

Prüfung eines keramischen Faserverbundwerkstoffes mittels Millimeterwellen und luftgekoppeltem Ultraschall

Jan ROßDEUTSCHER¹, Nils RAHNER¹, Stefan BECKER²

¹ DLR, Köln

² Becker Photonik, Porta Westfalica

Kontakt E-Mail: Jan.Rossdeutscher@dlr.de

Kurzfassung

Die Herstellung oxidkeramischer Faserverbundwerkstoffe (CMC) erfolgt in mehreren komplexen und aufeinander abgestimmten Verarbeitungsprozessen. Um eine hohe Materialqualität zu erzielen und die frühzeitige Erkennung innenliegender Fehlstellen sicherzustellen ist der Einsatz zerstörungsfreier Prüfmethode entlang der Prozesskette erforderlich. Berührungslose Prüfverfahren sind für diese Aufgabe prädestiniert, da sie schnell und kostengünstig anzuwenden sind und es ermöglichen die CMCs bereits im getrockneten und noch wasserlöslichen Grünzustand zu prüfen. Bei dem untersuchten Werkstoff handelt es sich um einen gewickelten oxidkeramischen Faserverbundwerkstoff (WHIPOX), der am DLR für anspruchsvolle Hochtemperatureinsätze entwickelt wurde. Ziel der gemeinsamen Forschungsarbeit war es die berührungslosen Prüfmethode des luftgekoppelten Ultraschalls und der Millimeterwellenprüfung anhand ebener CMC-Platten gegenüberzustellen und darüber hinaus die Eignung für die Prüfung gewickelter CMC-Rohre zu bewerten.

5. ANWENDUNGSSEMINAR

MIKROWELLEN- UND TERAHERTZ-PRÜFTECHNIK IN DER PRAXIS

Prüfung eines keramischen Faserverbundwerkstoffes mittels Millimeterwellen und luftgekoppeltem Ultraschall

Jan Roßdeutscher¹, Nils Rahner¹, Dr. Stefan Becker²

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt eV

² Becker Photonik GmbH

Frankenthal, 11.10.2022

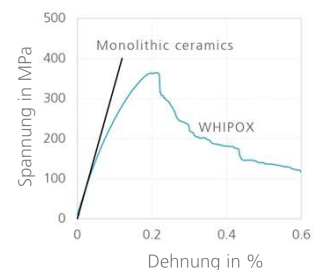
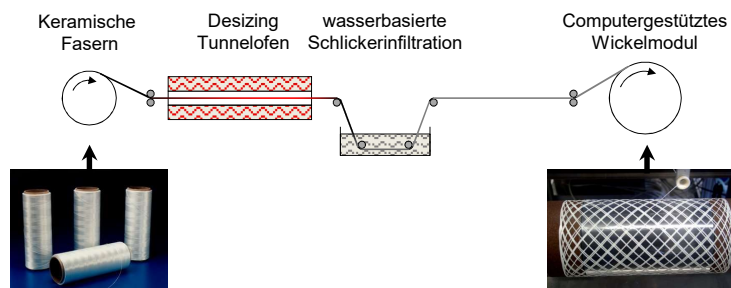
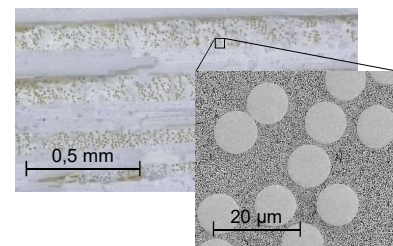


1

WHIPOX - Wound Highly Porous Oxide Composite



- **Typische Bestandteile:** Keramische Fasern und Matrix aus Aluminiumoxid und / oder Mullit
- **Spezifische Eigenschaften:** Langzeitanwendung bis 1100 °C; exzellente Thermoschockbeständigkeit; gute Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit, geringe WLF; geringe Dichte ~ 3 g/cm³; nicht sprödes Bruchverhalten

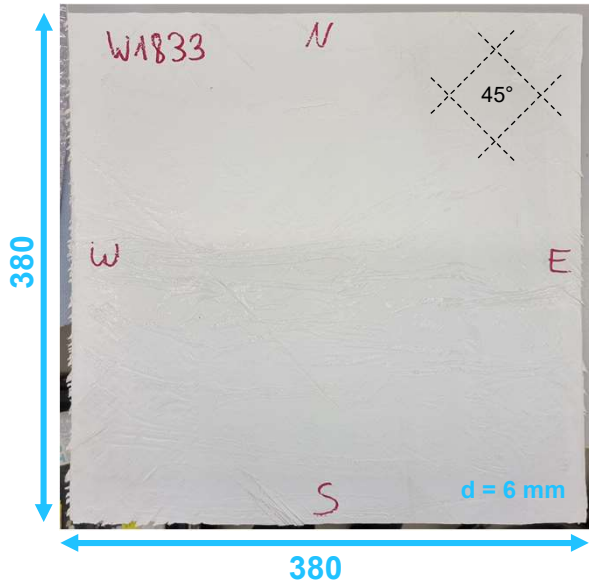


2



Bauteile: WHIPOX Platte und Rohr

Zustand: getrocknet, unbearbeitete Oberflächen



[mm]

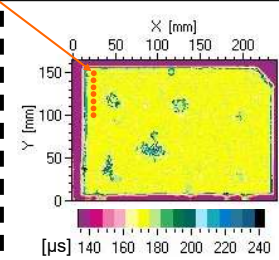
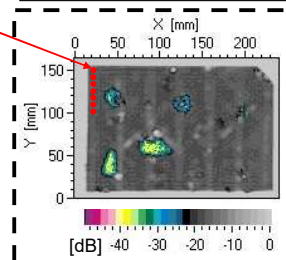
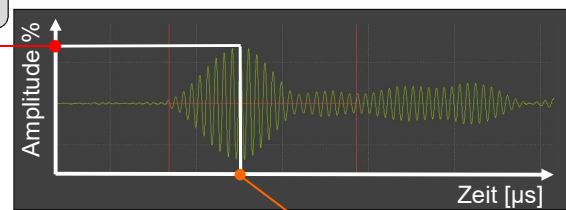
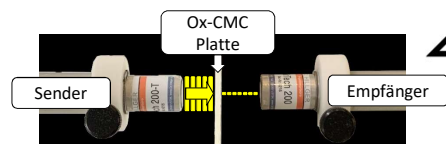
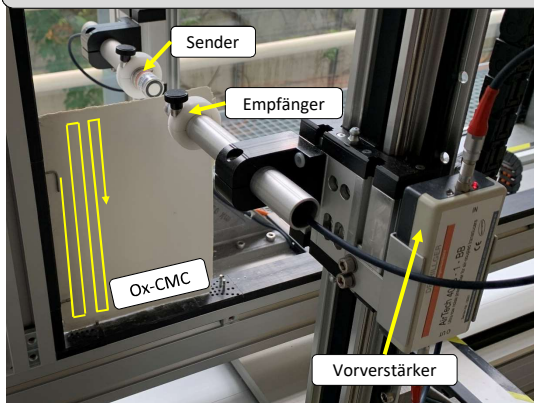
3

Luftultraschallprüfung an Platten

durchgeführt am DLR Köln



Prüfsystem: FlatScan 1000 AirTech mit USPC 4032 AirTech (Fa. Hillger-NDT)

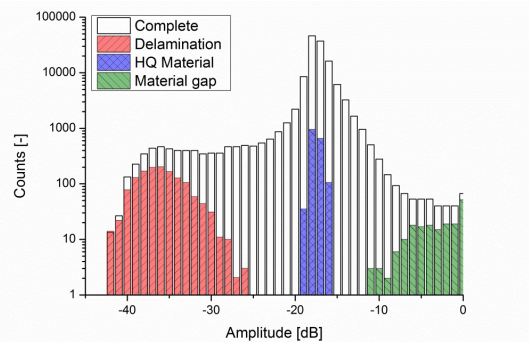
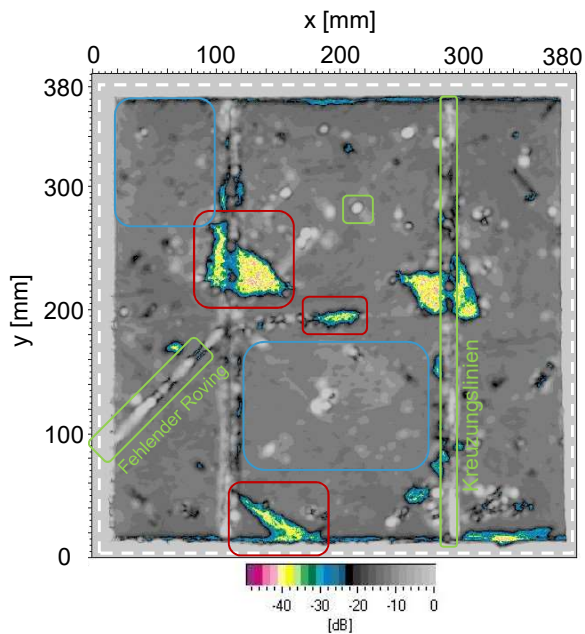


Transmissionsmessung
 Prüfköpfe: 200 kHz
 Sendespannung: 200 V

Verstärkung: 60 dB
 Scanraster: 0,6 mm (xy)

4

Luftultraschall C-Scan der WHIPOX Platte



Drei Signalarten werden unterschieden:

- Delaminationen < -25 dB
- High-quality Material -20...-15 dB
- Materiallücken > -12 dB

5

Millimeterwellen Prüfung (THZ)

durchgeführt von Becker Photonik GmbH



Vollelektronisches FMCW-Radar
„Entfernungsradar“ in Reflexion

Messpunktabstand Platte:

- 1 mm in XY-Richtung

Messpunktabstand Rohr:

- Axial 1mm,
- Rotation 1,8° Winkelabstand

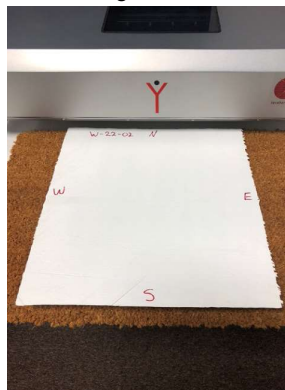
Laterale Auflösung ca. 0,4 mm bei 300 GHz



Prüfsystem: Mobiler 3D-Scanner

SynViewCompact mit 300 GHz (in Reflexion)

Prüfung einer Platte



Prüfung eines Rohres

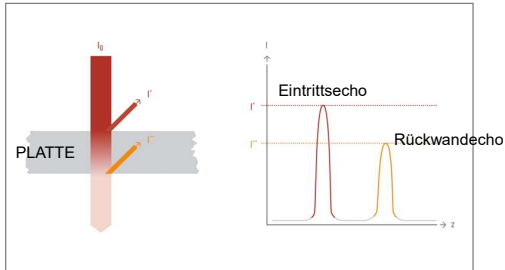


6

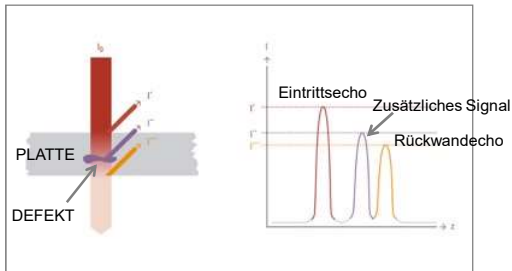
FMCW = Frequenzmoduliertes Dauerstrichradar (Frequency-Modulated Continuous Wave radar)

Millimeterwellen Prüfung (THZ)

A-Scan (Punktmessung)



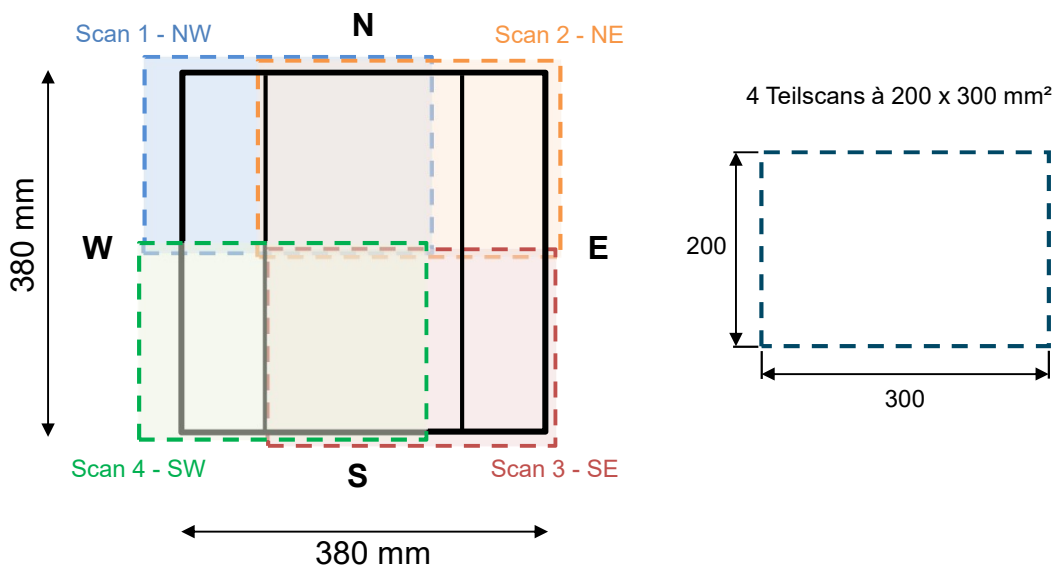
- Intensität des Eintrittsechos hängt von der Differenz der Brechungsindizes ab
- Intensität des Rückwandechos hängt auch von der Dämpfung im Material ab
- Bei einer homogenen Platte gibt es kein Signal zwischen Eintrittsecho und Rückwandecho



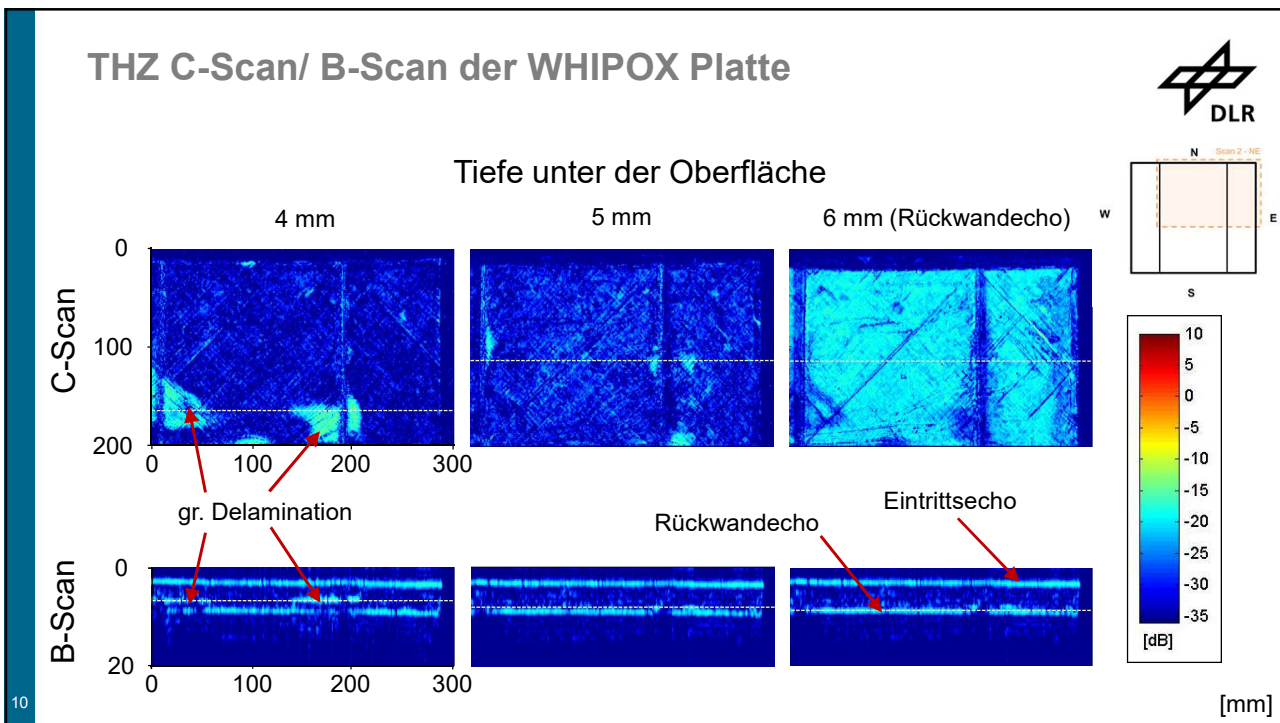
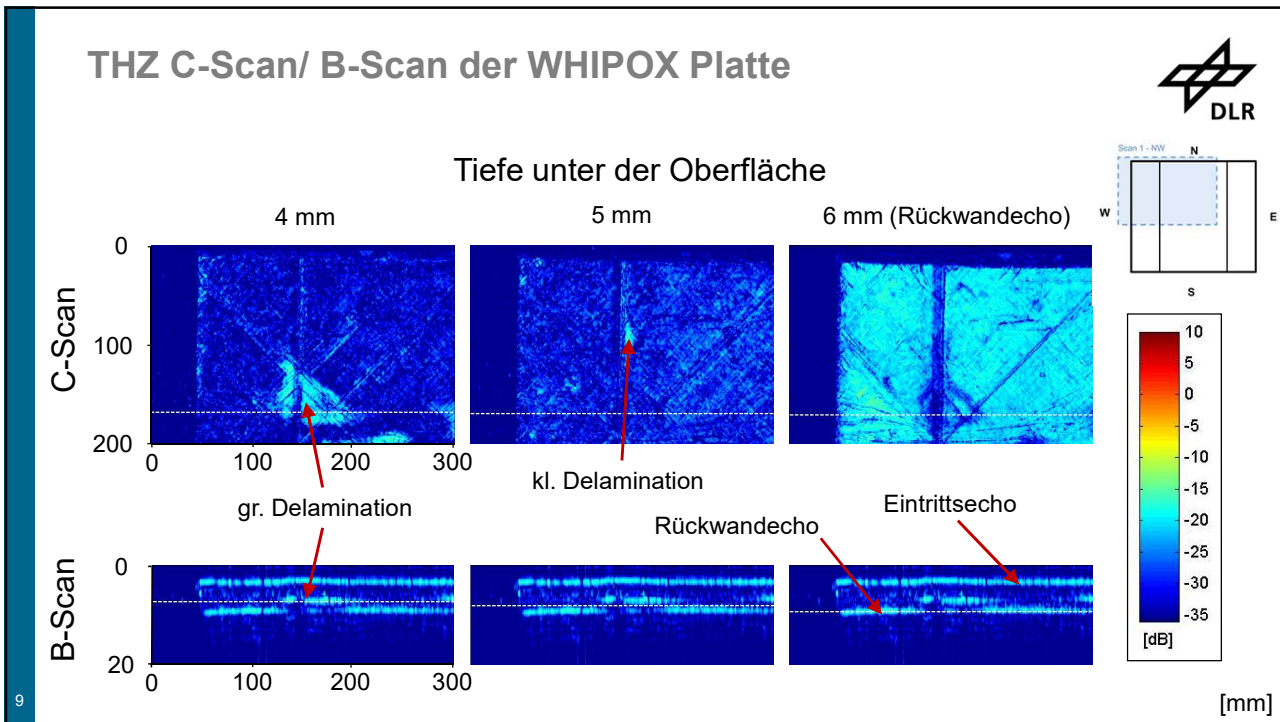
- Zusätzliches Signal zwischen Eintrittsecho und Rückwandecho durch den Defekt (Pore, Riss, Delamination, Einschluss, ...)
- Die z-Position des zusätzlichen Signals ist von der Tiefenlage des Defektes abhängig

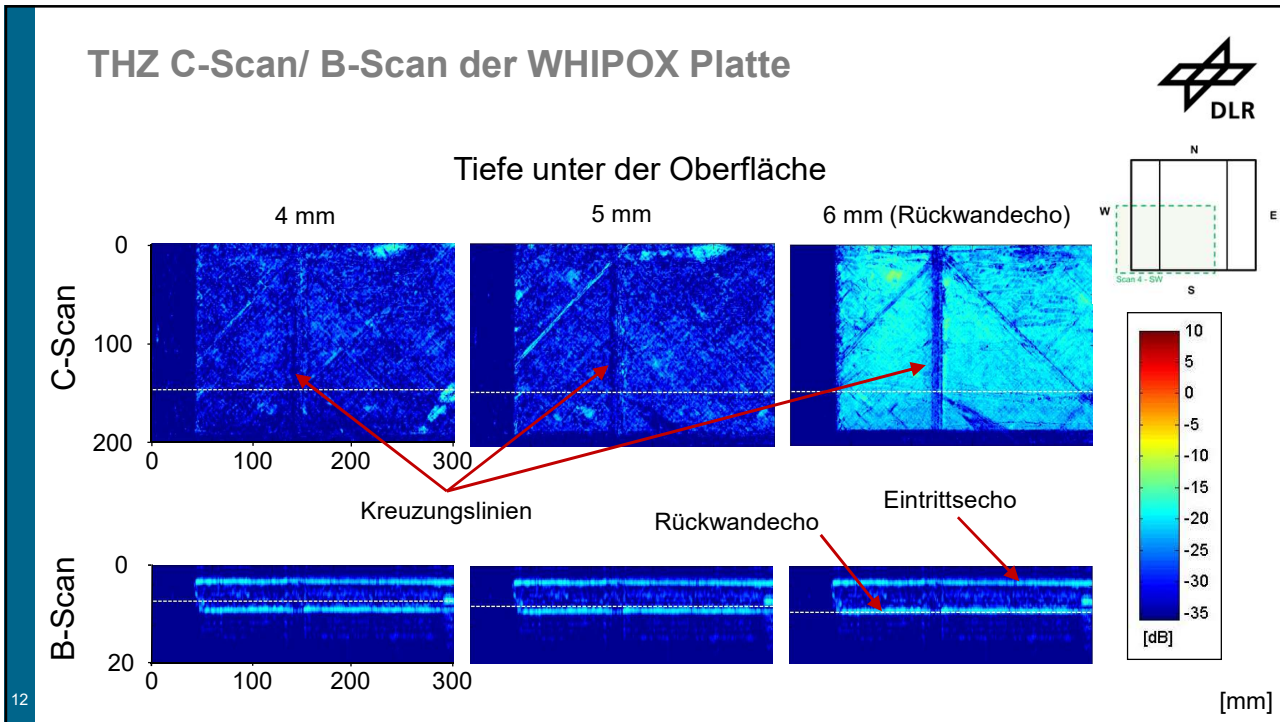
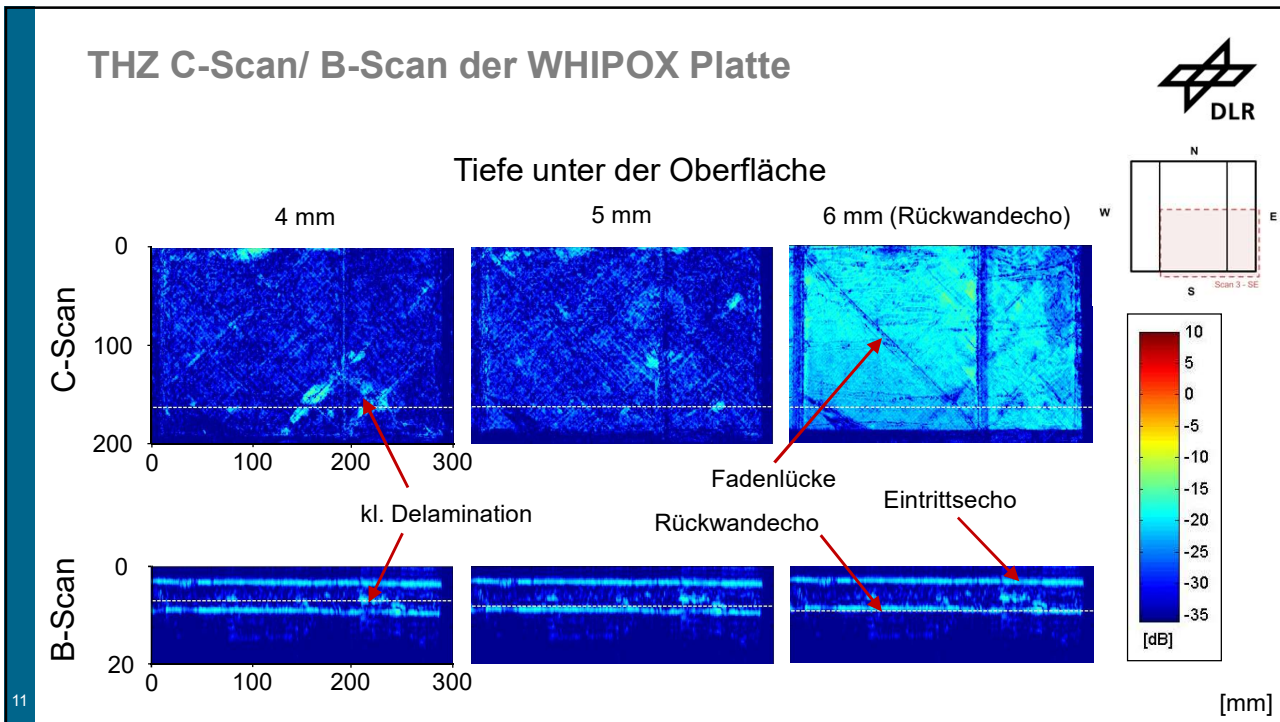
7

Millimeterwellenprüfung der WHIPOX Platte



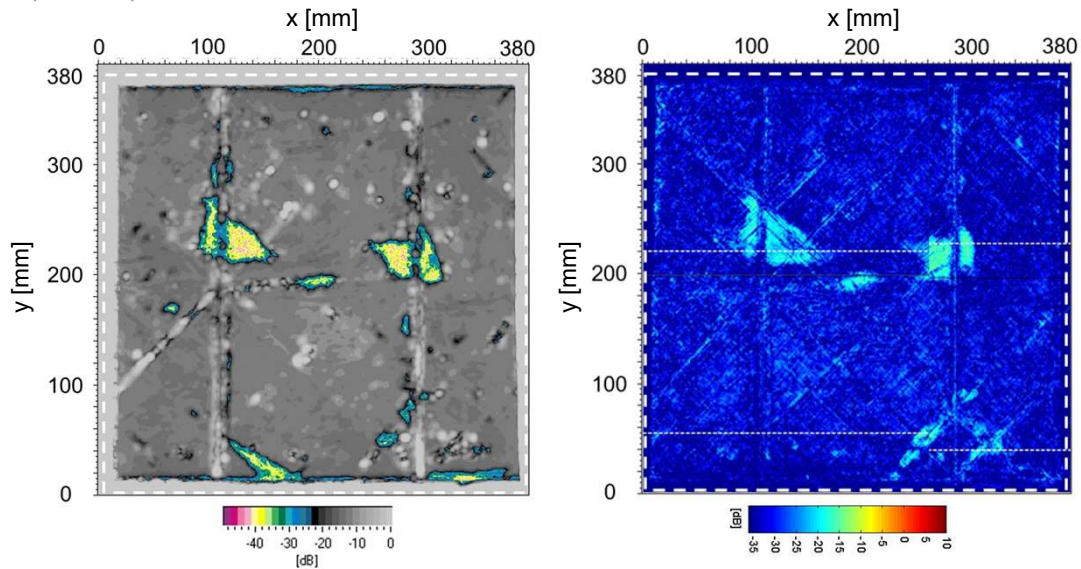
8





WHIPOX Platte: LUS vs THZ

(C-Scans)



Zusammengesetzt aus 4 Teilscans, Tiefe: 4mm

13

LUS-Messung an Rohren

durchgeführt am Forschungszentrum Ultraschall

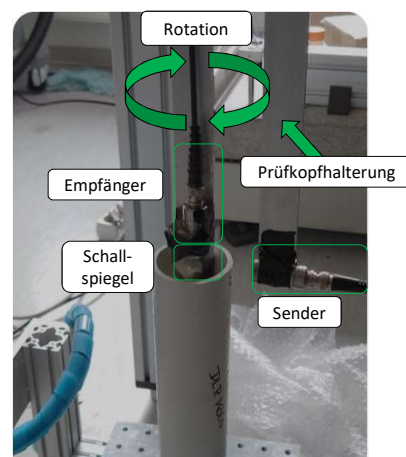
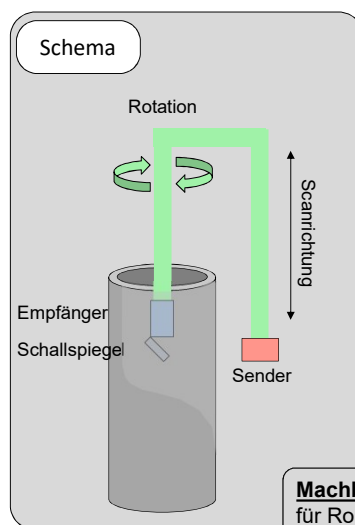


Transmissionsmessung

Prüfköpfe: 200 kHz
Verstärkung: 70 dB
Sendespannung: 400 V

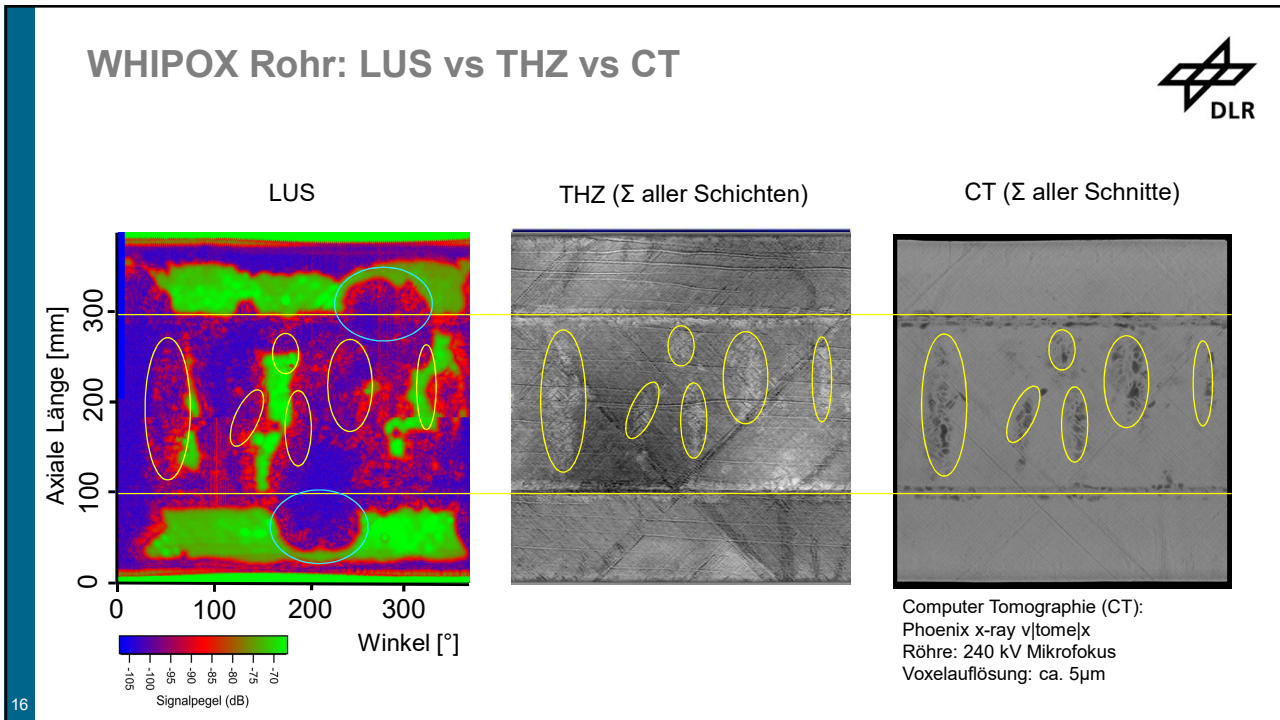
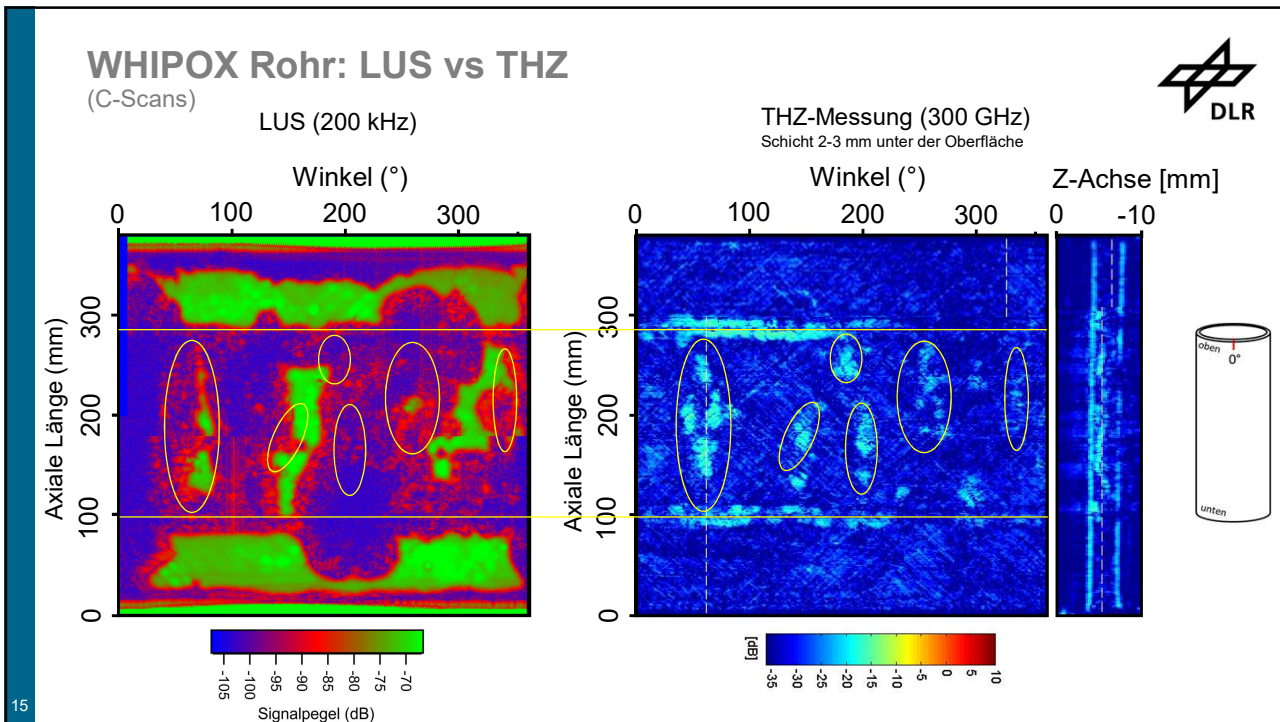
Scanraster:

- Axial in 1 mm (kontinuierlich)
- Rotation in 1°



Machbarkeitsstudie: Experimenteller Prüfaufbau für Rohre mit kleinen Durchmessern ($D > 55$ mm)

14



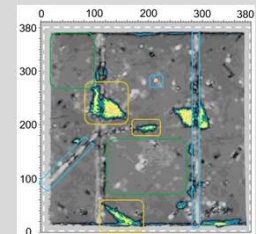
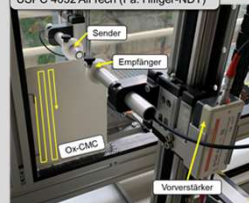
Zusammenfassung



Luftultraschallprüfung:

- Berührungslos
- Flächige Lokalisierung von Fehlstellen
- Zweiseitiger Zugang erforderlich (Transmission)
- Detektierbare Defektgröße > ca. 1,5 mm (200 kHz)
- Prüfzeit: Platte (1x45 min), Rohr (2x15=30 min)
- Rohrmessung noch nicht zufriedenstellend
 - Ursachen: Schallspiegel, Rohrdurchmesser

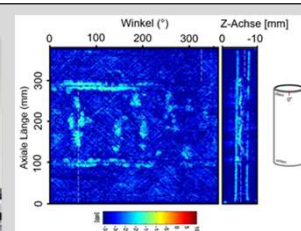
Prüfsystem am DLR Köln:
USPC 4032 AirTech (Fa. Hilger-NDT)



Millimeterwellenprüfung:

- Berührungslos
- Flächige Lokalisierung von Fehlstellen + Tiefeninformation (Vorteil bei Nachbearbeitung)
- Einseitiger Zugang ausreichend (Reflexion)
- Laterale Auflösung 0,4 mm bei 300 GHz
- Prüfzeit: Platte (4x4=16min), Rohr (2x5=10 min)
- Größere Platten/Rohre in Teilscans messbar

Prüfsystem Becker Photonik:
Mobiler 3D-Scanner SynViewCompact



17

Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Jan Roßdeutscher, M.Eng.

DLR Köln eV
Institut für Werkstoff-Forschung
Abt. Struktur- und Funktionskeramik

+49(0)2203 601 3819

Jan.Rossdeutscher@dlr.de



Dr. Stefan Becker

Becker Photonik GmbH
Standort Porta Westfalica

Tel.: +49(0)571 889 18865

info@becker-photonik.de

18