



**Ralf Schallert**

Prof. Dr.-Ing. Henning Heuer

Dr.-Ing. habil. Malgorzata Kopycinska-Müller



Fraunhofer Institute for Ceramic  
Technologies and Systems IKTS

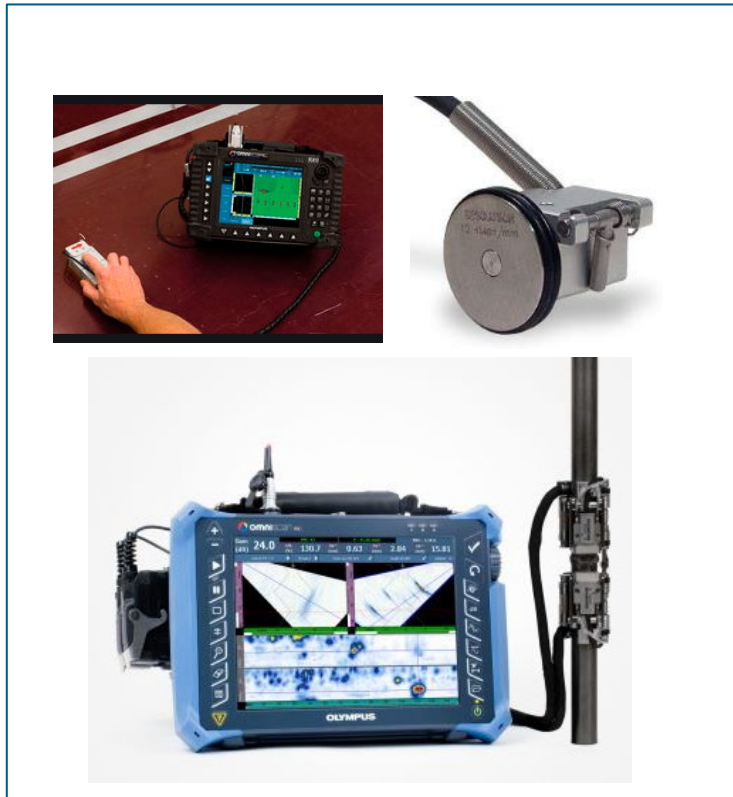
---

# Prüfung von 3D-Strukturen mit Robotertechnik Ultraschall, Wirbelstrom und OCT

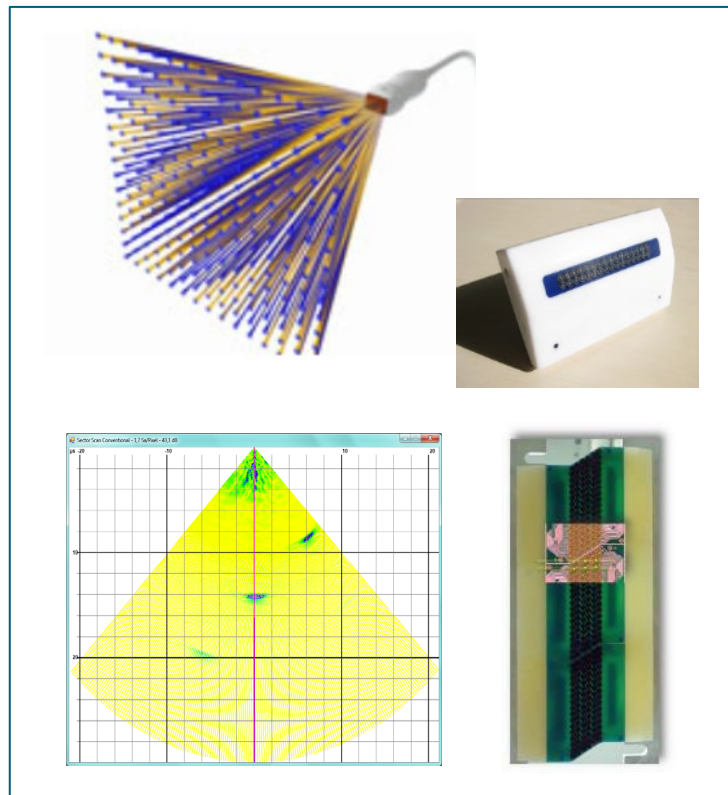
# Übersicht Scansysteme

in der Zerstörungsfreien Prüfung

## Handscan mit Ortsdaten



## Elektronischer Scan



## Mechanischer Scan



# Mechanische Scansysteme

in der Zerstörungsfreien Prüfung

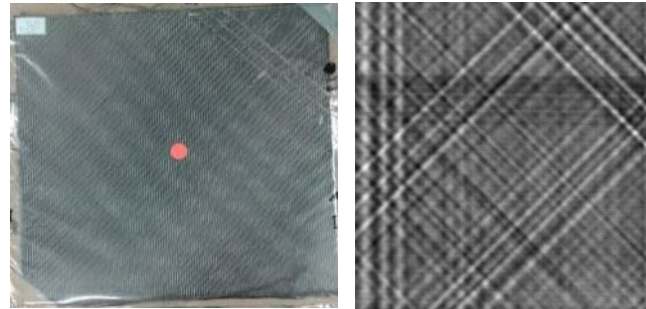
## Rotationsprüfung

planare Flächen oder  
rotationssymmetrische Bauteile



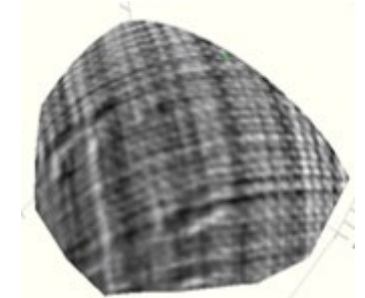
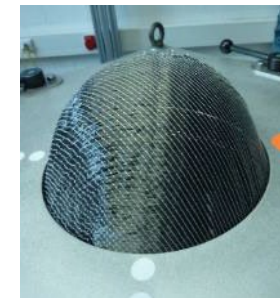
## 2D-Scan

planare Flächen



## Scan mit Roboterarm

komplexe Bauteilgeometrien



# Beispiele

## 2D-Scan

---



# Flex Beam Scanner for large structures

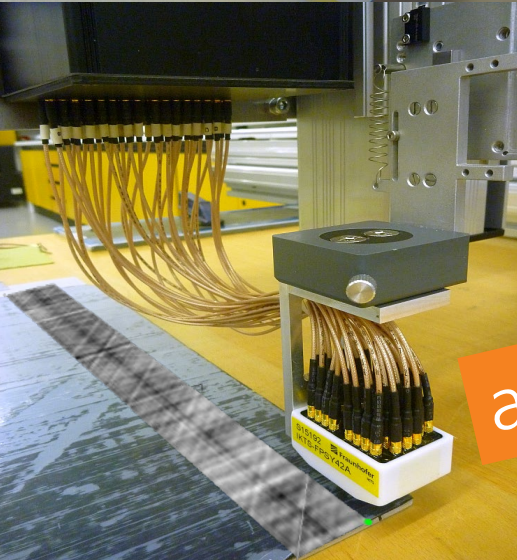
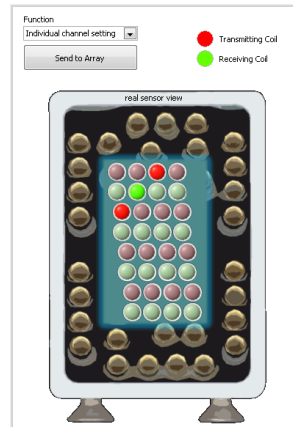
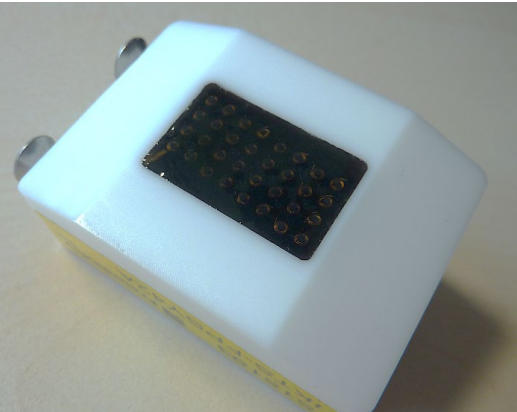
contact ultrasound, HF ECT



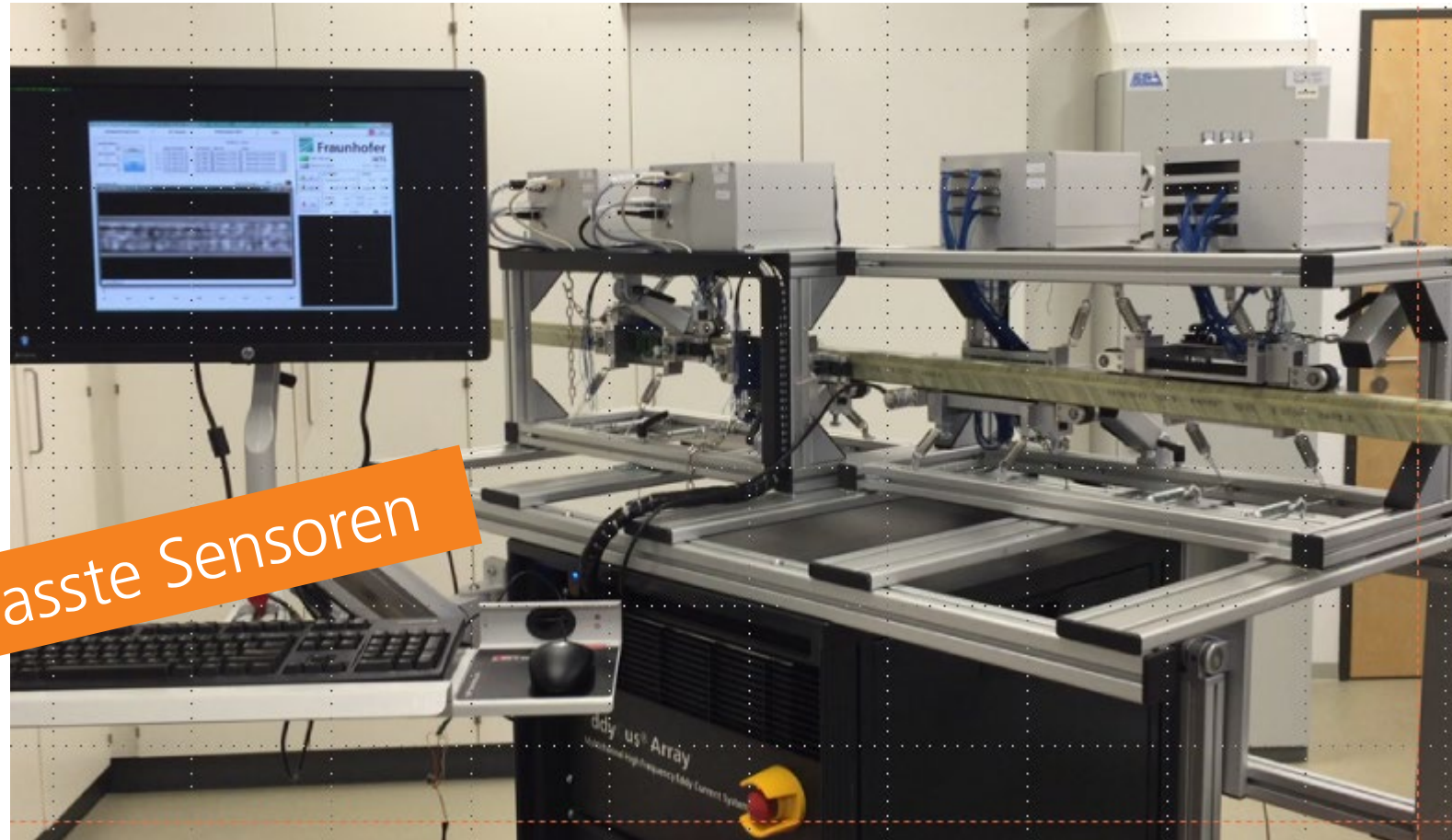
Prüfung nach Reparatur...

# Wirbelstrom-Roboter – weitere Applikationsbeispiele

Mehrkanaliges EddyCus<sup>®</sup>-System zur Inspektion von langen CFK-Bauteilen



auf Profil angepasste Sensoren



A close-up photograph of a camera lens, showing the intricate details of the lens elements and the aperture. The lens is held in a hand, and the view through the aperture shows a brightly lit city street at night, with a person walking and a bicycle parked on the sidewalk. The background is blurred, emphasizing the sharp focus of the lens.

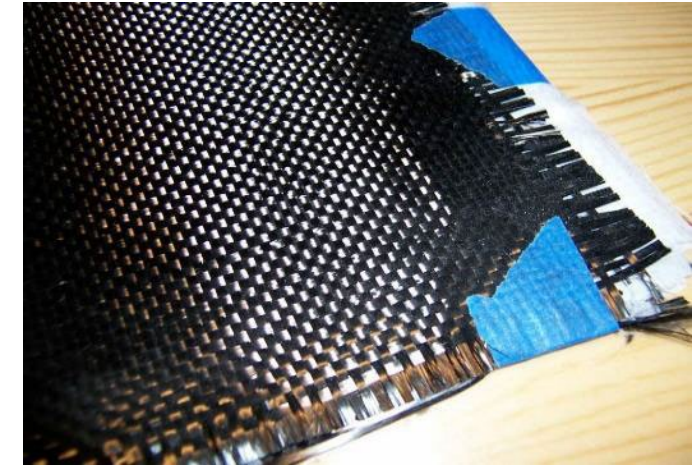
## Scansysteme für Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK)

---

Wirbelstromverfahren (Wirbelstromarrays)

# Scansysteme für Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK)

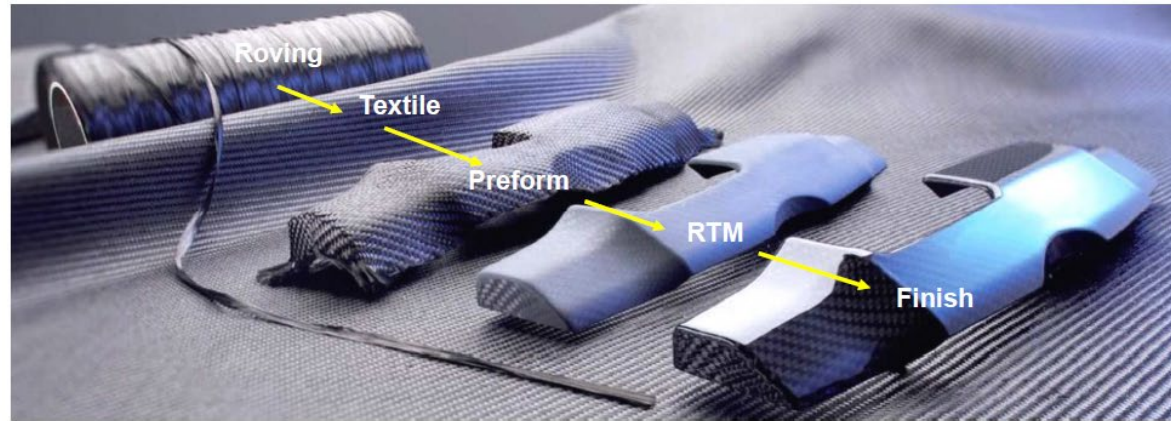
- Verbund von Kohlenstofffasern, eingebettet in einer Kunststoff-Matrix
- Matrix besteht meist aus Epoxidharz, aber auch aus Duroplasten oder Thermoplasten
- **Anwendung**
  - Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau, Sport und Freizeit
- **Vorteile**
  - Hohe Belastbarkeit in Faserrichtung
  - Hohe Steifigkeit
  - Geringe Bauteilmasse
- **Nachteile**
  - Kostenintensiv in der Herstellung
  - Qualitätskontrolle (anderes Verhalten und andere Defekte als bei Vollmaterialien)





# Scansysteme für Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK)

## Herstellungsprozess Kohlefaserverbundwerkstoffe



**(1)**  
Nach Prozessschritt Zuschnitt:  
planare Bauteilstruktur  
⇒ 2D-Scan möglich



**(2)**  
Nach Prozessschritt Pre-forming:  
freigeformte Bauteilstruktur  
⇒ 2D-Scan nicht mehr möglich  
⇒ Roboter-Scan

# Production of a Carbon Fiber Non-Crimp Fabric

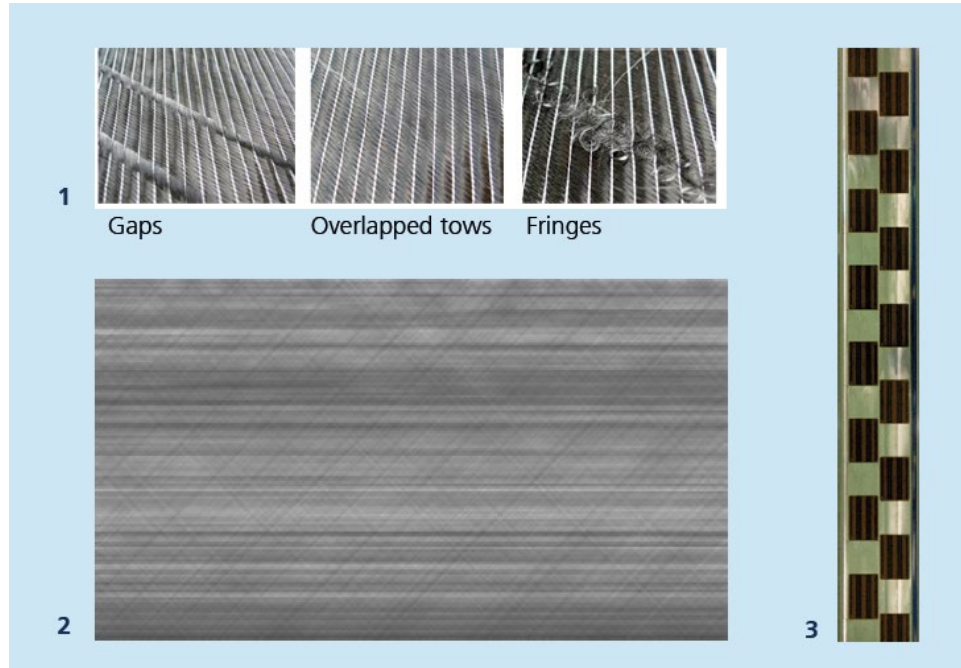


Malitronic® MULTIAXIAL: modular base platform for machines for the production of multi-axial NCF

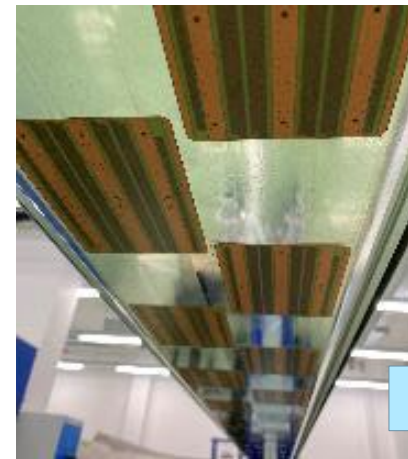
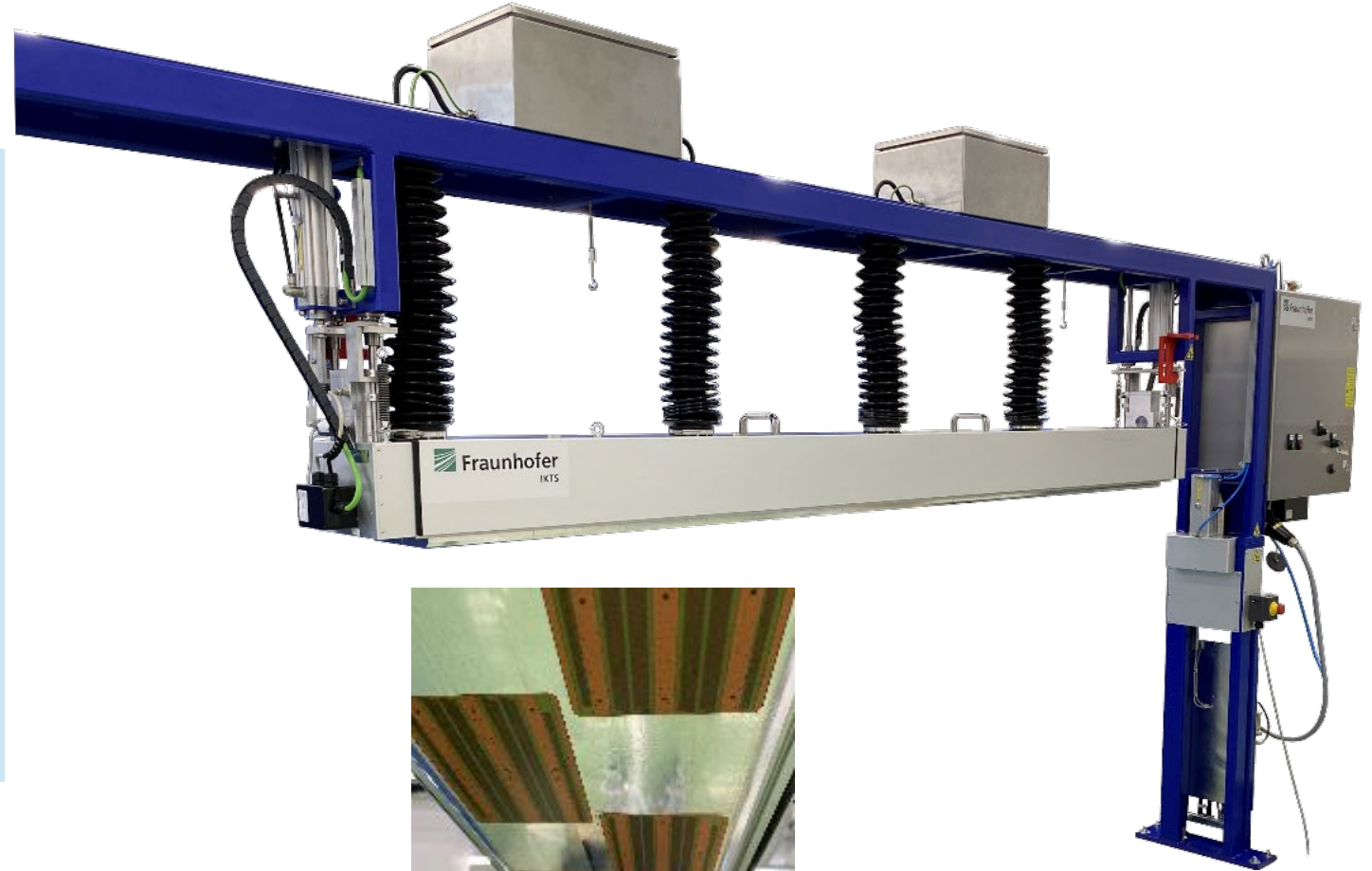


Source: Final Report Project „Multisensorline“

# Prüfung von Rovings im Herstellungsprozess (CFK)



- 1 Possible defects during NCF production.
- 2 101" width eddy-current C scan.
- 3 EddyCus® Pro II ECA measurement bar for 101" inspection width, stacked sensor arrays.



über eine Breite von 2,5 m

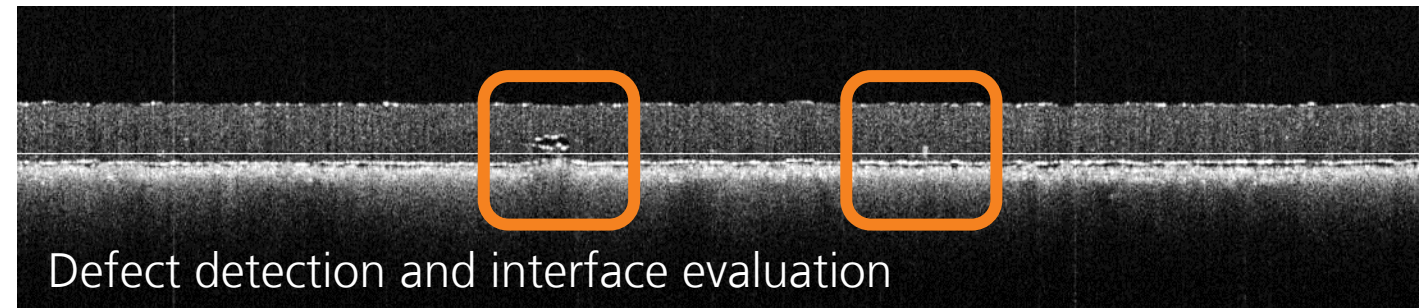
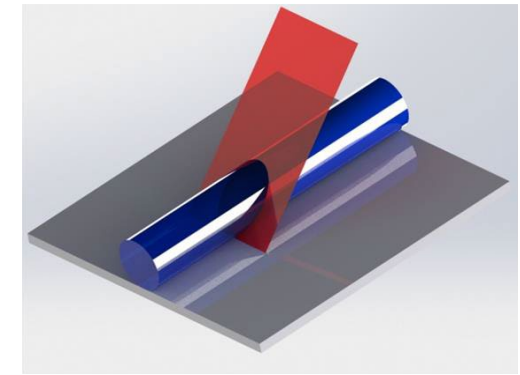
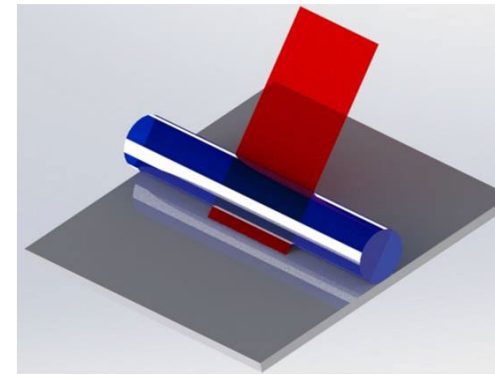
# OCT Process integrated – 3-D printing



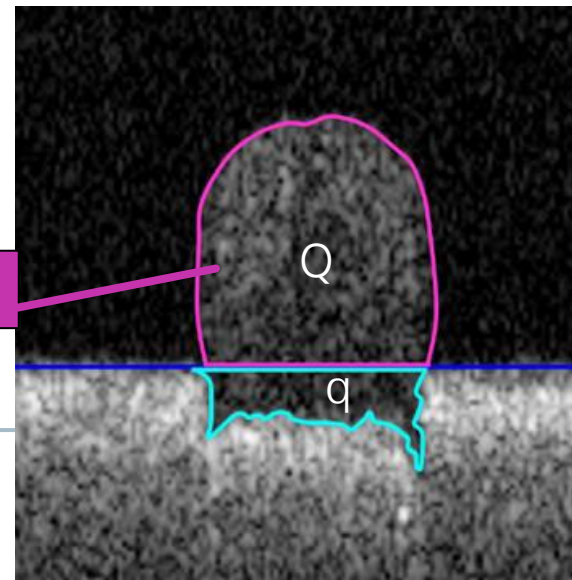
Bio-3D-printer

Nachführen auf Radien

Area A



Defect detection and interface evaluation



Evaluation of the strand geometry

Definition of cross sectional areas:  
 $Q$ .. Realistic cross sectional area  
 $q$ .. Shifted area by refractive index

# Pradigmenwechsel: Qualitätsprüfung von 3D-gedruckten Bauteilen

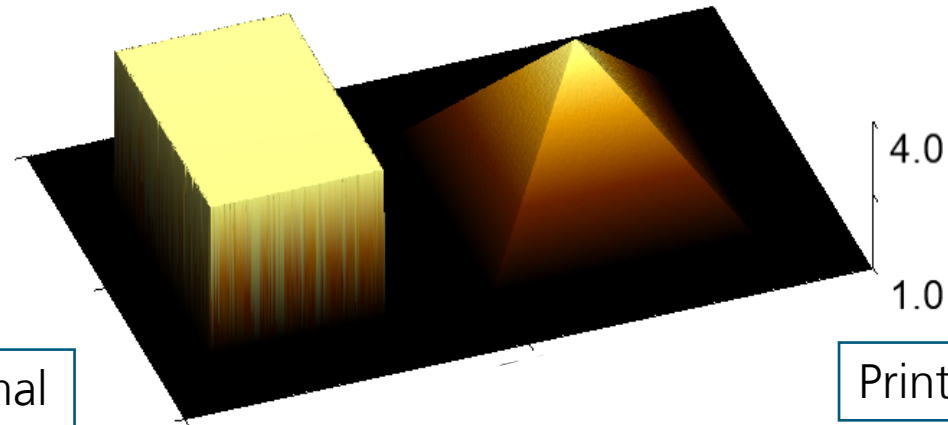
Passt der bekannte Prüfansatz zum Herstellungsprozess?

---

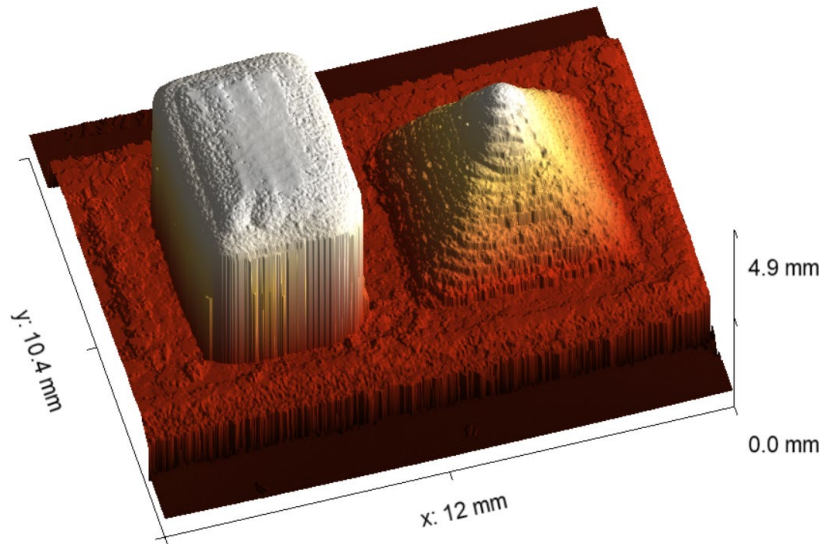
- **Neue Designmöglichkeiten versus Prüfbarkeit**
- **Qualitätsprüfung: Viele, gleiche Bauteile – statistische Prüfung versus Losgröße 1 bei 3D gedruckten Komponenten**
- **Große Losgrößen ► Qualität korreliert mit Prozessparametern**
- **AM geben Leistungsversprechen ab ► wie erfolgt der Nachweis?**

# OCT: Extraction of topography and geometry information

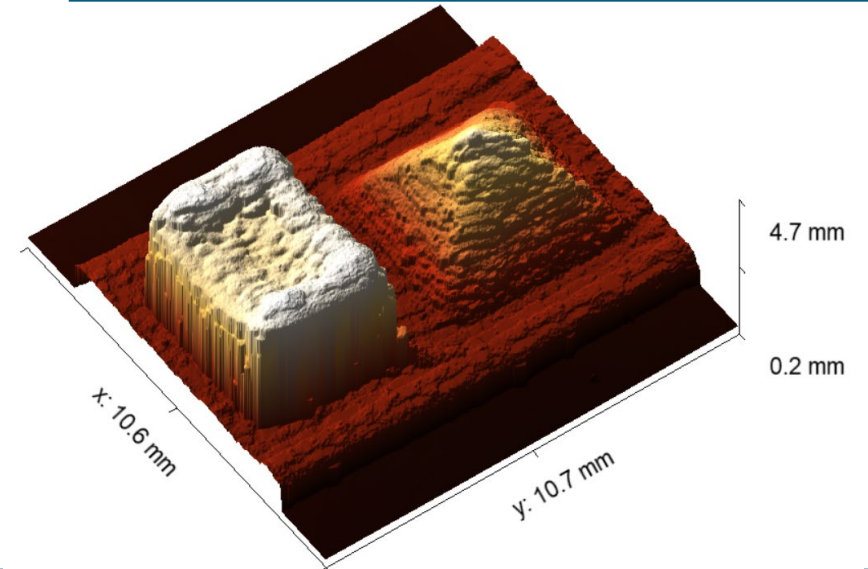
Idealized geometry of the structures



Printing parameters are optimal

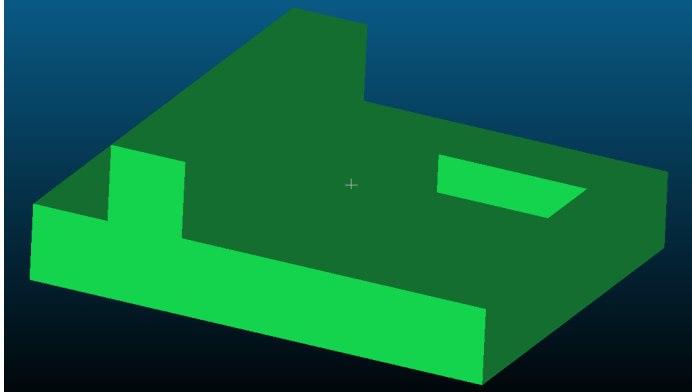


Printing parameters need adjustment

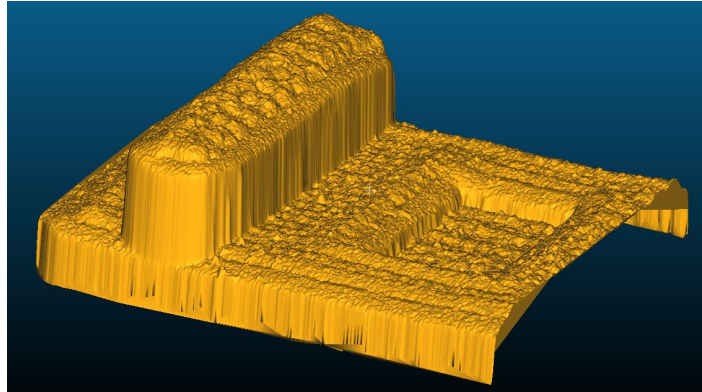


# Geometry comparison: printed element vs design

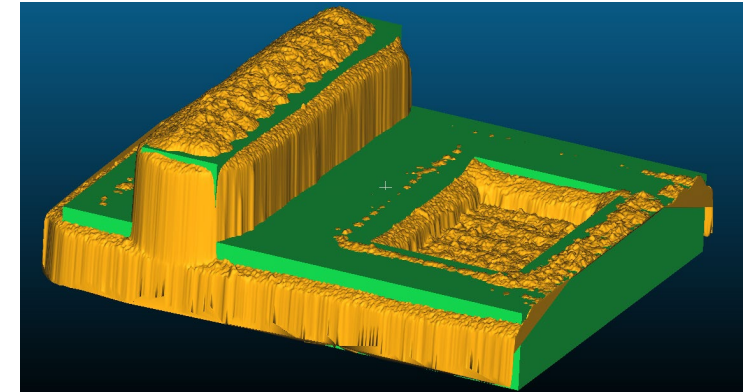
CAD model of the printed structure



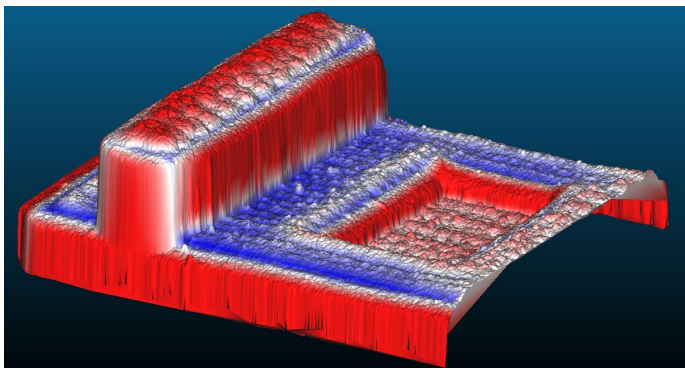
3-D reconstruction of the printed object






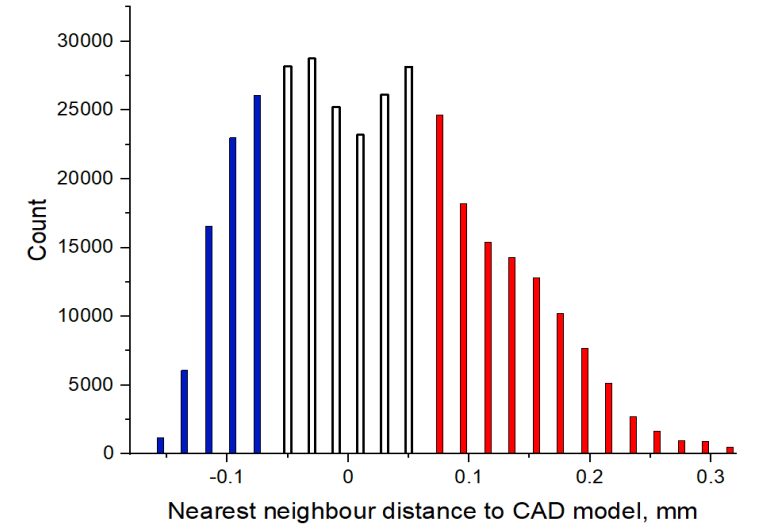
1:1 comparison



Visualization of the differences between the model and the object



-  good agreement
-  Structure larger than planned
-  Structure smaller than planned



# Herausforderungen roboterbasierter Prüfung

---



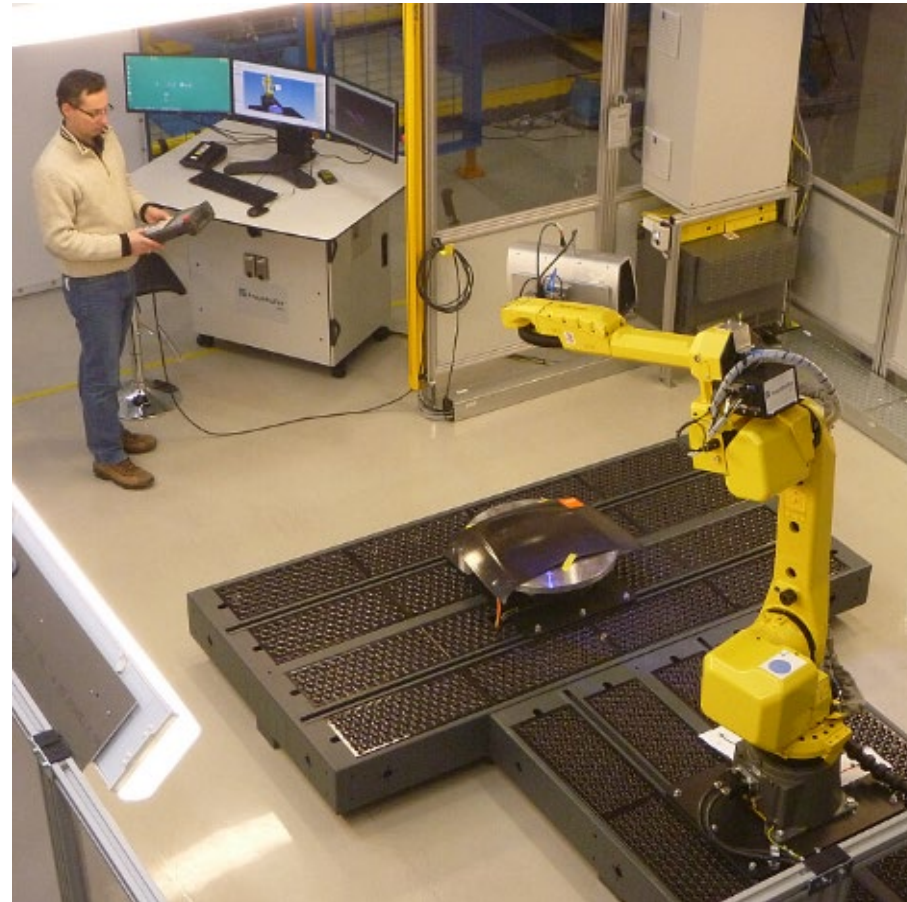


# Herausforderungen roboterbasierter Prüfung

Der Roboter...

Roboter richtet sich nach:

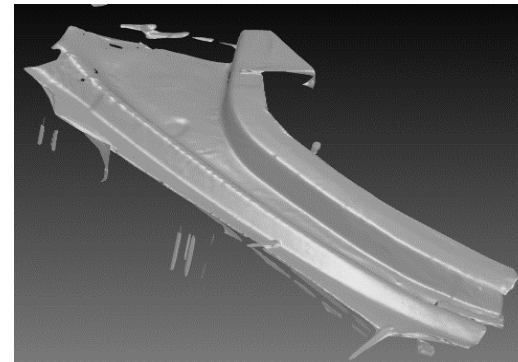
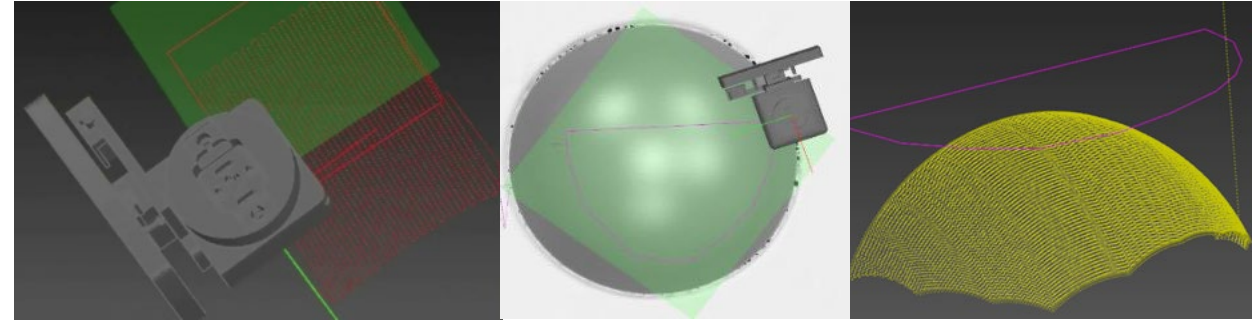
- Preis (reicht ein Roboter?)
- Platzbedarf
- Objektgröße
- Scanauflösung
- Einsatzzweck/Umgebung
- Anzahl der freien Achsen
- SW-Schnittstelle/Parametrierung
- ...



# Herausforderungen roboterbasierter Prüfung

## Bahnplanung

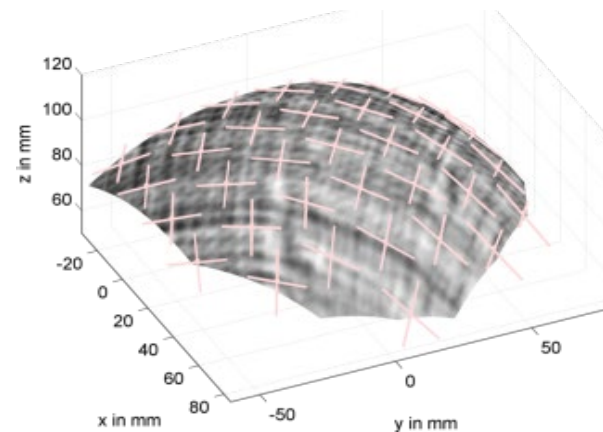
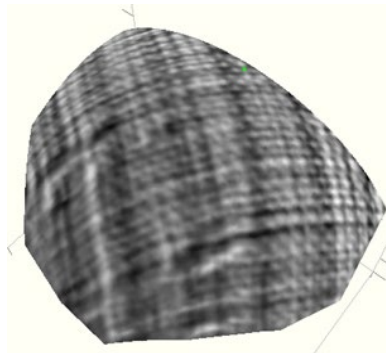
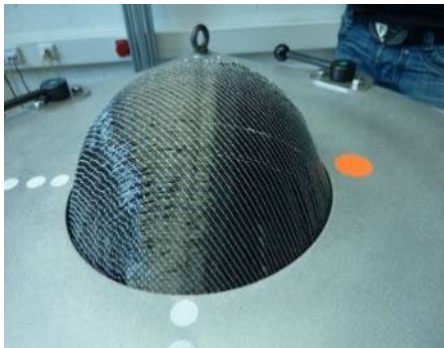
- Führung des Sensors (US, WS, OCT) im vorgegebenen Raster
  - Position und Kippung des Sensors (Raumvektoren)
  - Zugänglichkeit an Ecken und Kanten
  - Möglichst konstanter Abstand der Scanbahnen und der Scanpunkte
- 
- **Voraussetzung: Bauteilgeometrie bekannt (weiche oder starre Systeme, Geometrieerfassung!)**
  - **Steuerung des Roboters**  
(kein eigentliches Scan-Tool, sondern eine „**Greif-Tool**“)
  - Kommunikation und Datenübergabe (7Hz)
  - Kollisionskontrolle (Prüfung der Bahnplanung)



# Herausforderungen roboterbasierter Prüfung

## Scandaten und Darstellung

- Ortsgenaue Zuordnung der Messpunkte  $\Leftrightarrow$  streifige Ansicht bei ungleichen Scanbahn-Abschnitten
- Wachs-Nadel: Überprüfung der Bahngenauigkeit (Abhängig von Achsen- und Gelenkposition des Roboterarms!)
- 3D-Ansichten
  - bei **Oberflächendaten** (Wirbelstrom) Überlagerung auf Bauteilgeometrie-Oberfläche
  - Bei **Volumendaten** (Ultraschall, OCT):
    - auch Überlagerung auf Bauteilgeometrie-Oberfläche
    - oder Projektion in das Bauteilinnere (Hilfsmittel notwendig)



# Herausforderungen roboterbasierter Prüfung

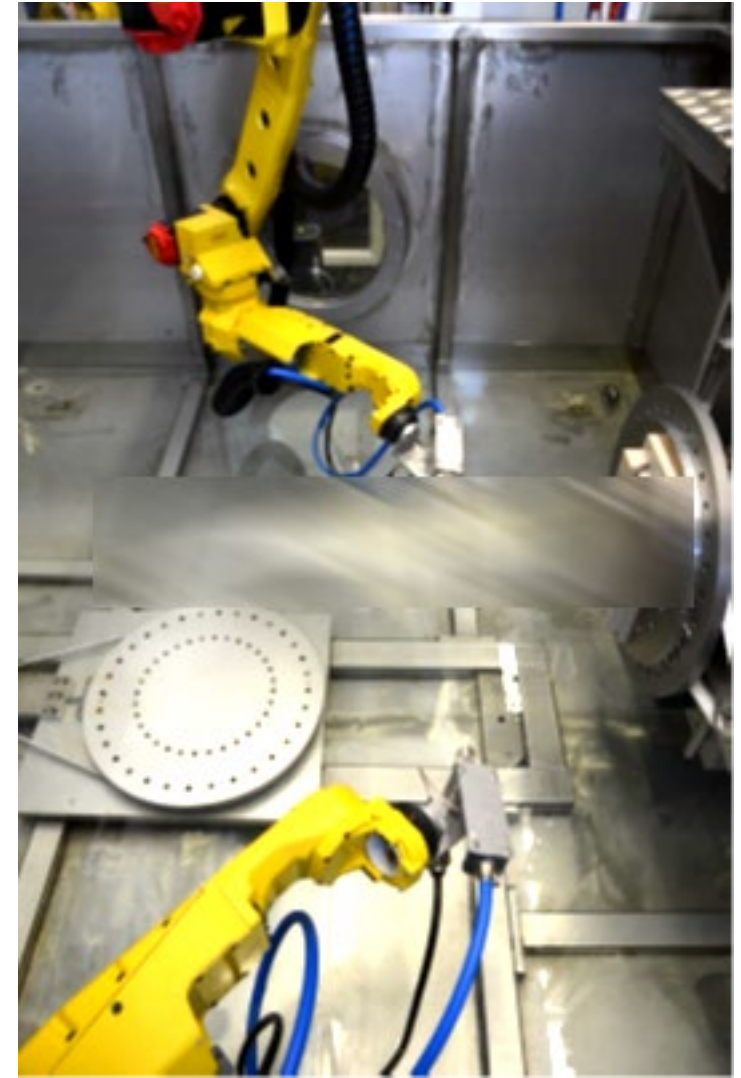
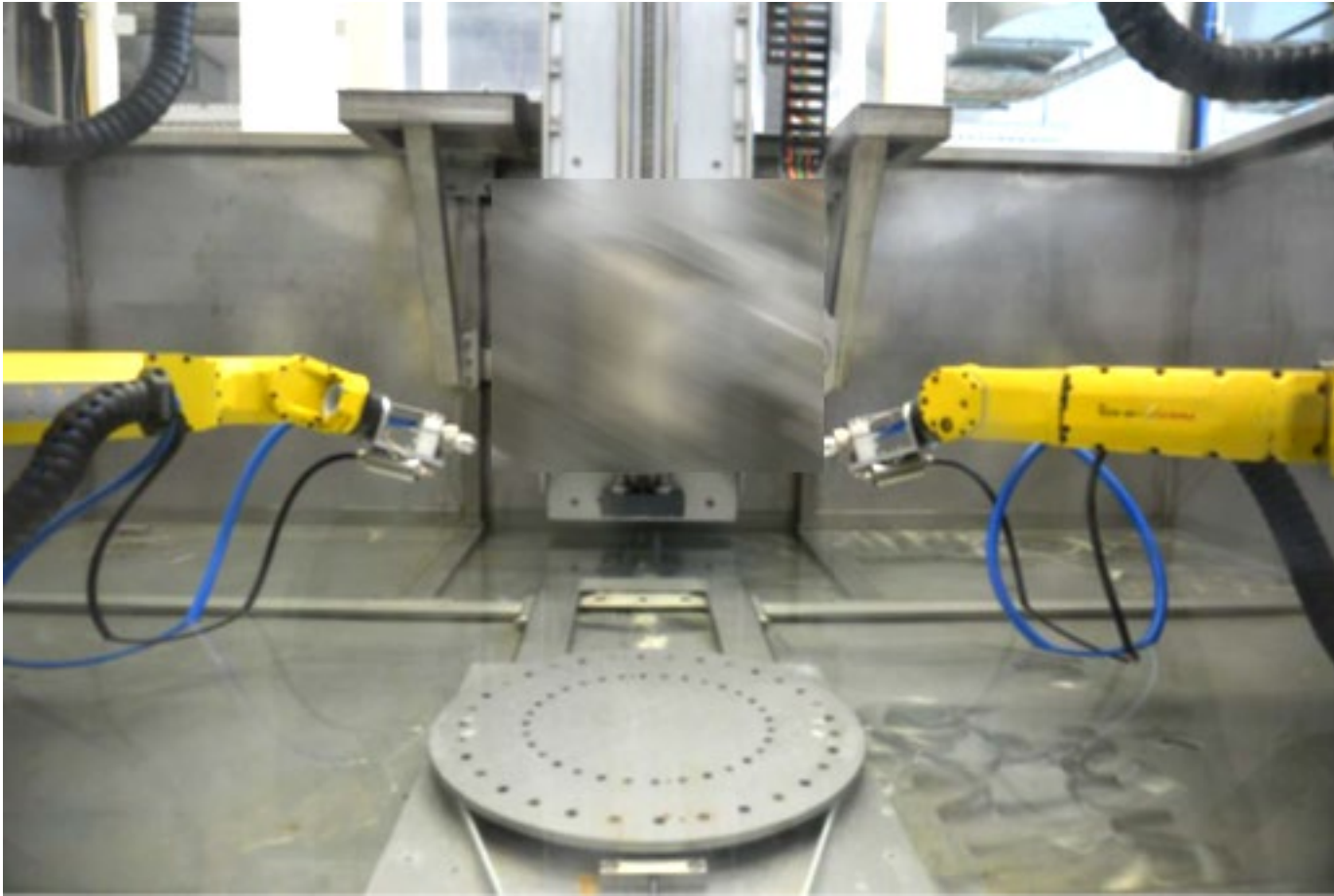
## Ankopplung bei 3D-Strukturen

---

- **Wirbelstrom:** konstanter Abstand zur Oberfläche optimal
  - Problem: Positioniergenauigkeit bei Robotern nicht so hoch wie bei Scantischen, Sensorgröße vs. Freiform
  - Lösung: möglichst in Kontakt fahren: bei CFK möglich
  - federn gelagerte kardanische Sensorführung
  - Abgerundete Kontaktflächen
- **Ultraschall** (häufig Tandem-Roboter):
  - Option 1: Luftultraschall
  - Option 2: Wasserstrahl-Technik (Squirtertechnik/Sende- und Empfangsprüfkopf)
  - Option 3: Tauchtechnik (nicht ideal, Dichtheit Roboterarme und elektronische Systeme, Verfahrwiderstand Wasser, Wellenbildung)

# Ultraschall-Tandemroboter

US Squirter Prüfung an Blades



# Herausforderungen roboterbasierter Prüfung

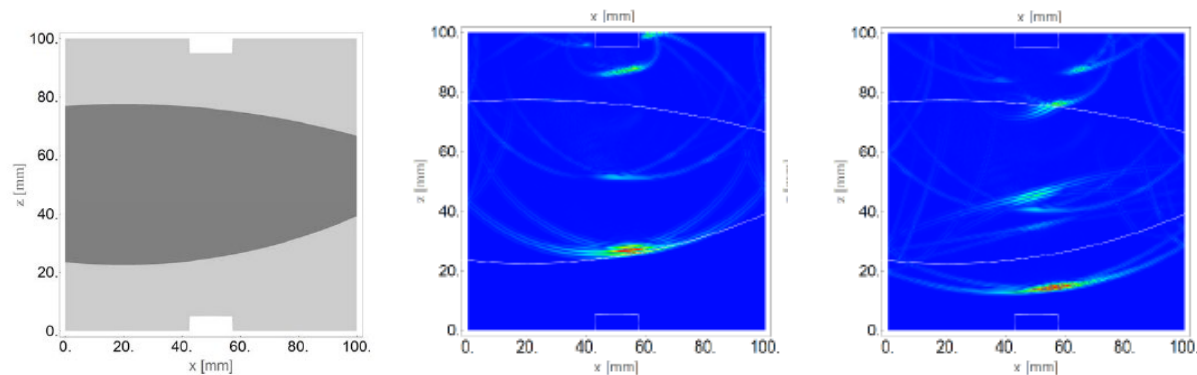
## Unterschiedliche Dicken des Prüflings

### Ultraschallscan an unterschiedlich dicken Prüflingen

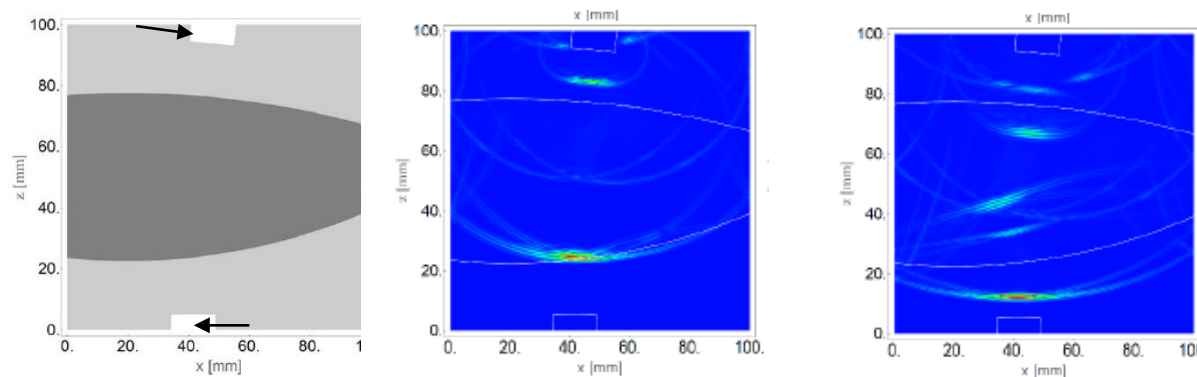
- Schallweg muss bekannt sein, um reflektiertes bzw. transmittiertes Signal optimal empfangen zu können
- Ist abhängig von **Geometrie, Dicke, Krümmung** und **Schallgeschwindigkeit**

Beispiel **Transmission**:

ungünstig



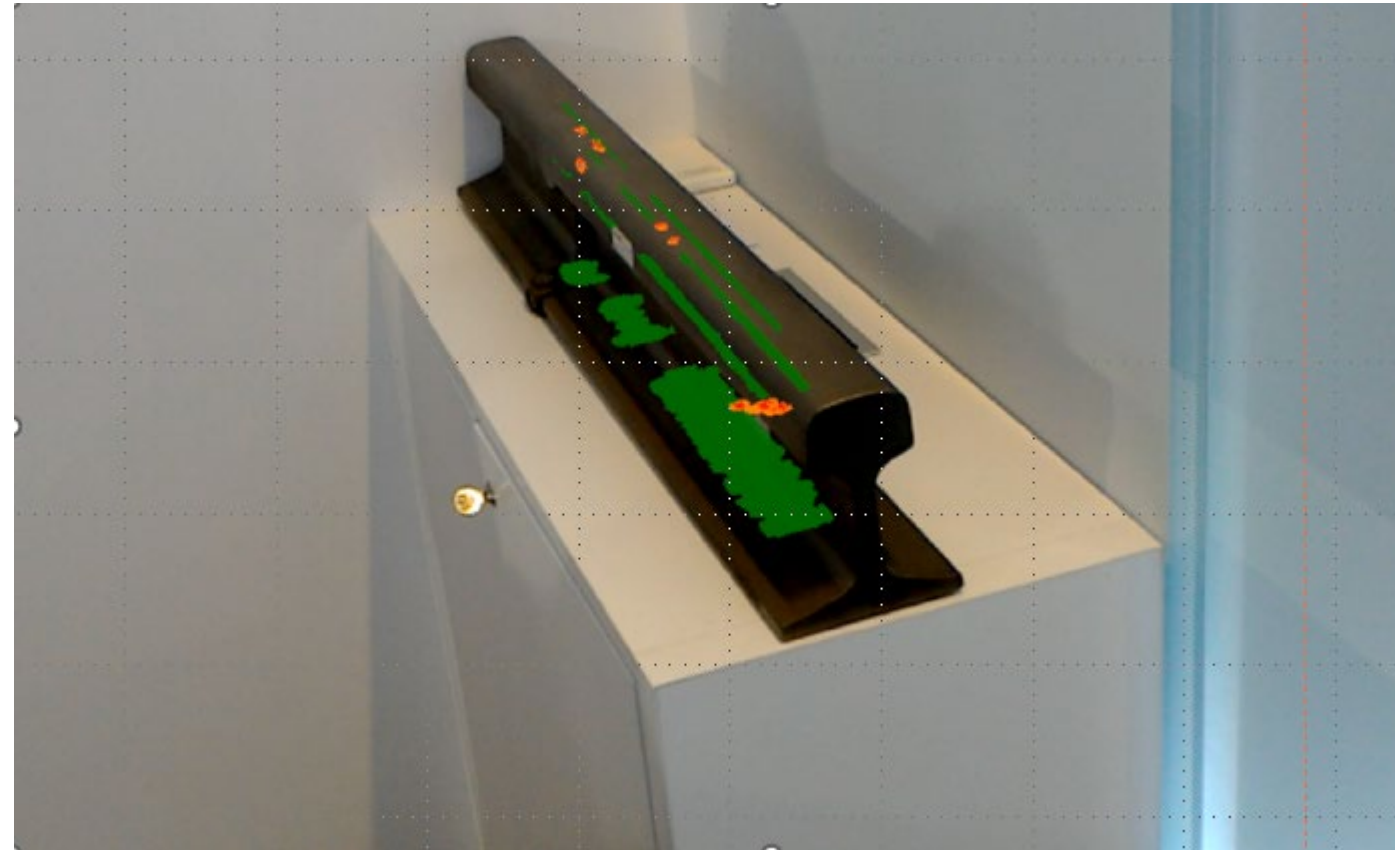
günstig



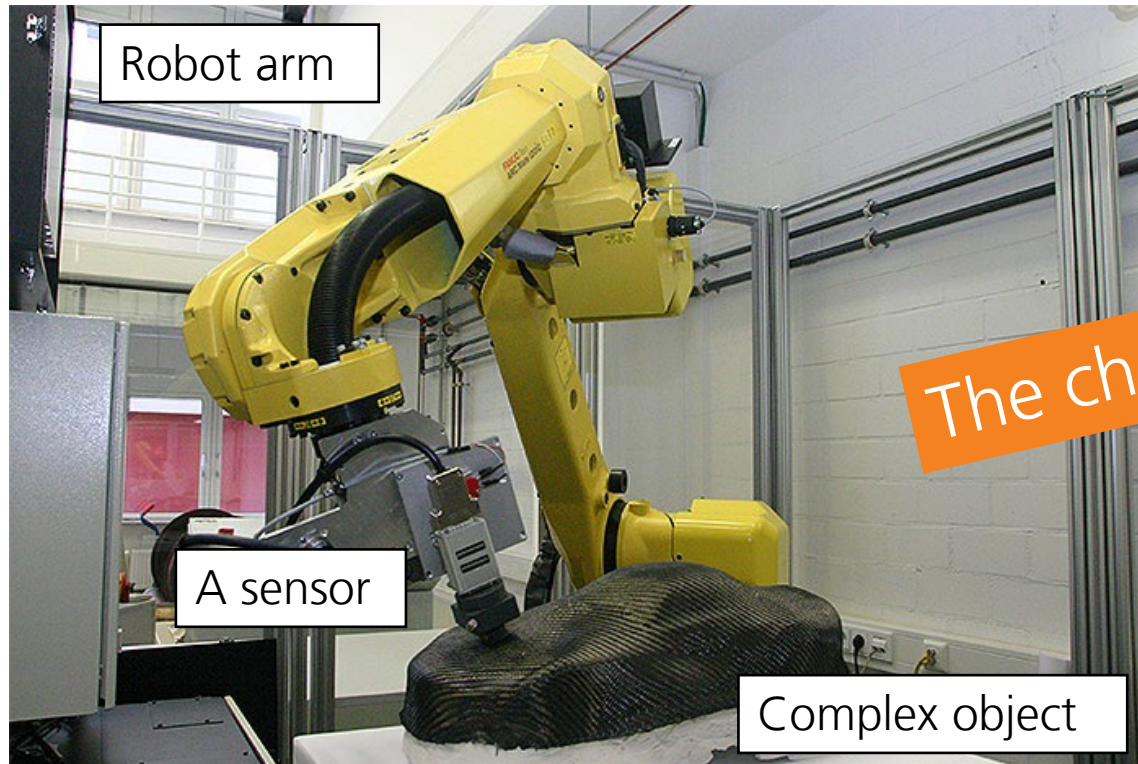
# Visualisierung der 3D-Prüfdaten



- Unterstützung der Darstellung von Volumendaten an 3D-Strukturen
- Lösungsansatz: **Augmented Reality**



# Fully automated inspection of object with complex geometries



The challenges remain!

Concept of a miniature OCT head



Automated robotic arm has been already developed at IKTS in the department of System for Testing and Analysis @ IKTS. It can be combined with different sensors including that of OCT head

An OCT head can be designed individually for optimal performance in terms of speed, resolution and penetration depths



# Ralf Schallert



Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Charakterisierungsverfahren

Volmerstrasse 9

12489 Berlin

[ralf.schallert@ikts.fraunhofer.de](mailto:ralf.schallert@ikts.fraunhofer.de)

Telefon +49 30 639 234 27

Fax +49 351 88815-509

[www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)