

# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

**Other Conference Item**

**Author(s):**

Spierings, Adriaan

**Publication date:**

2021-11-08

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000516165>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)



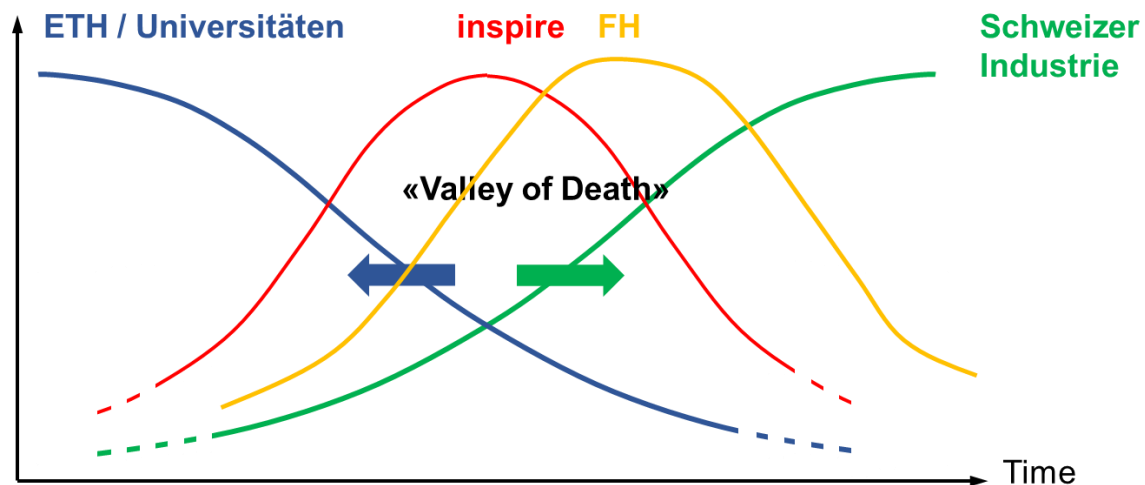
# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

Dr. A.B. Spierings

# Agenda

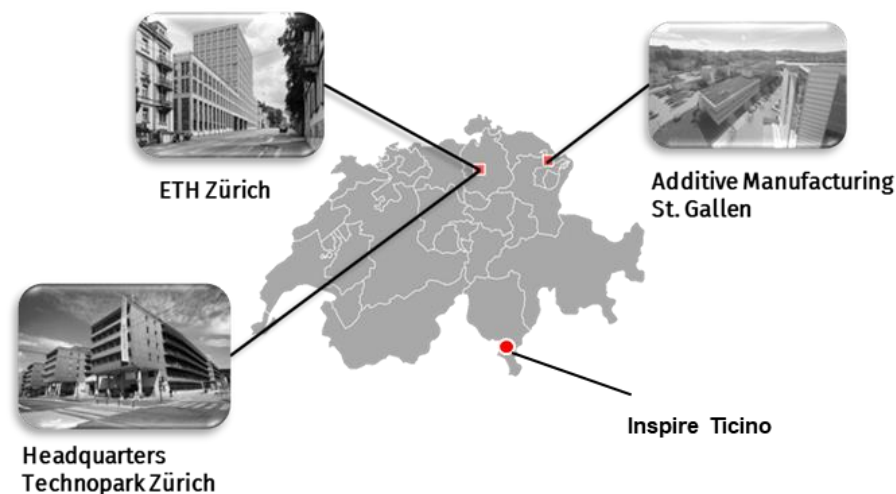
- 1 Inspire AG**
- 2 Inspire – innovation centre for additive manufacturing (icams)
- 3 Problemstellung: Qualifizierung von AM Komponenten
- 4 Qualitäts Management System
- 5 Zusammenfassung

# inspire AG

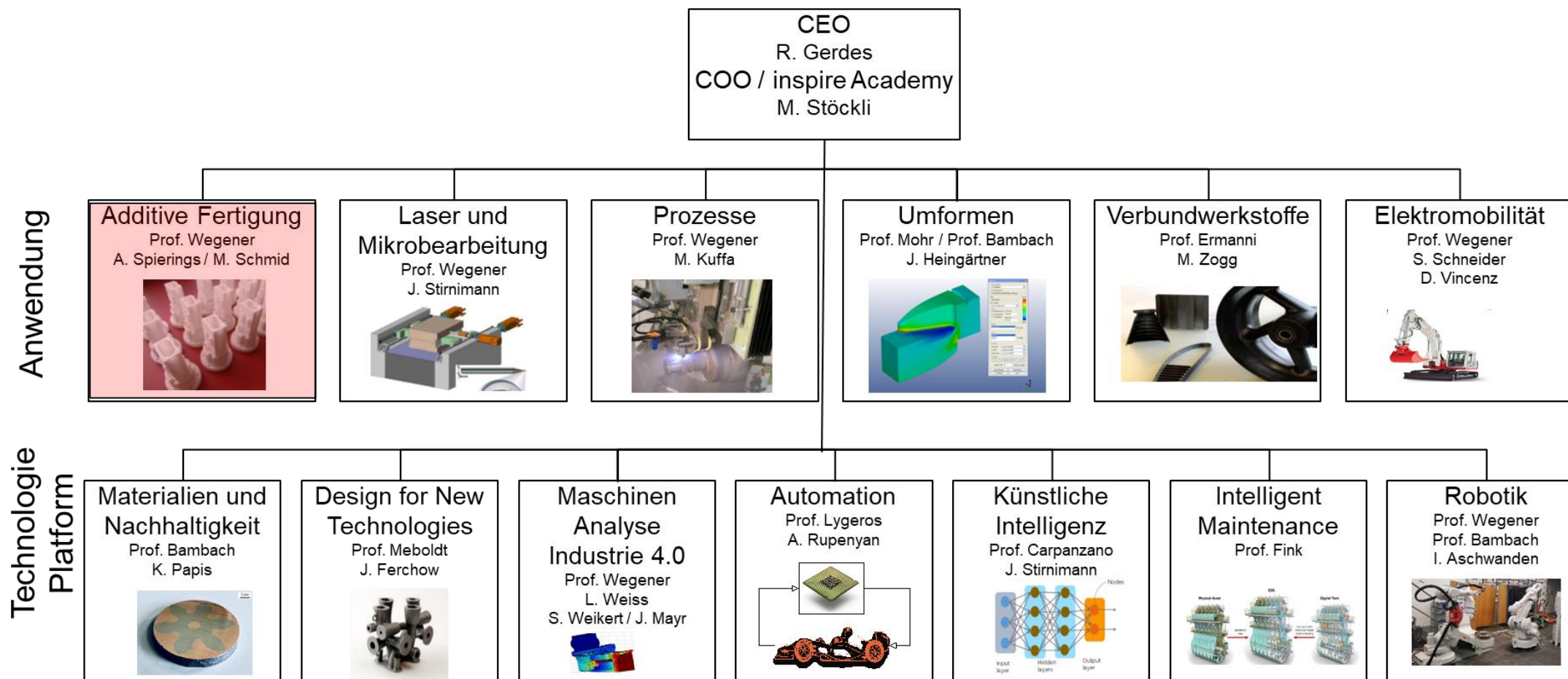


## inspire

- Ist das führende Schweizer Kompetenzzentrum für Produktionstechnik, und strategischer Forschungspartner der ETH.
- Bundesbeiträge nach Art. 15 FIFG als «Forschungsstätte von nationaler Bedeutung». → Innosuisse-Akkreditierung als Forschungspartner
- Non-profit Organisation
  - ≈ 110 Mitarbeiter, > 25 im Bereich AM
  - > CHF 13 Mio Umsatz



# inspire AG - Departemente



# Agenda

- 1 Inspire AG
- 2 **Inspire – innovation centre for additive manufacturing (icams)**
- 3 Problemstellung: Qualifizierung von AM Komponenten
- 4 Qualitäts Management System
- 5 Zusammenfassung

# Inspire departments

## ■ Inspire icams (St.Gallen)

- AM Forschung seit 1996
  - AM Materialien
  - AM Prozesse
  - AM Anwendungen

Laser powder bed fusion of metals

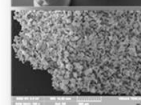


Since 1996



POWDER BED FUSION POLYMERS

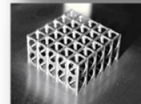
Since 2016



POWDER BED FUSION CERAMICS

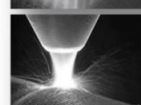


Since 2005



POWDER BED FUSION METALS

Since 2008



DIRECTED ENERGY DEPOSITION



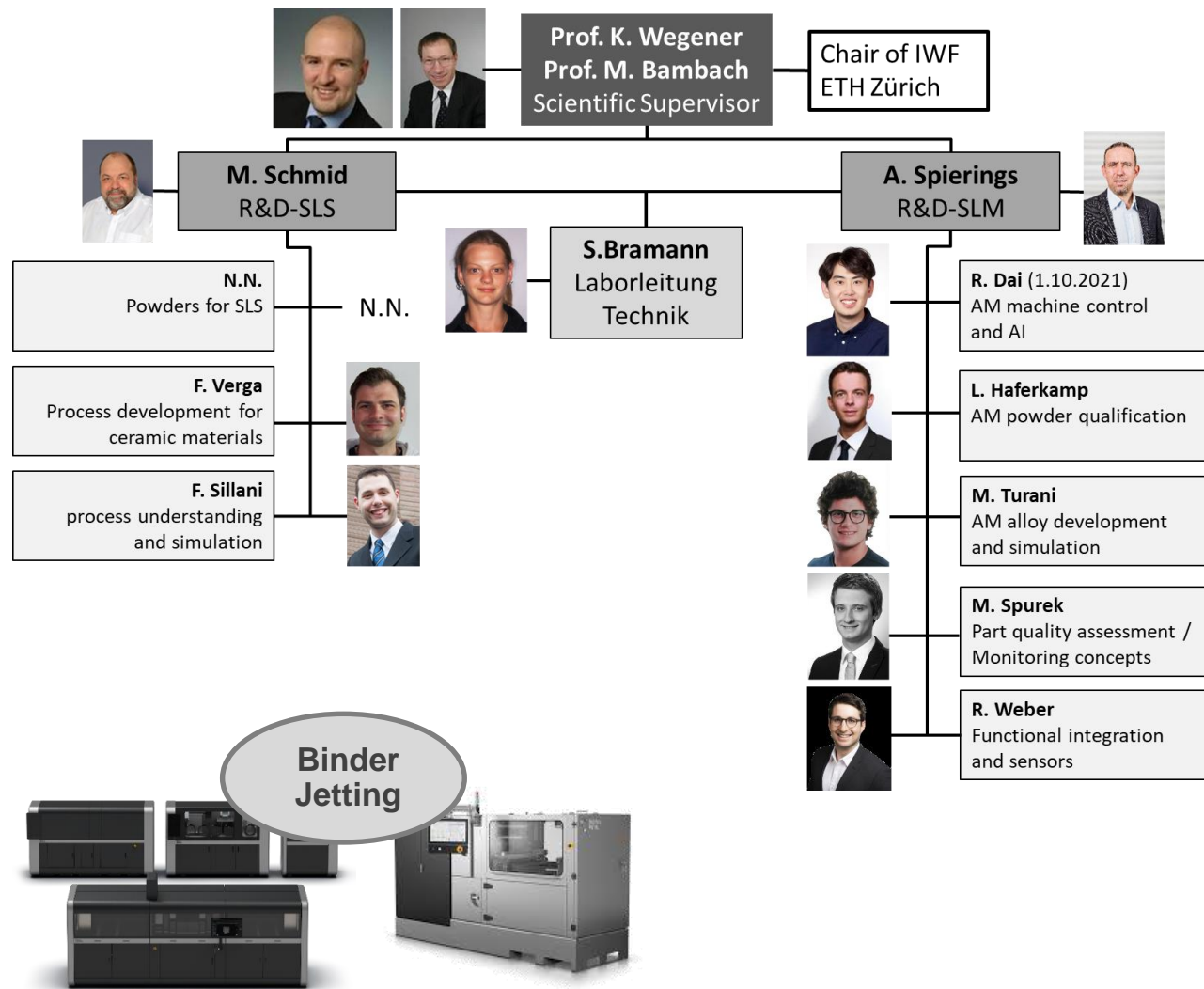
Since 1996



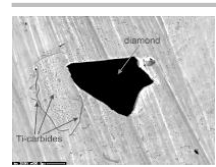
DESIGN FOR AM



Laser powder bed fusion of plastics



# Quality management system



- AM-specific alloys
- Alloy simulation
- Hybride material systems



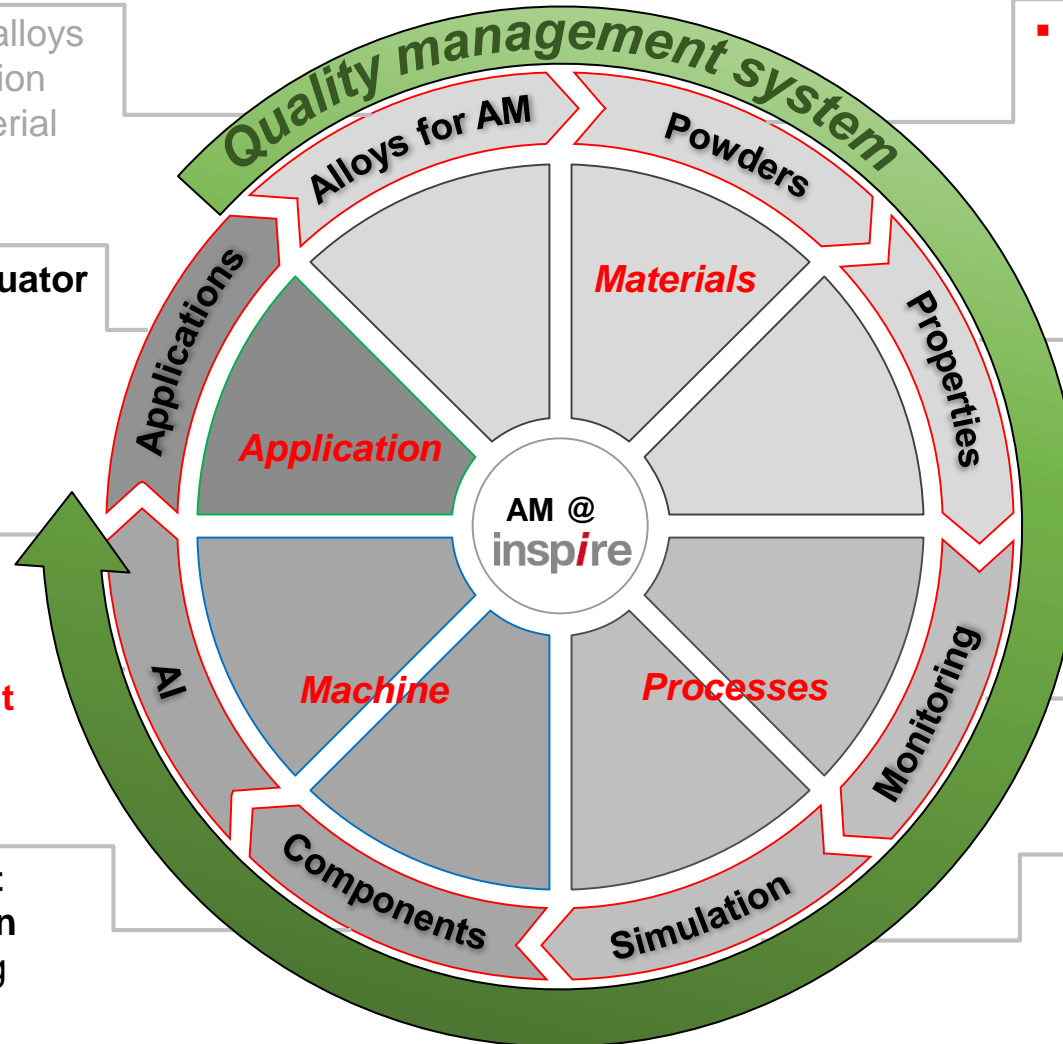
- Sensor / Actuator Integration
- Lightweight



- Machine learning
- Quality Management systems



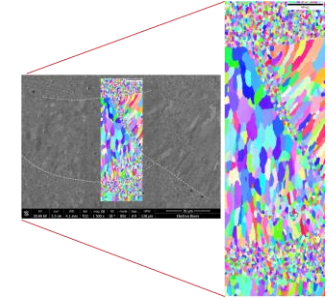
- Component optimization & monitoring



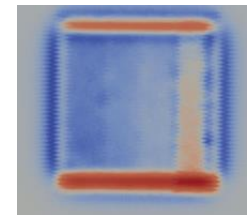
- Powder qualification tools & principles



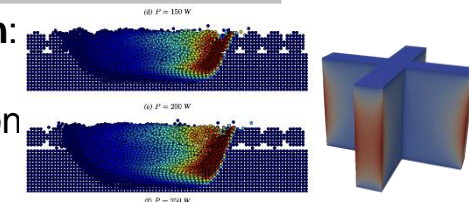
- Material characterization



- Process development & optimization
- Process monitoring



- Process simulation: Stresses, weld-pool (own SPH simulation)





## Labor und Möglichkeiten

### ■ Material & process development

- ThermoCalc alloy simulation
- Particle based process simulation (inspire development)

### ■ Powder qualification

- Air classification
- Particle size & shape distribution
- Dynamic powder density measurement
- Powder flowability: Hall flowmeter, FT4-Powder rheometer, Anton Paar Rheometer, Heatable Revolution Powder Analyser
- Open powder test bench
- Microscopy

### ■ Material analysis

- Heat treatment ovens (1'300°C / vacuum oven)
- Sample cutting, polishing, etching
- Microstructure analysis / Microscopy
- DSC
- Static / dynamic mechanical characterization (Galdabini 10kN / W&B ± 25kN)
- Hardness
- Access to ETH-ScopeM for SEM, TEM etc

### ■ Part qualification

- 3D scanning / Dimensional analysis
- 3D-surface characterization (GeISight)
- 3D-line laser scanning



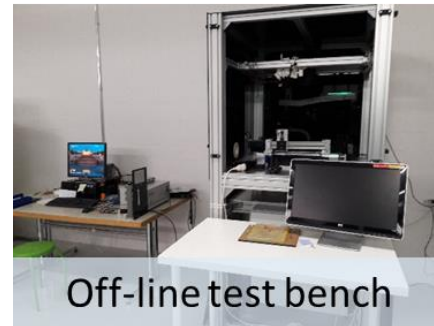
SLM: Aconity Midi+



SLM/SLS R&D machine



SLS R&D machine



Off-line test bench



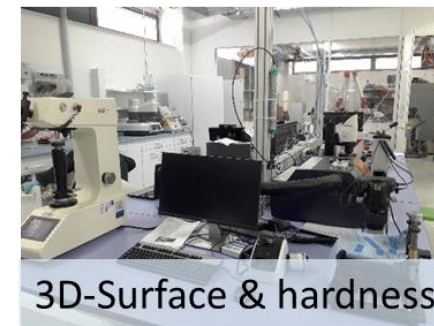
Mechanical testing



Sample preparation



Microscopy / DSC



3D-Surface & hardness



Powder rheometer

# Agenda

- 1 Inspire AG
- 2 Inspire – innovation centre for additive manufacturing (icams)
- 3 **Problemstellung: Qualifizierung von AM Komponenten**
- 4 Qualitäts Management System
- 5 Zusammenfassung

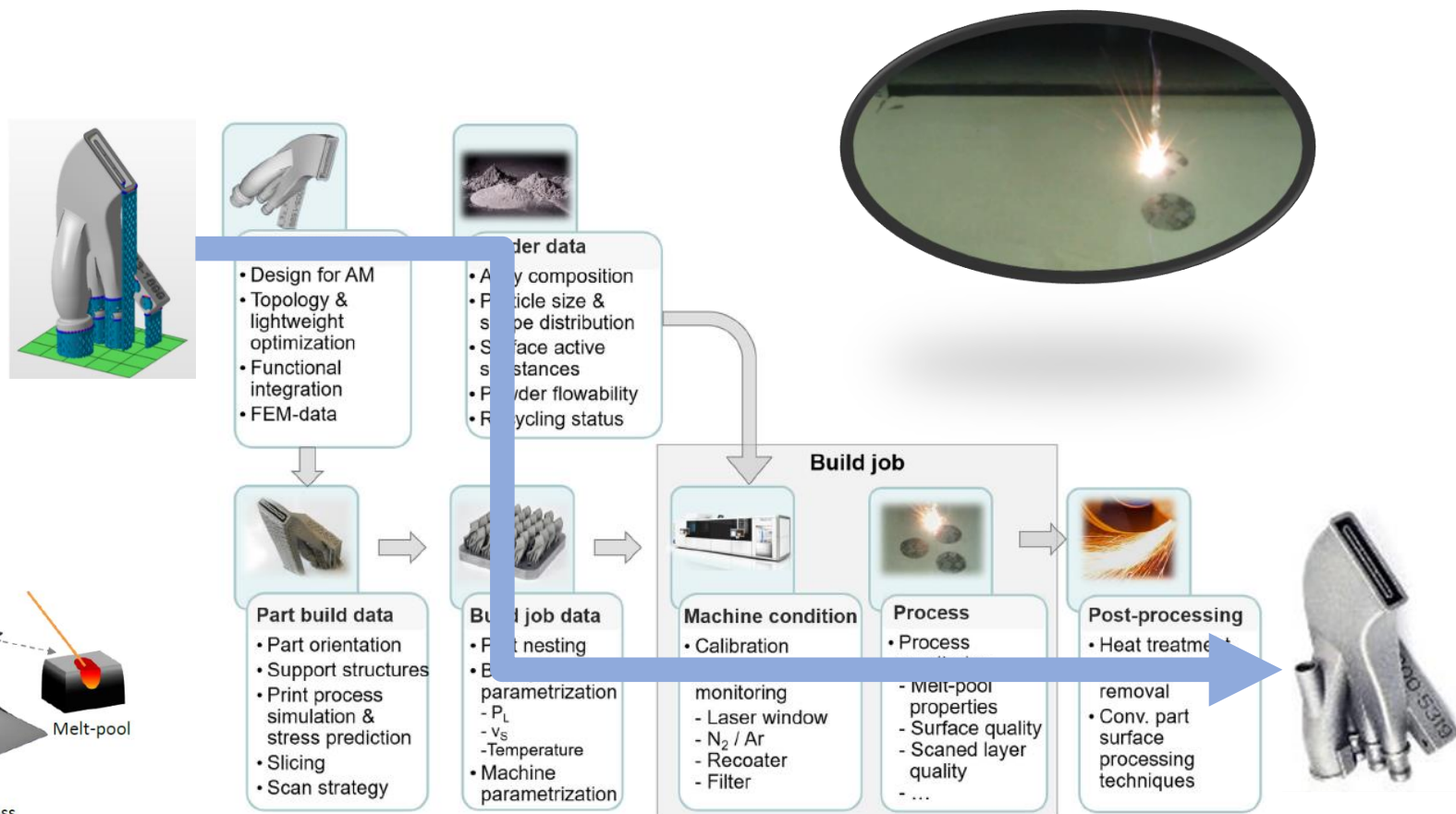
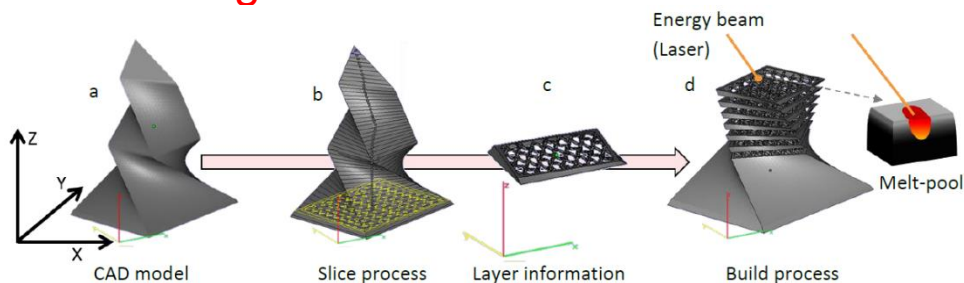
# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Ausgangslage und Problemstellung

### ■ LPBF Prozess Charakteristika

- Urformprozess (DIN 8580)
  - Herstellung von Geometrie und Material-Eigenschaften im gleichen Prozessschritt

- **Prozesskette:**  
Viele Prozess Schritte und Einflussgrößen



K. Wegener, A.B. Spierings, A conceptual vision for a bio-intelligent manufacturing cell for Selective Laser Melting, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (2021). <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.11.009>

# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Ausgangslage und Problemstellung



**Urform-Prozess mit vielen Einflussgrößen**

**Komplexe Geometrien, verschiedene Materialien**

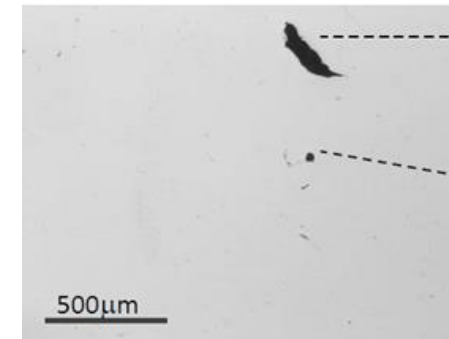
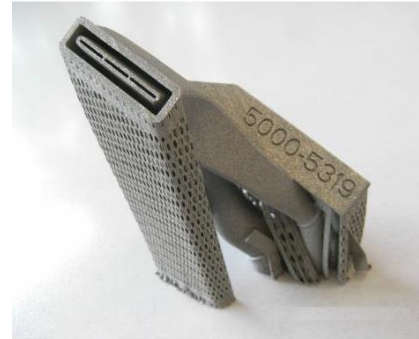
**Industrielle Anwendungen mit hohen Anforderungen / Standards**

# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Ausgangslage und Problemstellung

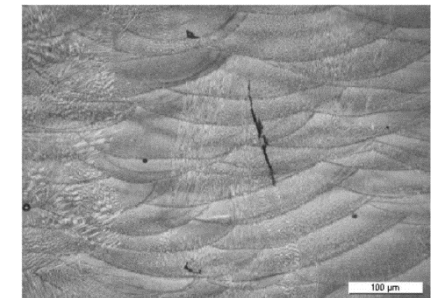
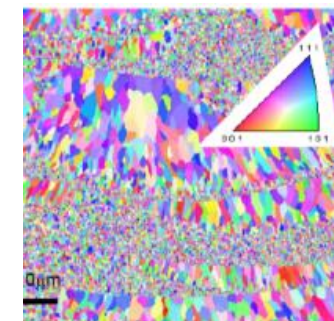
### ■ Qualitätsmerkmale

- Genauigkeit
  - Verzug
  - Genauigkeit > 0.2mm
- Oberflächenqualität
  - Rau,  $R_a = [5, 50]\mu\text{m}$
- Material Integrität
  - Poren / Irreguläre Defekte:  $\rho < 100\%$
  - Risse (je nach Legierung)
  - Einschlüsse (je nach Legierung)
- Mikrostruktur
  - Feinkorn / «Grob-» Korn
- Mechanische Eigenschaften
  - Anisotropie



**Lack-of-fusion**  
irregular shape

**Pores,**  
 $\leq 50\mu\text{m}$ , spherical



# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Ausgangslage und Problemstellung

### ■ Qualitätsmerkmale

- Genauigkeit
  - Verzug
  - Genauigkeit > 0.2mm
- Oberflächenqualität
  - Rau, Ra = [5, 50]µm
- Mikrostruktur
  - Feinkorn / «Grob-» Korn
- Mechanische Eigenschaften
  - Anisotropie
- Material Integrität
  - Poren / Irreguläre Defekte:  $\rho < 100\%$
  - Risse (je nach Legierung)
  - Einschlüsse (je nach Legierung)

### ■ Methoden / Messung

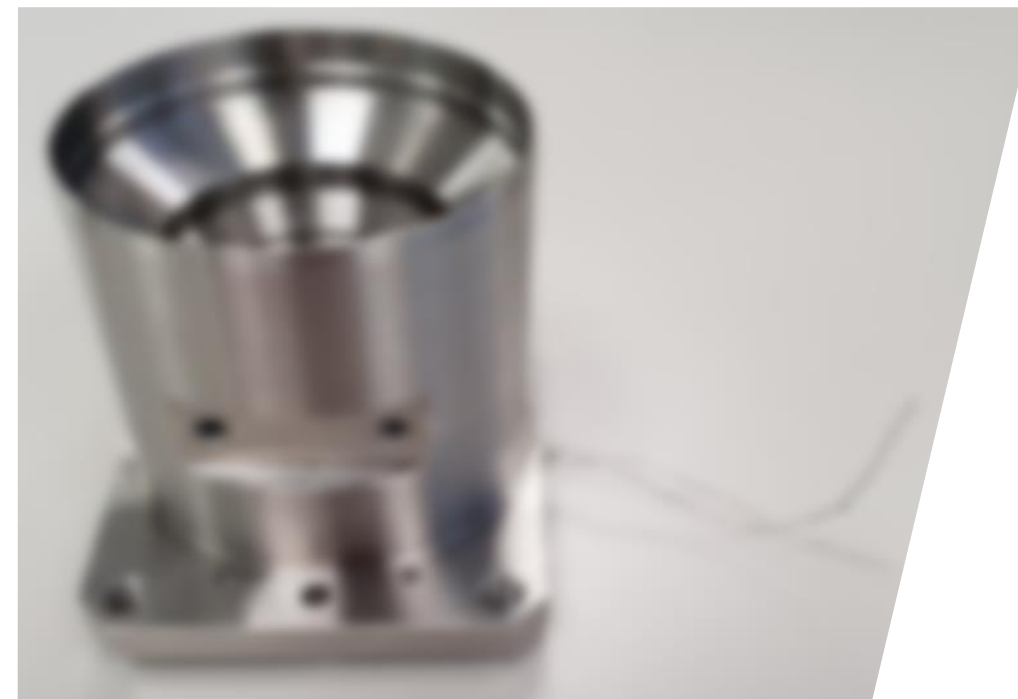
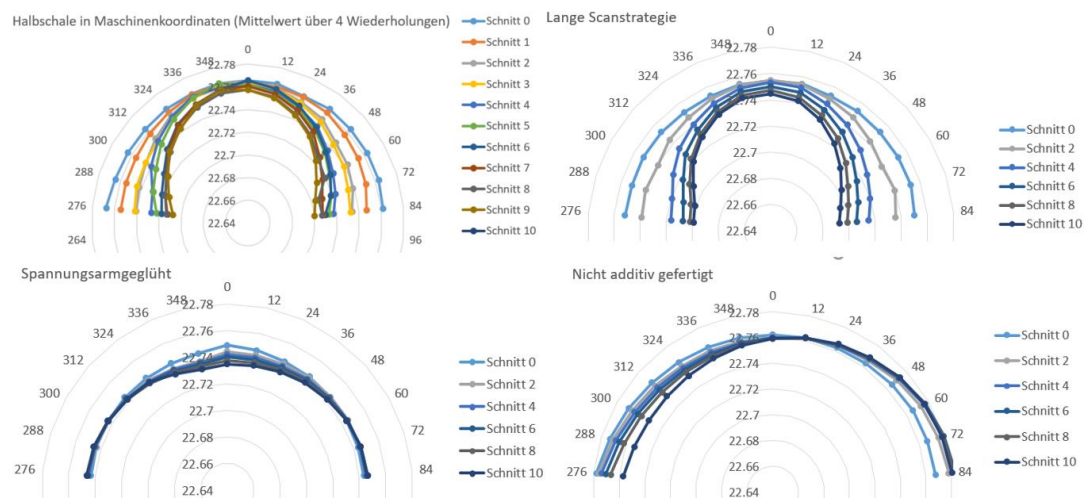
- Konventionelle Nachbearbeitung auf erforderliche Qualität
- ‘
- Zerstörende Materialprüfung an Zusatzproben
  - Zugproben (stat. / dynamisch)
  - Schliffbilder, EBSD, SEM, TEM, ...



# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Konventionelle Nacharbeit für Genauigkeit und Oberflächenqualität

- Konventionelle Nacharbeit auf UP Qualität ist machbar
  - Hohe Oberflächenqualität erreichbar
  - Verzugs kann in Grenzen gehalten werden,
  - Spannungsarm-Glühen notwendig



UP-bearbeitete AM Komponente mit integrierter Sensorik

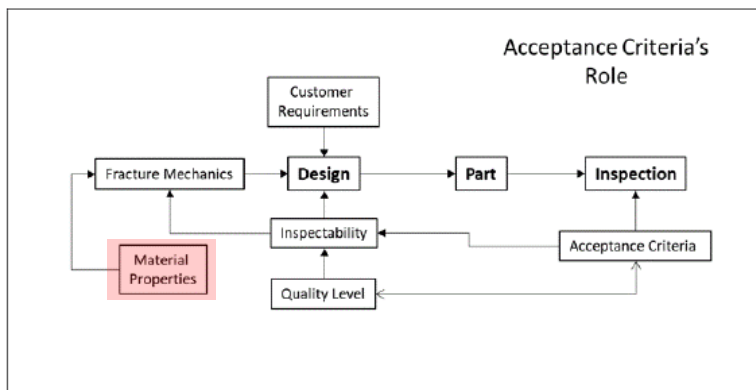
# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Ausgangslage und Problemstellung

### ■ Qualitätsmerkmale

#### ■ Material Integrität

- Poren / Irreguläre Defekte:  $\rho < 100\%$
- Risse (je nach Legierung)
- Einschlüsse (je nach Legierung)



### Title<sup>1</sup> Standard Practice for the Nondestructive Testing (NDT), Inspection Levels and Acceptance Criteria for Parts Processed Laser Based Powder Fusion

This standard is issued under the fixed designation X XXXX; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

### ■ Methoden / Messung

#### ■ Analysen an Bauteil / Zusatzproben

- Oberfläche:
  - Optische Beurteilung des Bauteils
  - Farbeindring Methode
  
- Materialqualität
  - Mikroschliffe
  
  - NDT: Archimedische Dichte
  - NDT: CT-Scanning an realer Geometrie
  - NDT: Ultraschall
  - NDT: Process Compensated Resonance Testing
  
  - ...

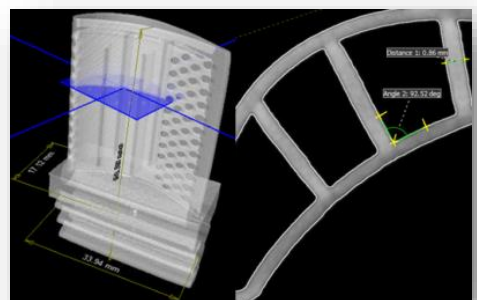
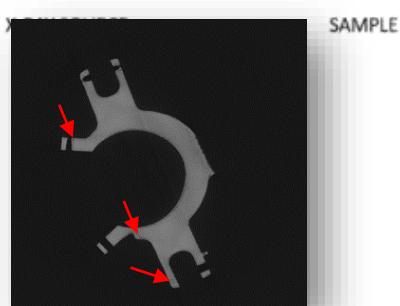
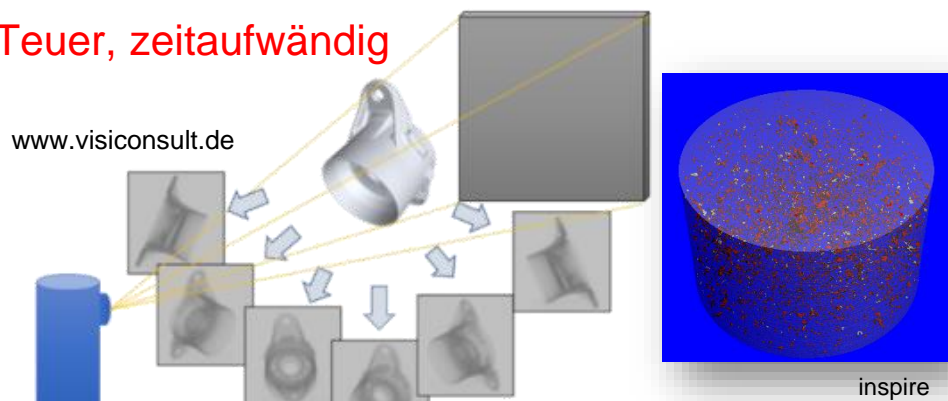


# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Bauteil Qualifizierung: *Stand der Technik*

### Material Integrität anhand Bauteil-Analyse (CT)

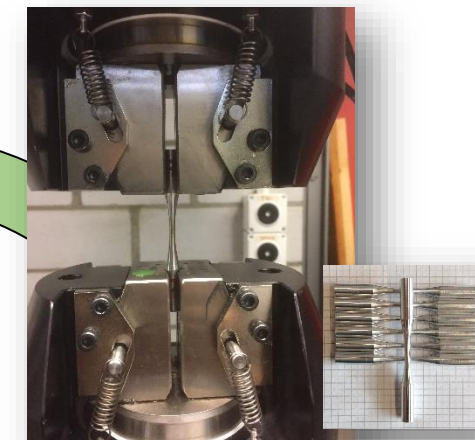
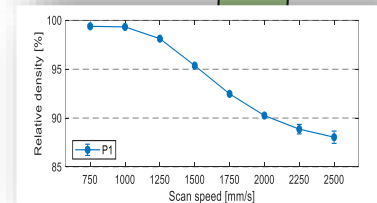
- Für jede Komponenten individuell
- Identifizierung von Poren, LoF Defekte, Risse & Einschlüsse.
- Teuer, zeitaufwändig**



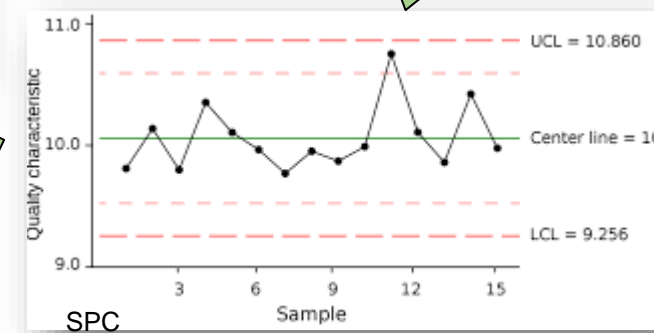
### Zusatzproben: Statistische Prozesskontrolle

- Sehr teuer & zeitaufwändig**

Process parameters & Monitoring data



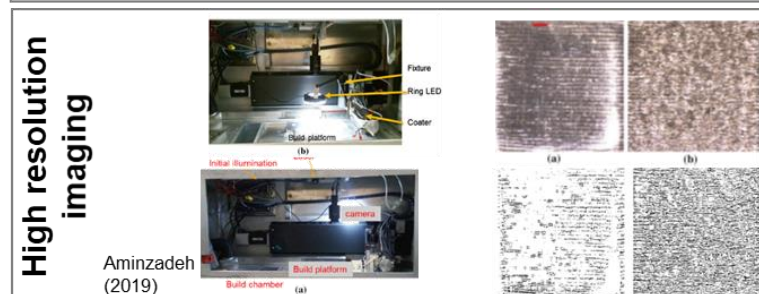
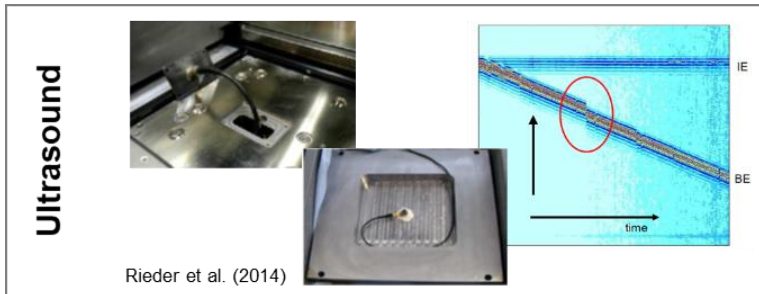
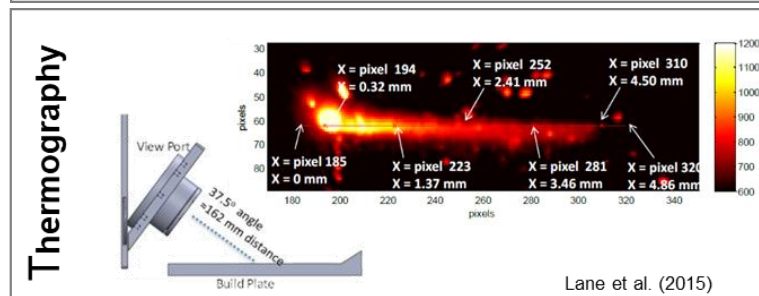
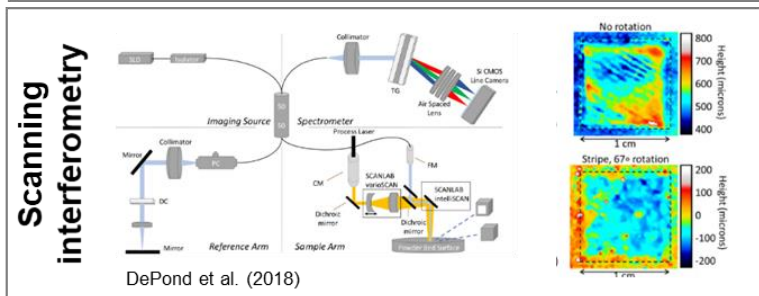
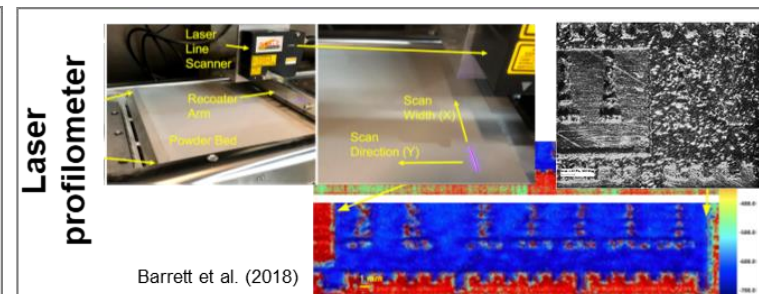
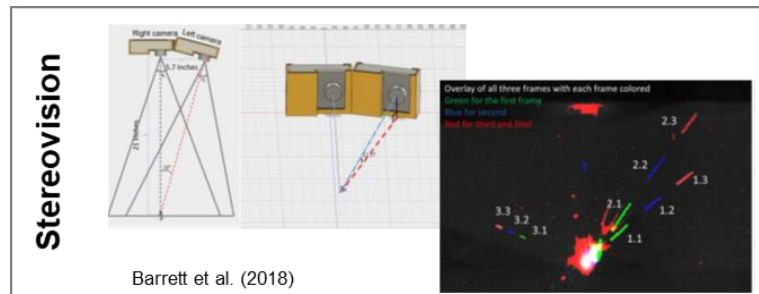
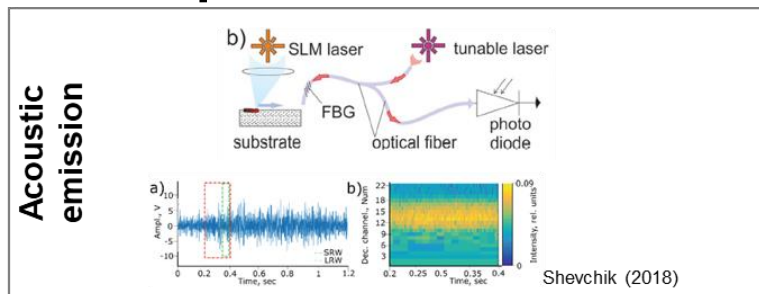
Material properties characterization



# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Prozess Kontrolle

### ■ In-line process control



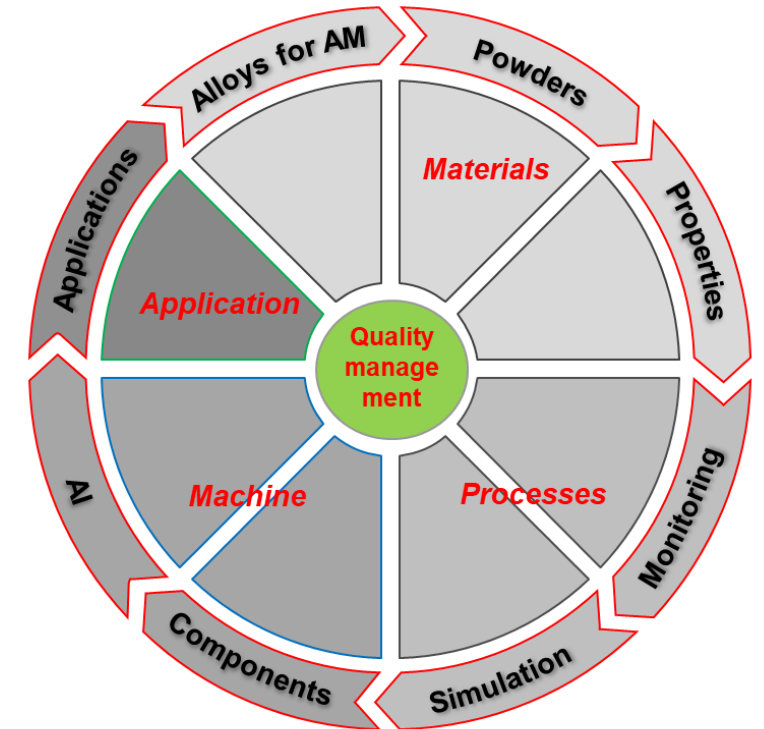
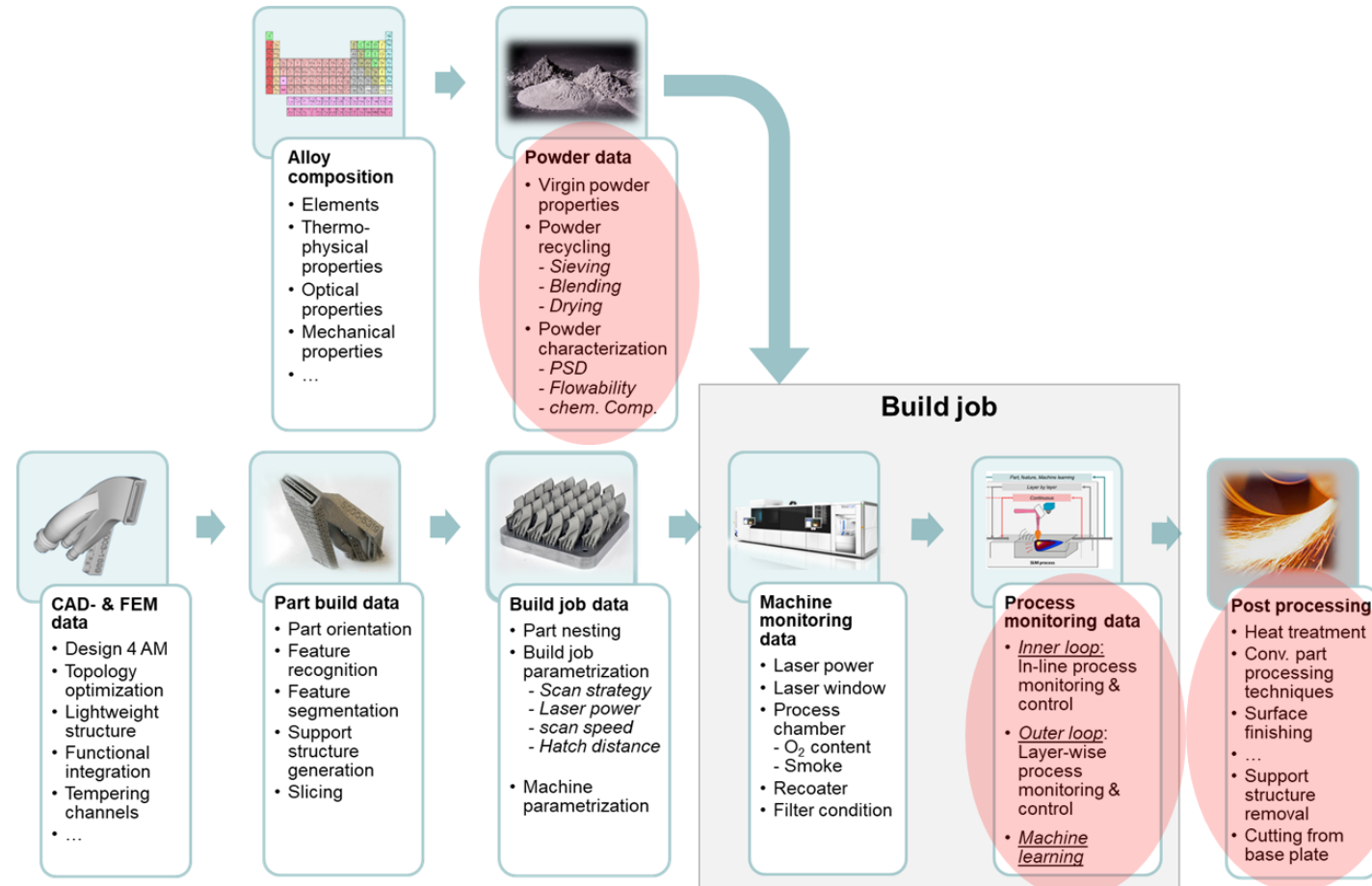
- Meist teure, und hoch komplexe Technologien
  - Oftmals schwierig in AM Anlagen integrierbar
  - Begrenzt industriell validiert
  - Schwierige Datenauswertung für die *direkte Teile Qualifizierung*
- «...Wo sind die relevanten Daten...?»**

# Agenda

- 1 Inspire AG
- 2 Inspire – innovation centre for additive manufacturing (icams)
- 3 Problemstellung: Qualifizierung von AM Komponenten
- 4 Qualitäts Management System**
- 5 Zusammenfassung

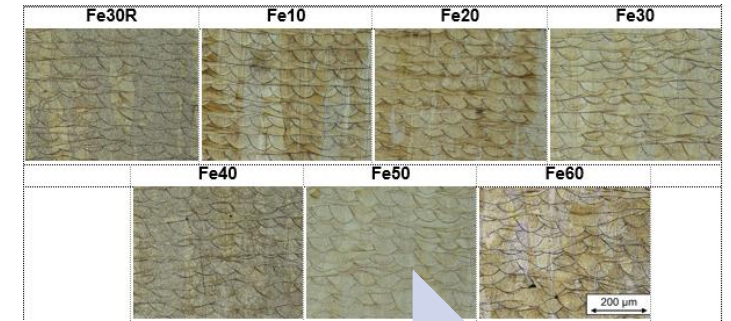
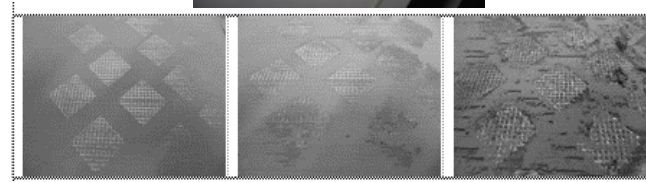
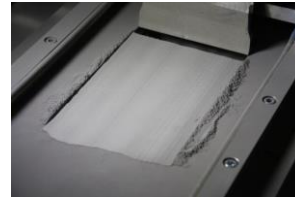
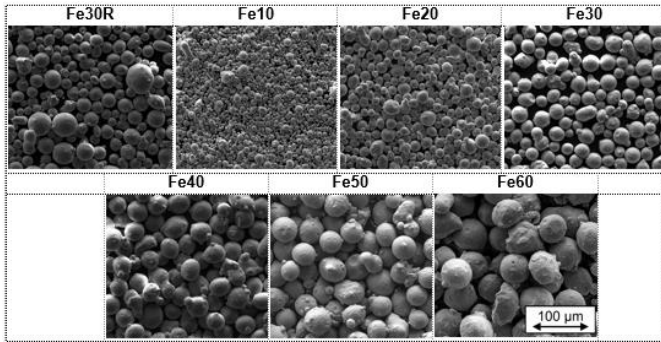
# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Qualitäts Management System



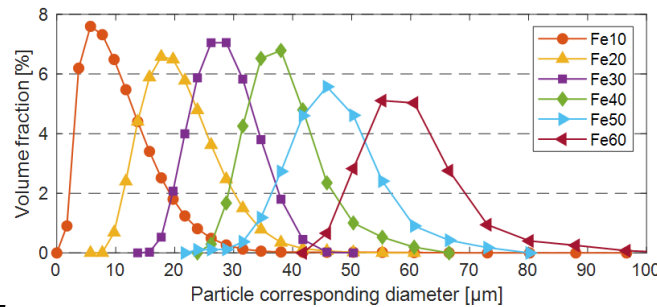
# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Pulver Qualifizierung: Was ist ein gutes / schlechtes Pulver, und warum?



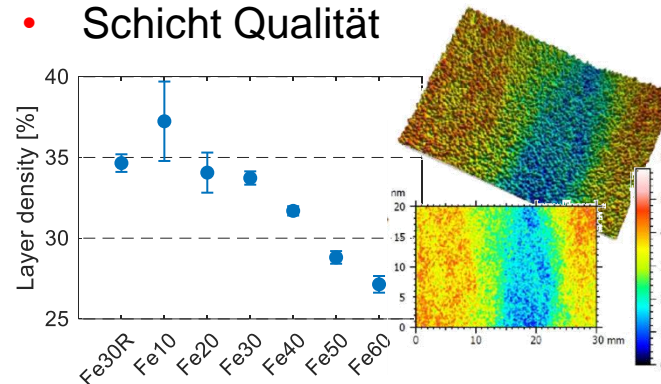
### Pulver Charakterisierung

- Partikel Grössenverteilung
- Partikel Formverteilung
- Fließfähigkeit



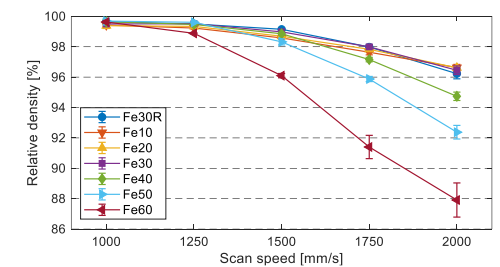
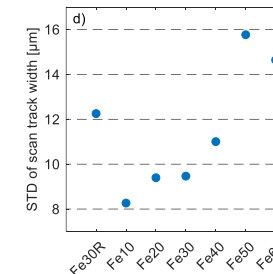
### Pulver Schicht Charakterisierung

- Schicht Dichte
- Schicht Homogenität
- Schicht Qualität



### Prozess Charakterisierung

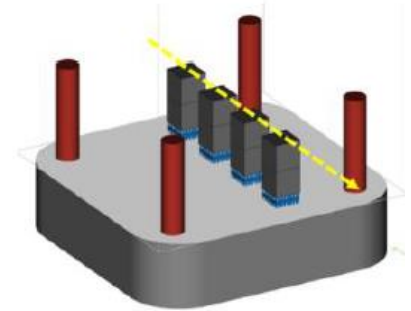
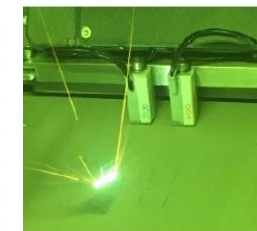
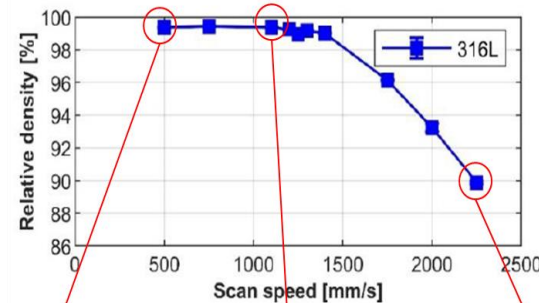
- Prozessfenster
- Oberflächenqualität / Schmelzverhalten
- Melt-Pool charakterisierung



# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

**In-line Messung der Material Integrität:** *Entwicklung und Bereitstellung von Methoden und Werkzeugen, um eine direkte Bauteilqualifizierung zu ermöglichen.*

- «Einfach»
- Kein Einfluss auf die Prozess Produktivität
- Integrierbar in «jede» AM-Prozess / -Anlage
- «Digital Twin»



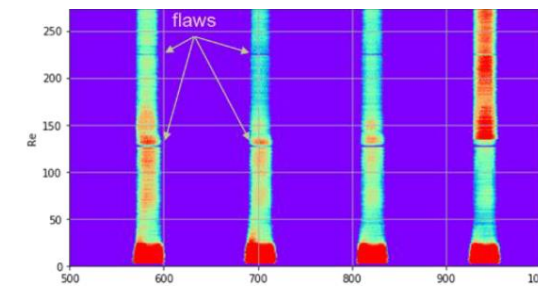
Keyhole porosity



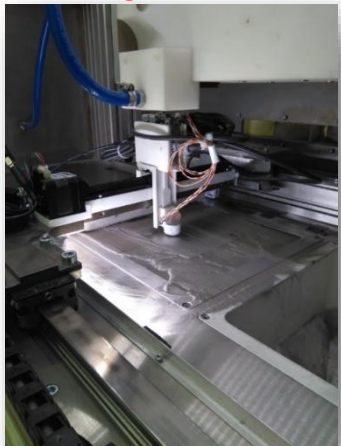
Almost dense



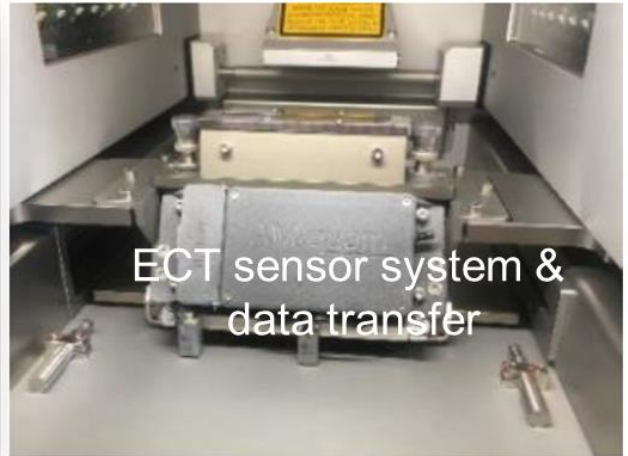
Fusion defects



“Digital Twin”: Material Integrität über die Bauhöhe .



Inspire R&D LPBF machine



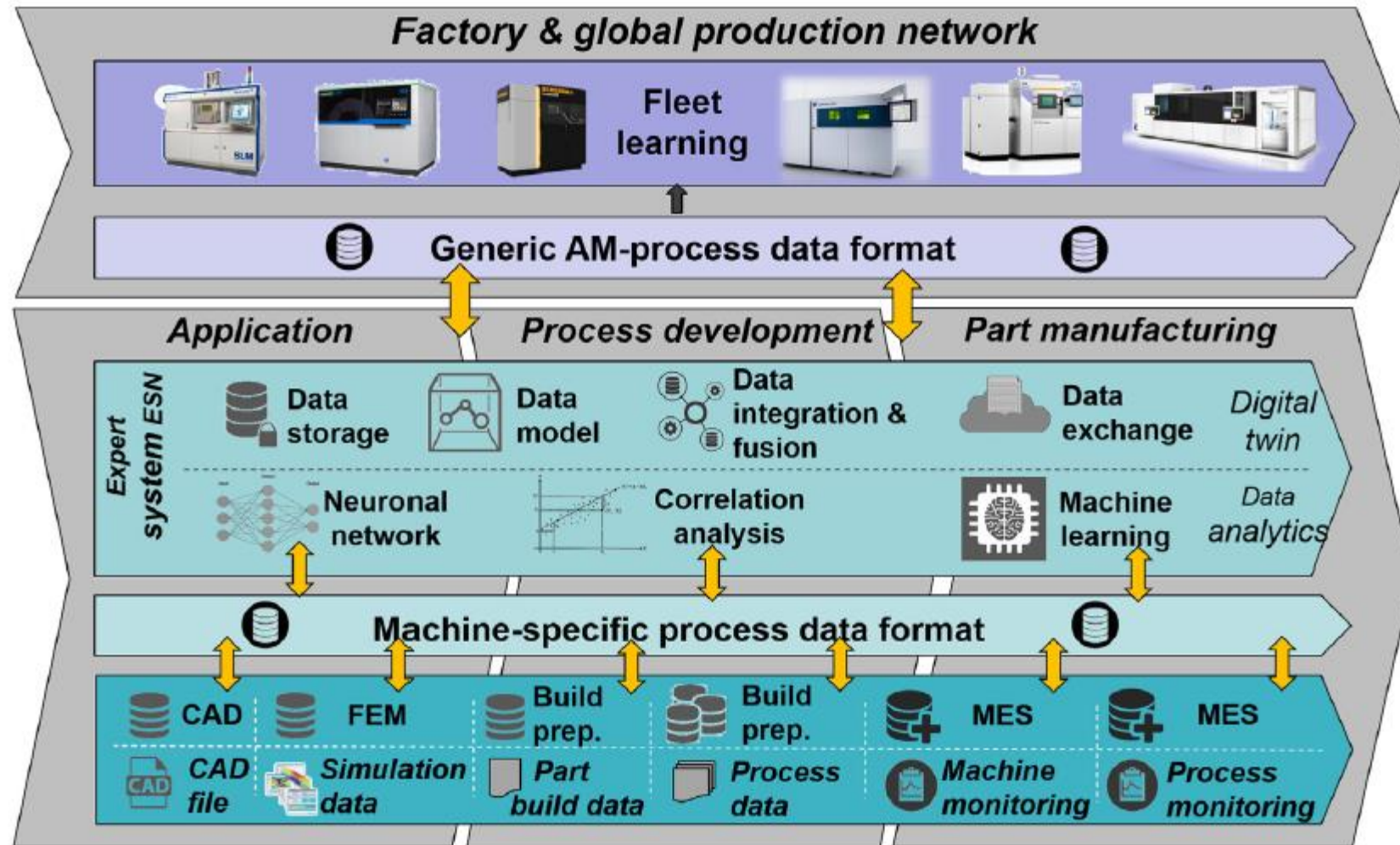
Commercial LPBF machine

Spierings AB, et al. (2021) *Direct part density inspection in laser powder bed fusion using eddy current testing*, in *Advancing Precision in Additive Manufacturing*. euspen  
 Spurek MA, et al. (2021) *Relative density measurement of PBF-manufactured 316L and AlSi10Mg samples via eddy current testing*. *Metals*, 11

**Unser Service:  
 QM-Dienstleistung & Beratung für  
 Industriepartner und Anwender**

# Quality management system

## Vision

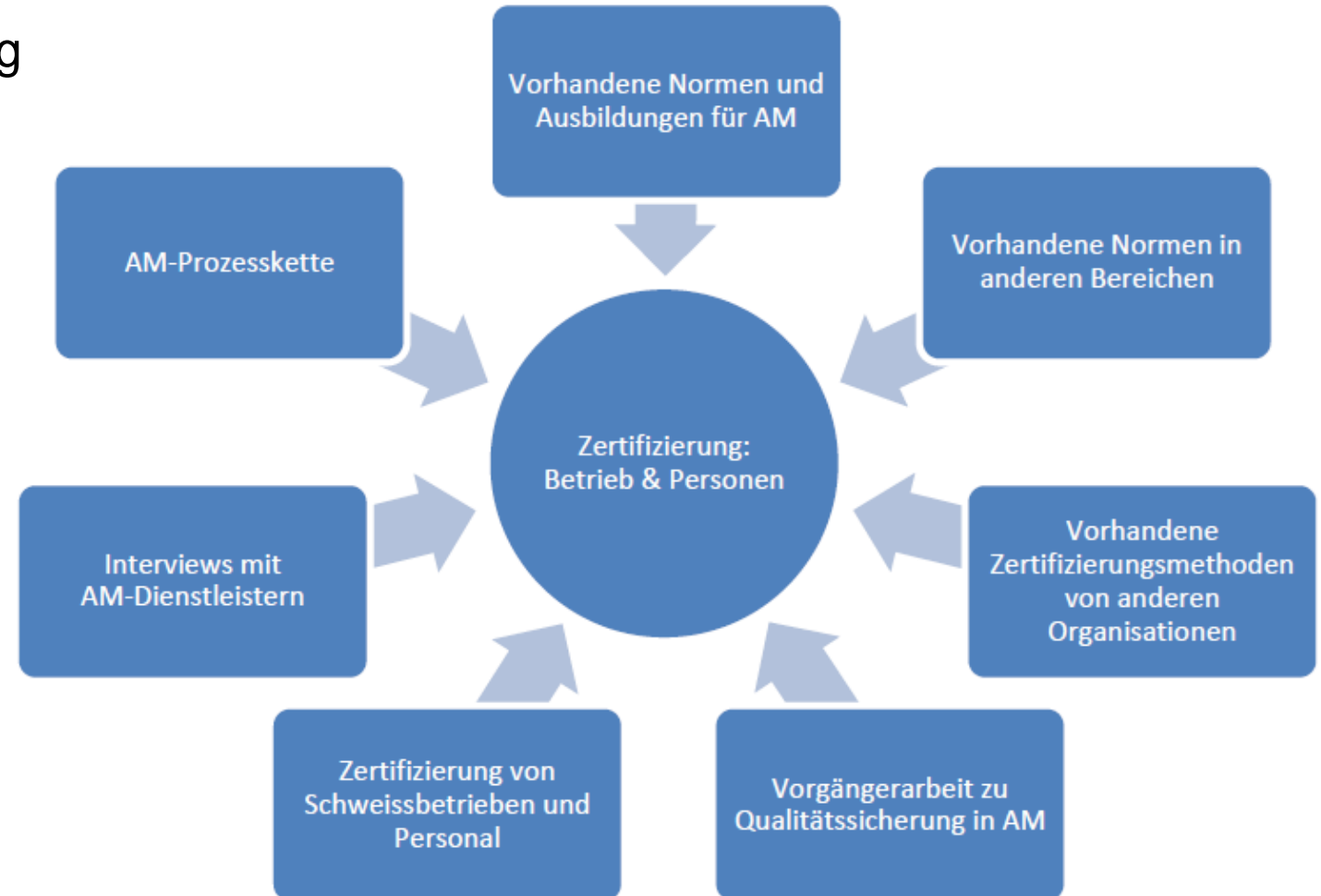


Wegener K. & Spierings A.B. et al. (2021) A conceptual vision for a bio-intelligent manufacturing cell for Selective Laser Melting. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*.

# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Zertifizierung für AM Dienstleister

- Einflussgrößen auf eine Zertifizierung
  - Anwendung vorhandener Normen (ASTM / ISO)
  - Personal Ausbildung
    - Schulungen (SAMG)
  - Zertifizierungs Organisationen
    - SVS / EWF
  - Vorhandene Methoden aus art-verwandten Prozessen
  - **Prozesskette mit vielen Prozess Schritten**

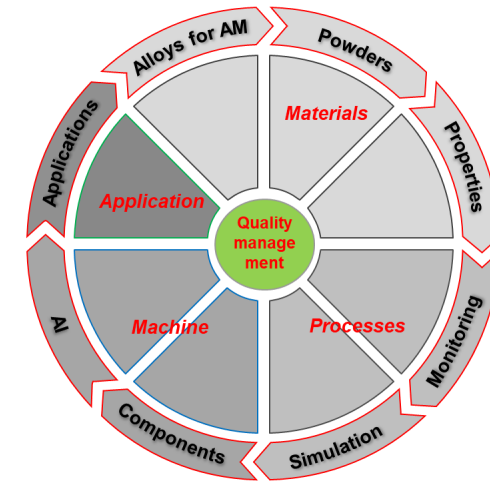




# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Zertifizierung für AM Dienstleister

- Vorgeschlagene Zertifizierungs Methode
  - Grundlegende Kriterien (ISO 3834- 1)
  - 3 Stufen (ISO 17296-3)



Stufe		Anforderungen	Beispiele
H...	hochentwickelte Bauteile	<b>Umfassende</b> Qualitätsanforderungen	Luft- & Raumfahrt, Automobilindustrie, Medizintechnik
M...	nicht sicherheitsrelevante funktionale Bauteile	<b>Standard</b> Qualitätsanforderungen für funktionale, systemrelevante, mittel-sicherheitsrelevante Produkte	Maschinenbau, Automobilindustrie
L...	Musterbauteile und Prototypen	<b>Elementare</b> Qualitätsanforderungen für Produkte mit niedriger Sicherheitsrelevanz	Musterbauteile, Lifestyle-Produkte, Prototypen

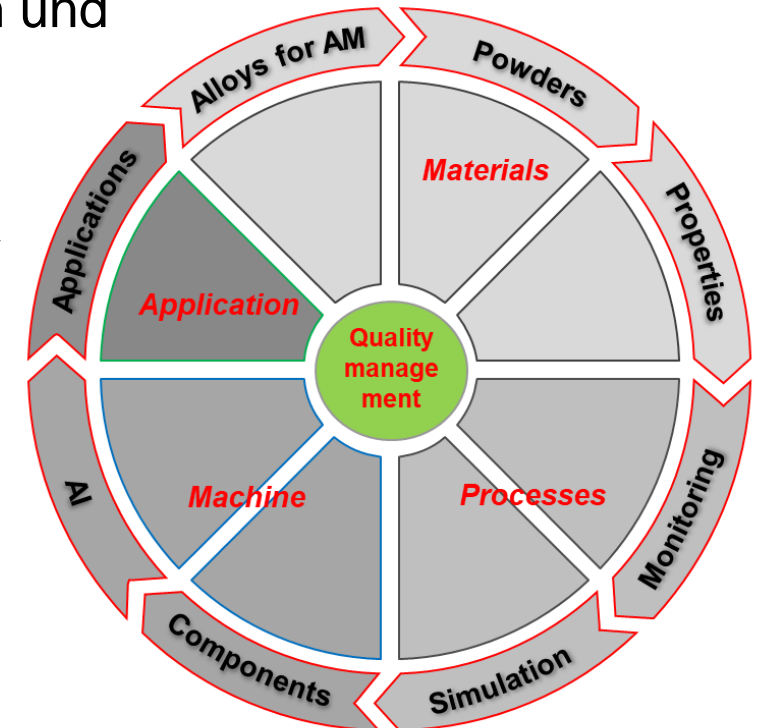
# Agenda

- 1 Inspire AG
- 2 Inspire – innovation centre for additive manufacturing (icams)
- 3 Problemstellung: Qualifizierung von AM Komponenten
- 4 Qualitäts Management System
- 5 **Zusammenfassung**

# Methoden und Ansätze für die AM Bauteilqualifizierung

## Zusammenfassung

- Ausgangslage
  - AM Bauteile werden in vielen, auch hoch-qualitativen Industrien und Anwendungen benötigt.
    - Für AM Komponenten sind keine Material Zertifikate vorhanden
  - AM Komponenten Qualifizierung ist heute aufwändig, und teuer
- Bedarf
  - Ein umfassendes AM **Qualitäts Management System** für die ganze Prozesskette ist notwendig
    - Statistische Prozesskontrolle
    - Monitoring aller Prozessschritte, inkl. Bauteilqualität
  - Eine Zertifizierung für AM-Anwender und Dienstleister ist notwendig.





Adriaan Spierings

Dr.sc Dipl. Ing. ETH

Head R&D SLM

Fürstenlandstrasse 122

CH-9014 St.Gallen

Phone: +41 71 523 62 01

[spierings@inspire.ethz.ch](mailto:spierings@inspire.ethz.ch)

[www.inspire.ethz.ch](http://www.inspire.ethz.ch)