

Dietmar Weber / 07.12.2023

---

# Sensor- und Datensysteme für Sicherheit, Nachhaltigkeit und Effizienz



Sensor- und Datensysteme für  
Sicherheit, Nachhaltigkeit und Effizienz

Simulations- und KI-Unterstützung für zFP-Verfahren  
von sicherheitsrelevanten Bauteilen im H2-Transport

---

**Dietmar Weber / 07.12.2023**

## Kapitel 01

---

# Allgemeine Informationen

# Daten und Fakten

Stand Juli 2023

---

- Gegründet 1972
- Personal: 200 Mitarbeitende inkl. Gastwissenschaftler:innen, studentische Hilfskräfte in Wissenschaft / Technik, davon Stammpersonal (Vollzeitäquivalente): 115 Personen
- Standorte
  - Saarbrücken
  - Ilmenau
- Betriebshaushalt 15,35 Millionen Euro (2022)
- Finanzierung
  - Über 75 % Projekterträge
  - Rest Grundfinanzierung



# Mission

## Unser Institut

1

schafft und nutzt

- (unkonventionelle) Sensorsysteme für Volumen- und Oberflächeneigenschaften
- Software und Services zum Sensordatenmanagement entlang der Datenwertschöpfungskette
- Software und Services zur Datenanalyse und Datenwertschöpfung mit KI- und ML-Techniken
- Beratung und ganzheitliche Leistungen rund um Messung, Prüfung, Datenwertschöpfung und Normung

2

entwickelt Sensor- und Datensysteme für Sicherheit, Nachhaltigkeit und Effizienz

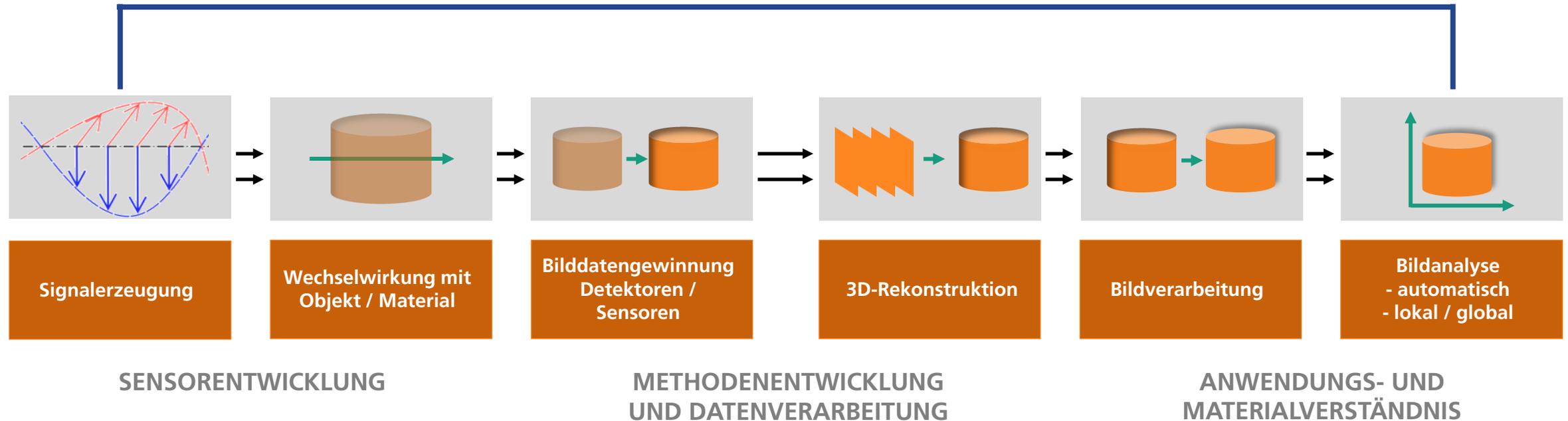
3

optimiert Kreislaufprozesse für Materialien und Produkte, um fortschrittliche industrielle Fertigungs- und Verarbeitungsprozesse sowie ein gesundes Leben, Ernährung und Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

# Wissenschaftliche Kompetenzen in der ZfP

## Datenwertschöpfungskette

### SYSTEMENTWICKLUNG



Von der Sensor- und Methodenentwicklung über das Materialverständnis zum Prototypensystem **für alle ZfP-Modalitäten**

# Methodische Kompetenzen in der ZfP



## Akustik

- Akustische Emmissionsanalyse
- Laservibrometrie
- Beamforming / akustische Kartierung

## Elektromagnetik

- Mehrfrequenz-Wirbelstrom
- Hochfrequenz-Wirbelstrom
- Mikrowellen
- Terahertz

## Magnetik

- Mikromagnetik
- Streufluss

## Thermographie (optisch)

- Impuls-Thermographie
- Induktions-Thermographie
- Ultraschall-Thermographie
- Laser-Thermographie
- Shearographie

## Ultraschall

- Luftultraschall
- Phased Array
- EMUS
- Hochfrequenz-Ultraschall (20 bis 100 MHz)

## Ultraschall

- Simulation der Ultraschallausbreitung
- Signal-Processing/ 2D/3D-Bildrekonstruktion
- Konventionelle Ultraschalltechniken

## Kapitel 02

---

# Anwendungsbeispiele Material

# Anwendungsbeispiele Material

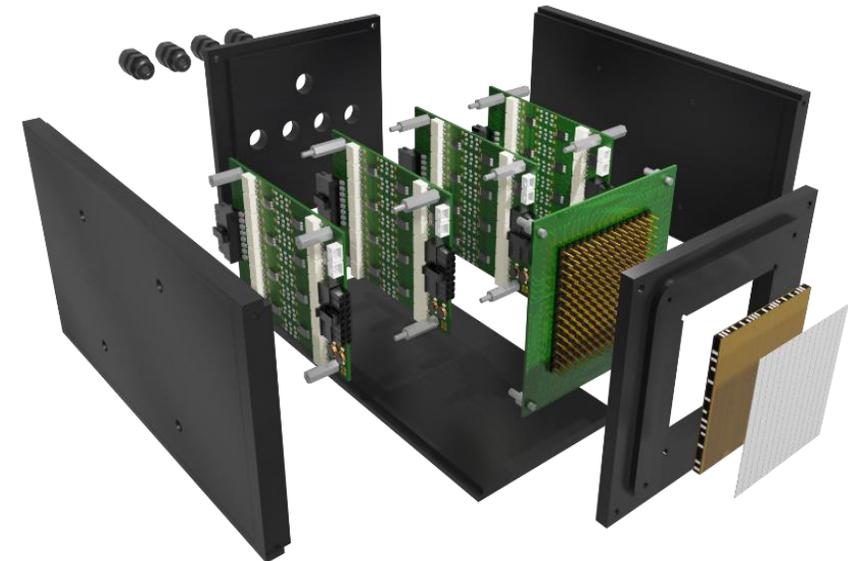
## Ultraschallsensoren nach Maß

### Entwicklung Ultraschallsensorik

- Entwicklung, Aufbau kundenspezifischer Ultraschallsensoren:  
Tauchttechnik, Kontakttechnik, Luftultraschall
- Prüffrequenzen von 50 kHz bis 10 MHz
- Fertigung von Prototypen und kleineren Stückzahlen

### 1-3 Piezokomposite Fertigung

- Frequenzen von 200 kHz-8 MHz
- Mechanische Impedanzen zwischen 8-13 MRayl
- Maximale Abmessungen von 60x60 mm
- Bearbeitung auf Wunschmaße
- Auswahl zwischen ebenen oder fokussierenden Wandlern



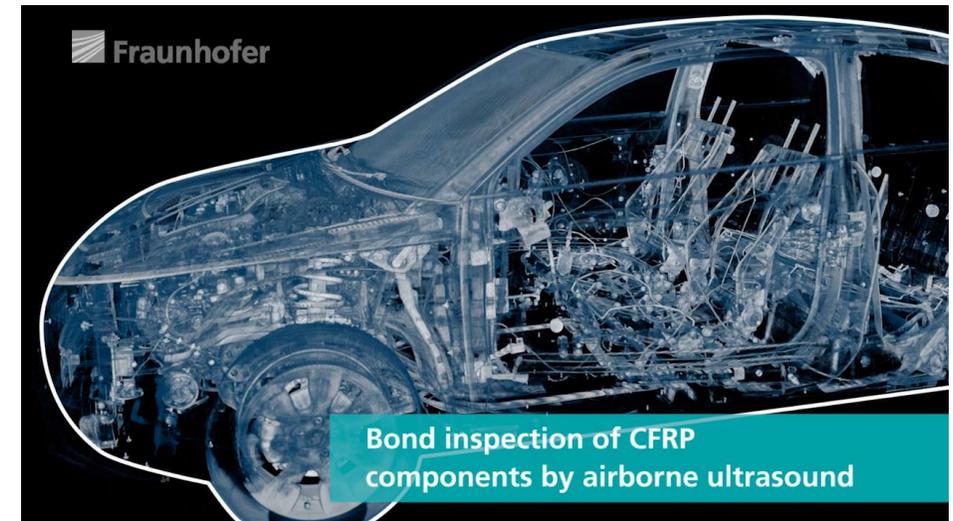
Luftultraschallarray-Sensor

*Hohe Reproduzierbarkeit der Ultraschallsensoren | Kurze Reaktionszeiten |  
Maßgeschneidert gemäß Kundenanforderungen | Dokumentation zu jedem Prüfkopf*

# Anwendungsbeispiele Material

## Luftultraschall: Berührungsloses Prüfen hybrider Werkstoffe

- Kontaminationsfreies, berührungsloses Prüfen
- Gute Automatisierbarkeit
- Entfall von Wasserbad, anschließender Trocknung (erhebliche Reduzierung der Prüfkosten)
- Prüfung in allen gängigen Betriebsmodi wie Impuls/Echo-Betrieb oder Durchschallung
- Prüfbarkeit stark dämpfender Werkstoffe wie Hybridwerkstoffe
- Maßgeschneidertes Prüfkopfdesign



# Anwendungsbeispiele Material

## inspECT: DeepFlawDetector

- Prüfung auf tiefliegende Ungängen (Risse, Korrosion etc.) für verschiedene Anwendungen
  - Prüfung von Korrosion in Blechverbindungsstrukturen oder unzugänglichen Blechstrukturen mit dicker Beschichtungsmasse
  - Prüfung innenliegender Fehler bei nur von außen zugänglichen Rohren
- Schnelle Flächenprüfung mit der Möglichkeit der C-Bild-Darstellung
- Kontaktlose Prüfung mit industrietauglichem, robustem und mobilem Wirbelstromgerät
- Schnelle Prüfung ohne Notwendigkeit für den Einsatz von Koppelmitteln

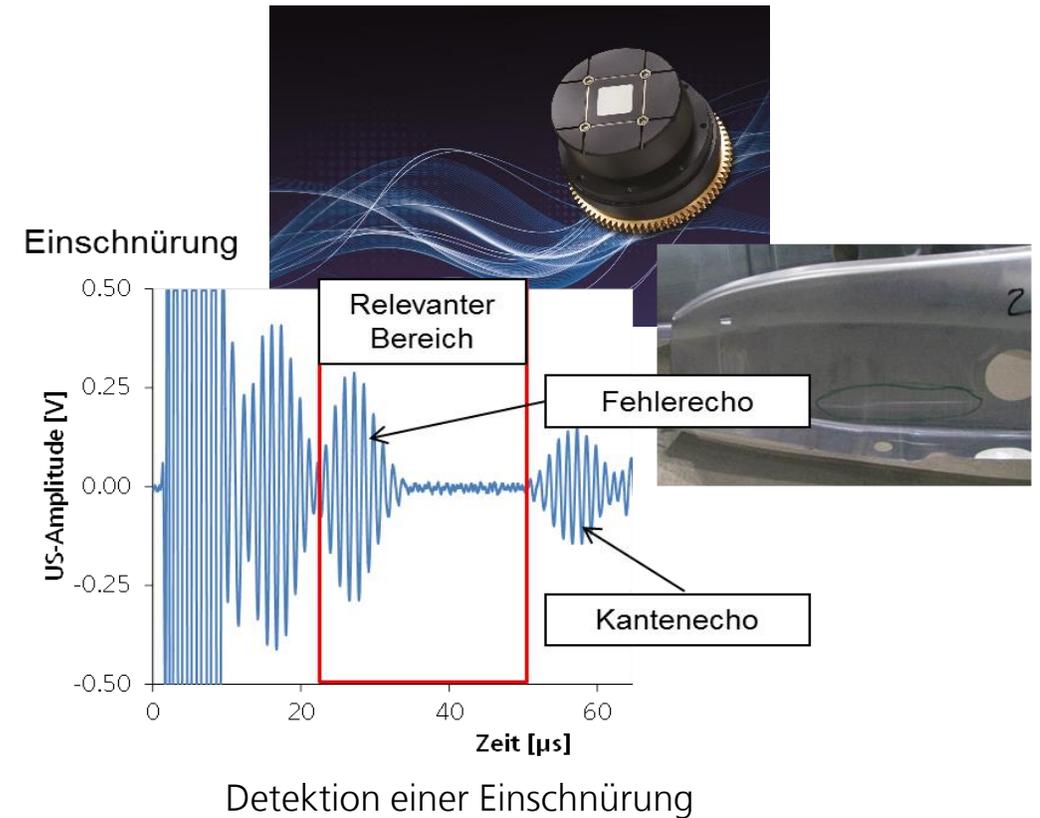


DeepFlawDetector (Sensor)

# Anwendungsbeispiele Material

## EMUS: Risserkennung mit elektromagnetisch angeregtem Ultraschall

- Berührungslose, koppelmittelfreie Ultraschallprüfung
- Echtzeitfähig und automatisierbar (in die Produktion integrierbar)
- Industriell erprobt – lange Standzeiten ohne erkennbaren Verschleiß
- Kalt- und Warmblechumformung (Karosseriebauteile)



## Kapitel 03

---

# Anwendungsbeispiele Produktion

# Anwendungsbeispiele Produktion

## PASAWIS: Mobiles Handprüfsystem für Radsätze mit vollständiger Speicherung der Prüfdaten

- PASAWIS-Prüfsystem (Phased Array Semi-Automated Wheelset Inspection System): Gemeinsame Entwicklung von Fraunhofer IZFP und Evident GmbH in Kooperation mit Railmaint GmbH
- Mobile, vollständige Handprüfung von Radsätzen mit kompletter Speicherung aller Prüfdaten zur langfristigen Rückverfolg- und Nachvollziehbarkeit
- Erfüllt Anforderungen gemäß »VPI-EMG 09« zur Instandhaltung von Güterwagen mittels zerstörungsfreier Prüfung
- Automatisierte Prüfberichte mit digitaler Signatur
- Komplette Radsatzprüfung
- Mobil in der Produktion einsetzbar
- Geringe Prüfzeiten und individuell konfigurierbar
- Automatische Transferkorrektur



PASAWIS – mobil in der Produktion einsetzbares Radsatzprüfsystem

# Anwendungsbeispiele Produktion

## WeldInspector: Messanlage zur Ultraschallprüfung von Schweißnähten der Abtriebswellen

- Vermessen der gesamten Schweißnahtgeometrie innerhalb weniger Minuten (Hochfrequenz-Ultraschall zu 100 %)
- Detaillierte Auswertung erfolgt mit der eigenentwickelten Software unmittelbar im Anschluss an die Prüfung
- Reduktion von Material-/Prüfausschuss während der Produktion
- Unterstützung und Optimierung der Produktionsabläufe
- Vermessung von 40 verschiedenen Wellentypen

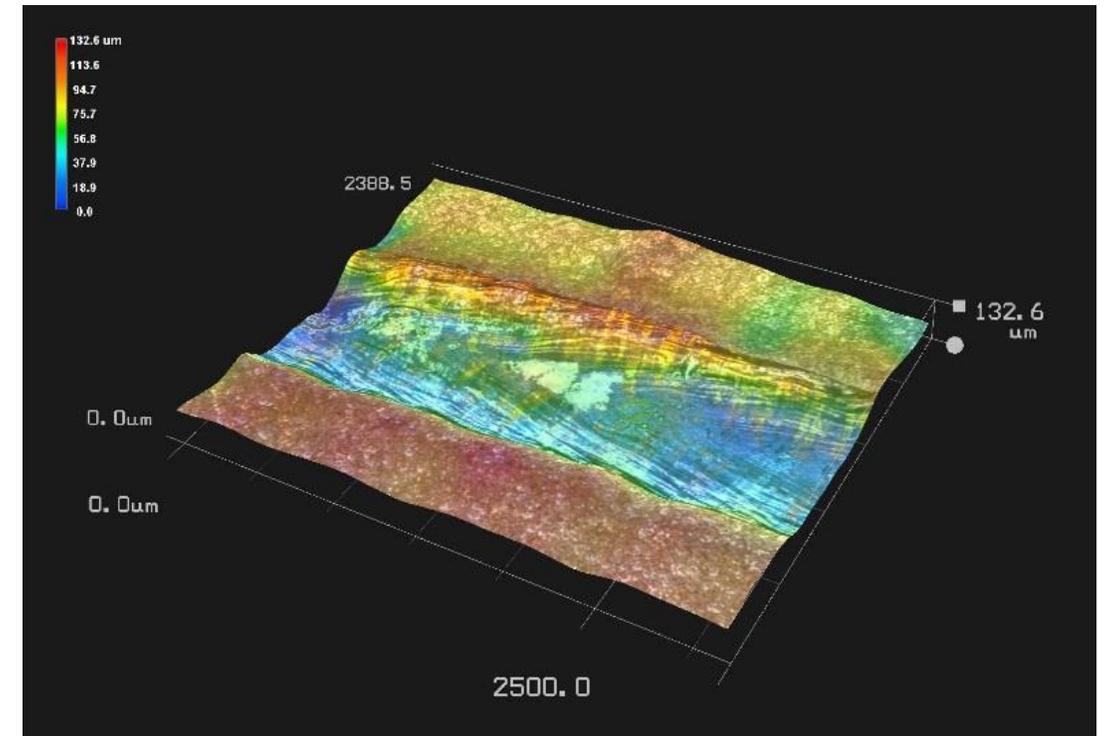


Teilautomatisierte Anlage zur Vermessung der Schweißnahtgeometrie von Abtriebswellen für das 8-Gang-Pkw-Automatikgetriebe der ZF Friedrichshafen AG, Werk Saarbrücken

# Anwendungsbeispiele Produktion

## Hochfrequenz-Ultraschallprüfung: Optimierung der Qualität von Laserschweißnähten

- Post-Process: Integration der HF-Ultraschallprüfung zur schnellen, effizienten Überwachung, Dokumentation, Optimierung der Laserschweißnahtqualität
- Validierung des Verfahrens zur Bestimmung aller relevanten Qualitätsmerkmale (Schweißnahtverlauf, Fehlstellenexistenz etc.)
- Detektion typischer Fehlerarten beim Laserstrahlschweißen



3D-Profil einer Laserschweißnaht eines pressgehärteten Stahles

## Kapitel 04

---

# Anwendungsbeispiele Produkt

# Anwendungsbeispiele Produkt

## 3D-SmartInspect: Intelligente Prüfüberwachung und Dokumentation durch optisches Trackingsystem

- Ultraschall- und Wirbelstromprüfung
- Interaktive Unterstützung des Prüfpersonals im manuellen Prüfprozess
- Feedback-Mechanismus zur Sicherstellung der vollständigen Abtastung des Prüfbereichs
- Digitales Prüfgedächtnis: Automatische Dokumentation der Prüfergebnisse als Nachweis der korrekten Prüfdurchführung (zentraler Datenspeicher)
- Kombination mit kollaborativer Robotik möglich
- Kundenspezifische Anpassung (Option, Integration von weiteren Sensoren auf Grundlage anderer Prüfprinzipien)

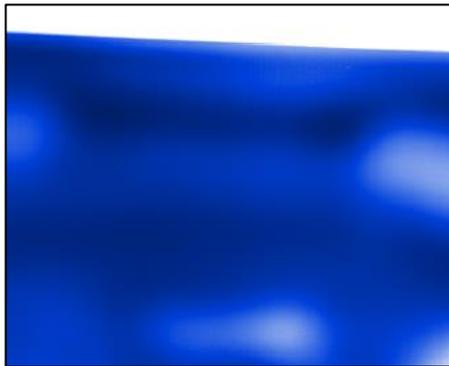


Mit 3D-SmartInspect in die digitale ZfP-Welt: Augmented Reality-System zur manuellen Prüfung von Bauteilen oder großen Oberflächen

# Anwendungsbeispiele Produkt

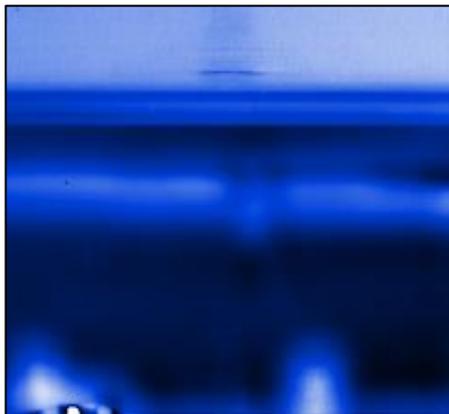
## Automatisierte zerstörungsfreie Detektion von Klebungen

- Modalitäten: Thermographie, Ultraschall, KI-Mustererkenner zur Auswertung komplexer Signale



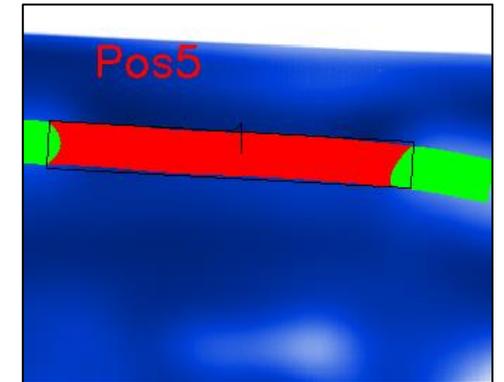
⇐ Eingang

Robotisch erfasste thermische Sensordaten



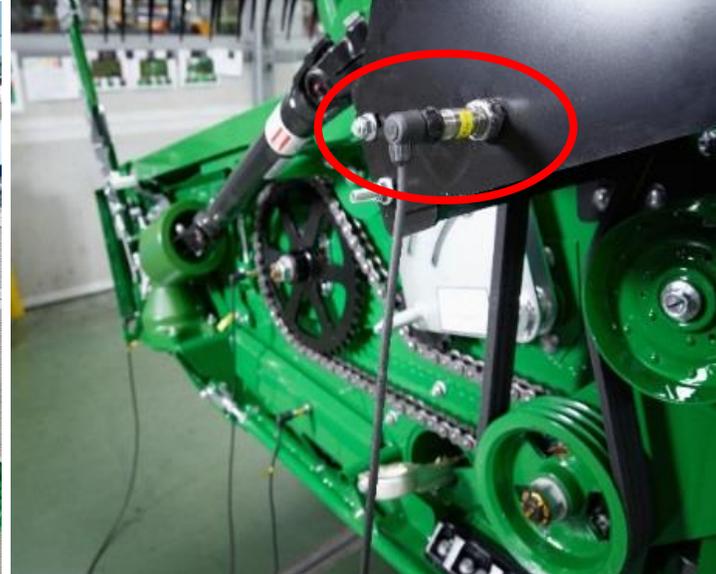
Ausgang ⇒

verarbeitete Daten, Feature Extraction,  
Klassifikation, Entscheidungen, Bewertung / Befundung



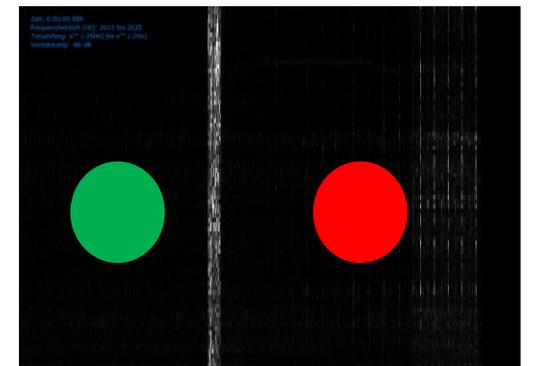
# Anwendungsbeispiele Produkt

AcoustiX: Kognitives akustisches Sensorsystem für die Montageendkontrolle oder Betriebsüberwachung



Akustisches Signals

Akustisches Messsystem am Beispiel eines Schneidwerkes für Mähdrescher: Aufzeichnung per Mikrofon (Foto links) und/oder per Körperschallsensor (Foto rechts)



Ergebnisdarstellung mittels Ampel

## Kapitel 05

---

# Anwendungsbeispiele Betrieb

# Anwendungsbeispiele Betrieb

## LIMAtest®: Zerstörungsfreie Korrosionsprüfung an Lichtmasten

- Kompaktes Prüfsystem mit EMUS-Sende-/ Empfangselektronik
- Schnelle Datenvorverarbeitung
- Laptop zur Gerätesteuerung, Datenaufnahme und Visualisierung
- Automatische Archivierung der Messdaten und Erstellung von Prüfprotokollen
- Integrierte Benutzer- und Prüfprofilverwaltung
- Optionaler Manipulator für motorisierte 360°-Scans am Lichtmast
- Modular erweiterbare Sprachoptionen



LIMAtest® im Handbetrieb

# Anwendungsbeispiele Betrieb

## BetoFlux: Mobiles Streuflussprüfsystem zur Detektion von Korrosionsschäden an Spannbetonmasten

- Magnetische Streuflussprüfung
- Schnelle Detektion
- Intuitive Darstellung der Anordnung und des Zustandes ferromagnetischer Spannstähle
- Speziell für den mobilen Einsatz konzipiert
- Einfache Anpassung an unterschiedliche Betonmastdurchmesser
- Geringer Aufwand verglichen mit alternativen Prüfverfahren (z. B. Röntgen)
- Keine Gefahr der zusätzlichen Schädigung des Mastes



BetoFlux im Einsatz

# Highlights

## Rosetta-Mission: Ultraschallwandler des Fraunhofer IZFP in den Tiefen des Weltalls

- Über 10 Jahre war die Rosetta-Sonde im All unterwegs. Nach ihrem Start am 2. März 2004 trat die Sonde ihre Reise zum Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko an. (Landing 2014)
- Eine der Aufgaben des Lande-Moduls Philae war die Untersuchung der elastischen, plastischen Eigenschaften des Kometenbodens. Die dafür notwendigen Schallwandler wurden vom Fraunhofer IZFP speziell entwickelt. In das für die Kometenlandung eigens angepasste Prüfsystem flossen die umfassenden Kenntnisse und Erfahrungen des Instituts in zerstörungsfreier Werkstoffcharakterisierung mit Ultraschall ein.



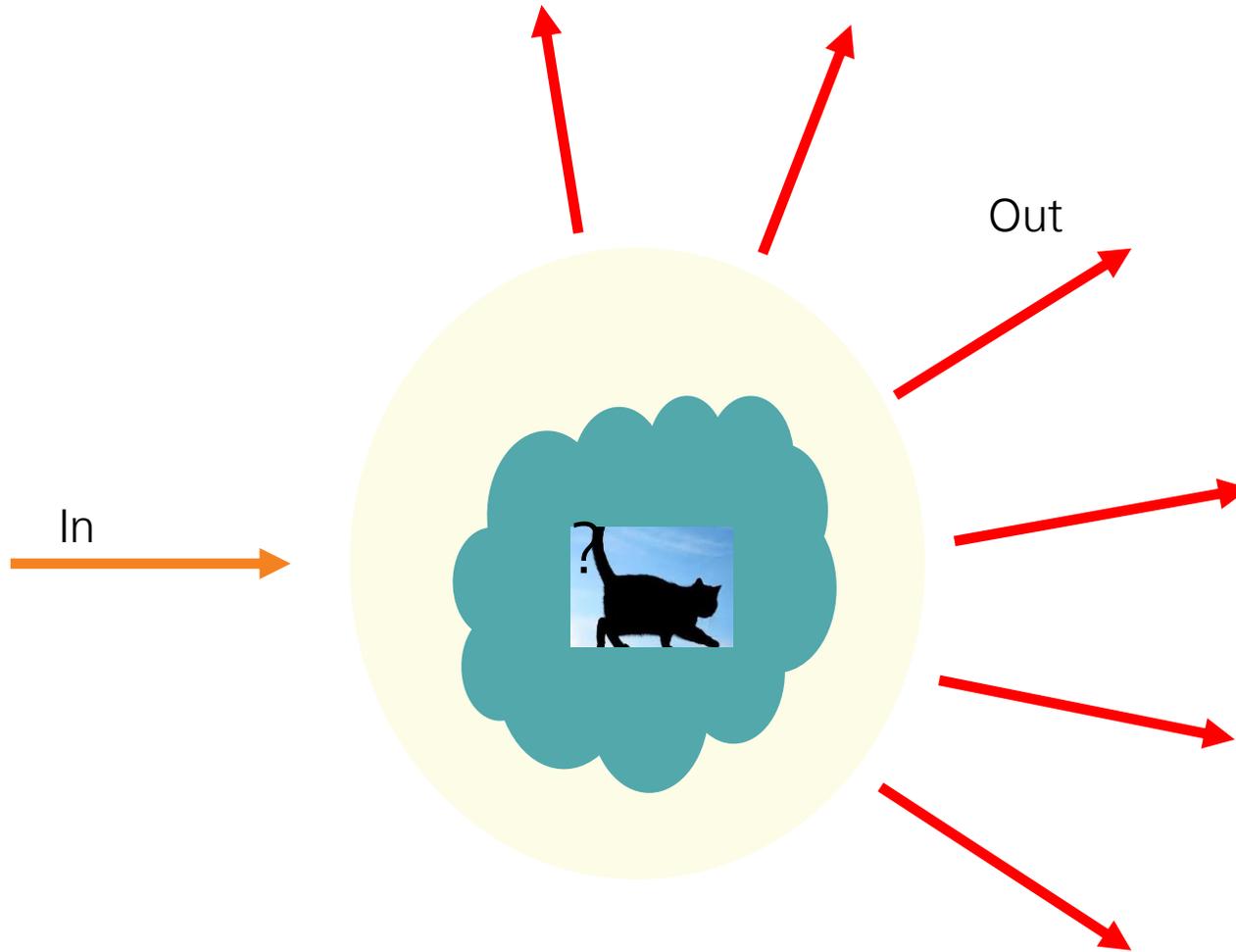
## Kapitel 42

---

# Probleme und neuere Lösungsansätze

# Die Problematik

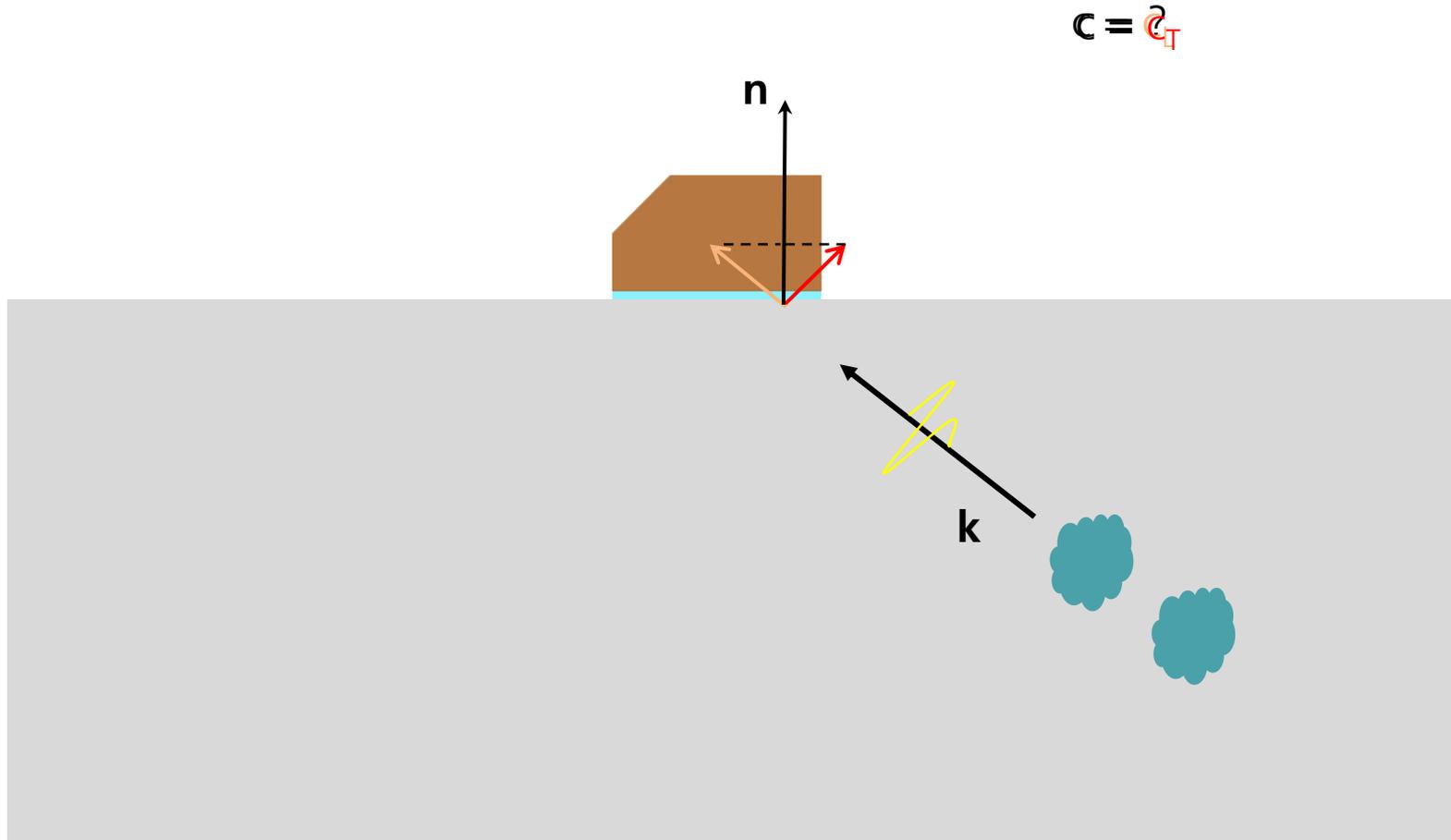
Abstrakt: (Inverses) Streuexperiment



- Streuung, Rauschen (Korngrenzen, ...)
  - Beugung
  - Reflexion inkl. Modekonversion
  - Inhomogenitäten
  - Evtl. Anisotropie
- 
- Geometrische/bauliche Beschränkungen
  - Finanzielle Beschränkungen
  - Systemträgheiten (das haben wir immer schon so gemacht)

# Die Problematik

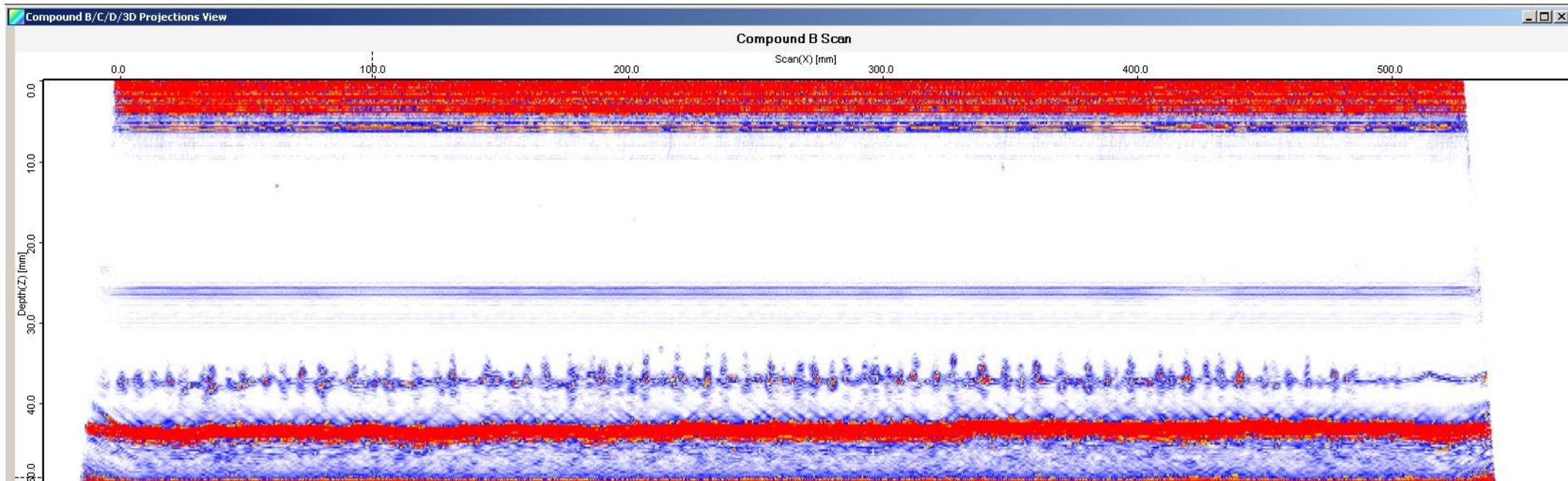
Unsicherheiten in Signalpropagation (Polarisation, Ausbreitungsgeschwindigkeit,....)



# Die Problematik

## Bsp: Bildgebung Unterplattierungsrisse mit Sampling Phased Array

- Vielzahl von Anzeigen
- Alle real, alles Risse? (oder Fata Morgana)
- Größenbestimmung? (Winkelspiegeleffekt?)



# Die “Lösung”

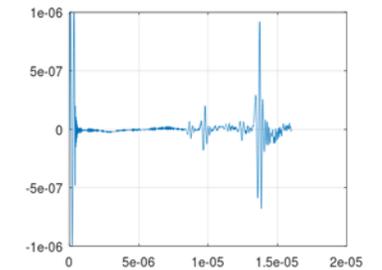
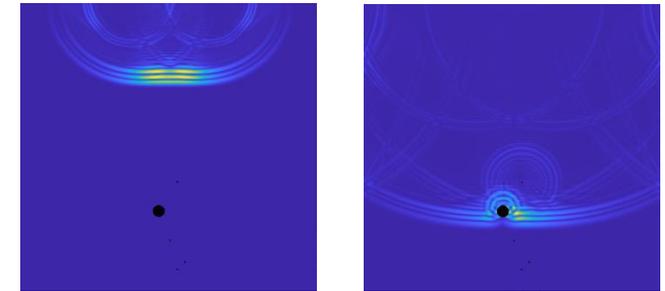
## In kritischen Zweifelsfällen

Bisher:

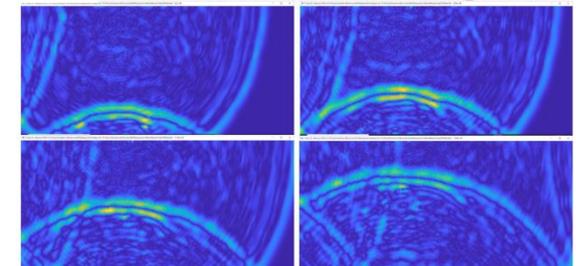
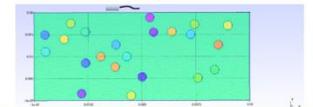
- Produktion von Testkörpern mit nachempfundenen, künstl. Fehlern
- Vgl. Messung reales Prüfproblem mit Testkörper-Resultaten (Trial & Error)
- Teuer, aufwändig
- Nicht immer durchführbar

Plan:

- Eigenes performantes Simulationstool, spezialisiert für US-Anwendungen
- Massenhafte Simulation von typischen und untypischen, genau definierten Prüfzenarien unter kontrollierbaren, reproduzierbaren Bedingungen
- KI-Training + KI-Auswertung (→ PINN , Physics-Informed Neural Network)



Simulation of ultrasonic scattering



# Wasserstofftransport

## Offene Fragen

---

- Wasserstoffversprödung
- Entkohlung
- Zusammenspiel H<sub>2</sub> mit Seewasser/-luft im Werkstoff
- Förderung Risswachstum
- Langfristuntersuchungen (insb. auch an Verbundwerkstoffen)

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

---

- Lassen Sie uns Kontakt halten!
- [info@izfp.fraunhofer.de](mailto:info@izfp.fraunhofer.de)
- [www.izfp.fraunhofer.de](http://www.izfp.fraunhofer.de)

# Highlights

## Verbesserte Sicherheit von Kernkraftwerken

- EU-Forschungsprojekt NOMAD\*:  
Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfsystems bei wiederkehrenden Inspektionen von Reaktordruckbehälter-Wänden
- Sichere Reaktordruckbehälter mit intelligenten Sensor- und Prüfsystemen auf Basis von Ultraschall und 3MA
- Materialschädigungen gezielt und rechtzeitig erkennen

*\*Nondestructive Evaluation System for the Inspection of Operation-Induced Material Degradation in Nuclear Power Plants*

