

Praxisbeispiele zur Ultraschallprüfung (manuell, halbautomatisch, automatisiert)

Wolfram A. Karl DEUTSCH, Stefan KIERSPEL, Helge RAST¹

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

Kontakt E-Mail: w.deutsch@karldeutsch.de

Einführung

In diesem Beitrag werden verschiedene, industrielle Anwendungen der Ultraschallprüfung präsentiert. Nach der Ultraschallprüfung mit konventionellen Handgeräten werden Beispiele mit modernen Phased Array-Handgeräten dokumentiert. Manche der Beispiele liefern bereits eine bildgebende Dokumentation, wonach der Prüfer aber immer noch die Entscheidung zur Bauteilbewertung trifft. Es handelt sich somit um halbautomatische Prüfungen. Am Ende werden zwei Anlagen für die Prüfung von Stabstahl beschrieben.

Heutzutage kann man viele Prüfaufgaben entweder mit der konventionellen Ultraschallprüfung (UT mit Einschwinger-Prüfköpfen) oder mit der Phased-Array-Ultraschallprüfung (PAUT) angehen. Bei der Prüfung mit mobilen Geräten sprechen die Verkaufszahlen und ein Blick in die Werkstätten eine eindeutige Sprache. Die überwiegende Zahl der Prüfaufgaben wird bis heute konventionell gelöst. Obwohl sich der Preis der PAUT-Geräte stark reduziert hat (viele Geräte liegen im Bereich 20 – 25 TEUR), ist die konventionelle Ausrüstung insbesondere wegen der Prüfköpfe immer noch deutlich günstiger. Zudem gibt es noch viel Nachholbedarf bzgl. der Umstellung der technischen Regelwerke und der Ausbildung. Man muss auch bedenken, dass der bisherige Stand der Technik mit den entsprechenden Bewertungsgrundlagen sich über Jahrzehnte bewährt hat. Muss oder möchte man überhaupt empfindlicher prüfen? Ist das „normale“ UT-Prüfpersonal den Anforderungen bzgl. PAUT überhaupt gewachsen? So wird es noch lange Zeit so sein, dass eher die anspruchsvollen Prüfaufgaben mit PAUT angegangen werden.

Im Anlagenbau sieht das etwas anders aus. Die Prüfaufgabe bei der vollautomatischen UT heißt: Finde die Testfehler – egal, ob mit UT oder mit PAUT! In vielen Bereichen haben sich somit PAUT-Lösungen etabliert. Anders als bei der Handprüfung sind erstaunlicherweise die Prüfköpfe oft nicht genormt. Das hat manchmal unschöne Auswirkungen. Gerade mit PAUT kann man Testfehler-Suchmaschinen bauen. Man fokussiert elektronisch im Bereich der Testfehler und prüft dort mit hoher Auflösung. Was im restlichen Prüfvolumen passiert, ist für den Bediener oder einen Auditor des Endkunden oft schwer nachvollziehbar. Vor allem bei PAUT-Anlagen ist daher eine sorgfältige Auslegung der Sensoren (z.B. mit CIVA) wichtig. Schussdichten, ggf. der Überlapp zwischen benachbarten Schüssen und die Relativgeschwindigkeiten zwischen Prüfkopf und Bauteil verlangen im Rahmen der Ultraschall-Physik einen sinnvollen Kompromiss (die Impulsfolgefrequenz und die Ankopplung großer Prüfköpfe bleiben limitierende Faktoren!).



1. Manuelle UT mit A-Bild, B-Bild, Schweißnaht-Visualisierung und TOFD

Digitale Prüfgeräte haben die analogen Prüfgeräte inzwischen weitgehend verdrängt. Bei großen Schmiedeteilen waren Analoggeräte lange sehr beliebt. Heutzutage überwiegen die Vorteile der modernen Digitalgeräte mit Speichermöglichkeiten der Prüfparameter und der Befunde. Durch moderne Signalverarbeitung, rauscharme Empfänger, den Einsatz von Rechtecksendern und Tiefenausgleich TCG (Time Corrected Gain) sind gute Signal-Rausch-Verhältnisse im A-Bild erzielbar.

Heutzutage stehen bereits für handelsübliche Ultraschallprüfgeräte weitere Werkzeuge zur Verfügung. Durch einen Weggeber-Eingang (oder über zeitgesteuerte Bildgebung), sind einfach lesbare B-Bilder als Querschnittsbild der Bauteile schnell zu erzeugen. Auch wenig geschultes Personal kann diese Bilddarstellungen wegen des höheren Informationsgehaltes relativ einfach interpretieren.

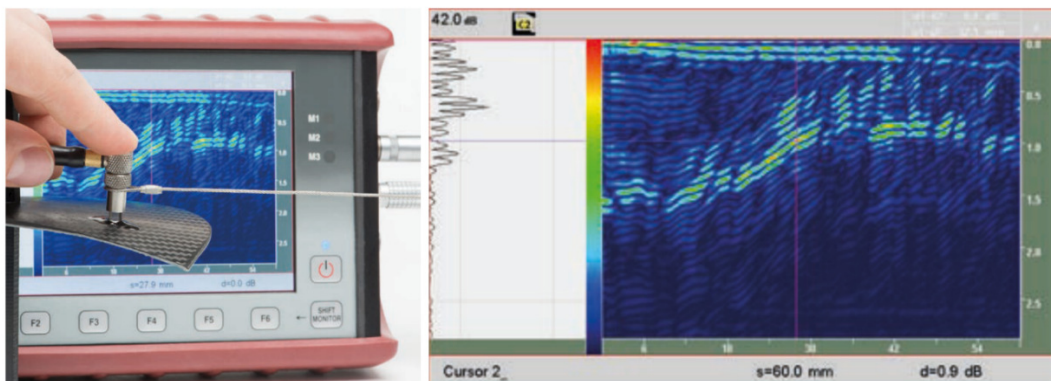


Abb 1. Prüfung eines CFK-Bauteils mit Seilzug-Encoder und B-Bild-Ausgabe. Deutlich sind die veränderlichen Wandstärken des Bauteils und Strukturanzeigen in der Bauteilmitte erkennbar.

Bei der Schweißnahtprüfung gibt es auch neue Hilfsmittel: Die Umlenkung des Schallbündels wird grafisch angezeigt. Die Erstellung von Amplitudenschrieben (Strip Charts) ist unter Benutzung von Weggebern möglich und praktisch. Die TOFD-Prüfung ist inzwischen genormt und in konventionellen Prüfgeräten implementiert.

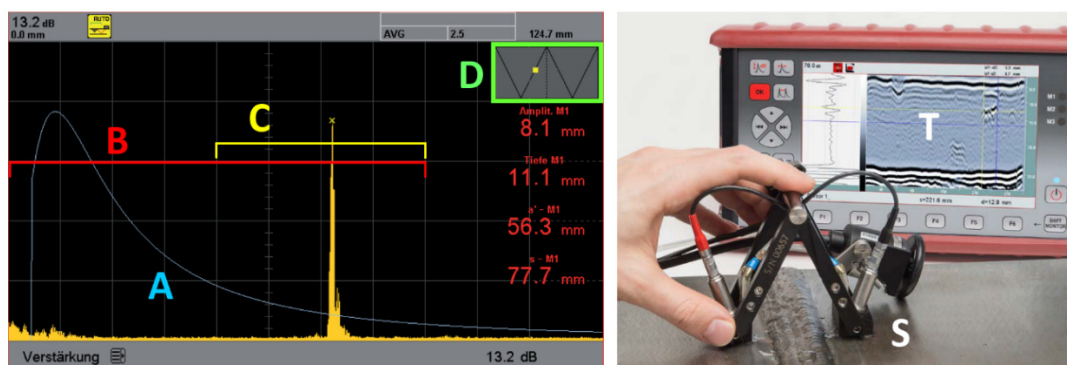


Abb 2. Schweißnahtprüfung mit dem ECHOGRAPH 1095. Links ist ein AVG-justiertes Gerät zu sehen mit Bewertungskurve (A), roter Blende (B = Markierung vom ganzen Sprung), gelber Blende (C = Markierung vom halben Sprung) und Visualisierung der Fehlerposition (D = Fehler liegt in der Bauteilmitte). Rechts ist ein TOFD-Scanner (S) und der zugehörige TOFD-Schrieb (T) auf dem Prüfgerät zu sehen.

2. Ultraschall-Handprüfgeräte im Einsatz in automatisierten Prüfeinrichtungen

Digitale Handgeräte sind ausreichend schnell, um jeweils einen Kanal einer automatisierten Prüfanlage zu betreiben. Sie enthalten wichtige Leistungsmerkmale wie Echostart-Betrieb (wichtig für die Tauchtechnik-Prüfung) und den TCG (Time-Corrected-Gain, wichtig bei langen Schalllaufwegen). Sortiersignale und Signale für eine Farbmarkierung stehen über eine spezielle Schnittstelle zur Verfügung. Dass man jeden Kanal einzeln konfigurieren muss und man im Regelfall auf eine ordnungsgemäße Dokumentation der Prüfergebnisse verzichtet, wird in Kauf genommen. Preisgünstige Prüfanlagen lassen sich auf diese Weise realisieren. Neue preiswertere Prüfelektroniken (wie z.B. die mehrkanalige ECHOGRAPH 1170) ermöglichen mit etwas mehr Budget eine kundenspezifische Datenaufbereitung (mit Hilfe der ECHOVIEW-Software).



Abb 3. Zweikanalige HF-Schweißnahtprüfung als Prozesskontrolle am Endlosrohr (unten rechts im Bild).

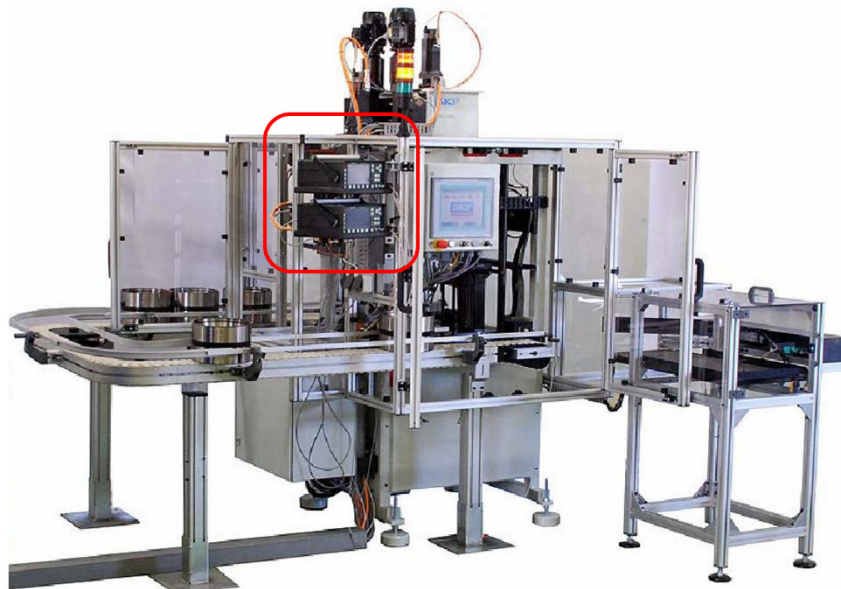


Abb. 4. Zweikanalige UT-Prüfung von Kugellagerringen in Tauchtechnik mit automatisierter Förderung. Zwei UT-Handgeräte vom Typ ECHOGRAPH 1091 sind im Einsatz. (© Prospekt der Firma SKF-QTC)

3. GEKKO & MANTIS: Mobile Phased Array-Prüfgeräte mit TFM-Fehlerdarstellung

Seit Anfang der 2000-er Jahre stehen mobile PAUT-Geräte zur Verfügung. Seitdem sind viele Entwicklungsschritte erfolgt und die Verbreitung dieser Geräte nimmt stetig zu. Wichtig ist eine einfache Bedienung, weil die Anzahl der einzustellenden Prüfparameter bei der PAUT deutlich höher ist als bei der konventionellen UT. Komfortable Assistenten begleiten den Bediener beim 64-kanaligen GEKKO (verfügbar seit 2014, GEKKO Version 2.0 verfügbar seit 2017) und beim kompakten MANTIS (16/64-Kanalkonfiguration, verfügbar seit 2017) durch die Menü-Ebenen. Die TFM-Technik erzeugt gestochen scharfe B-Bilder mit einer Auflösung in der Größenordnung der Wellenlänge! Das erfasste Prüfvolumen ist (durch die divergente Abstrahlung beim Schießen der Einzelelemente) größer als die Breite des eingesetzten Prüfkopfes (siehe Abb. 5).

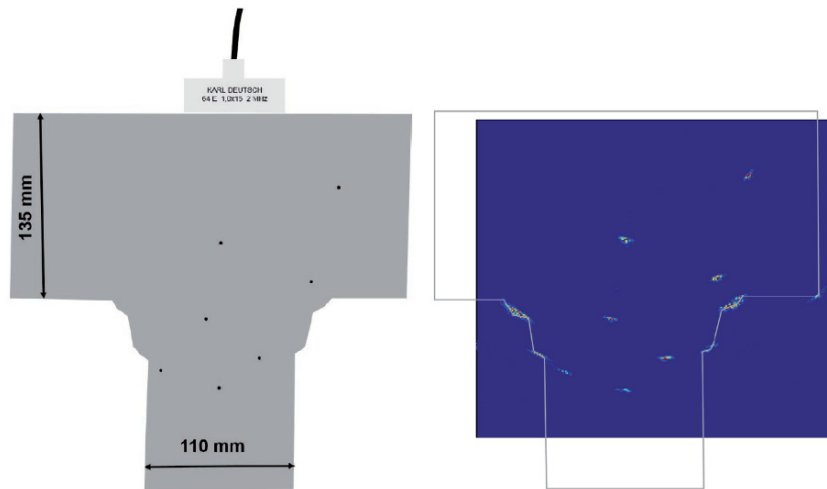


Abb 5. Prüfung eines dickwandigen T-Stoßes mit ortsgetreuer Fehlerdarstellung. Auch die Schweißnaht-Flanken kommen schön zur Anzeige. Die Bauteilkontur kann als 2D-dxf-File im Prüfgerät eingeladen und im B-Bild hinterlegt werden.

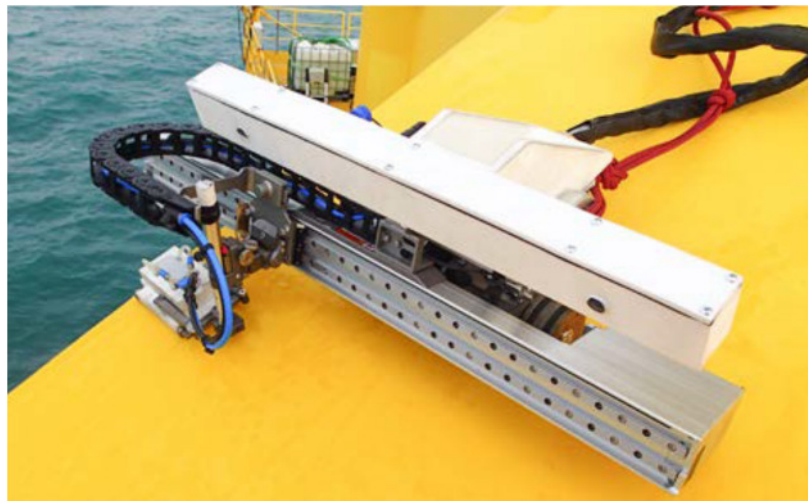


Abb 6. Prüfung von Schweißnähten (hier dünnwandige T-Stöße) von Offshore-Windkraftanlagen mit einem motorisierten Scanner und 35 m-langen Steuer- und Prüfkopfkabelsatz.

4. Halbautomatische PAUT von Bahnwellen bei der Berliner S-Bahn mit dem GEKKO

Zum Jahreswechsel 2017/2018 wurden drei Prüfgeräte an die Berliner S-Bahn geliefert. Teil des Lieferumfangs waren kompakte, motorisierte Scanner, die magnetisch an der in Abb. 7 abgebildeten Kopfseite der Welle fixiert werden. Die beengten Platzverhältnisse am Wellenende waren hierbei eine Herausforderung. Ein kleiner Motor sorgt für ein Verfahren des Prüfkopfes über eine volle Umdrehung. Durch Schallbündel-Aufweitung innerhalb des Bauteils werden die Prüflücken weitgehend geschlossen, die durch die drei Bohrungen in der schraffierten Ankoppelfläche verursacht werden. Die 64 parallelen Prüfkannäle beim GEKKO erzeugen ausreichend Schallenergie, um von beiden Wellenenden jeweils bis über die Wellenmitte hinaus zu prüfen.

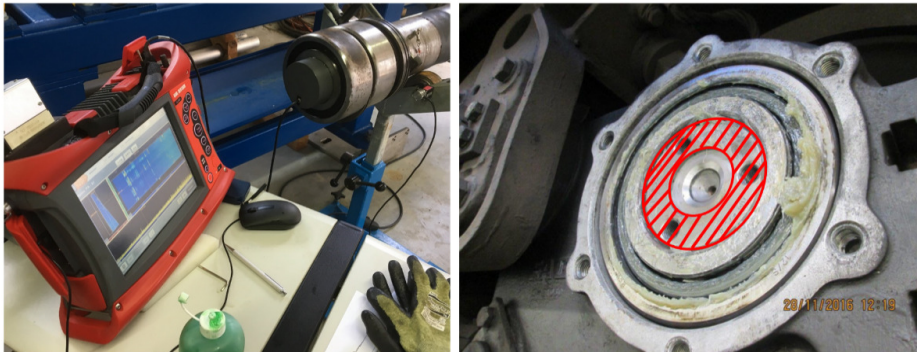


Abb. 7. Stirnseitige PAUT-Wellenprüfung bei der Berliner S-Bahn mit einem kompakten Scanner (grauer Prototyp, linkes Bild) und Ansicht der Wellen-Stirnseite mit rot schraffierter Ankoppelfläche (Bild rechts).

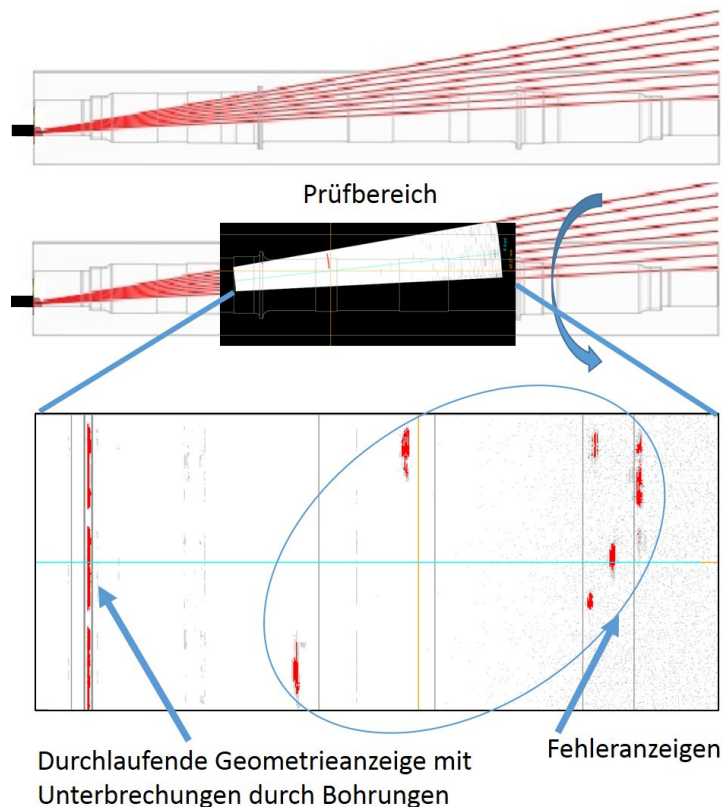


Abb. 8. Prinzip der Wellenprüfung. Oben: Sektor-Scan von der Stirnseite über 3° - 10° . Darunter: Eigentlicher Prüfbereich zwischen den Radsitzen. Unten: Ergebnisdarstellung als Abwicklung der Wellenoberfläche. Anzeigenpositionen können direkt am Gerät über entsprechende Cursor abgelesen werden

5. Halbautomatische Prüfung von Muffen an Plastik-Rohrleitungen mit dem MANTIS

In Rohrleitungssystemen für die Gas- und Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung werden bereits seit 1957 Polyethylen-Rohre eingesetzt. Diese zeichnen sich durch eine hohe Beständigkeit gegen Korrosion, verschiedene Chemikalien und Risse sowie ein geringes Gewicht und einfache Verbindungstechniken aus. Eine dieser Techniken für eine dichte, kraftschlüssige und unlösbare Verbindung von Rohren ist die Heizwendelschweißung mit Elektro-Schweißmuffen. Diese Muffen bestehen ebenfalls aus Polyethylen, in das ein Heizwendeldraht eingebettet ist. Die Rohrenden werden in die Muffe eingeführt und diese mit einem Schweißautomaten verbunden, der den Heizwendeldraht mit einer Spannung versorgt. Die Schweißmuffe und die Rohrenden werden durch das kontrollierte Erhitzen in den thermoplastischen Zustand versetzt, wodurch eine dauerhafte, kraftschlüssige Verbindung entsteht.

Diese Verbindung soll nach dem Abkühlen zerstörungsfrei geprüft werden. Eine sichere und einfache Möglichkeit der Prüfung bieten MANTIS und GEKKO mit der Total Focusing Method (TFM). Seit kurzem ist der MANTIS beim Bremer Stadtwerke-Betrieb Wesernetz erfolgreich im Einsatz. Der MANTIS ist nur geringfügig langsamer als der GEKKO bei dieser Prüfaufgabe, aber kompakter und preisgünstiger und daher für diese Prüfaufgabe bestens geeignet. Bei der Prüfung der Schweißmuffen kommt ein 5 MHz-Phased-Array-Prüfkopf zum Einsatz. Dieser wird dabei mit etwas Koppelpgel über die Schweißmuffe geführt, während der MANTIS aus den Signalen das TFM-Bild in Echtzeit mit ca. 80 Bildern pro Sekunde berechnet. Das Ergebnis ist so klar, dass selbst Ultraschall-Laien sich schnell ein Bild über den Zustand der Fügeverbindung machen können. Auch die Konfiguration vom MANTIS (oder GEKKO) ist mit TFM kinderleicht: Prüfkopf auswählen, Material und Dicke von Rohr bzw. Muffe eingeben, den Bildbereich auswählen und dann prüfen!

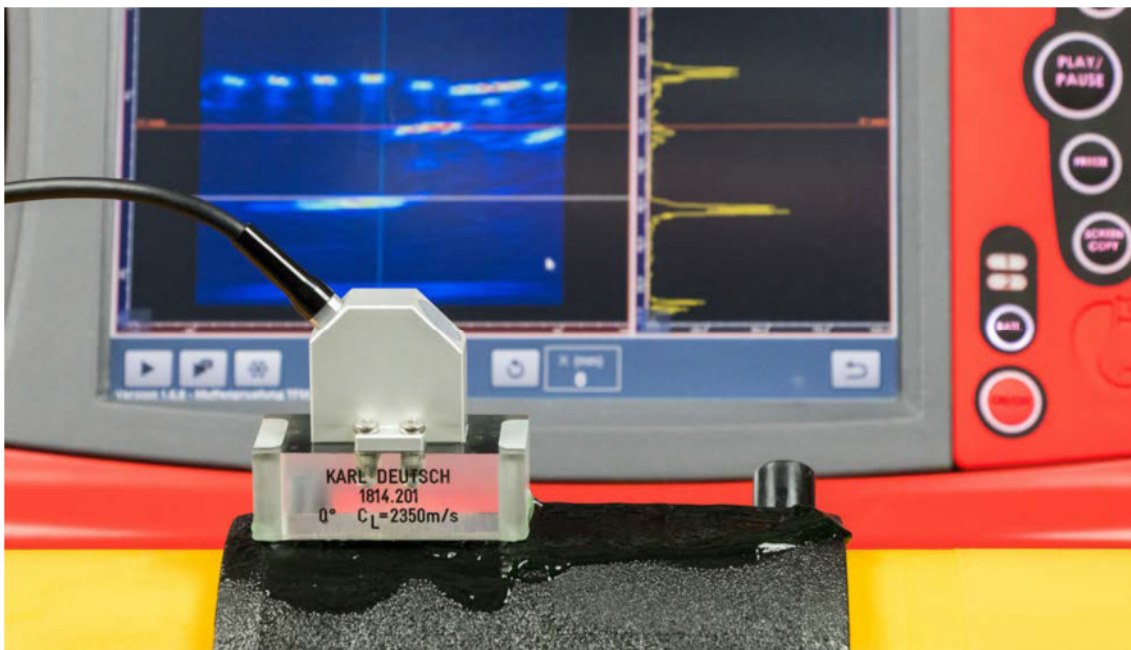


Abb. 9. Linearer 5 MHz-PAUT-Prüfkopf aufgesetzt auf die schwarze Muffe, die zwei gelbe PE-Rohre miteinander verbinden soll. In Echtzeit wird das TFM-Bild pro Prüfposition in Umfangsposition angezeigt. Mit dem Cursor kann zusätzlich das A-Bild an der zugehörigen Schnittebene dargestellt werden. Die Heizwendel-Drähte kommen im TFM-B-Bild sehr klar zur Anzeige.

6. ECHOGRAPH-STPS Phased Array-Stabstahl-Prüfung (Linearer Durchlauf))

Das Konzept der ECHOGRAPH-STPS-Prüfanlage ist seit Jahrzehnten bewährt. Die Anlage ist in mehreren mechanischen Baugrößen verfügbar, um einen großen Durchmesserbereich abzudecken. Bisher wurden Projekte für Stangendurchmesser zwischen 10 mm und 130 mm (auf Kundenwunsch auch 150 mm) realisiert. Meist wurden runde Stangen mit drei bis 15 Prüfköpfen geprüft und damit bereits eine hohe Querschnittsüberdeckung realisiert.

Vorteile der Prüfanlage sind:

- die hohe Prüfgeschwindigkeit (linearer Durchlauf mit 0.7 -2 m/sec)
- eine robuste, relativ einfache Mechanik
- eine sehr schnelle Umrüstung auf andere Durchmesser (zentraler Zahnriemen für alle Prüfkopfhalter, Verstellung über Handkurbel oder Motor)
- eine gefederte Aufhängung der Prüfkopfhalter (um Geradheitstoleranzen der Stangen optimal auszugleichen)
- die berührungslose Ankopplung über Wasserdüsen (daher niedriger Prüfkopfverschleiß auch bei der Schwarzmaterial-Prüfung)

Durch den Einsatz der Phased-Array-Technik wird die Anzahl der Schüsse nochmals erhöht und eine vollständige Querschnittsüberdeckung erzielt. Fünf Phased-Array-Prüfköpfe mit jeweils 24 Elementen werden an 120 parallelen Prüfkanälen betrieben. Die fünf Prüfköpfe erzeugen jeweils einen Sector-Scan mit bis zu 20 Schüssen, wodurch eine vollständige Querschnittsabdeckung mit einstellbarer Welligkeit (dB-Schallenergie-Variation über den Querschnitt) erzielt wird. Durchlauf-Prüfgeschwindigkeit, Schussdichte und Welligkeit werden jeweils optimal eingestellt. Die Anlage zeichnet sich durch geringe Ersatz- und Verschleißteilkosten aus (bedingt durch den Einsatz von weniger Elektronik und Sensorik im Vergleich zu Tauchtank-Prüfsystemen mit einem geschlossenen Sensor-Ring).

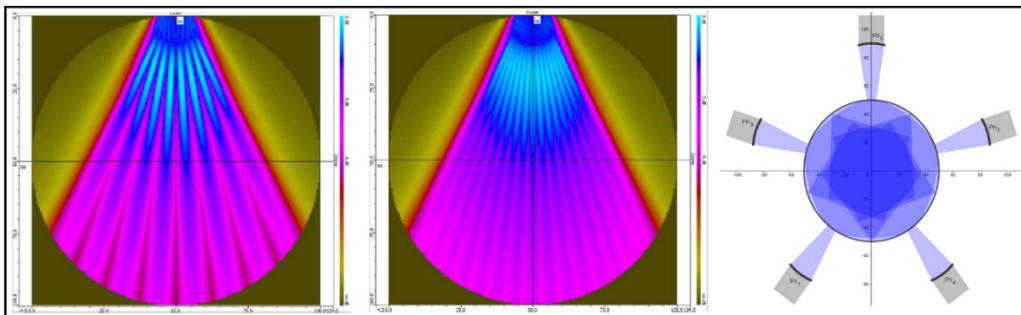


Abb. 10. Sector-Scan eines PAUT-Prüfkopfes mit 8 bzw. 17 Schüssen (linkes Bild, mittleres Bild) und Prüfprinzip mit fünf PAUT-Prüfköpfen und vollständiger Querschnittsabdeckung (Bsp. 100 mm-Stab, rechts).



Abb. 11. ECHOGRAPH-STPS-PAUT-Prüfanlage mit 5 PAUT-Prüfköpfen und Squirter-Ankopplung.

7. ECHOGRAPH-RPTS Rotierende Stabstahlprüfung mit Prüfbrücke (Ø bis 500 mm)

Nicht jede Prüfaufgabe muss mit der PAUT realisiert werden. Bei der Prüfung von Stabstäben aus Edelstahl wird materialabhängig mit 1 MHz, 2 MHz oder 4-5 MHz gearbeitet. Für die oberflächennahen Bereiche kommen sogar Sensoren bis 10 MHz zum Einsatz (SE-Prüfköpfe oder PAUT-Prüfköpfe). Um sämtliche Prüfaufgaben (Senkrecht-Einschallung zur Kernfehlerprüfung, Senkrecht-Einschallung für die oberflächennahe Prüfung, Winkel-Einschallung in beide Umfangsrichtungen) mit mehreren Frequenzen bei ausreichender Prüfgeschwindigkeit angehen zu können, wurde in diesem Beispiel ein konventionelles UT-Prüfkonzept gewählt.

Da die zu prüfenden Stablängen bis zu 18 m betragen können und das Transportkonzept nur eine seitliche Zuführung der Stäbe erlaubt, musste eine freitragende Prüfbrücke realisiert werden. Am linken Ende der Prüfbrücke wurde eine Kalibrierstation zur schnellen, vollautomatischen Überprüfung der Prüfempfindlichkeit aller Prüfköpfe realisiert. Die Länge der Testkörper betrug 6 m. Die Gesamtlänge der Prüfmaschine beträgt imposante 31,5 m.

Zur Sicherstellung einer vollständigen Prüfung mit der erforderlichen Überlappung der Prüfspuren und der erforderlichen Prüfgeschwindigkeit, sind sechs identische Prüfwagen im Einsatz. Jeder Prüfwagen beinhaltet Doppel-Prüfkopfhalter für ferritische und austenitische Werkstoffe mit unterschiedlichen Prüffrequenzen. Eine aufwändige Schnellwechsel-Vorrichtung ermöglicht die mechanisierte Umstellung auf den jeweils zu prüfenden Werkstoff. Somit sind in der Anlage insgesamt 48 Prüfköpfe verbaut, von denen jeweils 24 Prüfköpfe aktiv sind. Jeder Prüfwagen arbeitet mit vier Prüfköpfen (SE-Prüfkopf auf 0,8 mm KSR oberflächennah, Kernprüfung auf 1 mm KSR, 2 Winkel-Prüfköpfe mit Abgleich auf 3 mm-Längsbohrung). Alle Prüfköpfe arbeiten in Spaltankopplung und sitzen in separaten, kardanisch aufgehängten Prüfkopfhaltern, die eine optimale Nachführung an der Staboberfläche liefern. Die Anlage verfügt zudem über eine optische Stabenden-Überwachung mit einem Kamerasystem, eine Return-To-Defect-Funktion, eine komfortable C-Bild-Software mit einer 12-Uhr-Erkennung und eine Farbmarkiereinheit.



Abb. 12. Prüfbrücke für Stabstahl bei der BGH-Siegen Edelstahl GmbH. Die Beladung erfolgt von rechts (Stab-Quertransport unterhalb der weißen Prüfbrücke per Hubbalken). Die Rollgänge für die Sortierung und die Station für die Nacharbeit sind links zu sehen.

Referenzen

- [1] V. Deutsch, M. Platte, M Vogt: Ultraschall-Prüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen, Springer-Verlag, 1997.
- [2] W.A.K. Deutsch: Neue Geräte zur Ultraschall-Prüfung, DGZfP-Jahrestagung, 2014
- [3] W.A.K. Deutsch, W. Roye, H. Rast, P. Benoist: High-Resolution Phased Array Imaging using the Total Focusing Method, 19th WCNDT Munich, 2016.
- [4] W. Roye, W. Deutsch, V. Deutsch: Ultraschall-Prüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen, Castell-Verlag Wuppertal, erwartet für 2018.