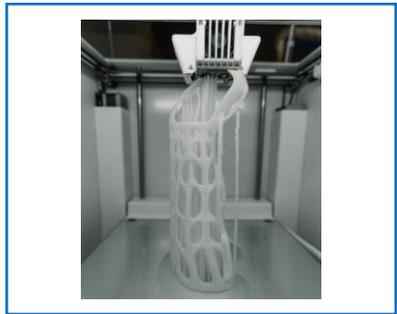
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 2



**Industrialisierungsstufe**

Teilautomatisierte Erstellung von Füll- und Stützstrukturen; eindimensionale Optimierung

**Technologien / Use Cases**

Erstellung von Stützstrukturen gemäß des Überhangwinkels ohne automatisierte Reflexion der benötigten Oberflächengüte

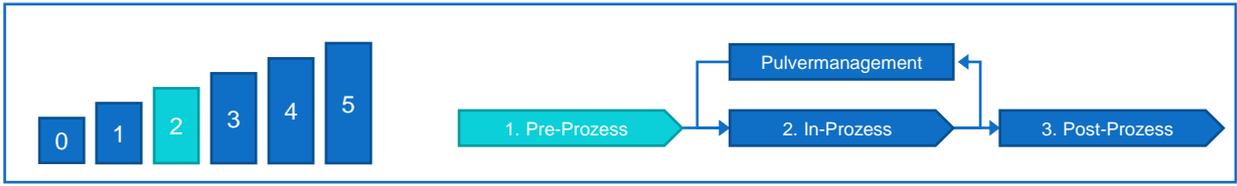
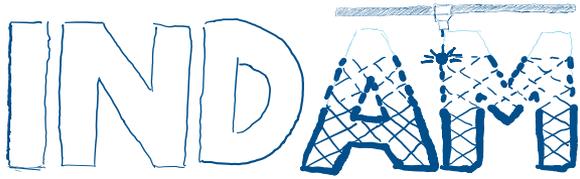
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Software zur Designanpassung, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit der Software; Überprüfung der gesetzten Stützstrukturen durch Mitarbeiter notwendig

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 2



**Industrialisierungsstufe**

Teilautomatisierte Erstellung von Füll- und Stützstrukturen; eindimensionale Optimierung

**Technologien / Use Cases**

Topologieoptimierung mittels FEM Software aus konventionellen Technologiebereichen ohne Überprüfung der Herstellbarkeit durch AM. Eine nachträgliche Designanpassung durch den Anwender ist i.d.R. notwendig

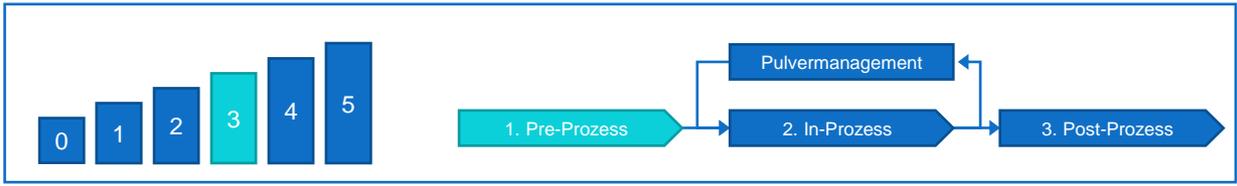
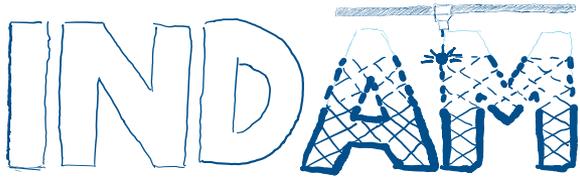
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

FEM-Software, ausgiebige Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit der Software, Wissen über Auslegungskriterien und Beanspruchung des Bauteils

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	↓	Maschineneffizienz	→
Prozesskosten	↓	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	↗		

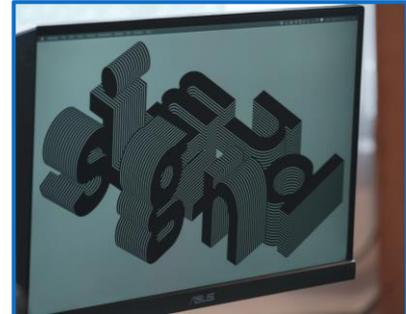
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 3



**Industrialisierungsstufe**

Teilautomatisierte, multikriterielle AM-Designtools

**Technologien / Use Cases**

Add-ins für CAD-Programme mit Angaben über den nutzbaren Bauraum, mögliche Wandstärken, empfohlene Winkel und Geometriemerkmale.

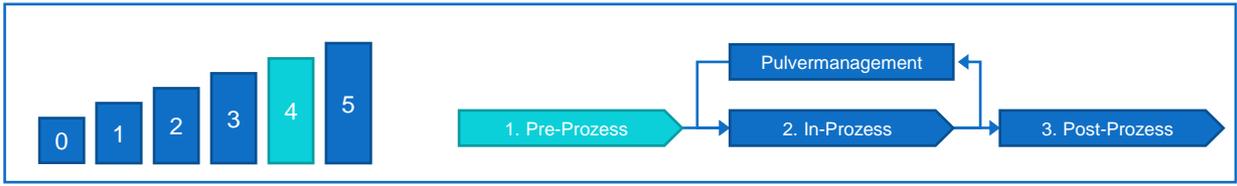
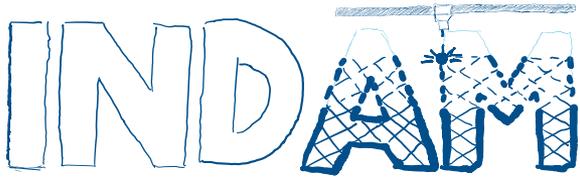
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Softwarepaket (Add-in), Mitarbeiterschulung im Umgang mit der Software

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Multikriterielle Designbewertung und automatisierte Topologieoptimierung inkl. Machbarkeitsprüfung

Technologien / Use Cases

Teilautomatisierte Topologieoptimierung von Bauteilen zur Preisabschätzung inklusive einer Überprüfung der Herstellbarkeit durch die Software. (z.B. Protiq/Amendate)

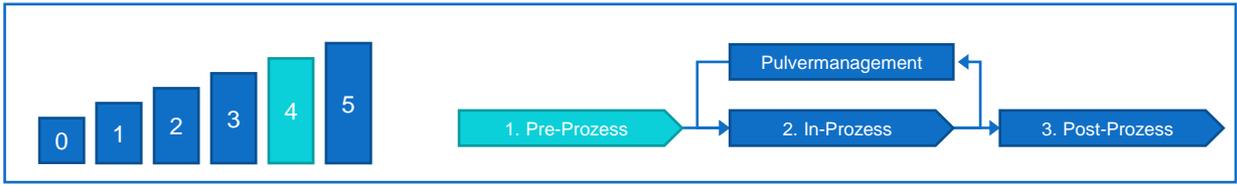
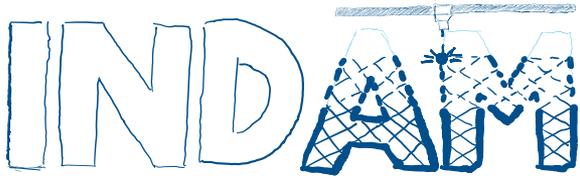
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software oder Zugang zur Cloud-Anwendung, Wissen über die späteren Belastungsfälle des Bauteils; Mitarbeiterschulung im Umgang mit der Software

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↗	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	↗	Maschineneffizienz	↗
Prozesskosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen	↗
Materialkosten	↗		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Multikriterielle Designbewertung und automatisierte Topologieoptimierung inkl. Machbarkeitsprüfung

Technologien / Use Cases

Gleichzeitige Formoptimierung der äußeren und der inneren Bauteiltopologie (z.B. Hyperganic)

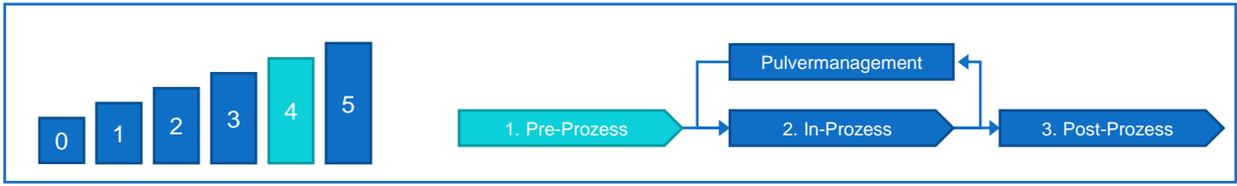
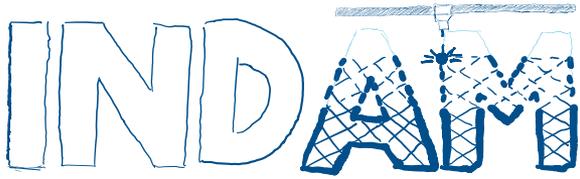
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Festlegung der zu erfüllenden Funktionen des Bauteils; Software oder Zugang zur Cloud-Anwendung, Wissen über die späteren Belastungsfälle des Bauteils; Mitarbeiterschulung im Umgang mit der Software

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	↗		
Prozesskosten	↗	Maschineneffizienz	→
Materialkosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen (Personentausch)	↗

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 4



**Industrialisierungsstufe**

Multikriterielle Designbewertung und automatisierte Topologieoptimierung inkl. Machbarkeitsprüfung

**Technologien / Use Cases**

Optimierung von Prozessparametern gemäß der lokalen Bauteilbeanspruchung (z.B. ELISE) zur Optimierung des Materialeinsatzes und der Bauzeit

**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

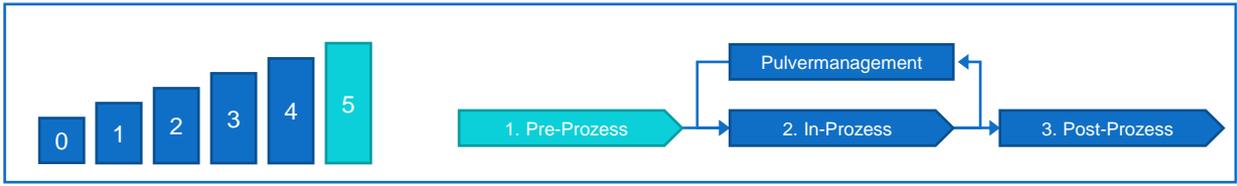
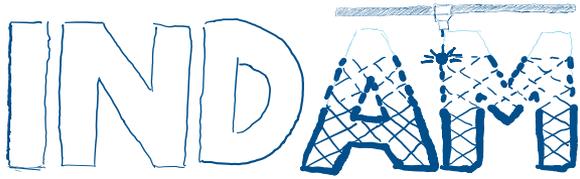
Festlegung der zu erfüllenden Funktionen des Bauteils; Software oder Zugang zur Cloud-Anwendung, Wissen über die späteren Belastungsfälle des Bauteils; Mitarbeiterschulung im Umgang mit der Software

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

- Investitionsausgaben ↓
- Personalkosten →
- Prozesskosten →
- Materialkosten →

- Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit →
- Maschineneffizienz ↑
- Flexibilität v. Prozessabläufen →

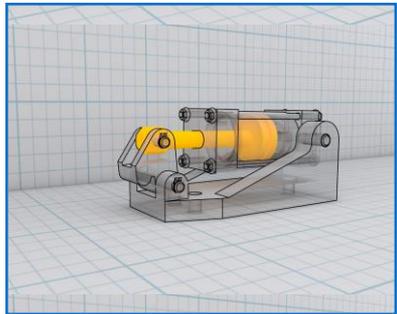
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Erstellung digitaler Bauteilmodelle

Stufe 5



**Industrialisierungsstufe**

Designerstellung und vollständige Simulation durch Künstliche Intelligenz

**Technologien / Use Cases**

Designer können Anforderungen an die KI richten und die KI kann nach vorgelagerten Trainingssessions eigenständig Topologien und Designs erstellen, diese Simulieren und Vorschläge zurückgeben.

**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

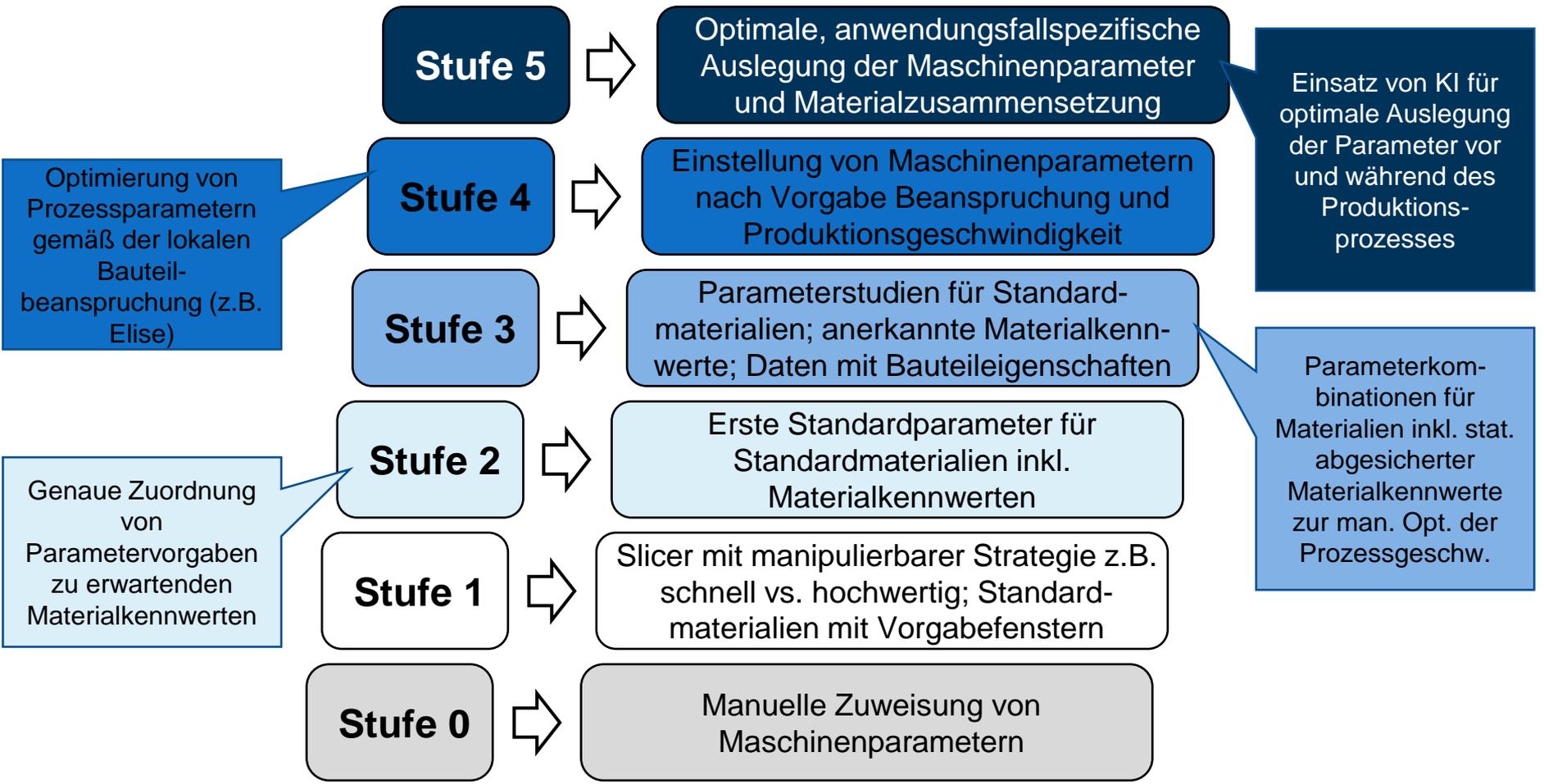
Anforderungsformulierung an die KI bspw. durch CAD-API, Kenntnis der Bauteilanforderungen durch Designer zur Weitergabe an KI/CAD-System, Möglichkeit der KI zur CAD-Designerstellung, Zugang zu Rechenleistung für Simulationen

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	↑		
Prozesskosten	↑	Maschineneffizienz	↑
Materialkosten	↑	Flexibilität v. Prozessabläufen	↑

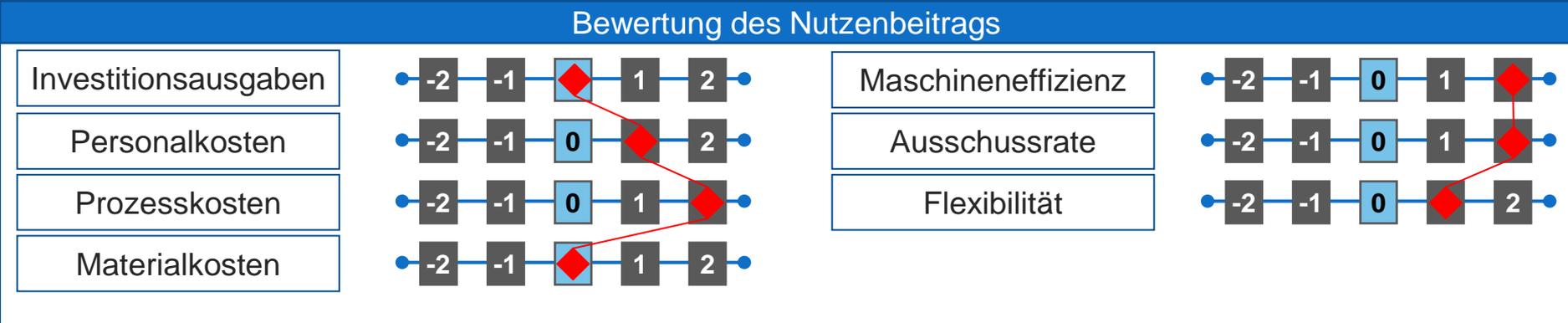
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

## Auslegung der Maschinenparameter

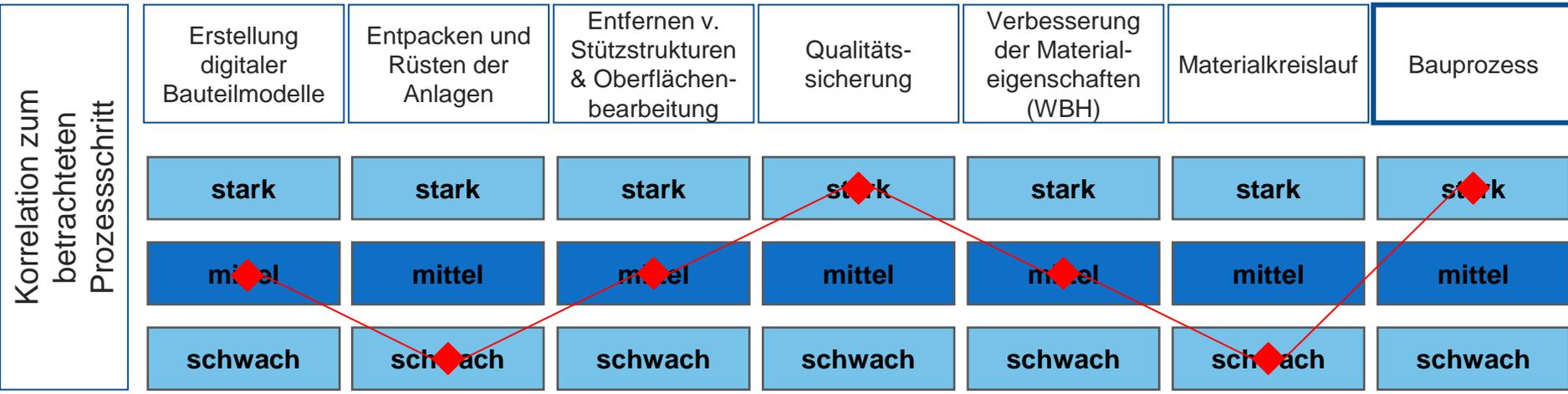


# Bewertung der Industrialisierung

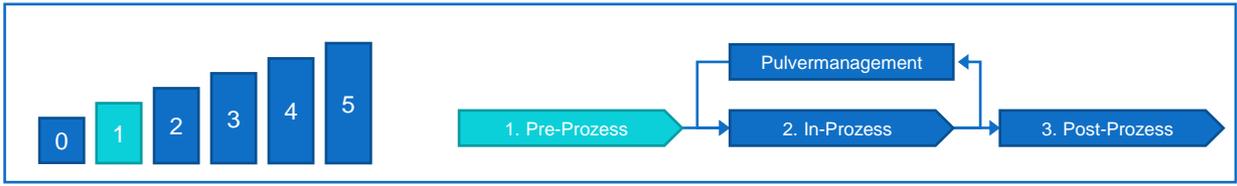
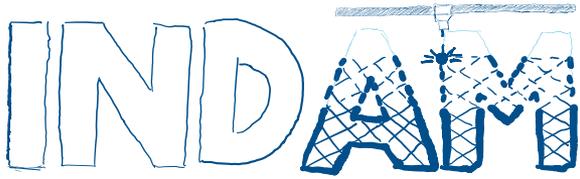
## Auslegung der Maschinenparameter



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



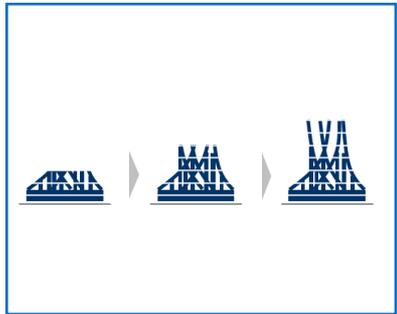
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Auslegung von Maschinenparametern

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Slicer mit manipulierbarer Strategie z.B. schnell vs. hochwertig; Standardmaterialien mit Vorgabefenstern

Technologien / Use Cases

Vorgabenfenster für einzelne Materialien, die durch den Anwender angepasst werden müssen; Variation der Geschwindigkeit (Reduktion) zum Erreichen hoher Materialqualität und zur Vermeidung von Prozessabbrüchen

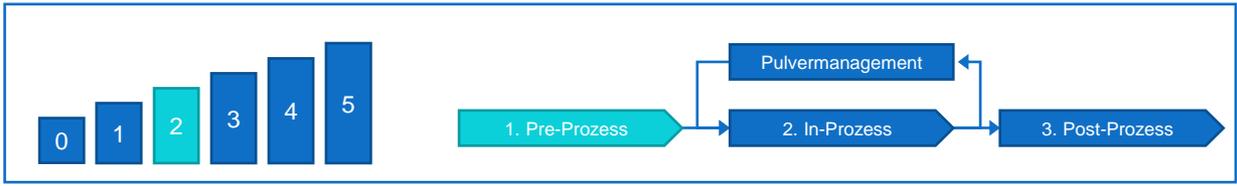
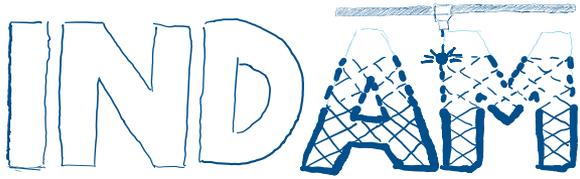
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Für industriell verwendete Bauteile ist eine Prozessentwicklung notwendig

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

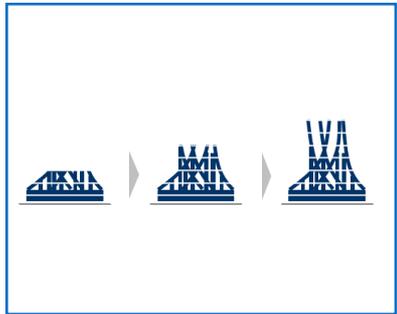
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Auslegung von Maschinenparametern

Stufe 2



**Industrialisierungsstufe**

Erste Standardparameter für Standardmaterialien inkl. Materialkennwerten

**Technologien / Use Cases**

Genauere Kombination von Parametervorgaben und zu erwartenden Materialkennwerten. Abweichung vom Standard erfordert Neuqualifikation des Materials

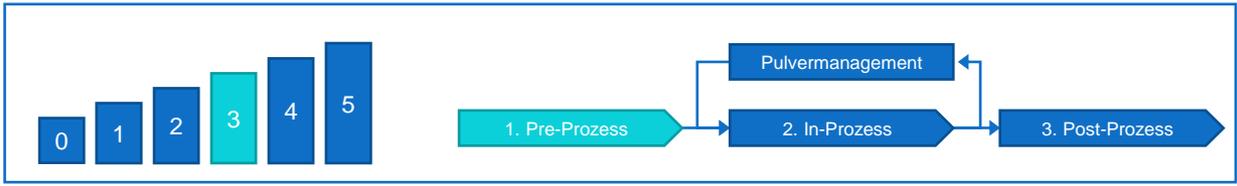
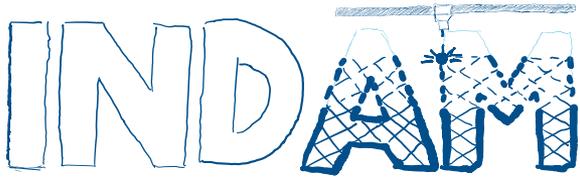
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Für Bauteile mit hohen Qualitätsanforderungen ist ein tiefes Material- und Prozessverständnis notwendig.

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

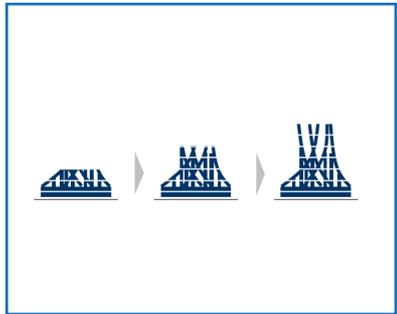
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Auslegung von Maschinenparametern

Stufe 3



**Industrialisierungsstufe**

Parameterstudien für Standardmaterialien; anerkannte Materialkennwerte; Daten mit Bauteileigenschaften

**Technologien / Use Cases**

Mehrere Parameterkombinationen für Materialien verfügbar, inkl. der statistisch abgesicherten Materialkennwerte zur manuellen Optimierung der Prozessgeschwindigkeit gemäß der Bauteilbeanspruchung

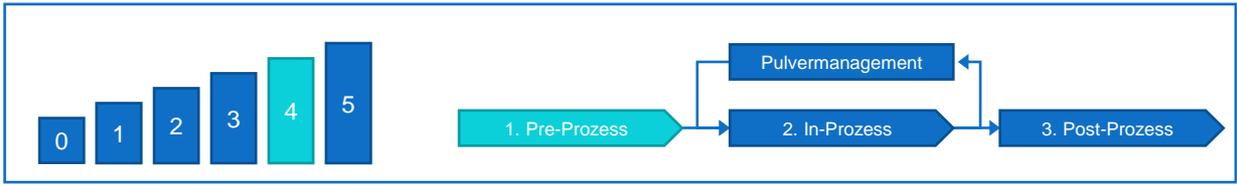
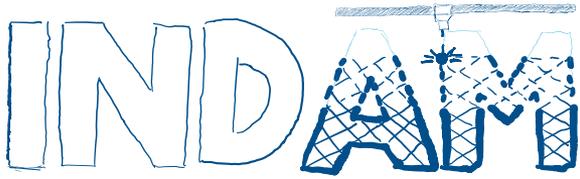
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Wissen über Bauteilbeanspruchung und Auslegung entsprechend der späteren Nutzung

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	⬆
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

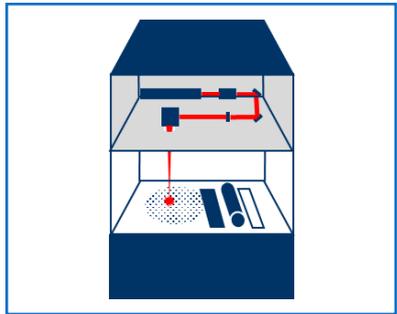
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Auslegung von Maschinenparametern

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Einstellung von Maschinenparametern nach Vorgabe Beanspruchung und Produktionsgeschwindigkeit

Technologien / Use Cases

Optimierung von Prozessparametern gemäß der lokalen Bauteilbeanspruchung (z.B. ELISE) zur Optimierung des Materialeinsatzes und der Bauzeit

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

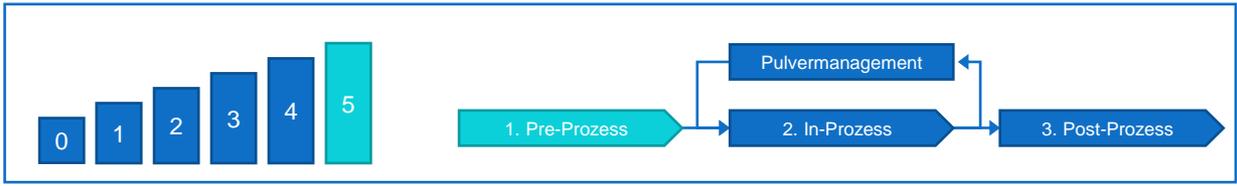
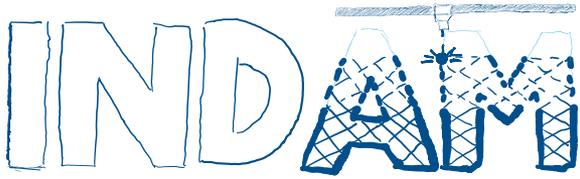
Festlegung der zu erfüllenden Funktionen des Bauteils; Software oder Zugang zur Cloud-Anwendung, Wissen über die späteren Belastungsfälle des Bauteils; Mitarbeiterschulung im Umgang mit der Software

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	→
Personalkosten	↑
Prozesskosten	↑
Materialkosten	→

Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Maschineneffizienz	↑
Flexibilität v. Prozessabläufen	↗

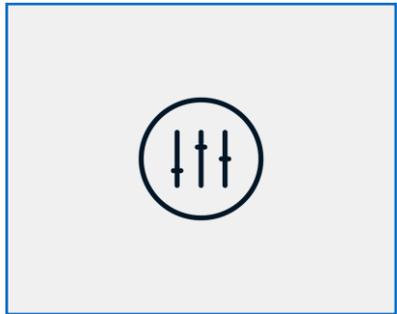
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Auslegung der Maschinenparameter

Stufe 5



**Industrialisierungsstufe**

Optimale, anwendungsfallspezifische Auslegung der Maschinenparameter und Materialzusammensetzung

**Technologien / Use Cases**

Im Druckprozess ist die Kontrolle des Schmelzbades für die finale Bauteilqualität ausschlaggebend. Die Prozessparameter können bei Bedarf während des Prozesses angepasst werden. Der Einsatz von KI kann hier für optimale Auslegung der Parameter vor und während des Produktionsprozesses sorgen.

**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Erfahrungsdaten über Material- und Bauteileigenschaften und deren Abhängigkeiten, Sensoren/Kameras zur Beobachtung des Schmelzbades im Prozess, vollkommen KI-gesteuerter Druckprozess, Zugang zu Rechenleistung für (Echtzeit-)Simulationen

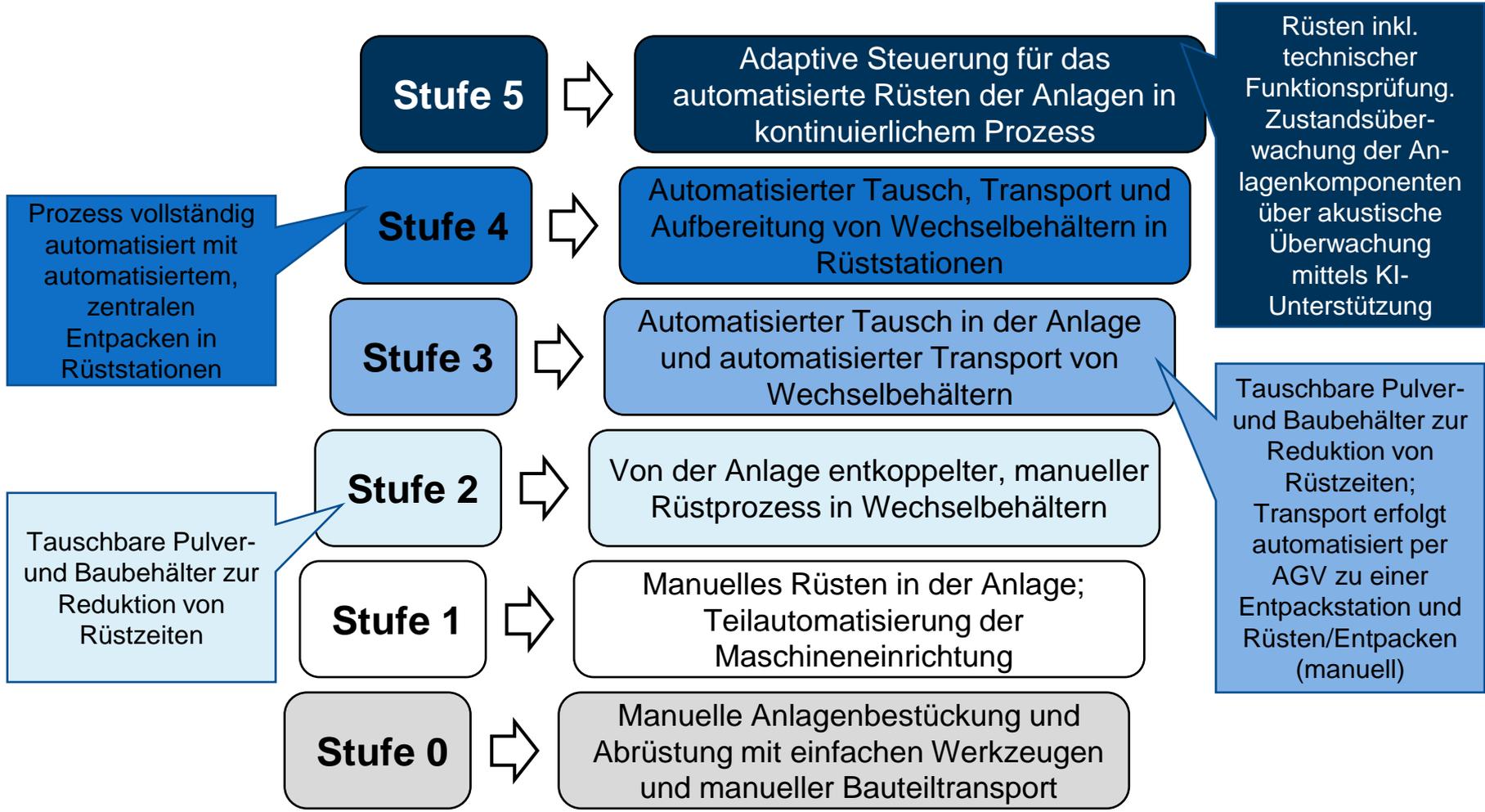
**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘
Personalkosten	↑
Prozesskosten	↑
Materialkosten	→

Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Maschineneffizienz	↑
Flexibilität v. Prozessabläufen	↗

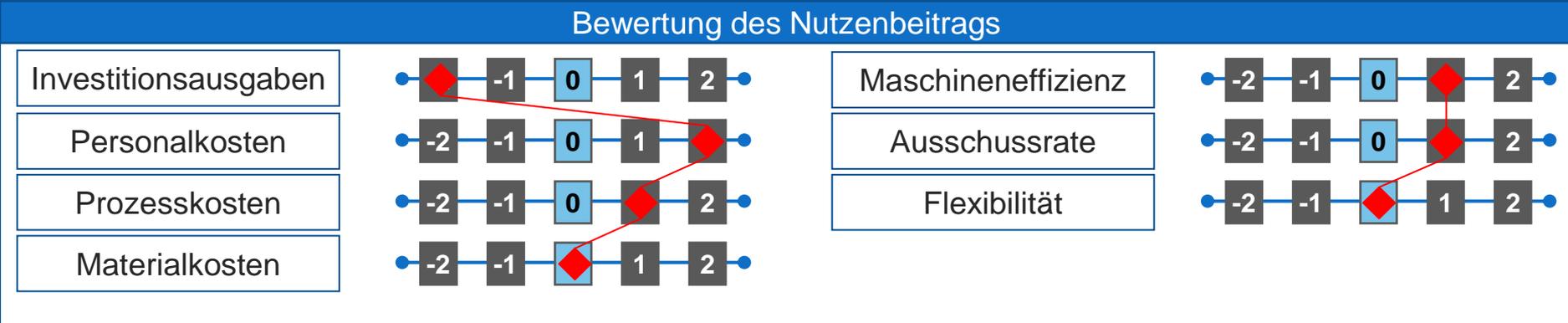
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

## Entpacken und Rüsten der Anlagen

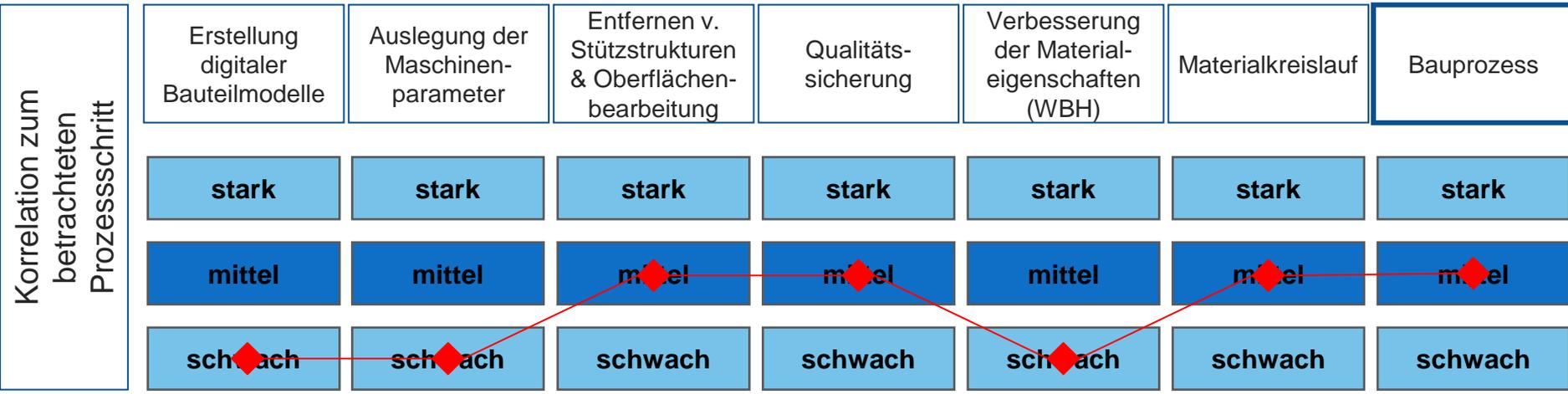


# Bewertung der Industrialisierung

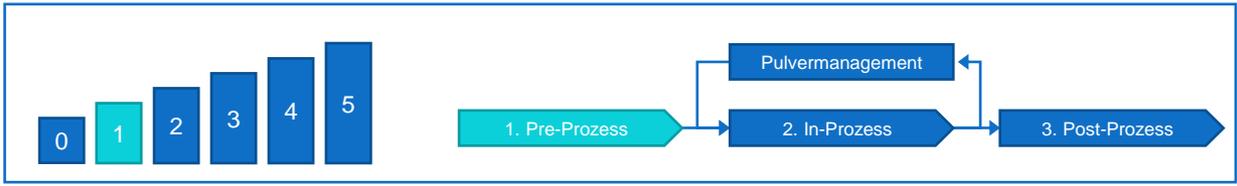
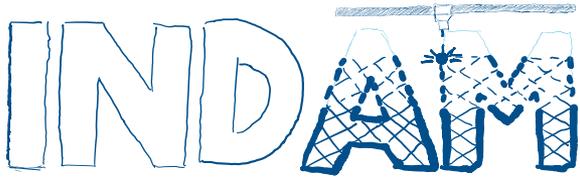
## Entpacken und Rüsten der Anlagen



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



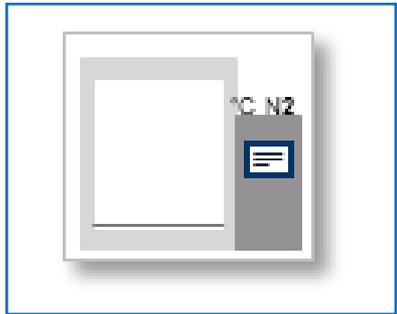
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entpacken und Rüsten der Anlagen

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Manuelles Rüsten in der Anlage; Teilautomatisierung der Maschineneinrichtung

Technologien / Use Cases

Airlocks und Schnelltransfer-Ports an Build-Plattformen zur Verbesserung der Transferzeiten; Rüttelmaschinen, Absaugungs- und Druckluftanlagen

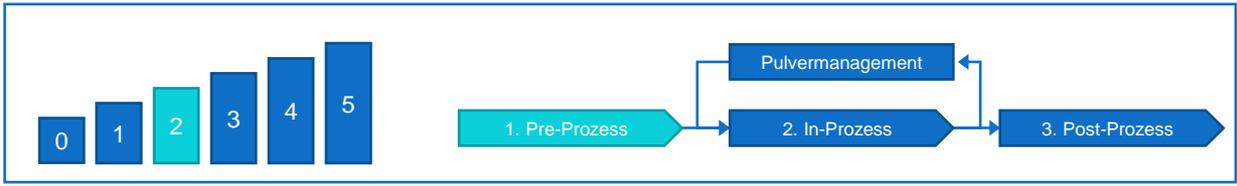
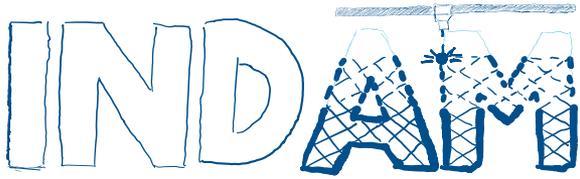
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anlagen und Materialien mit entsprechenden Schnittstellen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

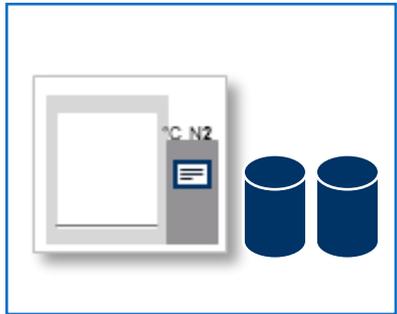
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entpacken und Rüsten der Anlagen

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Von der Anlage entkoppelter, manueller Rüstprozess in Wechselbehältern

Technologien / Use Cases

Tauschbare Pulver- und Baubehälter zur Reduktion von Rüstzeiten; Transport und Rüsten/Entpacken erfolgen manuell

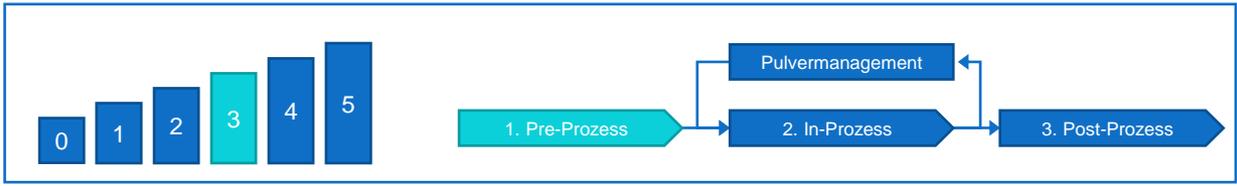
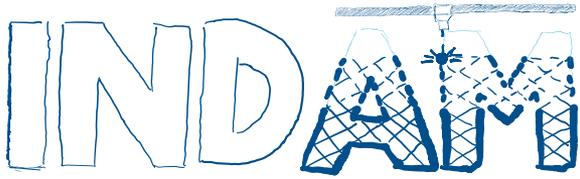
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Tauschbehälter, Anlagen mit entsprechender Konfiguration

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↘
Personalkosten	↘	Maschineneffizienz	↘
Prozesskosten	↘	Flexibilität v. Prozessabläufen	↘
Materialkosten	↘		

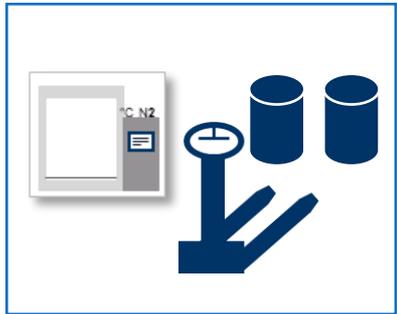
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entpacken und Rüsten der Anlagen

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

Automatisierter Tausch in der Anlage und automatisierter Transport von Wechselbehältern

Technologien / Use Cases

Tauschbare Pulver- und Baubehälter zur Reduktion von Rüstzeiten; Transport erfolgt **automatisiert per AGV** zu einer Entpackstation und Rüsten/Entpacken der Behälter erfolgt manuell

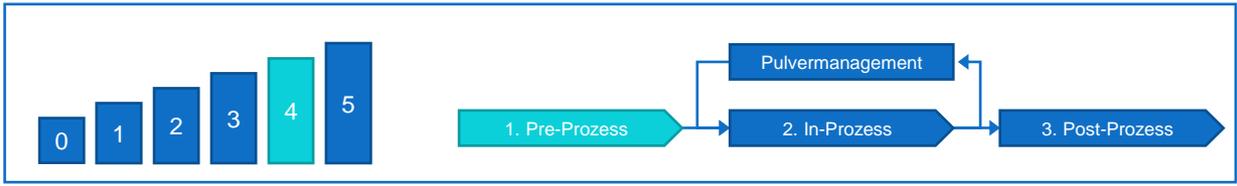
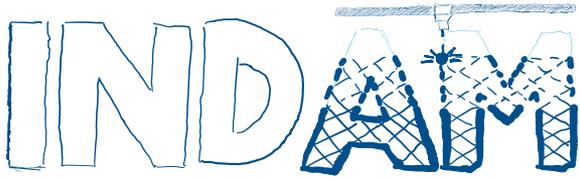
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Bau- und Pulverbehälter; AGVs; Rüst- und Entpackstation

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	↑		
Prozesskosten	→	Maschineneffizienz	↗
Materialkosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Entpacken und Rüsten der Anlagen

Stufe 4



**Industrialisierungsstufe**

Automatisierter Tausch, Transport und Aufbereitung von Wechselbehältern in Rüststationen

**Technologien / Use Cases**

Tauschbare Pulverbehälter zur Reduktion von Rüstzeiten; Prozess vollständig automatisiert mit automatisiertem, zentralen Entpacken in Rüststationen

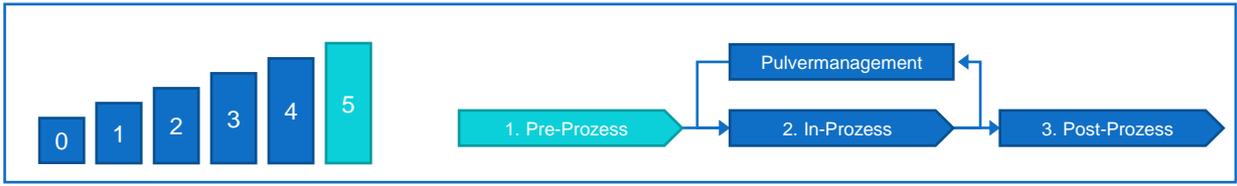
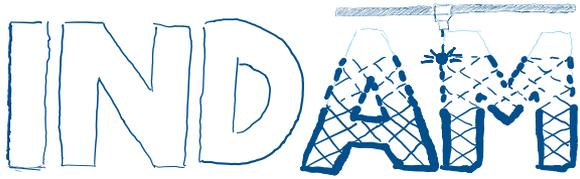
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Bau- und Pulverbehälter; AGVs; Rüst- und Entpackstation; Roboter für Entpack- und Rüstprozess

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	↑		
Prozesskosten	↗	Maschineneffizienz	↗
Materialkosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entpacken und Rüsten der Anlagen

Stufe 5



Industrialisierungsstufe

Adaptive Steuerung für das automatisierte Rüsten der Anlagen in kontinuierlichem Prozess

Technologien / Use Cases

Rüsten inkl. technischer Funktionsprüfung. Zustandsüberwachung der Anlagenkomponenten über akustische Überwachung mittels KI-Unterstützung.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Sensoren an Anlage zur Aufzeichnung von Geräuschen, Datenbank mit Eigenschaften von bekannten Fehlerbildern, Darstellung von Information für Mitarbeiter, Schulung der Mitarbeiter, Zugang zu Rechenleistung für Auswertung

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	↑		
Prozesskosten	↗	Maschineneffizienz	↗
Materialkosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→

1

**Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**

2

**Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**

3

**Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**

4

**Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**

5

**Industrialisierungsansätze im Bauprozess**

6

**Industrialisierungsansätze im Post-Processing**

7

**Literaturverzeichnis**



## Bauprozess

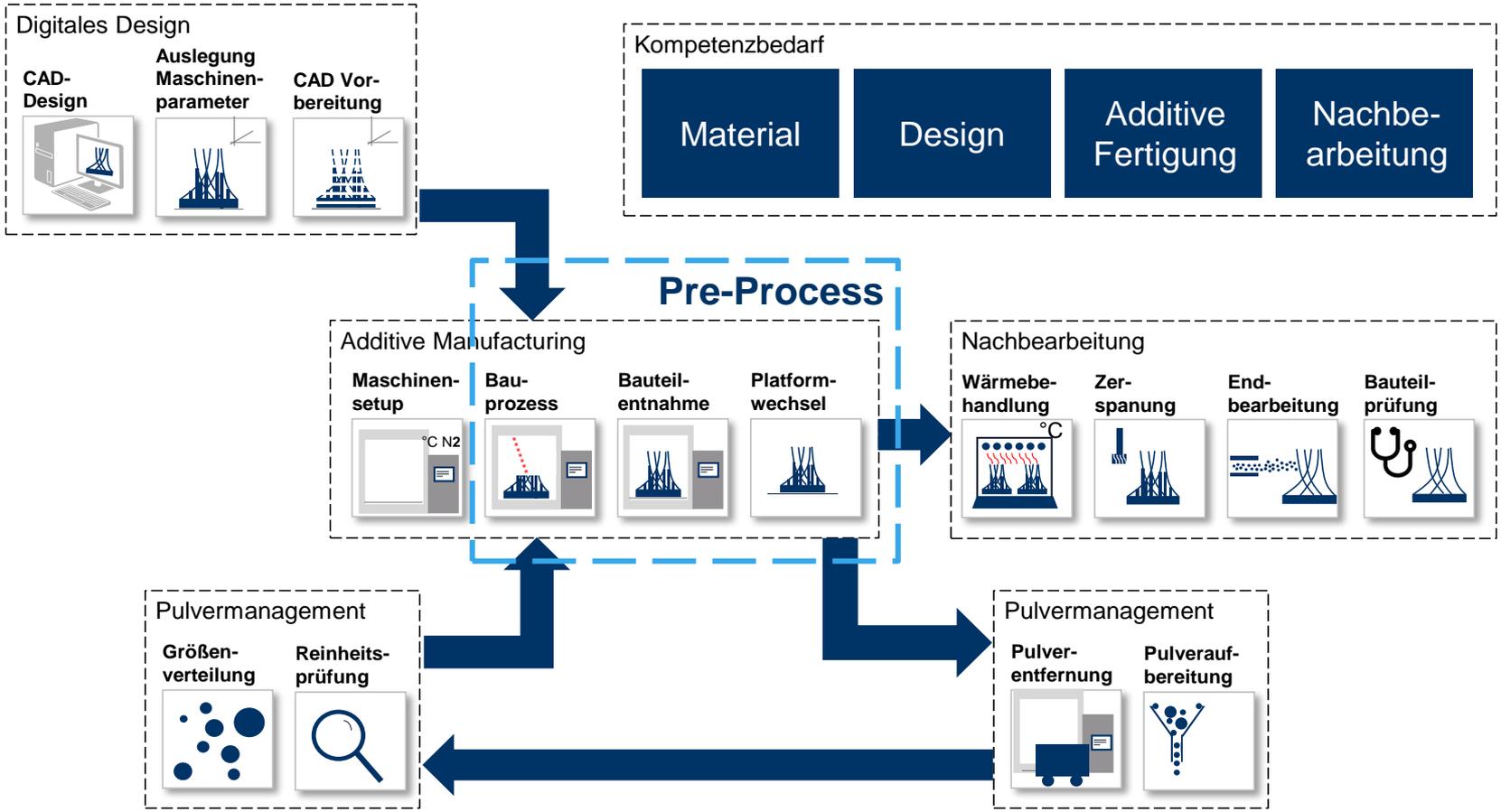
... umfasst die Auslegung des Bauteildesigns in Bezug auf dessen äußere Form, Gewicht, Bauzeit und innere Strukturen. Zusätzlich sind die Stützstrukturen in das Design einzubringen



## Materialkreislauf

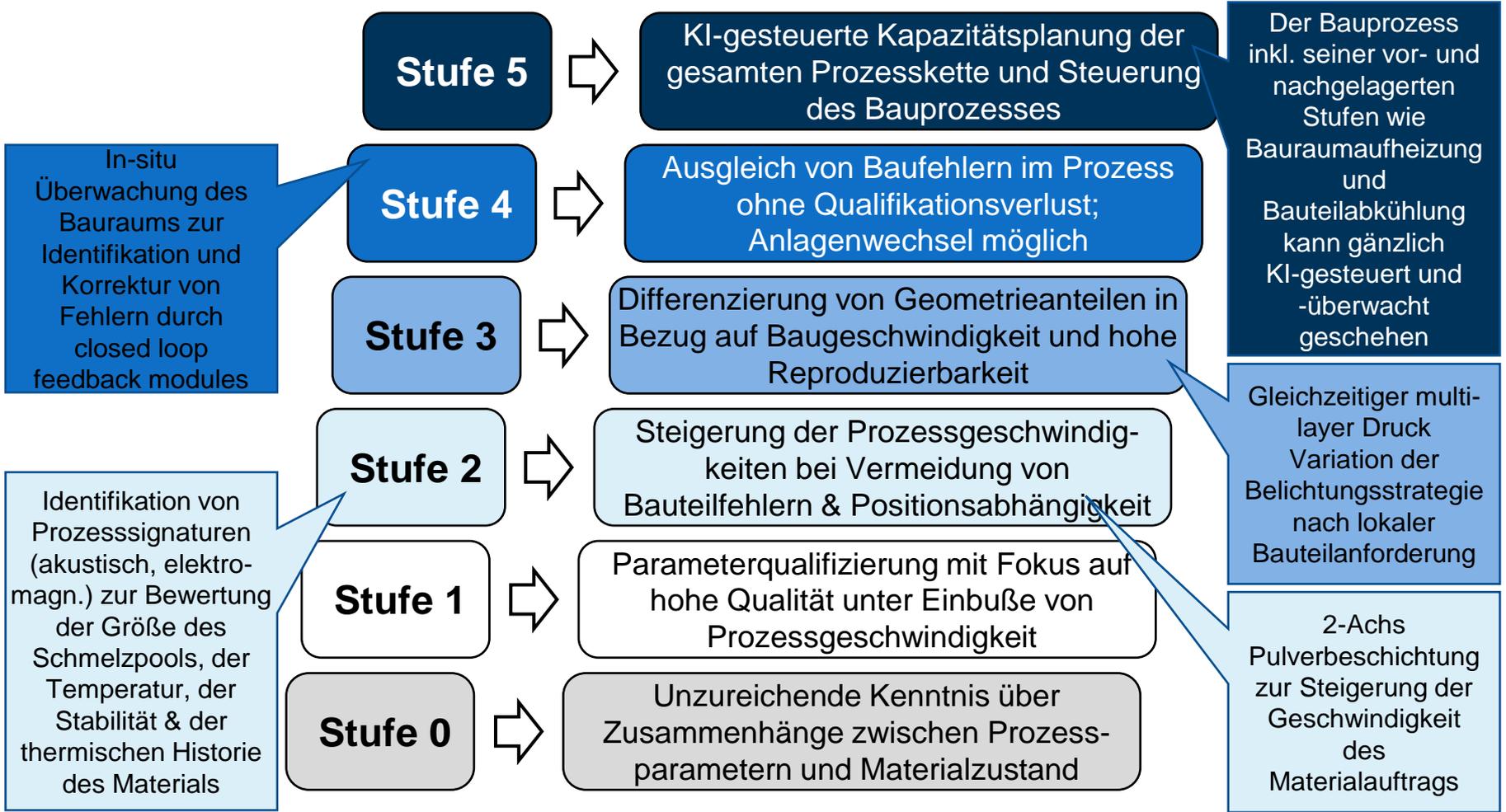
... umfasst die Aufbereitung und Qualitätssicherung des verwendeten 3D-Druck Materials.

# Die Industrialisierung der additiven Fertigung ...

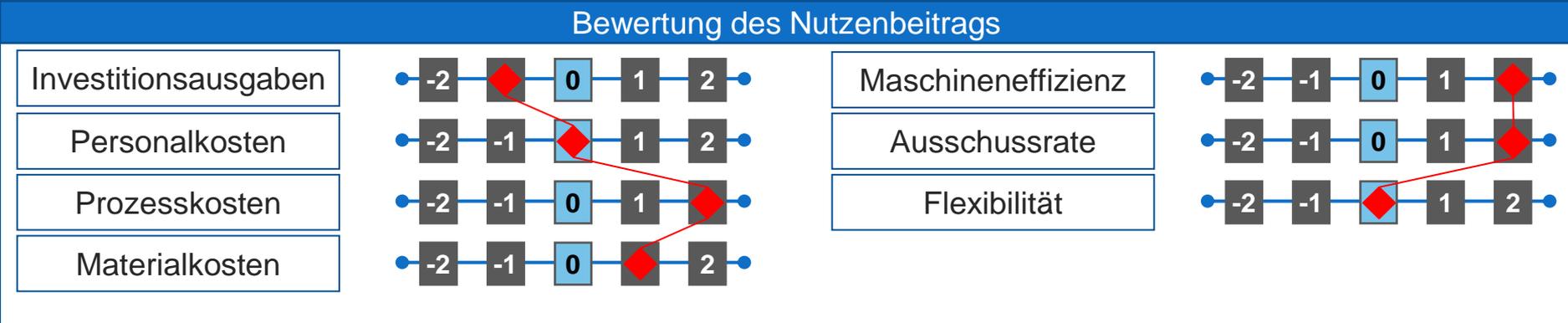


**➔** ... erfordert die ganzheitliche Berücksichtigung der Prozesskette

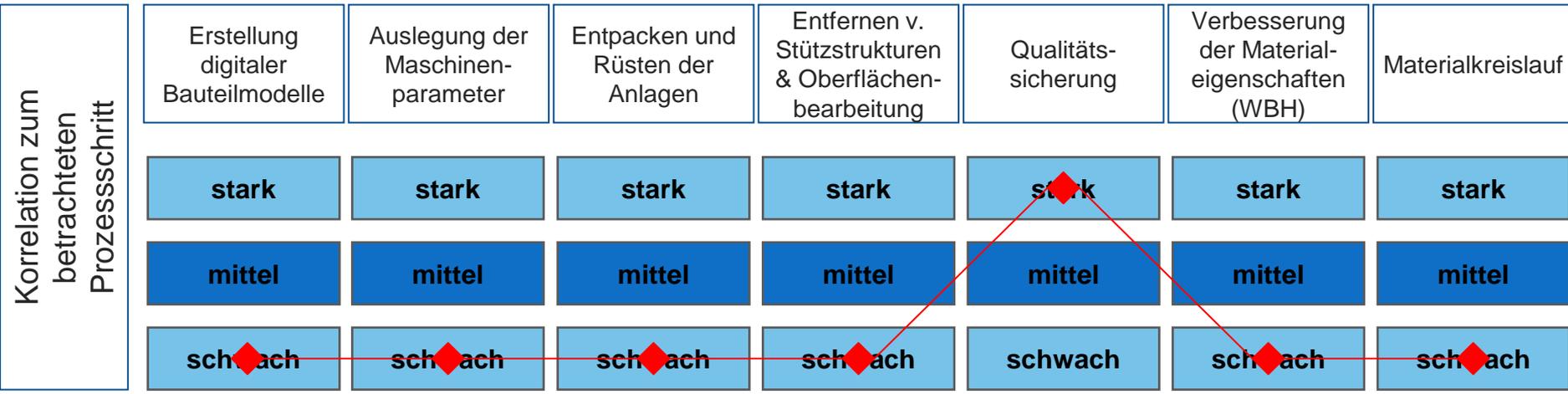
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung Bauprozess



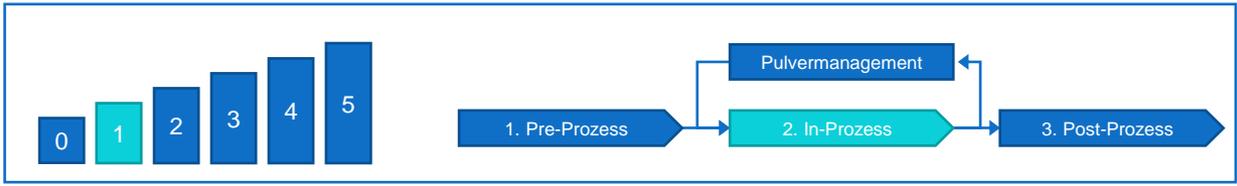
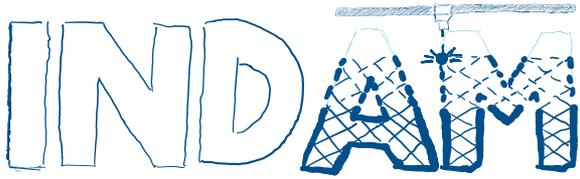
# Bewertung der Industrialisierung Bauprozess



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



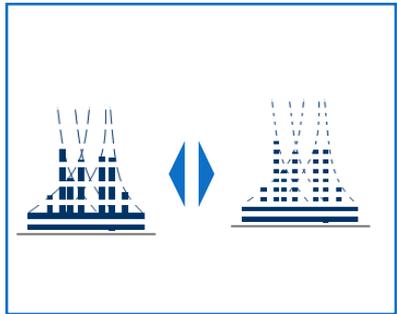
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Parameterqualifizierung mit Fokus auf hohe Qualität unter Einbuße von Prozessgeschwindigkeit

Technologien / Use Cases

Wahl der Schichtdicke und Prozessgeschwindigkeit: Höhere Schichtdicken und Geschwindigkeiten führen zu einem vermehrten Auftreten von Bauteilfehlern. Standards erlauben die Fokussierung auf Qualität oder Geschwindigkeit

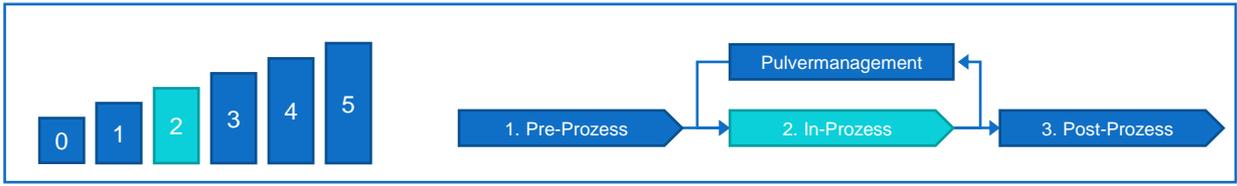
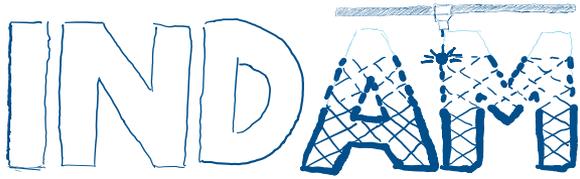
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software mit hinterlegten Prozessparameterprofilen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

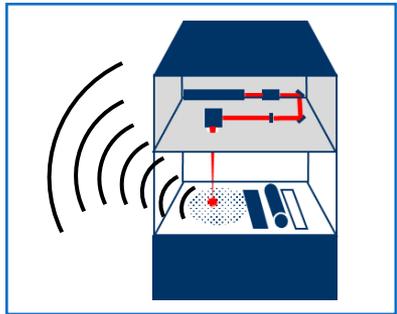
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Steigerung der Prozessgeschwindigkeiten bei Vermeidung von Bauteilfehlern & Positionsabhängigkeit

Technologien / Use Cases

Akustische und elektromagnetische Identifikation von Prozesssignaturen der Größe des Schmelzpool, der Temperatur, der Stabilität und der thermischen Historie des Materials. Akustische Analyse wird in der Praxis für Laserschweißen verwendet

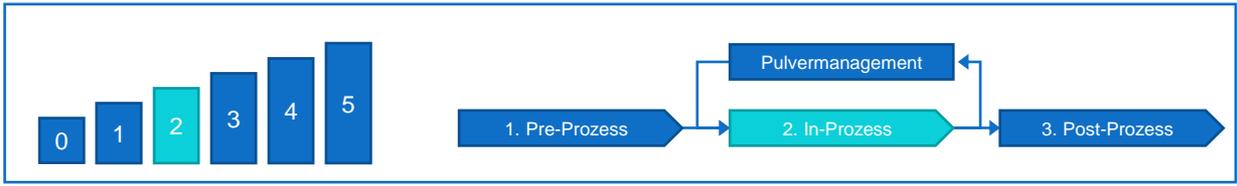
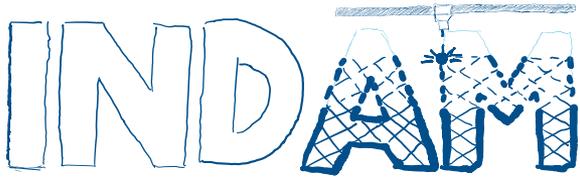
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anlagenequipment und Auswertesoftware

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	↗
Prozesskosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

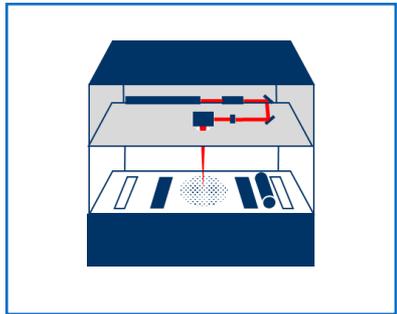
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Steigerung der Prozessgeschwindigkeiten bei Vermeidung von Bauteilfehlern & Positionsabhängigkeit

Technologien / Use Cases

2-Achs Pulverbeschichtung zur Steigerung der Geschwindigkeit des Materialauftrags

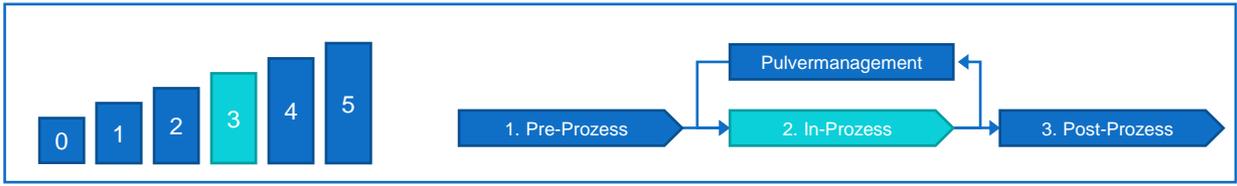
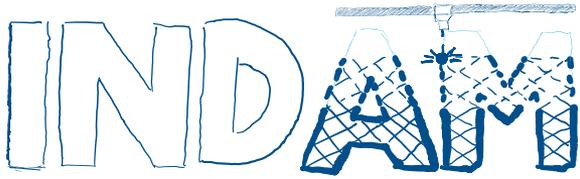
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anlagentechnik

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	↑
Prozesskosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

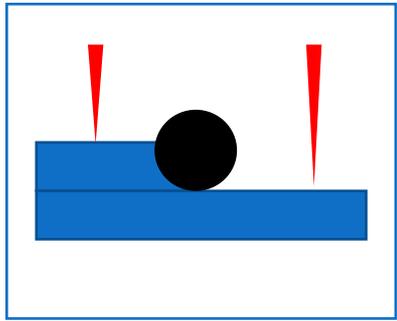
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

Differenzierung von Geometrieanteilen in Bezug auf Baugeschwindigkeit und hohe Reproduzierbarkeit

Technologien / Use Cases

Gleichzeitiger multi-layer Druck

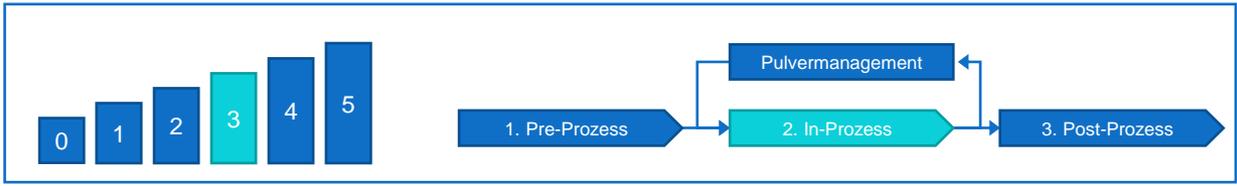
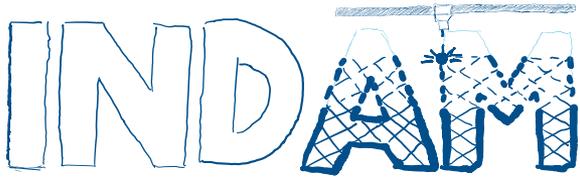
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anlage mit mehreren Lasern und Einrichtung zum multi-layer Druck.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	→		
Prozesskosten	↑	Maschineneffizienz	↑
Materialkosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→

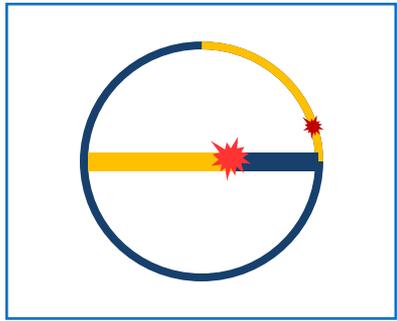
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

Differenzierung von Geometrieanteilen in Bezug auf Baugeschwindigkeit und hohe Reproduzierbarkeit

Technologien / Use Cases

Belichtungsstrategie wird nach lokaler Bauteilanforderung variiert.

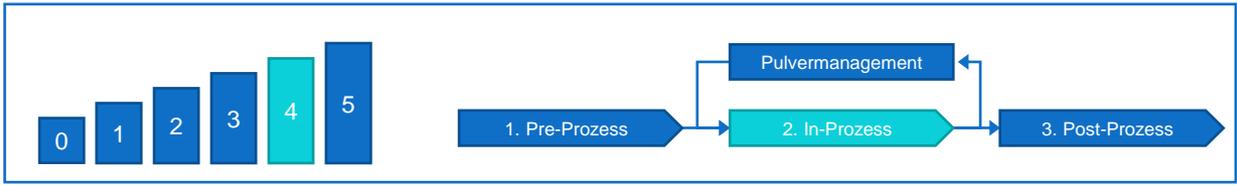
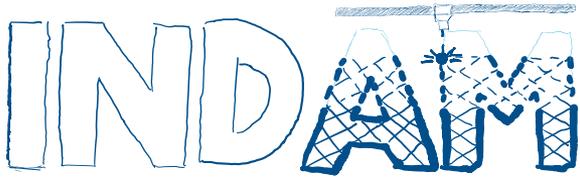
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software mit Möglichkeit zur lokalen Anpassung der Prozessparameter

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	↑
Prozesskosten	↑	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

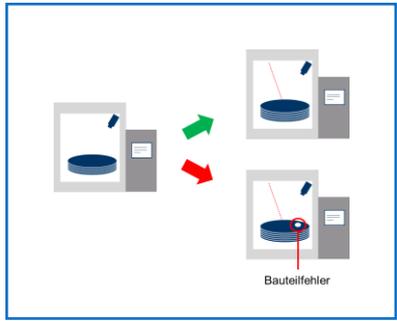
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Ausgleich von Baufehlern im Prozess ohne Qualifikationsverlust; Anlagenwechsel möglich

Technologien / Use Cases

In-situ Überwachung des Bauraums zur Identifikation und Korrektur von Fehlern durch closed loop feedback modules zur Reduktion von Poren, Balling, unverbundenem Pulver und Rissbildung

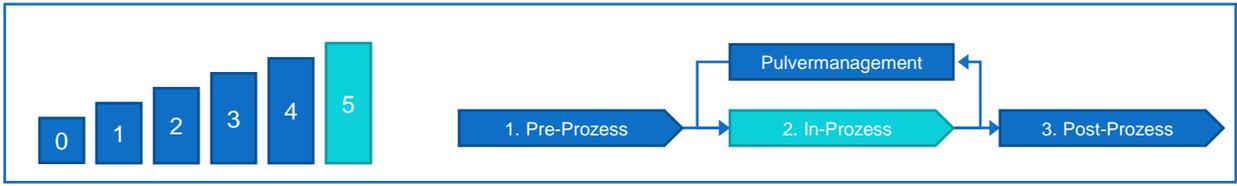
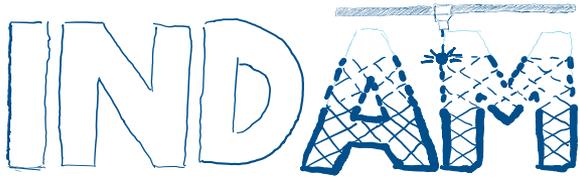
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anlage zur Prozessüberwachung, Software zur Anpassung von Prozessparametern und Korrektur von Fehlern, Datenbank mit Informationen über Fehlerbilder und Korrekturmaßnahmen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	↑
Prozesskosten	↑	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

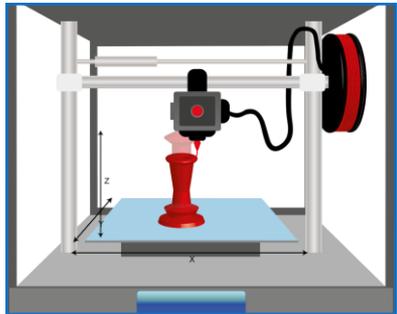
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Bauprozess

Stufe 5



Industrialisierungsstufe

KI-gesteuerte Kapazitätsplanung der gesamten Prozesskette und Steuerung des Bauprozesses

Technologien / Use Cases

Der Bauprozess inkl. seiner vor- und nachgelagerten Stufen wie Bauraumaufheizung und Bauteilabkühlung kann gänzlich KI-gesteuert und -überwacht geschehen. Ziel ist es optimale Bauteileigenschaften zu erreichen und/oder Bauteilfehler zu erkennen und diese in der Nachbearbeitung und QS zu beheben bzw. zu beurteilen.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Sensoren/Kameras zur Überwachung des Bauraumes und des fertigen Bauteils, Automatische in situ Änderung von Parametern durch KI, Weitergabe von Informationen/Auswertungen der KI an QS, Zugang zu Rechenleistung für Echtzeit-Auswertung und -Simulationen

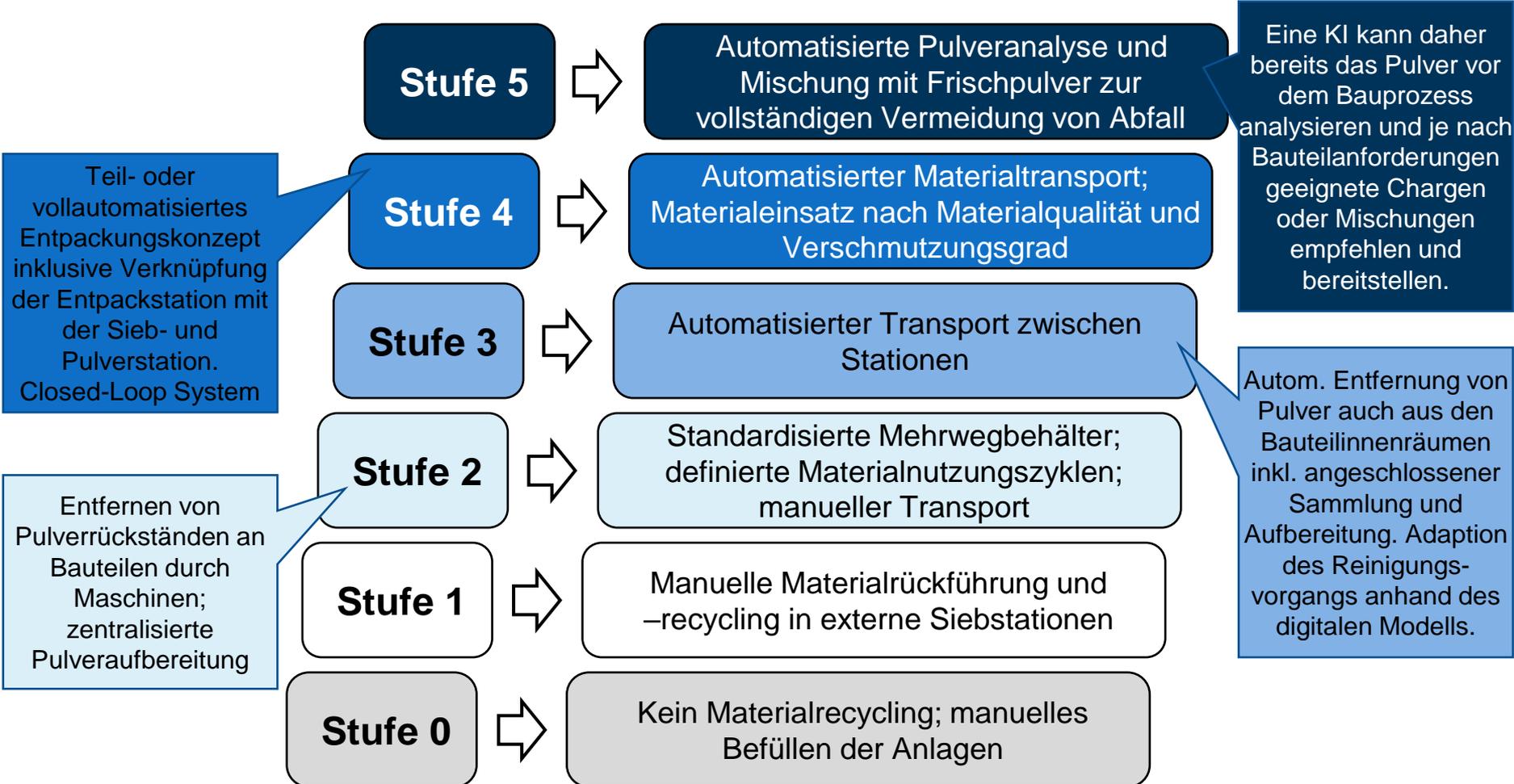
Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘
Personalkosten	↗
Prozesskosten	↑
Materialkosten	↗

Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Maschineneffizienz	↑
Flexibilität v. Prozessabläufen	↗

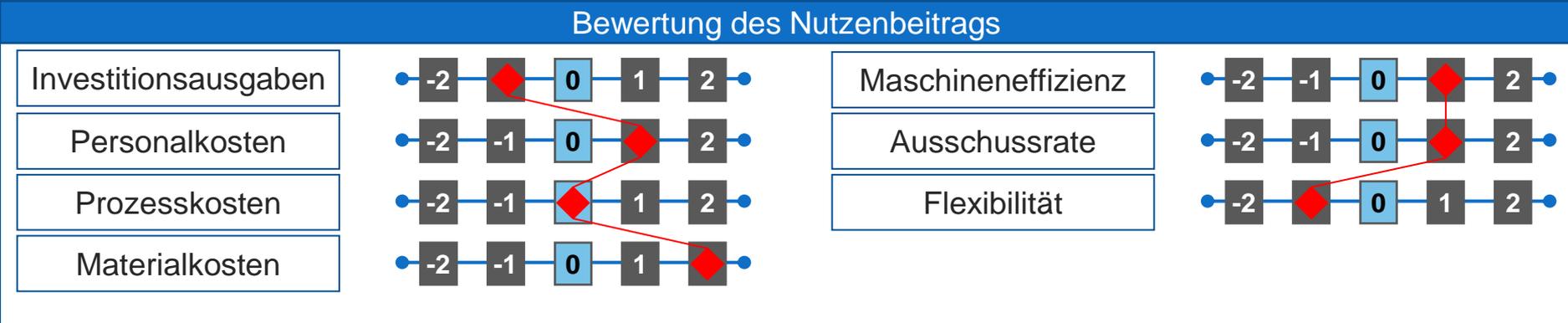
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

## Materialkreislauf

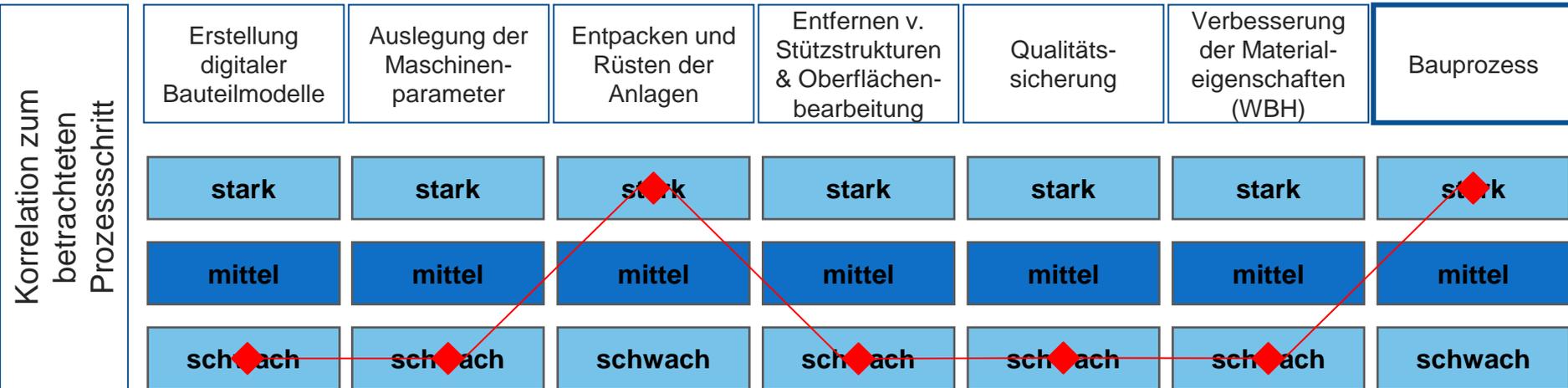


# Bewertung der Industrialisierung

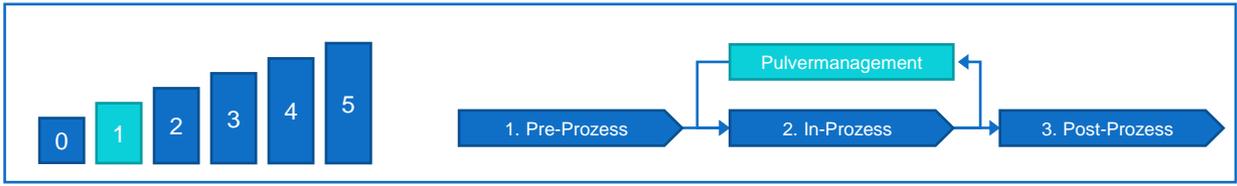
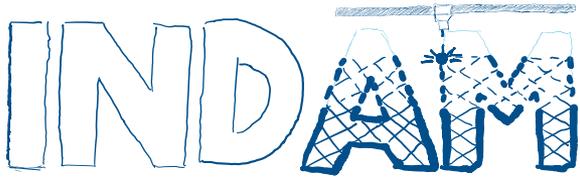
## Materialkreislauf



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Materialkreislauf

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Kein Materialrecycling; manuelles Befüllen der Anlagen

Technologien / Use Cases

Materialkontrolle vor Benutzung in Bezug auf chemische Zusammensetzung, thermische Eigenschaften, Dichte, Feuchtigkeit und Fließeigenschaften

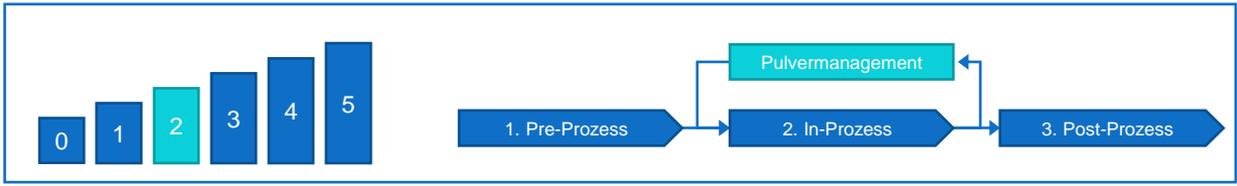
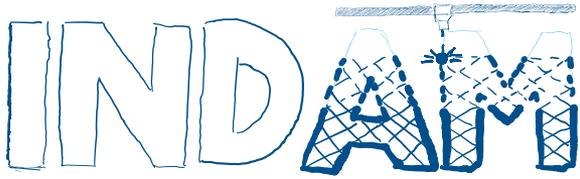
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Geeignete Betriebsmittel, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit Testeinrichtungen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↑	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	↘	Maschineneffizienz	↘
Prozesskosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	↑
Materialkosten	↓		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Materialkreislauf

Stufe 2

**Pulverentfernung**

Industrialisierungsstufe

Manuelle Materialrückführung und -recycling in externe Siebstationen

Technologien / Use Cases

Entfernen von Pulverrückständen an Bauteilen durch Rüttelmaschinen, Absaugungs- und Druckluftanlagen; zentralisierte Pulveraufbereitung in Siebstationen

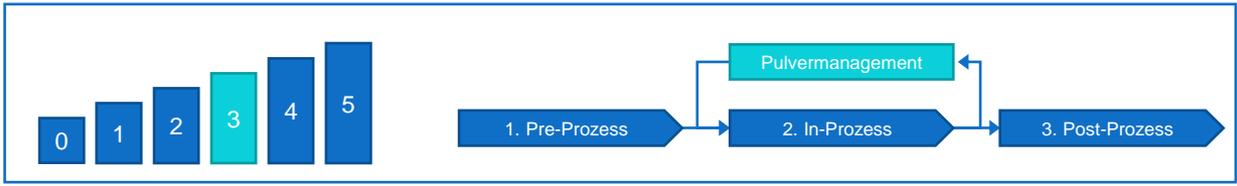
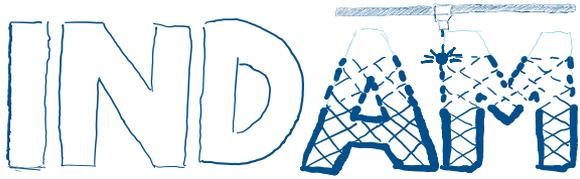
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anschaffung von Maschinen; Integration in additive Fertigungsanlagen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	⬆		

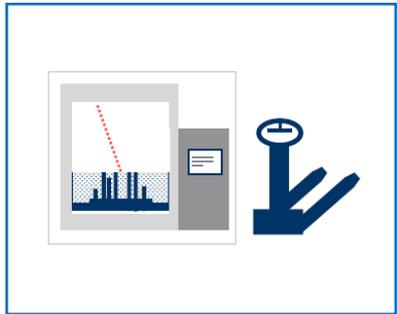
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Materialkreislauf

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

Automatisierter Transport zwischen Stationen

Technologien / Use Cases

Automatische Entfernung von Pulver auch aus den Bauteilinnenräumen inklusive angeschlossener Pulversammlung und Pulveraufbereitung. Adaption des Reinigungsvorgangs anhand des digitalen Modells. Transport von Pulver durch AGVs

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

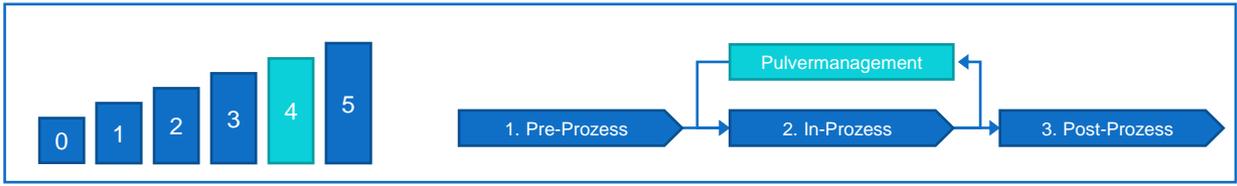
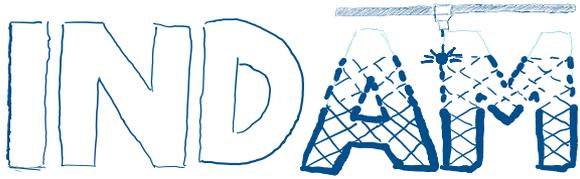
Anschaffung von automatisierten Reinigungsmaschinen. Anbindung der Maschinen an digitale Prozesskette, um den Zugriff auf den digitalen Zwilling zu ermöglichen. AGVs, Schulung der Mitarbeiter.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓
Personalkosten	↑
Prozesskosten	→
Materialkosten	↗

Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Maschineneffizienz	↗
Flexibilität v. Prozessabläufen	↘

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Materialkreislauf

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Automatisierter Materialtransport

Technologien / Use Cases

Teil- oder vollautomatisiertes Entpackungskonzept inklusive Verknüpfung der Entpackstation mit der Sieb- und Pulverstation. Pulvertransport über zentrale Druckluftverbindung in Rohrsystemen ermöglicht ein closed-loop Pulversystem.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

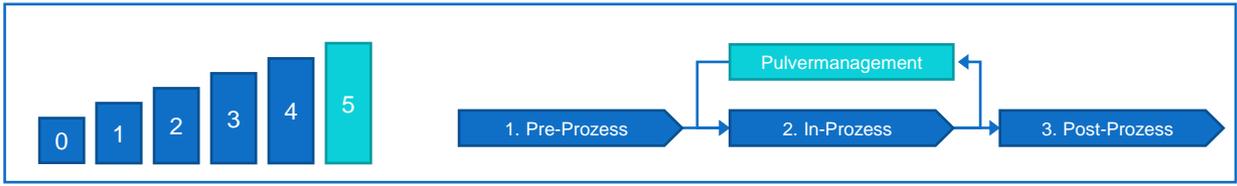
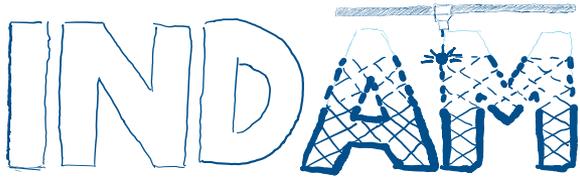
Aufspaltung der Produktionseinheit und Nachbearbeitungseinheit in der Anlagenarchitektur. Anpassung der Produktionsflächen für den Einsatz autonomer Systeme. Schulung des Personals.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓
Personalkosten	→
Prozesskosten	→
Materialkosten	→

Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Maschineneffizienz	→
Flexibilität v. Prozessabläufen	↓

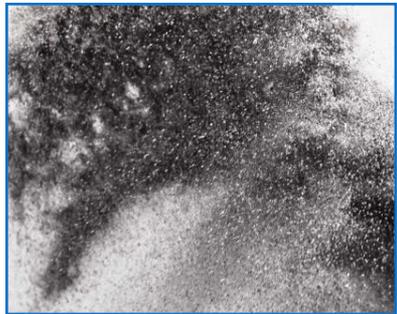
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Materialkreislauf

Stufe 5



Industrialisierungsstufe

Automatisierte Pulveranalyse und Mischung mit Frischpulver zur vollständigen Vermeidung von Abfall

Technologien / Use Cases

Zur Erreichung optimaler Bauteileigenschaften ist das Pulver als einziger Ausgangsstoff von elementarer Bedeutung. Eine KI kann daher bereits das Pulver vor dem Bauprozess analysieren und je nach Bauteilanforderungen geeignete Chargen oder Mischungen empfehlen und bereitstellen.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

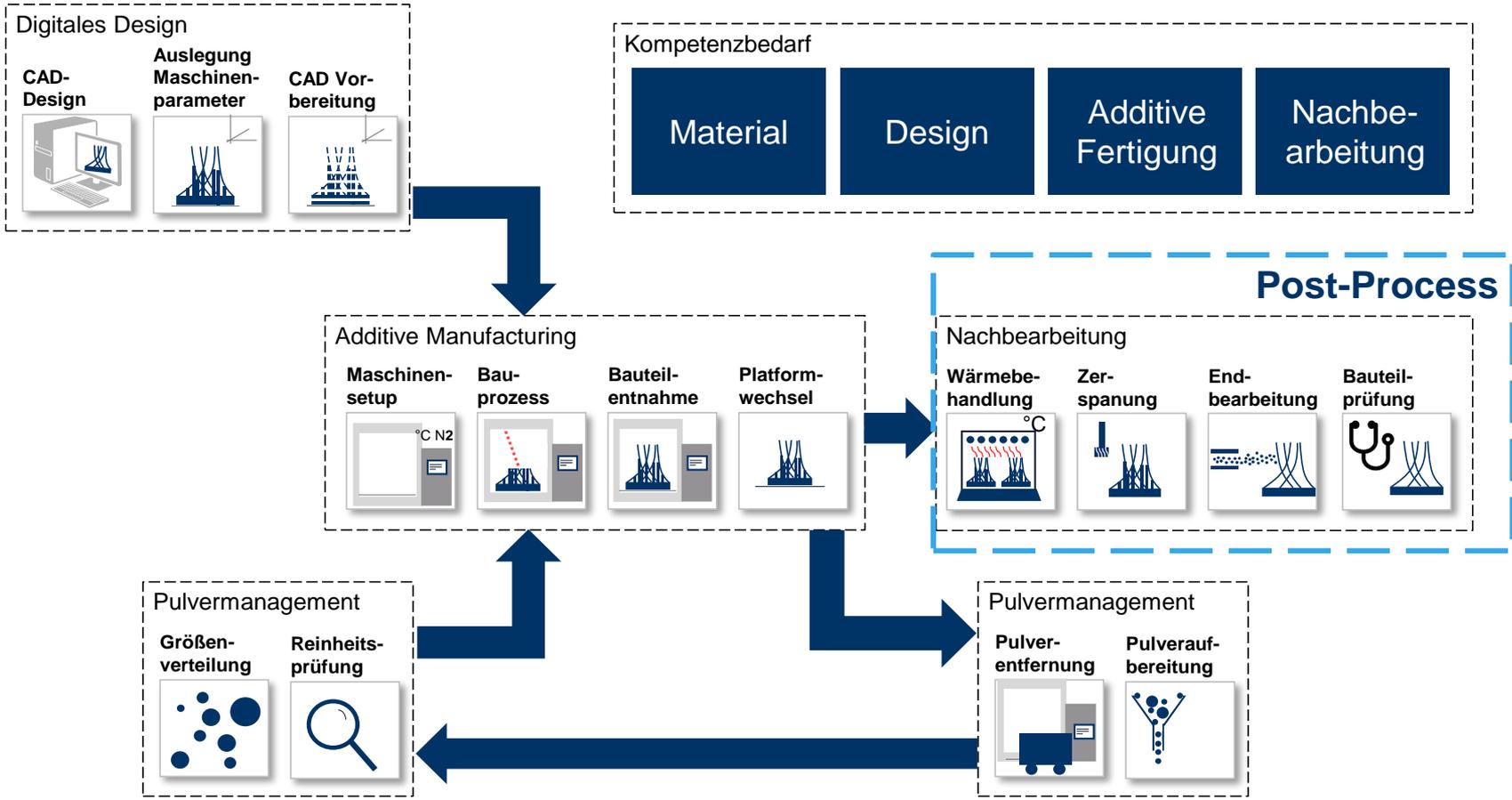
Sensorik um Pulver zu analysieren und Mischverhältnisse von Alt- und Neu-Pulver anzupassen; Anpassung vollautomatisch oder via Anzeigen von Information für Mitarbeiter; Kenntnis von Bauteilanforderungen und Trainingssets; Zugang zu Rechenleistung für Simulationen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	→
Prozesskosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	↗		

- 1 Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**
- 2 Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**
- 3 Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**
- 4 Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**
- 5 Industrialisierungsansätze im Bauprozess**
- 6 Industrialisierungsansätze im Post-Processing**
- 7 Literaturverzeichnis**

# Die Industrialisierung der additiven Fertigung ...



**➔** ... erfordert die ganzheitliche Berücksichtigung der Prozesskette



## Entfernen der Stützstrukturen

Stützstrukturen sind nach dem additiven Fertigungsprozess zu entfernen und die Oberfläche der Bauteile auf die gewünschte Kontur und Oberflächengüte zu bringen

## Verbesserung der Materialeigenschaften

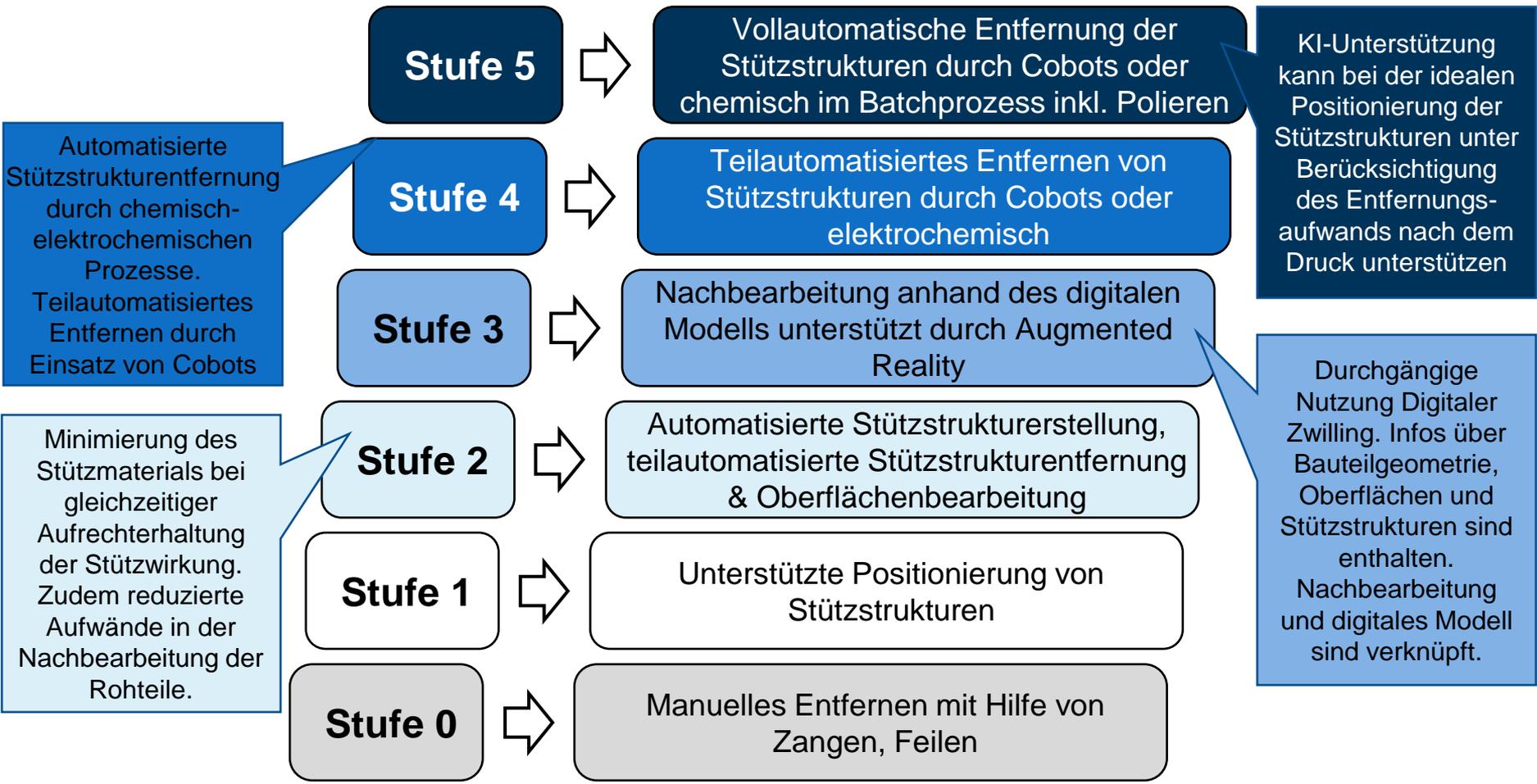
Verschiedene Prozesse zur Wärme- und Oberflächenbehandlung werden im Anschluss an den additiven Fertigungsprozess eingesetzt, um die Materialeigenschaften zu verbessern.

## Qualitätssicherung

Die Einsatzfähigkeit additive gefertigter Bauteile ist durch teils aufwändige Prüfmethode sicherzustellen. Durch die in-situ Prozessüberwachung kann ein Großteil der Aufwände entfallen.

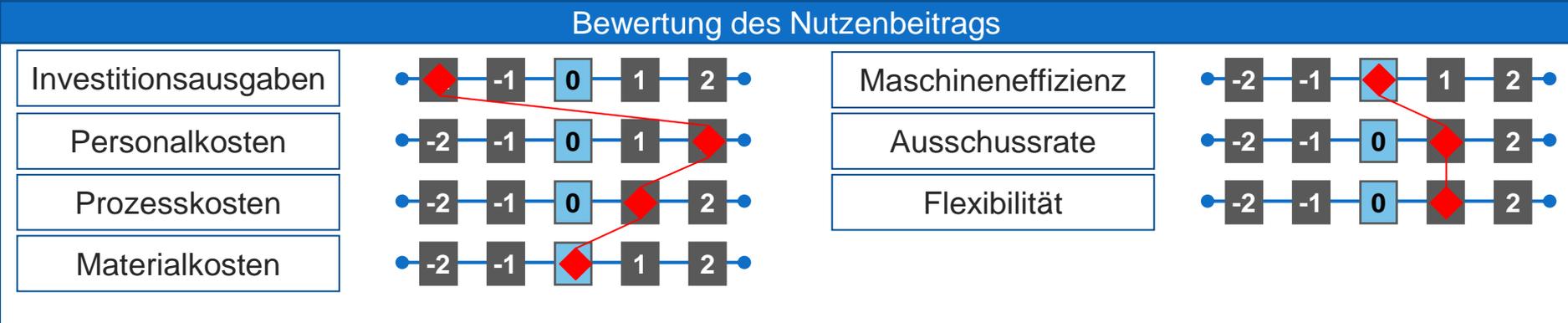
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

## Entfernen v. Stützstrukturen & Oberflächenbearbeitung

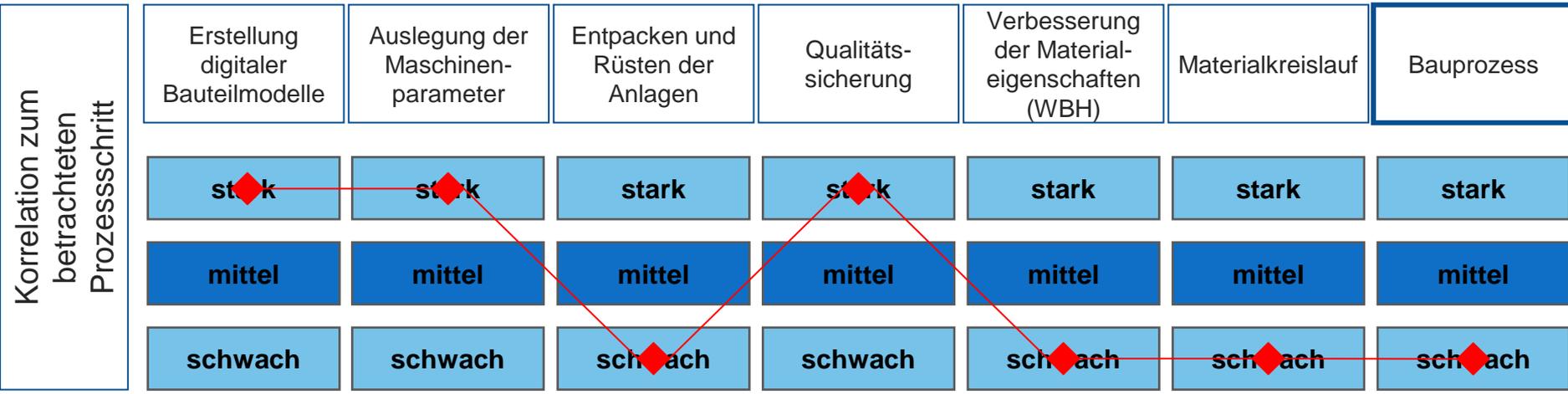


# Bewertung der Industrialisierung

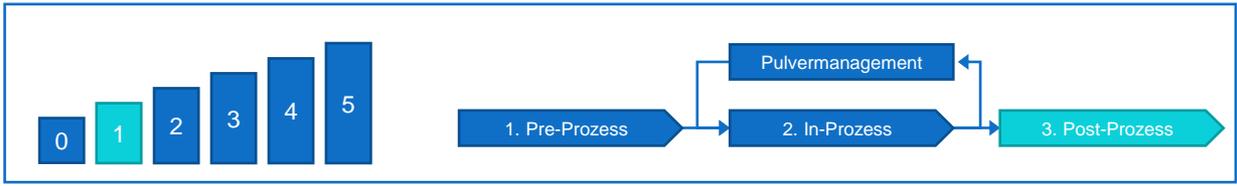
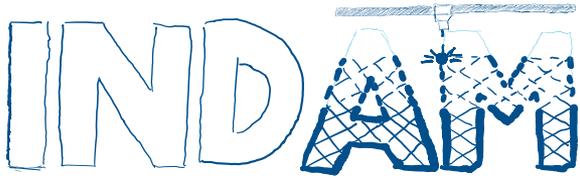
## Entfernen v. Stützstrukturen/ Oberflächenbearbeitung



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



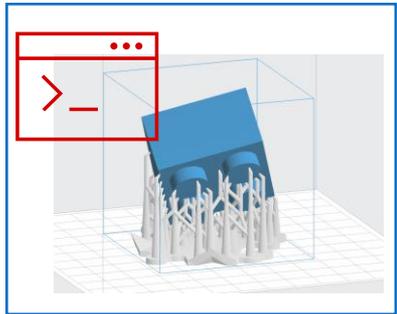
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen und Oberflächenbearbeitung

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Unterstützte Positionierung von Stützstrukturen

Technologien / Use Cases

Softwarelösungen erarbeiten einen Vorschlag zur Positionierung von Stützstrukturen; manuelle Anpassung der Positionierung und der Schnittstellen notwendig.

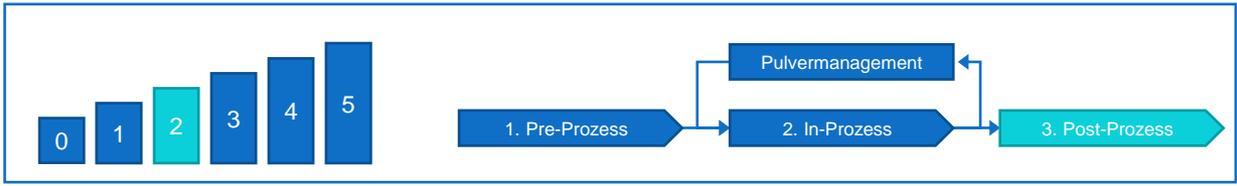
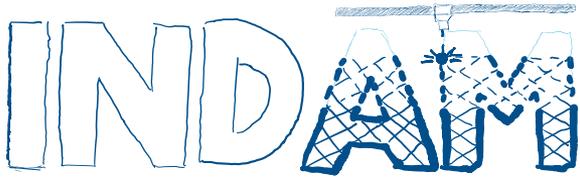
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software zur Designanpassung, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit der Software

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	⬇
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

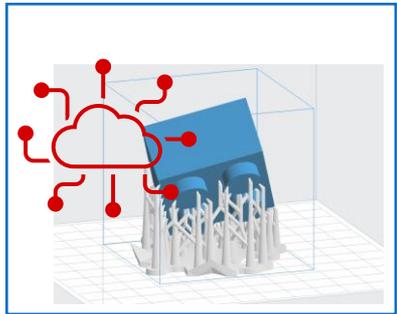
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen und Oberflächenbearbeitung

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Automatisierte Stützstrukturerstellung, teilautomatisierte Stützstrukturentfernung & Oberflächenbearbeitung

Technologien / Use Cases

Minimierung des Stützmaterials bei Aufrechterhaltung der Stützwirkung. Zudem reduzierte Aufwände in der Nachbearbeitung der Rohteile. Stützstrukturtypen Punkt, Linie, Winkel, Netz, Kontur, Block, Volumen, Kegel und Baumstrukturen

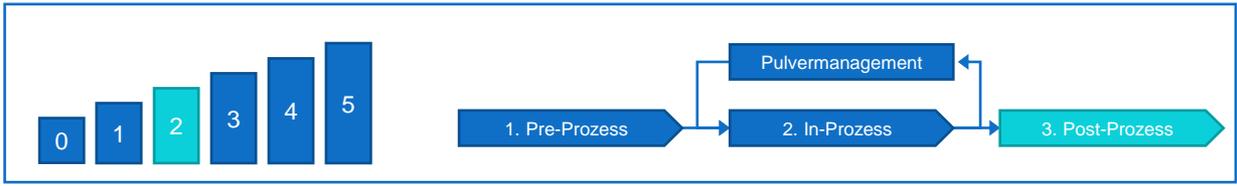
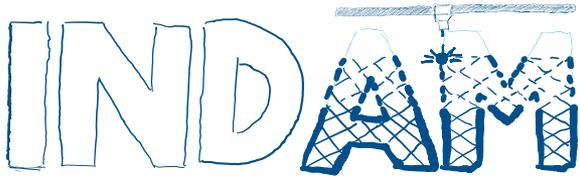
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software zur Designanpassung, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit der Software

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

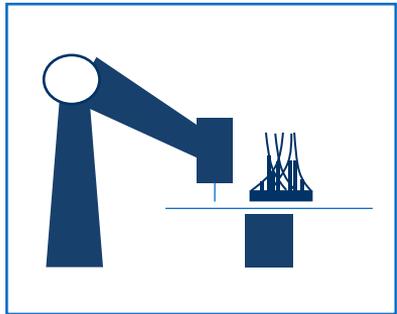
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen und Oberflächenbearbeitung

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Automatisierte Stützstrukturerstellung, teilautomatisierte Stützstrukturentfernung & Oberflächenbearbeitung

Technologien / Use Cases

Trennen der Stützstrukturen vom Bauteil mittels Bandsäge und das Drahterodieren. Entfernen der Stützstrukturen mittels thermischem Entgraten oder chemisches Entfernen von Stützstrukturen. Oberflächennachbearbeitung im Rundtrogvibrator

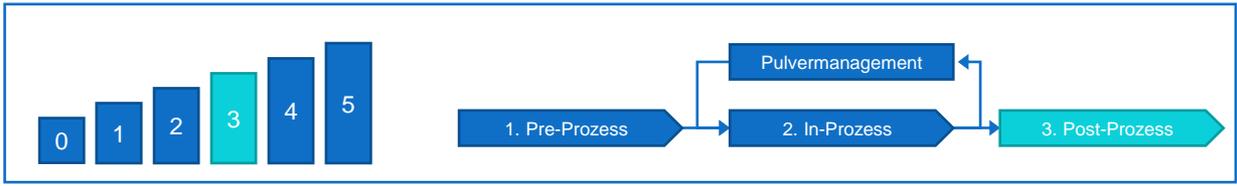
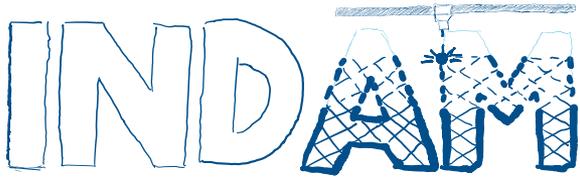
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software zur Designanpassung, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit der Software, Erweiterung des Maschinenparks um die entsprechende Technologie, Schulung der Fertigungsmitarbeiter

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	→
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	↘
Prozesskosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

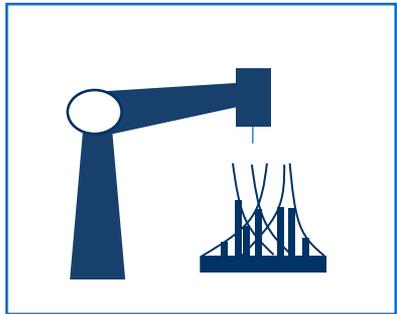
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen und Oberflächenbearbeitung

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

Nachbearbeitung anhand des digitalen Modells unterstützt durch Augmented Reality

Technologien / Use Cases

Durchgängiger Digitalen Zwillings; Informationen über Bauteilgeometrie, Oberflächenbeschaffenheit und zu entfernende Stützstrukturen sind enthalten. Nachbearbeitung und digitales Modell sind verknüpft. Augmented Reality zur Unterstützung der Mitarbeiter zum Geometrieabgleich.

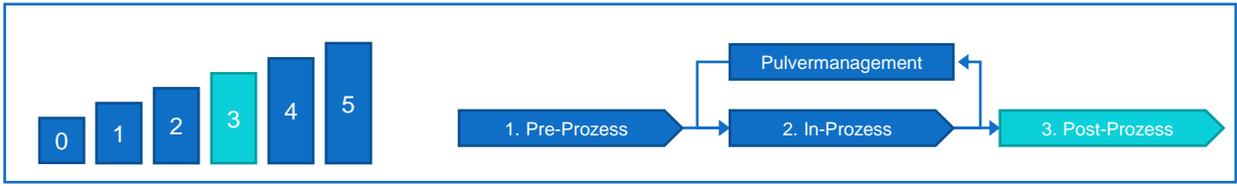
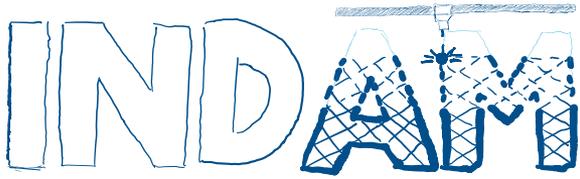
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Software zur Erstellung des digitalen Zwillings, Anbindung des Maschinenparks an Softwarelösungen zur Nutzung der Möglichkeiten des digitalen Zwillings, Schulung der Mitarbeiter im Softwareumgang und in der Fertigung.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	↗	Maschineneffizienz	↘
Prozesskosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen	↗
Materialkosten	↗		

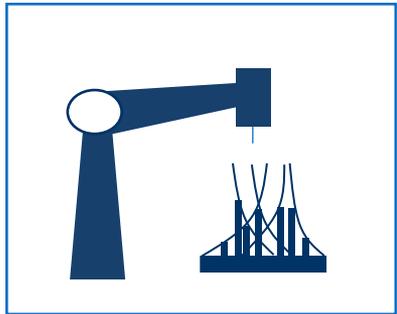
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen und Oberflächenbearbeitung

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

Nachbearbeitung anhand des digitalen Modells unterstützt durch Augmented Reality

Technologien / Use Cases

Glätten und Polieren additiv gefertigter Werkstücke mittels Linear-Force-Finishing; Reduktion der Nachbearbeitungszeit im Rundtrogvibrator und Vermeidung von Schattenbildung

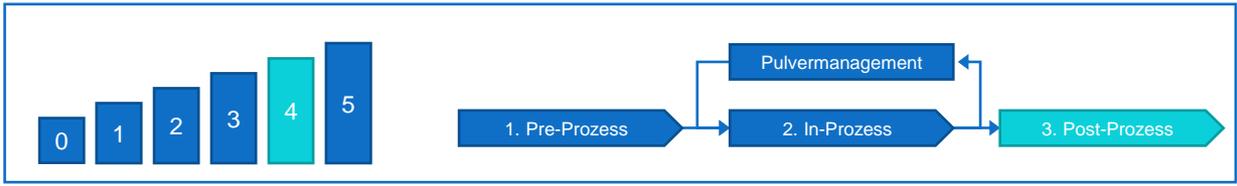
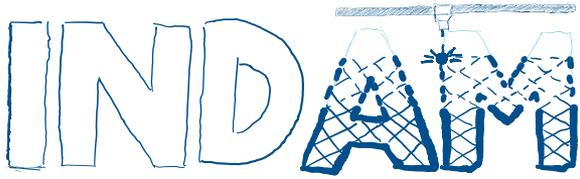
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Anlagentechnologie für Nachbearbeitung, Schulung der Mitarbeiter

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	↑	Maschineneffizienz	↘
Prozesskosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

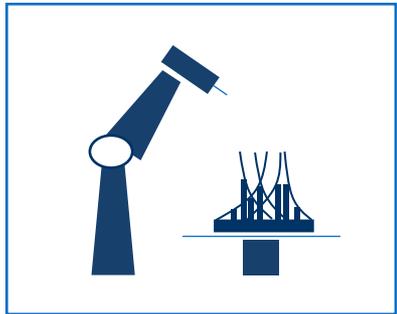
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen und Oberflächenbearbeitung

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Teilautomatisiertes Entfernen von Stützstrukturen durch Cobots oder elektrochemisch

Technologien / Use Cases

Automatisiertes Entfernen von Stützstrukturen durch chemisch-elektrochemischen Prozesse und teilautomatisiertes Entfernen durch Cobots. End-to-End Lösungen inkl. Bauteilerkennung, Handling, Sortieren, Transport und Verpacken der Bauteile.

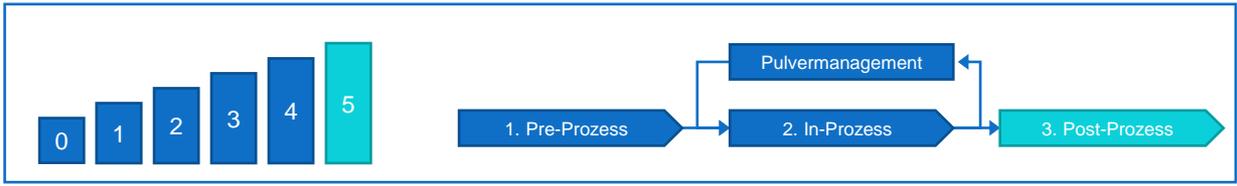
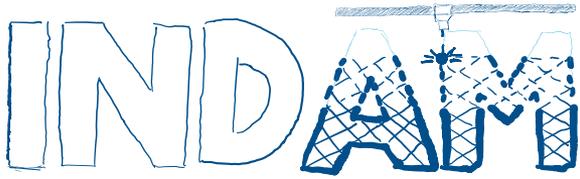
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Erweiterung des Maschinenparks, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit den neuen Verfahren (Gefahrstoffe), Anpassung Bauteildesgin für Anwendung von Cobots/Ätzen,

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↓	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↗
Personalkosten	↑	Maschineneffizienz	↘
Prozesskosten	↗	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

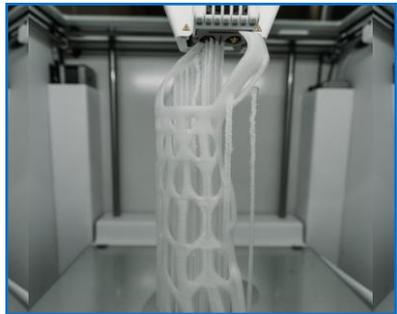
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Entfernen von Stützstrukturen

Stufe 5



Industrialisierungsstufe

Vollautomatische Entfernung der Stützstrukturen durch Cobots oder chemisch im Batchprozess inkl. Polieren

Technologien / Use Cases

KI-Unterstützung kann bei der idealen Positionierung der Stützstrukturen unter Berücksichtigung des Entfernungsaufwands nach dem Druck unterstützen.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

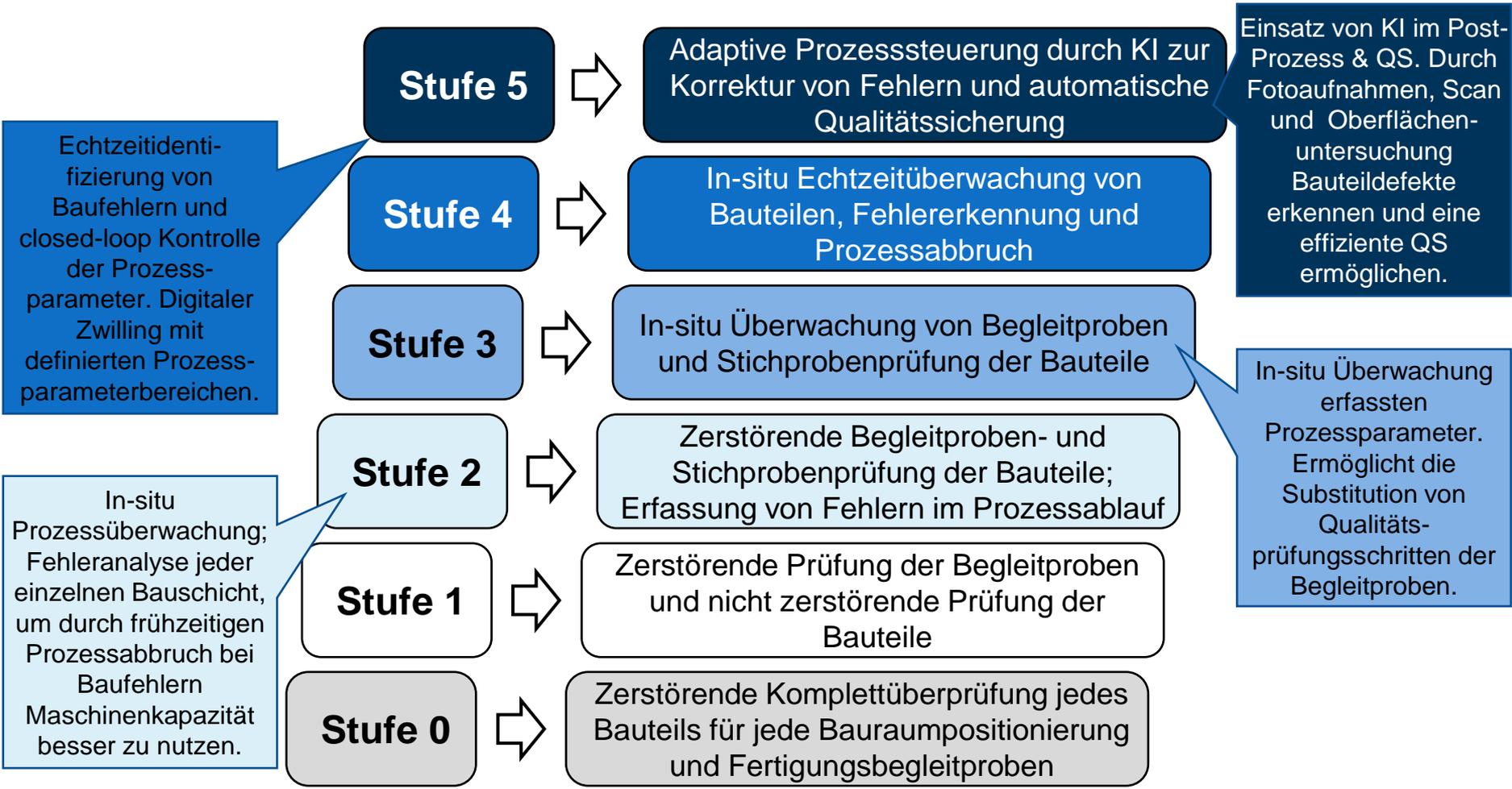
KI inkl. Systemeinbindung, durchgängige, digitale Prozesskette, Kenntnis der KI über betriebsindividuelle Möglichkeiten der (manuellen) Nachbearbeitung, Zugang zu Rechenleistung für Simulationen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

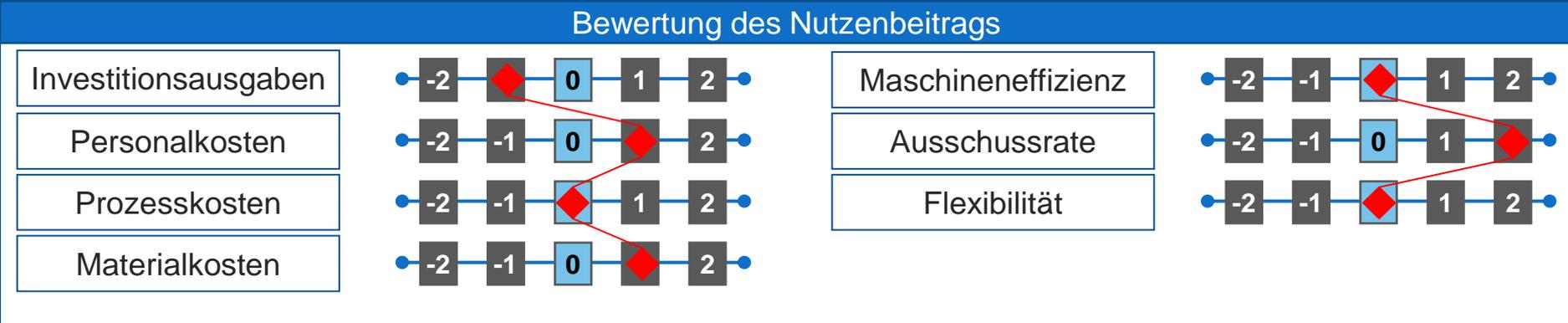
Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	⬆	Maschineneffizienz	⬇
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

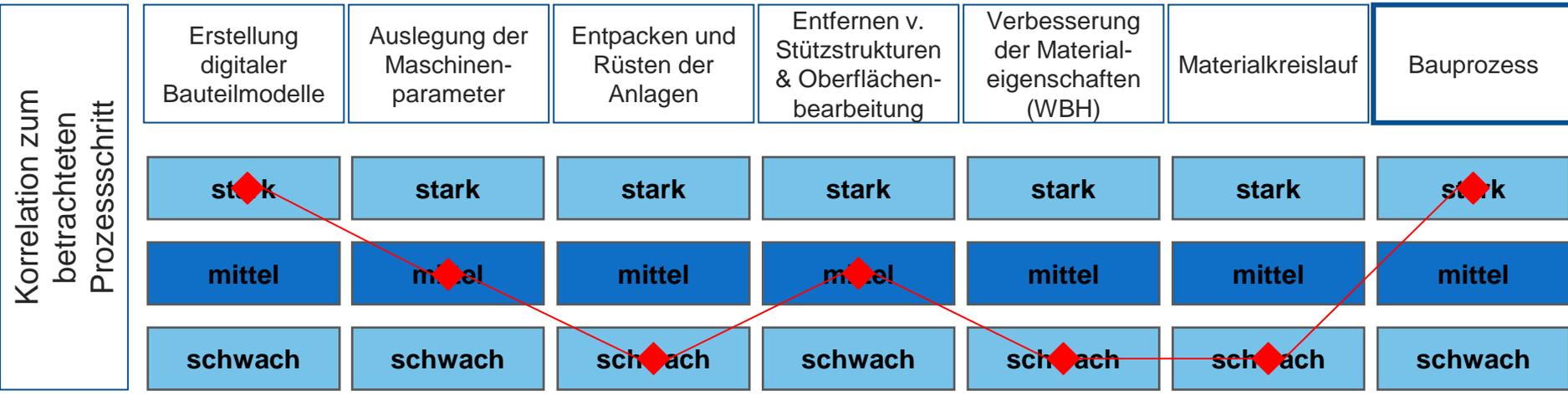
## Qualitätssicherung



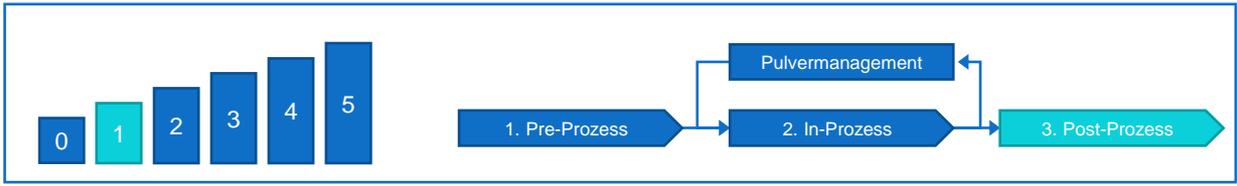
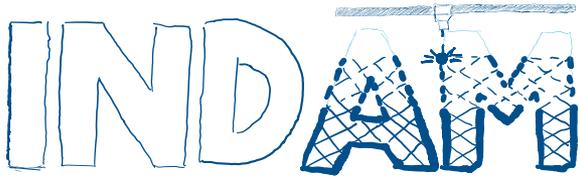
# Bewertung der Industrialisierung Qualitätssicherung



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



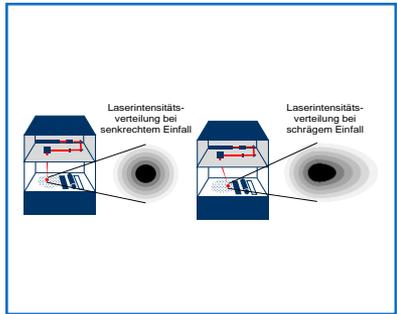
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Qualitätssicherung

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Zerstörende Prüfung der Begleitproben und nicht zerstörende Prüfung der Bauteile

Technologien / Use Cases

Zerstörende Prüfung der Zugproben in Zug- und Dauerbelastungstests, Mikroskopie am Schlibbild. Nicht-zerstörende Methoden, wie der CT-Scan, die Ultraschallprüfung, die Überprüfung der Maßtoleranzen und der Oberflächenqualität

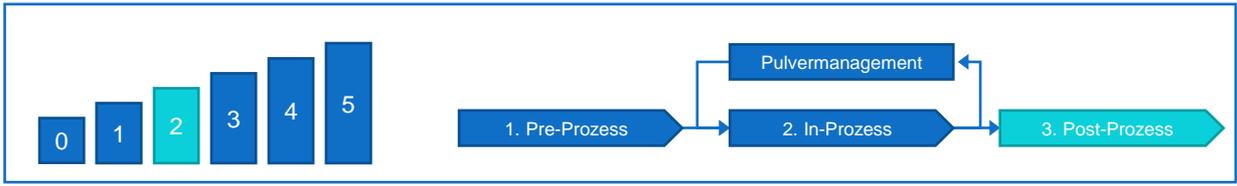
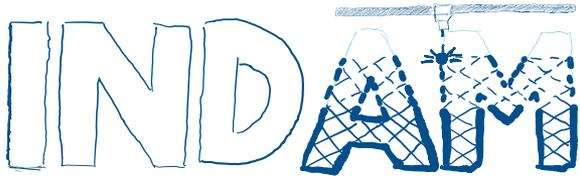
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Prüfmittelverfügbarkeit und Know-how zum Einsatz

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

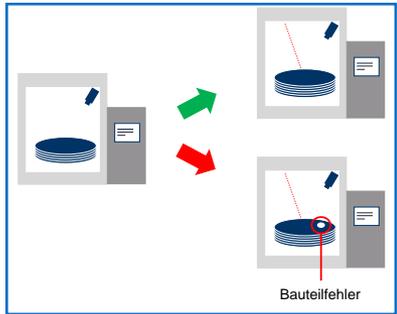
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Qualitätssicherung

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Zerstörende Begleitproben- und Stichprobenprüfung der Bauteile; Erfassung von Fehlern im Prozessablauf

Technologien / Use Cases

In-situ Prozessüberwachung; Fehleranalyse jeder einzelnen Bauschicht, um durch frühzeitigen Prozessabbruch bei Baufehlern Maschinenkapazität besser zu nutzen.

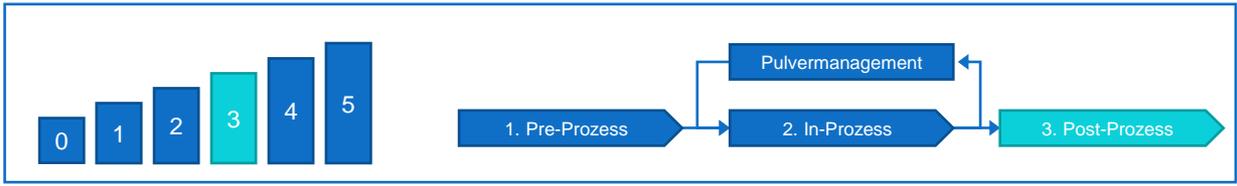
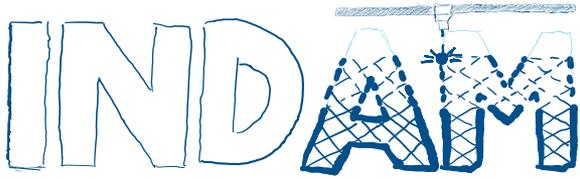
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Aufrüstung der Maschinen, um In-situ Prozessüberwachung. Schulung des Personals. Bestimmung der Fehlergrößen, die zum vorzeitigen Prozessabbruch führen.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

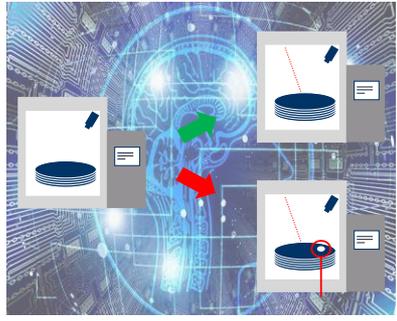
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Qualitätssicherung

Stufe 3



Industrialisierungsstufe

In-situ Überwachung von Begleitproben und Stichprobenprüfung der Bauteile

Technologien / Use Cases

In-situ Überwachung erfassten Prozessparameter. Ermöglicht die Substitution von Qualitätsprüfungsschritten der Begleitproben. Prozessablauf wird stabiler und damit der Output größer.

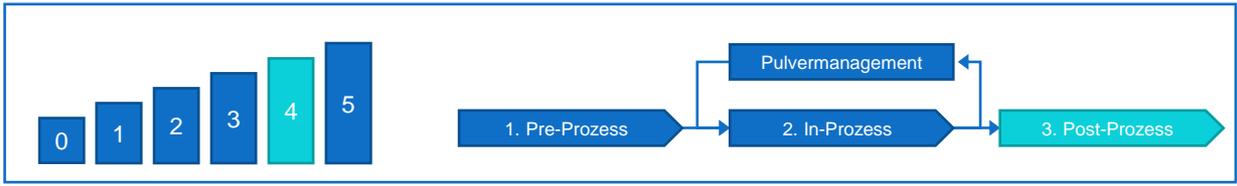
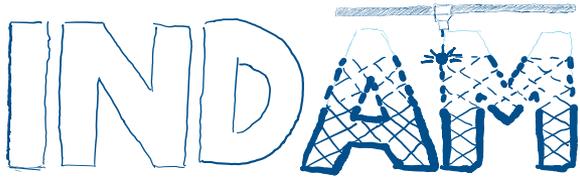
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Aufrüstung der Maschinen, um In-situ Prozessüberwachung. Schulung des Personals. Bestimmung der Fehlergrößen, die zum vorzeitigen Prozessabbruch führen. Rechenkapazität zur Auswertung.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

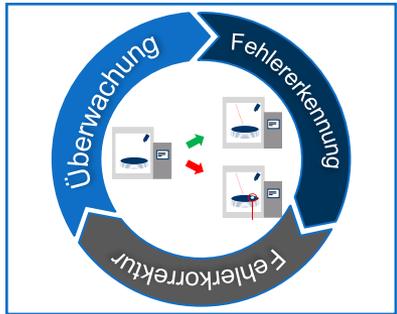
# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Qualitätssicherung

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

In-situ Echtzeitüberwachung von Bauteilen, Fehlererkennung und Prozessabbruch

Technologien / Use Cases

Echtzeitidentifizierung von Baufehlern und closed-loop Kontrolle der Prozessparameter. Digitaler Zwilling mit definierten Prozessparameterbereichen. Adaptive Prozessüberwachung.

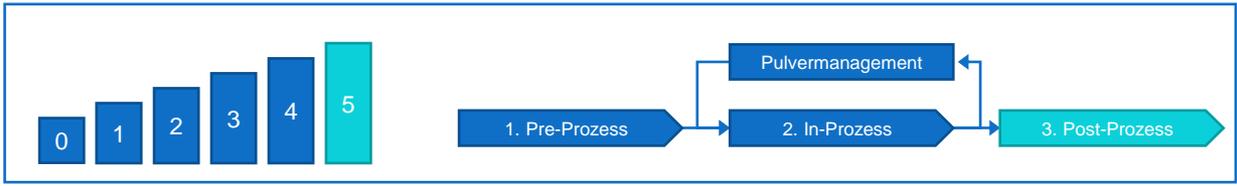
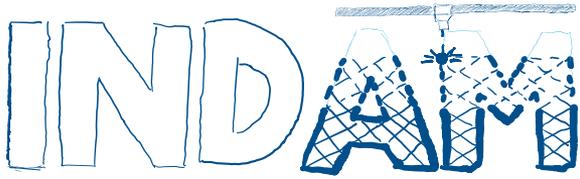
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Machine Learning und KI-Ansätze zum Handling der Datenmenge der Prozessparameter. Erweiterung der AM Maschinen um Prozessüberwachung, Rechenleistung zur Regelung und Schulung des Personals.

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	↘	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	↗	Maschineneffizienz	→
Prozesskosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	↗		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Qualitätssicherung

Stufe 5



Industrialisierungsstufe

Adaptive Prozesssteuerung zur Korrektur von Fehlern und automatische Qualitätssicherung (QS)

Technologien / Use Cases

Die adaptive Prozesssteuerung beginnt bereits in Stufe 2, jedoch kann auch im Post-Prozess in der QS eine KI zum Einsatz kommen. Diese kann hier mit Fotoaufnahmen, Scans, Oberflächenuntersuchung und weiteren Verfahren Bauteildefekte erkennen und so schnelle und präzise QS durchführen.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

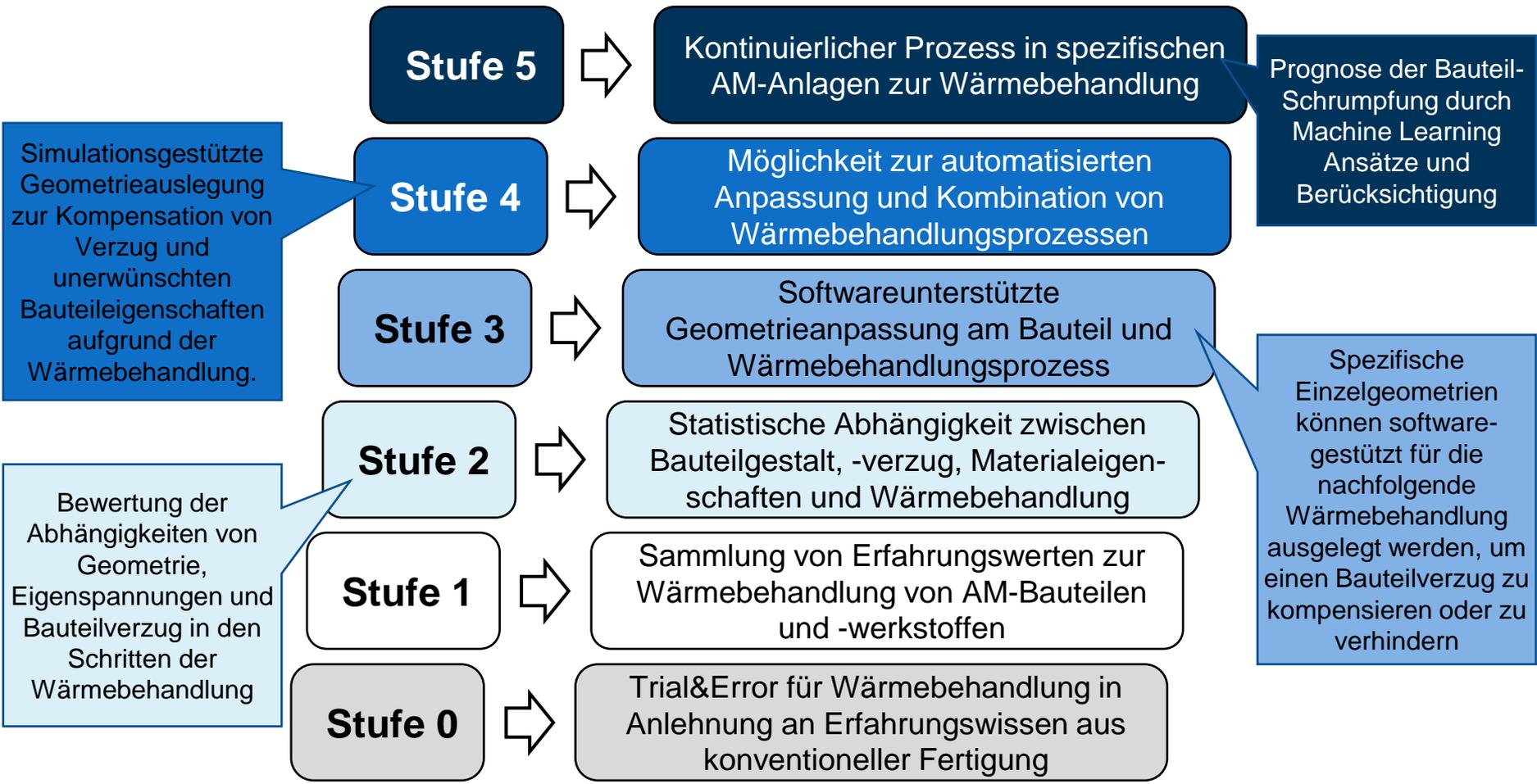
Sensoren und Kameras um Bauteile nach dem Druck zu analysieren, Darstellung von Informationen für Mitarbeiter, Einschätzung der Gewichtung von Bauteildefekten je nach Anforderung, Zugang zu Rechenleistung für Simulationen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	→	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	↑
Personalkosten	→	Maschineneffizienz	→
Prozesskosten	→	Flexibilität v. Prozessabläufen	→
Materialkosten	→		

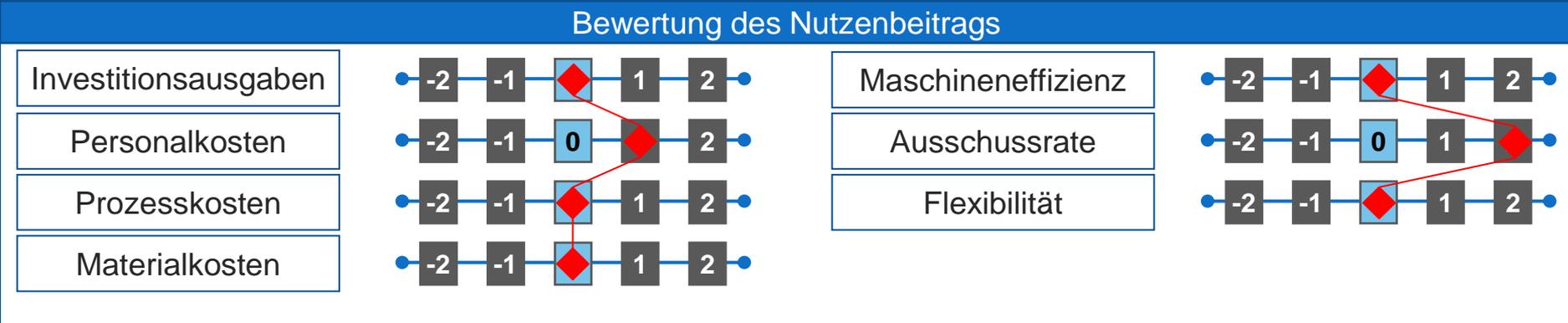
# Industrialisierungsansätze der additiven Fertigung

## Verbesserung der Materialeigenschaften

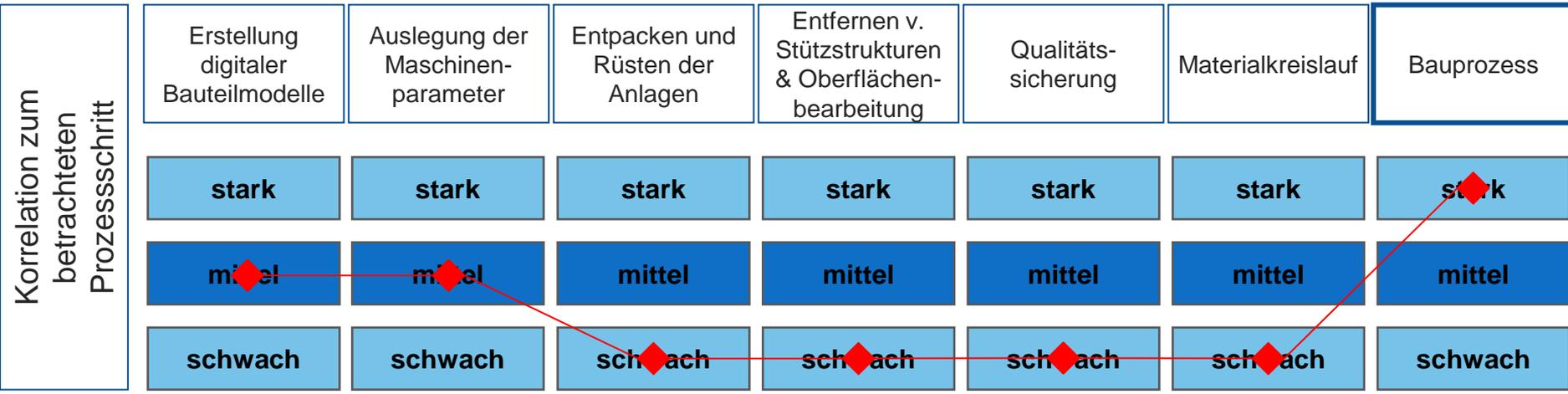


# Bewertung der Industrialisierung

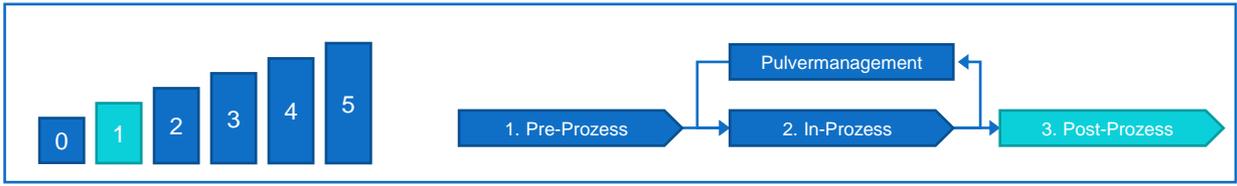
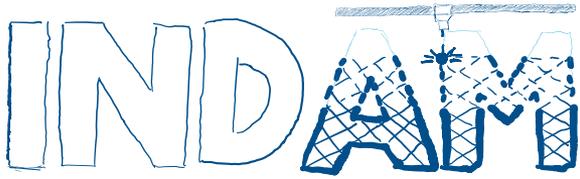
## Verbesserung der Materialeigenschaften (WBH)



*Die Bewertung des Nutzenbeitrags durch Steigerung der Industrialisierung bezieht sich auf die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und die anfallenden Kosten in Summe.*



# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Verbesserung der Materialeigenschaften

Stufe 1



Industrialisierungsstufe

Sammlung von Erfahrungswerten zur Wärmebehandlung

Technologien / Use Cases

Wärmebehandlung in konventionellen Sinter- und Wärmebehandlungsöfen

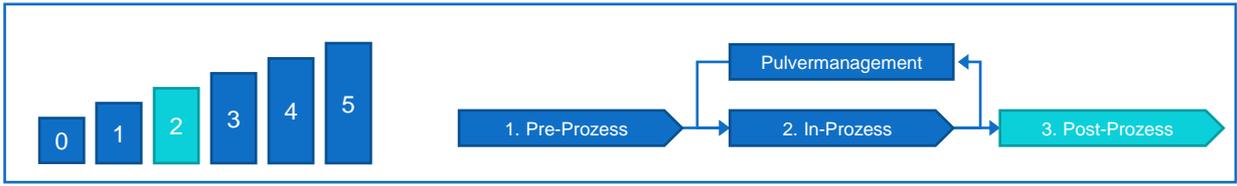
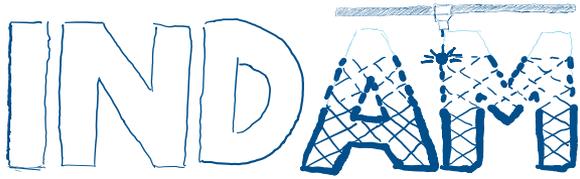
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Vorhandene Anlagen zur Wärmebehandlung und Erfahrungen in Bezug auf das Materialverhalten

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Verbesserung der Materialeigenschaften

Stufe 2



Industrialisierungsstufe

Statistische Abhängigkeit zwischen Bauteilgestalt, -verzug, Materialeigenschaften und Wärmebehandlung

Technologien / Use Cases

Bewertung der Abhängigkeiten von Geometrie, Eigenspannungen und Bauteilverzug in den Schritten der Wärmebehandlung

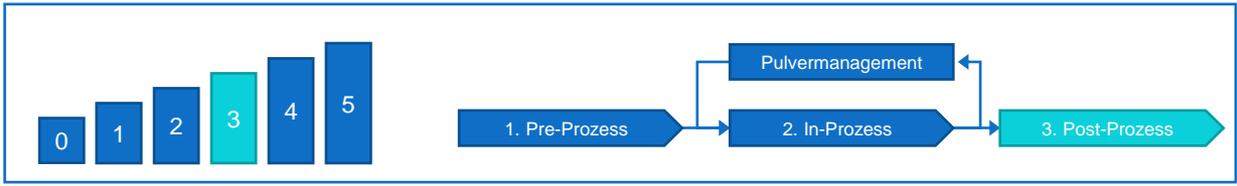
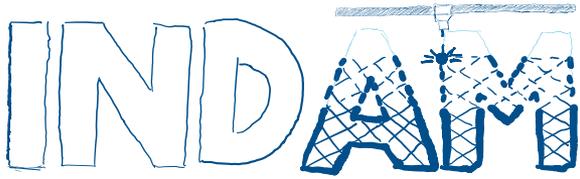
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Sammlung und Aufbereitung statistischer Zusammenhänge, hochqualifiziertes Personal zur Bauteilauslegung

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



**Industrialisierungsbereich**

Verbesserung der Materialeigenschaften

Stufe 3



**Industrialisierungsstufe**

Softwareunterstützte Geometrieangepassung am Bauteil und Wärmebehandlungsprozess

**Technologien / Use Cases**

Spezifische, häufig wiederkehrende Einzelgeometrien können softwaregestützt für die nachfolgende Wärmebehandlung ausgelegt werden, um einen Bauteilverzug zu kompensieren oder zu verhindern

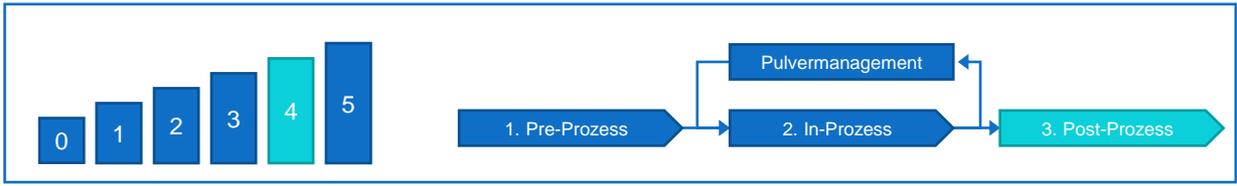
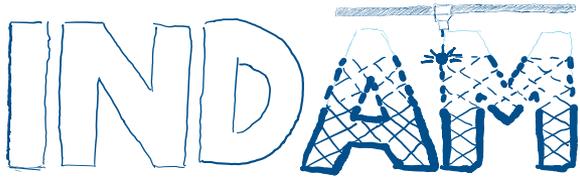
**Technische & Organisatorische Voraussetzungen**

Verfügbarkeit von Software, Mitarbeiterschulung im Umgang mit der Software, Know-how in Bezug auf die Bauteilauslegung und zur Bewertung von Geometrieänderungen

**Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:**  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	➔
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Verbesserung der Materialeigenschaften

Stufe 4



Industrialisierungsstufe

Möglichkeit zur automatisierten Anpassung und Kombination von Wärmebehandlungsprozessen

Technologien / Use Cases

Simulationsgestützte Geometrieauslegung zur Kompensation von Verzug und unerwünschten Bauteileigenschaften aufgrund der Wärmebehandlung. Kombination der Wärmebehandlungsprozesse in einer Anlage.

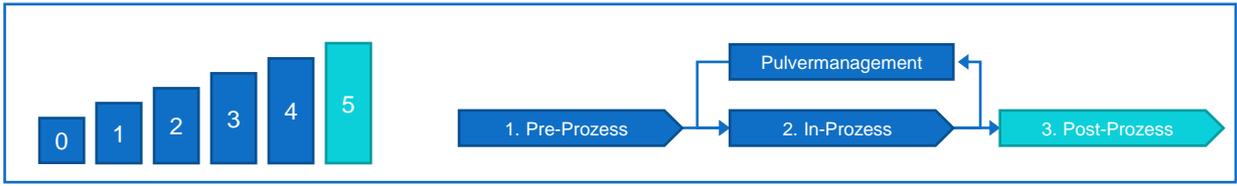
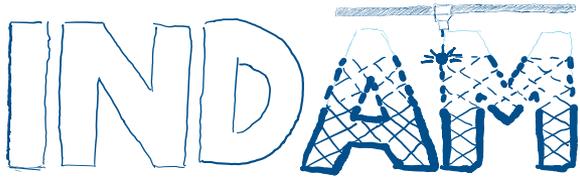
Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Erweiterung des Maschinenparks, Schulung der Mitarbeiter im Umgang mit den Verfahren

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	⬆
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

# Steckbrief der Industrialisierungsansätze



Industrialisierungsbereich

Verbesserung der Materialeigenschaften

Stufe 5



Industrialisierungsstufe

Kontinuierlicher Prozess in spezifischen AM-Anlagen zur Wärmebehandlung

Technologien / Use Cases

Um die gewünschten Bauteileigenschaften zu erreichen kann es beim Sintern zu einer Schrumpfung von bis zu 18% kommen, was durch Machine Learning Ansätze vorhergesagt und berücksichtigt werden kann.

Technische & Organisatorische Voraussetzungen

Genauere Kenntnis der KI von Bauteilanforderungen und chargenweisen Materialeigenschaften, (In Situ) Änderung von Designparametern wie Toleranzen und/oder Parameter im Prozess zu, Zugang zu Rechenleistung für (Echtzeit-) Simulationen

Nutzenbeitrag im Vergleich zur vorherigen Stufe:  
↑ steigt  
↓ sinkt

Investitionsausgaben	➔	Niedrigere Ausschussrate (mehr Gutteile) durch verbesserte Qualität & Reproduzierbarkeit	⬆
Personalkosten	➔	Maschineneffizienz	➔
Prozesskosten	➔	Flexibilität v. Prozessabläufen	➔
Materialkosten	➔		

- 1 Präsentation des Forschungsinsituts für Logistik und Unternehmensführung der Technischen Universität Hamburg**
- 2 Präsentation des Forschungsinistuts Unternehmensführung, Logistik und Produktion der Technischen Universität München**
- 3 Kurzvorstellung des Forschungsprojekts**
- 4 Industrialisierungsansätze im Pre-Processing**
- 5 Industrialisierungsansätze im Bauprozess**
- 6 Industrialisierungsansätze im Post-Processing**
- 7 Literaturverzeichnis**

**Baumgartl, Hermann; Tomas, Josef; Buettner, Ricardo; Merkel, Markus (2020):**

A deep learning-based model for defect detection in laser-powder bed fusion using in-situ thermographic monitoring. In: *Progress in Additive Manufacturing* 5 (3), S. 277–285. DOI: 10.1007/s40964-019-00108-3.

**Bin Maidin, Shajahan; Campbell, Ian; Pei, Eujin (2012):**

Development of a design feature database to support design for additive manufacturing. In: *Assembly Automation* 32 (3), S. 235–244.

**Brøtan, Vegard; Fahlström, Johan; Sørby, Knut (2016):**

Industrialization of Metal Powder Bed Fusion through Machine Shop Networking. In: *Procedia CIRP* 54, S. 181–185. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.089.

**Cui, Wenyuan; Zhang, Yunlu; Zhang, Xinchang; Li, Lan; Liou, Frank (2020):**

Metal Additive Manufacturing Parts Inspection Using Convolutional Neural Network. In: *Applied Sciences* 10 (2), S. 545. DOI: 10.3390/app10020545.

**DeCost, Brian L.; Jain, Harshvardhan; Rollett, Anthony D.; Holm, Elizabeth A. (2017):**

Computer Vision and Machine Learning for Autonomous Characterization of AM Powder Feedstocks. In: *JOM* 69 (3), S. 456–465. DOI: 10.1007/s11837-016-2226-1.

**Douard, Amelina; Grandvallet, Christelle; Pourroy, Franck; Vignat, Frederic (2018):**

An Example of Machine Learning Applied in Additive Manufacturing. In: 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Bangkok, 16.12.2018 - 19.12.2018: IEEE, S. 1746–1750.

**Doubrovski, E. L.; Verlinden, J. C.; Horvath, I. (2012):**

First Steps towards Collaboratively Edited Design for Additive Manufacturing Knowledge. Austin, TX. In: *Solid Freeform Fabrication Symposium*, S. 891–901, zuletzt geprüft am 09.07.2020.

**EOS (2017):**

EOSPRINT 2.0. Intuitives, produktives und offenes CAM-Tool für den industriellen 3D-Druck. Online verfügbar unter <https://www.eos.info/de/ueber-eos/pressemitteilungen/eosprint-2-0-intuitives-produktives-und-offenes-cam-tool-fuer-den-industriellen-3d-druck>, zuletzt aktualisiert am 25.09.2020, zuletzt geprüft am 25.09.2020.

**Everton, Sarah K.; Hirsch, Matthias; Stravroulakis, Petros; Leach, Richard K.; Clare, Adam T. (2016):**

Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing. In: *Materials & Design* 95, S. 431–445. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.01.099.

**Garrelts, Enno; Roth, Daniel; Binz, Hansgeorg (2019):**

A Straightforward Approach to the Derivation of Topologies. In: *Proc. Int. Conf. Eng. Des.* 1 (1), S. 2657–2666. DOI: 10.1017/dsi.2019.272.

**Khorasani, AmirMahyar; Gibson, Ian; Veetil, Jithin Kozhuthala; Ghasemi, Amir Hossein (2020):**

A review of technological improvements in laser-based powder bed fusion of metal printers. In: *Int J Adv Manuf Technol* 108 (1-2), S. 191–209. DOI: 10.1007/s00170-020-05361-3.

**Lee, Seulbi; Peng, Jian; Shin, Dongwon; Choi, Yoon Suk (2019):**

Data analytics approach for melt-pool geometries in metal additive manufacturing. In: *Science and technology of advanced materials* 20 (1), S. 972–978. DOI: 10.1080/14686996.2019.1671140.

- Liu, Jie; Hu, Youmin; Wu, Bo; Wang, Yan (2018):** An improved fault diagnosis approach for FDM process with acoustic emission. In: *Journal of Manufacturing Processes* 35, S. 570–579. DOI: 10.1016/j.jmapro.2018.08.038.
- Mondal, Sudeepta; Gwynn, Daniel; Ray, Asok; Basak, Amrita (2020):** Investigation of Melt Pool Geometry Control in Additive Manufacturing Using Hybrid Modeling. In: *Metals* 10 (5), S. 683. DOI: 10.3390/met10050683.
- Mycroft, William; Katzman, Mordechai; Tammis-Williams, Samuel; Hernandez-Nava, Everth; Panoutsos, George; Todd, Iain; Kadiramanathan, Visakan (2020):** A data-driven approach for predicting printability in metal additive manufacturing processes. In: *J Intell Manuf* 31 (7), S. 1769–1781. DOI: 10.1007/s10845-020-01541-w.
- Özel, Tuğrul; Altay, Ayça; Donmez, Alkan; Leach, Richard (2018):** Surface topography investigations on nickel alloy 625 fabricated via laser powder bed fusion. In: *Int J Adv Manuf Technol* 94 (9-12), S. 4451–4458. DOI: 10.1007/s00170-017-1187-z.
- Rane, Kedarnath; Strano, Matteo (2019):** A comprehensive review of extrusion-based additive manufacturing processes for rapid production of metallic and ceramic parts. In: *Adv. Manuf.* 7 (2), S. 155–173. DOI: 10.1007/s40436-019-00253-6.
- Spears, Thomas G.; Gold, Scott A. (2016):** In-process sensing in selective laser melting (SLM) additive manufacturing. In: *Integr Mater Manuf Innov* 5 (1), S. 16–40. DOI: 10.1186/s40192-016-0045-4.
- Süß, Michael; Klöden, Burghardt; Kirchner, Alexander; Weißgärber, Thomas; Hofmann, Dirk; Schöne, Christine et al. (2016):** Untersuchung zu Konstruktionsempfehlungen für kleine Strukturen beim Elektronenstrahlschmelzen / Investigation in design recommendations for small structures in additive manufacturing electron beam melting. In: Wieland Kniffka, Michael Eichmann und Gerd Witt (Hg.): *Rapid.Tech. International Trade Show Conference for Additive Manufacturing ; Proceedings of the 13th Rapid.Tech Conference Erfurt, Germany, 14 - 16 June 2016*. München: Hanser, S. 279–289.
- Tawfik, Ahmed; Bills, Paul; Blunt, Liam; Racasan, Radu (2018):** Development of an artefact to detect unfused powder in additive manufactured components using X-ray CT.
- Vendra, Lakshmi; Dobrowolski, Thomas; Linares, Maximino; Avagliano, Aaron (2020):** Industrialization of Additive Manufacturing for Oil & Gas through Process Control. In: *Offshore Technology Conference*. DOI: 10.4043/30822-MS.
- Wang, Tianjiao; Kwok, Tsz-Ho; Zhou, Chi; Vader, Scott (2018):** In-situ droplet inspection and closed-loop control system using machine learning for liquid metal jet printing. In: *Journal of Manufacturing Systems* 47, S. 83–92. DOI: 10.1016/j.jmsy.2018.04.003.
- Wegner, Andreas; Witt, Gerd (2012):** Konstruktionsregeln für das Laser-Sintern. In: *Zeitschrift Kunststofftechnik* (3), S. 252–277, zuletzt geprüft am 08.07.2020.
- Wildemann (2019a):** Leitfaden 3D Druck - Implementierung additiver Fertigungsverfahren. Teileauswahl, Wirtschaftlichkeitsrechnung, Investitions-, Fabrik- und Personalplanung. 1. Auflage. München: TCW-Verlag.

- Wildemann, Horst (2018):** Die deutschen 3-D-Drucker müssen erwachsen werden. In: *Welt* 2018, 21.09.2018, S. 1–6. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wirtschaft/bilanz/article181613226/Automatisierung-Die-deutschen-3-D-Drucker-muessen-erwachsen-werden.html>, zuletzt geprüft am 01.04.2019.
- Wildemann, Horst; Süß, Michael (2019)** Industrialisierung der additiven Fertigung. In: *Fabriksoftware*, S. 17–20.
- Wildemann, Horst (2019b):** 3D-Metalldruck. Wertschöpfungskette - Teileauswahl - Industrialisierung - Wirtschaftlichkeit - Einführungsstrategien. 1. Auflage. München: TCW-Verlag.
- Wu, Haixi; Wang, Yan; Yu, Zhonghua (2015):** In situ monitoring of FDM machine condition via acoustic emission. In: *Int J Adv Manuf Technol*. DOI: 10.1007/s00170-015-7809-4.
- Yao, Xiling; Moon, Seung Ki; Bi, Guijun (2017):** A hybrid machine learning approach for additive manufacturing design feature recommendation. In: *RPJ* 23 (6), S. 983–997. DOI: 10.1108/RPJ-03-2016-0041.
- Zhang, W.; Mehta, A.; Desai, P. S.; Higgs III, C.F. (2017):** Machine learning enabled powder spreading process map for metal additive manufacturing (AM). In: *International Solid Freeform Fabrication Symposium*, S. 1235–1249.
- Zhu, Zuowei; Anwer, Nabil; Huang, Qiang; Mathieu, Luc (2018):** Machine learning in tolerancing for additive manufacturing. In: *CIRP Annals* 67 (1), S. 157–160. DOI: 10.1016/j.cirp.2018.04.119.
- Zohdi, T. I. (2019):** Electrodynamical machine-learning-enhanced fault-tolerance of robotic free-form printing of complex mixtures. In: *Comput Mech* 63 (5), S. 913–929. DOI: 10.1007/s00466-018-1629-y.