

QUALITÄT 4.0 - OPTIMIERTE PRODUKTDATEN UND INLINE QUALITÄTSKONTROLLE ALS BASIS FÜR MASCHINELLES LERNEN



Qualität



Qualitätsdatenerfassung



Intelligente
Datenfusion und
Auswertung



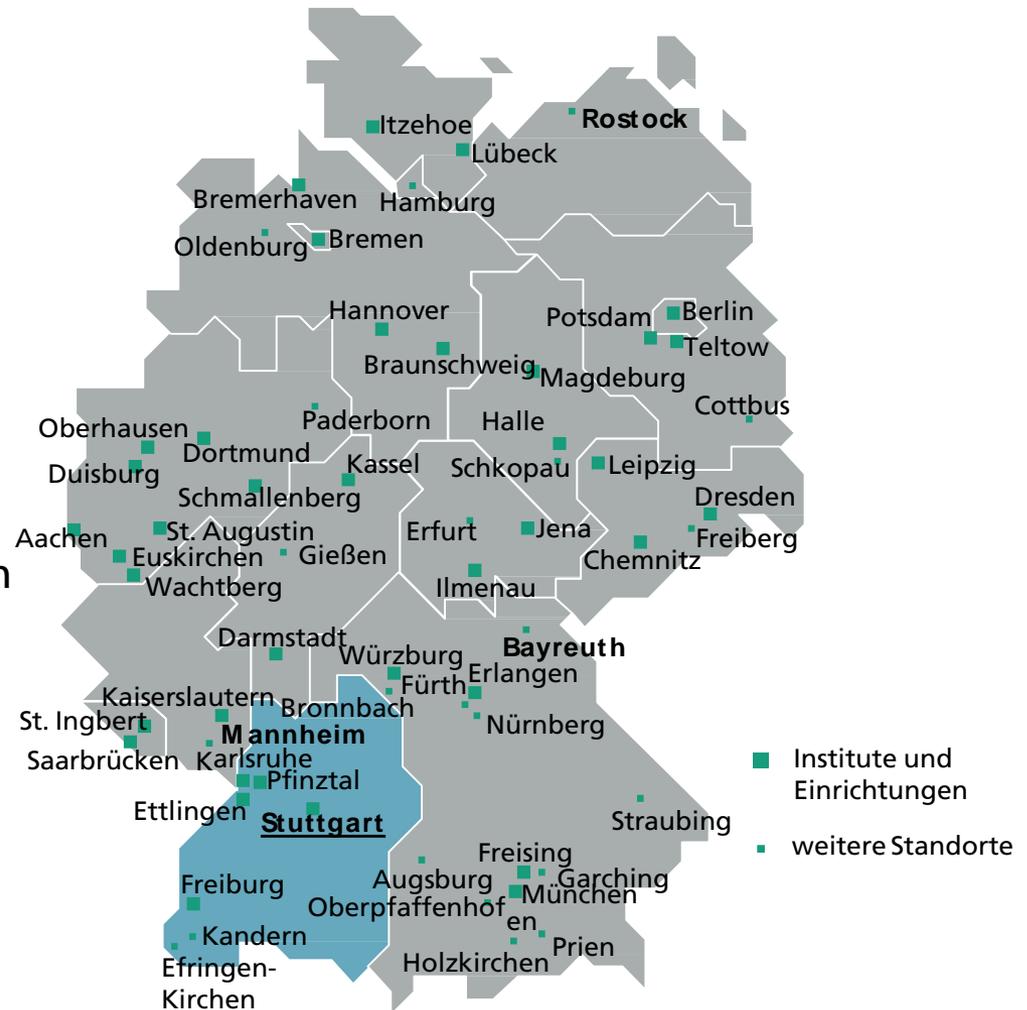
Dynamische Anpassung
von Fertigungsparametern

Dr.-Ing. Simina Fulga-Beising

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA

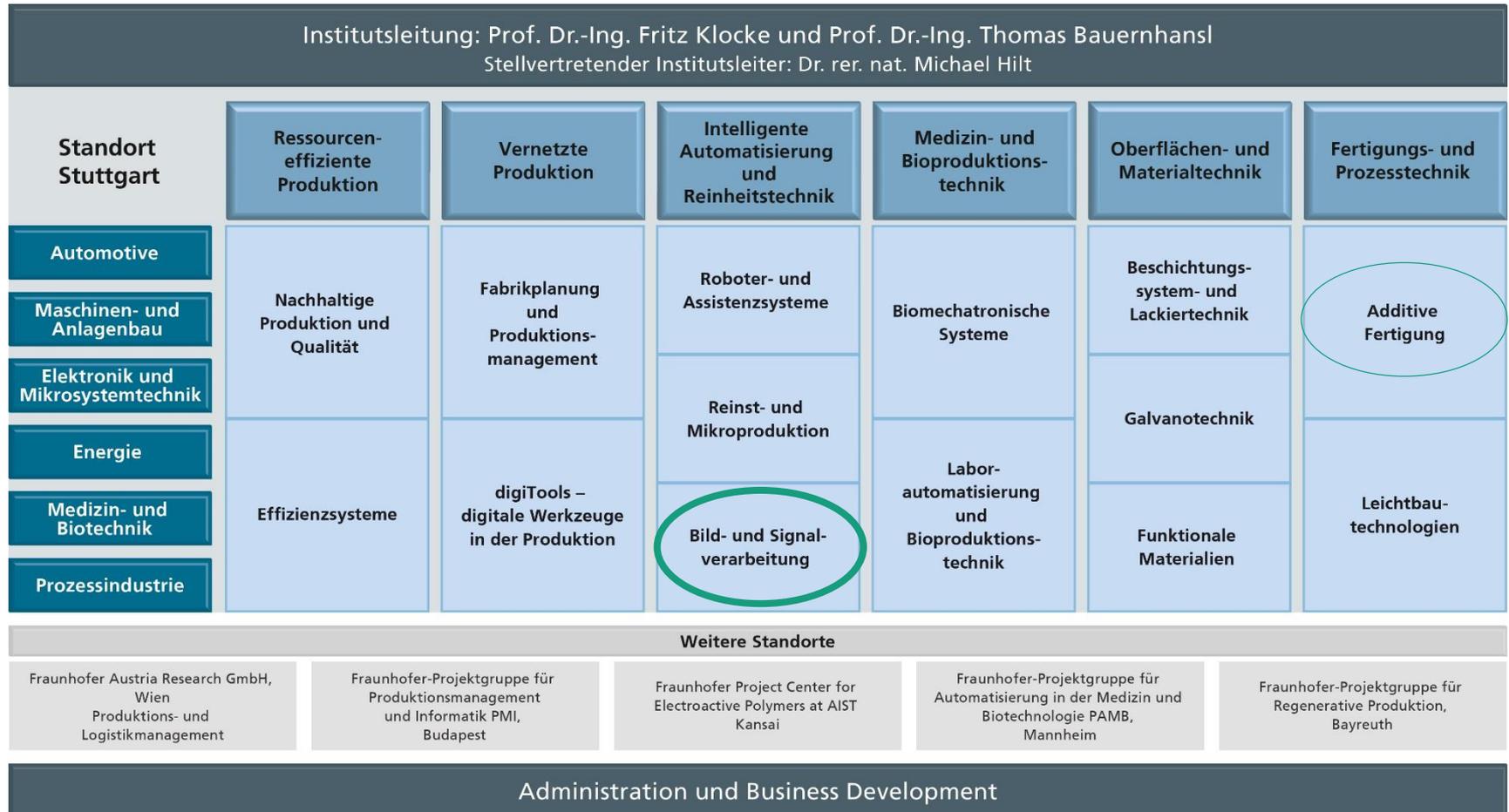
Das Fraunhofer IPA in der Fraunhofer-Gesellschaft

- Eines der größten Institute (72) der Fraunhofer-Gesellschaft
 - 74.7 M€ Haushalt 2017
 - 450 Wiss. Mitarbeiter
- Über 50 Jahre Erfahrung in Produktionstechnik und Automatisierung
- Kompetent in der Umsetzung von Innovationen in die industrielle Praxis
- Internationale Außenstellen in Ungarn, Österreich und Japan



Fraunhofer IPA

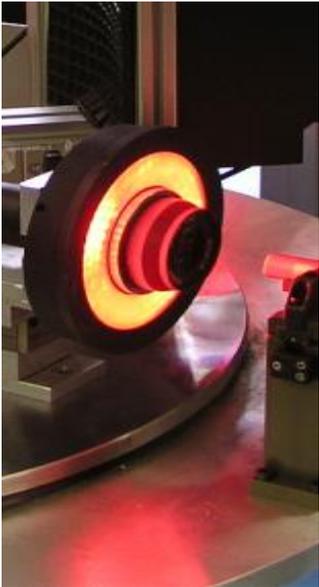
mit einer interdisziplinären Organisation



Stand: 06.2018

Qualität 4.0 - Losgröße 1

Intelligente, automatisierte Interpretation von Bild- und Sensorinformationen



**2D-MESS- UND
PRÜFTECHNIK**



**3D-MESS- UND
PRÜFTECHNIK**



**3D-OBJEKT-
ERKENNUNG**



**PROZESSÜBER-
WACHUNG UND
QUALITÄTS-
PROGNOSE**



**OPTISCHE 3D-
SZENENANALYSE**

Inhalt

- Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung
- Qualität 4.0
 - Maschinelles Sehen
Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
 - Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Zusammenfassung

Inhalt

- Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung
- Qualität 4.0
 - Maschinelles Sehen
Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
 - Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Zusammenfassung

Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung



Additive Fertigung

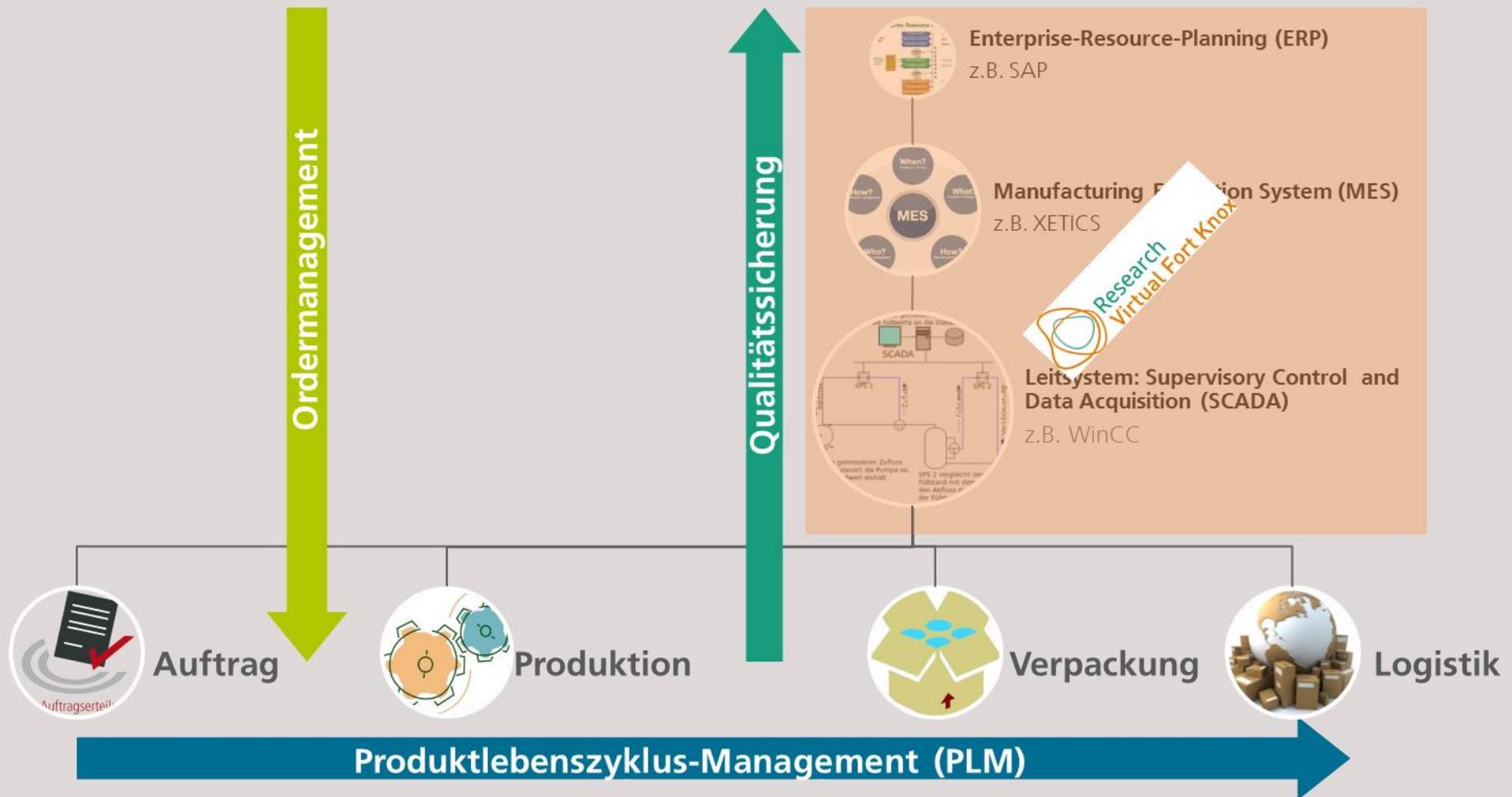
Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung



QM&QS

- **Daten**
z.B. Anlageneingangsdaten, Datenhaltung
- **Equipment**
z.B. Verschleißteile, Kalibrierung
- **Material**
z.B. Produktion ID, thermische Eigenschaften
- **Produktion & Batch**
z.B. Prozessparameter, Prozessteuerung
- **Bauteil**
z.B. CTQ (Critical To Quality)

Smarte additive Fertigung selbstorganisierte Prozess- und Produktqualität durch Selbstkontrolle und Selbstregelung



Qualitätsmanagement - AM 4.0

Synopse

Additive
Produktion der
Zukunft

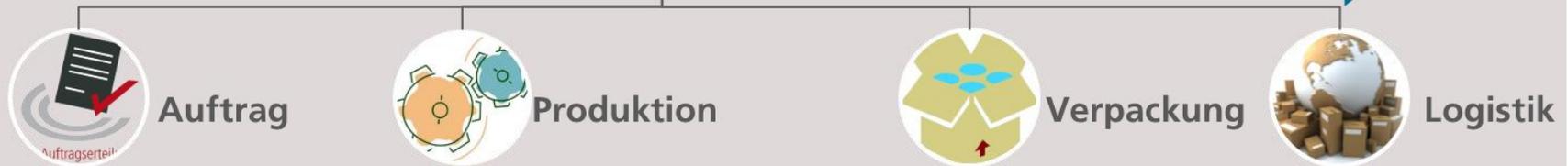
AM4.0

sichert **eine smarte additive Fertigung** mittels **intelligenter Daten** ↔ optimierter und erweiterter Datensatz:

- kalibrierte 3D-Daten, Prozess- und Produktionsparameter inklusive Produkt-ID und Optimierung der Produkt- bzw. Anwendungsparameter
- Auftragsdaten
- Verpackungs- und Logistikinformationen



Produktlebenszyklus-Management (PLM)



© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

AM 4.0

Smarte additive Fertigung mittels intelligenter Daten

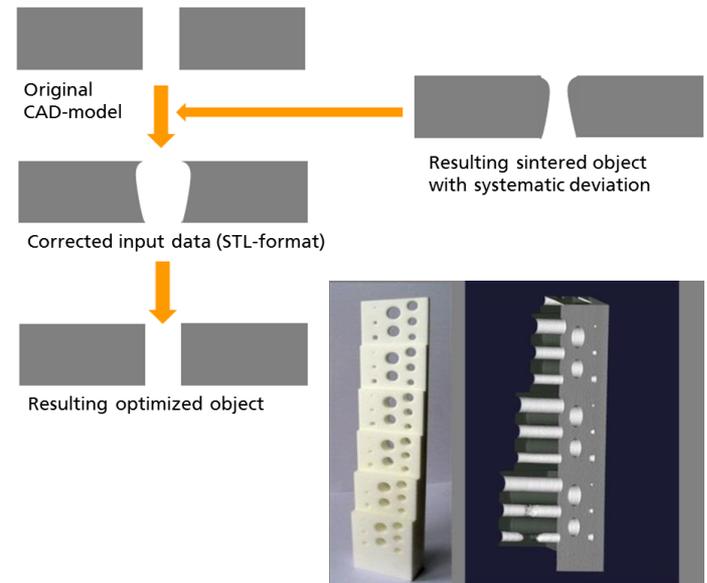
Funktion

- **intelligente Daten:**
 - kalibrierte 3D-Daten, Prozess- und Produktionsparameter inklusive Produkt-ID bzw. optimierte Produkt- bzw. Anwendungsparameter
 - integrierte Auftragsdaten, Verpackungs- und Logistikinformationen

Vorteile

- **erhöhte Qualität und sichere Reproduzierbarkeit** durch einen produktklassen- und produktionsanlagenspezifischen Korrekturdatensatz des STL-Datensatzes
- **Steuerung des Produktionsprozesses** über eine Industrie 4.0 Infrastruktur basierend auf einer Cloud Plattform (Virtual Fort Knox)

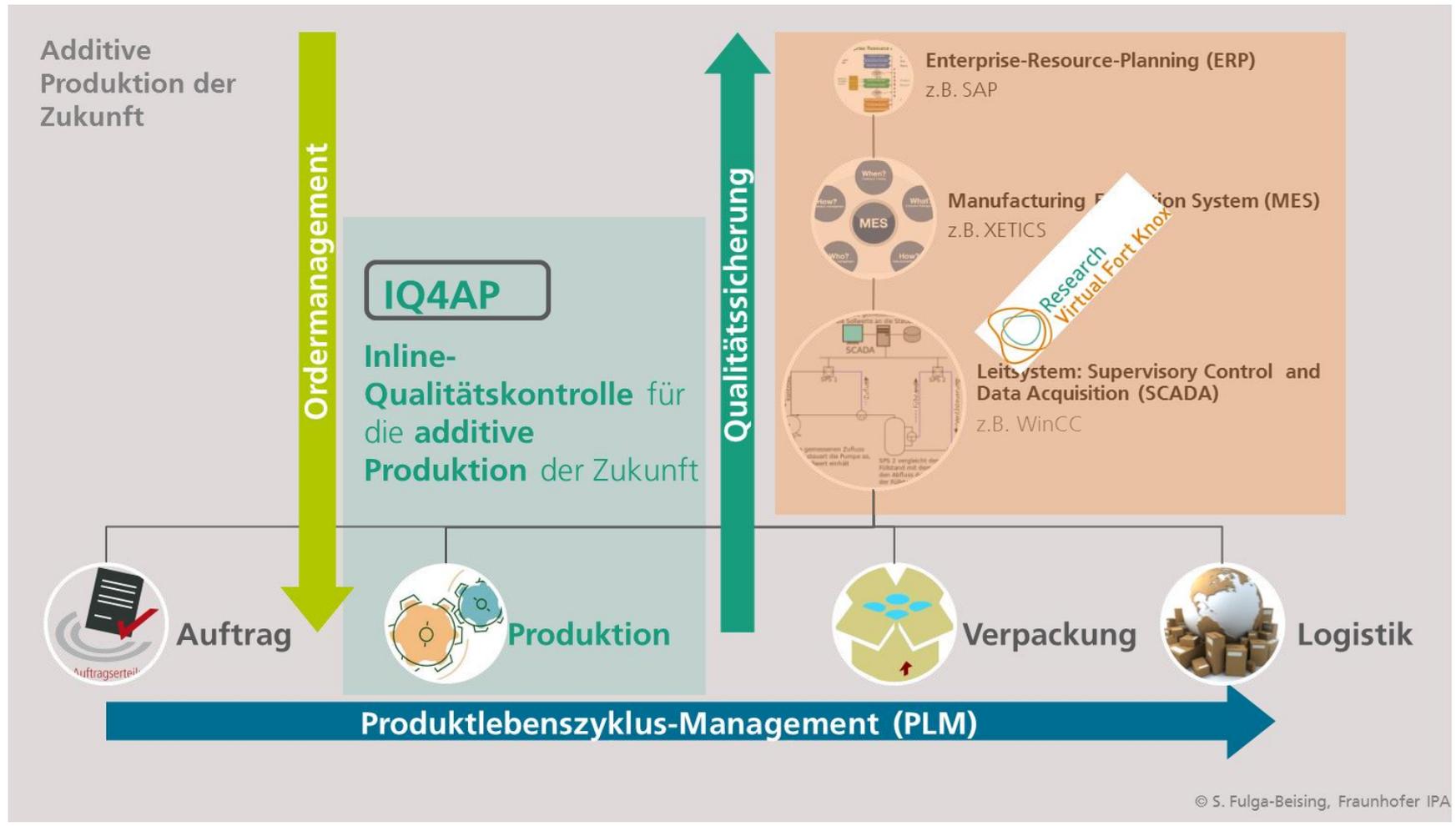
Profile of a cylindrical hole



Quelle: Julia Denecke; Fraunhofer IPA

Qualitätssicherung - IQ4AP

Synopse



© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

IQ4AP am Beispiel des Selektiven Lasersinterns (SLS)

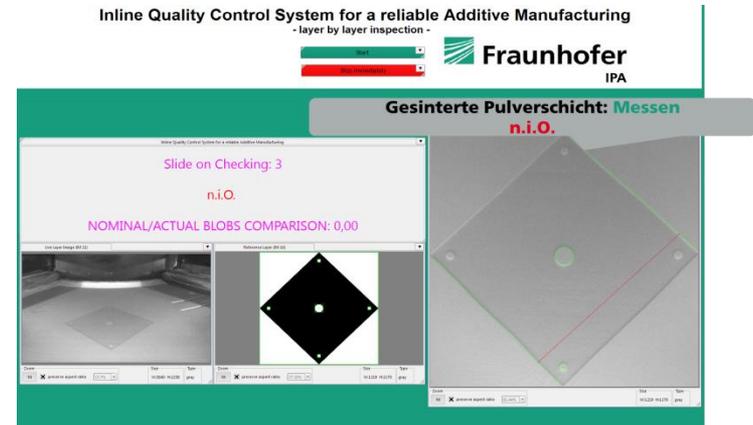
Schnelle Implementierung und vorhersagbare Zuverlässigkeit und Qualität durch Bauteilprotokoll auf Schichtebene

Funktion

- Maschinelles Sehen-Sensordatenerfassung
- Inline-Qualitätskontrolle während der Bauteilherstellung
- Umsetzung für pulverbasierte Verfahren am Beispiel des SLS

Vorteile

- Maschinenunabhängig
- Ausgezeichnetes Preis-Leistungs-Verhältnis
- Modulares Plattform-Design



Quelle: Simina Fulga; Fraunhofer IPA

Inhalt

- Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung
- Qualität 4.0
 - Maschinelles Sehen
Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
 - Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Zusammenfassung

Qualität 4.0

4.0

Qualität 4.0

»Intelligente, adaptive Qualität«



Sensordatenerfassung

Qualitätsdaten bzw.
alle kritischen
Kennwerte



»NUCLEUS«

Intelligente
Qualitätsdatenfusion
und Auswertung

Wissen
Komplexe
Zusammenhänge
Ein kombiniertes
Ergebnis



Dynamische Anpassung
von
Fertigungsparametern

Radikale Veränderung
der Qualitätsregelung
⇔ adaptive Qualität



Qualität 4.0

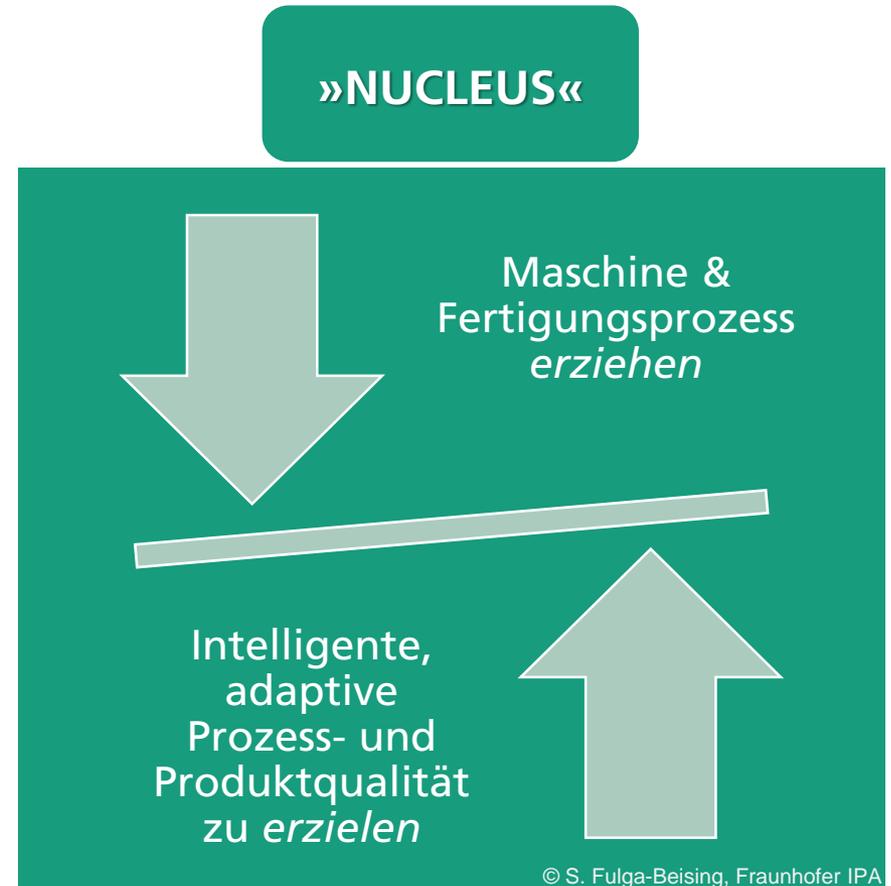
Selbstorganierte
Prozess- und
Produktqualität durch
Selbstkontrolle und
Selbstregelung

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

Qualität 4.0

»NUCLEUS« - Maschinelles Lernen (ML)

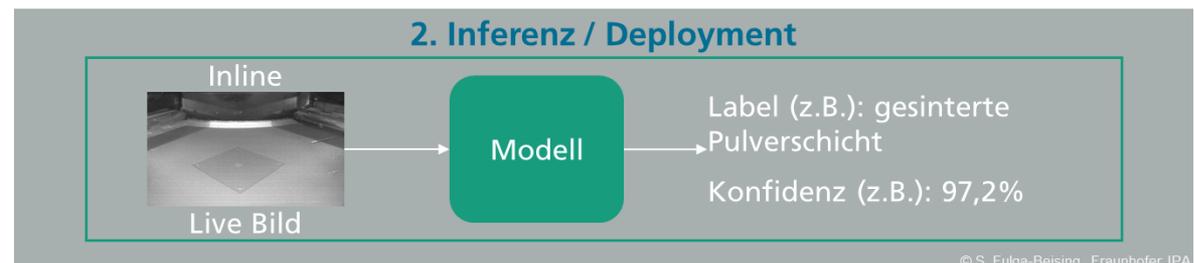
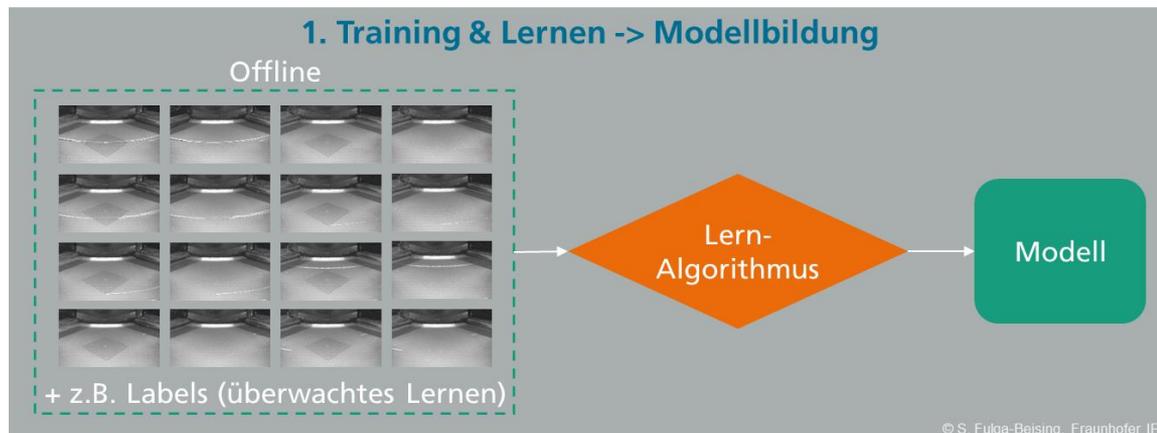
- **Steigerung der Qualität** intelligenter Informationsverarbeitung
 - Lösung: genauer
 - Aufgabenbereich: breiter
 - Arbeitsweise: ökonomischer
 - Wissensstruktur: einfacher
- Alan Turing (ML): den Computer erziehen!



»NUCLEUS«

Maschinelles Lernen

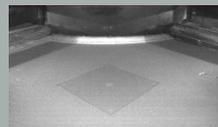
- ML **verknüpft** empirische Beobachtungen, menschliches Vorwissen und überlegene Rechnerleistung zu einer neuen Qualität intelligenter Informationsverarbeitung



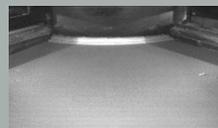
»NUCLEUS« ML - Modell

- Funktion von Daten erlernt: beobachtete Eingangswerte & vorausgesagte Ausgabewerte
- Die zugrundeliegende Funktion kann unterschiedlich sein, z.B.:

Pulverschicht Klassifikation (SLS)



Gesinterte Pulverschicht



Pulverschicht

Feed Forward
Neural Networks

Support Vector Machines

Tree Ensembles

Generalized Linear Models

Recurrent
Neural Networks

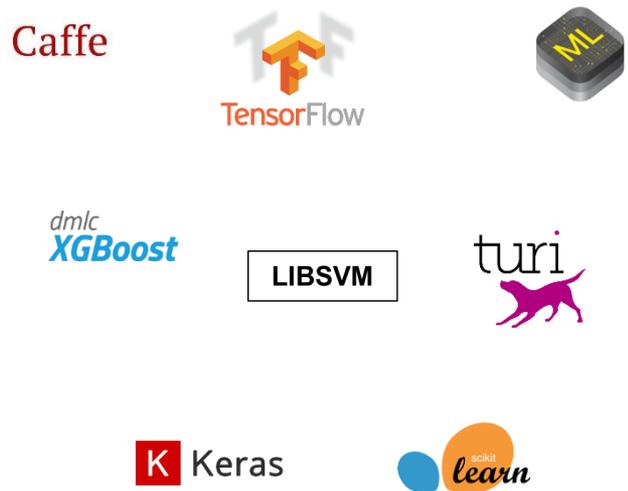
Convolutional
Neural Networks

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

»NUCLEUS« ML - Modell

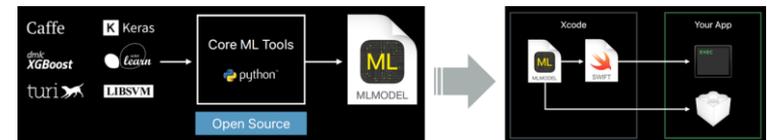
Wie erzeugen wir ein Modell?

- Eine unglaublich große ML-Community -> verschiedene ready to use ML-Baukästen anwendbar

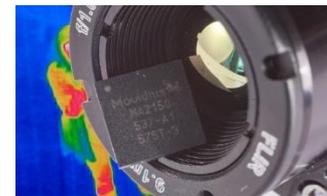


Wie sieht es mit dem Deployment aus?

- auf Standard PC
- direkt auf mobile Endgeräte -> z.B. iOS, watchOS



- direkt auf intelligente Kameras



Qualität 4.0

»Intelligente, adaptive Qualität«



Sensordatenerfassung

Qualitätsdaten bzw.
alle kritischen
Kennwerte



»NUCLEUS«

Intelligente
Qualitätsdatenfusion
und Auswertung

Wissen
Komplexe
Zusammenhänge
Ein kombiniertes
Ergebnis



Dynamische Anpassung
von
Fertigungsparametern

Radikale Veränderung
der Qualitätsregelung
⇔ adaptive Qualität



Qualität 4.0

Selbstorganierte
Prozess- und
Produktqualität durch
Selbstkontrolle und
Selbstregelung

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

Inhalt

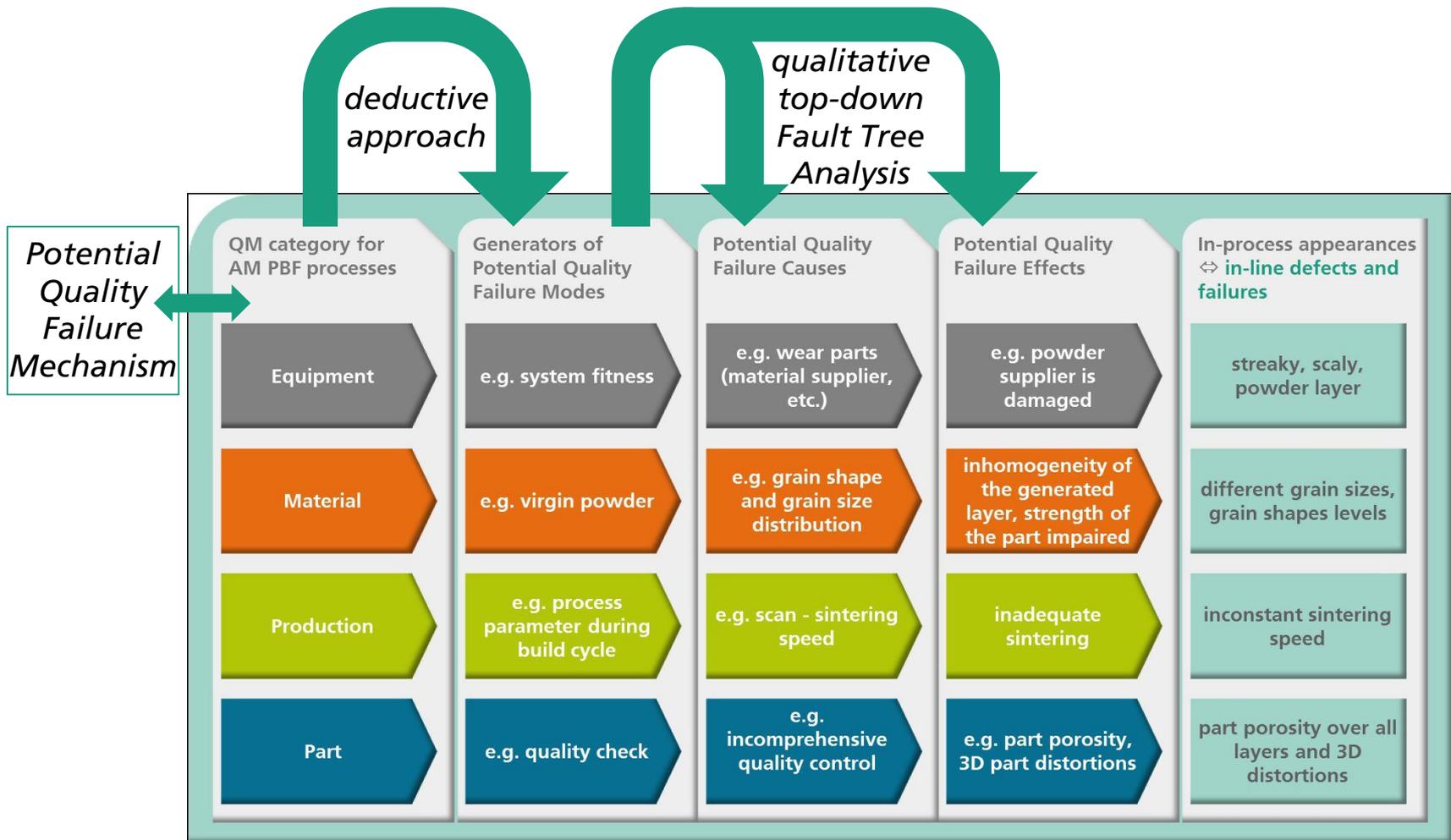
- Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung
- Qualität 4.0
 - Maschinelles Sehen
Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
 - Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Zusammenfassung



Maschinelles Sehen Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns

Inline-Defekte und -Fehler

Verfahren zur Identifikation

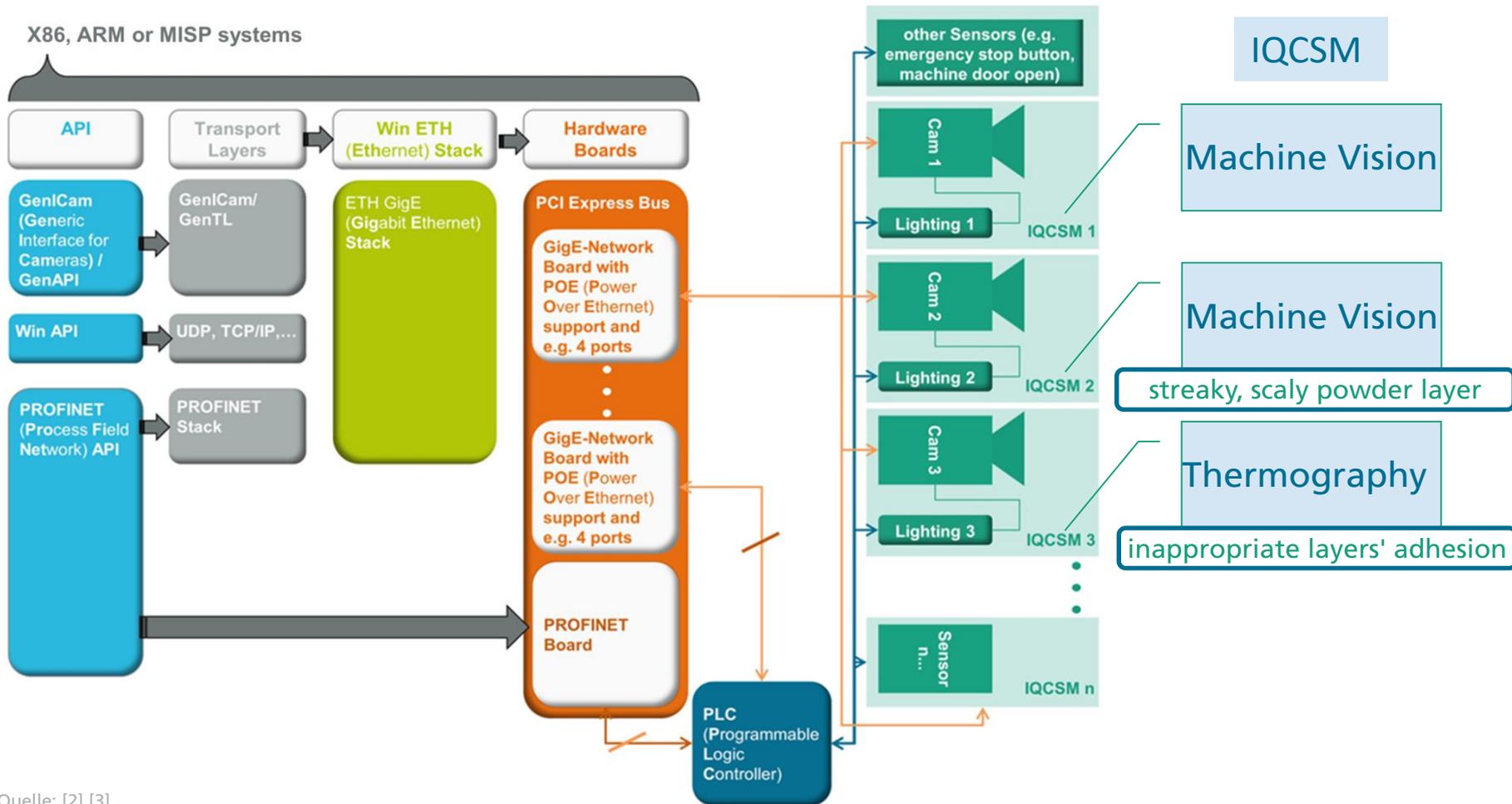


Quelle: [2]

AM production steps	In-line defects to be identified by the in-line QC system ⇔ tasks of the in-line QC system (ranking position)
During all steps	deposits on laser window (1)
	inconstant temperature (2)
After each powder layer application	streaky, scaly powder layer (1)
	layer porosity (2)
	variation of layer thickness (2)
	density variations of the powder layer (2)
	impurities in powder layer(2)
	different grain size (2)
During sintering process of the powder layers	inconstant temperature on sintering point (1)
	melting of the edge zone depending on geometry (1)
	inconstant sintering speed (1)
	scan line deviation (1)
	melting of the part, black sintered (2)
	check the hatch distance (3)
After sintering of each powder layer	layers' overlapping, layers' sintering failed (1)
	inappropriate layers' adhesion (1)
	layer and part surface roughness (1)
	geometrical deviations and distortions of the sintered layer (1)
	layer porosity (2)
After part is finished sintered	layer/part orientation within the build volume, only after sintering the first layer (3)
	geometrical deviations and distortions of the part (1)
	porosity analysis of the part over all layers (1)
	part surface roughness (1)

Gesamtkonzept für die Sensordatenerfassung

Design der Hardwarearchitektur



Quelle: [2],[3]

Qualität 4.0

»Intelligente, adaptive Qualität«



Sensordatenerfassung

Qualitätsdaten bzw.
alle kritischen
Kennwerte



»NUCLEUS«

Intelligente
Qualitätsdatenfusion
und Auswertung

Wissen
Komplexe
Zusammenhänge
Ein kombiniertes
Ergebnis



Dynamische Anpassung
von
Fertigungsparametern

Radikale Veränderung
der Qualitätsregelung
⇔ adaptive Qualität



Qualität 4.0

Selbstorganierte
Prozess- und
Produktqualität durch
Selbstkontrolle und
Selbstregelung

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

Inhalt

- Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung
- Qualität 4.0
 - Maschinelles Sehen
Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
 - Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Zusammenfassung

The background features a golden-yellow color scheme with a grid of binary code (0s and 1s) and various numerical data points such as 12.02, 02.64, 12.25, 22.03, 33.02, 74.02, 45.25, 95.02, 32.02, 74.02, 45.25, 95.02, 32.02, 74.02, 45.25, 95.02, 32.02, 74.02, 45.25, 95.02, 32.02, 74.02, 45.25, 95.02. Several white-outlined rectangular boxes are scattered across the image, some containing binary code and others containing numbers. A white arrow points upwards from the bottom right towards the top right.

»NUCLEUS«

Intelligente Qualitätsdatenfusion
und Auswertung am Beispiel des
Selektiven Lasersinterns

Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung

Maschinelles Sehen und Lernen

Schritt 1: Maschinelles Lernen
Modell zur Fehler-Klassifikation
• Qualifikation der Bilder

Schritt 2: Maschinelles Sehen
• Inline qualitative und quantitative Aussagen

Schritt 3: Maschinelles Lernen
Modell zur Parameteranpassung
• Dynamische Anpassung von Fertigungsparametern

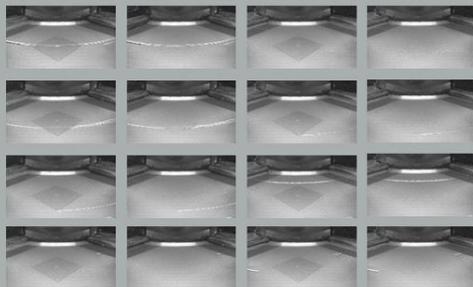
Selbstorganierte Prozess- und Produktqualität
durch Selbstkontrolle und Selbstregelung

Schritt 1: Maschinelles Lernen

Qualifikation der Bilder

1. Training & Lernen -> Modellbildung

Offline an qualifizierter
Bilddatenbank (IQCSM 1 bis 3)



+ Labels (z.B. Rille in
Pulverschicht, fehlerhafte
Schichthaftung, usw.)

Lern-
Algorithmus

Modell zur
Fehler-
Klassifikation

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

2. Inferenz / Deployment

Inline



Live Bild (IQCSM 1 bis 3)

Modell zur
Fehler-
Klassifikation

Label (z.B.): Rille in
Pulverschicht

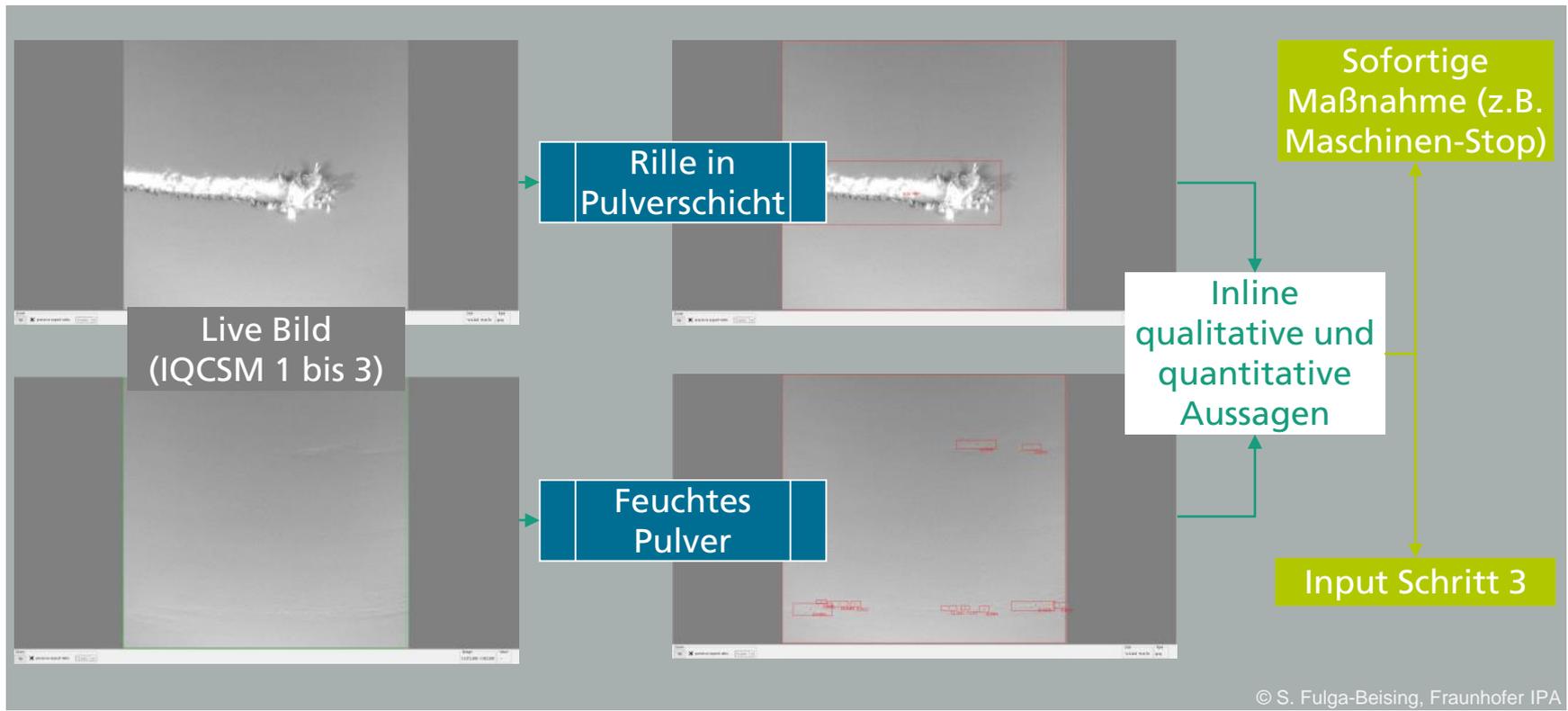
Konfidenz (z.B.): 98,8%

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

Schritt 2: Maschinelles Sehen

Inline qualitative und quantitative Aussagen

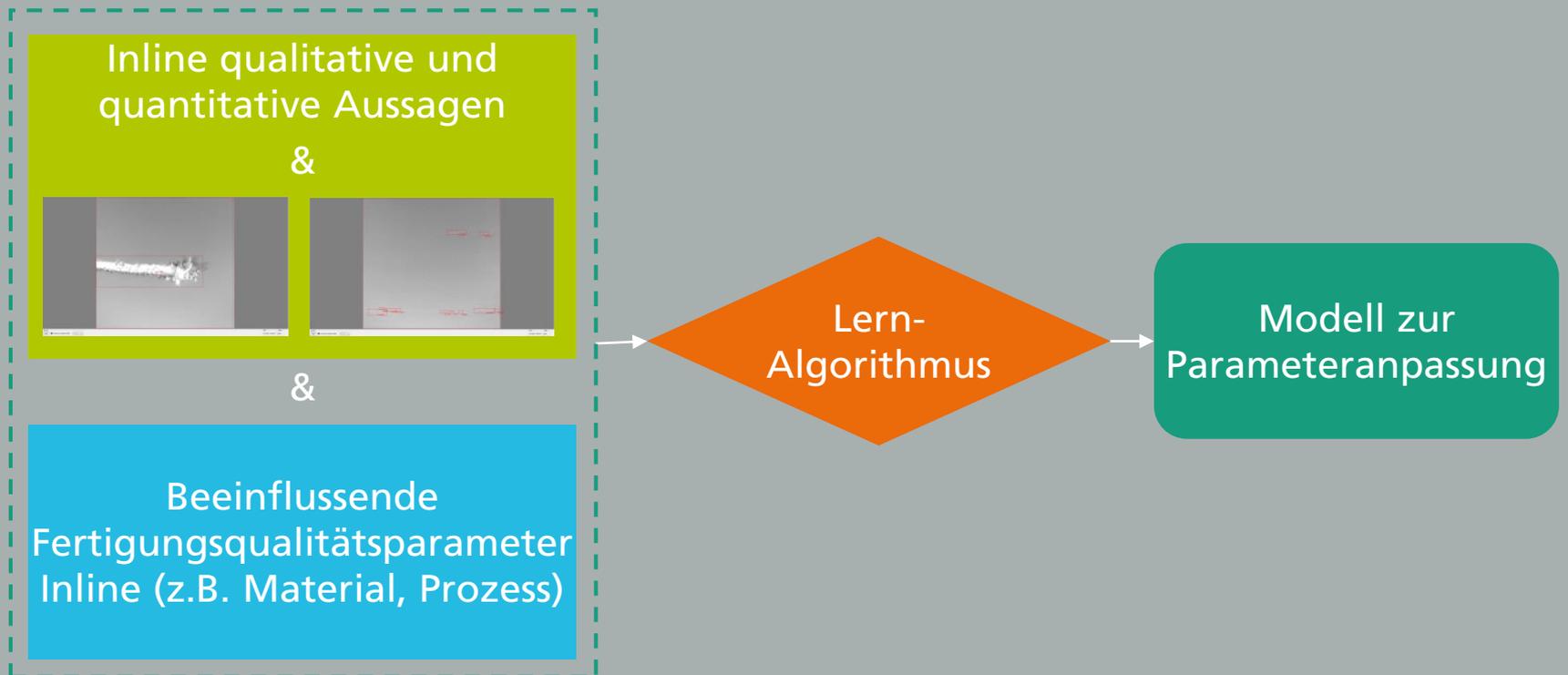
- basierend auf den Ergebnissen aus Schritt 1 -> automatische Auswahl BV-Subroutine und Inline-Auswertung



Schritt 3: Maschinelles Lernen

Dynamische Anpassung von Fertigungsparametern 1/2

1. Training & Lernen -> Modellbildung

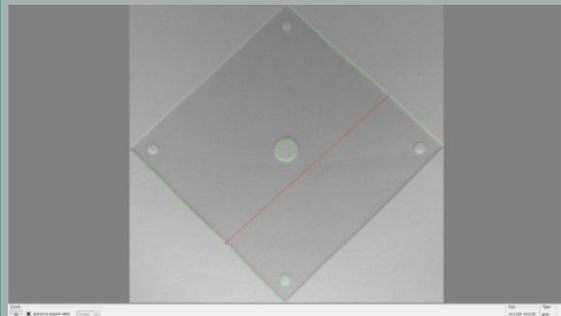


© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

Schritt 3: Maschinelles Lernen

Dynamische Anpassung von Fertigungsparametern 2/2

2. Inferenz / Deployment



Inline qualitative und quantitative Aussagen

Modell zur Parameteranpassung

Parameter (z.B.):
Laserleistung
erhöhen mit 3%
Konfidenz (z.B.):
87,5%

Dynamische Anpassung von
Fertigungsparametern

© S. Fulga-Beising, Fraunhofer IPA

Inhalt

- Qualitätsmanagement & Qualitätssicherung
- Qualität 4.0
- Maschinelles Sehen
Sensordatenerfassung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Intelligente Qualitätsdatenfusion und Auswertung am Beispiel des Selektiven Lasersinterns
- Zusammenfassung



Zusammenfassung

4.0

Qualität 4.0 für die additive Fertigung

Zusammenfassung

■ Intelligente Daten:

- erhöhte Qualität und sichere Reproduzierbarkeit durch einen produktklassen- und produktionsanlagenspezifischen Korrekturdatensatz
- Steuerung des Produktionsprozesses über eine Industrie 4.0 Infrastruktur

■ Maschinelles Sehen:

- Inline-Qualitätskontrolle in verschiedenen Formen existent (z.B. Temperatur Überwachung, Inline-Messung der Geometriemerkmale, Optische Tomographie (OT), Melt Pool Monitoring)

■ Maschinelles Lernen:

- verschiedene ready to use **ML-Baukästen**
- **Run on device:** direkt auf mobile Endgeräte und auf intelligente Kameras als auch auf speziell entwickelten Visual Processing Units



Qualität 4.0 für die additive Fertigung

Zusammenfassung

Die additive Fertigung ist auf dem Weg zum gleichwertigen Produktionsverfahren auch durch Qualität 4.0

Interesse an einer Zusammenarbeit?

1. Strategische Kooperation

- Entwicklung einzigartiger Lösungen
- Enge Kooperation zwischen Forschung und Industrie zur Entwicklung innovativer Lösungen mit wissenschaftlichem Fundament und industriellem Pragmatismus
- Intensiver, gegenseitiger Wissens-, Erfahrungs- und Kompetenzaustausch
- Zugang zu einer hervorragenden Infrastruktur und zu umfangreichem Pool an Experten

2. Projektspezifische Beauftragung

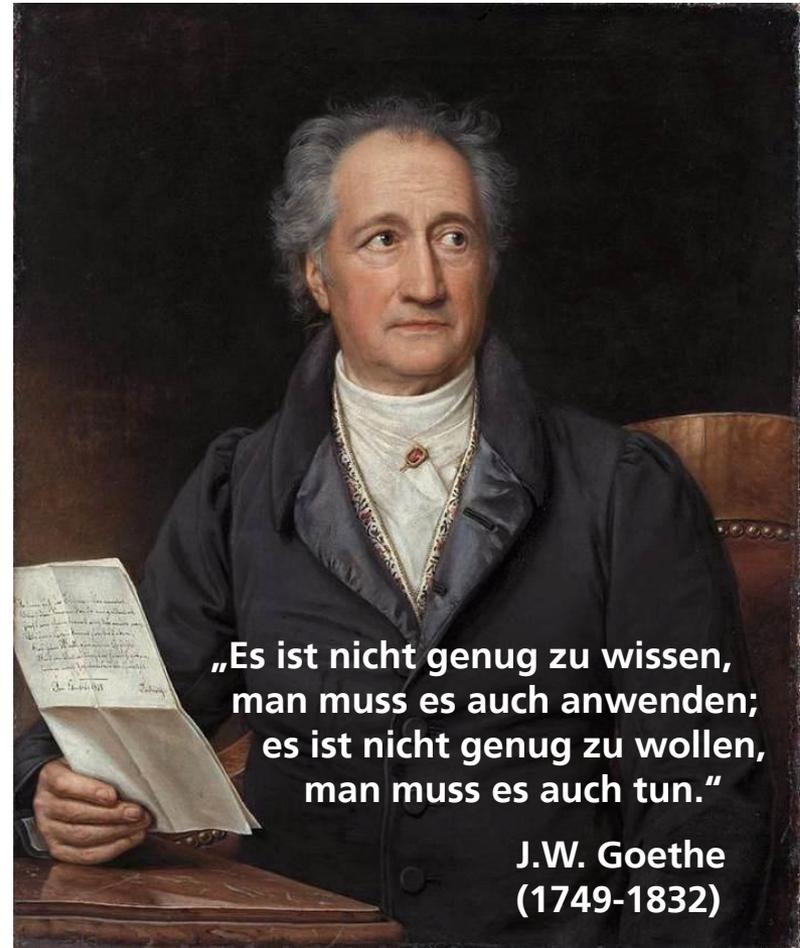
- Klares Ziel mit eindeutig definiertem Entwicklungs- oder Beratungsergebnis

3. Rein informativer Wissens- und Erfahrungsaustausch

- Keine Entwicklung innovativer Lösungen
- Zusammenarbeit im Rahmen gemeinsamer Diskussions- und Beratungsgremien



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



**„Es ist nicht genug zu wissen,
man muss es auch anwenden;
es ist nicht genug zu wollen,
man muss es auch tun.“**

**J.W. Goethe
(1749-1832)**

Qualität 4.0 für die additive Fertigung

Ihr Ansprechpartner



Wir produzieren Zukunft
Nachhaltig. Personalisiert. Smart.

Dr.-Ing. Simina Fulga-Beising
Senior Scientist

Abteilung Bild- und Signalverarbeitung

Telefon +49 711 970-1856

simina.fulga-beising@ipa.fraunhofer.de

www.ipa.fraunhofer.de

Quellenangabe

- [1] S. Fulga, A. Davidescu (Hauptberichter), A. Verl (Mitberichter), A. Albu-Schäffer (Mitberichter), I. Bogdanov, „Inline quality control system for a reliable Additive Manufacturing layer-by-layer Inspection“, In: Editura Politehnica. Seria 9: Inginerie Mecanica. 172. Diss. 2016, ISBN 978-606-35-0106-7
- [2] S. Fulga, A. Davidescu, I. Effenberger and A. Verl, “Tasks for in-line quality control and in-situ optimisation of Additive Manufacturing Powder Bed Fusion Processes (Professional)“, in: Proc. of the 6th International Conference on Additive Technologies, Rapid Prototyping and Innovative Manufacturing Network - RAPIMAN-, Nürnberg, 2016, S. 285-291
- [3] S. Fulga, A. Davidescu, I. Effenberger and A. Verl, “In-line quality control system for a reliable Additive Manufacturing -layer by layer inspection-,“ in: Proc. of the 6th International Conference on Additive Technologies, Rapid Prototyping and Innovative Manufacturing Network -RAPIMAN-, Nürnberg, 2016, S.292-299