

SAFT, TOFD, Phased Array – Klassische Anwendungen und neuere Entwicklungen der Ultraschall-Bildgebung

Martin SPIES *, Alexander DILLHÖFER *, Wolfgang MÜLLER **, Hans RIEDER *,
Volker SCHMITZ **

* Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

** Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Kurzfassung

Der sichere Betrieb von Anlagen und Transportmitteln erfordert die permanente Inspektion relevanter Bauteile und Komponenten. Bei der Anwendung von ZfP-Verfahren wird die Auswahl geeigneter Prüfmethode in vielen industriellen Bereichen durch das zu untersuchende Material und die aufzufindenden Fehler bestimmt. Zur Rissprüfung in oberflächennahen Bereichen werden üblicherweise magnetische Verfahren, Farbeindringverfahren oder spezielle Ultraschallverfahren eingesetzt. Um Fehler im Volumen zu finden, werden in der Regel radiographische Verfahren oder Ultraschall-Prüf-techniken verwendet. Zur Ultraschallprüfung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die beispielsweise auf dem Einsatz einzelner Prüfköpfe, Tandem- oder Pitch-and-Catch-Anordnungen oder auf der Phased-Array-Technik basieren. Zuverlässige Fehlerdetektion erfordert ein definiertes und reproduzierbares Abscannen entlang der Bauteiloberflächen. Aus den Ultraschall-HF-Daten können Amplituden- und Laufzeitinformationen gewonnen und zur Charakterisierung eines Fehlers herangezogen werden. Allerdings liefert eine solche Vorgehensweise unzureichende quantitative Ergebnisse, wenn komplexe Fehlergeometrien und/oder ungünstige Materialeigenschaften vorliegen.

Über die Jahre wurden bildgebende Verfahren wie die Synthetische Apertur Fokus Technik SAFT, die Time-of-Flight Diffraction Technique TOFD und die Phased-Array-Technik zur Verbesserung der Ultraschallprüfung erfolgreich entwickelt und eingesetzt – nicht nur im Hinblick auf solche komplexen Prüfsituationen. Die algorithmische (Weiter-) Verarbeitung der Ultraschall-Rohdaten mittels SAFT führt zu einer Reduzierung der strukturbedingten Rauschsignale und zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses der Fehlersignale. Für spezifische Fehler- und Bauteilkonfigurationen liefert das TOFD-Verfahren zuverlässige Ergebnisse bei der Vermaßung von Rissen. Auch die Phased-Array-Technik schließlich bietet applikationsspezifische Vorteile durch vielfältige Möglichkeiten bei den Sensor-Konfigurationen, aber auch bei der algorithmischen Datenverarbeitung. Dieser Beitrag zeigt ausgewählte Entwicklungen und Anwendung dieser bildgebenden Verfahren aus der Vergangenheit, ebenso wie aktuelle Ansätze, die insbesondere auf neuen Möglichkeiten zur schnelleren Datenerfassung und – verarbeitung beruhen.

SAFT, TOFD, Phased Array – Klassische Anwendungen und neuere Entwicklungen der Ultraschall-Bildgebung

Seminar des FA Ultraschallprüfung – 11.-12. November 2013, Berlin
„Bildgebende Verfahren für die Ultraschallprüftechnik“

Martin Spies

Hans Rieder, Alexander Dillhöfer

AG Ultraschall-Imaging– Abteilung Bildverarbeitung
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
Kaiserslautern

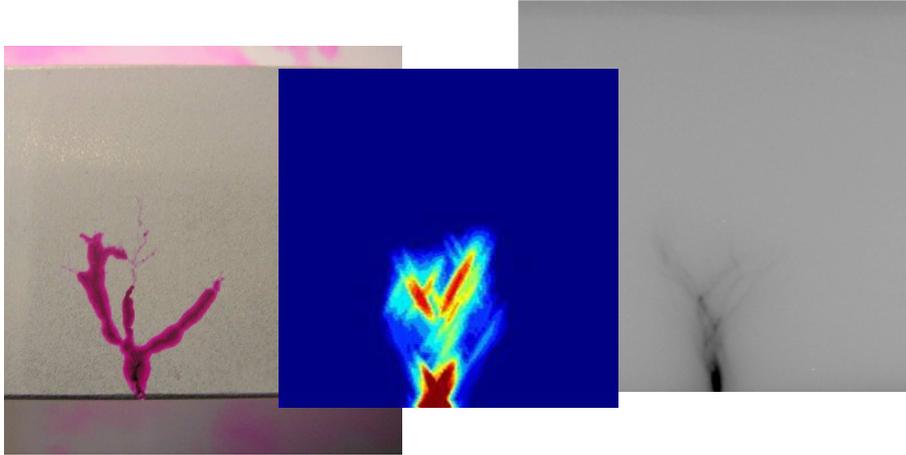
Volker Schmitz*, Wolfgang Müller*

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
Saarbrücken
***im Ruhestand**

SAFT, TOFD, Phased Array – Klassische Anwendungen und neuere Entwicklungen der Ultraschall-Bildgebung

- Motivation
- SAFT, TOFD, Phased Array – Grundlagen
- Klassische Beispiele und neuere Anwendungen
 - ZfP an industriellen Komponenten
 - SAFT, TOFD, Phased Array und komplexe Medien
 - Kompositwerkstoffe
 - Schweißnähte
 - Betone
- Zusammenfassung

Rot-Weiß-, Röntgen- und Ultraschall-Abbildung eines interkristallinen Spannungskorrosionsrisses



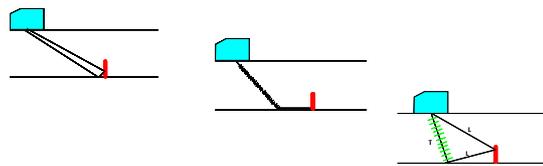
© Fraunhofer ITWM
3

Competence in NDT&E

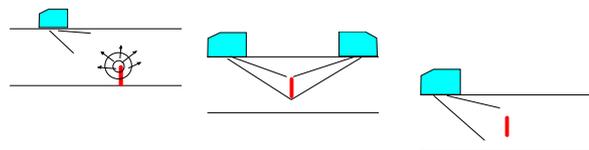
Fraunhofer
ITWM

UT Rissdetektion – verschiedene Möglichkeiten

- Winkelspiegel
- Kriechwellen
- Modenkonversion



- Tip diffraction
- Diffraction TOFD
- Direkte Reflexion IE



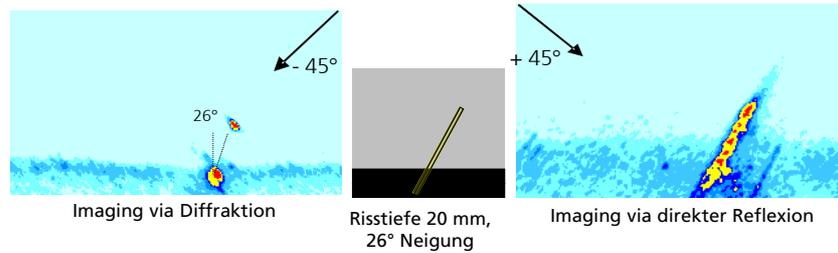
© Fraunhofer ITWM
4

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

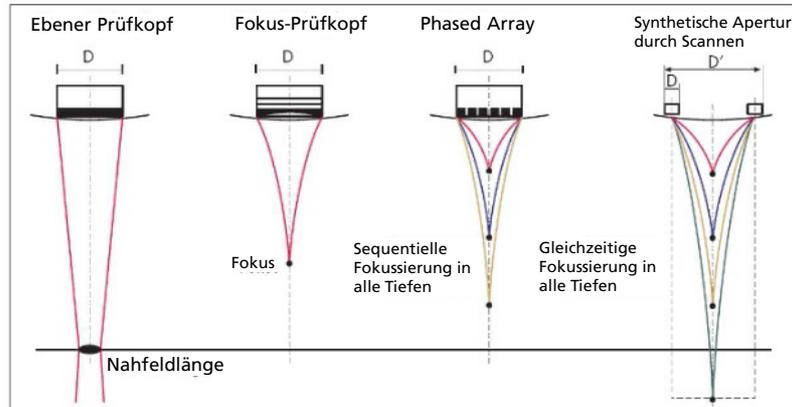
Imaging eines geneigten Fehlers

- Impuls-Echo-Verfahren
- Kontakttechnik
- Einschallwinkel + 45° oder -45°



Synthetische Apertur Fokus Technik SAFT Grundlagen

Fokussierung mittels Synthetischer Apertur



© Fraunhofer ITWM
7

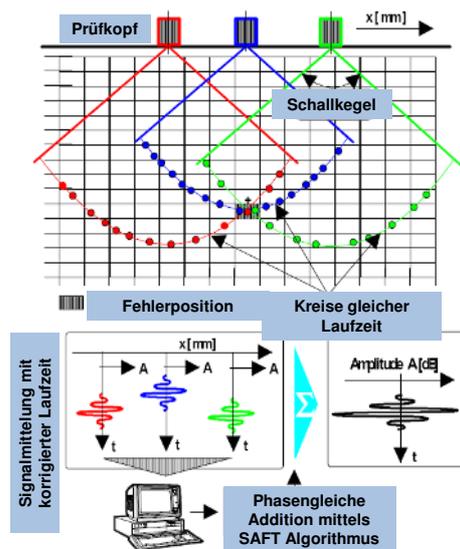
Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

SAFT - Prinzip

Rekonstruktion

- Auswertevolumen/-ebene wird in Voxel/Pixel unterteilt
- Die aufgezeichneten Signalamplituden werden entsprechend den Laufzeiten und dem Divergenzwinkel in den Voxeln/Pixeln aufaddiert und gespeichert
- Verstärkung der Nutzsignale (Reflektor) durch kohärente Überlagerung und Reduzierung der Rauschteile durch inkohärente Überlagerung
- Der nominelle Einschallwinkel muss berücksichtigt werden

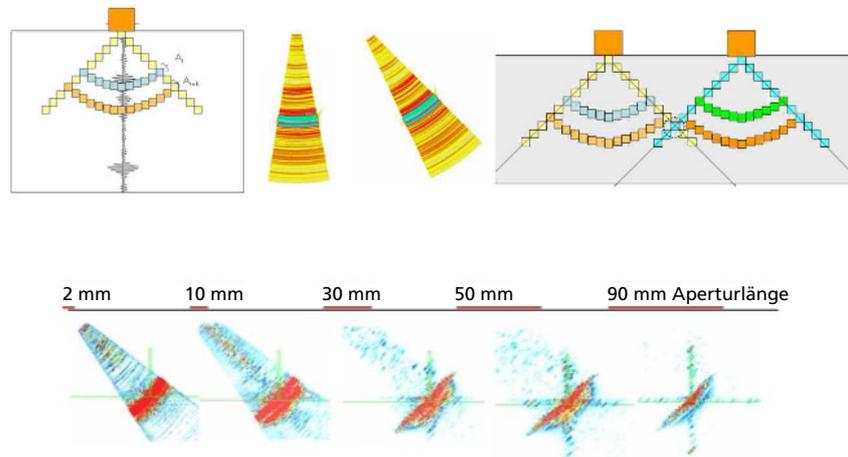


© Fraunhofer ITWM
8

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Aufbau eines SAFT-Rekonstruktionsbildes



© Fraunhofer ITWM
9

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

SAFT – Einige Details

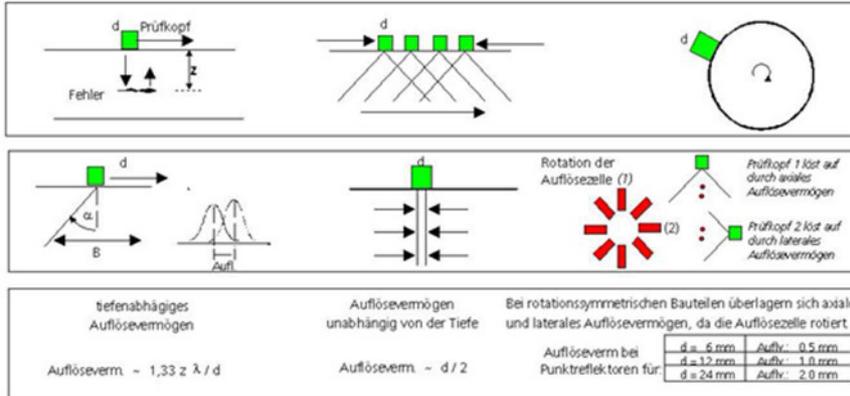
- Berücksichtigung folgender Informationen der Ultraschalldaten
 - Amplitude
 - Laufzeiten
 - Phase
- L-SAFT: Linien-Scan
- (3D-) SAFT: Mäander- oder Kammfahrt
- Off-line Auswertung
- Akquisition und Digitalisierung der Hochfrequenz-A-Scans
- Erweiterung der Apertur durch äquidistantes Scannen
- Kleine Voxel zur Erhöhung der Auflösung
- Kleiner Prüfkopfdurchmesser => bessere laterale Auflösung
- Größerer Schallbündelöffnungswinkel => besseres SNR

© Fraunhofer ITWM
10

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Vergleich - SAFT-Auflösung



Quelle: Fraunhofer IZFP

© Fraunhofer ITWM
11

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

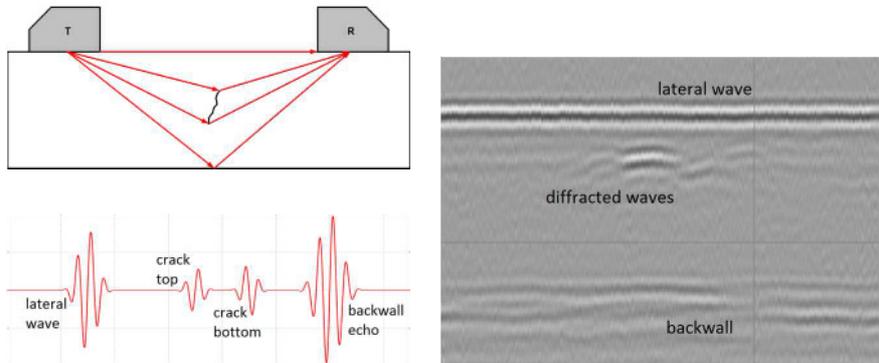
Time-of-Flight Diffraction TOFD Grundlagen

© Fraunhofer ITWM
12

Competence in NDT&E

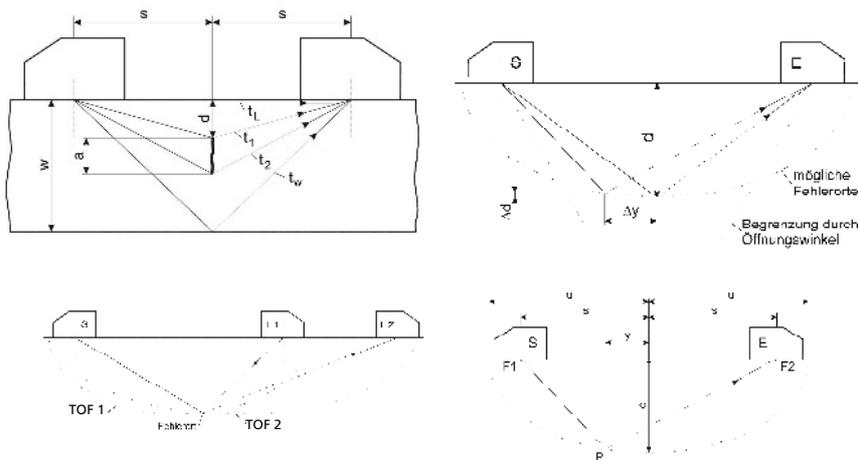
Fraunhofer
ITWM

Prinzip der Time-of-Flight Diffraction Technique TOFD



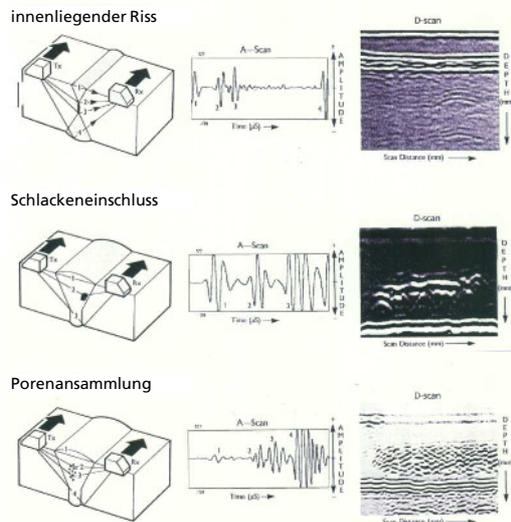
- Risspitzen signale liegen ca. 20 dB bis 30 dB unter den direkt reflektierten Signalen

Fehlerort und -größe aus geometrischen Betrachtungen



Quelle: K. Matthies, D. Gohlke, TOFD – Eine kritische Betrachtung, DGZfP-Berichtsband BB 120-CD (2009)

TOFD-Signale verschiedener Fehlertypen



Quelle: AEA Sonomatic

© Fraunhofer ITWM
15

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Winkelabhängigkeit der Risspitzen-Signale

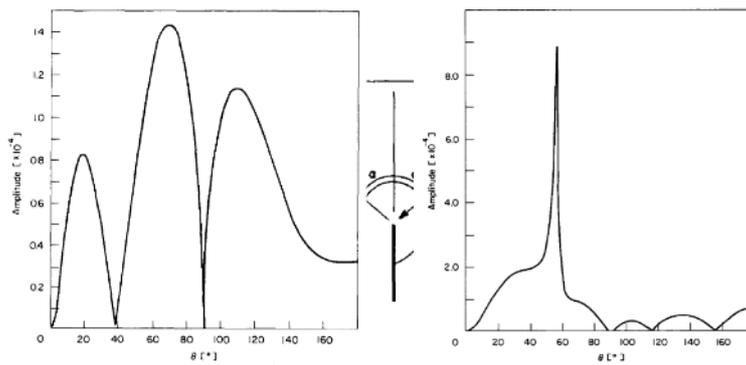


Fig. 14 Amplitude of the diffracted compression wave from a symmetrically placed defect at a depth of 50 mm with negligible attenuation. Note: values of θ up to 90° correspond to diffraction from the bottom of the crack, θ greater than 90° gives the signal diffracted from the top of the crack.

Fig. 17 Amplitude of the diffracted shear wave from a symmetrically placed defect, at a depth of 60 mm, with an attenuation of 2 Np m^{-1} .

Quelle: J.A. Ogilvy, J.A.G. Temple, Ultrasonics, **21**, 259-269 (1983)

© Fraunhofer ITWM
16

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Optimale Einschallwinkel und Phaseninformation

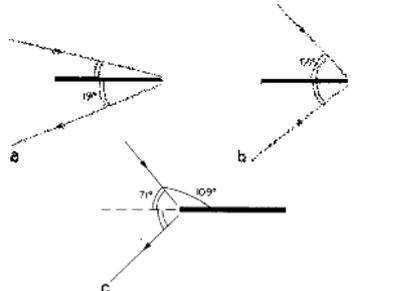


Fig. 19 Optimum angles for detection of a symmetrically placed defect using compression waves, with negligible attenuation

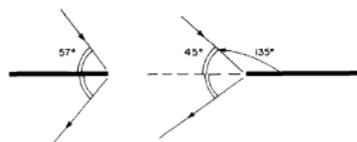


Fig. 20 Optimum angles for detection of a symmetrically placed defect using shear waves

Quelle: J.A. Ogilvy, J.A.G. Temple, Ultrasonics, 21, 259-269 (1983)

- Phasenunterschied für Longitudinalwellen von 180° für obere und untere Risspitze
- kein einfacher Zusammenhang für Transversalwellen, siehe z.B. Fig. 22

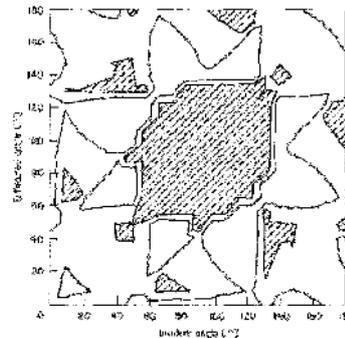


Fig. 22 Contour plot representing the phase of the wave function spread out over the top and bottom of a crack when shear waves are incident. The shaded areas represent the value of incident and diffracted angles for which the phase difference is a multiple of 2π .

© Fraunhofer ITWM
17

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Vergleich – Auflösung TOFD

Detectability of surface-connected cracks for IE and TOFD probe arrangements as a function of crack depth extension



Rißtiefe	Pulsecho	TOFD
6λ	<p>Rißspitze Winkelspiegel Rißspitze</p>	<p>Rißspitze</p>
1λ	<p>Winkelspiegel Rißspitze</p>	<p>V-Durchschallung Rißspitze</p>
kein RiB		<p>V-Durchschallung</p>

Quelle: Fraunhofer IZFP

© Fraunhofer ITWM
18

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Vor- und Nachteile des TOFD-Verfahrens

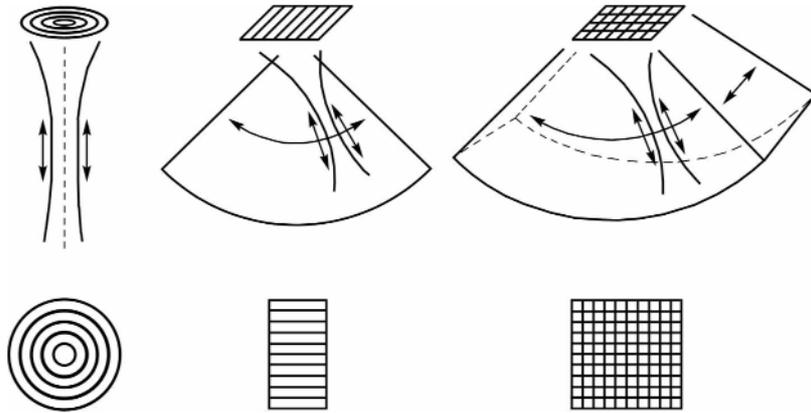
- Schnelle Prüfung
- Unterschiedliche Anordnungen: Variation von Prüfkopfabstand, Einschallwinkel, ...
- Prüfzeit unabhängig von der Wandstärke
- Optimierung einfacher im Vergleich zu IE-Verfahren

... aber:

- Rissspitzensignale 20 bis 30 dB unter den geometrisch reflektierten Signalen
- Tot-Zonen nahe der Oberfläche (siehe EN 583-6)
- Prüfergebnisse müssen richtig interpretiert werden
- Gut ausgebildete und erfahrene Prüfer sind erforderlich
- Oberfläche und Ankoppelbedingungen haben starker Einfluss
- Schweißnähte müssen von beiden Seiten zugänglich sein
- Kleine Materialinhomogenitäten können Risse ‚vortäuschen‘

Phased Array Grundlagen

Verschiedene Typen von Array-Sensoren

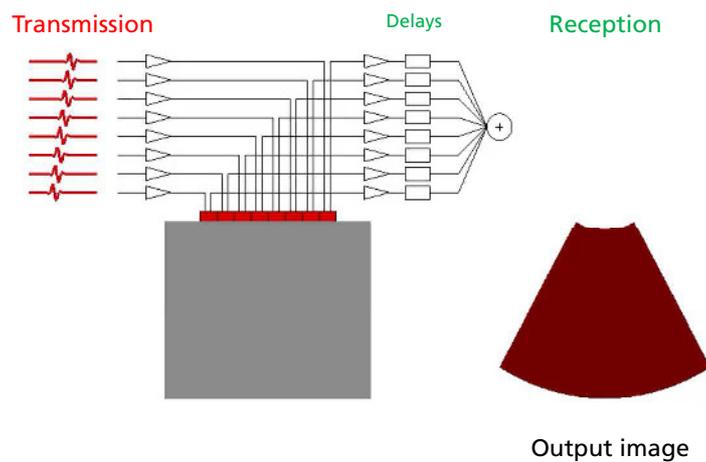


© Fraunhofer ITWM
21

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Klassisches Beam-Forming



Freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

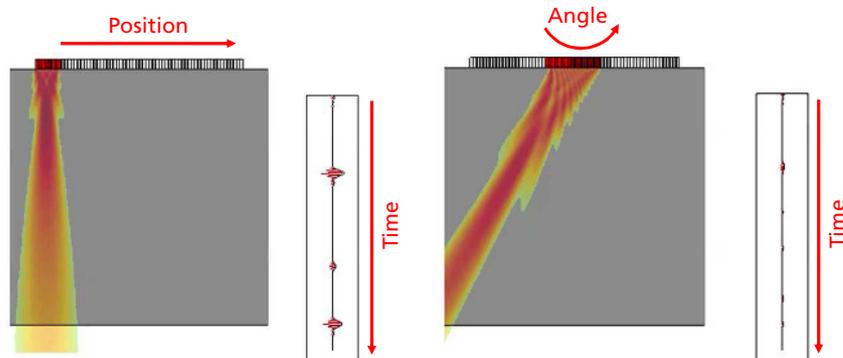
© Fraunhofer ITWM
22

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Klassisches Beam-Forming

- 'Durchschieben' der Apertur und der Winkel-B-Scans



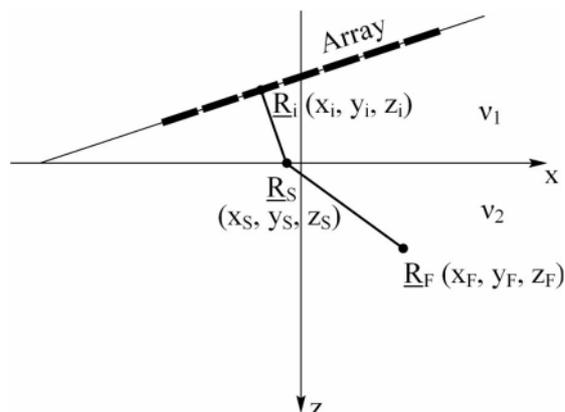
Freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

© Fraunhofer ITWM
23

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Berechnung der Verzögerungszeiten (Delay Laws) – Fermatsches Prinzip



© Fraunhofer ITWM
24

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Klassisches Beam-Forming

Verschiedene Entwicklungen über die Jahre ...

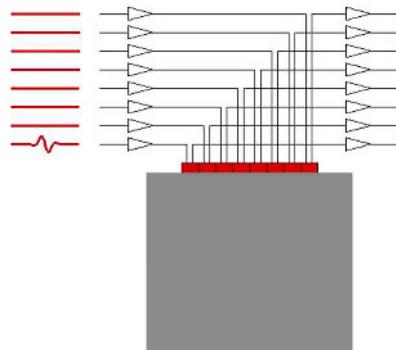
- Fokussieren
- Digitale statt analoge Elektronik
- Dynamic Depth Focusing (DDF)

... aber das grundlegende Prinzip bleibt dasselbe

- Gleichzeitige Anregung mehrerer Elemente
- Physikalisches Schallfeld entsteht im Prüfobjekt
- Delay-and-Sum der Empfangselemente => A-Scan
- A-Scans Seite-an-Seite aufgetragen => B-Scan

Full-Matrix-Capture

Transmission



Reception

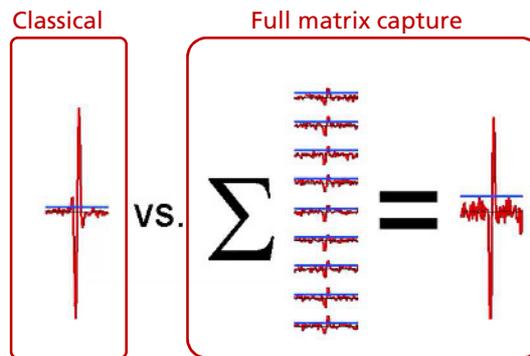
Output

Freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

Full-Matrix-Capture

Signal-Rausch-Verhältnis

- kohärent – identisch mit dem klassischen Beam-Forming (BF)
- inkohärent – um den Faktor \sqrt{N} schlechter bei gleichem Algorithmus (N ist die Anzahl der gleichzeitig angesteuerten Elemente beim klassischen BF)



Freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

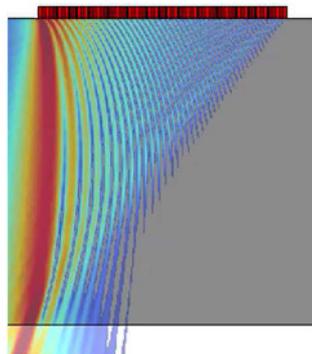
© Fraunhofer ITWM
27

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Lineares Delay-and-Sum Imaging

Total Focusing Method (TFM, Holmes et al., NDT & E Int., 38, 701-11, 2005) –
fokussieren auf jeden Bildpunkt in Transmission und Empfang



Freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

© Fraunhofer ITWM
28

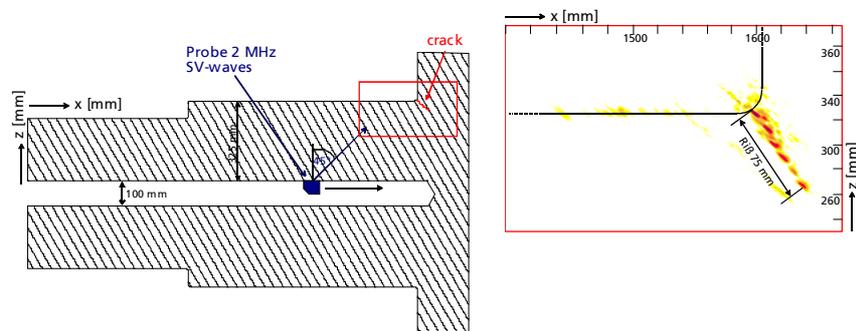
Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

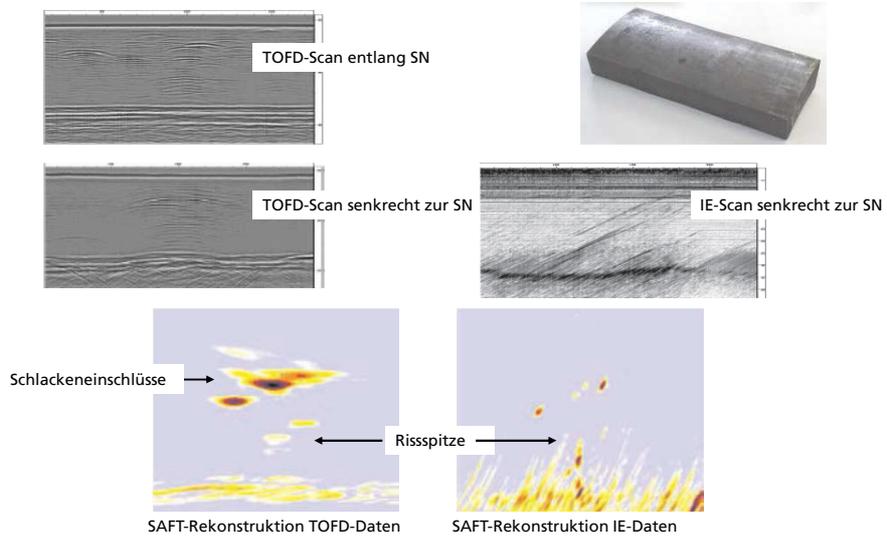
Klassische Beispiele

- ZfP an industriellen Bauteilen
- SAFT für komplexe Medien
- Phased Array - Volume Focusing

Central Bore Hole Inspection and SAFT-Reconstruction of the Detected Crack



Ermüdungsrisse in einem plattierten Rohrsegment



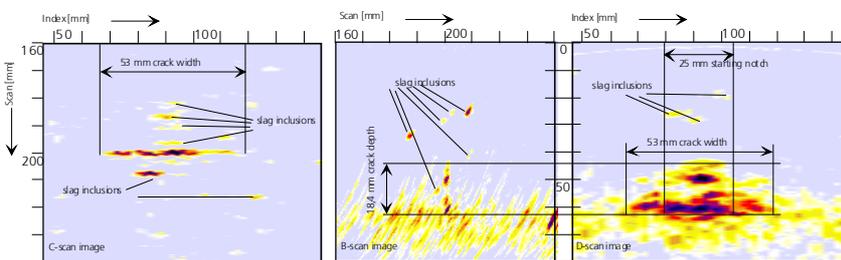
© Fraunhofer ITWM
31

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

SAFT-Rekonstruktion von Ermüdungsrissen in einem plattierten Rohrsegment

5 MHz - Longitudinalwellen - 60° Einschallwinkel



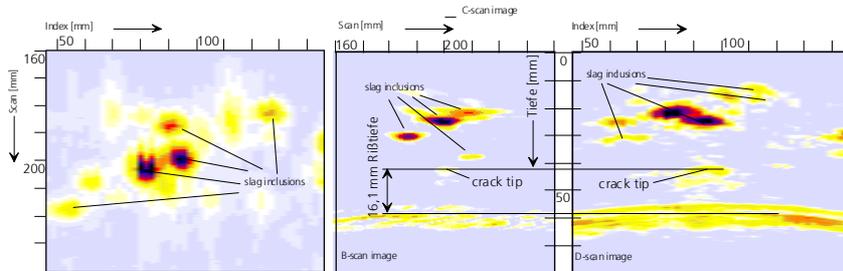
© Fraunhofer ITWM
32

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

SAFT-Rekonstruktion der TOFD-Daten (Pitch-Catch)

5 MHz - Longitudinalwellen - 60° Einschallwinkel



© Fraunhofer ITWM
33

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

SAFT-anisotrop – Validierung an einem CFRP-Testblock mit Modellfehlern

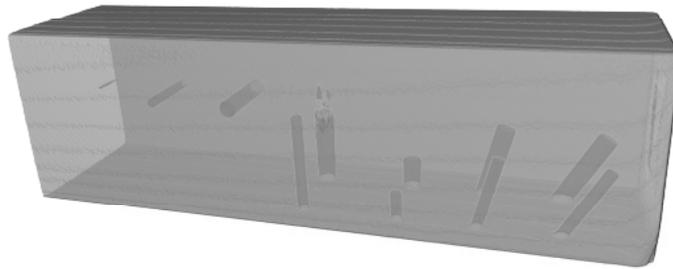


© Fraunhofer ITWM
34

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

CT-Bild des CFRP-Testblocks mit Modellfehlern



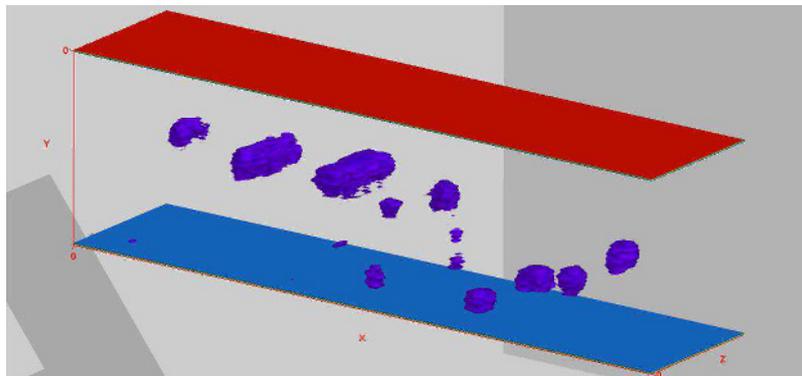
✚ Länge 155 mm, Höhe 48 mm, Breite 40 mm

© Fraunhofer ITWM
35

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Ultraschall-Abbildung des CFRP-Testblocks mittels SAFT-anisotrop



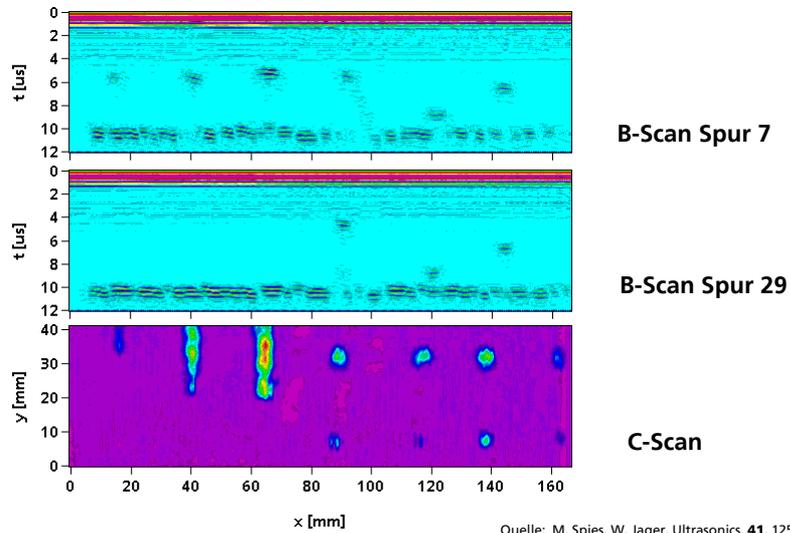
Quelle: M. Spies, W. Jager, Ultrasonics, **41**, 125-131 (2003)

© Fraunhofer ITWM
36

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

HF-Daten



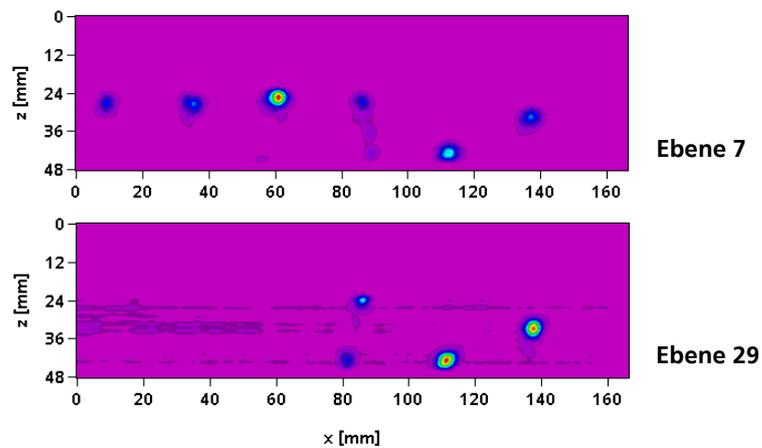
Quelle: M. Spies, W. Jager, Ultrasonics, 41, 125-131 (2003)

© Fraunhofer ITWM
37

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

3D SAFT-Rekonstruktion - anisotrop



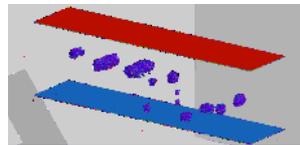
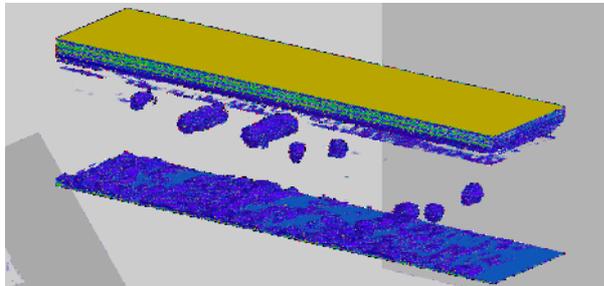
Quelle: M. Spies, W. Jager, Ultrasonics, 41, 125-131 (2003)

© Fraunhofer ITWM
38

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

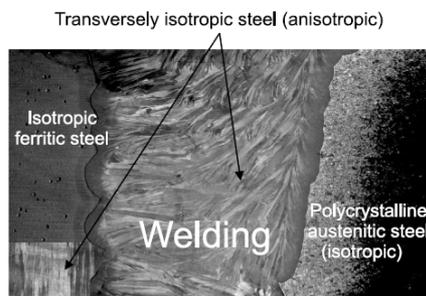
3D SAFT-Rekonstruktion - anisotrop



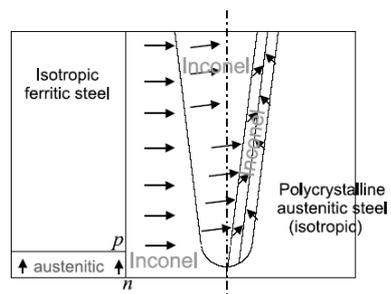
SAFT-Ergebnis ohne Rückwand

Quelle: M. Spies, W. Jager, Ultrasonics, 41, 125-131 (2003)

Reale Mischnaht und Mikrostruktur-Modell – anisotrop und inhomogen



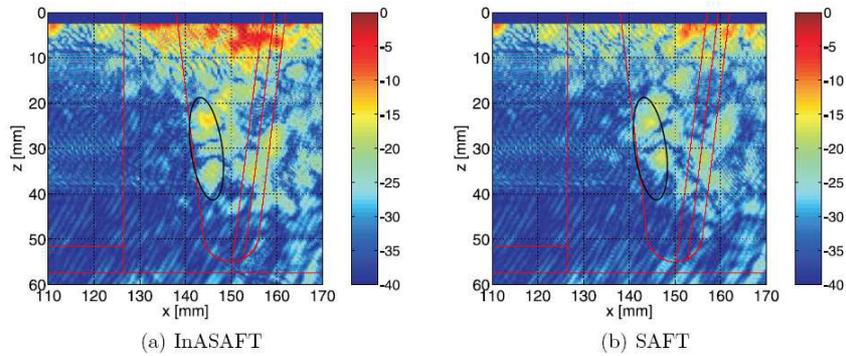
(a) physical



(b) "blue-print" modelling

Quelle: A. Shivinski, K.J. Langenberg, Ultrasonics, 46, 89-104 (2007)

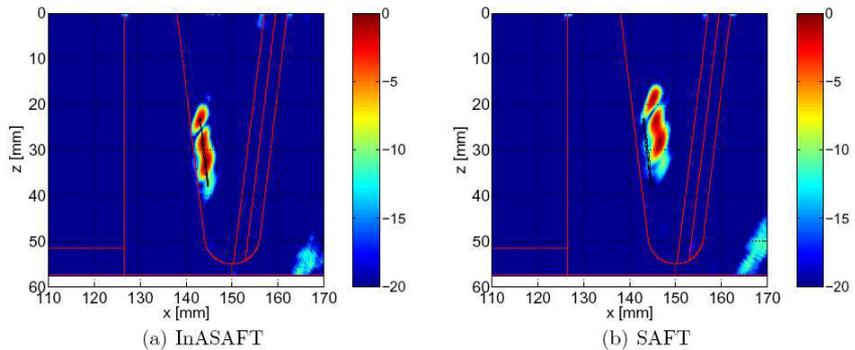
SAFT-Rekonstruktion – konventionell und angepasst



- höheres Signal-Rausch-Verhältnis und verbesserte Lokalisierung

Quelle: A. Shrivinski, K.J. Langenberg, Ultrasonics, **46**, 89-104 (2007)

SAFT-Rekonstruktion - konventionell und angepasst - synthetische Daten



- verbesserte Lokalisierung

Quelle: A. Shrivinski, K.J. Langenberg, Ultrasonics, **46**, 89-104 (2007)

Schallschwächende Materialien - Beton

Bohrkern aus einem Brückenbelag, maximale Zugschlagsgröße 32 mm



f: 80 ... 150 kHz
 λ : 50 ... 25 mm



40 mm

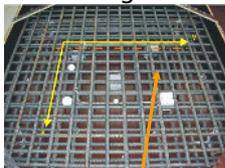
© Fraunhofer ITWM
43

Competence in NDT&E

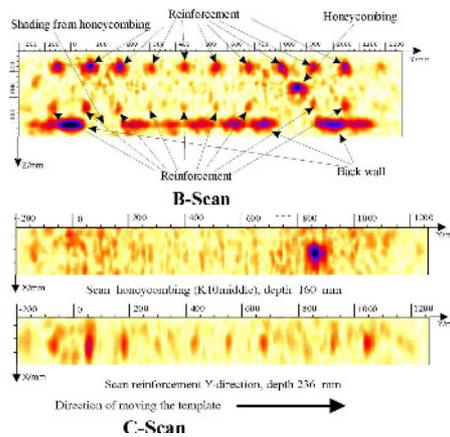
Fraunhofer
ITWM

SAFT-Bildgebung an Beton

Testkörper:
 Bewehrung 22 mm
 Bewehrungsabstand 12,5 cm



Scan-Linie 1 mit Array



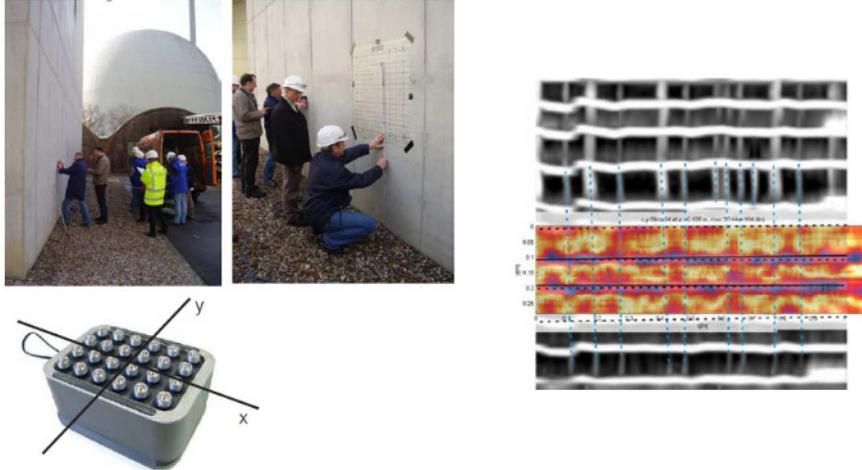
Quelle: Krause et al. „Ultrasonic Imaging of Concrete Elements: State of the Art Using 2D Synthetic Aperture“, Conf. on NDT in Civil Eng. 2003

© Fraunhofer ITWM
44

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Vor-Ort-Inspektion an hochbewehrten Betonwänden



Quelle: Prüfbericht BAM-Fraunhofer ITWM, Messeinsatz Biblis (2010)

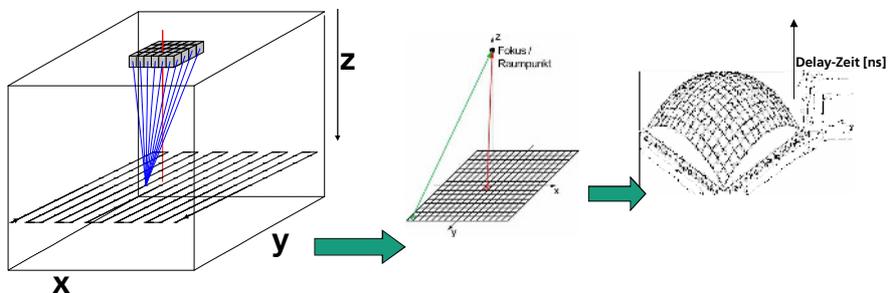
© Fraunhofer ITWM
45

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Volume Focusing - Elektronisches Fokussieren mit Mäander-Scan

- Scan-Pfad in einer Ebene als Mäander, sukzessives Durchschreiten der Ebenen in z-Richtung
- Anpassung der Verzögerungszeiten an jedem Raumpunkt

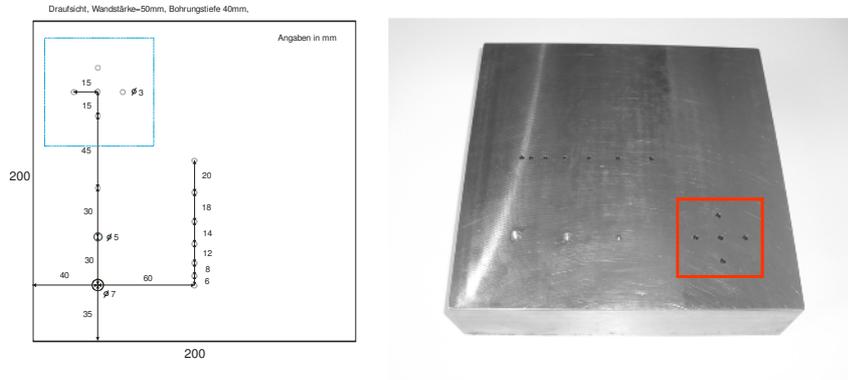


© Fraunhofer ITWM
46

Competence in NDT&E

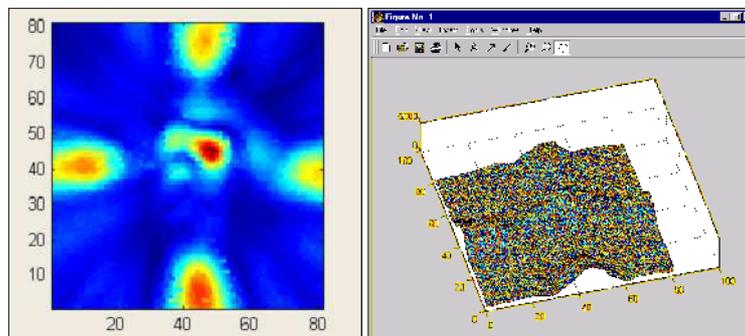
Fraunhofer
ITWM

Duplex-Testkörper mit definierten Fehlern (FBB, Nut)



3D-Fokussierung und Imaging

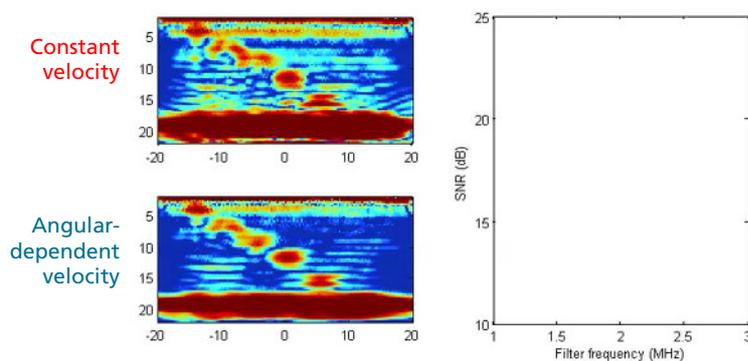
Abbildung der Flachbodenbohrungen in Kreuzanordnung mit Phased-Array-Technik (lineare Amplitudendarstellung, Maße in [mm])



Neuere Anwendungen und Entwicklungen

- Total Focusing Method – CFRP, Schweißnaht
- SAFT-Imaging interkristalliner Spannungskorrosionsrisse
 - SAFT- und TOFD-Schweißnahtprüfung

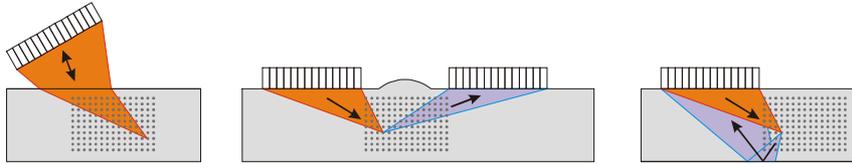
Linear Delay-and-Sum Imaging – Composite Inspection (Li et al., QNDE 31, 897-904, 2011)



Courtesy of Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

Linear Delay-and-Sum Imaging

Generalisation of TFM to other configurations



All monolithic transducer configurations have a TFM array-based equivalent

Courtesy of Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

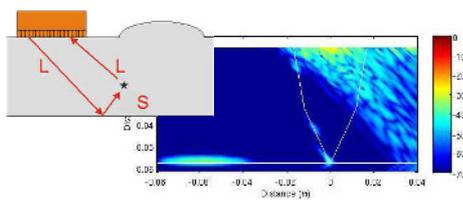
© Fraunhofer ITWM
51

Competence in NDT&E

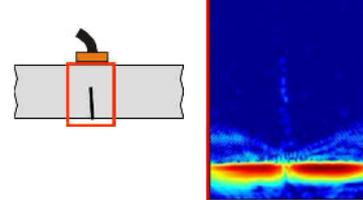
Fraunhofer
ITWM

Linear Delay-and-Sum Imaging – Further Examples (Zhang et al., NDT&E Int., 43, 123-33, 2010)

Example TFM images

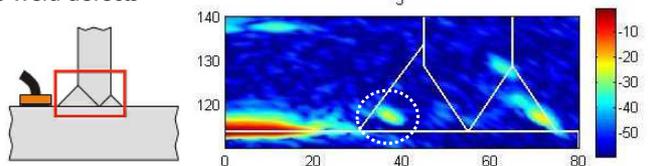


Fatigue crack



Multi-modal half skip weld defects

Weld defect



Courtesy of Prof. Paul Wilcox, University of Bristol, UK

© Fraunhofer ITWM
52

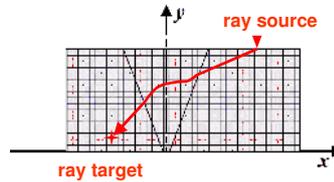
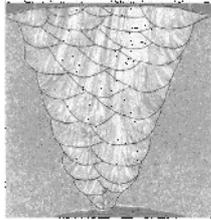
Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Linear Delay-and-Sum Imaging

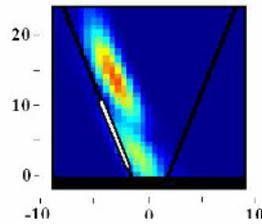
Correction for (known) anisotropy in austenitic weld

Large anisotropic grains deviate ultrasound beam.

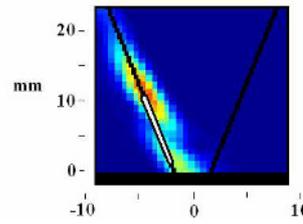


Ray model predicts beam deviation.

Conventional image



Corrected image



Courtesy of Prof. Mike Lowe, Imperial College London, UK

© Fraunhofer ITWM
53

Competence in NDT&E

Fraunhofer
ITWM

Besonderheiten für die Rohr-Inspektion

- Zwei-Kanal-System (bis zu vier Kanäle möglich)
- Winkeleinschallung
- Pitch-Catch Modus (ähnlich der TOFD-Applikation)
- Off-line Wiederholung der A-Scans der aufgenommenen Daten
- Klassisches TOFD
- Berücksichtigung gekrümmter Oberflächen (Rohrgeometrie)
- Rekonstruktion unter Berücksichtigung der Echo-Skips (halber/ganzer Sprung)
- Ziel: Rekonstruktion der Fehlergeometrie



Quelle: H. Rieder et al., Berichtsband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

© Fraunhofer ITWM
54

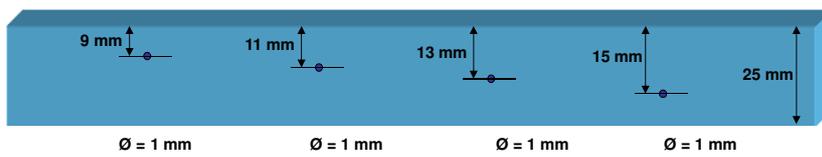
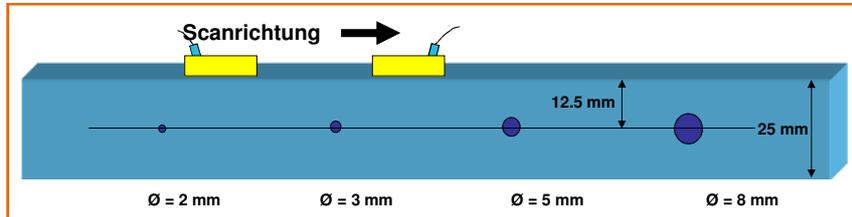
Competence in NDT&E

FAKULTÄT FÜR INGENIEURWISSENSCHAFTEN
FAKULTÄT FÜR INGENIEURWISSENSCHAFTEN
FAKULTÄT FÜR INGENIEURWISSENSCHAFTEN

FAKULTÄT FÜR INGENIEURWISSENSCHAFTEN

Fraunhofer
ITWM

Platten mit Zylinderbohrungen (Länge 30 mm)



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtsband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

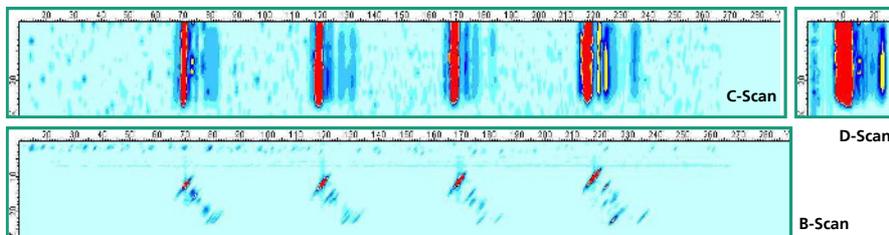
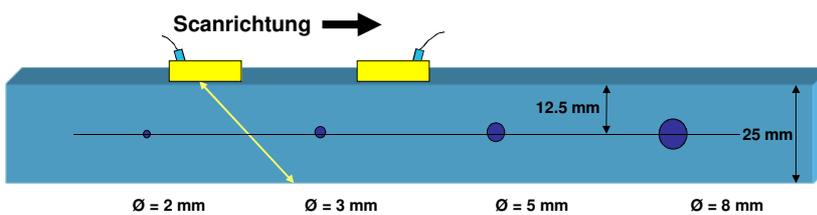
© Fraunhofer ITWM
55

Competence in NDT&E



Fraunhofer
ITWM

Datenaufnahme: Zyklus 0, Impuls-Echo +45°



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtsband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

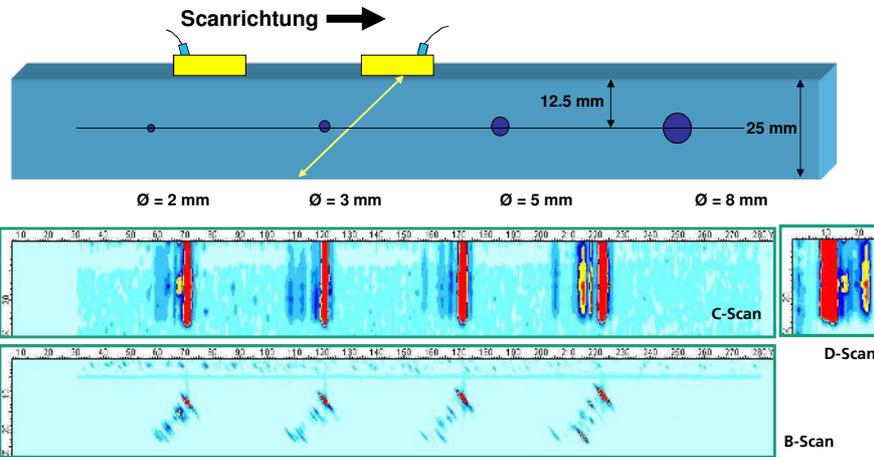
© Fraunhofer ITWM
56

Competence in NDT&E



Fraunhofer
ITWM

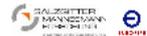
Datenaufnahme: Zyklus 1, Impulse-Echo -45°



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

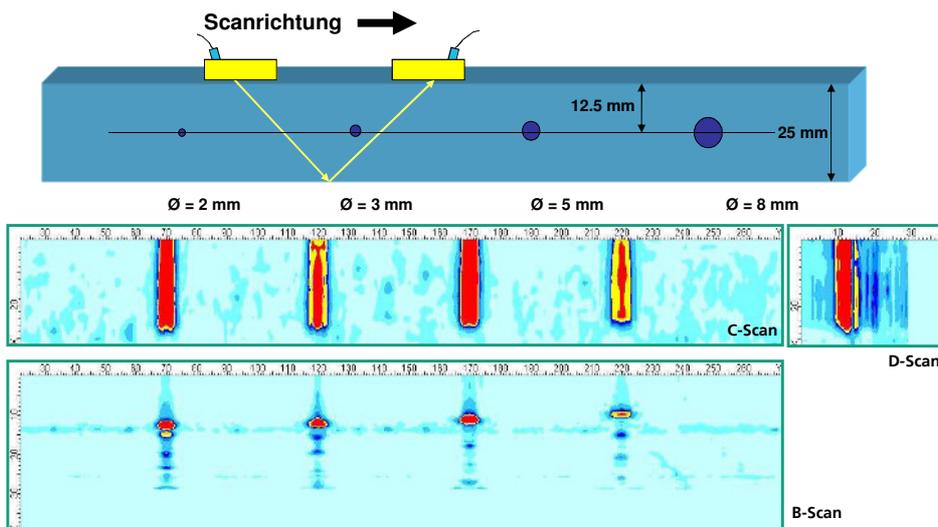
© Fraunhofer ITWM
57

Competence in NDT&E



Fraunhofer
ITWM

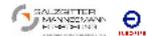
Datenaufnahme: Zyklus 2, Pitch-Catch 45°



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

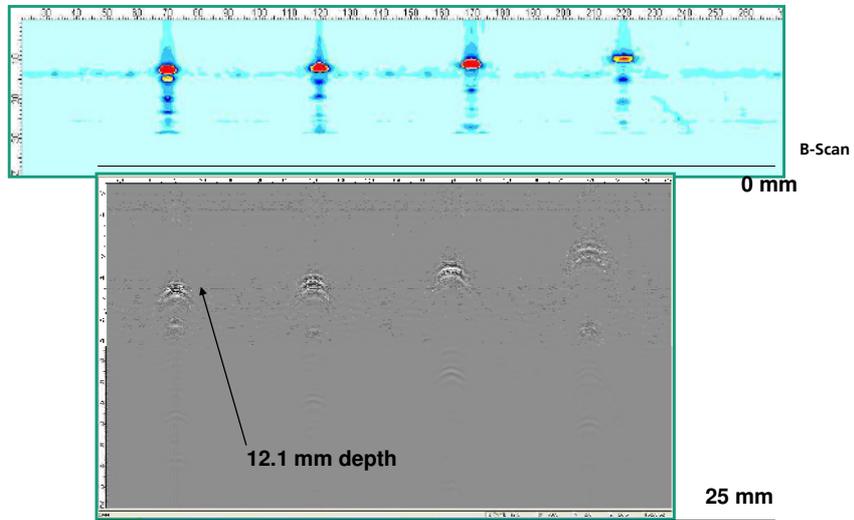
© Fraunhofer ITWM
58

Competence in NDT&E



Fraunhofer
ITWM

Diffraktionsbild (TOFD mit Transversalwellen)



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

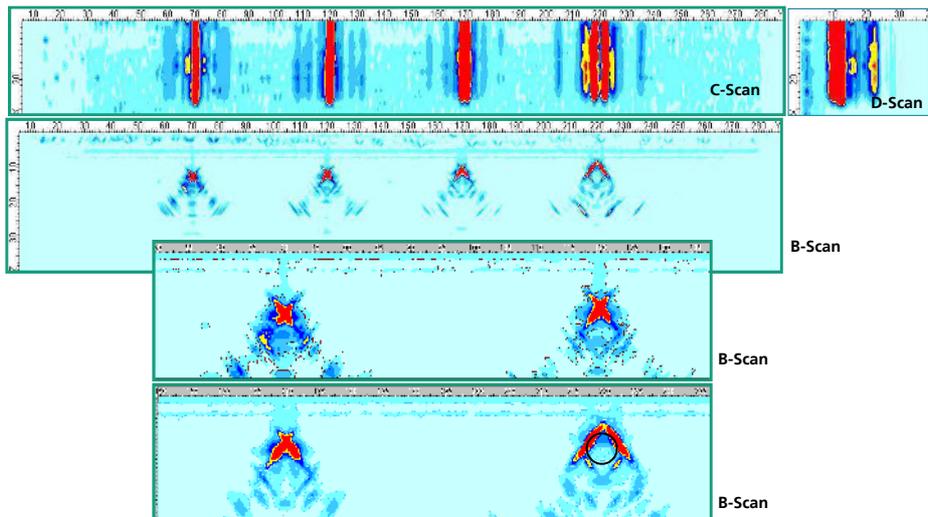
© Fraunhofer ITWM
59

Competence in NDT&E



Fraunhofer
ITWM

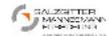
Summation der Zyklen 0-2



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

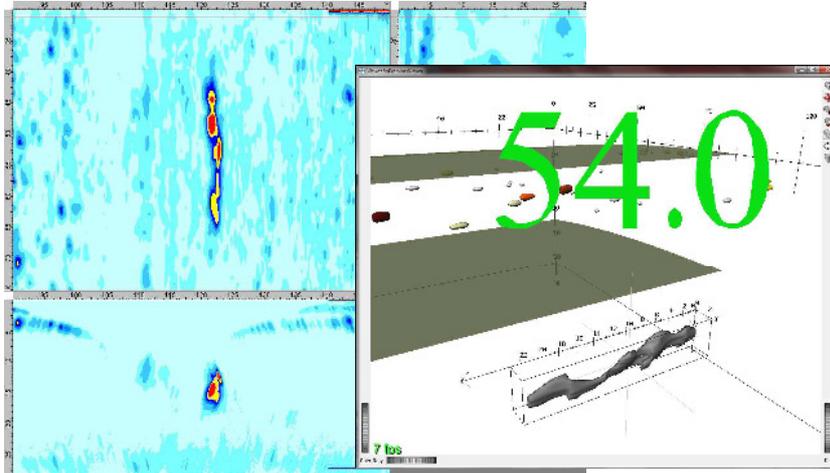
© Fraunhofer ITWM
60

Competence in NDT&E



Fraunhofer
ITWM

**SAFT-Imaging: Rohr Nr. 321812, 1420 x 27.7 mm,
Schlacke, Position 12700 mm**



Quelle: H. Rieder et al.; Berichtsband BB 122-CD DGZfP-Jahrestagung (2010), DGZfP, Berlin, Mi.2.A.1

© Fraunhofer ITWM
61

Competence in NDT&E

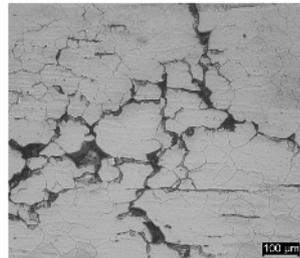
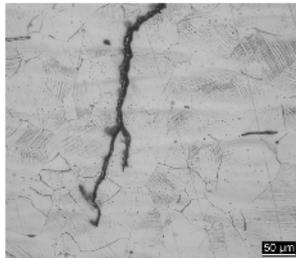


Fraunhofer
ITWM

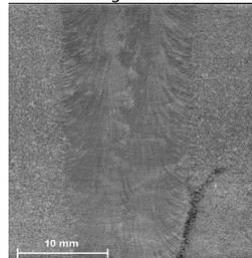
Geometrie interkristalliner Spannungskorrosionsrisse

- Nuten und Schwingrisse mit glatter Oberfläche
- Spannungskorrosionsrisse
 - Verlauf entlang der Korngrenzen
 - Verzweigungen und Verästelungen, daher raue, unregelmäßige Rissfläche

Schwingriss (links) und IKSQR (Mitte) in austenitischem Grundwerkstoff



IKSKR entlang aust. Schweißnaht



Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

© Fraunhofer ITWM
62

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Abmessungen der Proben und der Reflektoren

Probe	Größe			Fehler- typ	Reflektor				y-Position [mm]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]		Tiefe				
					links [mm]	rechts [mm]	Mittelwert [mm]	Toleranz [mm]	
P29	360	44	32	Riss	5/6	8/5	6	+/- 2	170
P30	360	44	32	Riss	6/7	5/5	5.75	+/- 1.25	179
P35	350	40	32	Riss	19	13	16	+/- 3	172
P36	320	40	32	Riss	9/10	12/10	10.25	+/- 1.75	151
P37	319	40	32	Riss	17	10	13.5	+/- 3.5	150
P38	326	46	32	Riss	1.5	3.5	2.5	+/- 1	154
P39	326	41	32	Riss	4	3	3.5	+/- 0.5	155
P22	355	38	32	Nut	.....	.....	2	.....	230
P22	355	38	32	Nut	10	10	10	.....	125
P27	354	36	32	Nut	2	3	4	.....	229
P27	354	36	32	Nut	4	5	6	.....	125

Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

© Fraunhofer ITWM
63

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Farbeindringprüfung und Risslängen - Probe 35 Röntgenprüfung



Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

© Fraunhofer ITWM
64

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Farbeindringprüfung und Risslängen - Probe 36 Röntgenprüfung



links: ca. 10 mm

Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZFP-Jahrestagung (2011), DGZFP, Berlin, Di.3.A.1

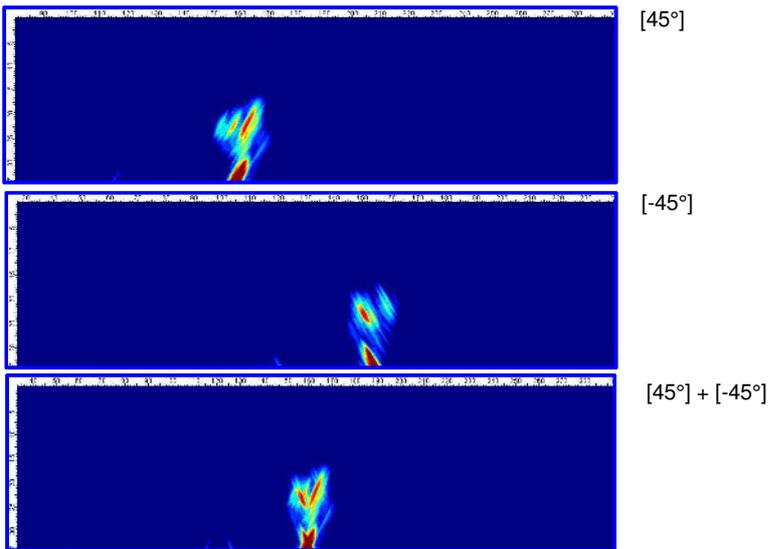
© Fraunhofer ITWM
65

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Probe P35 – Überlagerung der SAFT B-Bilder



Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZFP-Jahrestagung (2011), DGZFP, Berlin, Di.3.A.1

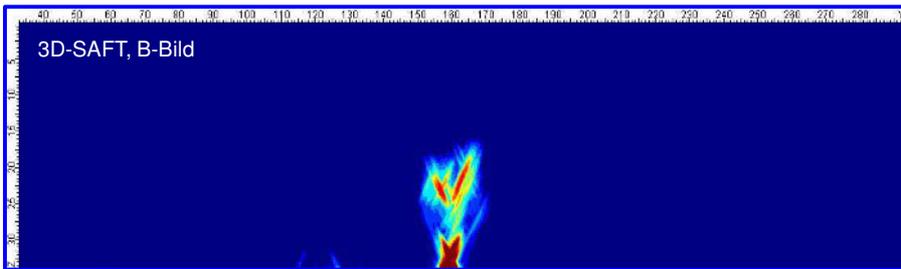
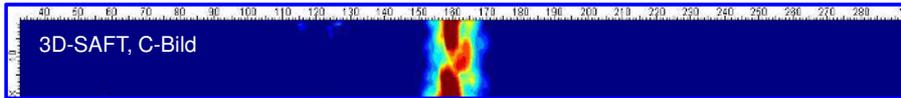
© Fraunhofer ITWM
66

Competence in NDT&E

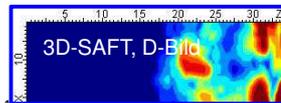
MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Probe P35 - SAFT Überlagerung - B-, C-, D-Bild



Rekonstruktion -45°/45°, Filter 2 MHz, 3D-SAFT++:
Registrierpegel bezogen auf MAX: -12 dB



Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

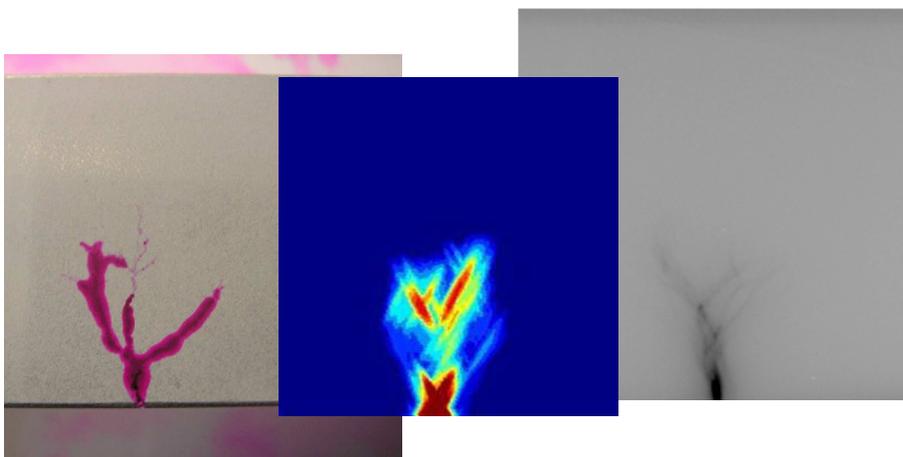
© Fraunhofer ITWM
67

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Rot-Weiß, Röntgen, Ultraschall - Probe 35



Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

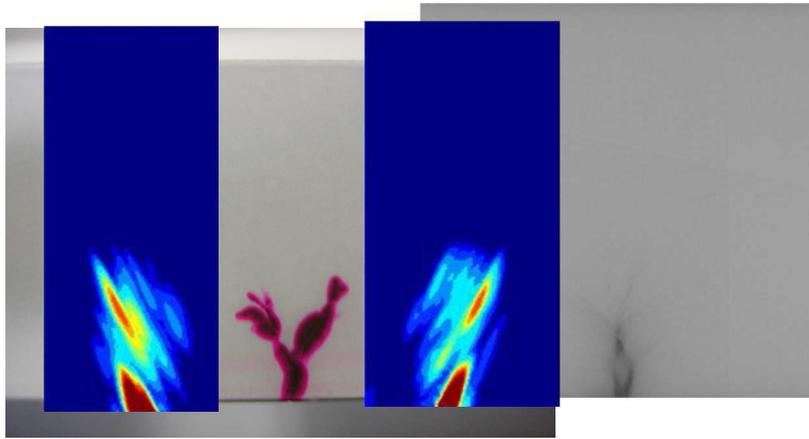
© Fraunhofer ITWM
68

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Rot-Weiß, Röntgen, Ultraschall - Probe 36



Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

© Fraunhofer ITWM
69

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Vergleich der Risslängen

Probe	Risstiefe	Risstiefe SAFT
P22	2/10 mm	2/10 mm
P27	2/4 mm	2/4.5 mm
P29	5-8 mm	5.5-7.5 mm
P30	5-7 mm	5-6 mm
P35	13-19 mm	13-16 mm
P36	9-12 mm	10-13 mm
P37	10-17 mm	8-10 mm
P38	1.5-3.5 mm	- mm
P39	3-4 mm	- mm

Quelle: M. Spies et al.; Berichtsband BB-127-CD DGZfP-Jahrestagung (2011), DGZfP, Berlin, Di.3.A.1

© Fraunhofer ITWM
70

Competence in NDT&E

MPA
Universität Stuttgart

Fraunhofer
ITWM

Zusammenfassung

■ Synthetische Apertur Fokus Technik SAFT

- Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnis
- Besonders vorteilhaft bei schallschwächenden Materialien

■ Time-of-Flight Diffraction TOFD

- Schnell und effizient für spezifische Fehlerorientierungen
- Liefert zusätzliche Informationen

■ Phased-Array Techniken

- Vielfältige Anregungs- und Auswertemöglichkeiten
- Zahlreiche Sensor-Anordnungen

■ **Email:** martin.spies@itwm.fraunhofer.de

■ **Web:** www.itwm.fraunhofer.de