

Phased-Array-Techniken und die Total Focusing Method (TFM)

Helge RAST¹, Stefan KIERSPEL¹, Wolfram A.K. DEUTSCH¹

¹ KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Kontakt E-Mail: rast@karldeutsch.de

Kurzfassung

Moderne Phased-Array-Ultraschallprüfgeräte stellen dem Prüfer eine Vielzahl verschiedener Verfahren zur Ultraschallprüfung zur Verfügung, damit dieser seine Aufgabe bestmöglich erfüllen kann. Dieser Vortrag zeigt die Techniken auf, die in modernen Prüfgeräten implementiert sind.

Anhand von Beispielen aus der Praxis werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren gezeigt und diskutiert. Linear-, Sektor- und Compound-Scans gehören zu den Standardtechniken, die unter anderem bei der Schweißnahtprüfung eingesetzt werden. Die Prüfung mit der Total Focusing Method (TFM) basierend auf der Full Matrix Capture (FMC) Datenaquisition stellt besondere Anforderungen insbesondere an portable Prüfelektroniken und wird zum Beispiel zur Prüfung von HDPE-Muffen oder Wasserstoffinduzierten Rissen eingesetzt. Der Vortrag zeigt die Vorteile gegenüber den klassischen Techniken und diskutiert mögliche Nachteile.

Abschließend wird gezeigt, wie die Vorteile der Total Focusing Method mit Plane Wave Imaging (PWI) auch bei höheren Prüfgeschwindigkeiten und kleineren Datenmengen genutzt werden können.



Phased-Array- und TFM-Techniken

Dr. Rast, Ultraschall-Array-Technologien und ihre Anwendungen,
4. – 5. November 2019 in Berlin

KARL DEUTSCH
Prüf- und Messgerätebau
ZfP seit 1949 *NDT since 1949*

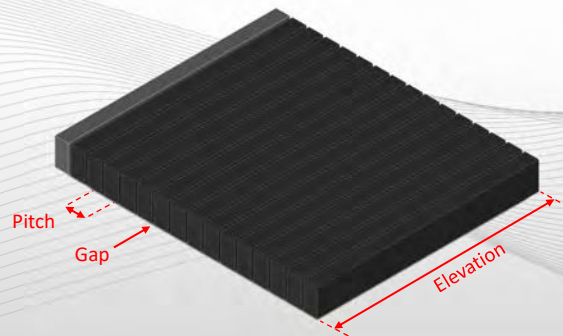
KARL DEUTSCH



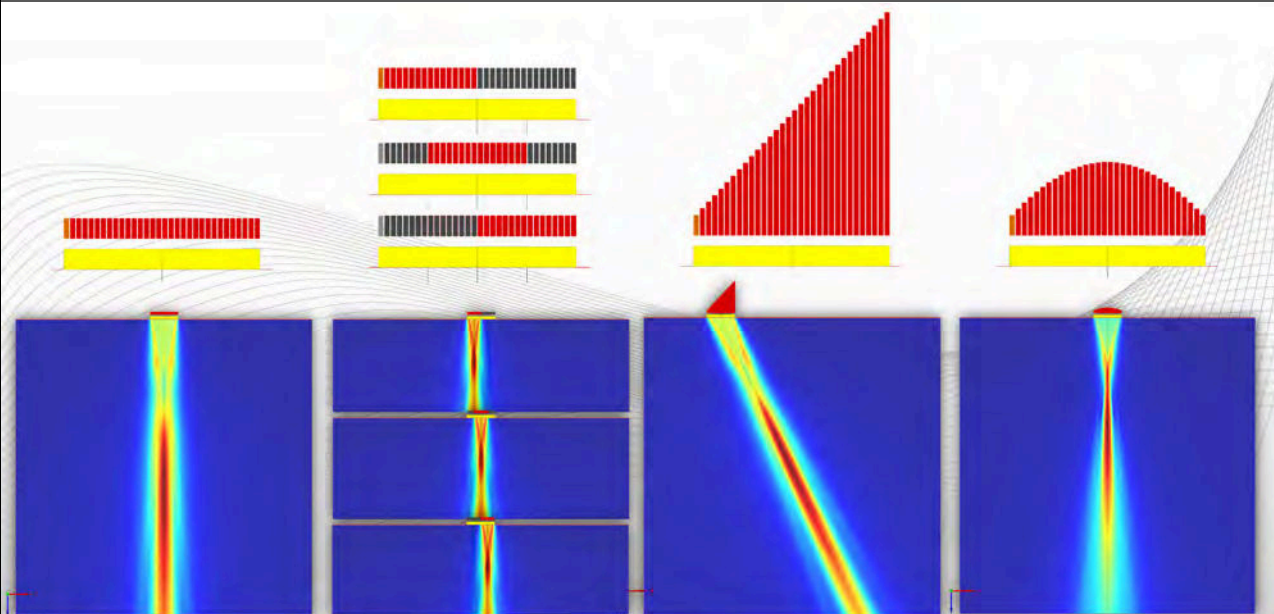
KARL DEUTSCH

- Inhabergeführtes Unternehmen seit 1949
- Zwei Standorte in Wuppertal
- 130 Mitarbeiter in Wuppertal +20 weitere weltweit
- Exklusiver Vertriebspartner in DE für M2M/Eddyfi und SCANMASTER

Standard- Phased-Array-Techniken



Elektronische Formung des Schallfeldes

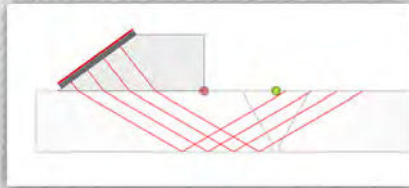


Standard-Phased-Array-Techniken

Elektronische Formung des Schallfeldes
(Größe/Position der Apertur, Einschallwinkel, Fokussierung)

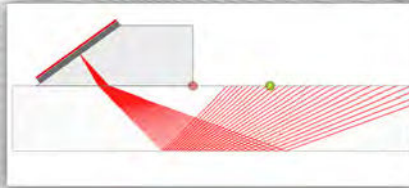


Lineare elektronische Abtastung



- Änderung der Position der virtuellen Apertur

elektronische Sektorabtastung



- Änderung des Einschallwinkels

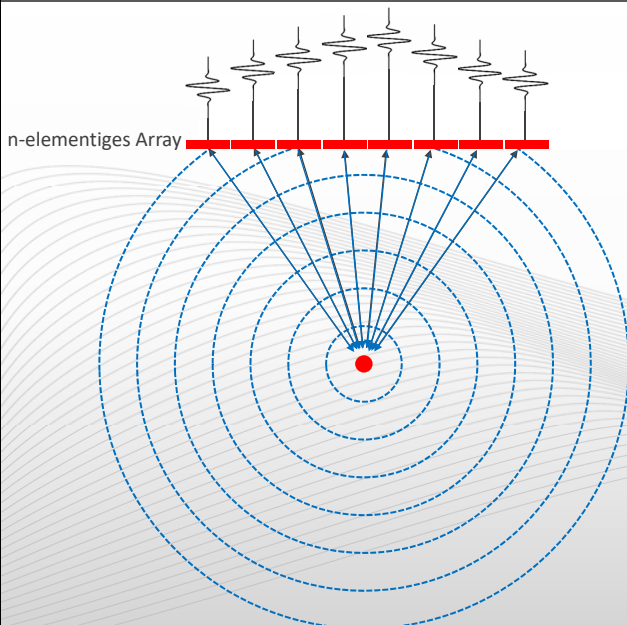
„Compound-Scan“



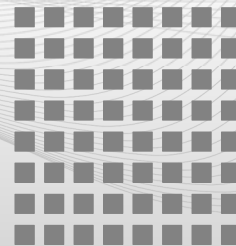
- Simultane Veränderung von Position und Einschallwinkel

Full Matrix Capture (FMC) & Total Focusing Method (TFM)

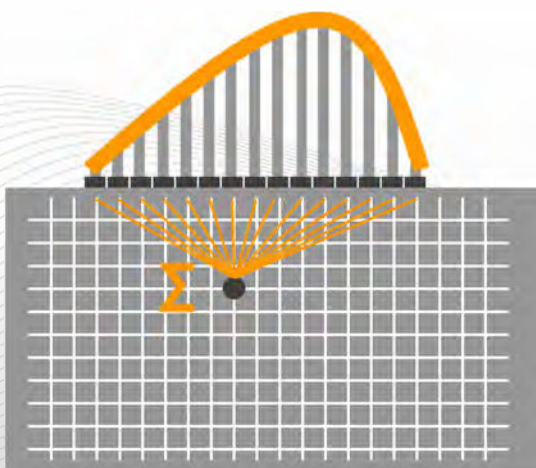
Full Matrix Capture (FMC)



- Aufzeichnung des vollständigen Satzes von A-Bildern
- Jedes Element wird einzeln angeregt, während alle Elemente das Echo aufzeichnen
- Ergebnis: $n \times n$ Matrix aus A-Bildern



Prinzip der Total Focusing Methode (TFM)



Quelle: M2M

TFM ist ein Post-Processing Algorithmus für FMC-Daten.

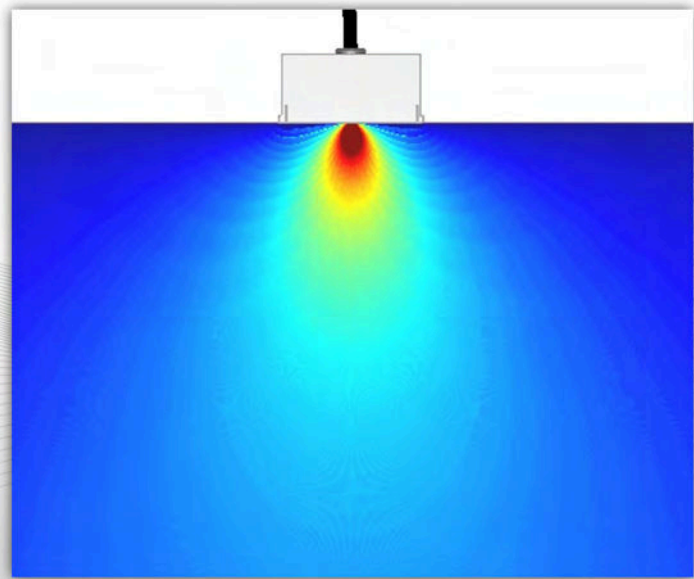
- Diskretisierung der Prüfzone in ein Gitter
- Erzeugung eines **künstlichen Fokus** an jedem Gitterpunkt durch Summation der FMC-Daten

Vorteile:

- Fokussiertes Bild in gesamten Prüfbereich
- Prüfzone kann breiter als der Prüfkopf sein

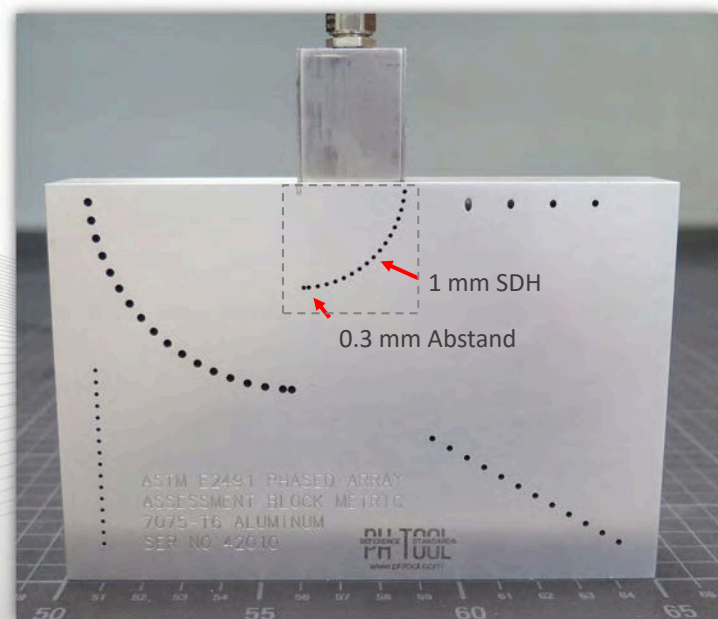
Schallfeld eines einzelnen Element

- CIVA Simulation eines Prüfkopfes mit 10 MHz Mittenfrequenz, 64 Elementen, 0.3 mm Pitch, 0.05 mm Gap
- Große Divergenz
- Prüfkopf „sieht“ in alle Richtungen



TFM Auflösung

- Muster: ASTM E2491 Phased Array Test Block Metric 7075-T6 Aluminum
- Prüfgerät: GEKKO
- Prüfkopf: 10 MHz Mittenfrequenz, 64 Elemente, 0.3 mm Pitch, 0.05 mm Gap

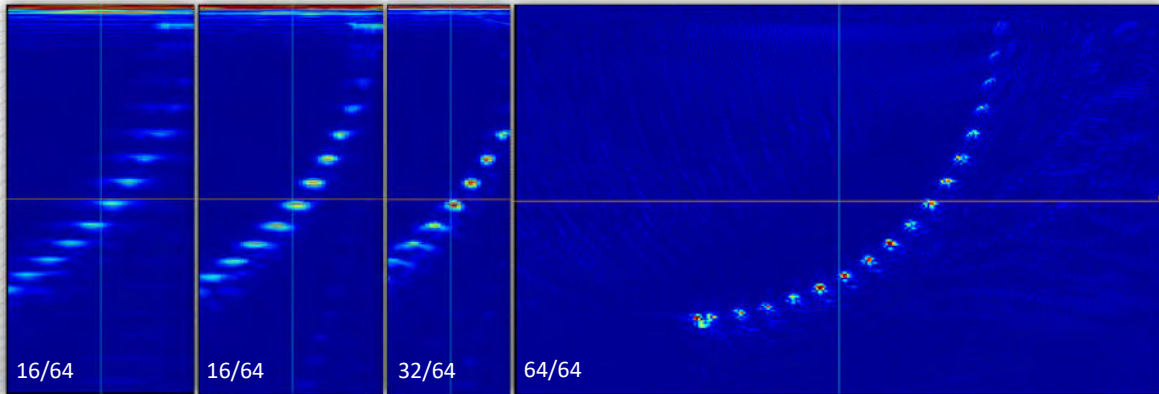


TFM Auflösung

B-Bild

Fokussiertes
B-Bild

Total Focusing Method



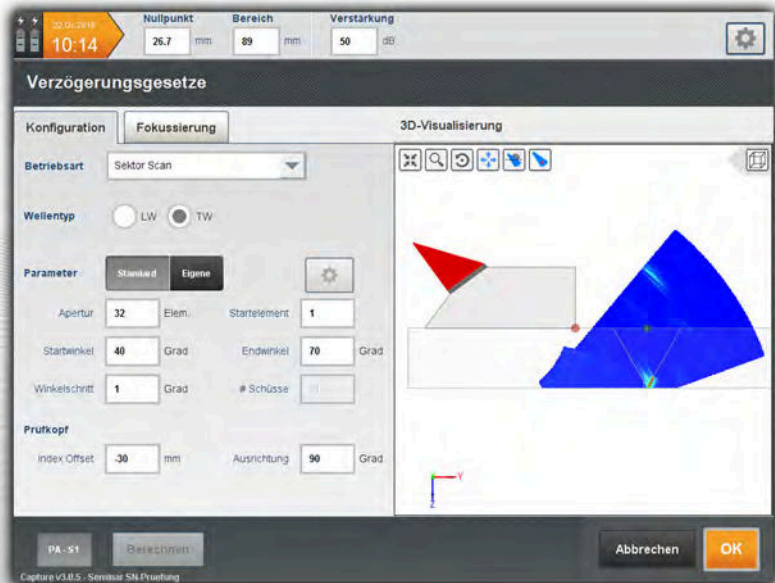
$$B_f = 2k_\alpha \frac{z_f}{D} \lambda$$

Schweißnahtprüfung mit Sektorscans

(Elektronische Sektorabtastung)

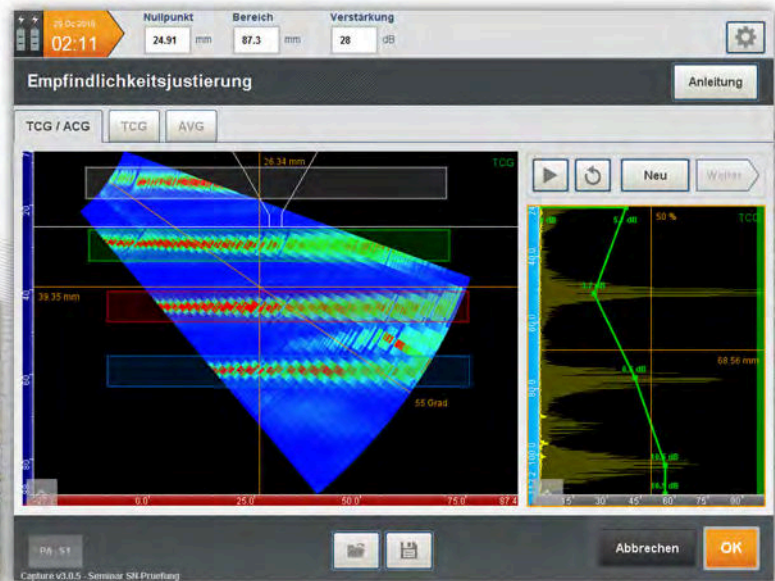
Formung des Schallfeldes

- Apertur
- Winkelbereich
- Winkelschrittweite
- Fokussierung
- Schallfeldabdeckung überprüfen



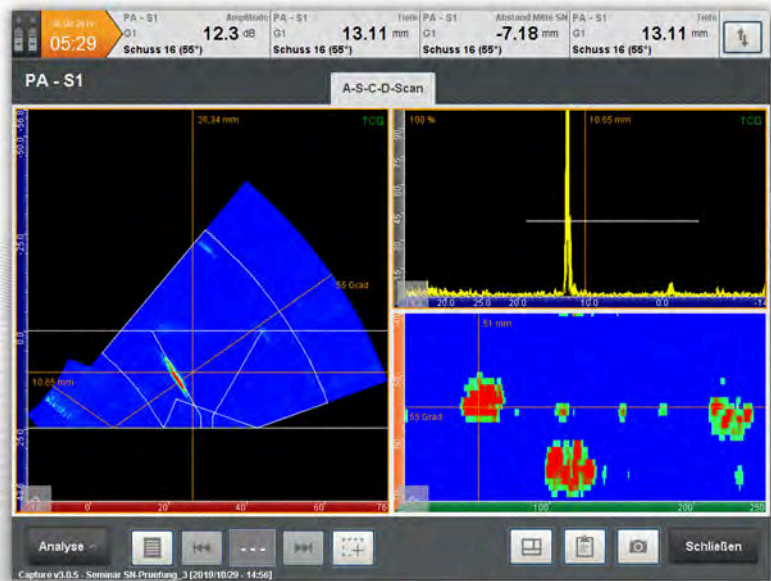
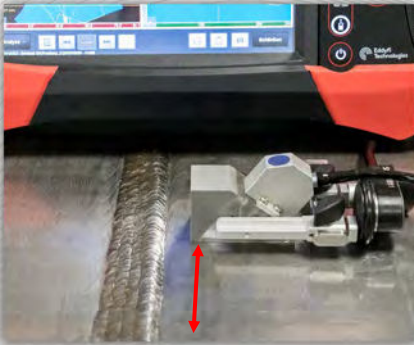
Empfindlichkeitsjustierung

- TCG / DAC-Kurven für alle eingestellten Winkel
- Testblock z.B. nach ISO 19675



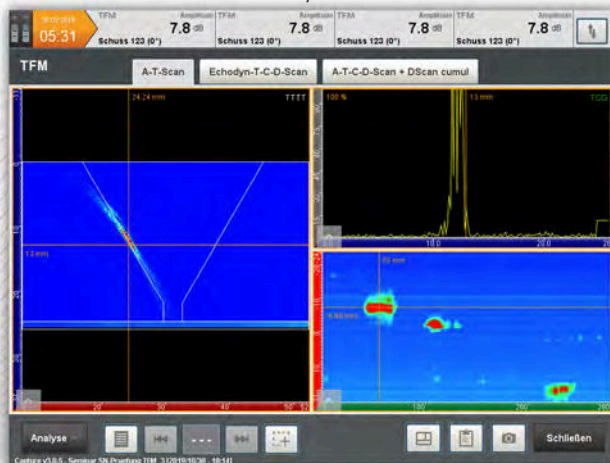
Datenaufnahme

- Positionencoder verknüpfen die Ultraschalldaten mit der Prüfkopfposition
- Hier: max. 173 mm/s



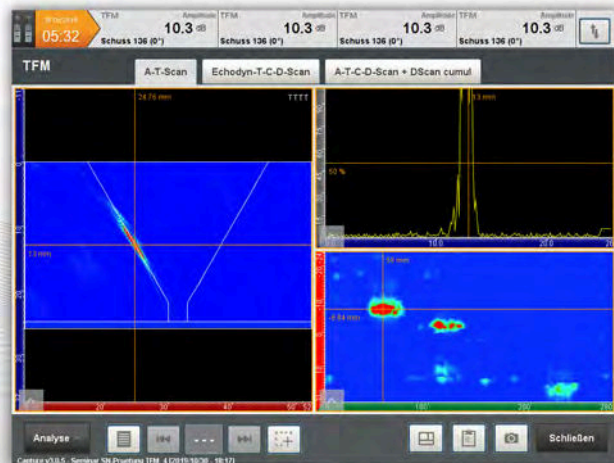
Schweißnahtprüfung mit TFM

TFM / FMC



Hier: max. 43 mm/s @ Gekko bei TFM32

TFM FAST



Hier: max. 120 mm/s @ Gekko bei TFM32

Prüfung von dicken Schweißnähten mit PAUT Compound-Scan

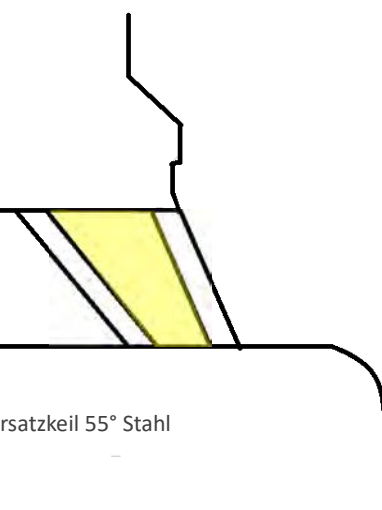
US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Prüfung von dicken Schweißnähten mit PAUT Compound-Scan



50 mm



Prüfkopf:
64 Elemente / 5 MHz / Pitch 0,85 mm / Vorsatzkeil 55° Stahl

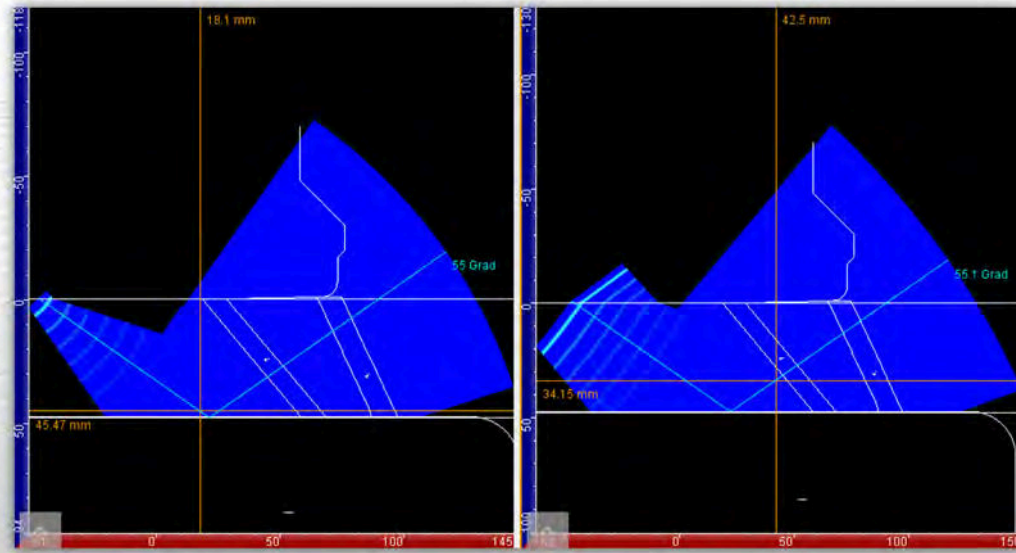
US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Prüfung von dicken Schweißnähten mit PAUT Compound-Scan

Sektor-Scan mit 35°- 72° Schwenkbereich

Compound-Scan mit 40°-70° Schwenkbereich



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

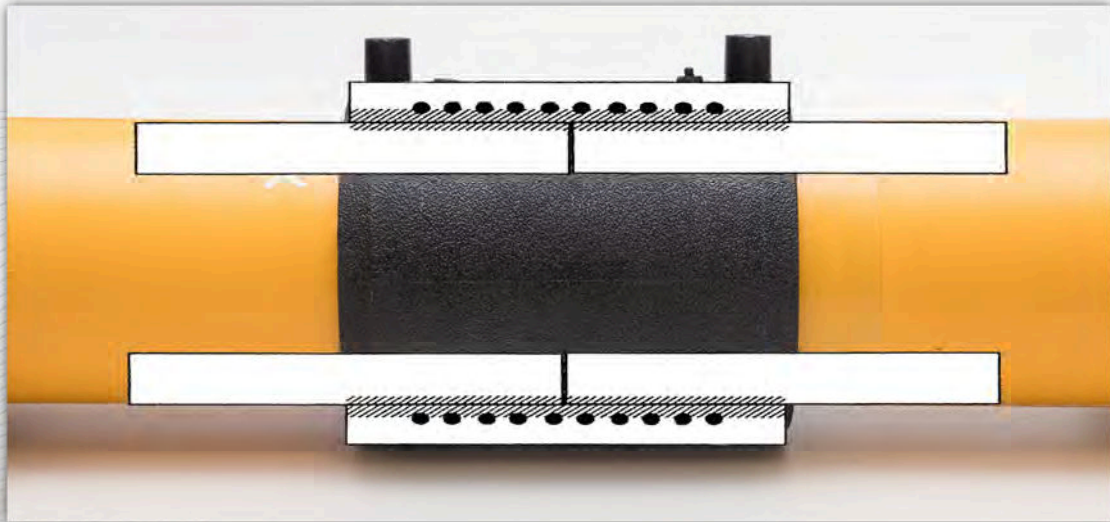
KARL DEUTSCH

TFM- Prüfung von Heizwendelmuffenverbindungen von PE-Rohre

US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Aufbau einer Heizwendelmuffenverbindung



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Prüfung von Elektroschweißmuffen an PE-Rohren

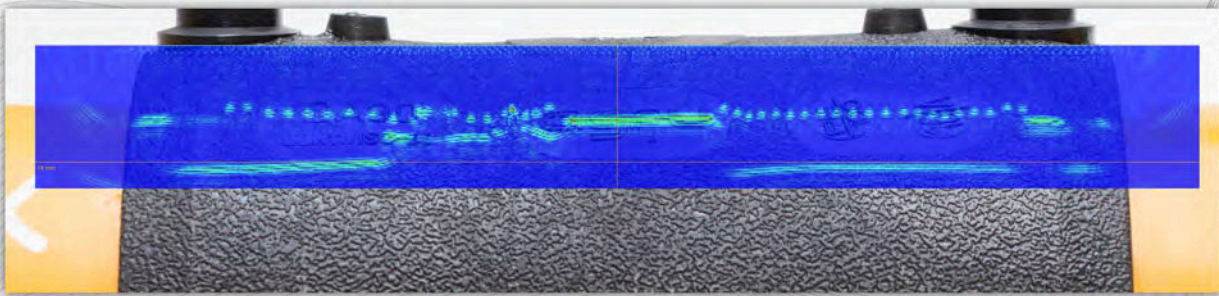
- Kosteneffiziente Prüfung mit dem MANTIS
- Einfache Gerätekonfiguration
 - Schallgeschwindigkeit und Wanddicke genügen
- Baustellentauglich



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

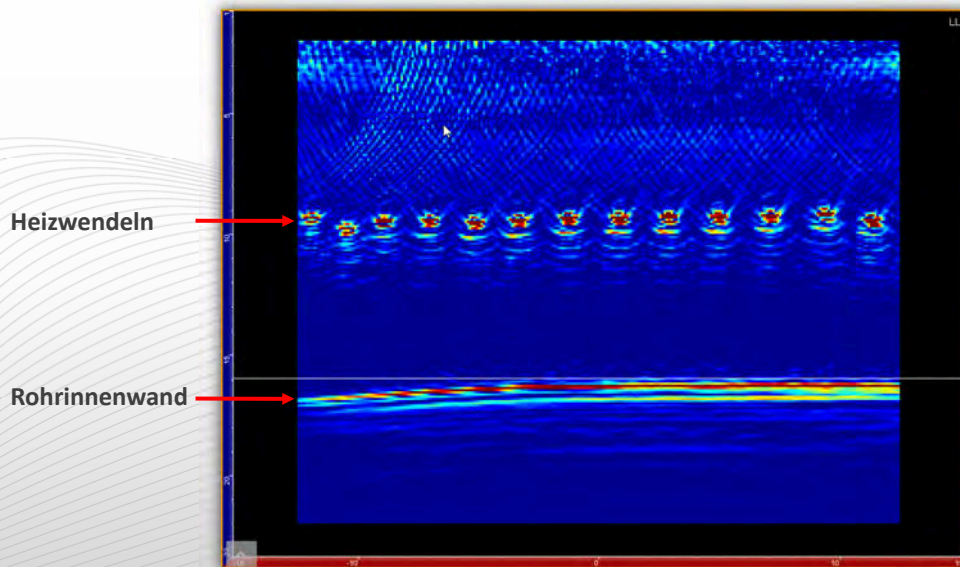
KARL DEUTSCH

Prüfergebnis mit TFM



Prüfkopf: 2 MHz, 128 Elemente, 1mm Pitch

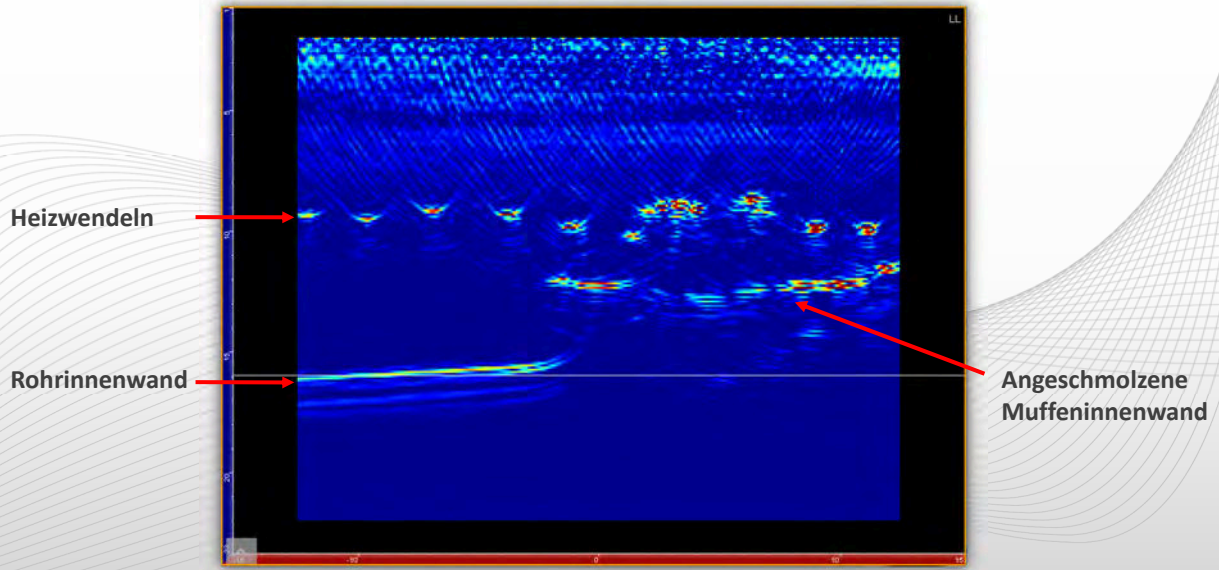
i.O. Verbindung



Heizwendeln

Rohrinnenwand

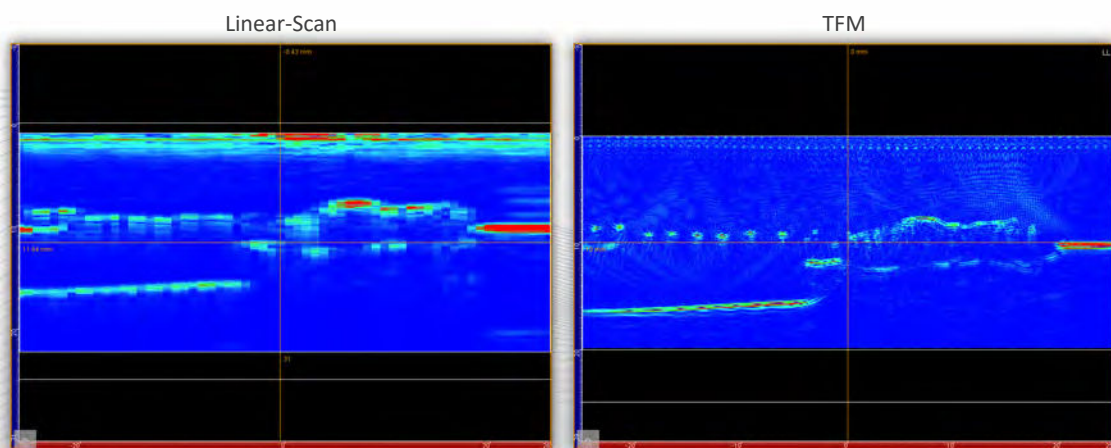
n.i.O. Verbindung



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Vergleich Linear-Scan und TFM

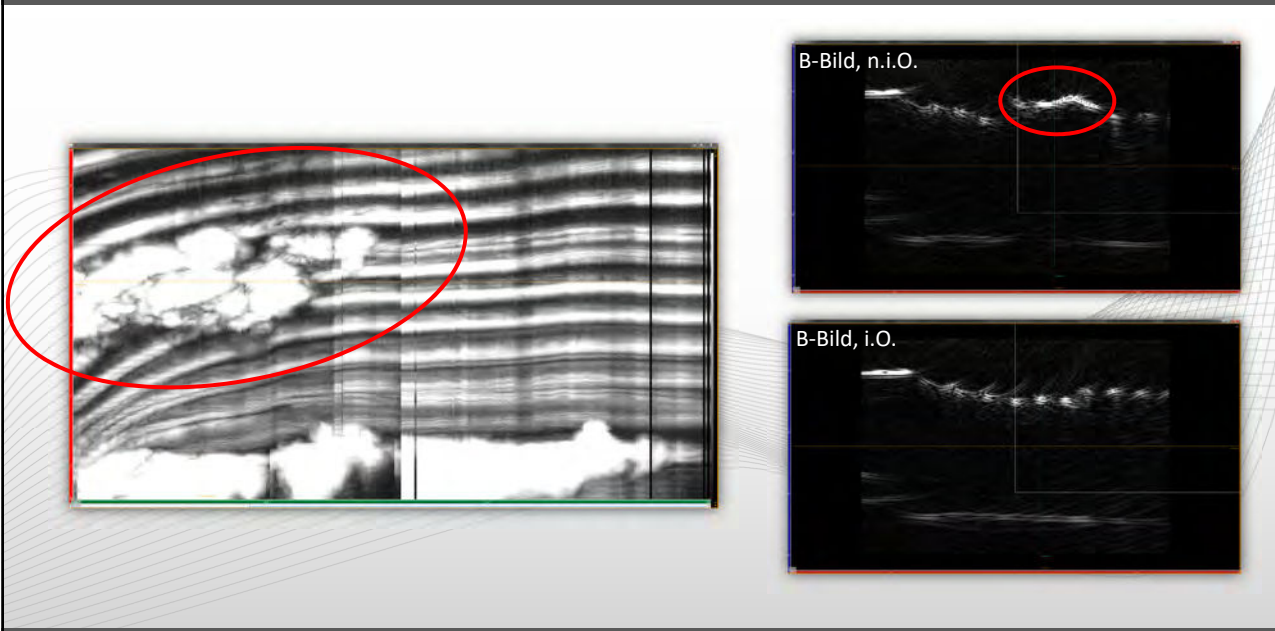


Prüfkopf: 5 MHz, 64 Elemente, 0.85mm Pitch

US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

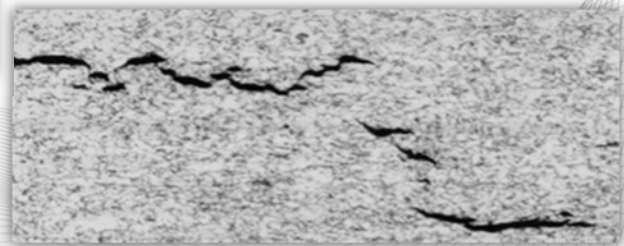
KARL DEUTSCH

C-Bild + B-Bilder mit TFM



Prüfung auf wasserstoffinduzierte Risse

Prüfung auf Wasserstoffinduzierte Risse mit TFM Direkt

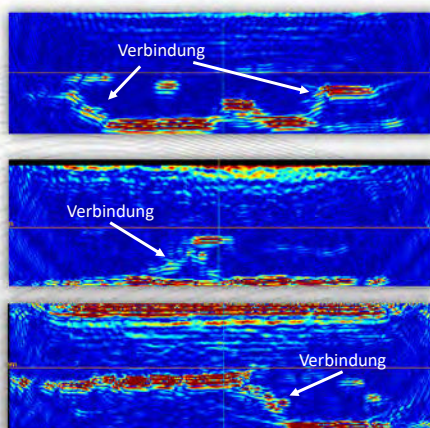


Wasserstoffinduzierte Rissbildung

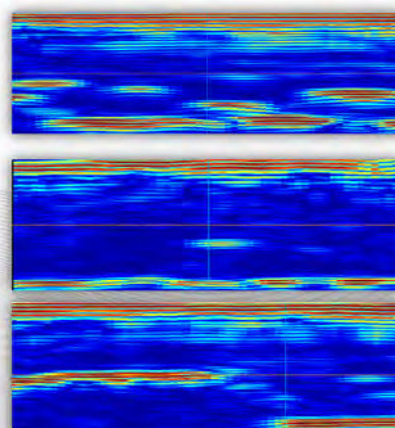
- Versprödung eines Metalls durch hohe Wasserstoff-Konzentrationen
- Ausbildung i.d.R. parallel zur Oberfläche
- Entstehung von Verbindungsrissen bei starker Verformung

Wasserstoffinduzierte Risse

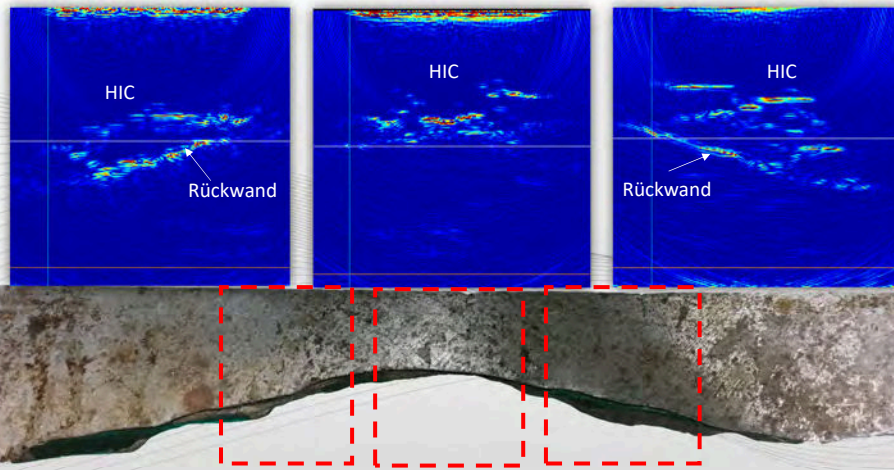
TFM



Linear Scan



Wasserstoffinduzierte Risse



Prüfung von faserverstärkten Kunststoffen mit TFM

Prüfung von faserverstärkten Kunststoffen

- CFK (CFRP) / GFK (GFRP) Testkörper aus „VITCEA EMRP Project“ (funded by Euramet)
- 2 Fehlerarten
 - Flachbodenbohrungen
 - Flächige innenliegende Fehler
- Schallgeschwindigkeit
- Prüfkopf
 - 5 MHz, 64 Elemente für CFK
 - 2 MHz, 64 Elemente für GFK
- XY-Scanner



This work has been partially funded by EURAMET within ENG57 EMRP EMRP project VITCEA (Validated inspection techniques for composites in energy applications). VITCEA on the internet: <http://projects.npl.co.uk/vitcea>

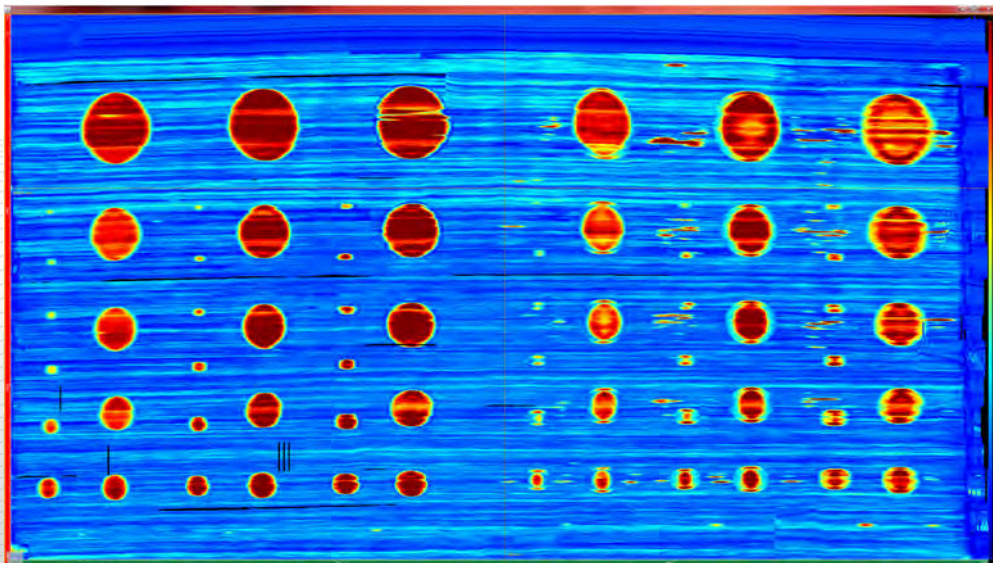
oben



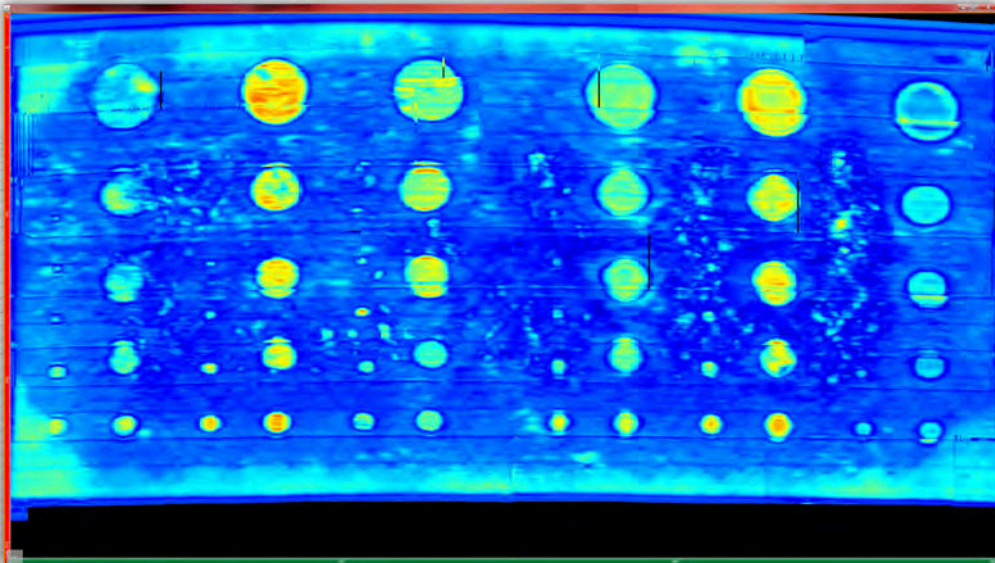
unten



Prüfung von CFK in Kontaktechnik



Prüfung von GFK in Kontakttechnik

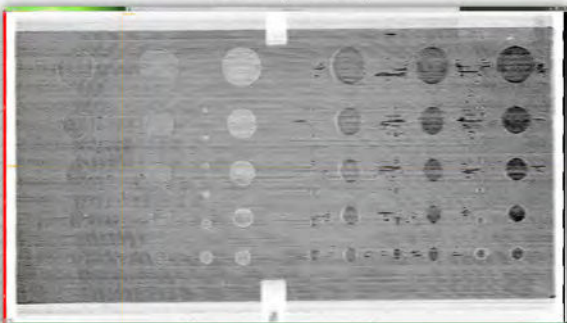


US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

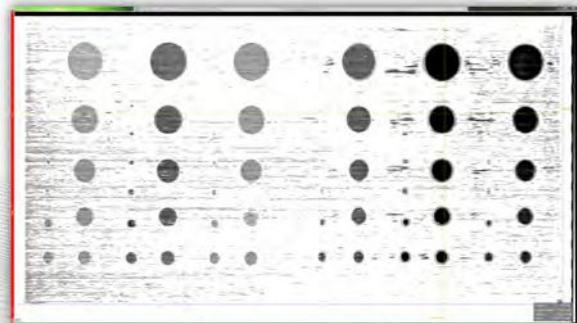
Prüfung von 5mm CFK mit TFM @ 10MHz

TFM (FMC)



- Kein Oberflächentrigger in Tauchtechnik
- Langsam
- Große Datenmenge

Linear Scan



- In Tauchtechnik Oberflächentrigger möglich
- Schnell

US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

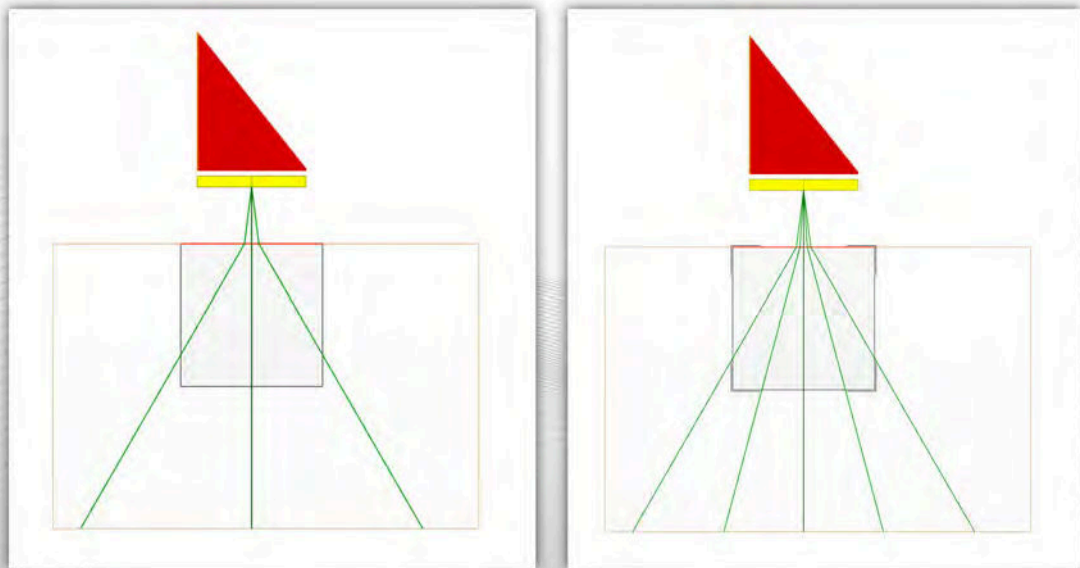
Plane Wave Imaging (PWI)

Schnelle Datenaufnahme für TFM

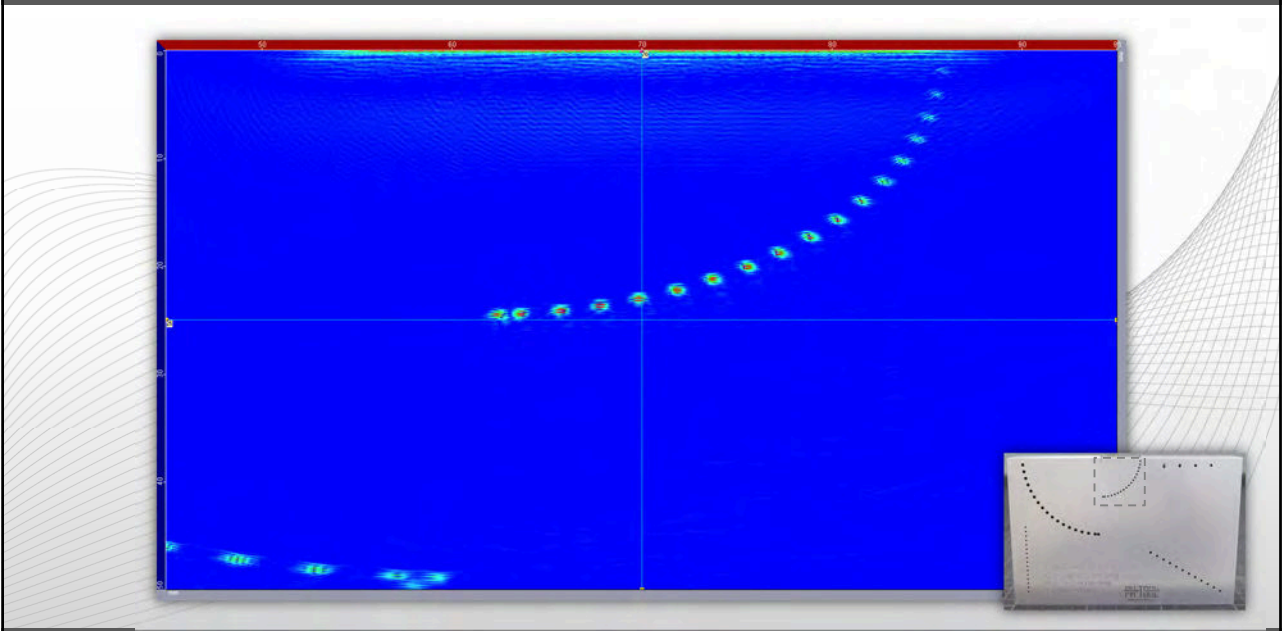


Panther von M2M/Eddyfi

Plane Wave Imaging - Prinzip



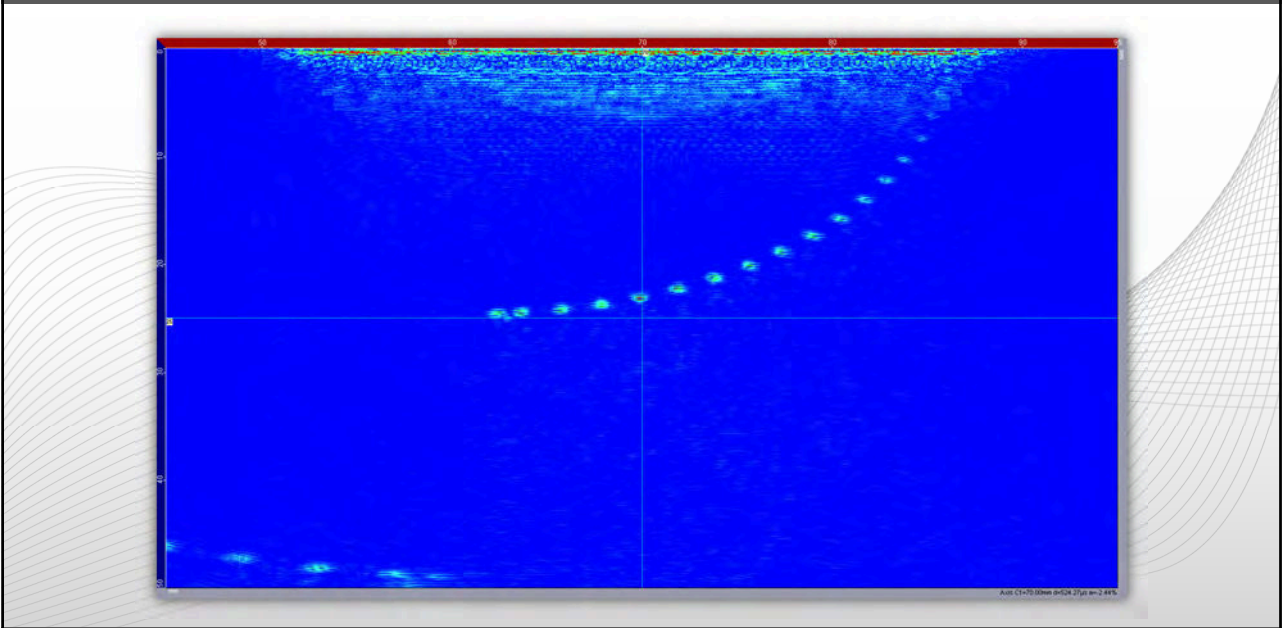
Bildqualität FMC 64x64



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

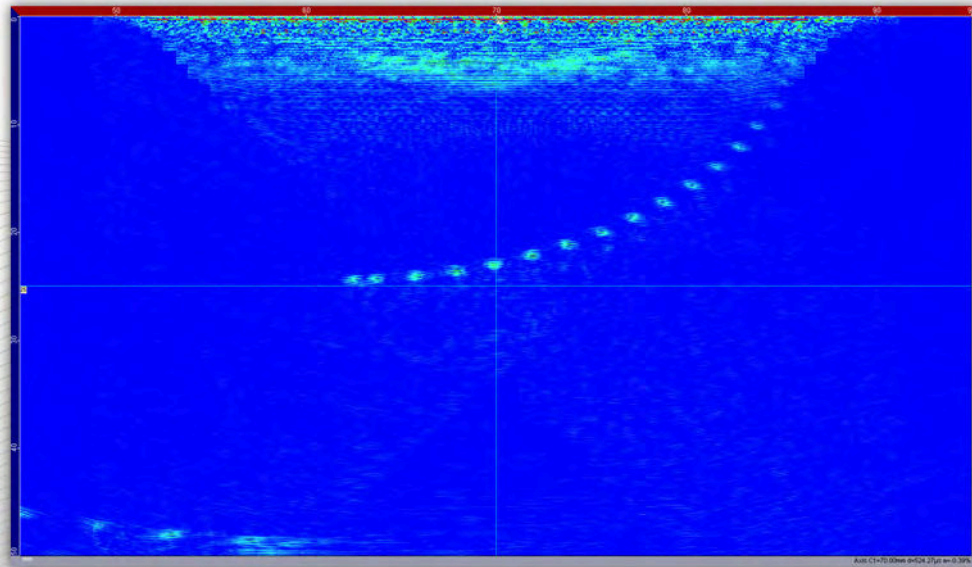
Bildqualität PWI 5 Winkel



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

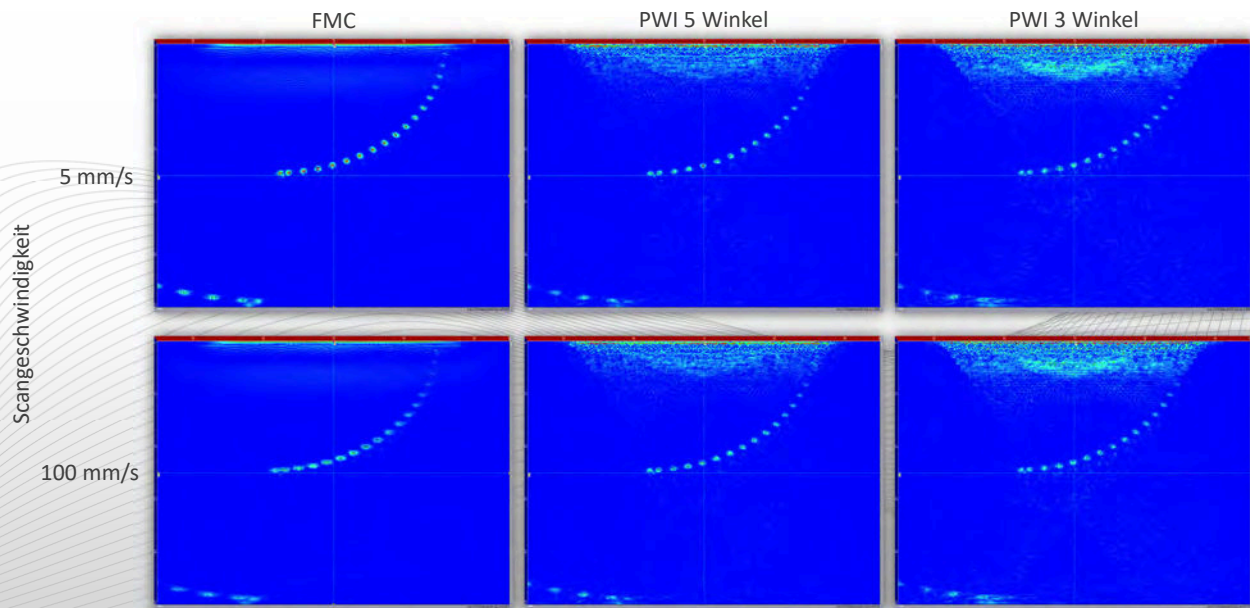
Bildqualität PWI 3 Winkel



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Einfluss der Prüfgeschwindigkeit



US-Array-Technologien und ihre Anwendungen, Berlin 4.11.2019

KARL DEUTSCH

Vergleich der erreichbaren Prüfgeschwindigkeiten

FMC APD 1mm

Configuration related parameters				Adjustable parameters			
Property	Current val.	Limit val.	Status	Property	Current val.	Limit val.	Status
Hardware Data Throughput, Device n°113	49.45 MB/s	315 MB/s	●	P.R.F.	2774 Hz	227 Hz	●
Hard disk R/W speed	4.84 MB/s	696.4 MB/s	●	Scanning speed	5 mm/s	21.447 mm/s	●
Expected file size	97.8 MB	381.43 GB (HDD)	●	CPUGPU load	23.31 %	100 %	●
SAUL status	0	1	●				

PWI 5 Shots APD 1mm

Configuration related parameters				Adjustable parameters			
Property	Current val.	Limit val.	Status	Property	Current val.	Limit val.	Status
Hardware Data Throughput, Device n°113	6.13 MB/s	315 MB/s	●	P.R.F.	2774 Hz	227 Hz	●
Hard disk R/W speed	4.83 MB/s	696.4 MB/s	●	Scanning speed	5 mm/s	130.578 mm/s	●
Expected file size	97.5 MB	381.42 GB (HDD)	●	CPUGPU load	3.63 %	100 %	●
SAUL status	0	1	●				

PWI 3 Shots APD 1mm

Configuration related parameters				Adjustable parameters			
Property	Current val.	Limit val.	Status	Property	Current val.	Limit val.	Status
Hardware Data Throughput, Device n°113	3.68 MB/s	315 MB/s	●	P.R.F.	2774 Hz	227 Hz	●
Hard disk R/W speed	4.83 MB/s	696.4 MB/s	●	Scanning speed	5 mm/s	172.593 mm/s	●
Expected file size	97.5 MB	381.38 GB (HDD)	●	CPUGPU load	2.9 %	100 %	●
SAUL status	0	1	●				

Zusammenfassung

- Alle Prüftechniken finden ihre Anwendung
- Standard-Techniken erlauben höhere Prüfgeschwindigkeiten als TFM
- TFM ist anwenderfreundlicher in der Konfiguration
 - Vorteile bei großen Schwallwegunterschieden im Prüfbereich
- TFM / FMC liefert die bestmögliche Bildqualität bei gegebenem Prüfkopf
- TFM / PWI erlaubt TFM bei höheren Prüfgeschwindigkeiten