

AM Qualitätsmanagement - Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

Dr. A.B. Spierings, inspire AG



Agenda

1 Inspire AG & Innovation center for additive manufacturing (icams)

2 Motivation

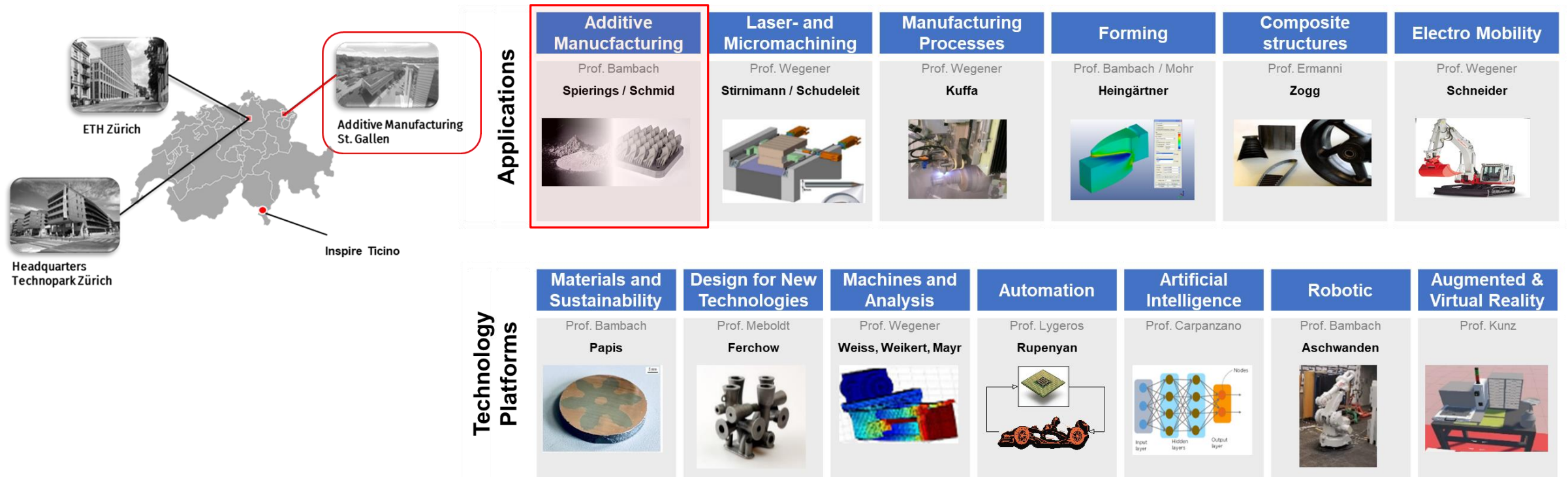
3 Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

4 Fazit

Inspire

■ Facts and figures

- Non-profit Forschungs- und Technologie Transfer Zentrum im Bereich Produktionswissenschaften
 - Enge Zusammenarbeit mit der ETH in Zürich
 - ≈ 110 Mitarbeiter, ≈25+ im AM Umfeld
 - Innovation centre for additive manufacturing (icams) unter Leitprofessur Prof. M.Bambach



Inspire innovation centre for additive manufacturing (St.Gallen)

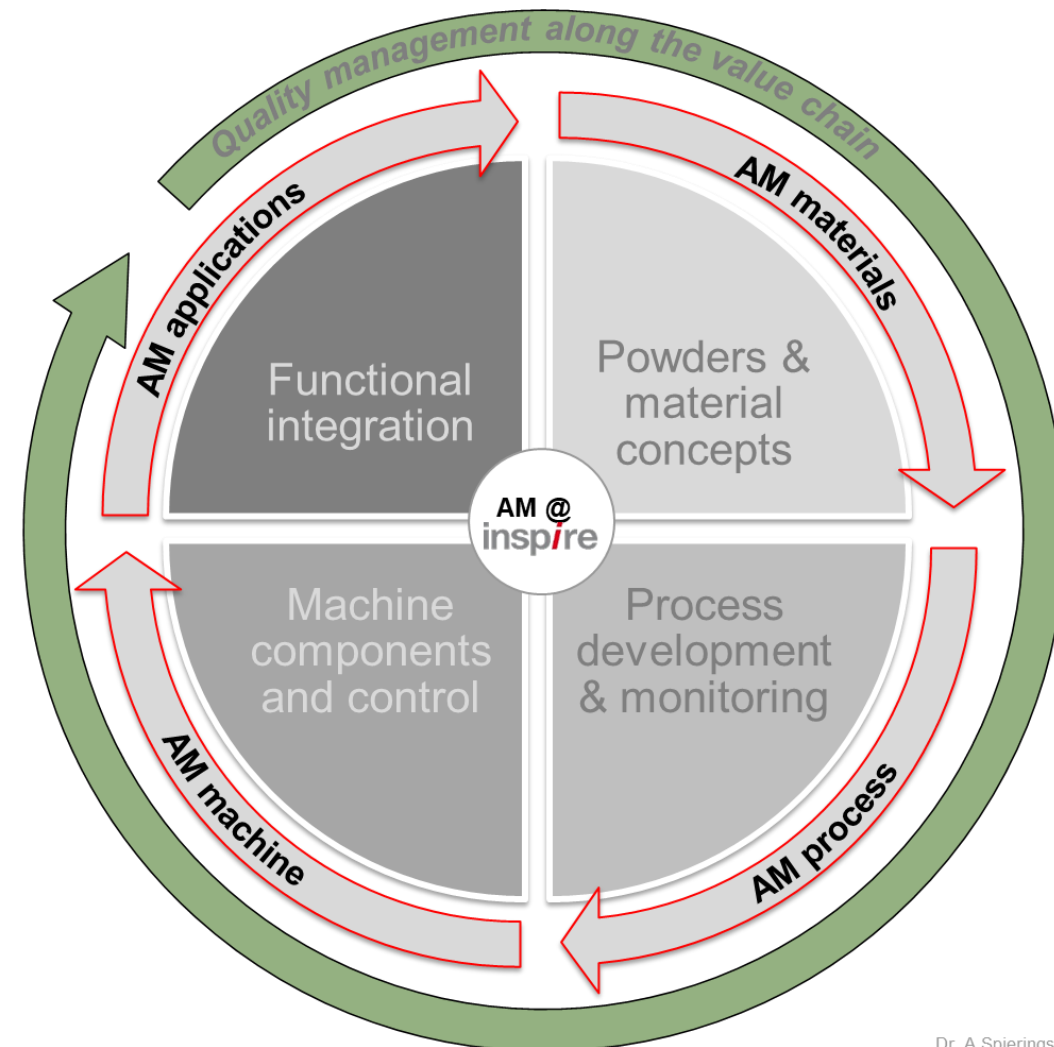
■ Icams St.Gallen

■ Forschung zu AM seit

- 1996 in SLS (Kunststoffe)
- 2005 in SLM (Metalle)
- 2016 Keramik

■ Forschungsthema «AM Qualitätsmanagement»

- Materialkonzepte & Pulverqualifizierung
- AM Prozessentwicklung & Prozessmonitoring
- AM Anlagentechnik / intelligente Steuerung
- Funktionalisierung von AM Komponenten (Sensor- / Aktuator Integration)



Dr. A. Spierings

Agenda

- 1 Inspire AG & Innovation center for additive manufacturing (icams)
- 2 **Motivation**
- 3 Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität
- 4 Fazit

Motivation

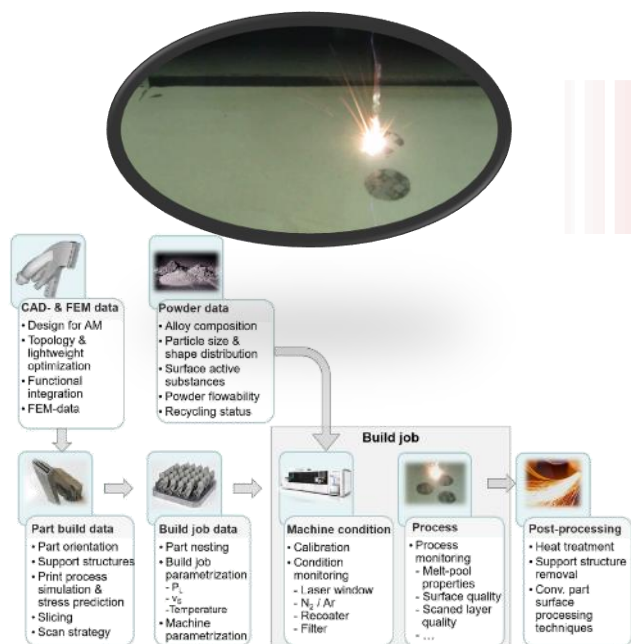
Bauteilqualifikation

AM Prozess

**AM Bauteil
Qualifikation**

**Industrielle
Anwendungsfelder**

Wie können AM Komponenten qualifiziert werden?



Urform-Prozess

Sehr viele Einflussgrößen



Bauteil Eigenschaften in komplexen Geometrien



Industrielle Anforderungen & Standards: **Certification bodies**

Motivation

Bauteilqualifikation: Anforderungen

■ ISO-ASTM 52930 - Additive manufacturing — Qualification principles — Installation, operation and performance of PBF-LB equipment

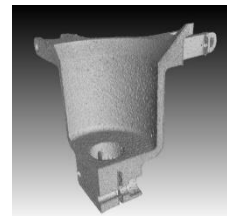
- IQ... Installation qualification
- OQ... Operational qualification
- PQ... Performance qualification

Quantitative Werte / Dokumentation



■ Bauteil Qualifikation

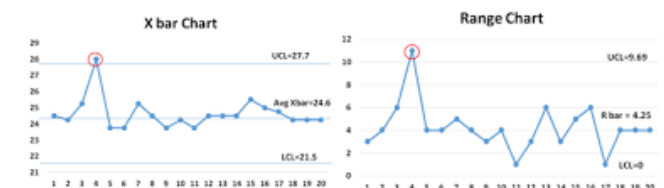
- Analyse der Bauteil Qualität
 - Materialdefekte («Poren»)
 - Oberflächen
 - Eigenschaften
 - ...



inspire

■ Prozess Qualifizierung

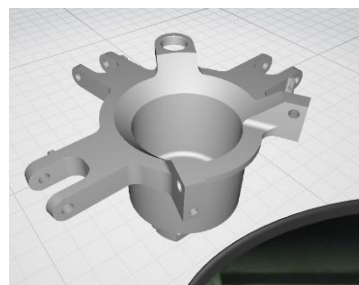
- Statistische Prozesskontrolle
 - Prozessfähigkeit C_{pk}
 - Trendanalyse
 - ...



Motivation

Bauteilqualifikation: Ein Beispiel

■ Additiv gefertigtes Bracket aus Aluminium



AM Bracket Geometrie



Proben für Material tests

- Material-Integrität ?
- Sind Defekte vorhanden?

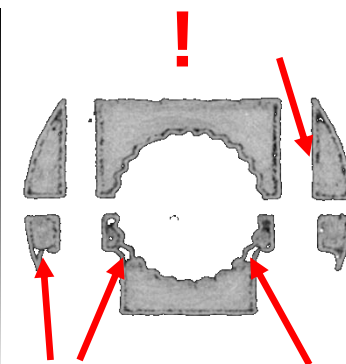
Alles OK?

- Stimmen die mechanischen Eigenschaften?

CT Scan

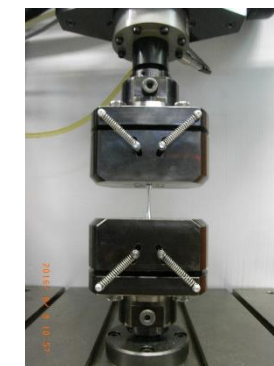


XCT Scan



Übertragbarkeit?

Mechanische Prüfung

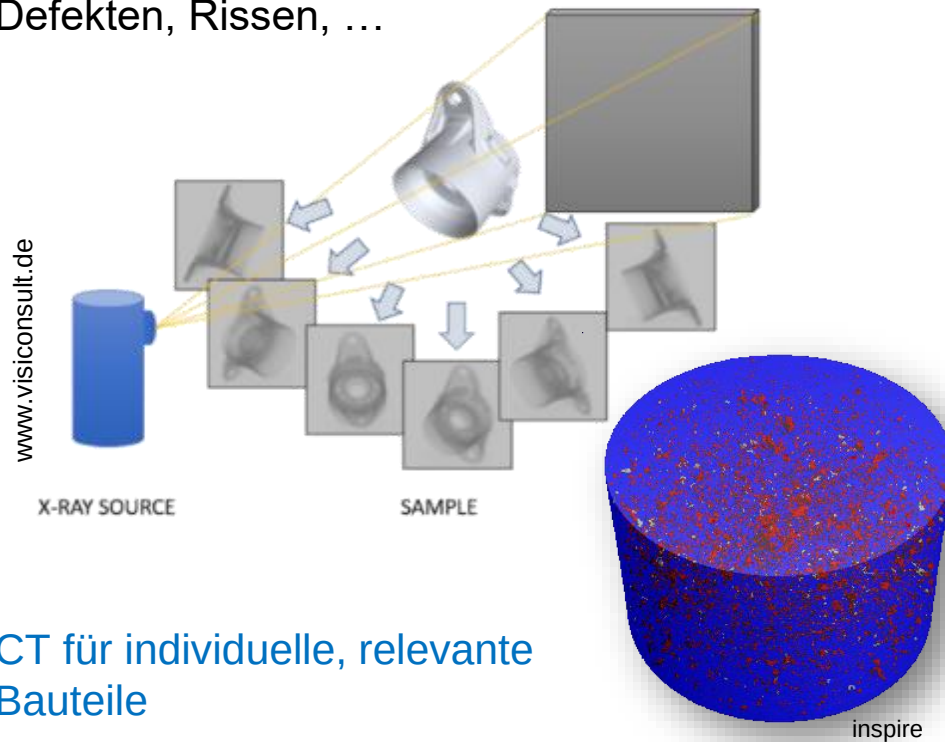


Motivation

Bauteilqualifikation: Stand der Technik

■ Post-Prozess Bauteil Qualifikation (CT, ...)

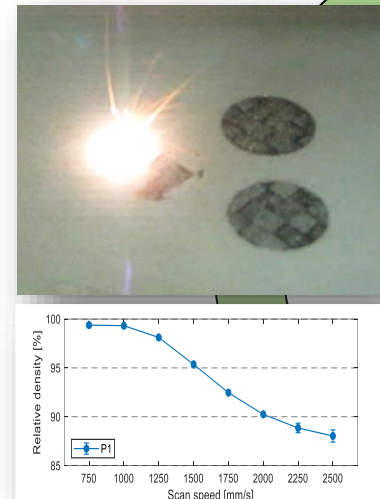
- Identifikation von Poren, Defekten, Rissen, ...



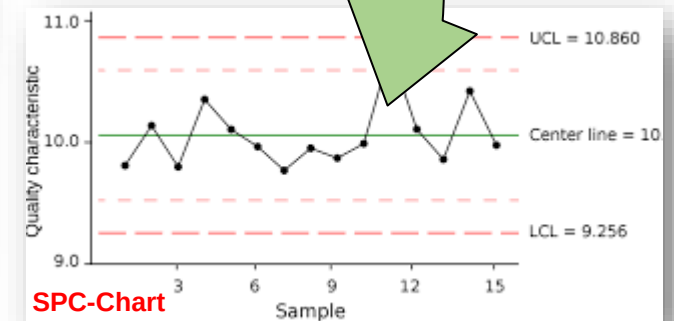
- CT für individuelle, relevante Bauteile
- Geeignet für kleinere Bauteile
- Teuer

■ Statistische Prozesskontrolle

Prozess Parameter & Monitoring Daten



Material Charakterisierung

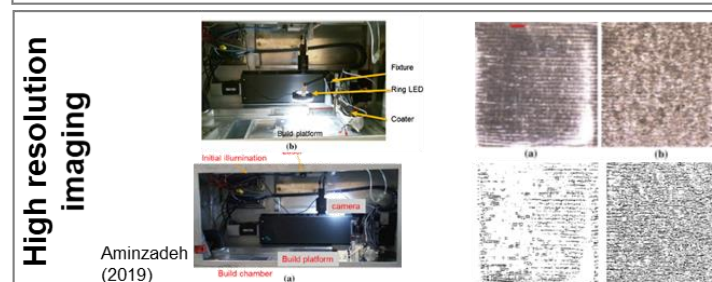
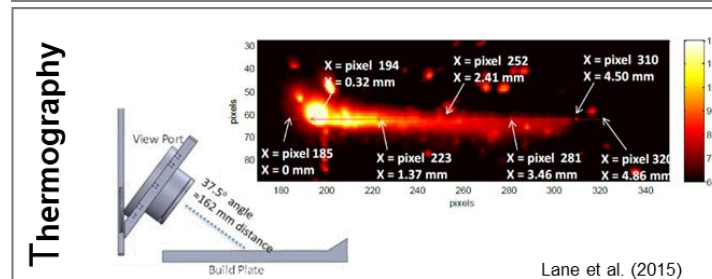
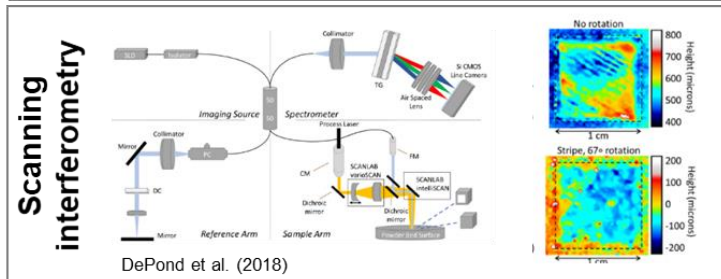
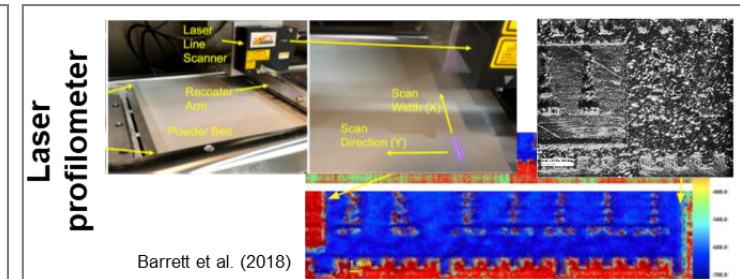
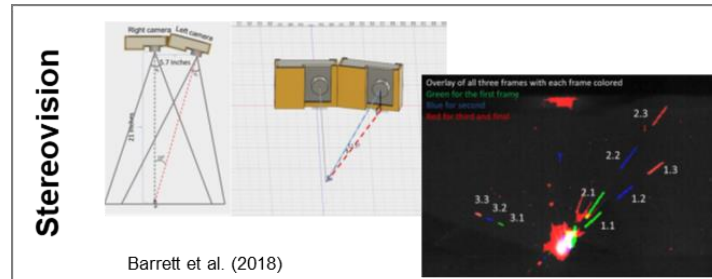
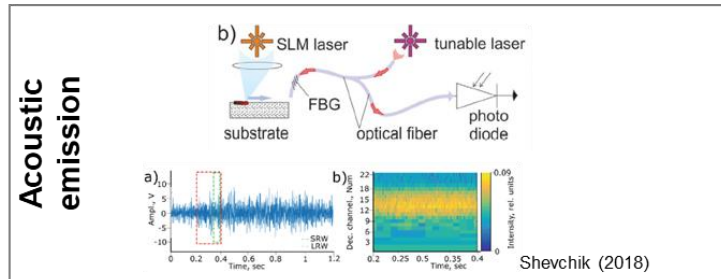


- Geeignet zur Prozess Qualifizierung
- Herstellung, Analyse und statistische Auswertung sehr vieler Proben
- Sehr teuer und zeitaufwändig

Motivation

Bauteilqualifikation: Forschung und Entwicklung

■ In-Line Prozessüberwachung



- I.R. teure und komplexe Methoden
- Schwierige Integration AM Anlagen
- Kaum industriell validiert
- Datenauswertung schwierig / bislang kaum direkt anwendbar zur **Bauteil Qualifizierung**

«...Wo sind die relevanten Informationen im Datensatz?»

Agenda

- 1 Inspire AG & Innovation center for additive manufacturing (icams)
- 2 Motivation
- 3 **Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität**
- 4 Fazit

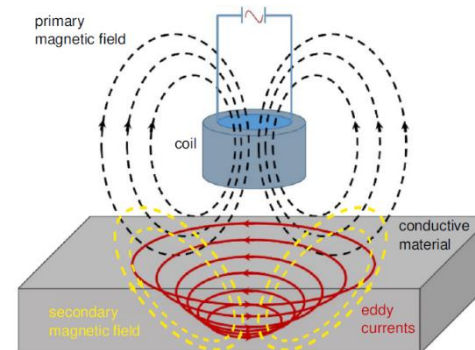
Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

- **Wir brauchen neue Methoden, welche**
 - Direkte Aussage zur Integrität des aufgebauten Bauteil geben
«*Digital Twin*»
 - Keine aufwändigen Datenanalysen benötigen
 - Kosteneffizient sind
 - Möglichst in bestehende Anlagen integrierbar sind
 - Industriell validiert sind

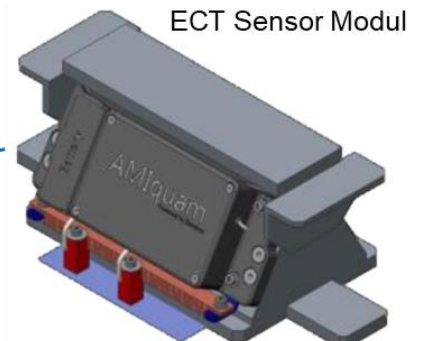
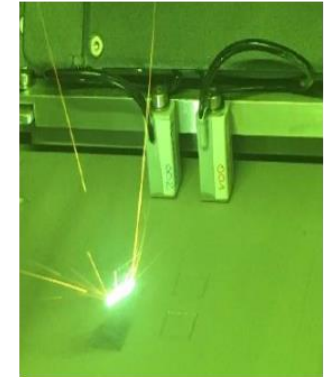
ECT Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

■ Eddy Current

- Induzieren von Wirbelströmen in das aufgebaute Material
 - Leitfähigkeit hängt von Material Integrität ab
- Messung der lokalen Wirbelströme, in Abhängigkeit der
 - Materialeigenschaften (Elektr. Leitfähigkeit von Fe, Al, ...)
 - Material Integrität (Porosität, Risse)
- ECT Mess-System
 - auf Beschichter montiert
 - Kabellose Datenübertragung



AM Anlage



ECT Sensor Modul

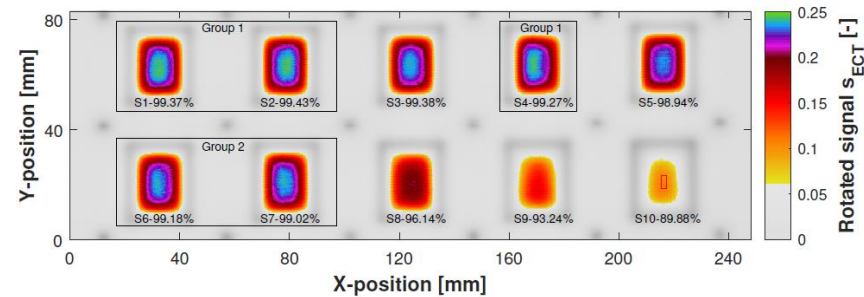
Spierings, A.B., et al., Direct part density inspection in laser powder bed fusion using eddy current testing, in Advancing Precision in Additive Manufacturing. 2021, euspen: virtual. p. 4.

Spurek, M.A., et al., Relative density measurement of PBF-manufactured 316L and AlSi10Mg samples via eddy current testing. Metals, 2021. 11, p. 14: doi:<https://doi.org/10.3390/met11091376>.

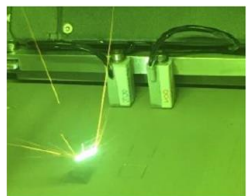
ECT Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

Resultate

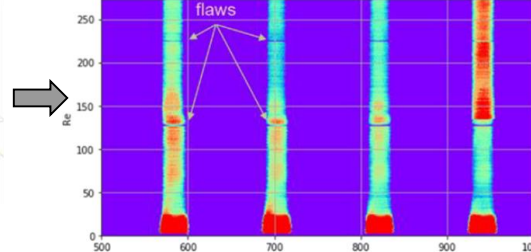
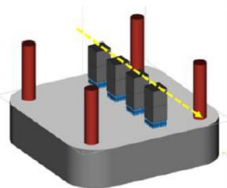
■ Mapping von lokaler Materialdichte



■ «Digital Twin» des aufgebauten Bauteils, mit Information zu Material Integrität

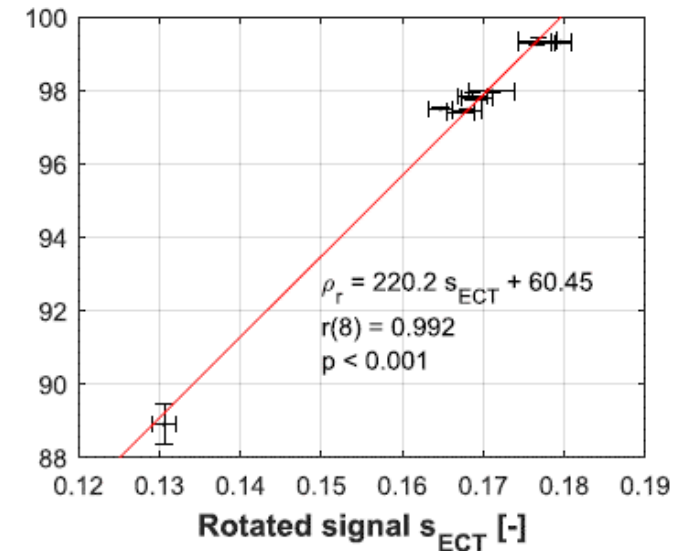


Build process on the commercial PBF-LB/M machine with instrumented ECT system



“Digital Twin”: Image of the x-z plane of the parts obtained by ECT.

■ Korrelation zwischen ECT Signal und Materialdichte



- Sehr hohe Genauigkeit im Monitoring von Materialdichte (rund $\pm 0.1\%$),
- ...auch bei Dichten $> 99\%$

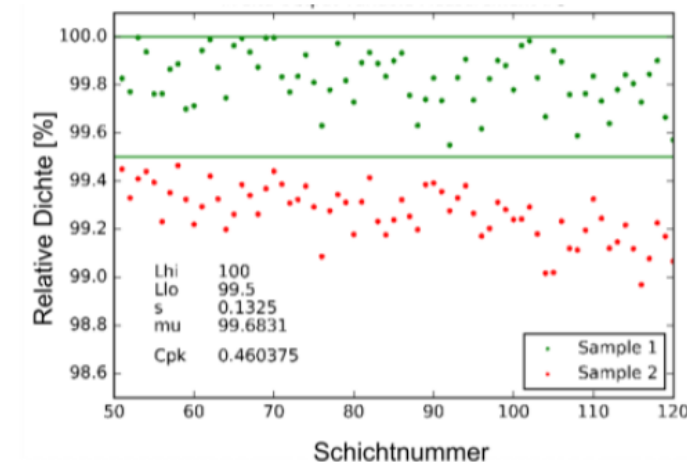
Agenda

- 1 Inspire AG & Innovation center for additive manufacturing (icams)
- 2 Motivation
- 3 Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität
- 4 **Fazit**

ECT Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

Fazit

- ECT ist industriell validiert, und Stand der Technik zur Qualifizierung hoch-qualitativer Komponenten
 - ISO-15548 und ASTM-3166 konforme NDT Technologie
- ECT ermöglicht ein in-line Monitoring der AM-Material Porosität (sowie weiterer Größen (Dimension))
- ECT Signal zeigt eine sehr hohe Korrelation zur lokalen Materialdichte, und ermöglicht die Generierung eines Digitalen Zwillings des Bauteils
- ECT ermöglicht eine rasche, kostengünstige Qualifizierung von AM Komponenten, direkt nach dem Bauprozess.
- Die ECT Daten können für eine statistische Prozesskontrolle verwendet werden
 - Prozess Fähigkeit (C_{pk})
 - Trend Identifikation
- Die Technologie ist in bestehende AM Anlagen nachrüstbar.
 - Keine Beeinflussung des AM Prozesses, oder dessen Produktivität



Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

Qualitätsmanagement in AM

Powder qualification

Customer: _____ Order-No: _____ Date: _____
 Contact person: _____ Responsible inspire: _____

Test protocol

Sample name:	Material / Sample desc:	Bulk density (g/cm ³):	Source:
			☐ Datasheet ☐ other
			☐ Datasheet ☐ other

a) Visual powder analysis and characterization

The visual powder characterization summarizes aspects of an optical powder evaluation, and is at least partly subjective.

General observations	Remarks	☐ very good ☐ good ☐ poor	Comments
Flowability		☐ very good ☐ good ☐ poor	
Impurities		☐ none ☐ existent / visible	

b) Particle analysis

SLM analysis

Order status	
☐ yes ☐ no	

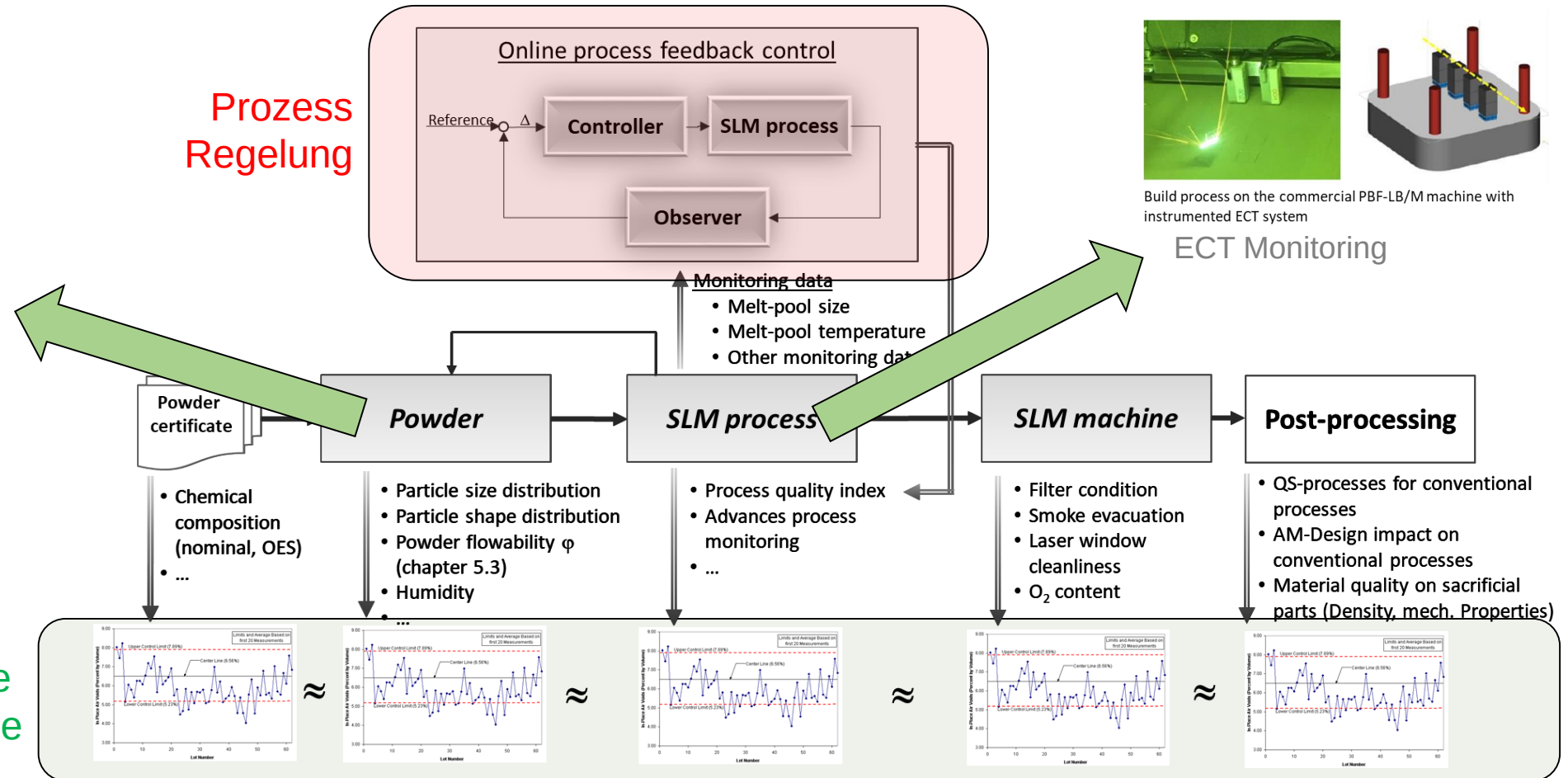
Microscopic particle analysis

Order status	
☐ yes ☐ no	

Standard Pulver
Messprotokoll

Statistische
Prozesskontrolle

Prozess
Regelung



Spierings AB (2018) Powder spreadability and characterization of Sc- and Zr-modified aluminium alloys processed by Selective Laser Melting - Quality management system for additive manufacturing, in Institute of Machine Tools and Manufacturing. ETHZ, PhD Nr. 24721: Zurich. p. 256.

Wegener K, Spierings AB, Teti R, Caggiano A, Knüttel D, Staub A (2021) A conceptual vision for a bio-intelligent manufacturing cell for Selective Laser Melting. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 34: p. 61-83.

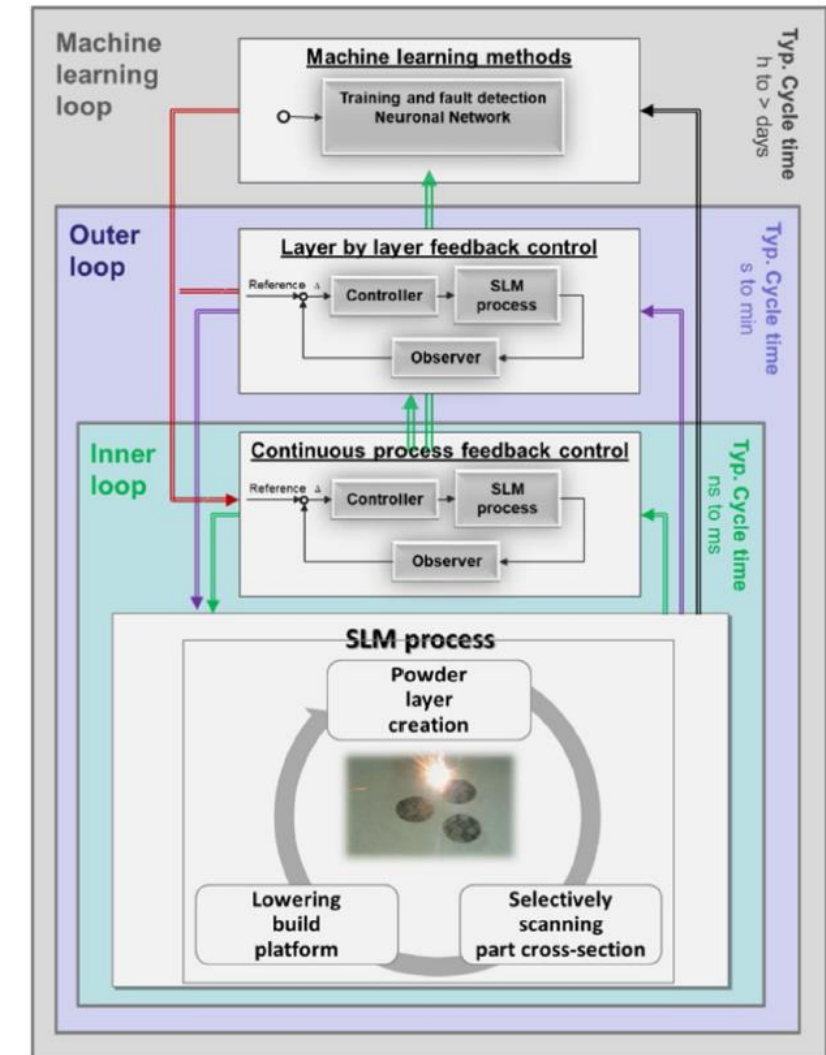
Neue Ansätze zur Überwachung von Prozess- und Materialintegrität

Die nächsten Schritte

- Parallelisierung der ECT Sensoren
 - Steigerung der Baufeld Abdeckung

- Integration in die Anlagensteuerung zur schichtweisen Identifikation von Defekten
 - Entwicklung von Korrektur Strategien

- Data fusion mit weiteren Monitoring Methoden und Machine Learning
 - Verbesserung der Detektionsgenauigkeit



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>

Thank you for your attention



Dr Adriaan Spierings

Dr.sc Dipl. Ing. ETH

Head inspire icams

Fürstenlandstrasse 122

CH-9014 St.Gallen

Phone: +41 71 523 62 01

spierings@inspire.ethz.ch

www.inspire.ethz.ch