



WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

# PAUT-Prüfung von Radsätzen Möglichkeiten und Vorteile

24. Technische Informationsveranstaltung des VPI  
20. Juni 2024 in Düsseldorf

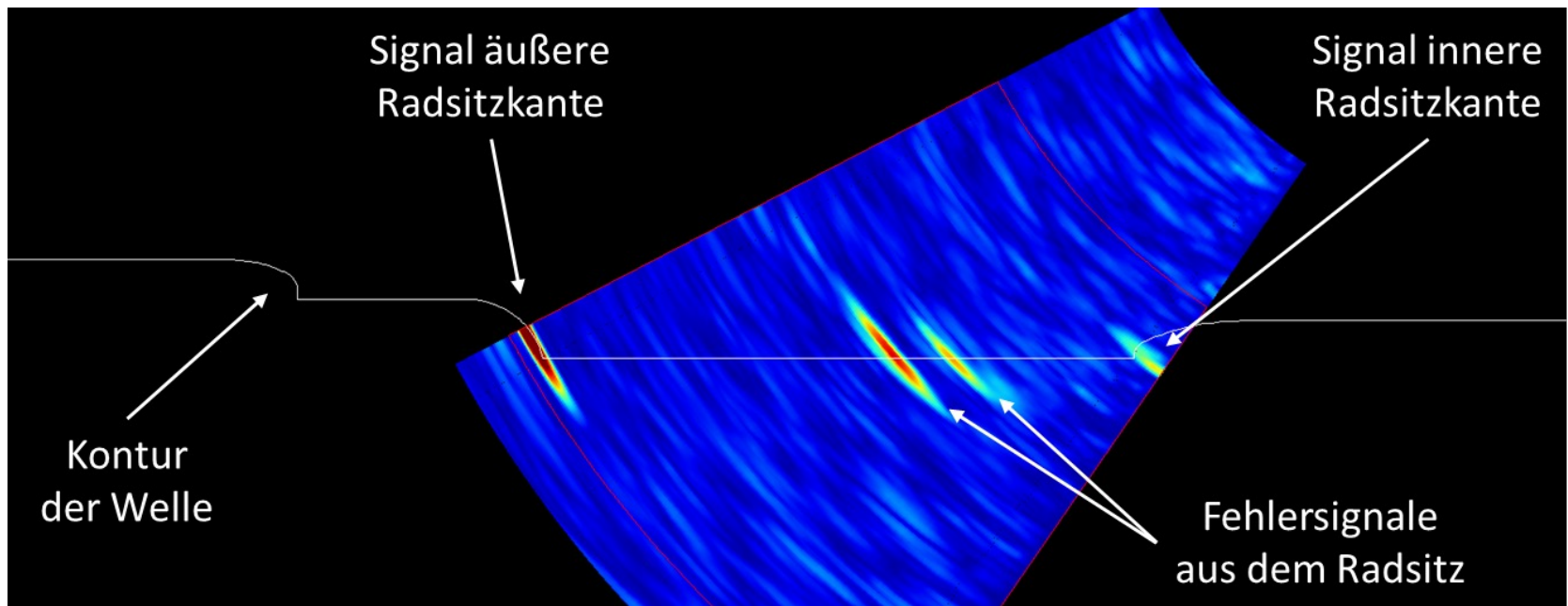
I. Poschmann, W.S. Werkstoff Service GmbH

- Konventionelle Prüfung mit Phased-Array (PAUT)
  - Vorteile durch bildgebende UT-Prüfung
  - Vorteile durch automatisierte Prüfung
  - Vorteile durch Multigruppentechnik
  - Vorteile durch quantitative Ankoppelkontrolle
  - Möglichkeiten durch optimierte PAUT-Infrastruktur
- TFM (Total Focussing Method) – eine spezielle PAUT-Technik
  - Wie funktioniert das?
  - Welche Prüfaufgaben können damit gelöst werden?
- Oberflächenrissprüfung mit Rayleigh-Wellen auf PAUT-Basis
  - So empfindlich wie die Magnetpulver-Prüfung?
  - Ergebnisse erster Sondierungs-Versuche an Rad und Welle
  - Ausblick



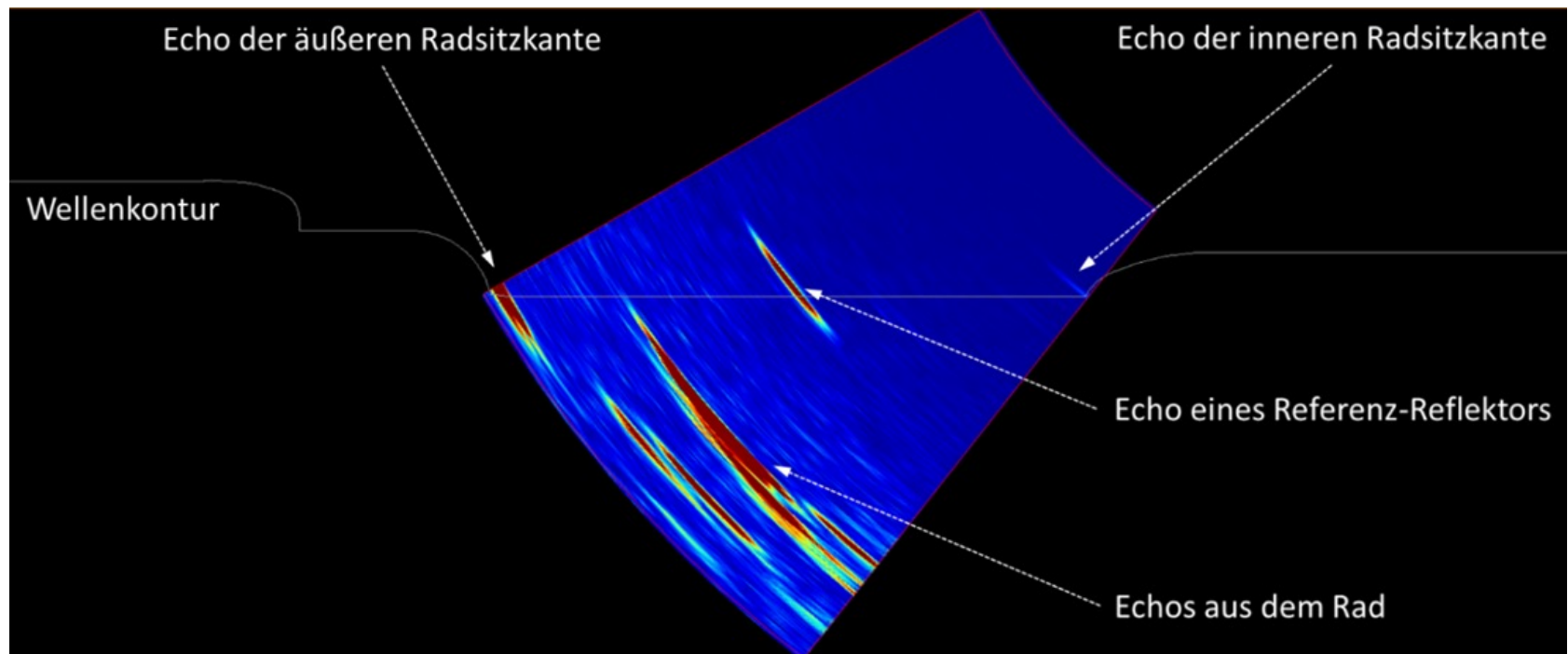
## PAUT als bildgebendes Prüfverfahren

- PAUT-Prüfung des Wellensitzes ohne Rad (Prüfkopfposition: Schaft)
- UT-Anzeigen aus der Geometrie und Fehlersignale können visualisiert werden
- Überlagerung der UT-Anzeigen mit der Wellengeometrie verbessert ...
  - ... die Einstellung des Prüfsystems
  - ... die Aussagekraft der Prüfung



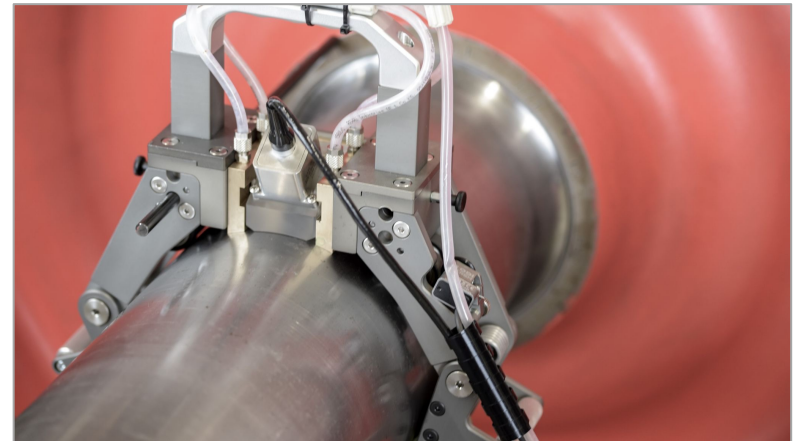
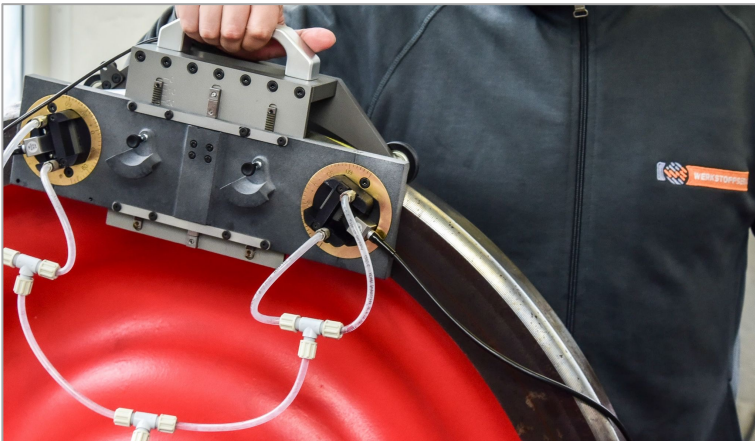
## PAUT als bildgebendes Prüfverfahren

- PAUT-Prüfung des Wellensitzes mit Rad (Prüfkopfposition: Schaft)
- Relevante Anzeigen und nicht-relevante Anzeigen können klar unterschieden werden
- Überlagerung der UT-Anzeigen mit der Wellengeometrie verbessert ...
  - ... die Anzeigeninterpretation und damit
  - ... die Zuverlässigkeit der Prüfung erheblich

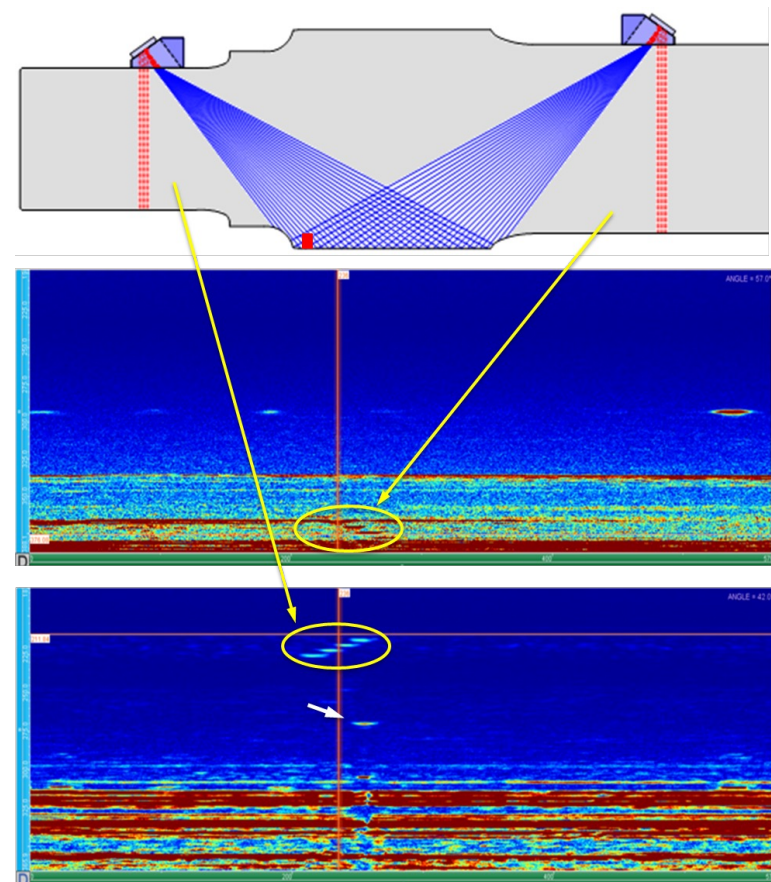


## Automatisierte Ultraschallprüfung

- *DIN EN ISO 5577: „Technik, bei der ... unter Verwendung von mechanisch gesteuerten Prüfköpfen geprüft wird, und bei der Ultraschalldaten automatisch erfasst werden“*
- Scan-System führt PAUT-Prüfköpfe mit Führungshilfen präzise auf der Prüffläche
  - üblicherweise unterstützt mit einer elektrischen Drehvorrichtung
- Encoder zeichnen Prüfkopfpositionen auf und beenden den Scan automatisch
- Prüfdaten werden ebenfalls automatisch aufgezeichnet
- Positionsdaten und Prüfdaten werden miteinander verbunden
  - Ergebnis: Umfassende und ortsgenaue Informationen über den Bauteilzustand



- Prüfung des Pressverbandes
  - Prüfköpfe auf Schenkel und Schaft
  - in identischer Umfangspositionen
- Reflektoren nahe der äußeren Radsitzkante
- Schaft-Prüfkopf erkennt Reflektoren nur schwach
  - Grund: Echo der äußeren Radsitzkante
- Schenkel-Prüfkopf erkennt Reflektoren deutlich
  - Grund: Äußeren Radsitzkante reflektiert kaum
- Beide Prüfköpfe unterstützen sich gegenseitig:
  - Informationsgewinn ist maximal
  - POD wird verbessert



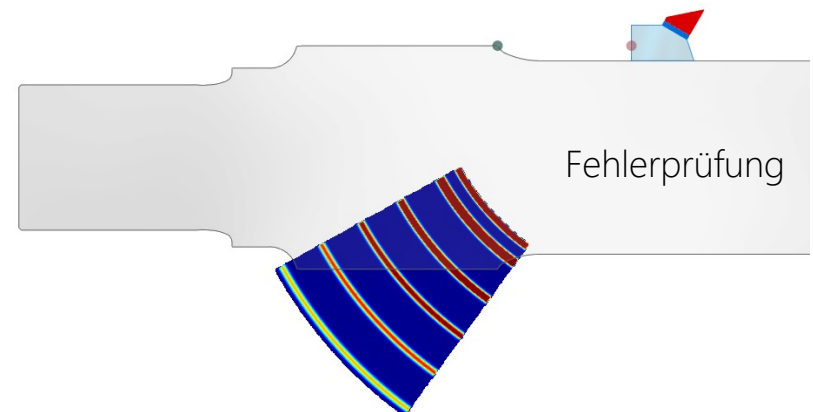
# Multigruppentechnik – Quantitative Ankoppelkontrolle

## Was ist quantitative Ankoppelkontrolle?

- Bei jedem Scan wird ein definierter Reflektor (Rückwand) angeschallt
- Signal der Rückwand wird beim Scans überwacht und darf bestimmte Werte nicht unterschreiten

## Was ist der Nutzen der quantitativen Ankoppelkontrolle?

- Prüfung der korrekten Ankopplung des Prüfkopfes
- Überwachung der Funktion des Prüfkopfes
- Zeitliche Trennung der Prüfdatenerfassung und der Prüfdatenbewertung möglich



# Fehlernachweis und Fehlergrößenanalyse

## Setup des Scans

- 2 zueinander geneigte Prüfköpfe
- Ankoppelkontrolle an der äußeren Stirnfläche

## Referenznuten

- 20 Nuten in 7 Spuren über Lauffläche verteilt
- Tiefe  $a$ , Länge  $2 \cdot c$ , Breite  $0,2$  mm

## C-Bild eines der beiden Prüfköpfe

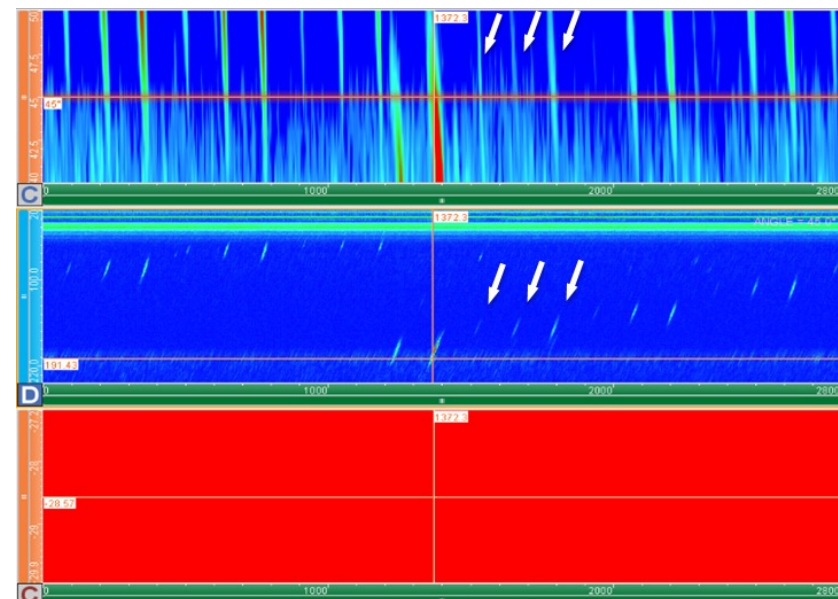
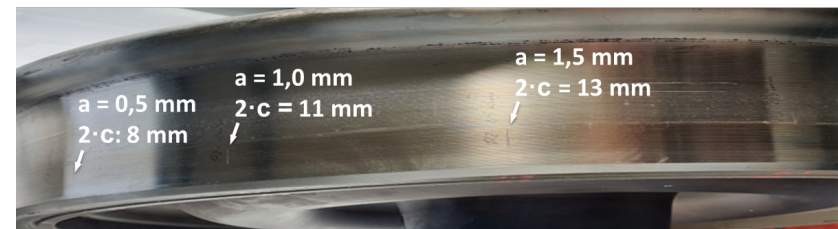
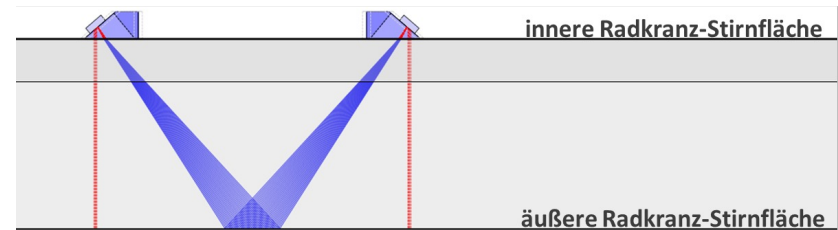
- Darstellungsart unterstützt Fehlererkennung
- Aussagen über Fehlertiefe/-länge unmöglich

## D-Bild eines der beiden Prüfköpfe

- Darstellungsart unterstützt Größenbewertung
- Längen und Tiefen abschätzbar

## C-Bild der Ankoppelung eines Prüfkopfes

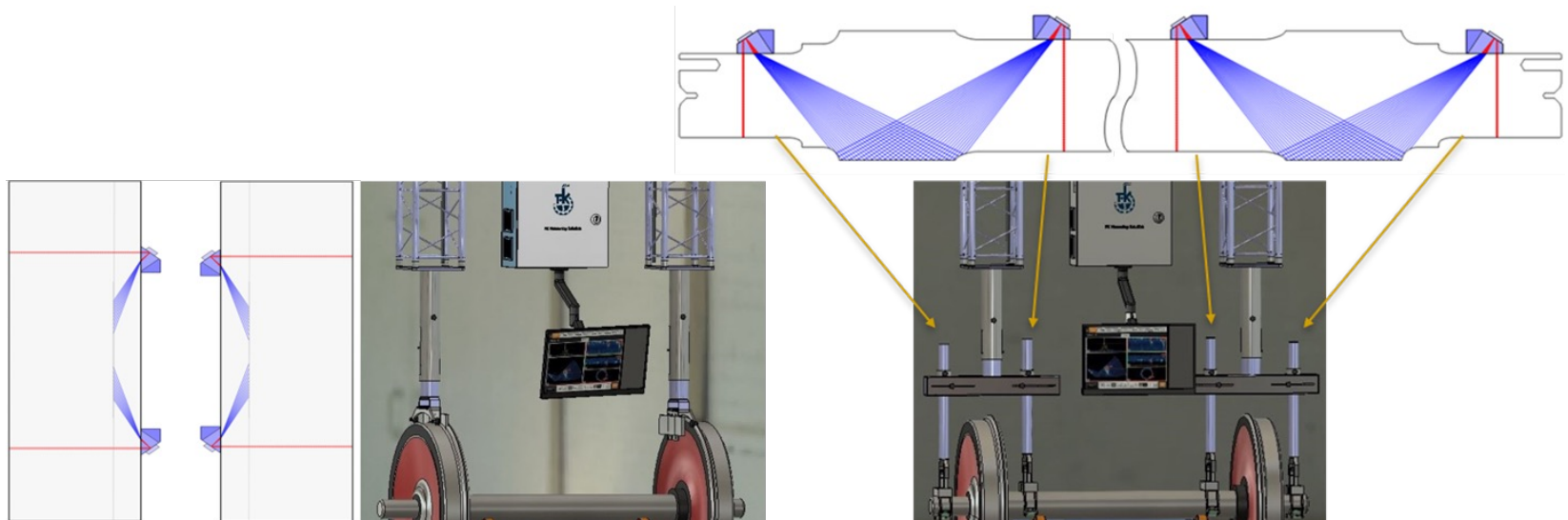
- Darstellungsart unterstützt Ankoppelkontrolle





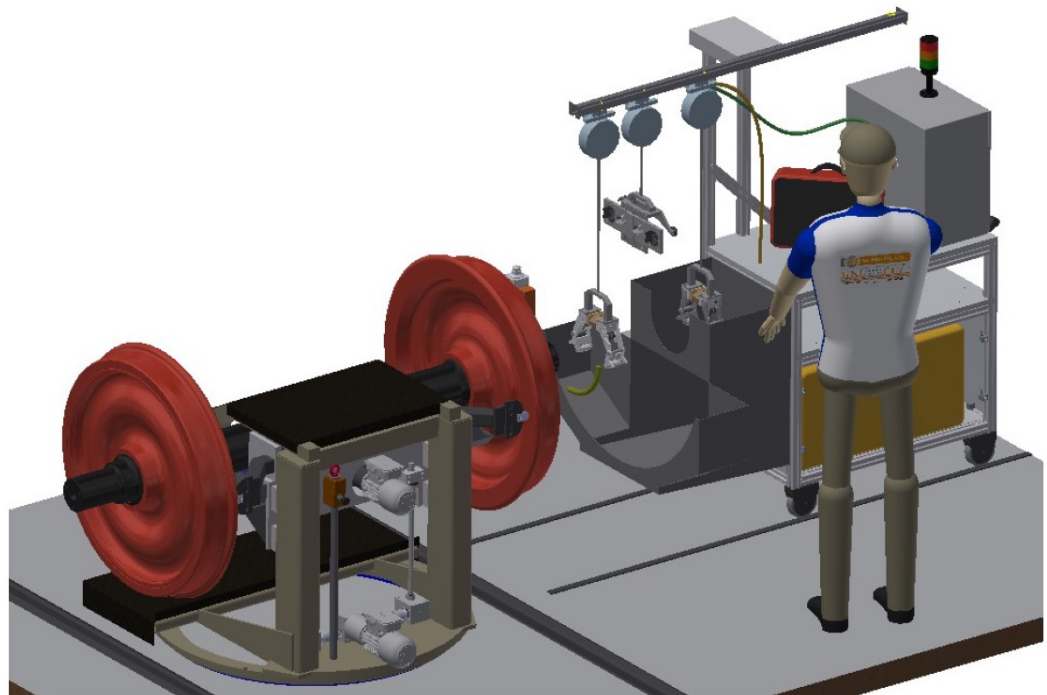
# Modularer Aufbau des Prüfsystems

- Auf Basis des Systems WS3 setzt Franz Kaminski ein Prüfstands-Konzept um
- Es entstehen zwei Prüfstationen  $\Rightarrow$  1x Wellenprüfung, 1x Radprüfung
- Hardware (GEKKO 32:128) steuert dabei jeweils 4 Prüfköpfe
  - Räder  $\Rightarrow$  4 x 16E-Prüfköpfe
  - Wellen  $\Rightarrow$  4 x 32E-Prüfköpfe
  - Arbeit mit jeweils 8 Gruppen (4x Fehlersuche, 4x Ankoppelkontrolle)



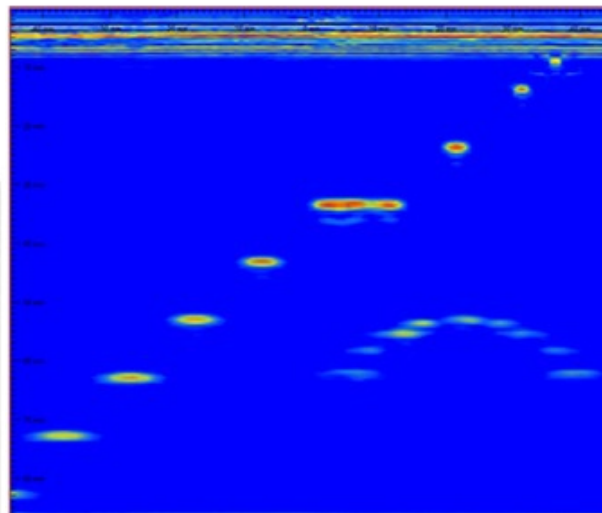
# PAUT-Prüfung – Effizienzsteigerung durch optimierte Infrastruktur

- Kabel- und Schlauchmanagement
- Koppelmittelkreislauf (Fließwasserankopplung)
- Arbeitsflächen für die Prüfer
- Ablagen für die Prüfausrüstung
- Handling der Radsätze
  - Radsatz heben
  - Radsatz rotieren
  - Radsatz drehen

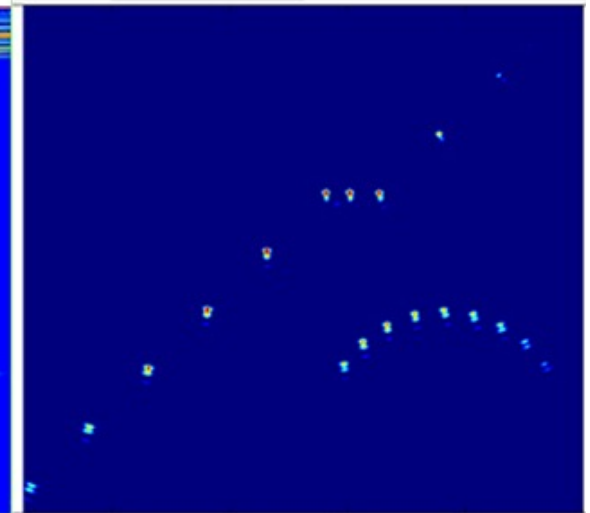


## TFM (Total Focussing Method) – Vorbemerkung

- Prüfkopf hat typischerweise min. 64 Schwinger-Elemente (Größe ca. 0,7 mm x 10 mm)
- Sendemodus: Ein einziges Element ist aktiviert und produziert eine Elementarwelle
- Empfangsmodus: Alle Elemente sind aktiviert und empfangen die Antwort
- 64E-Prüfkopf: aus  $64 \times 64 = 4096$  Antwortsignalen wird das Gesamtbild berechnet
- Vorteil: Fokussierung in alle Richtungen und in alle Tiefen



„konventionelles“ Phased-Array

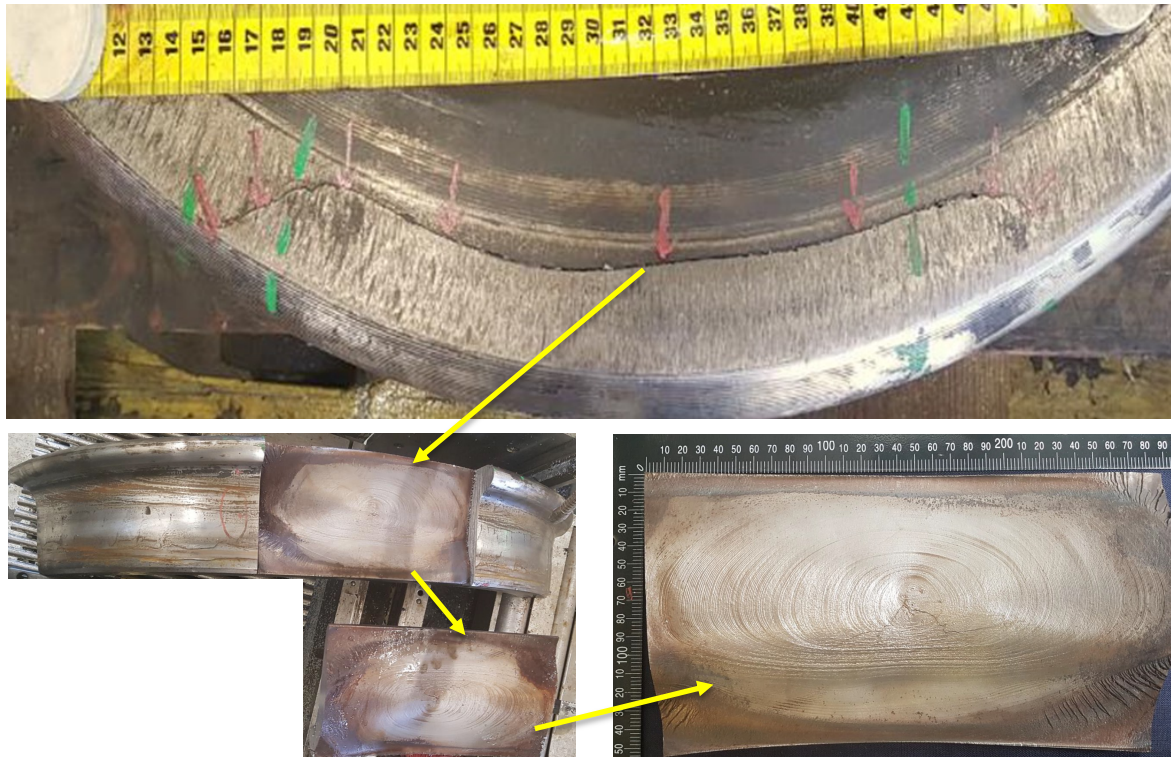


TFM



## TFM – Problemstellung

- Rissen in Radkränzen von Rädern/Reifen – teils verbunden mit massiven Laufflächen-Ablösern
- Rissausgang mehrere Millimeter unter der Oberfläche der Lauffläche
- Grund: Nicht-metallische Einschlüsse (Reinheitsgrad)
- Riss-Starter teilweise nur wenige 100  $\mu\text{m}$  groß

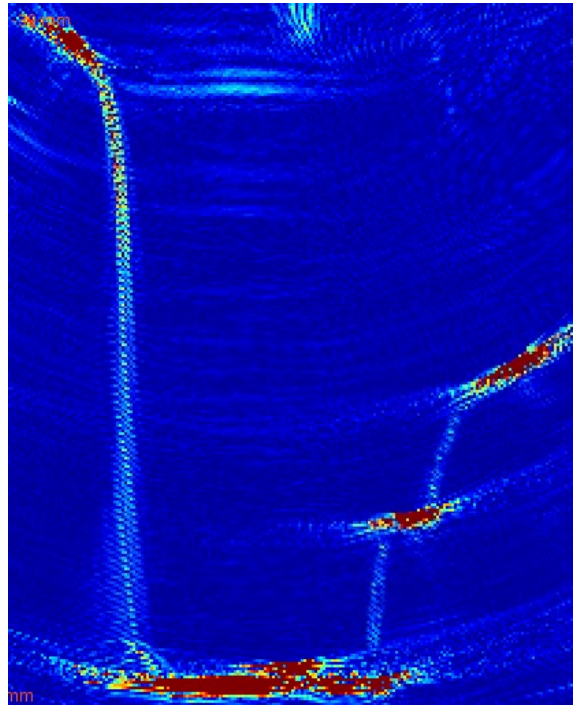


## TFM-basierende Radkranzprüfung

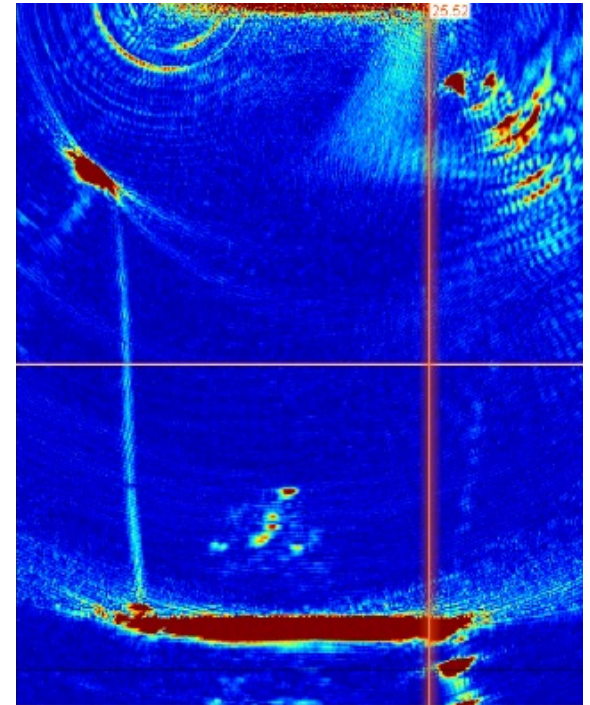
- TFM bietet eine Möglichkeit, Radkränze schnell und mit hoher Auflösung zu überprüfen
- Kunden nutzen dies bereits, um:
  - Erkenntnisgewinne bei der Schadensanalyse zu maximieren
  - Ansprüche gegenüber Lieferanten zu sichern
  - Risiken zu minimieren



Prüfkopf-Anordnung



Fehlerfreies Radkranzvolumen

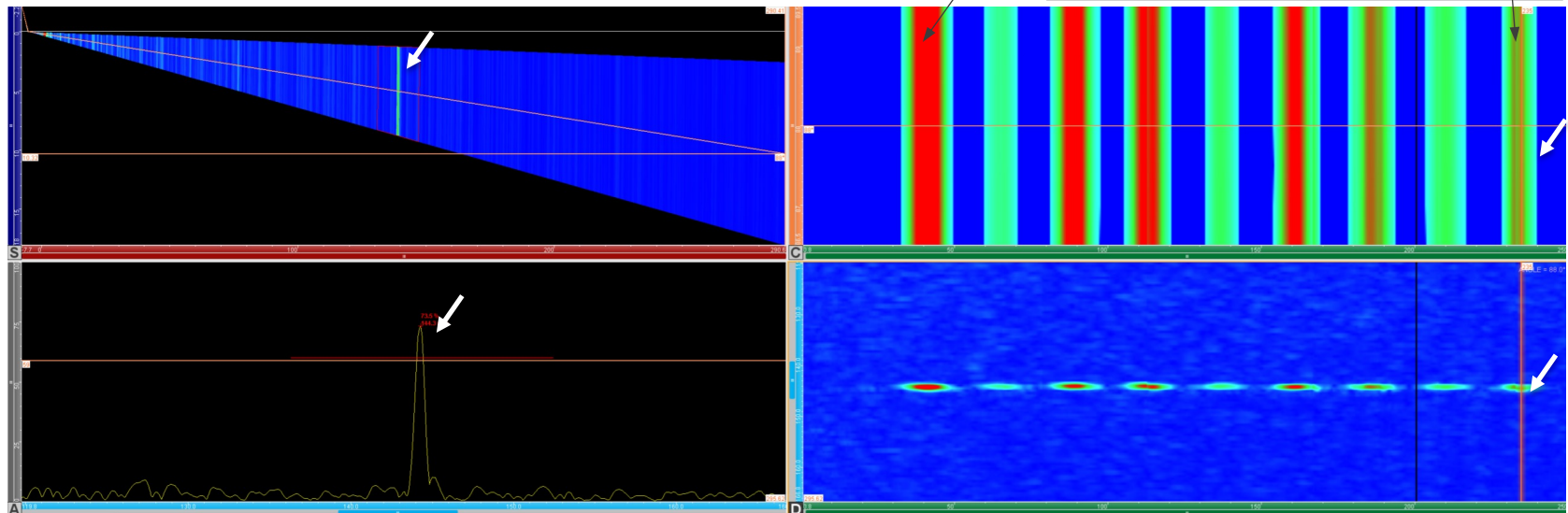
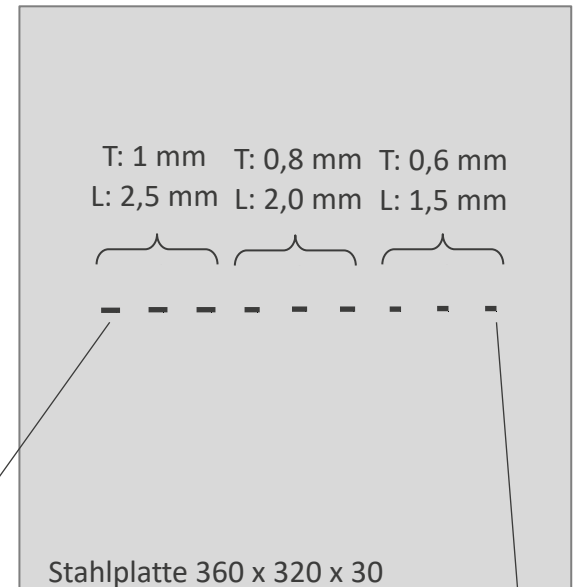


Radkranzvolumen mit Einschlüssen



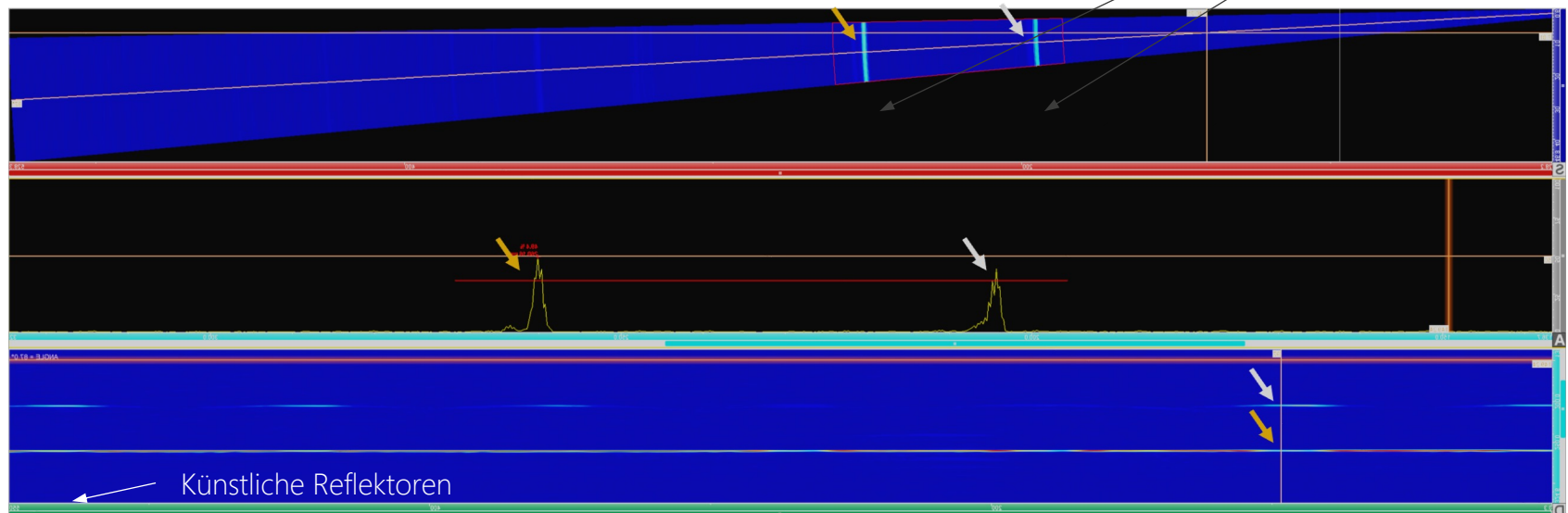
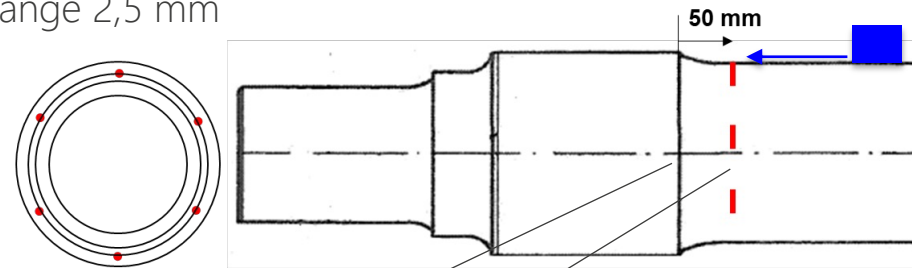
# Rayleighwellen – erste Sondierungstests zur Nachweisgrenze

- Projektvorschlag: Oberflächenrissprüfung von Wellen mit Rayleigh-Wellen auf Basis eines PAUT-Systems
- Prüftechnik muss mindestens gleiche Zuverlässigkeit haben, wie MT-Prüfung (Nachweis von Anzeigenlänge von 2 mm)
- Machbarkeitstest: alle Referenzfehler werden gefunden  
ABER: Sehr feine (nicht repräsentative) Oberfläche



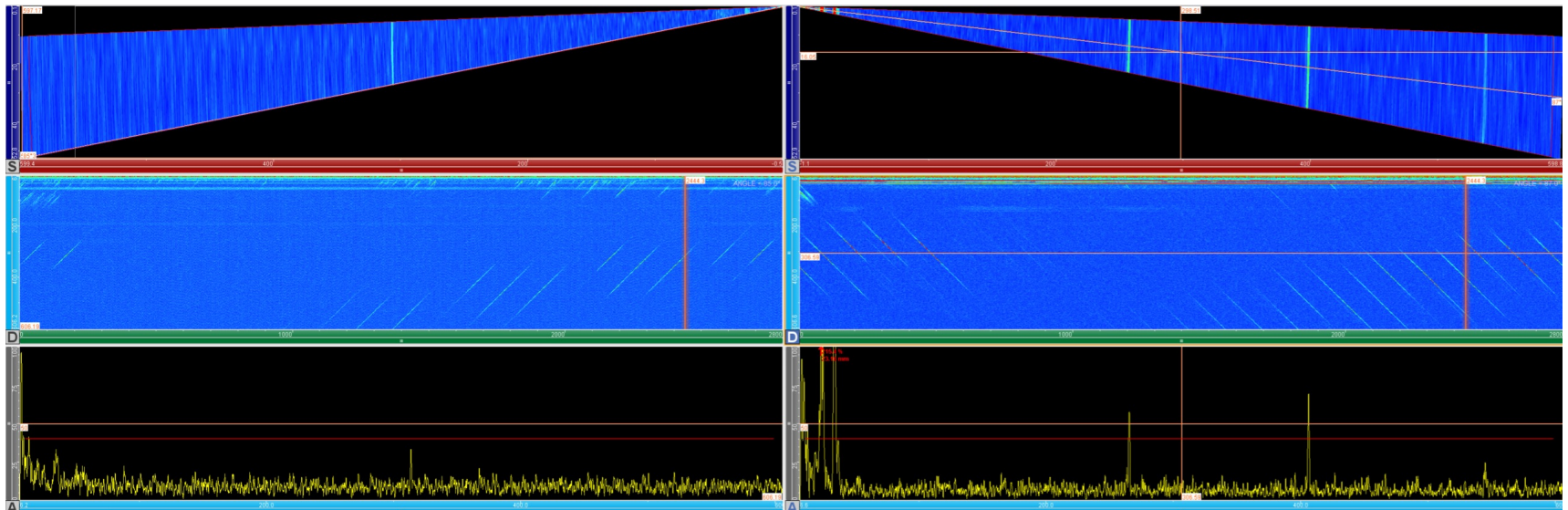
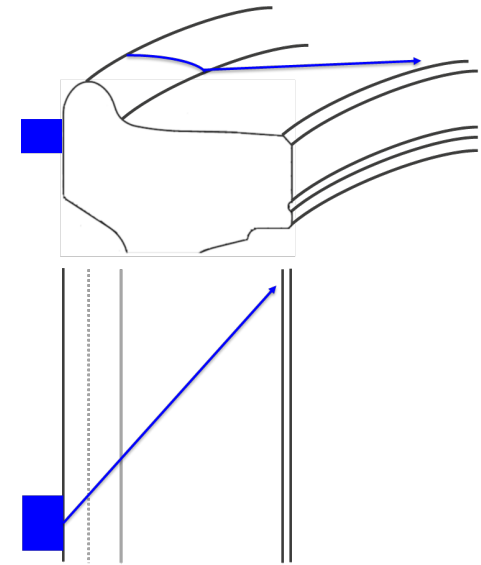
## Wellenprüfung mit Rayleighwellen – erste Sondierungstests

- Rissprüfung mit Rayleigh-Wellen auf der Wellenoberfläche mit einem PAUT-System
- Rayleigh-Wellen werden elektronisch erzeugt (PAUT-Köpfe aus WS3)
- Prüfkopf folgt der gekrümmten Kontur (Korbbogen)
- Referenzfehlergrößen: min. Tiefe 1,0 mm, Länge 2,5 mm



## Radkranzprüfung mit Rayleighwellen – erste Sondierungstests

- Rissprüfung mit Rayleigh-Wellen und einem PAUT-System
  - Rayleigh-Wellen werden nicht durch einen speziellen Vorsatzkeil erzeugt, sondern elektronisch (WS3-Prüfköpfe)
- Prüfkopf
  - steht auf der inneren Radkranzstirnfläche
  - Läuft über den Spurkranz
  - Prüft den Spurkranz, die Lauffläche und die Fase





## Weitere Qualifizierung des Oberflächenrissprüfsystems mit Rayleighwellen

Ergebnisse der ersten Sondierungstests stimmen optimistisch, **ABER ...**

**ABER ...** es muss detailliert untersucht werden:

- Einfluss der **Bauteiloberfläche** (Rauheit, Reinigungszustand, ...)
- Analyse der Einflüsse der Größen, Formen und Orientierungen der **Reflektoren**
- Analyse der Einflüsse der **Reflektorpositionen**
- Optimierung der Größe und Form der **Prüfköpfe und Vorsatzkeile**
- Optimierung **Prüffrequenz**
- Optimierung Prüfkopfkopplung (Art und Menge des **Koppelmittels**)
- Erreichbare **Nachweisgrenzen** bei realen Oberflächen
- Optimierung **Verhältnis Nutzsignale/Störsignale**
- Konzept für eine **Prüfstrategie**
  - Prüfkopfpositionen
  - Größe der Prüfbereiche (Schallwege)
  - Zahl der Prüfbereiche
- **Hard- und Software-Konzept** für einen Prototypen
- **Statistische Absicherung** der Untersuchungsergebnisse
- **Validierung** des Konzeptes





WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!