

Zerstörungsfreie Prüfung für zukünftige Boostergehäuse mittels luftgekoppeltem Ultraschall

3. Augsburger Produktionstechnik-Kolloquium
Augsburg, 19. Mai 2015

Armin Huber

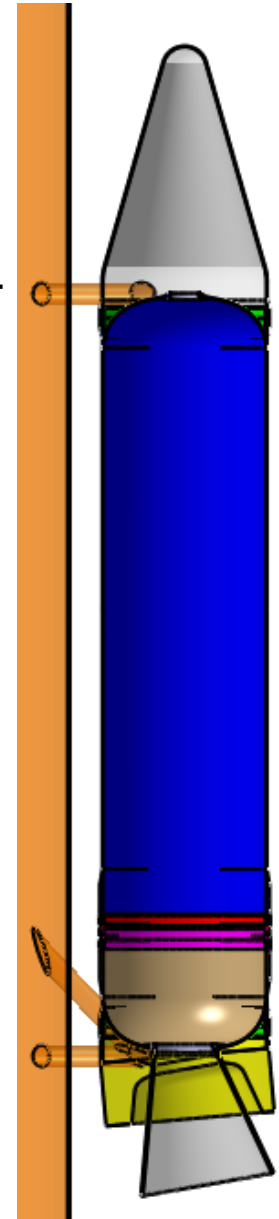
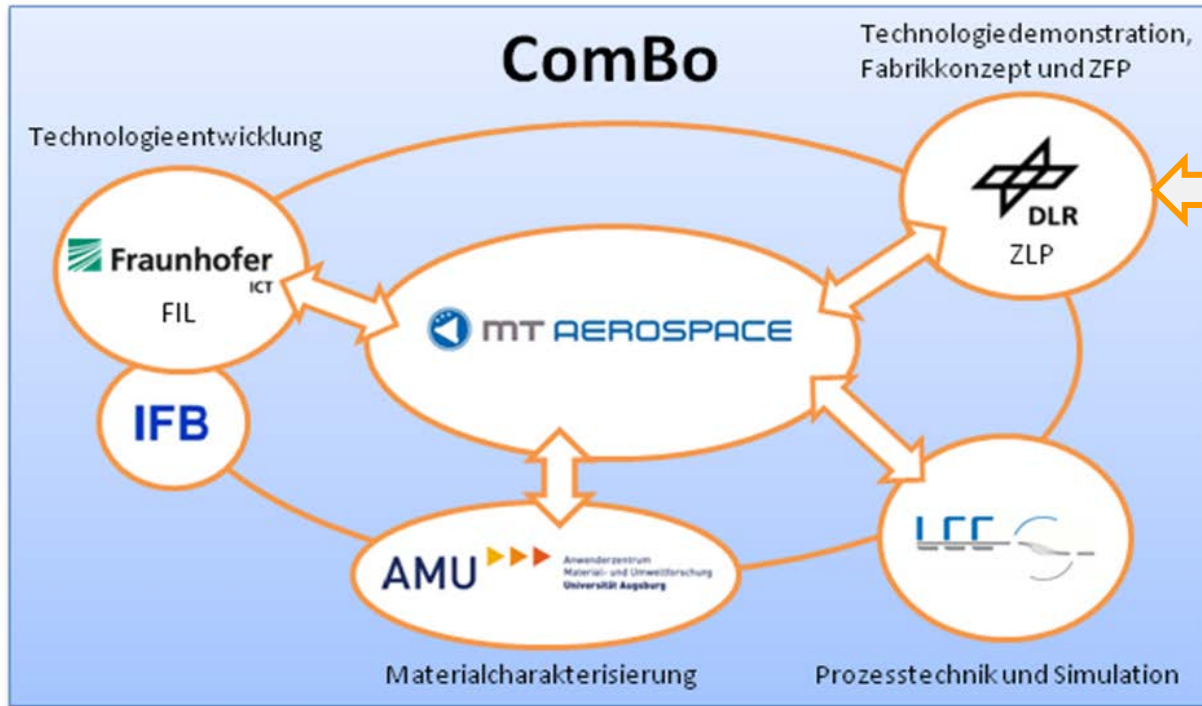
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP)

Knowledge for Tomorrow



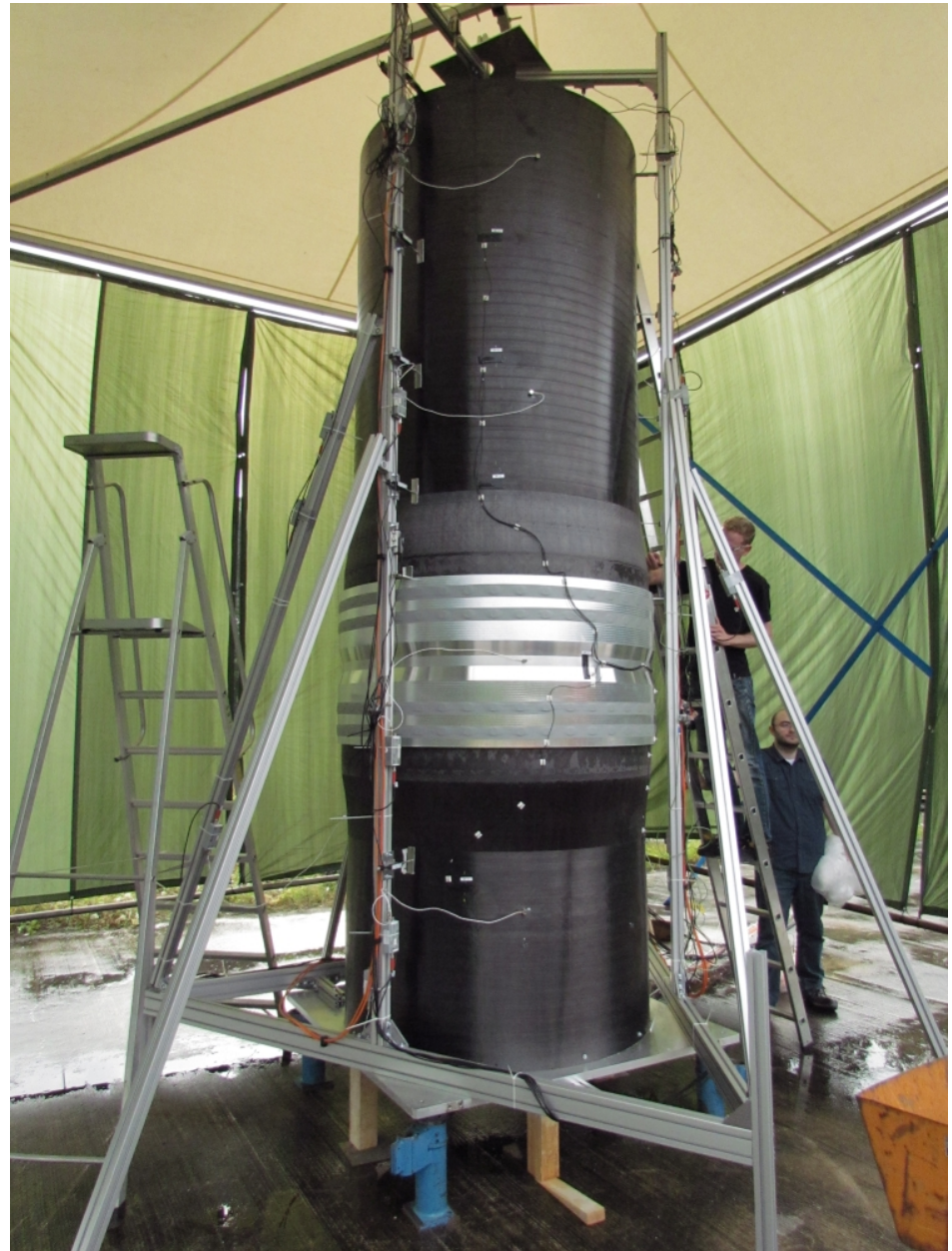
ComBo – Effiziente Fertigungstechnologie für Composite Boostersegmente

- Entwicklung eines kosteneffizienten Herstellungsverfahrens für CFK-Druckbehälter für die Verwendung als Feststoff-Boostergehäuse
- Angestrebter Einsatz als Strap-on Booster für zukünftige Träger



Das Demonstratorbauteil: Versuchsträger Lang/Kurz

- Thermoplastische Prepregs
- Fertigung durch Wickelverfahren mit
in situ Laserkonsolidierung
- Porosität 2-4% → mit
Kontakttechnik nicht prüfbar
→ **Prüfung mit Luftultraschall**
(Lambwellen)



Versuchsträger Lang

Versuchsträger Kurz

Mantel
Dicke 5mm

Aufdickung
Dicke 40mm

Zwickel

Dom

Schürze

Rampe



(Luft-)Ultraschall in der CFK-Prüfung

Wasser als Kopplungsmedium:

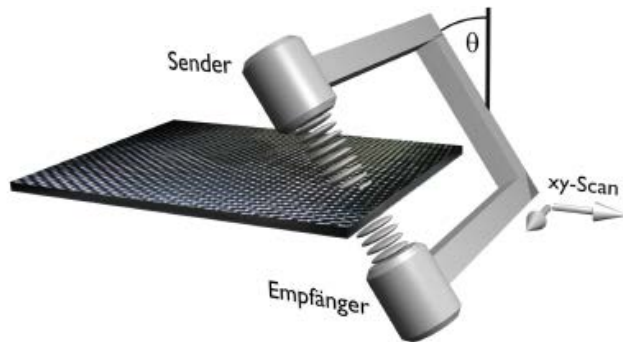
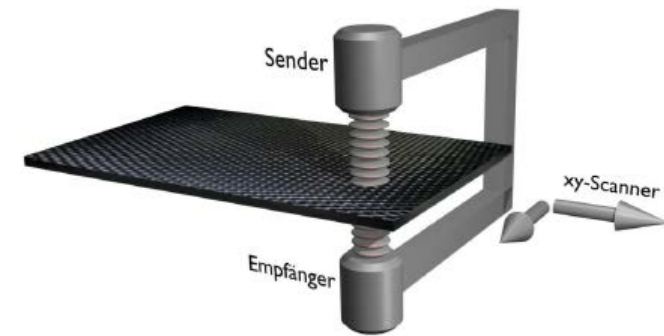
- Vorteil: Standardmethode bei der Prüfung von ausgehärteten Bauteilen
- Nachteil:
 - Bauteil wird nass
 - Großer Aufwand für:
 - Wasser Zu- und Abführung,
 - Schutz der Umgebung vor Wasser
 - Poröse Bauteile nicht prüfbar



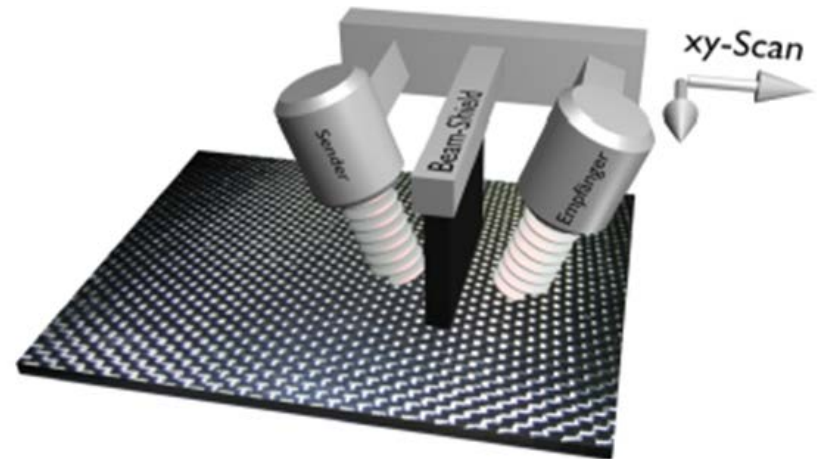
Methode Luftultraschall

Messprinzipien

Transmission (1 oder 2 Roboter)



Reflexion (Reemission!)(1 Roboter)



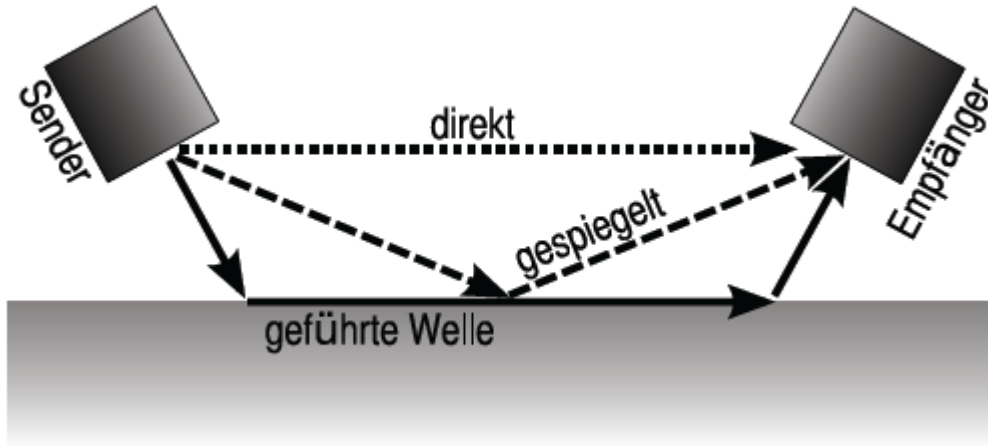
Einseitige Zugänglichkeit zum Bauteil ausreichend!

Quelle: Daniel Döring, *Luftgekoppelter Ultraschall und geführte Wellen für die Anwendung in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung*, Universität Stuttgart, 2011



Methode Luftultraschall

Anregung und Detektion von Lambwellen



Snelliussches Brechungsgesetz:

$$\sin \theta = \frac{\lambda_L}{\lambda_P} = \frac{v_L}{v_P}$$

$\lambda_{L/P}$: Wellenlänge in Luft/Platte

$v_{L/P}$: Phasengeschwindigkeit in Luft/Platte



Deformationsmuster von A_0 - und S_0 -Lambwellenmode

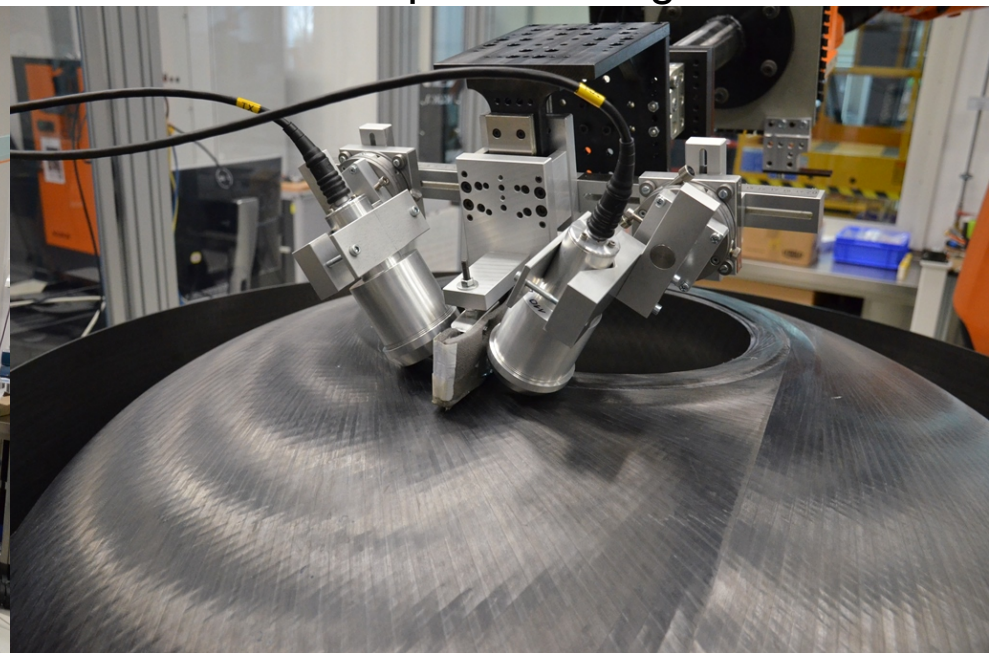
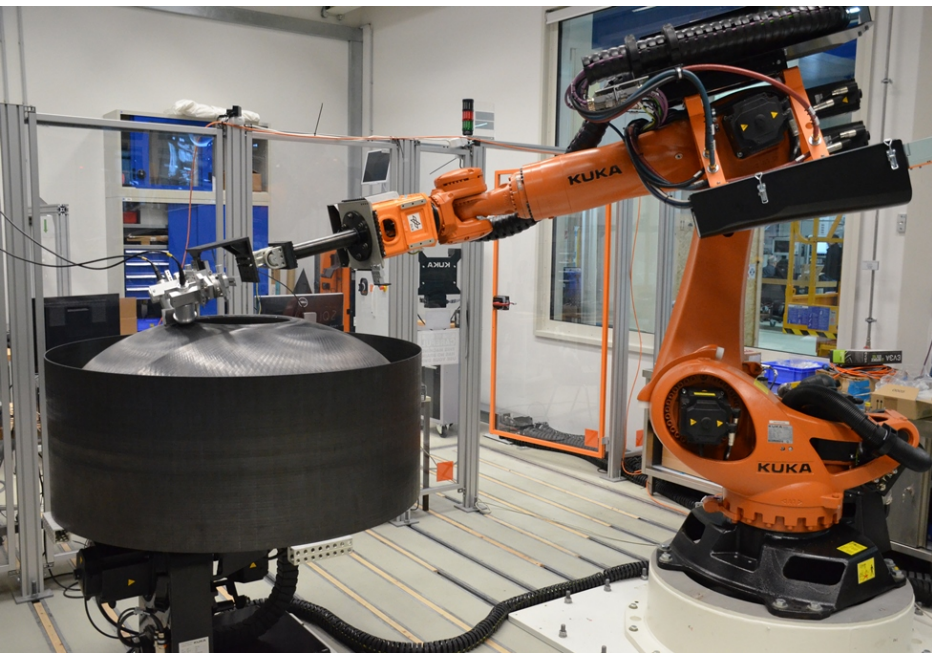
Quelle: Daniel Döring, *Luftgekoppelter Ultraschall und geföhrte Wellen für die Anwendung in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung*, Universität Stuttgart, 2011



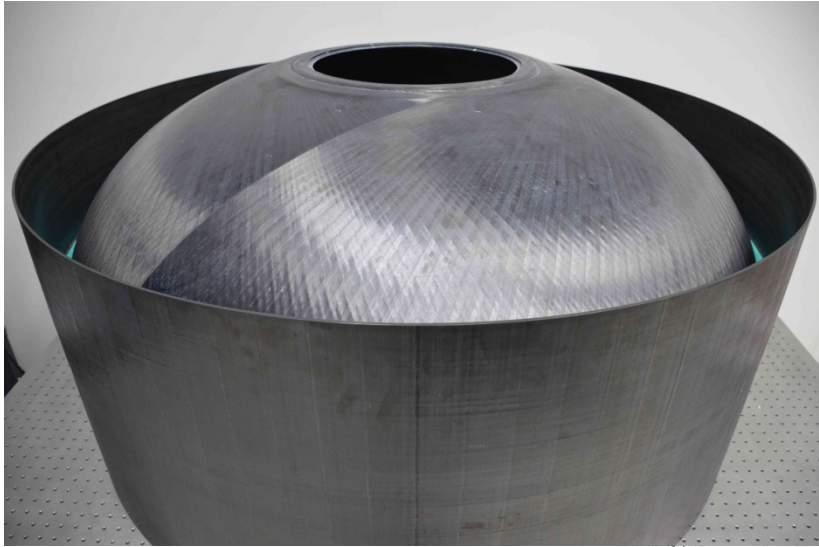
Validierung der Prüfmethode an komplexem Testbauteil

Versuchsaufbau

- Prüfköpfe robotergeführt
- 6-Roboterachsen → hohe Flexibilität
- Montage des Demodoms auf einem DKP
- Neuer Luftultraschall-Endeffektor:
 - Verstellung Prüfköpfe: X, Y, Z und Einschallwinkel θ
 - Dokumentation und Reproduktion der Prüfkopfeinstellungen



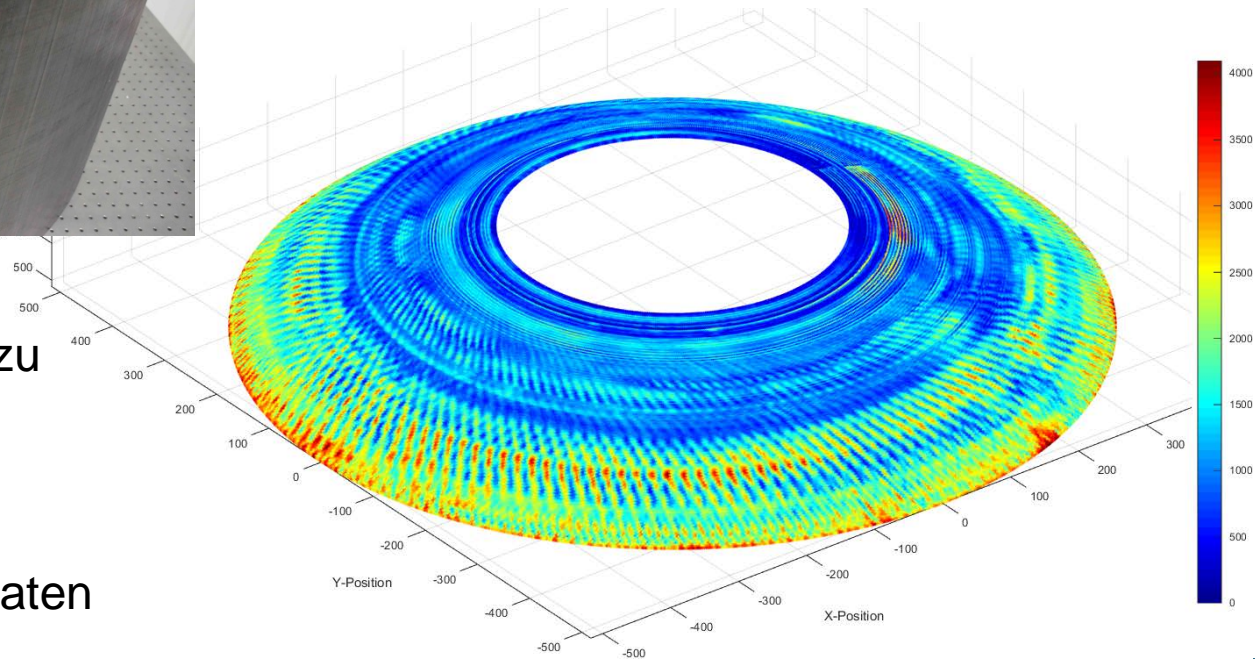
Validierung der Prüfmethode an komplexem Testbauteil DemoDom



Herausforderungen:

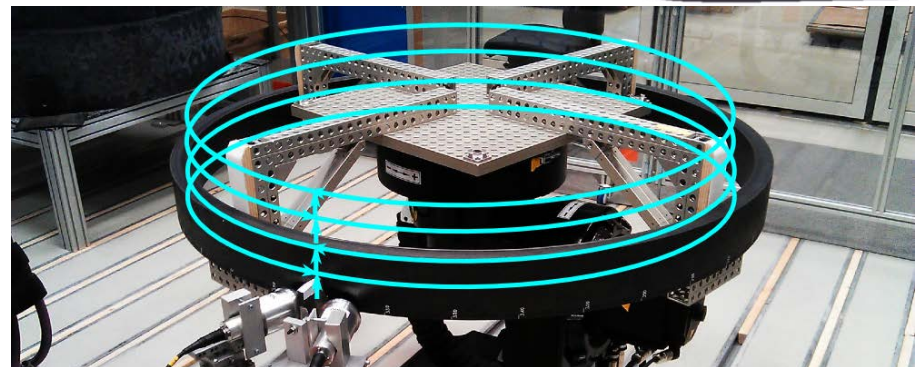
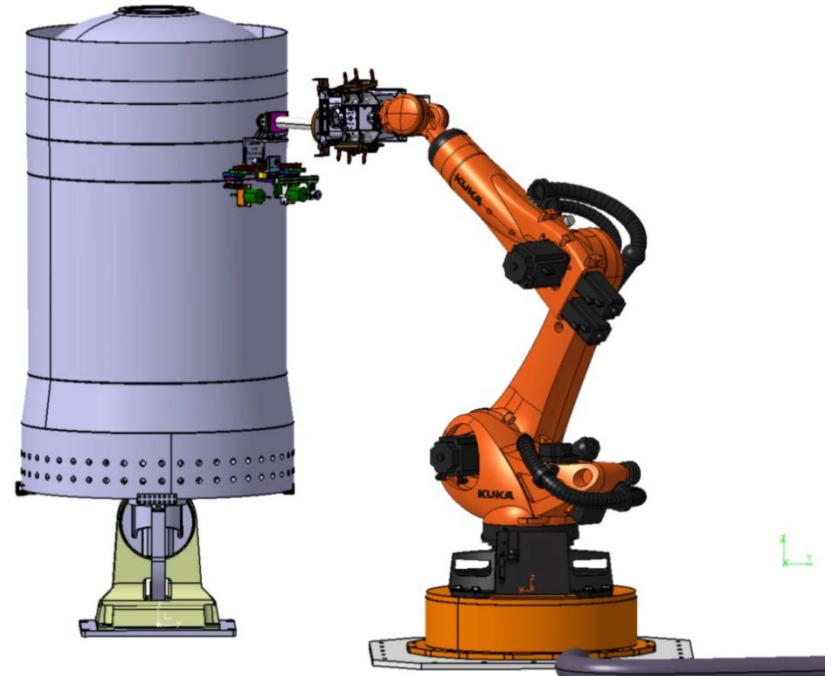
- Abscannen der Geometrie mit hoher Geschwindigkeit und Präzision
- Bahngetreue Triggerung (on-the-fly) der LUS-Anlage durch die Robotersteuerung

- Zuordnung der LUS-Daten zu den Messpositionen
- Erzeugung einer bauteilgeometrietreuen 3D-Darstellung der Ultraschalldaten



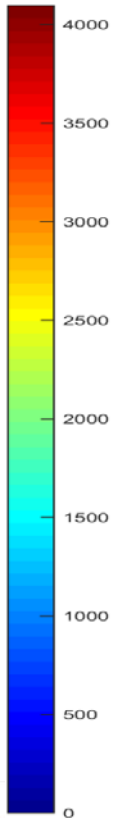
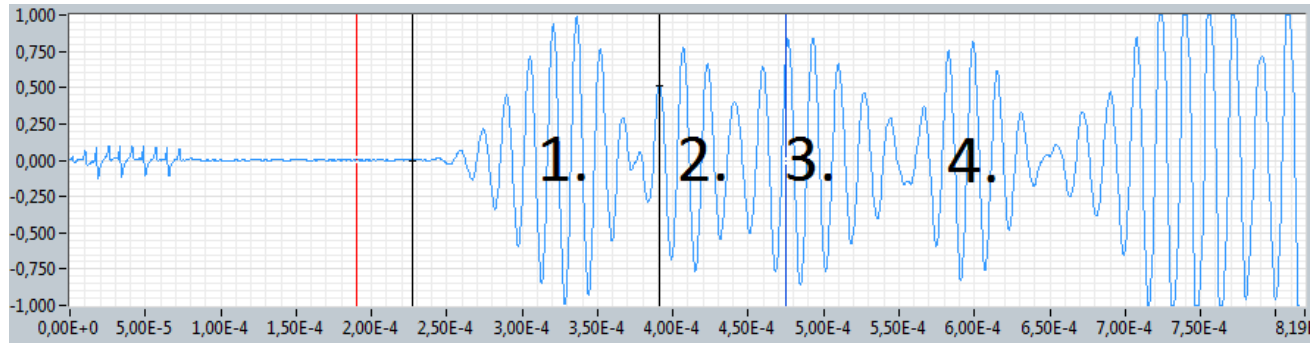
Offlineprogrammierung des Roboters

- Messprogramm für Roboter wird offline mittels DELMIA / FASTSURF generiert
 - Messfahrt wird aus geometrischer Vermessung des Bauteils abgeleitet
 - Einlesen des Messprogramms in die Robotersteuerung
- ZfP

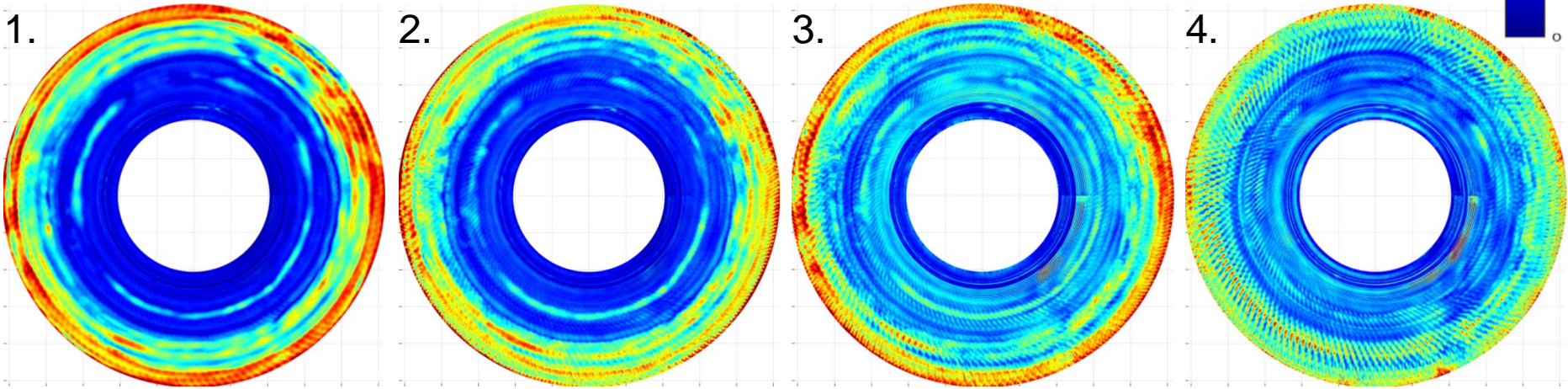


Auswertung verschiedener Lambwellenmoden DemoDom

A-Scan:

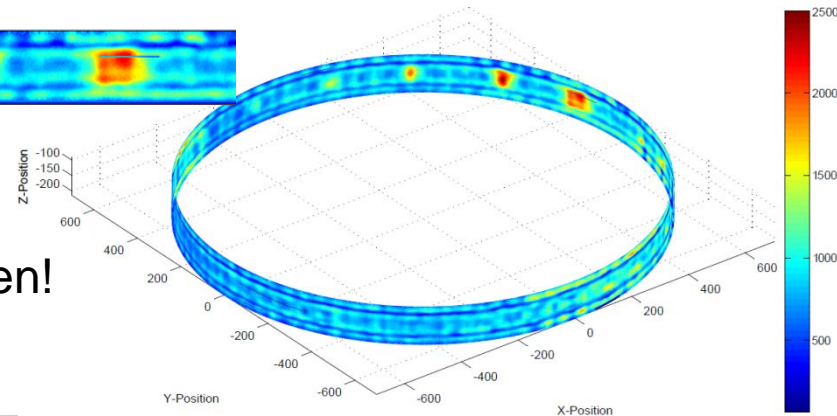
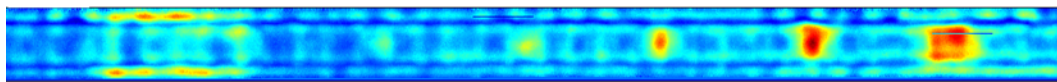
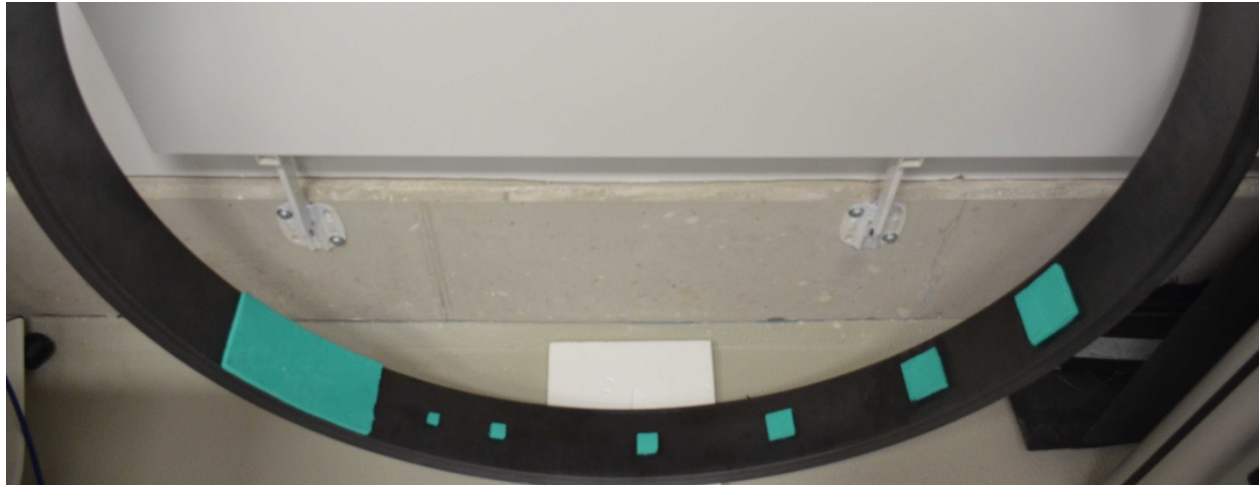


Vier C-Scans aus einer Messung:



Anregung von Lambwellen in 40mm dickem Laminat

Tests am „Dicken“ Ring mit Elastomerlagen



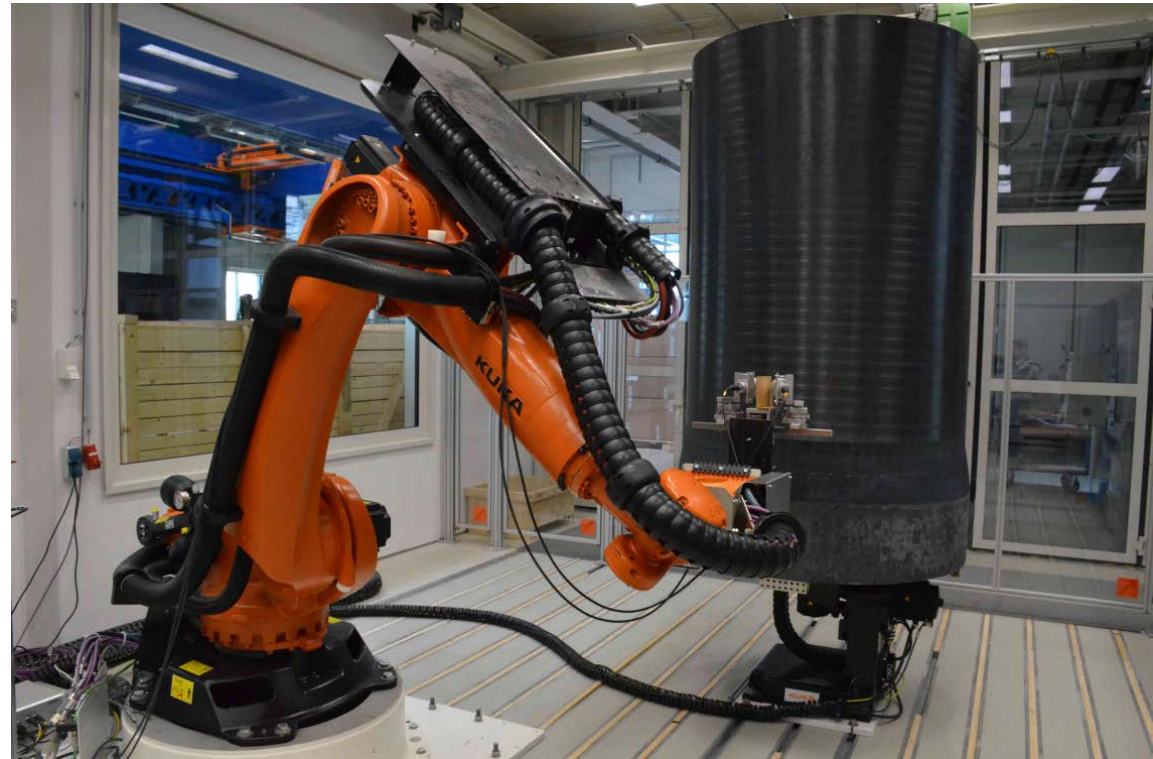
Elastomerlagen an der Innenseite sichtbar
→ Beweis für die Anregung von Lambwellen!



Prüfung der Versuchsträger Lang/Kurz

Versuchsaufbau mit Versuchsträger Lang

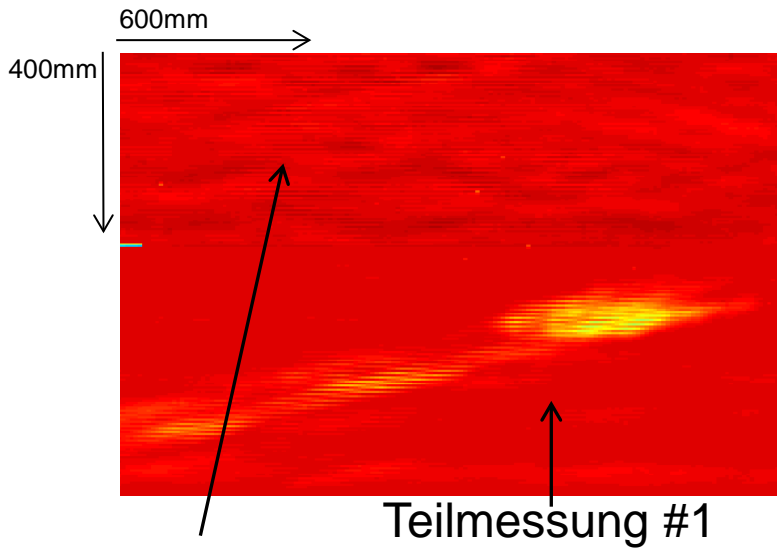
- Versuchsträger Lang auf Dreh-Kipp-Positionierer (DKP)



Automatisierung der Auswertung

Visualisierung und Auswertung in Matlab

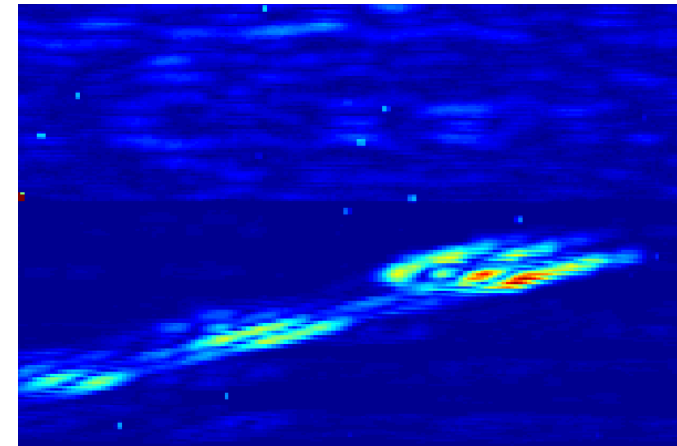
1. Ultraschallrohdaten



Teilmessung #2

→ Lagenstruktur (in Teil-Messung 2) erkennbar!

2. Lokale Standardabweichung



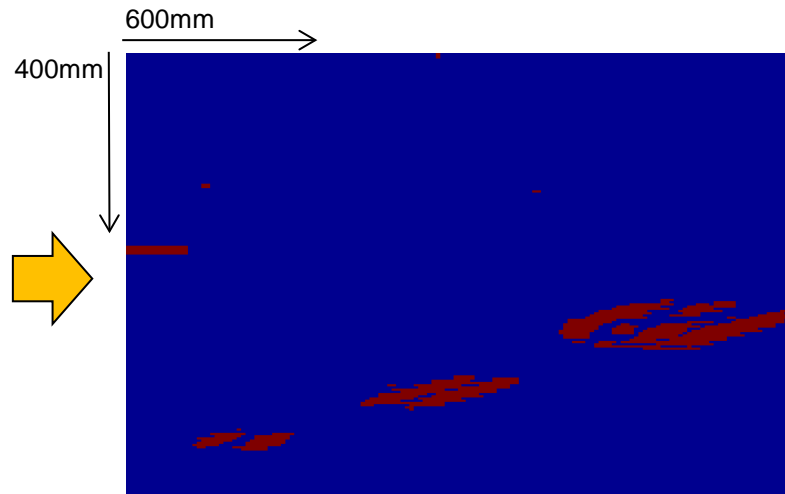
→ Gute Visualisierung und Herausarbeitung der Amplitudengradienten



Automatisierung der Auswertung

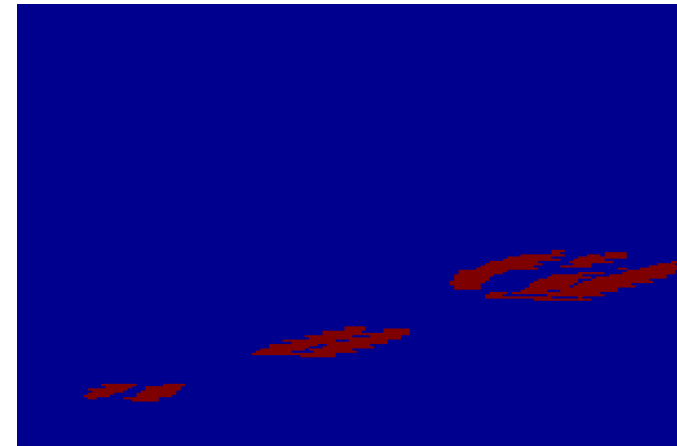
Visualisierung und Auswertung in Matlab

3. Amplitudenkriterium



Lokale Standardabweichung > 150

4. Flächenkriterium



Anzeigengröße > 100mm²
→ Anzeigen = Defekte



Zusammenfassung und Ausblick

Erreicht:

- Luftultraschallprüfung in Schrägeinschallung mit 1 Roboter mit bahngetreuer Triggerung (On-The-Fly)
- Roboterprogrammierung durch Offlineprogrammierung
- Prüfung mehrfach gekrümmter Geometrien
- Teilweise automatisierte Visualisierung und Auswertung der Daten

Nächste Schritte:

- Luftultraschallprüfung in Transmission mit 1 Roboter mit C-Bügel
- Integration der Luftultraschallanlage in Multi-Roboter-Umgebungen und Messungen in Transmission (2 kooperierende Roboter)
- Steigerung des Automatisierungsgrades der LUS-Anlage
- Automatisierung der Fehlerauswertung
- Effects of Defects



Danksagung

Der Aufbau des ZLP Augsburg wurde gefördert durch die Stadt Augsburg, den Freistaat Bayern sowie das Bundeswirtschaftsministerium

Besonderer Dank gilt dem gesamten Team des DLR-ZLP Augsburg



Stadt
Augsburg



AUGSBURG
INNOVATIONS
PARK



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



MT AEROSPACE

