

Kontakttechnik oder automatisierte Tauchtechnik: Einsatzmöglichkeiten und Beschränkungen der Ultraschallprüfung im Fusionsreaktor.

Tatiana MARTIN *, Stefan KNAAK *, Jarir AKTAA *, Jörg REY **,
Heiko NEUBERGER **, Friedhelm KRÜGER ***

* Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Angewandte Materialien Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

** Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR)

*** Krüger Erodieretechnik GmbH & Co. KG, Biedenkopf

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Herrmann – von – Helmholtz-Platz 1,76344
Eggenstein – Leopoldshafen, Deutschland

*Kontaktdaten: E-Mail Adresse: tatiana.martin@kit.edu, Tel.: +49 721 608 24569

Kurzfassung

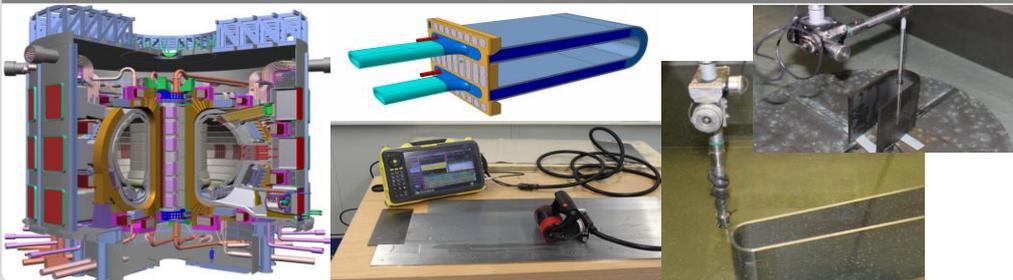
Das Tritium-Breeding-Blanket (BB) ist eine der wichtigsten Komponente in einem Kernfusionsreaktor. Sie kombiniert eine Schutzfunktion gegen Plasmaauswirkungen und Wärmetauscher. In Breeder-Units (BU) wird den Effekt des Erbrütens des Brennstoffs Tritium generiert. Das Breeding-Blanket-Konzept basiert auf die Verwendung von Helium als Kühlmittel und Beryllium-Pebbles als Neutronenmultiplikator. Als Strukturmaterial wird der 9Cr-W-V-Ta niedrigaktivierende ferritisch-martensitische Stahl EUROFER verwendet. Die Prüfung von Tritium-Breeding-Blanket ist eine wichtige Aufgabe von ITER und wird als wesentlicher Meilenstein in der Entwicklung eines zukünftigen Fusionsreaktors anerkannt. Um die Qualitätssicherung zu bestimmen und eine optimale Prüfungsstrategie herauszufinden, werden die Komponenten des Breeding-Blankets mittels verschiedener zerstörungsfreien Testverfahren untersucht. Für die Kontakttechnik wird das Prüfgerät VEO in Kombination mit 10 MHz Array-Wheel-Probe von der Ultraschall Phased-Array Serie verwendet. Der VEO 16:64 ist eine innovative technisch-fokussierte Produktentwicklung von der Firma „Sonotest“. Von „Sonotest“ patentierte Array-Wheel-Probe ist das Ergebnis von vielen Jahren der Forschung und sorgfältige Planung. Wheel-Probe ist optimal für manuellen Scan von großen Flächen oder leicht gewölbten Teilen und deckt den umfangreichen Prüfbereich sehr schnell und effizient ab. Die Tauchtechnikprüfungen werden mit einer automatisierten modernen Ultraschalltauchtechnik-Anlage KC 200 der Firma „GE Inspection Technologies“ durchgeführt. Zum Schluss werden die Ergebnisse wissenschaftlich untersucht und die effektive und rationelle Verfahrensmethode festgestellt.



Kontakttechnik oder automatisierte Tauchtechnik: Einsatzmöglichkeiten und Beschränkungen der Ultraschallprüfung im Fusionsreaktor

T. Martin, S. Knaak, J. Aktaa – Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IAM-WBM
J. Rey, H. Neuberger – Karlsruher Institut für Technologie (KIT), INR
Friedhelm Krüger - Krüger Erodieretechnik GmbH

Institute of Applied Materials - Materials and Biomechanics (IAM-WBM)



KIT – University of the State of Baden-Wuerttemberg and
National Research Center of the Helmholtz Association

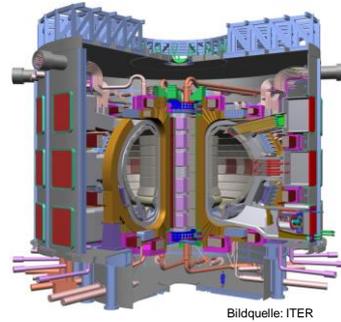
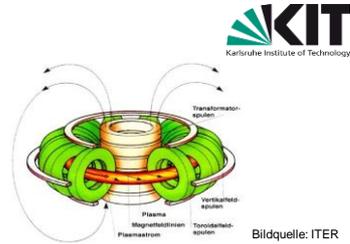
www.kit.edu

Inhalt

- Fusionsreaktor ITER
 - Fusionsreaktor ITER
 - Breeding-Blanket-Konzept
- Herstellungsverfahren und technische Anforderungen für Breeder Unit (BU)
 - Startlochbohrungsprozess
 - Prozess für Drahterodieren den Kühlkanälen
 - U- Biegeverfahren
- Zerstörungsfreie Untersuchungen
 - Automatisierte Ultraschalltauchtechnikprüfung
 - Kontakttechnik
- Kontakttechnik oder automatisierte Tauchtechnik (Einsatzmöglichkeiten und Beschränkungen)
- Zusammenfassung und Ausblick

Fusionsreaktor ITER

- Fusionsreaktor funktioniert nach dem Tokamak-Prinzip.
- Mit der Hilfe von aus Supraleitern bestehenden Magnetspulen wird ein toroidales Magnetfeld erzeugt.
- In diesem Magnetfeld befindet sich ein Deuterium-Tritium-Plasma, in das nach dem Prinzip des Transformators elektrischer Strom induziert wird.
- Der Strom wirkt seinerseits wiederum durch sein eigenes Magnetfeld auf das Plasma zurück.
- Plasma wird auf genügend hohe Temperatur und Dichte gebracht um die Fusionsreaktion zu zünden.
- Energetische Kettenreaktion weiter „brennt“, solange die notwendigen Bedingungen aufrechterhalten werden.

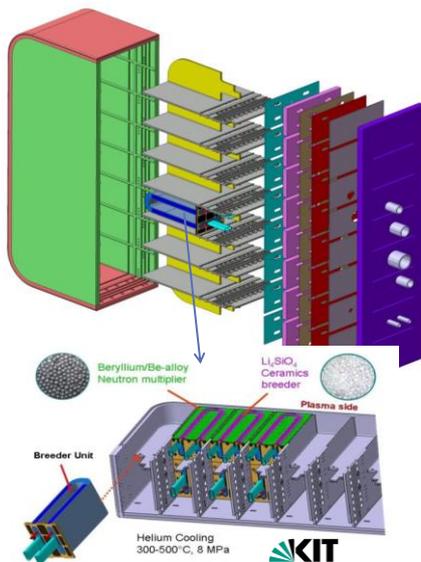


3 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Breeding-Blanket-Konzept



- In Breeder-Units (BU) wird den Effekt des Erbrütens des Brennstoffs Tritium generiert.
- Das Tritium-Breeding-Blanket (BB) kombiniert eine Schutzfunktion gegen Plasmaauswirkungen und Wärmetauscher.
- Das Breeding-Blanket-Konzept basiert auf die Verwendung von Helium als Kühlmittel und Beryllium-Pebbles als Neutronenmultiplikator.
- Als Strukturmaterial wird der 9Cr-W-V-Ta niedrigaktivierende ferritisch-martensitische Stahl EUROFER verwendet.

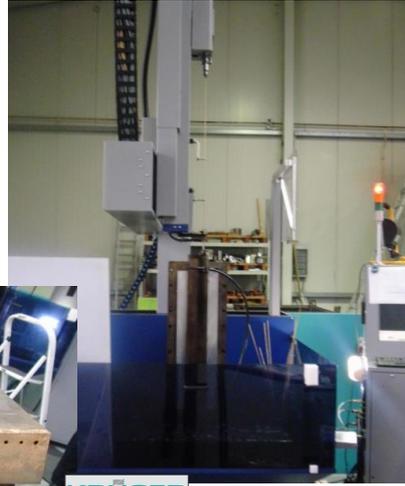
4 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Herstellungsverfahren und technische Anforderungen für Breeder Unit

- Startlochbohrungsprozess bei der Fa. Krüger Erodieretechnik GmbH
 - Ausgangsbohrung ($\varnothing 1.5 \text{ mm}$) - in der zentralen Position der vorgesehenen Stelle des Kühlkanals
 - Das Eindringen von den beiden Seiten des Mock-Ups



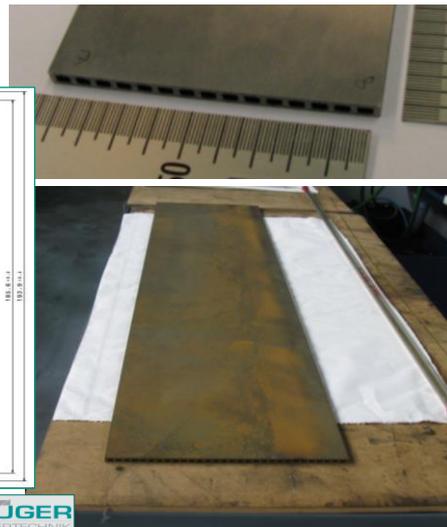
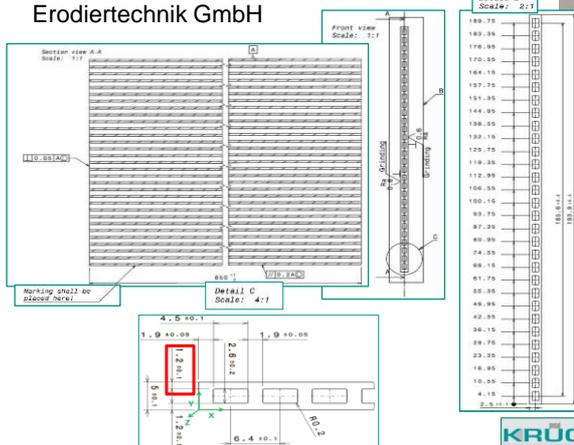
5 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Herstellungsverfahren und technische Anforderungen für Breeder Unit

- Prozess für Drahterodieren den Kühlkanälen in der erforderlichen Maßgenauigkeit bei der Fa. Krüger Erodieretechnik GmbH



6 26.06.2014

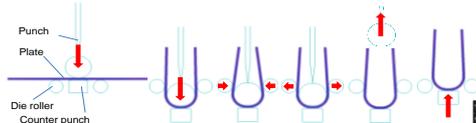
Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

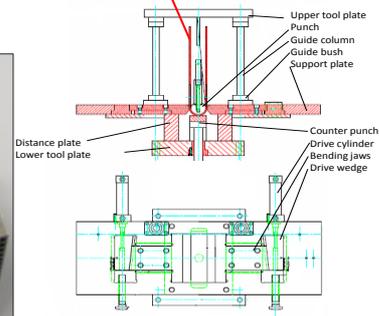
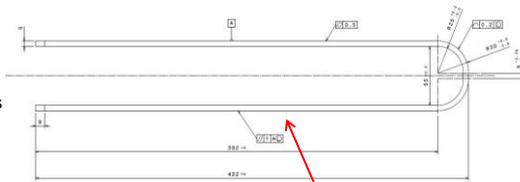
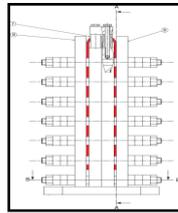
Herstellungsverfahren und technische Anforderungen für Breeder Unit

- U-Biegevorgang wurde in zwei Stufen durchgeführt:

- Biegevorgang mit Gegenhalter (gleichzeitige Biegung der beiden Schenkel in ein U-förmiges Teil)



- Wärmebehandlung in der Einspannvorrichtung, um die Restspannungen im Inneren des Bauteils zu reduzieren



7

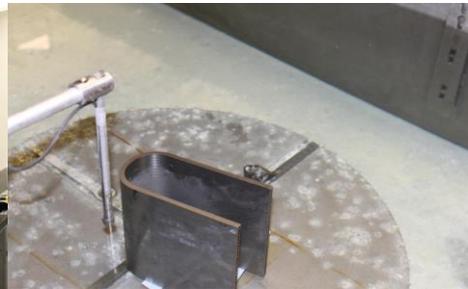
26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Automatisierte Ultraschalltauchtechnikprüfung

- Tauchtechnik-Anlage KC 200 von der Fa. GE verwendet.
- Anlage KC-200 besteht aus dem Wassertank, mehrkanaligen Ultraschallgerät USIP-40 und K-Scan Software
- Der Wassertank ist mit motorisierten X-, Y- und Z-Achsen und mit dem Drehteller vorgesehen



8

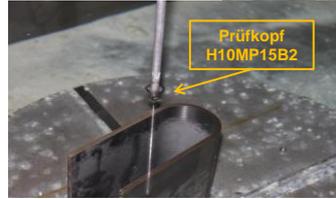
26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Ultraschalltauchtechnikprüfung: Durchführung

- Prüfkopf TS6PB4-20P50 (Frequenz – 20 MHz, Wandler – 6 mm im Durchmesser, Fokus – 50 mm)
- Prüfkopf H10MP15B2 (Frequenz – 10 MHz, Wandler – 6 mm im Durchmesser, Fokus – 15 mm)
- Schallgeschwindigkeit 5.920 m/s
- Senkrechteinschallung
- Fokus auf der Oberfläche
- Verstärkung 56-66 dB

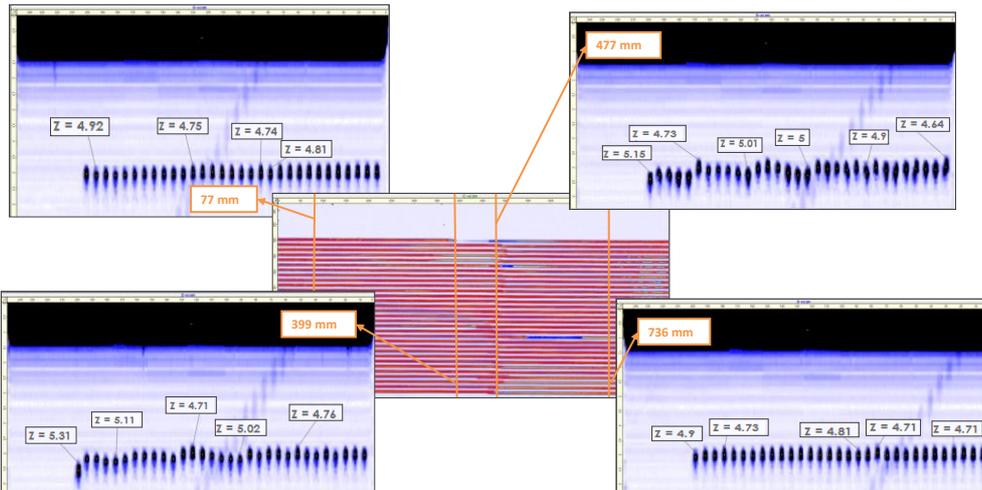


- Breeder Unit Cooling Plate
 - 30 Startlochbohrungen
 - Länge von 850 mm
 - 30 erodierten Kühlkanälen
 - Länge von 850 mm
 - U-gebogene Platte



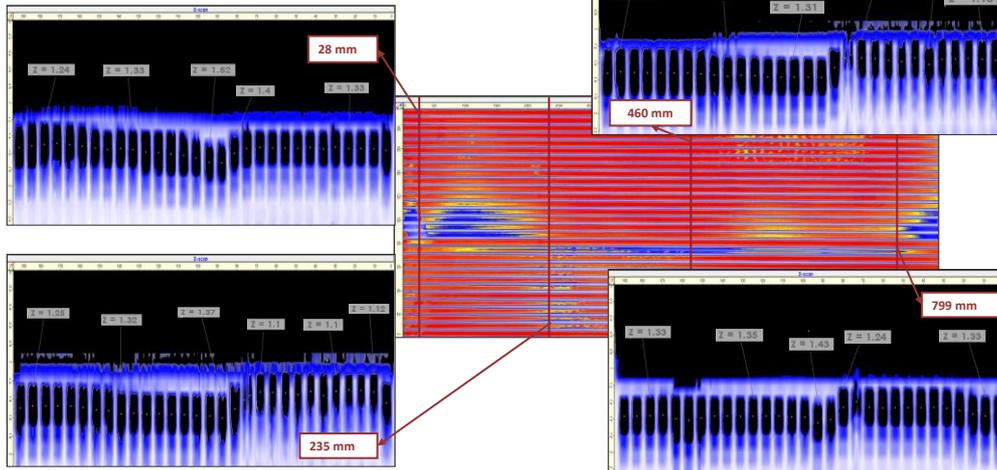
Ultraschalltauchtechnikprüfung: Auswertung

- Auswertung der Ultraschallergebnisse (Platte mit 30 Startlochbohrungen) mittels der 3D-Software-Visualisierung (I-Deal Technologies)



Ultraschalltauchtechnikprüfung: Auswertung

- Auswertung (Platte mit 30 erodierten Kühlkanälen) mit der Hilfe der 3D-Software-Visualisierung (I-Deal Technologies)



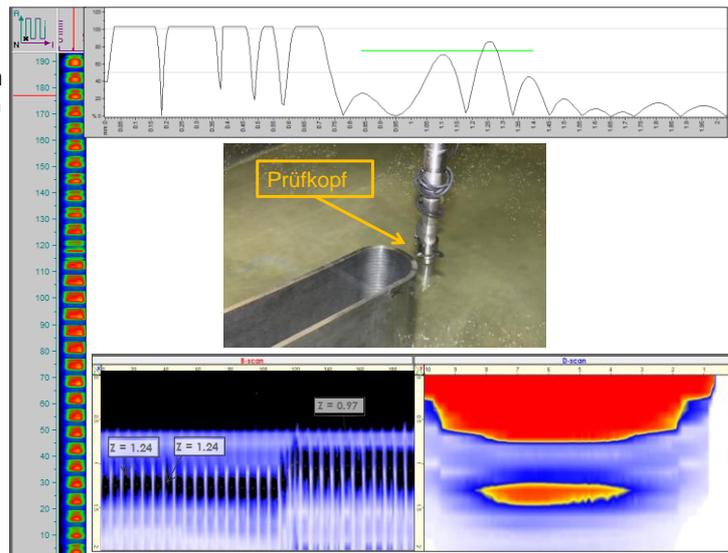
11 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Ultraschalltauchtechnikprüfung: Auswertung

- Scan des Biegebereiches vom außen (Platte mit 30 erodierten Kühlkanälen)
- Auswertung mittels der 3D-Software-Visualisierung (I-Deal Technologies)



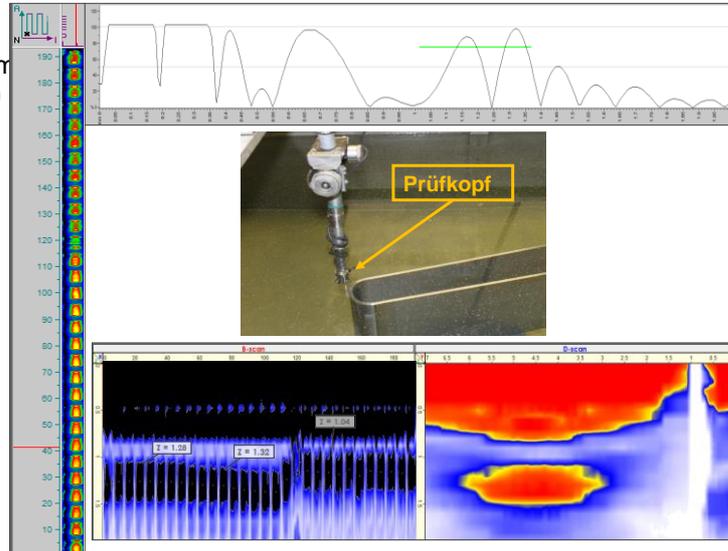
12 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Ultraschalltauchtechnikprüfung: Auswertung

- Scan des Biegeradius R25 vom außen (Platte mit 30 erodierten Kühlkanälen)
- Auswertung mittels der 3D-Software-Visualisierung (I-Deal Technologies)



13 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Kontakttechnik

- Phased-Array Ultraschallgerät VEO 16:64
 - 16:64 Phased-Array
 - Ausgezeichnete Darstellung
 - Vollständige Datenaufzeichnung
 - Multi Scan's
 - Unbegrenzte Scan Längen
 - Schnelle weggebundene Scans
- Array Wheel Probe 50mm Array
 - Ideal für manuellen Scan von großen Flächen oder leicht gewölbten Teile
 - Zentralfederspannung sorgt für konstanten Rollenkupplungsdruck über den Sensoren auch beim Scannen von schmalen Teilen
 - Größere Fehlernachweisbarkeit und hohe Auflösung



14 26.06.2014

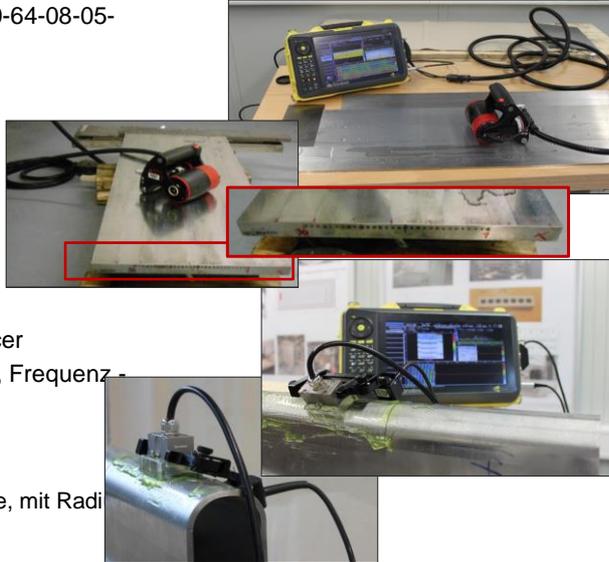
Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Kontakttechnik: Durchführung

- Sonatest WheelProbe (CWP-10-64-08-05-VEO), Frequenz – 10 MHz
 - 64 Phased-Array Elementen
 - Element Pitch - 0.8 mm
 - Active Area – 44.8 mm
 - Empfohlene Apertur – 8 Elementen
 - Koppelmedium – Wasser
 - Verstärkung 51 dB

- X-Serie Phased Array Transducer (X3-PE-10M64E0.6PIX250 PA), Frequenz – 10MHz
 - 64 Phased-Array Elementen
 - Element Pitch - 0.6 mm
 - Vorlaufkeil 0°, 12.7 mm dicke, mit Radi 28 mm und 55 mm



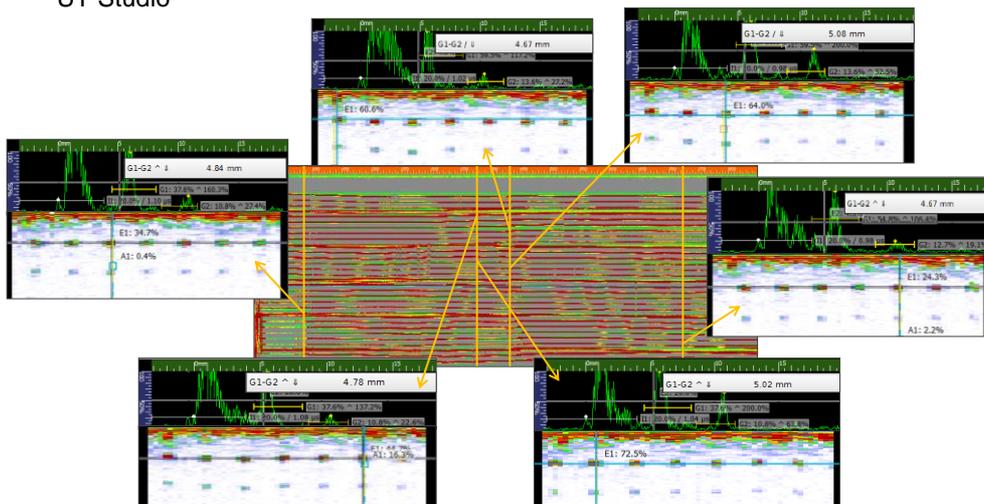
15 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Kontakttechnik: Auswertung

- Auswertung (Platte mit 30 Startlochbohrungen) der Ultraschallergebnisse mittels UT Studio



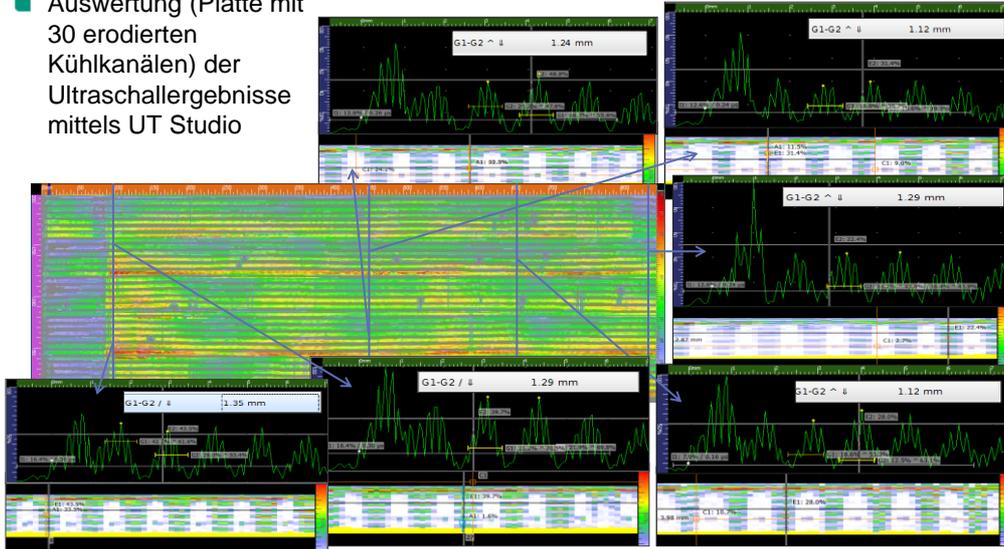
16 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Kontakttechnik: Auswertung

- Auswertung (Platte mit 30 erodierten Kühlkanälen) der Ultraschallergebnisse mittels UT Studio



17 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Kontakttechnik: Auswertung

- Scan des Biegebereiches vom außen (Platte mit 30 erodierten Kühlkanälen)
- Auswertung mittels UT Studio



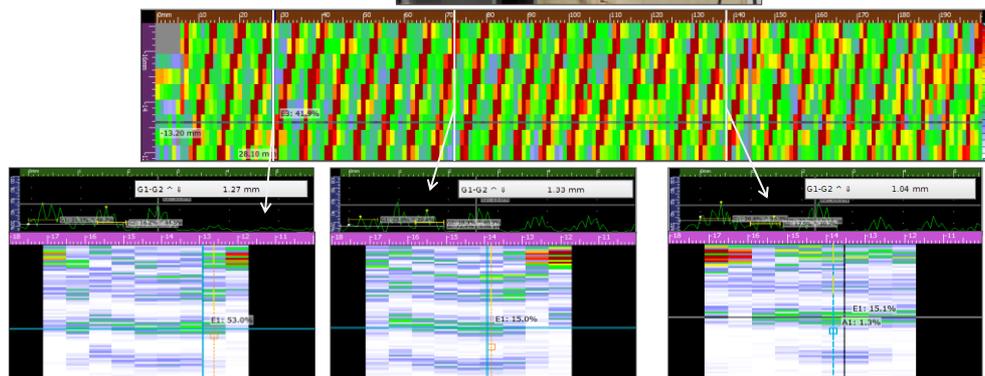
18 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Kontakttechnik: Auswertung

- Scan des Biegeradius R25 vom außen (Platte mit 30 erodierten Kühlkanälen)
- Auswertung mittels UT Studio



19 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Einsatzmöglichkeiten und **Beschränkungen**

■ Kontakttechnik:

- Mobil und sehr gut geeignet für Untersuchungen von großen Flächen oder leicht gewölbten Teilen
- Hohes Tempo des Versuches mit sehr guter Auflösung
- Ausgezeichnete Kopplung, auch auf rauen Oberflächen
- Optimale Nah- und Fernauflösungsvermögen
- **Größere Fehlernachweisbarkeit und hohe Auflösung nur bei der Wandstärke < 50 mm**

■ Automatisierte Tauchtechnik:

- Automatisierte Prüfung
- Hohe Prüfempfindlichkeit
- Optimale Ankopplungsbedingungen
- **Nicht einsetzbar für massive Bauteile und fertige Konstruktionen (Probleme mit Korrosionsprodukten)**

20 26.06.2014

Dipl.-Ing. Tatiana Martin, DGZIP Jahrestagung 2014

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoff- und Biomechanik (IAM-WBM)

Zusammenfassung und Ausblick

- Die Untersuchung von den Komponenten für das Tritium-Breeding-Blanket (BB) mittels verschiedener Ultraschalltestverfahren wurde erfolgreich durchgeführt.
- Die Ergebnisse von der Kontakttechnik stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der Ultraschalltauchtechnik überein.
- Als optimale Verfahrensmethode für das Breeding-Blanket wurde die Kontakttechnik auf Basis Phased-Array Ultraschallgerät VEO 16:64 in Kombination mit der Tauchtechnik für die lokalen oder örtlichen Untersuchungen bevorzugt.

- Die Untersuchungen von den First Wall (FW) Komponenten zur Ermittlung der minimalen Fehlergröße entlang der Diffusionsschweiß-Verbindungen werden geplant.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!