
VON PROZESSINTEGRIERTER SENSORIK ZUM MATERIALS DATA SPACE - QUALITÄTSSICHERUNG FÜR INDUSTRIE 4.0

Dr. Christian Wunderlich



Fraunhofer IKTS in Zahlen



Standorte	Hauptsitz	Hermsdorf	Dresden-Klotzsche	Gesamt
Personal (Vollstellenäquivalent)	305	147	123	575
Betriebshaushalt in Mio. €	29,6	12,3	12,2	54,1
Industrieerträge in Mio. €	8,5	5,1	2,4	16,1

Stand: April 2016

Institutsleiter:

Prof. Dr. Alexander Michaelis

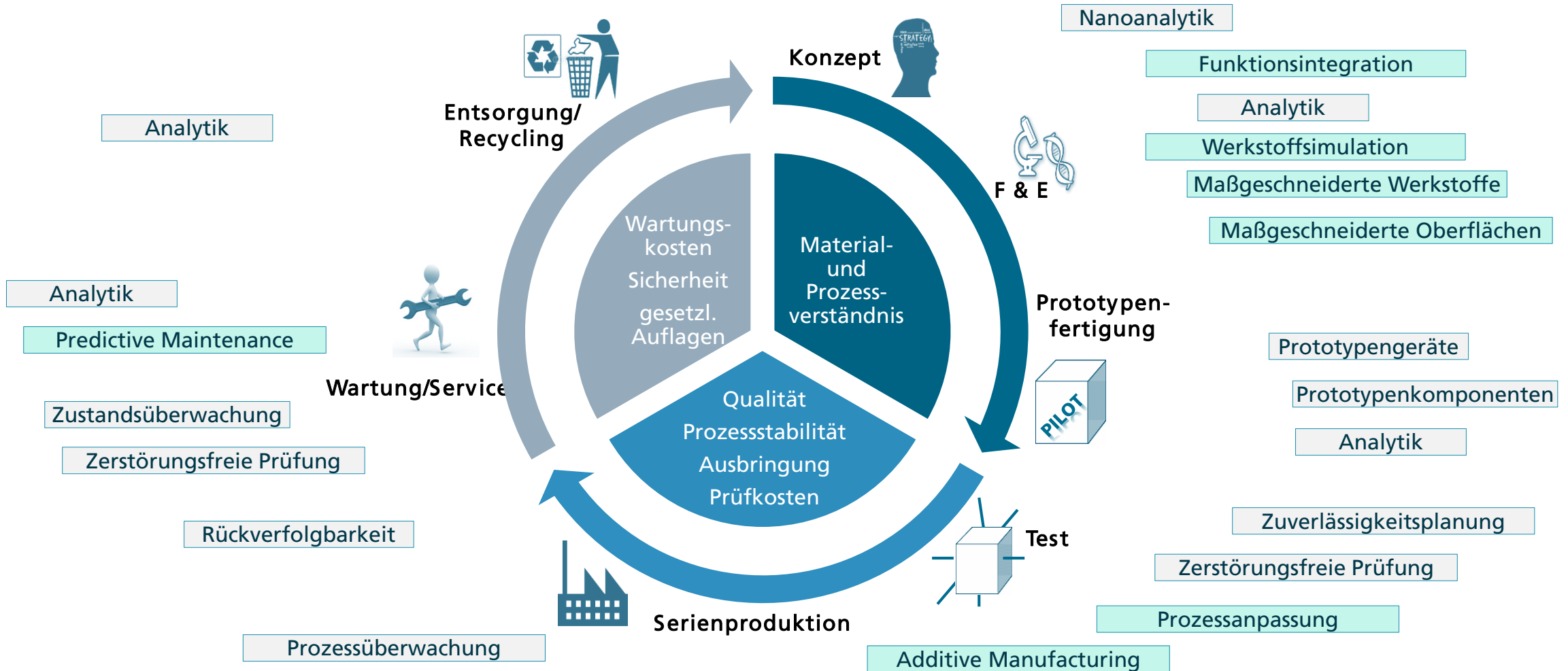


Management System
ISO 13485:2003
www.tuv.com
ID 0000026968



Management System
ISO 9001:2008
ISO 14001:2004
www.tuv.com
ID 1100005194

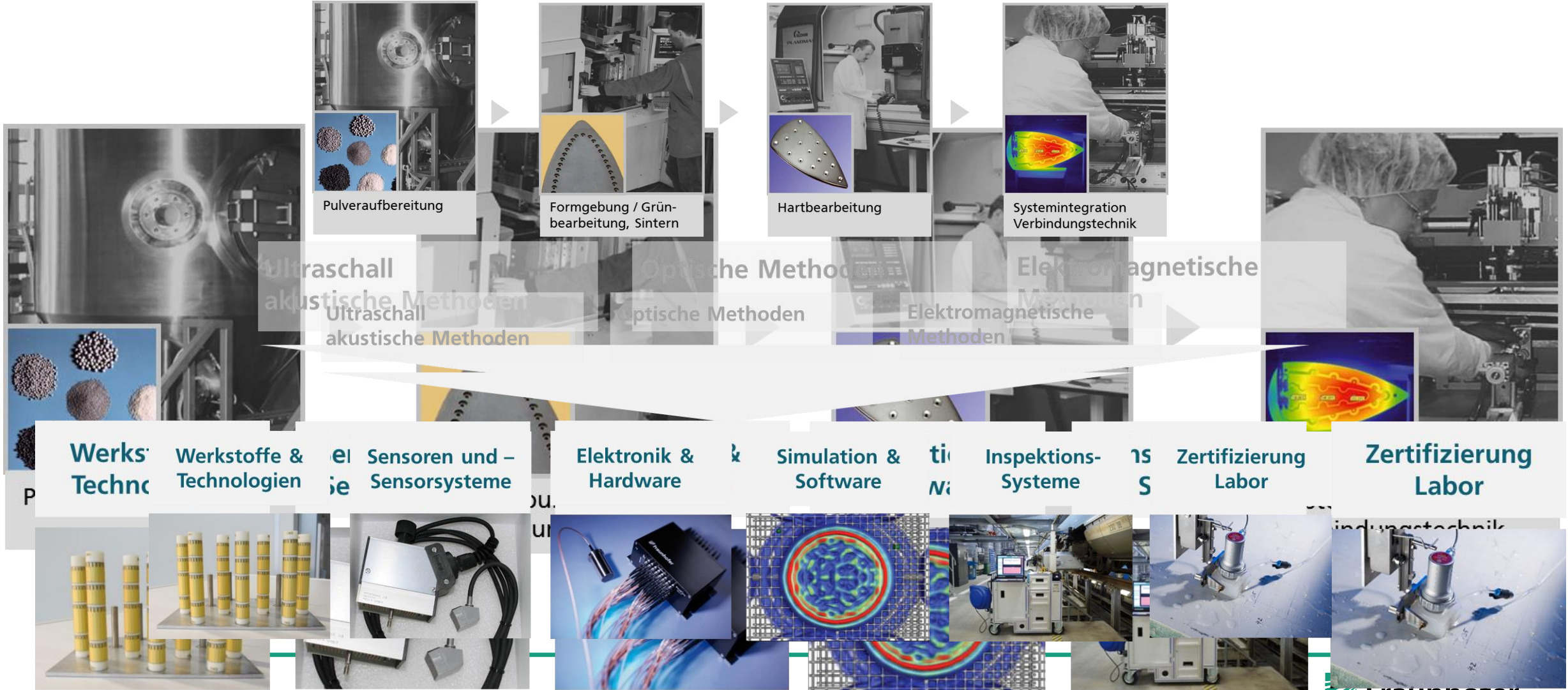
Materialdiagnostik im Produktlebenszyklus



Größter Kundennutzen → größtes Ertragspotential

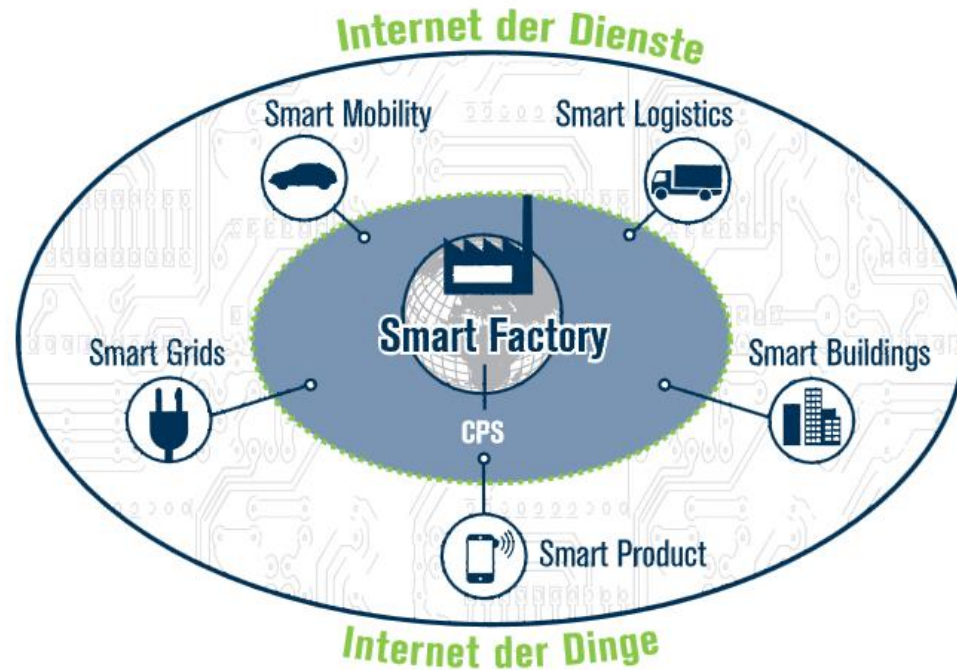
Fraunhofer IKTS

Denken in Wertschöpfungsketten



Industrie 4.0

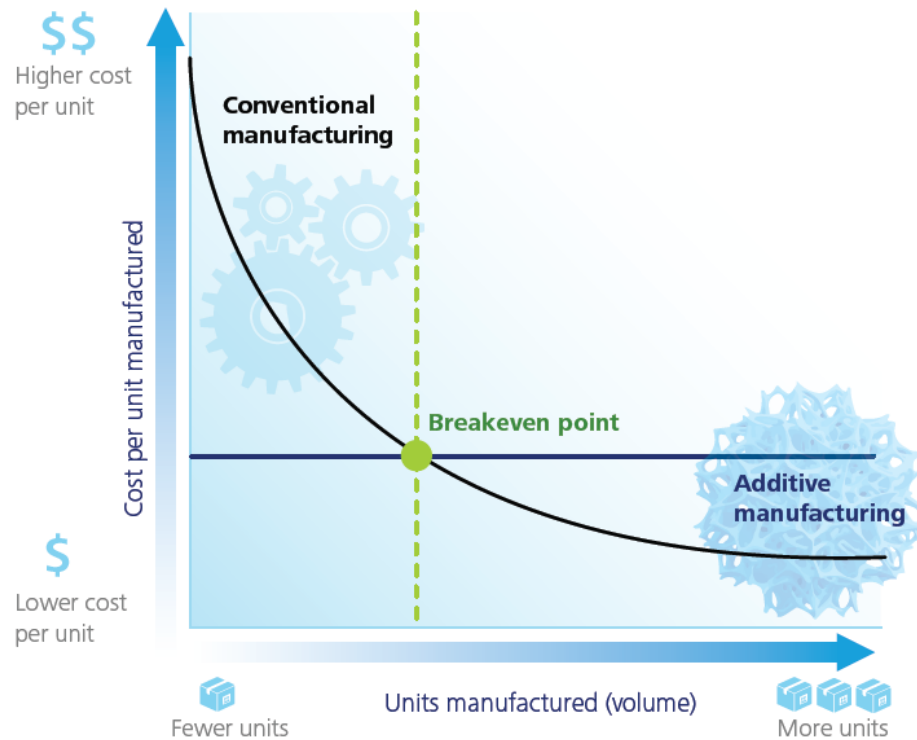
Wo ist der Nutzen ???



- Neue Geschäftsmodelle
- dramatisch gesunkene Grenzkosten
- Individualisierte Produktion und Dienstleistung

Industrie 4.0

Individualisierte Produktion



Individualisierte Produktion auf Basis von 6 Kernelementen:

1. Kleinteilige Standardisierung einzelner Prozessschritte
2. Modularisierung
3. Rechnergestützte Modellierung
4. Additive Fertigungsverfahren für individuelle Bauteile
5. Vernetzung
6. Automatisierte flexible Kombination

Streben nach Skaleneffekten hinfällig – kostengünstige individualisierte Produktion

Individualisierte Produktion nah am Kunden ist Kernnutzen von Industrie 4.0

Paradigmenwechsel in der industriellen Qualitätssicherung und zFP

- Etablierte und optimierte Prozessketten
- statistischen Prozesskontrolle und statistischen Qualitätsplanung (Six Sigma)
- zerstörende Prüfung Stichprobenteile
- Austauschbau

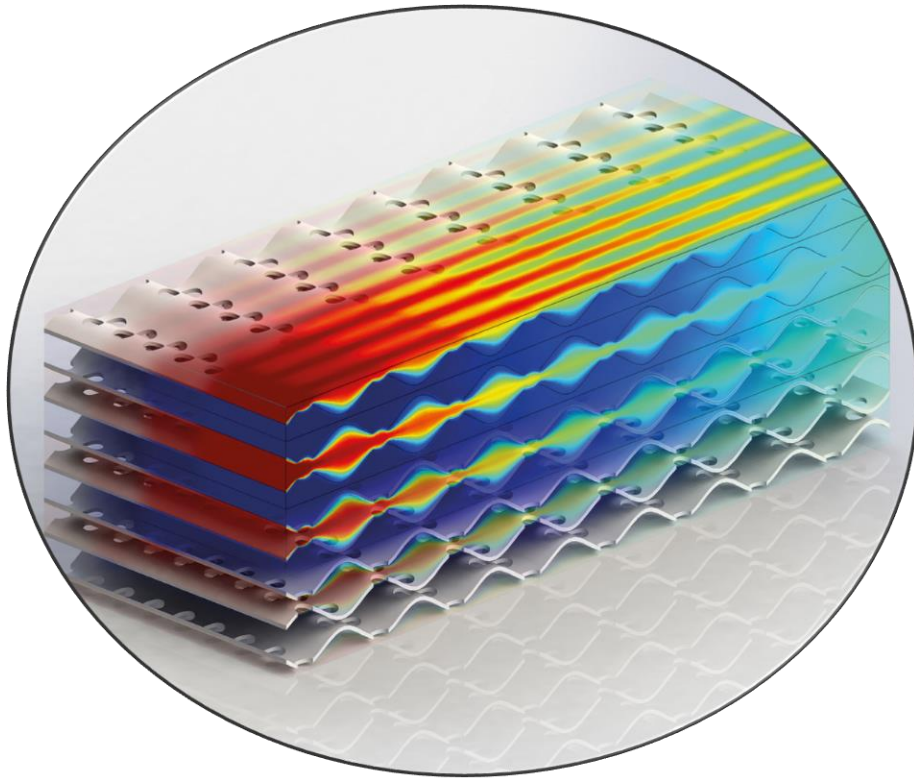


- Fertigung „on demand“ – Kunden konfiguriert
- Additive und klassische Verfahren in Kombination
- Neues Paradigma der Qualitätssicherung
- Integrierte Intelligenz, selbstlernend



Das neue Paradigma der Qualitätssicherung

Wertschöpfungsketten-übergreifende massive Datenerfassung und deren Verknüpfung mit dem Einzelteil



- Überwachung Rohstoffe, Pulver, Pasten, Umgebung
- Material- und Prozessdiagnostik in-line im Entstehungsprozess
- Werkstoff- und verfahrensbezogene anisotrope und räumlich aufgelöste Festigkeits- / Steifigkeits- und Eigenspannungsdaten
- Neues Verständnis für Grenzflächenmechanismen bis in den Nanobereich
- Feedback Loop zu CAD-/FEM Modellen
- Wertschöpfungsketten übergreifender Datenaustausch und Datenspeicherung
- Produktbegleitende überwachende Sensorik
- 100% Rückverfolgbarkeit über Form- und Prozessgrenzen
- Automatisierte Fehlerfrühwarnung über Big Data Methoden

Die Angebote von Fraunhofer – Qualität in Industrie 4.0

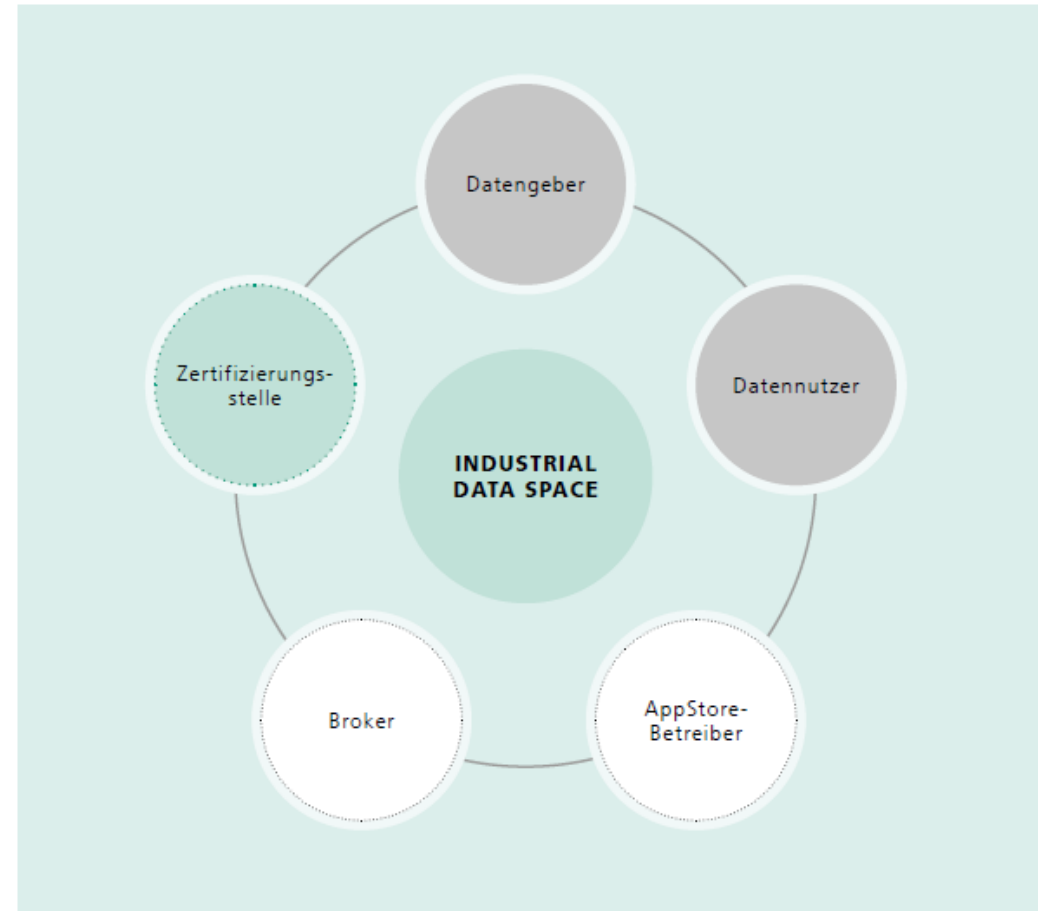
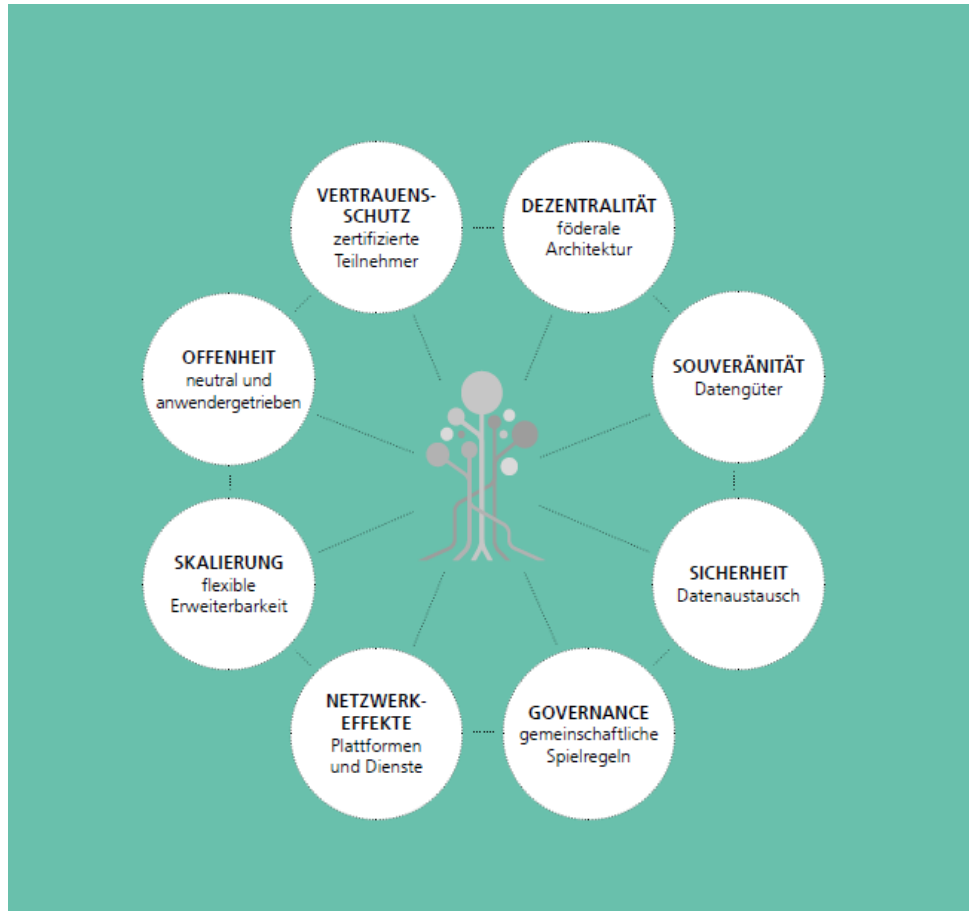
Übergreifende Angebote:

- Industrial Data Space – Fraunhofer Zentrale + Industrial Data Space e.V.
- Material Data Space® – Fraunhofer Verbund Materials

Technologien diverser Institute, hier dargestellt für Fraunhofer IKTS:

- Sensorik für Materialdiagnostik
- SHM / CM Sensorik strukturintegriert / prozessintegriert
- Werkstoffanalyse und Grenzflächenmechanismen bis in den Nanobereich
- Data Mining & Predictive Analytics

Industrial Data Space – sicherer Datenraum für Wertschöpfungsnetzwerke



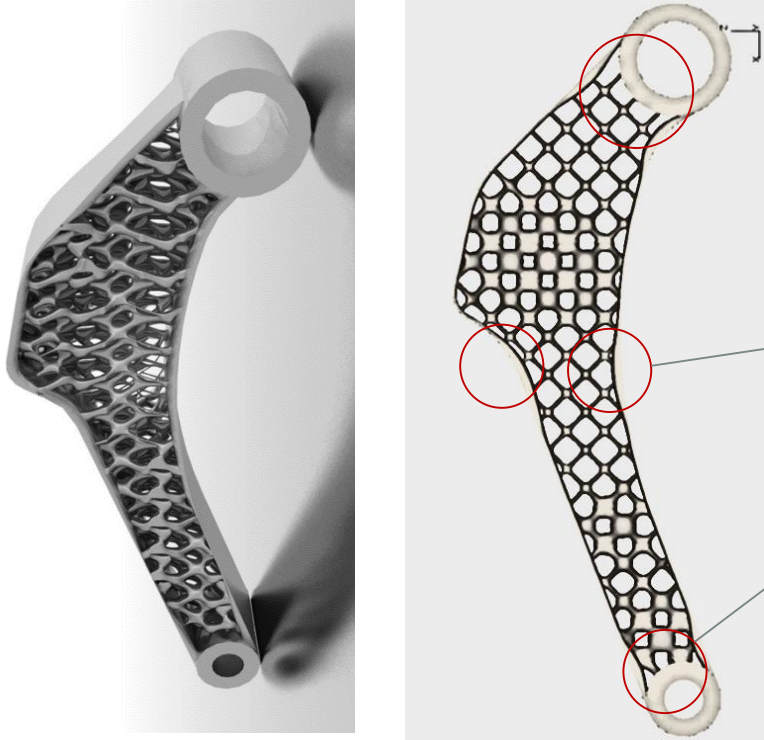
<http://www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-initiativen/industrial-data-space.html#>

Materials Data Space



- Durchgängigkeit vom Material- und Werkstoffdaten über die Wertschöpfungsketten (Rohstoff – Herstellung – Nutzung – Recycling)
- Übersetzung von Zieleigenschaften in geforderte Mikrostruktur und Zusammensetzung
- Übergreifende Qualitätssicherung
- Lernende Fertigungsverfahren mittels virtueller Prozesskettensimulation und Echtzeitmesstechnik
- Digitalisierung von Material und Struktur als zusätzlicher Mehrwert und Basis neuer Geschäftsmodelle

Ortsaufgelöste Materialdiagnostik für additive gefertigte Bauteile



Ziele von In-line Material- und Prozessdiagnostik

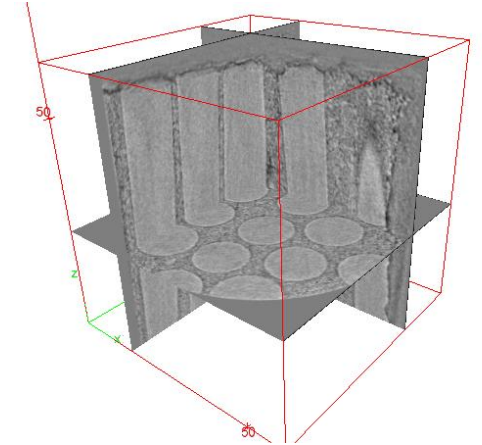
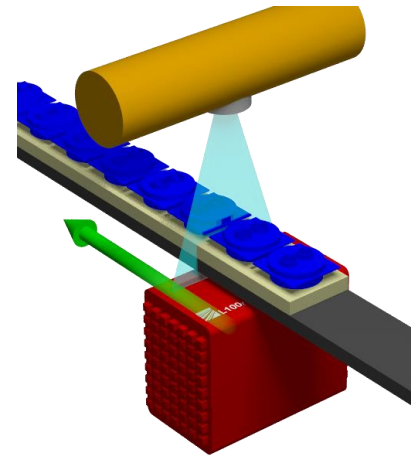
- Werkstoff- und verfahrensbezogene anisotrope und räumlich aufgelöste Qualitätsdaten
 - Druckeigenspannungen – Biegeweichselfestigkeit
 - Überwachte Anbindung an konventionelle Komponenten
- Feedback Loop zu CAD-/FEM Modellen – „simulate as built“
- Verknüpfung der Datensätze mit jedem individuell gefertigtem Bauteil

Bilder: <http://www.engineeringspot.de/2015/11/autodesk-within-intelligente-mikrostrukturen-sparen-gewicht/>

Materialdiagnostik und Additive Fertigung

Grundsätzliche Ansätze

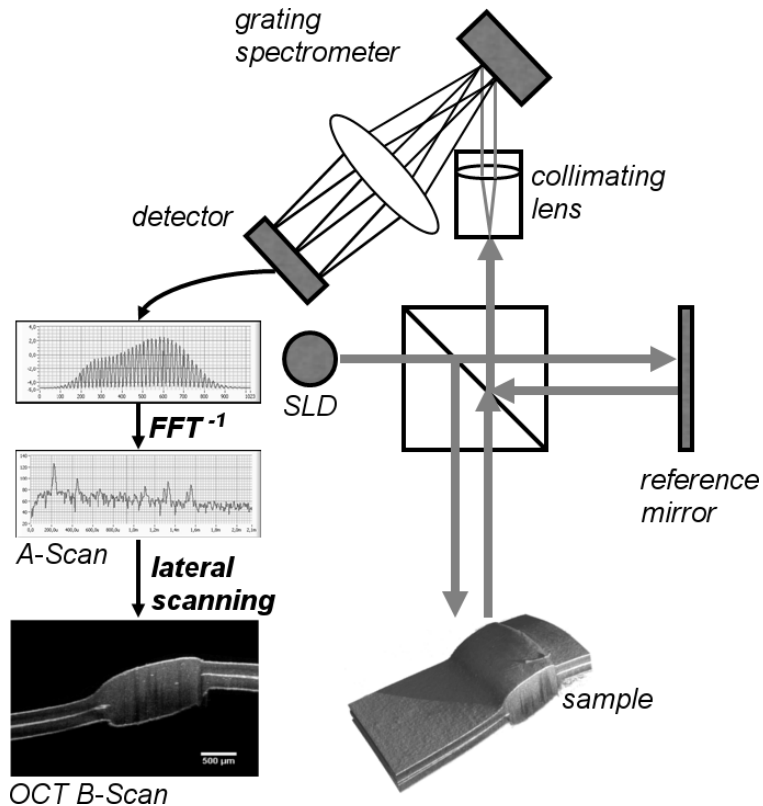
1. **Integrale Überwachung** der Fehlerfreiheit und Erfüllung der Spezifikation des Bauteils
2. **In-line Erfassung kritischer Parameter** mit der Möglichkeit Feedback-Schleifen bis hin zur Regelung, auch Maschinenübergreifend (Industrie 4.0) aufzubauen (Fehlerfreigkeit, Anbindung, Porosität)
3. **Nachträgliche schnelle Erfassung kritischer Parameter** (an definierten Schwerpunkten, eventuell über das Bauteil räumlich aufgelöst) wie Eigenspannungen, Steifigkeit, Fehlerfreiheit



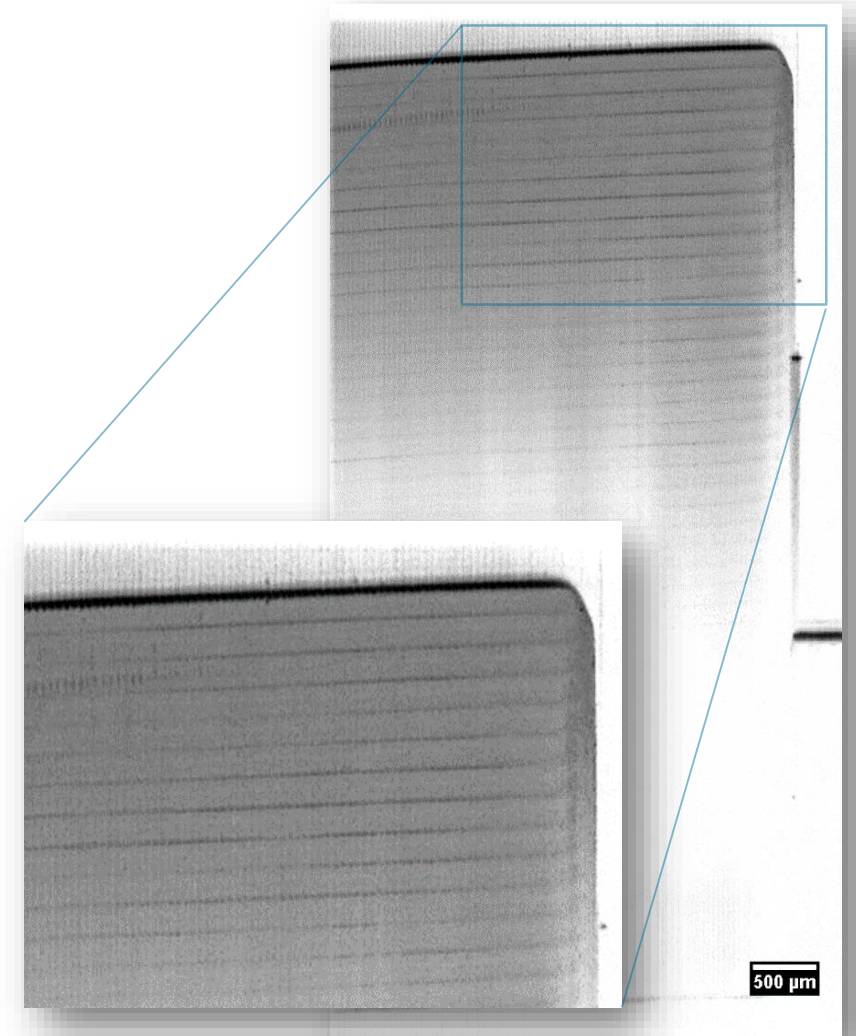
100% Bauteilüberwachung mit Röntgenzeile
Quelle: Fraunhofer IKTS

Bilder: Fraunhofer IKTS-MD

Optische Kohärenztomographie (OCT)



- **3D-Abbildung von**
 - Oberflächen (alle Materialien)
 - Innerer Bauteilstruktur (Keramiken, Kunststoffe)
- **Performance**
 - Video-Rate-Imaging
 - µm-Auflösung
 - Kontaktlos
 - Inline-fähig



OCT Querschnittsbild einer additiv gefertigten Keramik

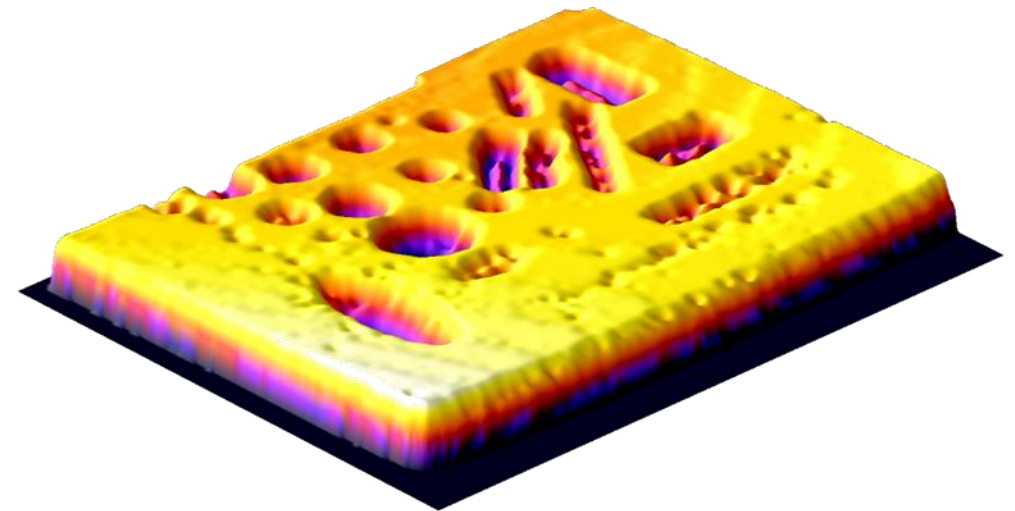
Quelle: Fraunhofer IKTS

Anwendung Optische Kohärenztomographie

Integration in 3D-Charakterisierungstechnologien

Vorteile

- Direktes Feedback → Anpassung der Fertigungsparameter für die nächste Lage (Geometrie, Position, Volumen)
- Voxel-per-Voxel Ablegen der Fertigungsparameter → Produktsicherheit und -nachverfolgbarkeit durch die Generierung von Produkt-individuellen Datensätzen
- Zertifizierbarkeit von Produkten der Losgröße 1 durch individuelle Produktcharakterisierung
- Natürliches Verschmelzen von Bottom-Up-Fertigung und -Charakterisierung



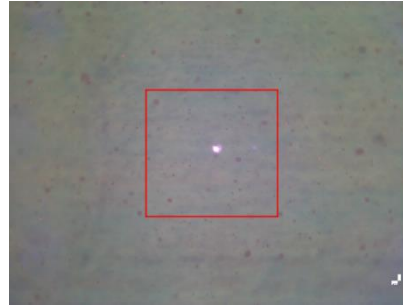
OCT 3D-Datensatz einer additiv gefertigten Keramik
Quelle: Fraunhofer IKTS

Optische Tomographie an keramischer Materialien

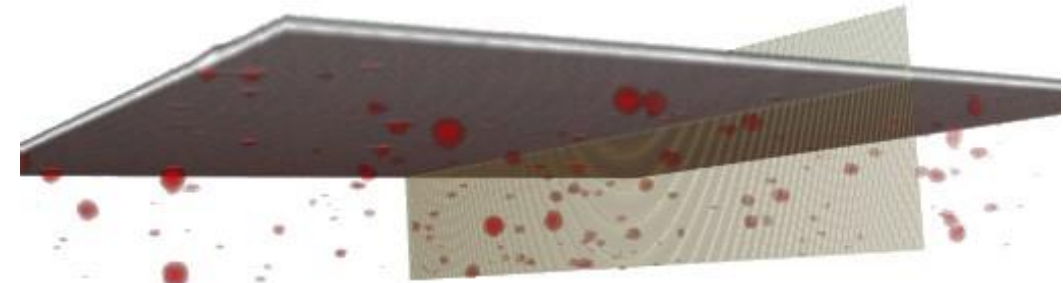
Anwendungsbeispiel: Prüfung von Spinell-Keramiken

Möglichkeiten der OCT-Prüfung:

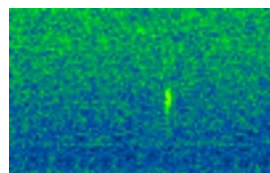
- Defekterkennung
- Größenbestimmung
- Lagebestimmung
- Klassifizierung
- Häufigkeitsverteilung



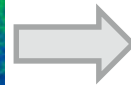
Bildaufnahme von Spinell-Keramik des dargestellten Volumens (4x4mm)



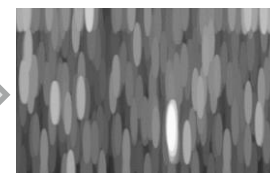
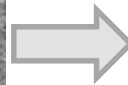
OCT-3D-Visualisierung, Störungen in transparenter Keramik mit schematischer Darstellung eines OCT-Querschnittsbildes



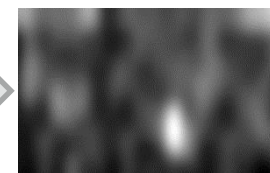
Abfall Grauwert mit zunehmender Tiefe



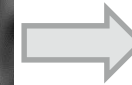
Geringer Kontrast Fehler/Hintergrund



Viele Nebenmaxima durch Rauschen im Bild



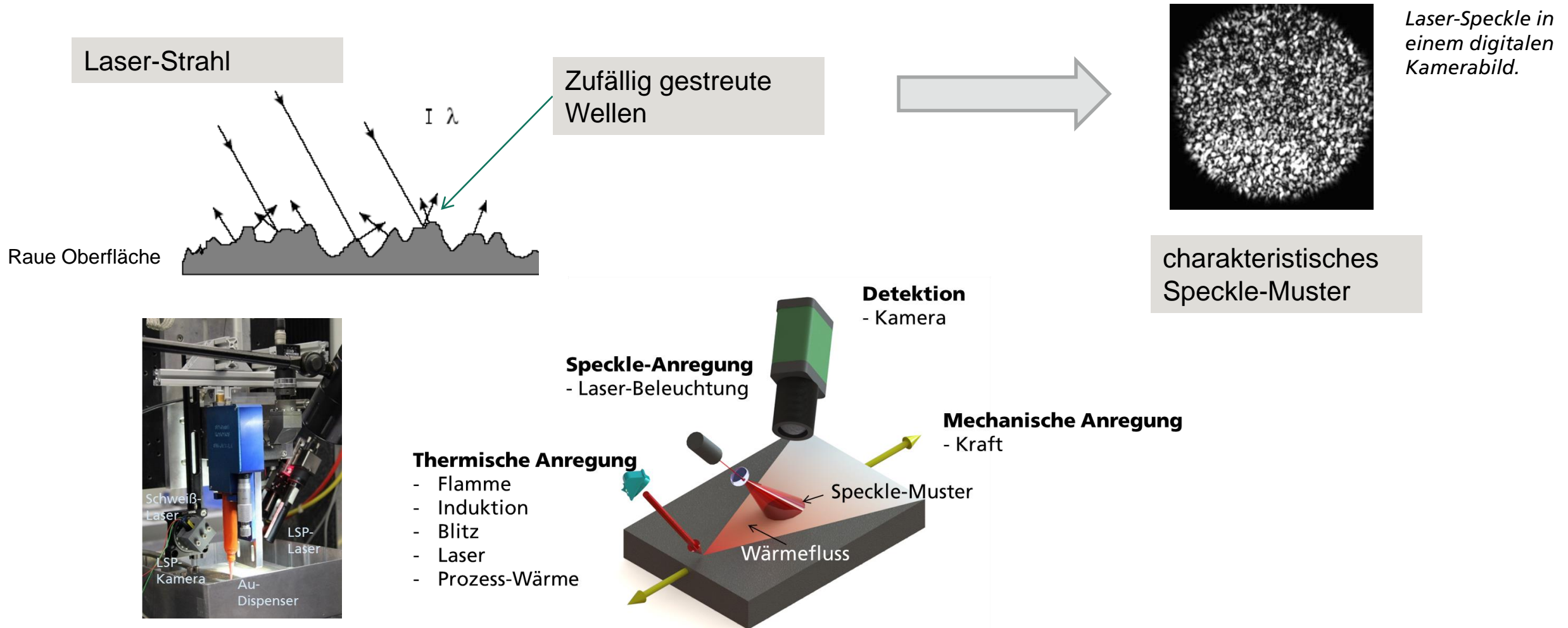
Grauwertbild ohne ja/nein Aussage



Binärbild mit ja/nein Aussage und definiertem Fehlerort

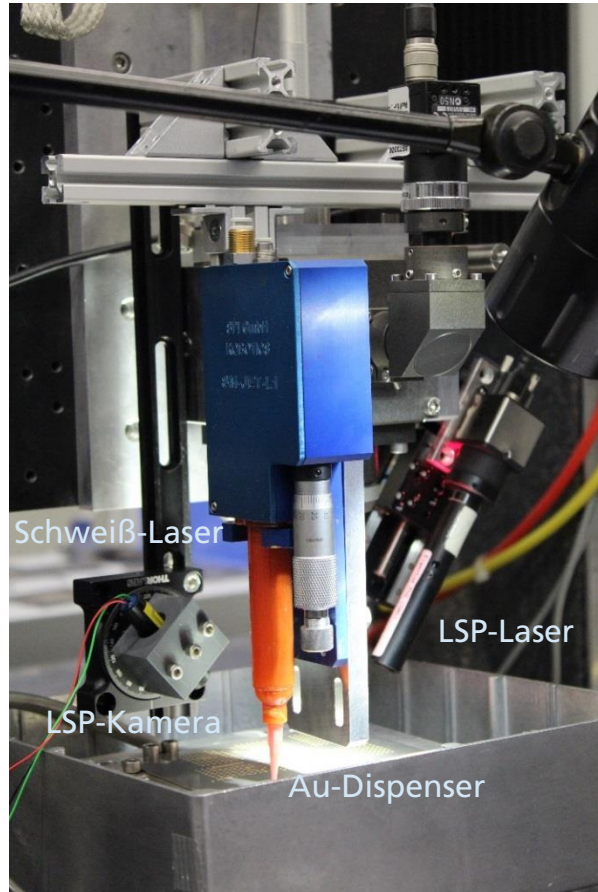
Automatische Defektklassifizierung transluzenter Keramiken durch Signalverarbeitung

Laser Speckle Photometrie (LSP)

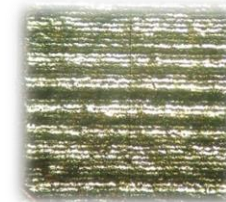
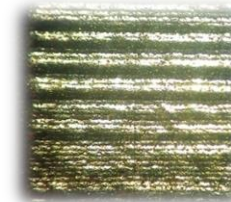


Anwendung Laser-Speckle-Photometrie (LSP)

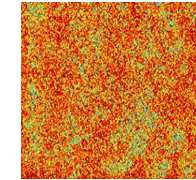
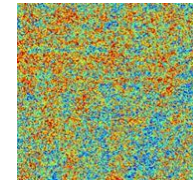
Inline-Überwachung des Laser-Auftragsschweißens von Goldkontakten für die Elektronik-Industrie



Gold-Kontaktfläche:



Fraktale Dimension aus LSP:



Mittlere fraktale Dimension:

$D_F = 1.37$

$D_F = 1.66$

Goldgehalt:

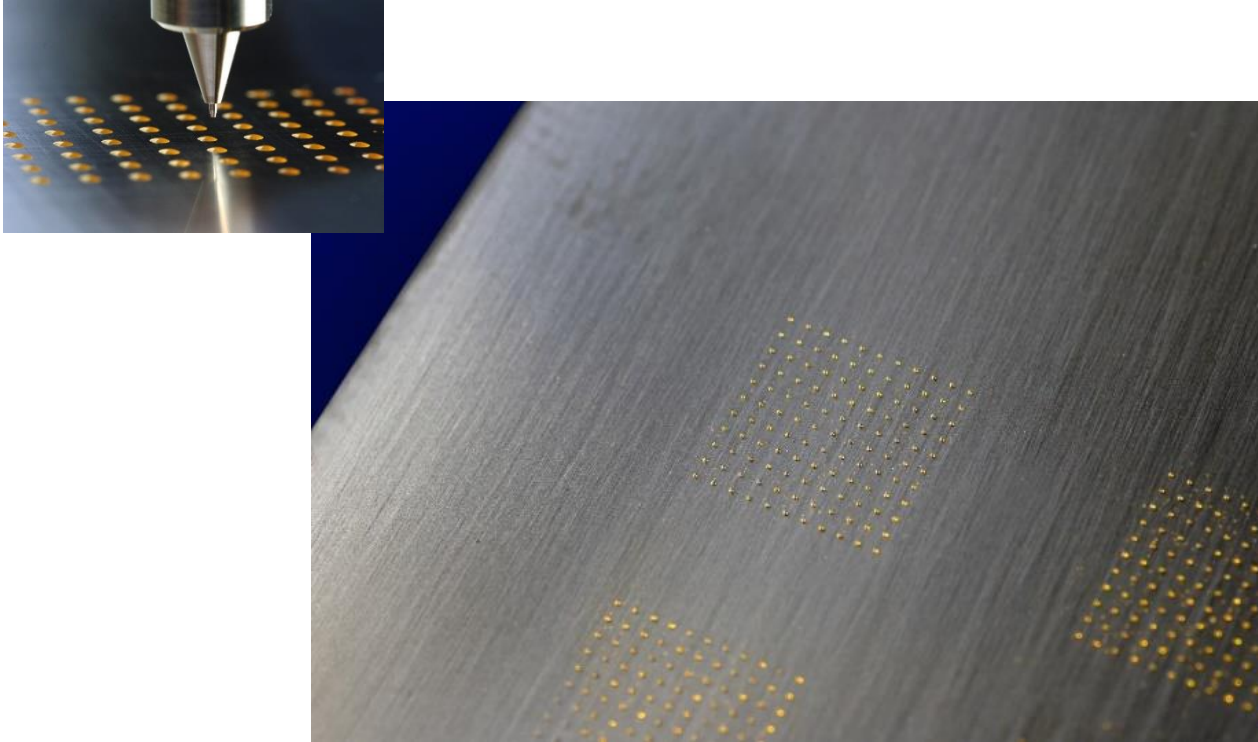
87.7 m%

86.6 m%

Quelle: Fraunhofer IKTS + Fraunhofer ILT

Anwendung Laser-Speckle-Photometrie (LSP)

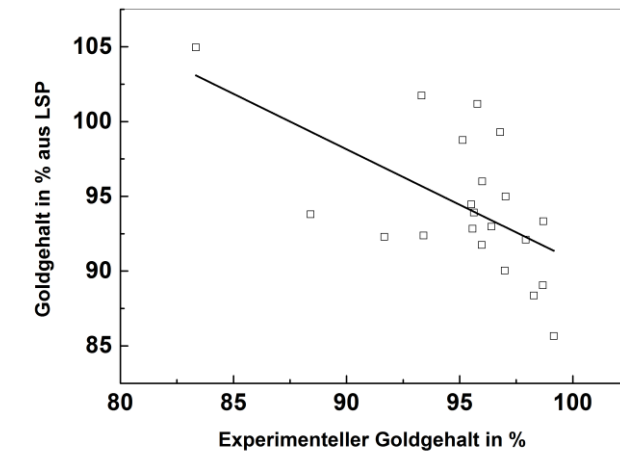
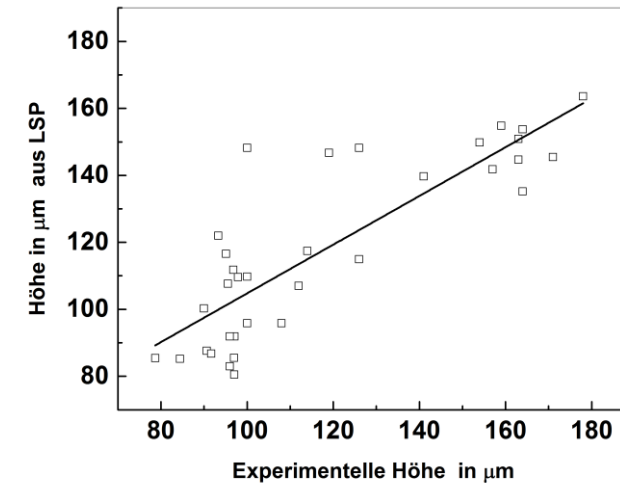
Prozessüberwachung Laserauftragsschweißen



Goldkontakte auf Nickelbasislegierung (Inconel 625)

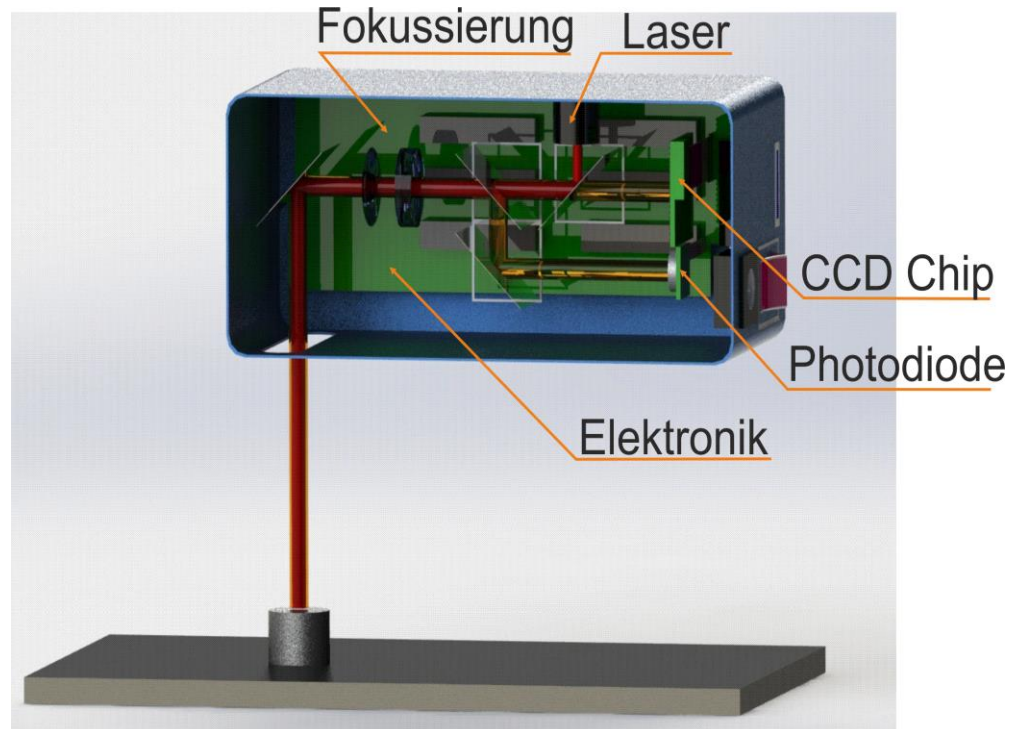
Fraunhofer ILT

Bis zu 50 Kontakte pro Minute, Fehlertoleranz ~ 5%

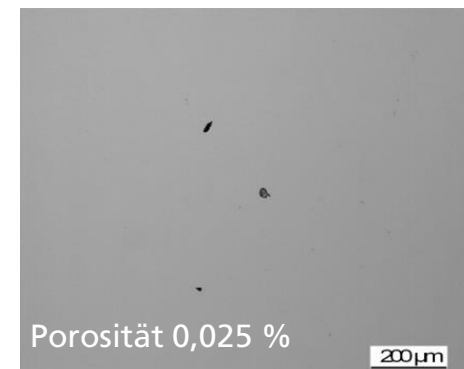
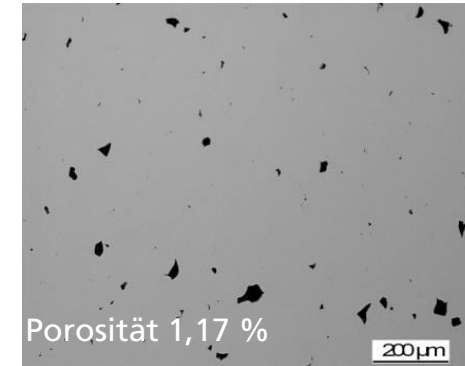


Anwendung Laser-Speckle-Photometrie (LSP)

Prozessüberwachung Foliegießen - Porosität



Schematisches Prinzip einer neuartigen LSP-Sensorik zur Optimierung und Steuerung additiver Fertigungsprozesse
Quelle: Fraunhofer IKTS



Von der zerstörungsfreien Prüfung zur Zustandsüberwachung

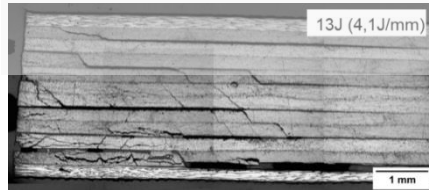
Technologiestrategien

Systeme



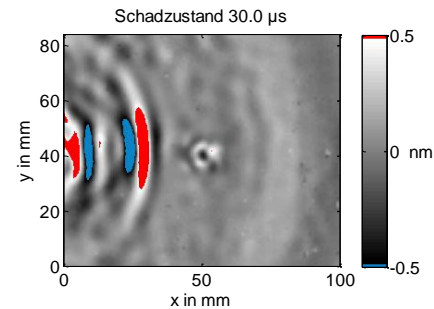
- Luftfahrt
- Industrieanlagen und Tanks
- Großanlagen im Bergbau
- Kraftwerksanlagen
- Windparks
- Off-shore Strukturen

Einsatzfall



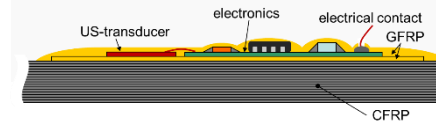
- CFC und GFC Strukturen: Delamination, Faserrisse, Matrixrisse
- Korrosion, Abrasion und Risse in Leitungen
- Grouted joints
- Getriebe und Lager (condition monitoring)

Methoden



- Geführte Wellen
- Ultraschallmethoden

Lösungen



- Zuverlässige Elektronik für schwierige Umweltbedingungen – eigene Abteilung
- Generationen von miniaturisierten eingebetteten Sensoren
- Optische Signalübertragung
- Energy harvesting

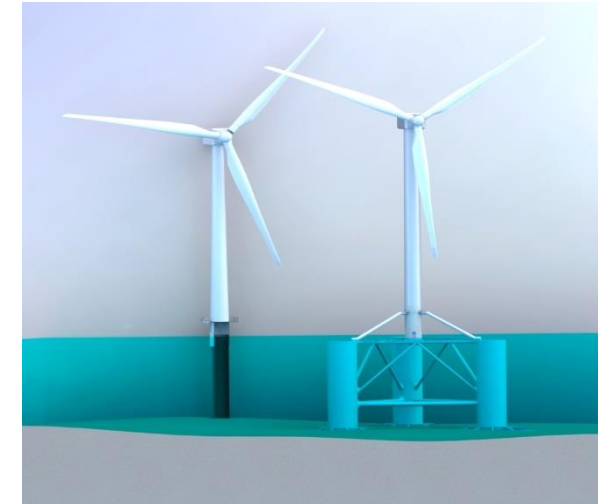
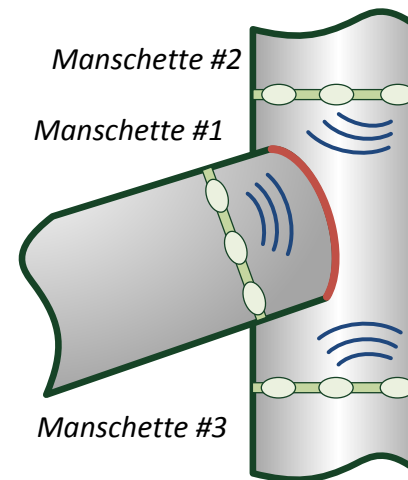
Feldtest



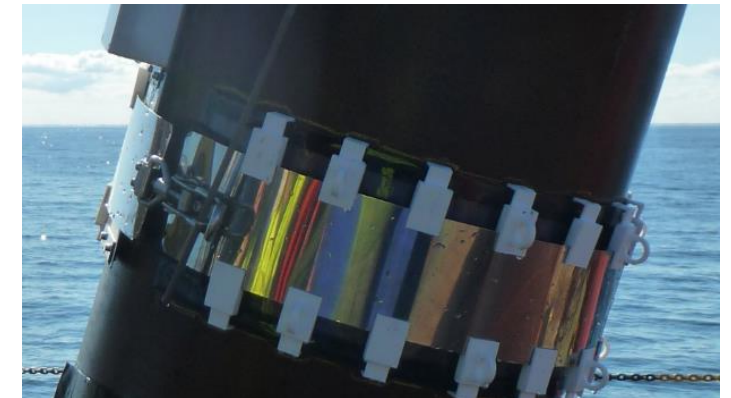
- Sensoren und Systemkonzepte
- Validierungen

Überwachung von Gründungsstrukturen mit Sensormanschetten

- Stand der Technik: Periodische Inspektionen
- **Structural Health Monitoring** (Sensor verbleibt an der Struktur und wird periodisch ausgelesen)
- Sensormanschette entwickelt am IKTS;
Status 1 Jahr Auslagerung off-shore erfolgreich



Geeignet für verschiedene
Gründungsstrukturen (Monopile, Jacket)

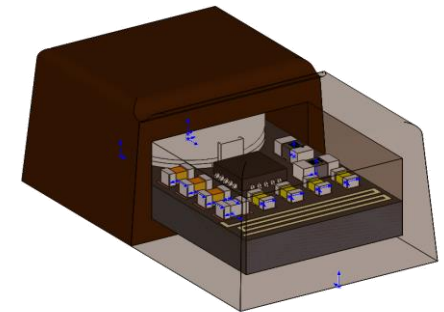
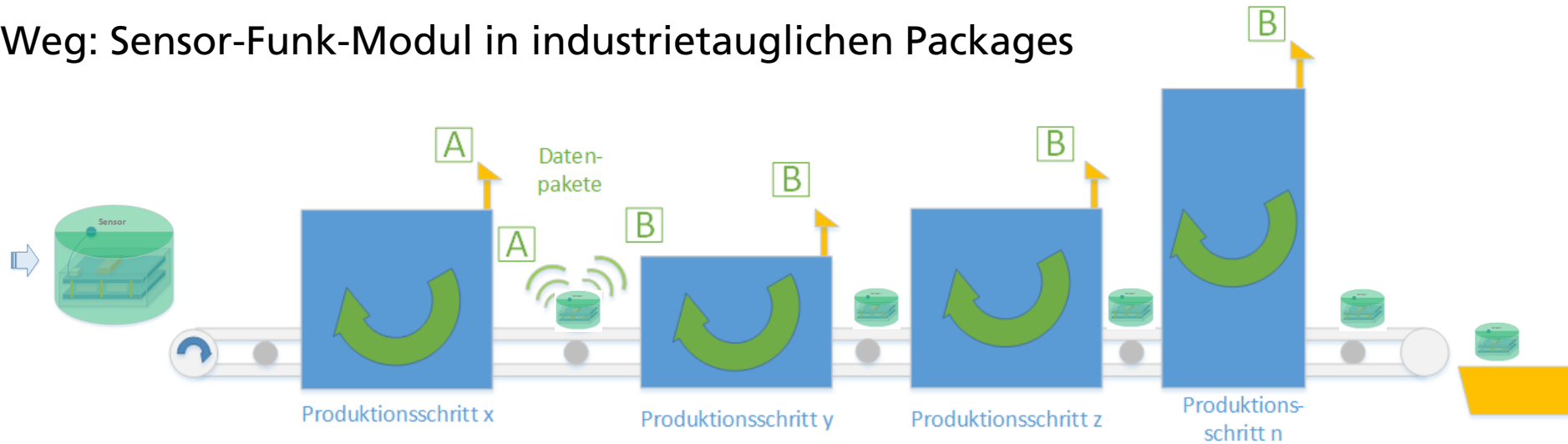


Prinzip Sensormanschetten-Überwachung

Produktintegrierte Sensorik für Industrie 4.0

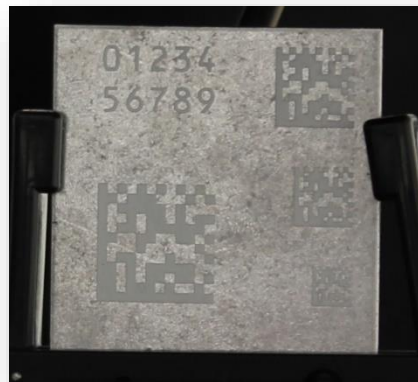
Sensor fährt prozessbegleitend durch Verpackungsmaschinen

- „Produkt kommuniziert mit Maschine“, Einsatz in I 4.0
- Ziel: Bestimmung von Prozesslasten am Produkt zur Qualitätsprüfung und Prozessoptimierung
- Ansatz: Miniaturisierte Sensorknoten in Produkthalbzeugen
- Weg: Sensor-Funk-Modul in industrietauglichen Packages

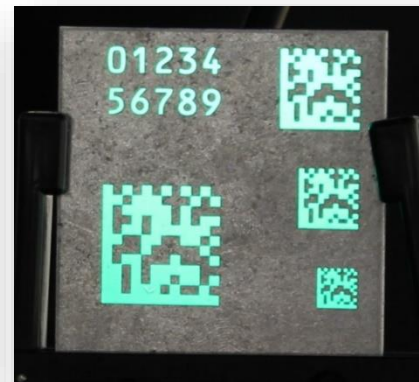


CeraCode ® Bauteilkennzeichnung in der Metallverarbeitung

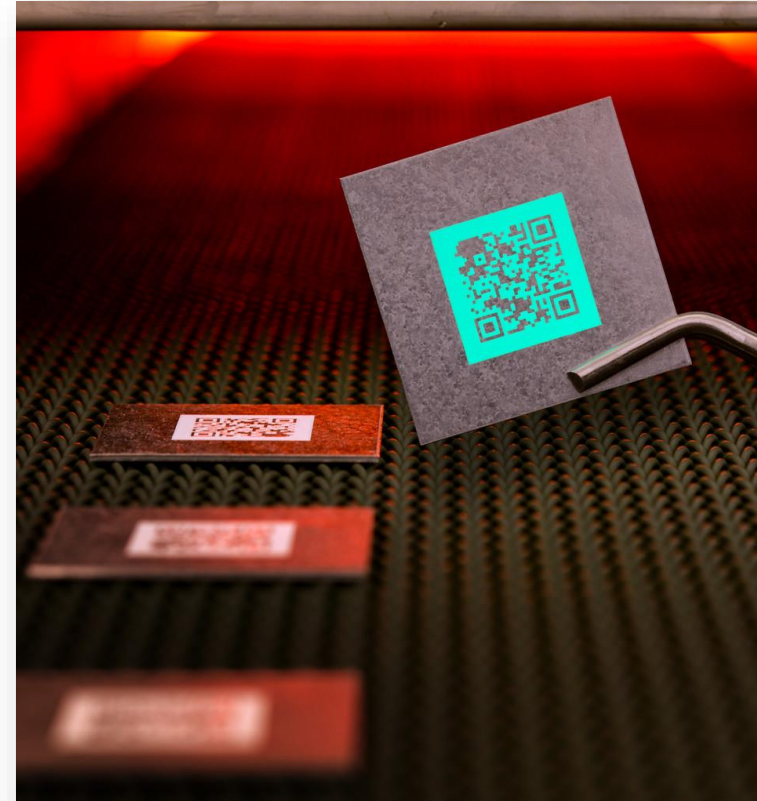
- Bauteil-Rückverfolgung in der Metallverarbeitung bisher schwierig
- Aktuell hohe Sortierkosten
- IKTS-Lösung: 2D-Code auf Basis keramischer Leuchtstoffe auch nach Hochtemperaturbehandlung sicher lesbar
- Fälschungssicher über einzigartiges Nachleuchtverhalten
- Zukunftspotential - Prozesshistorie



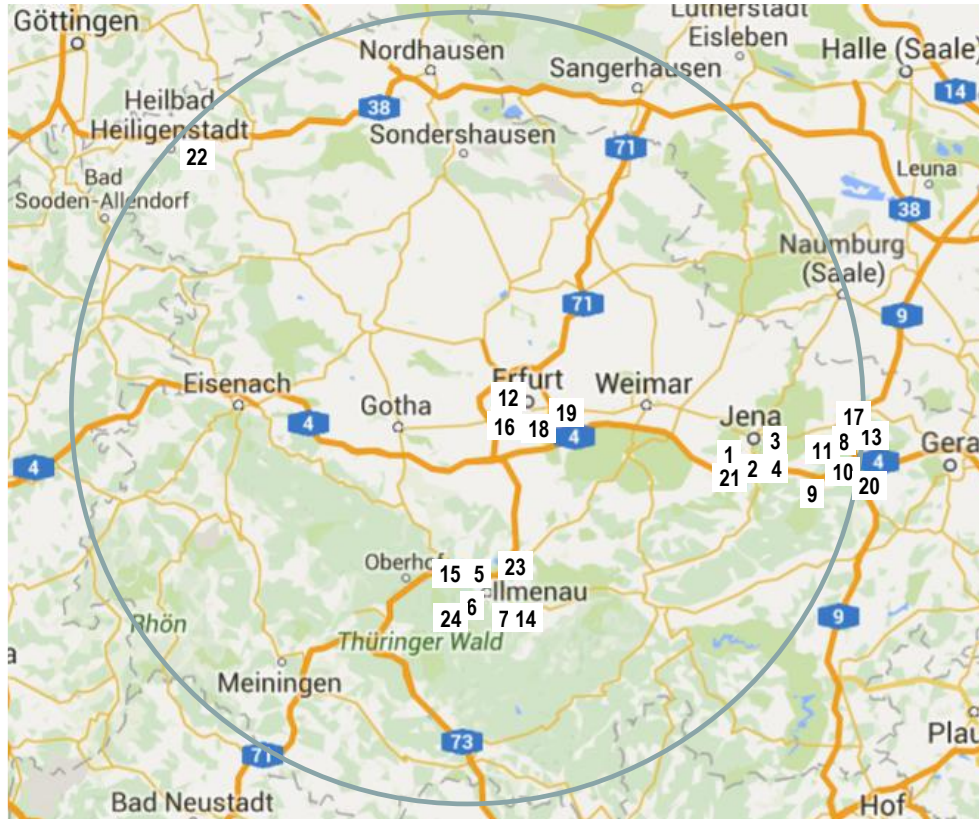
Standard-Markierung



IKTS-Markierung für UV-Licht

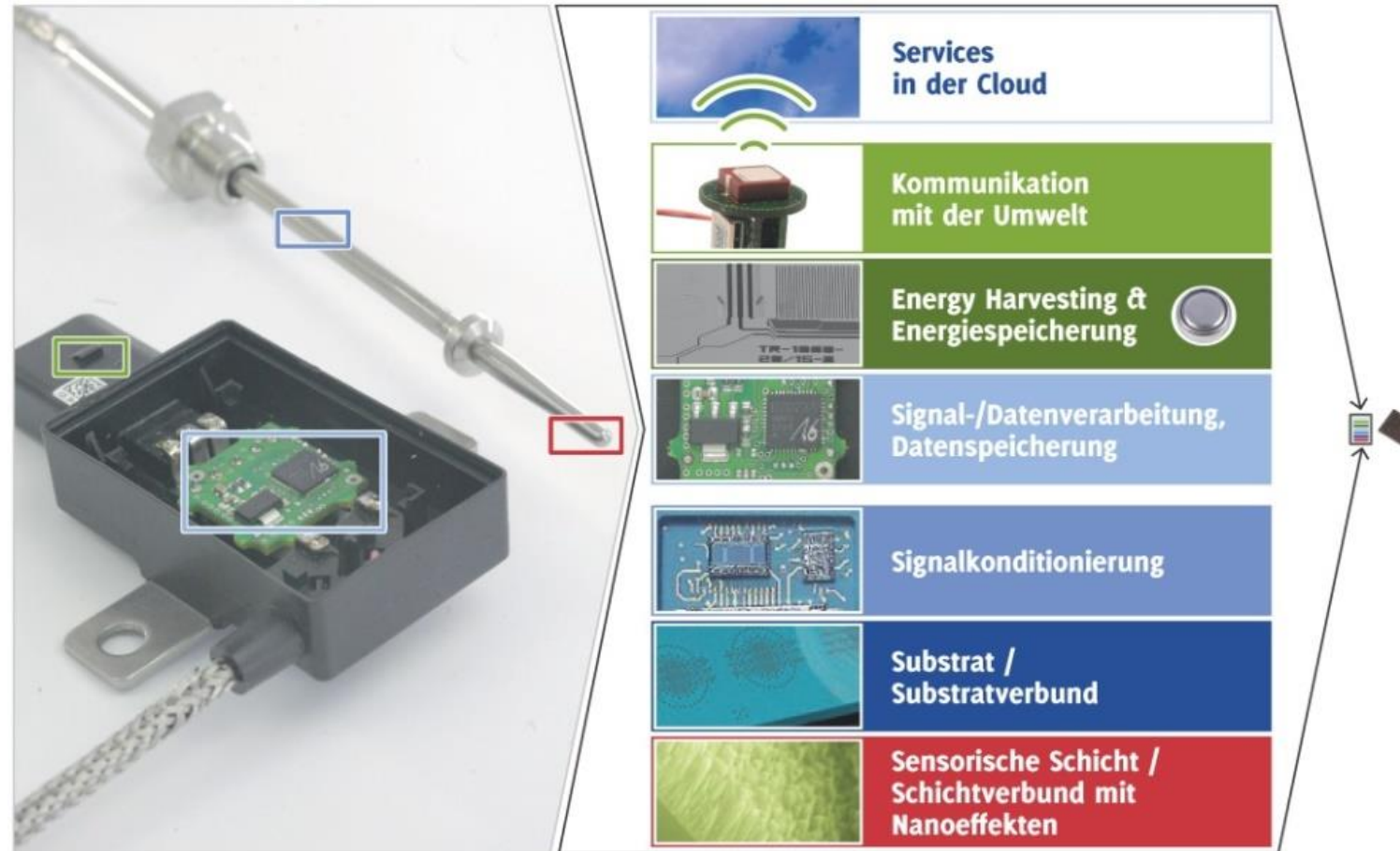


Vorbereitung eines Antrages für einen regionalen Wachstumskern (Fördermaßnahme des BMBF)



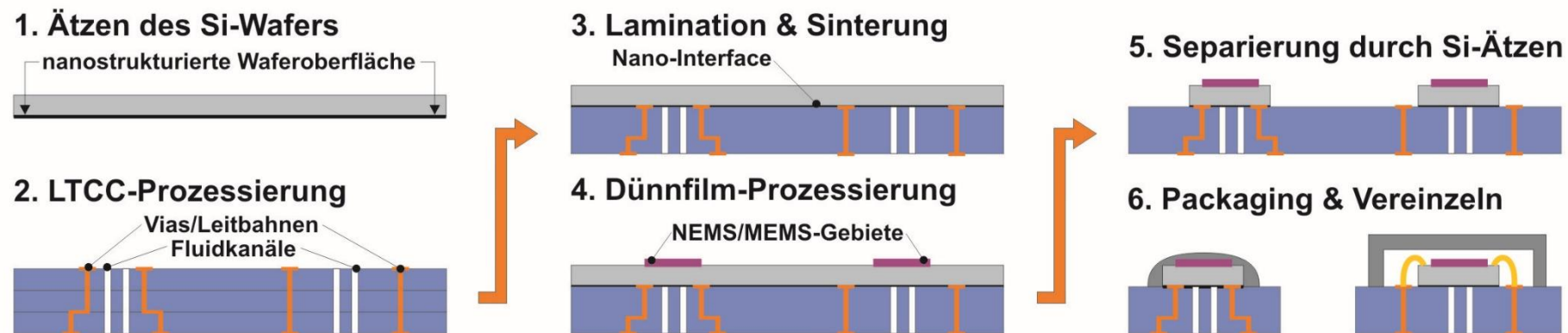
- 1 -4H- JENA engineering GmbH
- 2 Alere Technologies GmbH
- 3 Analytik Jena AG
- 4 Colandis GmbH
- 5 IL Metronic Sensortechnik GmbH
- 6 IQS GmbH
- 7 LLT Applikation GmbH
- 8 LUST Hybrid-Technik GmbH
- 9 Mathys Orthopädie GmbH
- 10 Micro-Hybrid Electronic GmbH
- 11 Micro-Sensor GmbH
- 12 microsensys GmbH
- 13 Siegert Thinfilm Technology GmbH
- 14 TETRA Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH
- 15 UST Umwelt Sensor Technik GmbH
- 16 UV-EL GmbH & Co. KG Erfurt
- 17 VIA electronic GmbH
- 18 X-FAB Semiconductor Foundries AG
- 19 CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH (CiS)
- 20 Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)
- 21 Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU)
- 22 Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. (IBA)
- 23 Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH (IMMS)
- 24 Technische Universität Ilmenau, IMN MacroNano® (TU IL)

High-Performance-Sensorsysteme durch Mikro-Nano-Integration (HIPS)



Weg zur Erreichung des Ziels

- Einheitliches Sensordesign
- Drahtlose Informationsübertragung
- Kombination Si-Technologie und Mehrlagenkeramik (LTCC)
- Sensorik auf der Basis von Nano-Funktionsschichten
- Multisensor durch Kombination von Funktionsschichten



Zusammenfassung

1. Produktion unter Industrie 4.0 erfordert ein neues Paradigma der Qualitätssicherung
"Wertschöpfungsketten-übergreifende massive Datenerfassung und deren Verknüpfung mit dem Einzelteil"
2. Die Fraunhofer Gesellschaft entwickelt zentrale Angebote für Großunternehmen und KMU
"Industrial Data Space" + "Material Data Space"
3. Fraunhofer IKTS entwickelt neue Technologien und Sensorkonzepte zur in-line Materialdiagnostik für harsche Umgebungen und additive Fertigungsverfahren
4. Ein Antrag auf die Förderung eines regionalen Wachstumskerns „High-Performance-Sensorsysteme durch Mikro-Nano-Integration (HIPS)“ in Thüringen befindet sich in Vorbereitung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Kontakt

Dr. Christian Wunderlich
Stellvertretender Institutsleiter

Fraunhofer IKTS
Maria-Reiche-Str. 2
01109 Dresden

+49 351 88815-501
christian.wunderlich@ikts.fraunhofer.de