

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich bildgebender Verfahren

Anton SCHÖNBAUER¹, Heiko KÜCHLER², Alexander ZINK²,
Wilbert ROOYAKKERS²

¹ Evident Europe GmbH - Zweigniederlassung Österreich, Wien, Österreich

² Evident Europe GmbH, Hamburg

Kontakt E-Mail: anton.schoenbauer@evidentscientific.com

Kurzfassung

ToFD-, Phased Array- (PAUT) und FMC-TFM und TFM-PCI Ultraschall

- *) welche Möglichkeiten bieten die einzelnen bildgebenden Verfahren bei der Schweißnahtprüfung im Vergleich und wo sehen wir auch deren Limits?
- *) eine Schweißnaht mit klassischen Fehlerbildern wie Poren, Bindefehlern, Rissen aus der Oberfläche oder im Inneren, fehlende Durchschweißung, etc. und vieles kann dargestellt sowie in seinen Dimensionen (Tiefenlage, Ausdehnung, etc.) sehr gut vermessen werden.
- *) wo liegen die eventuellen Vorteile am „neuen“ FMC-TFM“ Verfahren im Vergleich zu Phased Array Ultraschall (PAUT)?
- *) kann man so mit Ultraschall im Sinne der Arbeitssicherheit (ALARA) mehr und mehr die Röntgenprüfung reduzieren?

In diesem Beitrag werden bereits etablierte und nach ISO sowie ASTM genormte Prüfmethoden (TOFD, Phased Array, FMC/TFM) und deren Möglichkeiten zu unterschiedlichen Fehlermustern dargestellt.

Durch diese Methoden sind auch die Grenzen bei der Ultraschallprüfung verschoben bzw. neu definiert und somit die Möglichkeiten wesentlich besser.

Alle diese Verfahren erlauben die Aufzeichnung der Prüfdaten für eine vollständige Dokumentation wie auch beim Röntgenfilm und sogar etwas mehr – warum also auf ein Röntgenfenster warten?



EVIDENT

ANTON SCHÖNBAUER | MAI 2023 | ZFP DACH-JAHRESTAGUNG FRIEDRICHSHAFEN

Ultraschallprüfung von Schweißnähten

ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren

1

zuerst darf ich mich Ihnen vorstellen

Anton Schönbauer

Vertriebsspezialist ZfP & ANI



Kontaktdaten:

Evident Europe GmbH – Zweigniederlassung Österreich

Industrial Division

Milleniumtower, Handelskai 94-96, 1200 Wien

Tel: +43 676 9045227

E-Mail: Anton.Schoenbauer@evidentscientific.com

Mein beruflicher Werdegang:

- Lehre als Elektrotechniker im Maschinenbau
- Abendschule Nachrichtentechnik am TGM
- Kundenservicetechniker im Maschinenbau
- Kundenservicetechniker und später Kundenserviceleiter im Bereich Sterilisations- und Desinfektionsgeräte (Medizintechnik)
- seit August 1998 im Vertrieb für Industrieprodukte von Olympus
- seit April 2016 in der Funktion als Anwendungsspezialist im Bereich der ZfP (UT & ET jeweils in konventioneller und bildgebender Technik) sowie analytischer Geräte (RFA/XRF) als auch bei der Systemintegration
- seit 1. April 2022 unter der Fahne der global agierenden Evident Corporation.

2

Agenda

- 01** Einleitung
- 02** Anforderungen bei der Schweißnahtprüfung
- 03** die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung
- 04** verfahrenstechnische Verbesserung zum konventionellen Ultraschall
- 05** Resümee

3

01

Einleitung

4

Einleitung

Was erwartet uns?

Die „bildgebenden“ bzw. erfassenden Ultraschallverfahren mit dem Hintergrund von internationaler Normung sind:

- ToFD – Time of Flight Detection – ein leistungsstarkes aber eigentlich ein konventionelles Verfahren mit Bildgebung zur Prüfung des Volumens in einer Schweißnaht (wird aber auch z.B. bei Korrosion hinter einer Schweißnaht eingesetzt).
- Phased Array Ultraschall-Technik (PAUT) – mehrere Ultraschallschüsse in ein Bild zusammengefasst und kann dann in verschiedenen Ansichten dargestellt werden.
- FMC/TFM (Full Matrix Capture / Total Focusing Method) – totale Fokussierung an jedem Punkt im Analysefenster.
- FMC/TFM mit PCI (Phase Coherence Imaging) – wie TFM nur so wie auch bei ToFD auf die Phase und deren Beugungs- / Kohärenzsignale ausgerichtet.
- International genormte (ISO, ASTM, etc.) und anerkannte (z.B. AD2000) Verfahren.
- Verfahren die mehrere Möglichkeiten zur Erkennung von Anzeigen als der konventionelle Ultraschall dies kann bieten und dazu auch die Erfassung von Prüfdaten ermöglicht, was wiederum postoperative Analyse, datenbasierende Berichtserstellung, Datenvergleich, aber auch verschiedene Arten der Visualisierung erlaubt.

5

Einleitung

Was erwartet uns?

nun stellt Sie sich für so manchen die eine oder andere Frage, wie:

- welche Möglichkeiten bieten die einzelnen Verfahren bei der Schweißnahtprüfung?
- welche der Methoden ist ideal zur Darstellung welcher der bekannten Anzeigen?
- wo sind die jeweiligen Limits?
- kann man so mit Unterstützung dieser Methoden der Ultraschallprüfung andere ZfP Methoden ersetzen, unterstützen oder im Sinne der Arbeitssicherheit die Röntgenprüfung reduzieren und dabei ggf. auch Kosten reduzieren (Chemie, Röntgenfilme, Überstunden oder ggf. gar Nachtarbeitszeit)?

Lassen Sie uns dies jetzt gemeinsam genauer betrachten!

6

02

Anforderungen bei der Schweißnahtprüfung

7

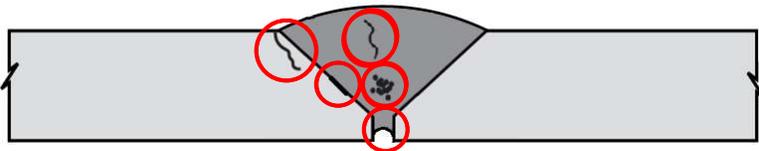
Anforderungen bei der Schweißnahtprüfung

die Gründe für die Schweißnahtprüfung – wonach suchen wir in der Schweißnaht?

Hier ein paar Beispiele:

- den Kerbriss /Decklagenanriss
- Volumensrisse
- Porositäten/Luncker im Volumen
- Anzeige an Flanke oder Wurzel
- Wurzelrückfall / ungenügende Durchschweißung

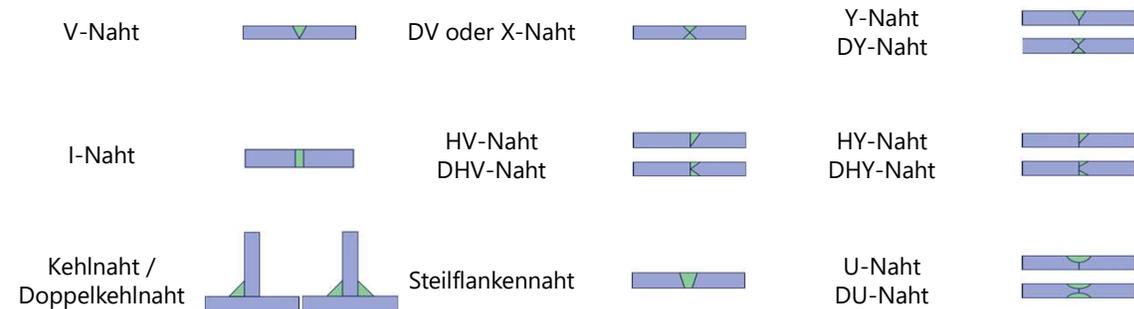
und noch nach einigem mehr



8

Anforderungen bei der Schweißnahtprüfung

mit welchen Schweißverbindungen werden wir bei der Schweißnahtprüfung konfrontiert – wo liegen dadurch zum Teil geometrischer Natur auch die „physikalischen“ Probleme?



und noch viele mehr

..... und nicht jede dieser Verbindungen kann mit jeder ZfP Prüftechnik problemlos geprüft werden!

9

Anforderungen bei der Schweißnahtprüfung

Und dann auch noch die Werkstoffe bzw. die Arbeitsbedingungen!

Nicht alle Werkstoffe erlauben alle ZfP Verfahren und bereits bei den Metallen kann die Gesamtdicke, die Korngröße und auch die Schallschwächung ein enormer Einflussfaktor für die Limits einer Prüfung sein.

- Die Prüfbedingungen und deren zeitlicher Ablauf, die z.B. ein Röntgen nicht zulassen?
- was wenn der Bauteil mit der zu prüfenden Schweißnaht dicker als 100mm ist?
- oder auch dünner 8 mm ist?
- der Werkstoff eine Ultraschallprüfung über den Sprung nicht zulässt?
- der Platz neben der Schweißnaht für die Prüfkopfplatzierung nicht ausreicht?
- man Schweißnähte an Kunststoffrohren prüft?

Diese und noch viele andere Fragen kann die Auswahl des Prüfverfahrens und auch des notwendigen Aufbaus innerhalb des Verfahrens stark beeinflussen!

Wir entscheiden uns jetzt also für Ultraschall, aber für welche Methode?

10

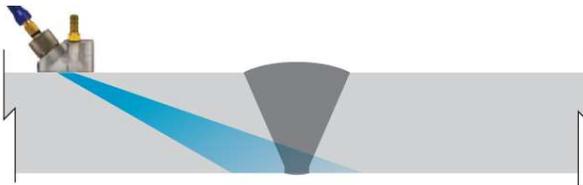
03

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

11

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

Am Anfang steht der konventionelle Ultraschall mit fixem Einschallwinkel je Prüfkopf!



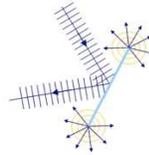
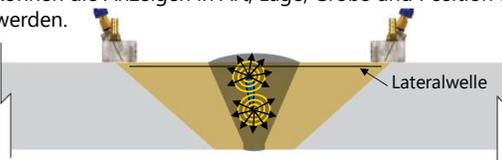
Und was sind uns neben der konventionellen Ultraschalltechnik mit der Bewertung über eine Amplitude aktuell die bekannten bildgebenden Techniken bei der Ultraschallprüfung?

12

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

ToFD (Time of Flight Diffraction) ist ein Verfahren, dass Beugungssignale nutzt.

- ist eine in den 1970ern entwickelte, seit langem anerkannte und international genormte Prüfmethode.
- dabei sendet ein konventioneller Einzelschwinger-Prüfkopf Ultraschall in das Prüfteil und ein anderer Einzelschwinger-Prüfkopf empfängt die an den „Enden“ der Anzeigen wie Porosität, Bindefehler, Rissen, etc. erzeugten **kugelförmigen** Diffraktionswellen (auch Beugungswellen genannt) - eine winkelabhängige Ausrichtung der Anzeigen weniger wichtig.
- ist eine Prüfmethode für das Volumen und hat eine Art „Todzone“, wo kleine Ungängen schwer erkannt werden,
- besteht je nach Dicke des Prüflings aus einem oder mehreren an einer „Scanvorrichtung“ fix positionierten Prüfkopfpaar(en).
- Erlaubt damit eine Prüfung mit Wegerfassung und Datenaufzeichnung aller Signale zur Erstellung eines B-Bildes. Über diese Prüfdaten/Dokumentation können die Anzeigen in Art, Lage, Größe und Position definiert/vermessen werden.



EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

13

13

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

ideale Auffindung durch ToFD bei:

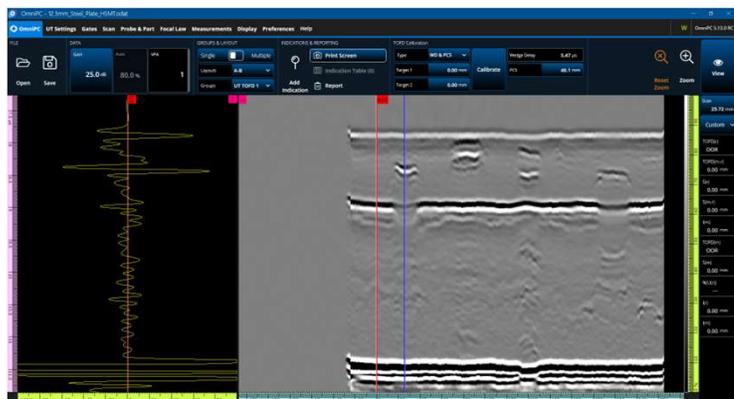
- Bindefehlern (Ausrichtung nicht winkelabhängig)
- Poren und Lunker
- Risse im Volumen (Ausrichtung nicht winkelabhängig)
- Wurzelfehlern
- ungenügende Durchschweißung, etc.

Schwächen von ToFD bei:

- z.B. kleine Ungängen an der Decklage oberhalb der Lateralwelle können ggf. übersehen werden.

Normung im Beispiel:

- ISO 10863 oder ASTM E2373/E2373M-19
- Anerkennung wie durch z.B. AD2000
- diverse weitere anwendungsspezifisch oder wie z.B. Prüfung von Stoßschweißnähten an Polyethylenrohren.



EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

14

14

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

Phased Array Ultraschall (PAUT – Phased Array Ultrasonic Testing) als Puls-Echo Technik

- die einzelnen Elemente eines Phased Array Prüfkopfes werden in einem Schuss bestehend aus mehreren Elementen mit verschiedenen Verzögerungen (Sendemodulierungen) angeregt.
- dadurch lassen sich die Schallbündel in verschiedenen Winkeln elektronisch für z.B. einen Sektor-Scan ausrichten,
- aber auch als lineare Schallfronten in bei gleichem Winkel erzeugen,
- oder aber auch als KombiScan (Compound-Scan) miteinander vereinen
- und auch in definierten Tiefen/Positionen/Projektionen (im natürlichen Nahfeld der Apertur) fokussieren.
- bei mehrgruppigen Prüfgeräten können in einem Prüfdurchgang mehrere Schallfeldgruppen parallel geprüft werden, was durchaus eine Zeitersparnis bedeutet – z.B. je ein Sektor am unteren und oberen Ende des Prüfkopfes.



Wichtig - für Schweißnähte ebenfalls international genormt (über ISO EN ab 3,2mm Wanddicke)



EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

15

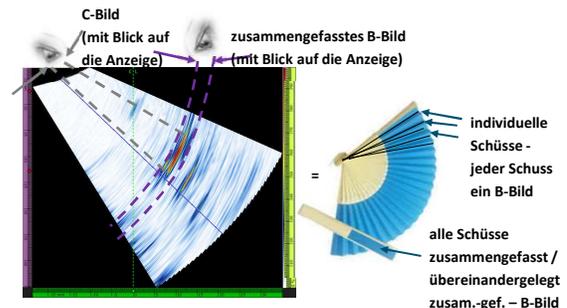
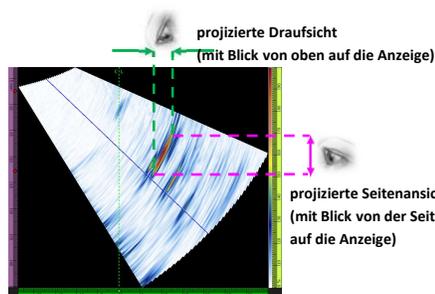
15

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

Phased Array Ultraschall (PAUT – Phased Array Ultrasonic Testing) als Puls-Echo Technik

die erfassten Prüfdaten können je nach Bedarf in unterschiedlichen Ansichten dargestellt werden, was die Erkennung, Bewertung einfacher und sicherer macht.

- als projizierte Ansicht von oben (Draufsicht),
- als projizierte Ansicht von der Seite,
- als C-Bild aller erfassten „Schüsse“ aus dem Sektor
- als zusammengefasstes B-Bild aller Schüsse im Sektor



EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

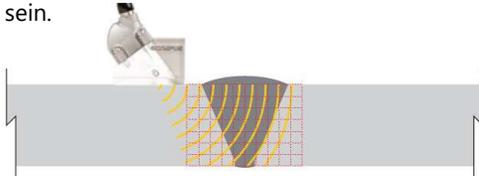
16

16

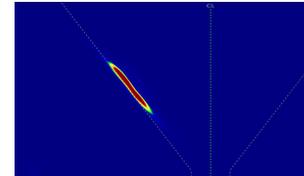
die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

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

- FMC ist eine die Prüfköpfe der Phased Array Technik nutzende Datenerfassungsmethode, bei der einzelne Elemente eines Phased-Array-Sensors senden und alle Elemente als Empfänger für jeden gesendeten Impuls verwendet werden.
Daraus resultiert bei einem Prüfkopf mit 64 Elementen, dass man bei voller Matrix aus jedem Punkt im Prüfraster auch 64 Antworten erhalten kann.
- mit TFM werden die so erfassten FMC-Daten dann so verarbeitet und rekonstruiert, dass die Signale an jedem Punkt im Bereich synthetisch fokussiert werden.
- dies erlaubt auch eine Prüfung ohne den exakten Winkel zur Maximalreflektion genau berücksichtigen zu müssen – lediglich die Ausrichtung einer erwartenden Ungänze sollte bei der Konfiguration berücksichtigt sein.



Wichtig - für Schweißnähte ebenfalls international mit eigener ISO EN genormt



EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

19

19

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

FMC/TFM (Full Matrix Capture / Total Focusing Method) mit PCI (Phase Coherence Imaging)

- „klassisches“ TFM bedient sich der Auswertung aller Amplituden aus mit Signalen einer Reflektion innerhalb der definierten Matrix, wie es auch die klassische Ultraschall- und die PAUT Prüfung macht.
- beim TFM mit PCI (Phase Coherence Imaging) geht es bei der Auswertung innerhalb der gleichen Matrix um die Phaseninformation jedes A-Bildes mit jeder Position und verwirft die Amplitude, wodurch sich bereits „sehr“ kleine Ungänzen wie z.B. Poren oder aber auch Ungänzen die in einer Ausrichtung sind, die mit der Phased-Array-Technik (PAUT) schlechte Echos erzeugt, sehr gut visualisieren und bewerten lassen.
- dies bei üblicherweise höherer Frequenz als dem „klassischem TFM“ um die Auflösung zu verbessern und das Grundrauschen zu vermindern.
- für noch mehr Details zu TFM-PCI gibt es noch einen anderen Vortrag – vielleicht gleich mal vormerken: „Vergleich von Prüfergebnissen aus der FMC/TFM Methode mit Phase Coherence Imaging – was sind die Unterschiede“ vorgetragen durch Herrn Heiko Küchler!
- für mehr Details zur Funktionsweise von PCI und dessen Vorteile siehe auch:
 - 5 wesentliche Vorteile von Phase Coherence Imaging (PCI) | Blog Post | Olympus IMS ([olympus-ims.com](https://www.olympus-ims.com))
 - was ist PCI - https://www.olympus-ims.com/en/downloads/download/?file=285219336&fl=en_US

EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

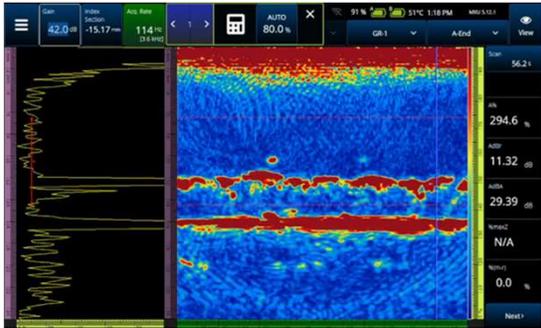
20

20

die bildgebenden Techniken der Ultraschallprüfung

FMC/TFM (Full Matrix Capture / Total Focusing Method) mit PCI (Phase Coherence Imaging)

- bei der Methode TFM mit PCI werden die Signale aus dem Rauschen nahezu unterdrückt und rückwandnahe Anzeigen durch die fehlende Amplitude und Rückwand gut ersichtlich.
- Was dann bleibt sind die wesentlichen Anzeigen!



EvidentScientific.com

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

21

21

04

verfahrenstechnische
Verbesserung zum
konventionellen
Ultraschall

22

verfahrenstechnische Verbesserung zum konventionellen Ultraschall

Der Vergleich der Methoden:

konventioneller Ultraschall (Handprüfung):

- manuelle, vom Prüfer und seinem Geschick sowie der Aufmerksamkeit stark beeinflusste Methode.
- meist in der Serienprüfung zeitaufwendiger
- keine Methode die von diversen Regelwerken als Alternative zur Röntgenprüfung anerkannt wird.
- ist ohne Prüfdatensicherung nur über handschriftliche Protokolle nachzuvollziehen.

bildgebender Ultraschall:

- meist eine mechanische geführte Prüfung, die dadurch reproduzierbar wird.
- in der wiederholenden Prüfung durch das „definierte“ Setup“ sehr zeitsparend!
- Methoden die bei mechanischer Führung und ggf. in Kombination bereits als Alternative zur Röntgenprüfung akzeptiert sind (z.B. AD2000).
- die Darstellung von Poren, Kleinstrissen, etc. ist möglich (TOFD und TFM-PCI) und von der Lage her unabhängig.
- alle Prüfdaten sind digital gespeichert und können auch hinterher am Gerät oder am PC erneut betrachtet und analysiert werden.

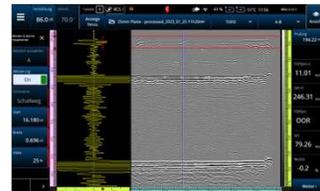
23

verfahrenstechnische Verbesserung zum konventionellen Ultraschall

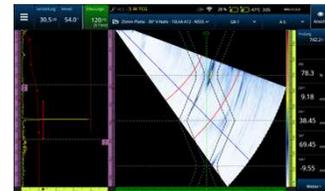
Der Vergleich der Methoden – am Bindefehler:



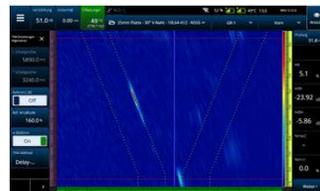
konventionell – nur ein A-Bild



ToFD – A- und B-Bild



PA-Sektor – A- und S-Bild



TFM

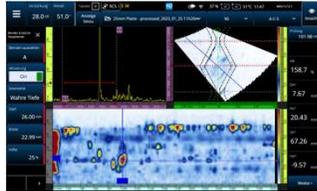


TFM-PCI

24

verfahrenstechnische Verbesserung zum konventionellen Ultraschall

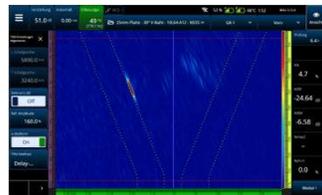
Der Vergleich der Methoden – am Bindefehler sowie Poren:



PA-Sektor – A-, S- und C-Bild



ToFD – A- und B-Bild



TFM

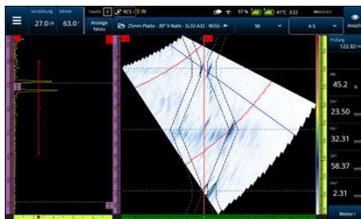


TFM-PCI

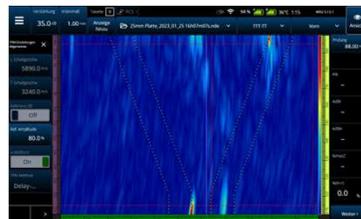
25

verfahrenstechnische Verbesserung zum konventionellen Ultraschall

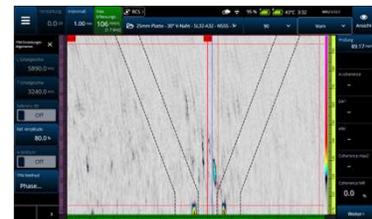
Der Vergleich der Methoden – am Beispiel eines kleinen Wurzelrückfalls:



PA-Sektor – A- und S-Bild



TFM



TFM-PCI

26

05

Resümee

27

Resümee

welche Möglichkeiten bieten die einzelnen bildgebenden Verfahren bei der Schweißnahtprüfung im Vergleich und wo sehen wir auch deren Limits?

- eine Schweißnaht mit klassischen Bildern von Ungängen wie Poren, Bindefehlern, Rissen aus der Oberfläche oder im Inneren, fehlende Durchschweißung, etc. und vieles kann dargestellt sowie in seinen Dimensionen (Tiefenlage, Ausdehnung, etc.) sehr gut vermessen werden. Gleich am Gerät oder später am PC!
- Vorteile am „neuen“ FMC-TFM“ Verfahren im Vergleich zu seit langem bewährten Phased Array Ultraschall (PAUT)?
 - Ja, es gibt einige und dennoch hat Phased Array hier und da ebenfalls seine Vorteile!
- Mit Ultraschall im Sinne der Arbeitssicherheit (ALARA) mehr und mehr die Röntgenprüfung reduzieren?
 - Durchaus eine Möglichkeit, wenn dies letztendlich von allen gewollt und akzeptiert ist!

In diesem Beitrag wurden bereits etablierte und nach ISO sowie ASTM genormte Prüfmethode (TOFD, Phased Array, FMC/TFM) und deren Möglichkeiten zu Ungängen unterschiedlicher Muster dargestellt.

Und? Sind diese Methoden bei Ihnen schon im Einsatz?

[EvidentScientific.com](https://www.evidentscientific.com)

Ultraschallprüfung von Schweißnähten - ein Vergleich „bildgebender“ Prüfverfahren | ZfP DACH-Jahrestagung 2023 | Mai 2023 | Anton Schönbauer

28

28



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Ihre Fragen richten Sie gerne schriftlich an:
Anton.Schoenbauer@evidentscientific.com
oder rufen Sie mich unter +43 676 9045227 an.

29



Co-Autoren

Ihre Fragen richten Sie gerne auch an

Heiko.Kuechler@evidentscientific.com
oder unter +49 160 96303425

Alexander.Zink@evidentscientific.com
oder unter +49 175 1013045

Wilbert.Rooyackers@evidentscientific.com
oder unter +31 6 10 98 59 73

30

