

# Neue Phased-Array-Techniken im portablen Prüfgerät

Werner ROYE<sup>1</sup>, Wolfram A. Karl DEUTSCH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

**Kurzfassung.** In diesem Beitrag wird ein neues, sehr leistungsfähiges portables Ultraschallgerät vorgestellt, das neben den bekannten Phased-Array- und TOFD-Techniken neue Funktionen für die schnelle teilmechanisierte Prüfung und die Analyse von Anzeigen enthält.

Dazu gehören:

- Die Total Focusing Methode (TFM) für die Reflektorgrößenbestimmung mit einer Auflösung von einer(!) Wellenlänge (bei konventionellen Sektor- und Linear-Scans entspricht die laterale Auflösung nur dem Durchmesser des fokussierten Schallfeldes).
- 64 parallele Prüfkanäle: Mit einer großen Prüfkopfapertur können auch große Objekte mit fokussiertem Schallfeld geprüft werden.
- Der Einsatz von Matrix-Arrays, die das Schallfeld auch seitlich schwenken können. Das erlaubt zum Beispiel, Schweißnähte in einem Prüfdurchgang gleichzeitig auf Längsfehler und schrägliegende Fehler zu prüfen.
- Die Dämpfung zwischen den Kanälen beträgt mehr als 50 dB, was zu sehr guten Bildkontrasten führt.
- Die Mehrkanalprüfung, z. B. bei der Schweißnahtprüfung mit mehreren Prüfköpfen und Prüftechniken.

Die einzelnen Funktionen werden anhand von praktischen Beispielen vorgestellt.



**Abb. 1:** Portables Phased-Array-Prüfgerät GEKKO

## Einführung

Das neue Universal-Prüfgerät GEKKO unterstützt zunächst die bekannten Ultraschall-Prüftechniken zur Erzeugung von A-, B-, C- und D-Bildern für Einschwinger- und Array-Prüfköpfe.

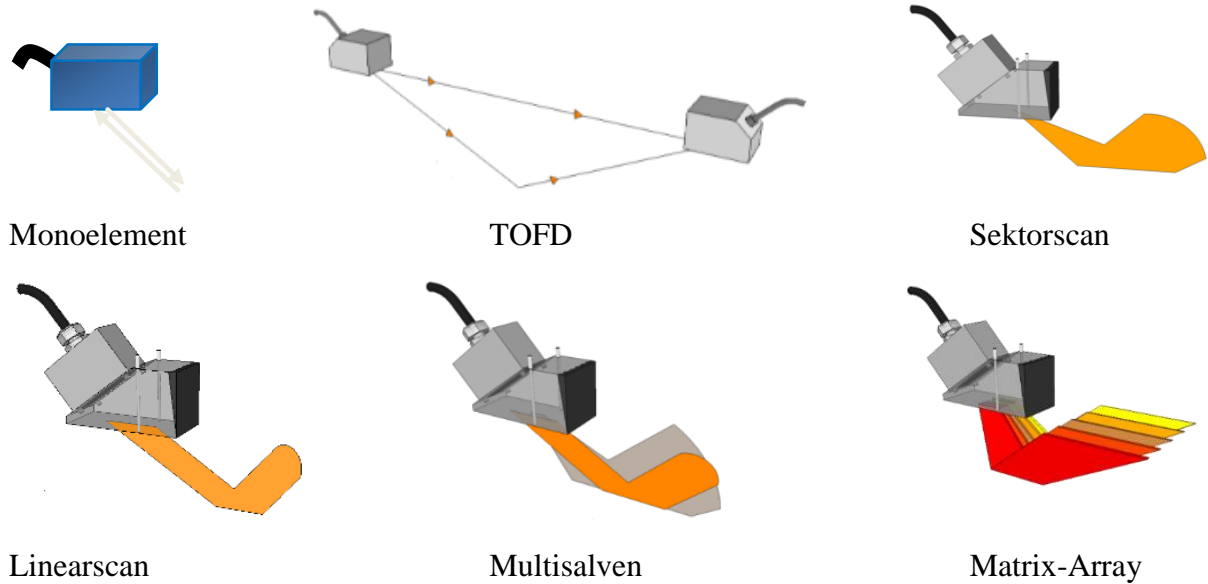


Abb. 2: Die traditionellen Ultraschall-Prüftechniken

## Traditioneller Sektor- und Linearscan

Die traditionellen Phased-Array-Techniken umfassen das Schwenken des Schallbündels (Sektorscan), die Parallelverschiebung des Schallbündels (Linearscan oder elektronischer Scan) und die Fokussierung des Schallbündels:

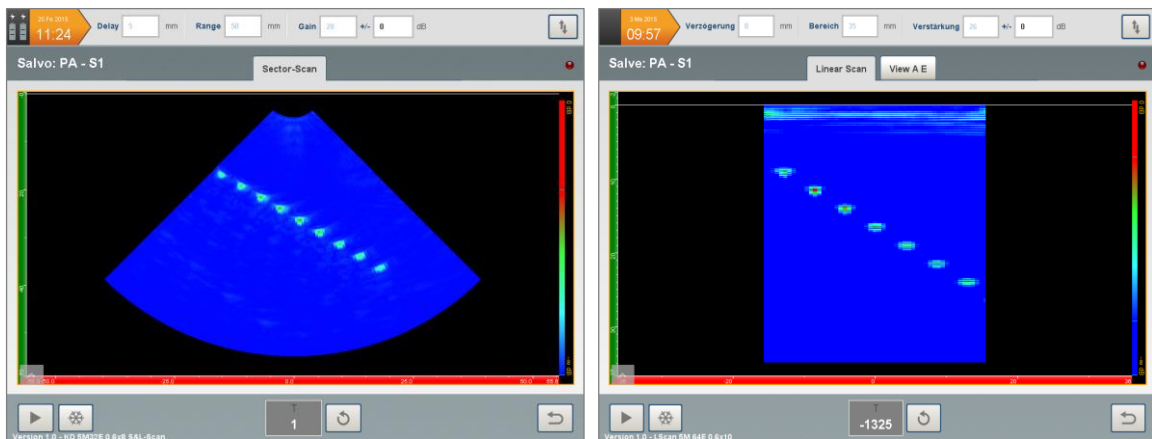


Abb. 3: Sektorscan (links) und Linearscan (rechts) mit fokussiertem Schallfeld

Bei den in Abbildung 3 dargestellten Testreflektoren handelt es sich um 1,5 mm große Querbohrungen im ASTM-Phased-Array-Testblock.

Die dabei erzielbaren axialen Auflösungen hängen von der jeweiligen Bandbreite des Prüfkopfes ab und die lateralen Auflösungen vom Durchmesser des fokussierten Schallfeldes. Ein weiteres Maß für die Bildgüte ist der Bildkontrast, der hier sehr hoch ist aufgrund einer Dämpfung von mehr als 50 dB zwischen den Kanälen.

### Die Total-Focusing-Methode (TFM)

Die „Total-Focusing-Methode TFM“ liefert eine Auflösung von einer Wellenlänge und damit eine präzisere Reflektorgrößenmessung im Vergleich zu den traditionellen Sektorscan- und Linearscan-Methoden.

Beim TFM-Verfahren wird durch die Integration der Wechselwirkungen aller Array-Elemente mit allen Pixeln in der Bildebene eine Auflösung erzielt, die einer Wellenlänge entspricht.

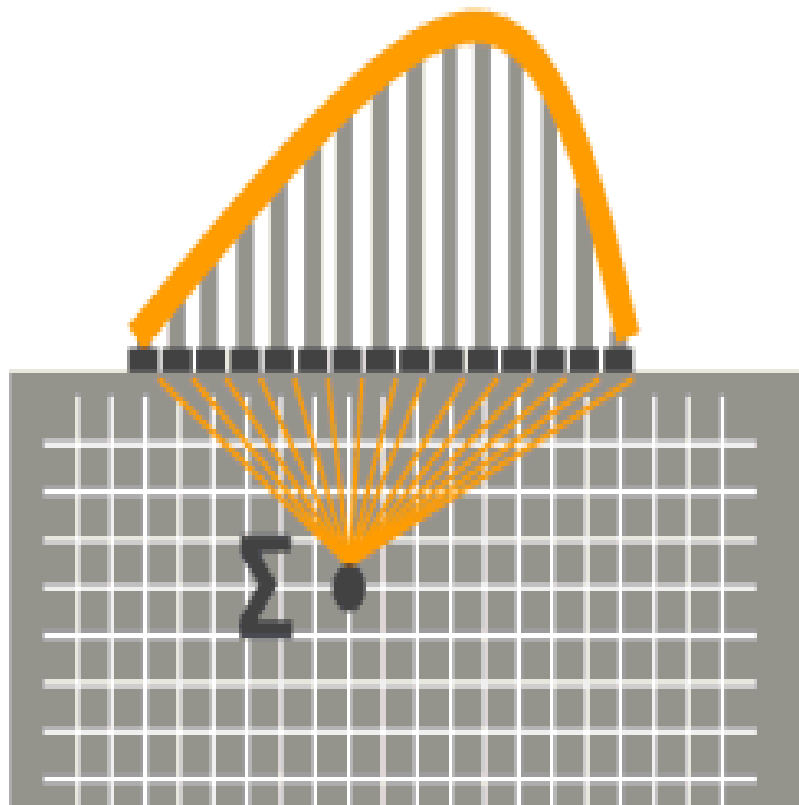
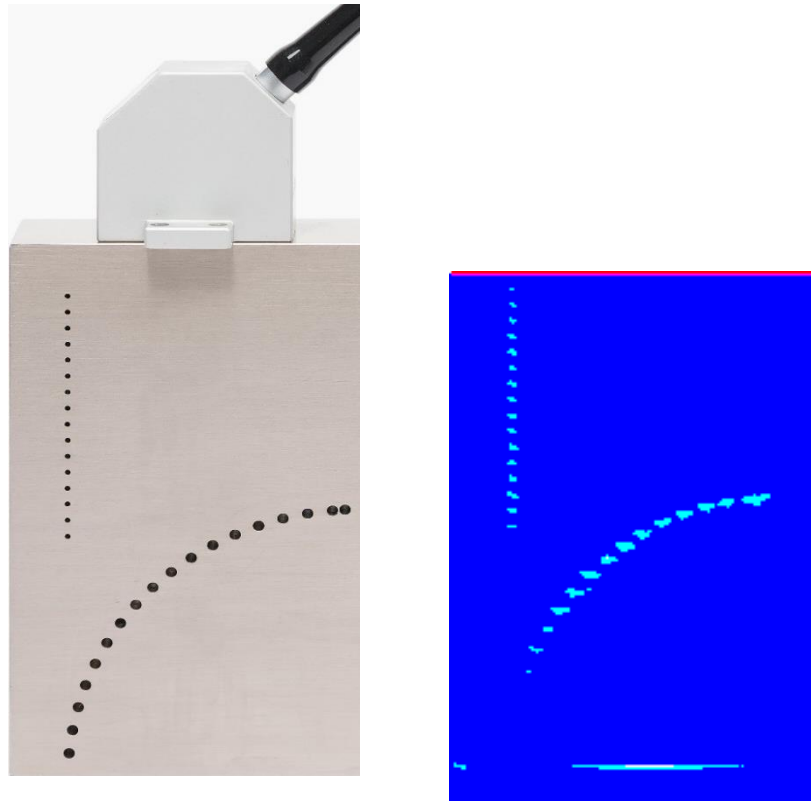


Abb. 4: Zum Prinzip der TFM-Methode

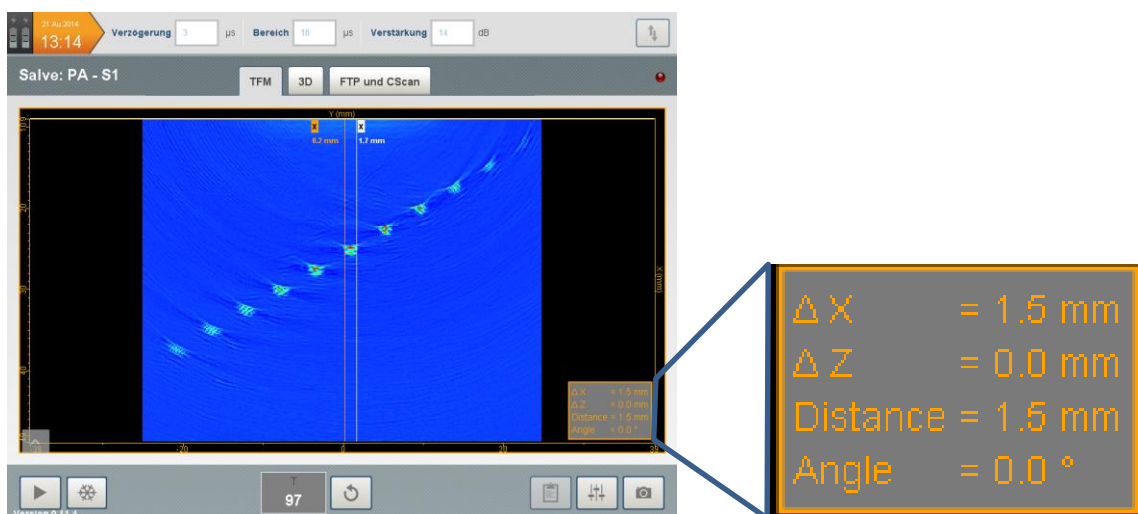


**Abb. 5:** TFM-Beispiel am Phased-Array-Testblock gemäß ASTM E2491

In dem hier vorgestellten Beispiel wurde ein Linear-Array mit 32 Elementen und einer Frequenz von 5 MHz verwendet (Longitudinal-Wellenlänge = 1,2 mm in Stahl). Die senkrecht angeordneten Querbohrungen haben einen Durchmesser von 1 mm.

Weil bei der TFM-Methode jedes Array-Element praktisch in alle Richtungen „schaut“, wird selbst die senkrechte Bohrlochreihe neben dem Prüfkopf ortsgetreu abgebildet.

Aufgrund der hohen lateralen Auflösung kann die TFM-Methode zur Analyse von Reflektorgrößen herangezogen werden. Das Beispiel gemäß Abbildung 6 beschreibt die Analyse von Bohrungen mit einem Durchmesser von 1,5 mm:



**Abb. 6:** Reflektorgrößenmessung

## C- und D-Bilder

Wenn nun mit einem Linear-Array zusätzlich mechanisch gescannt wird, lassen sich C- und D-Bilder generieren. Der Scanweg wird dabei mit einem Positionscoder erfasst.

Im C-Bild werden die Echoamplituden farbcodiert aufgezeichnet, und im D-Bild der Schallweg beziehungsweise die Tiefe der Reflektoren.

Das D-Bild eignet sich sehr gut bei der Untersuchung korrodierter Objekte für die Bestimmung der Restwanddicke.

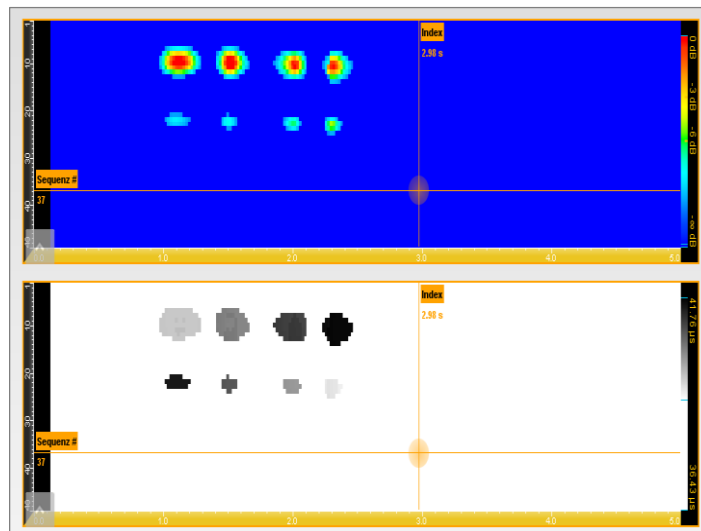


Abb. 7: C-Bild (oben) und D-Bild (unten) von Flachbodenbohrungen unterschiedlicher Größe und Tiefe

## Prüfung großer Objekte

Das Prüfgerät GEKKO verfügt über 64 parallele Kanäle. Dadurch ist es möglich, auch mit sehr großen Arrays zu prüfen und lange schlanke Schallfelder zu generieren. Zum Beispiel ergibt sich für ein 2-MHz-Array mit 64 Elementen und einem Pitch von 1 mm ein Nahfeld von über 600 mm für die Transversalwelle in Stahl.

Als Beispiel wird hier die Prüfung einer Radsatzwelle mit einer Länge von 2200 mm vorgestellt:

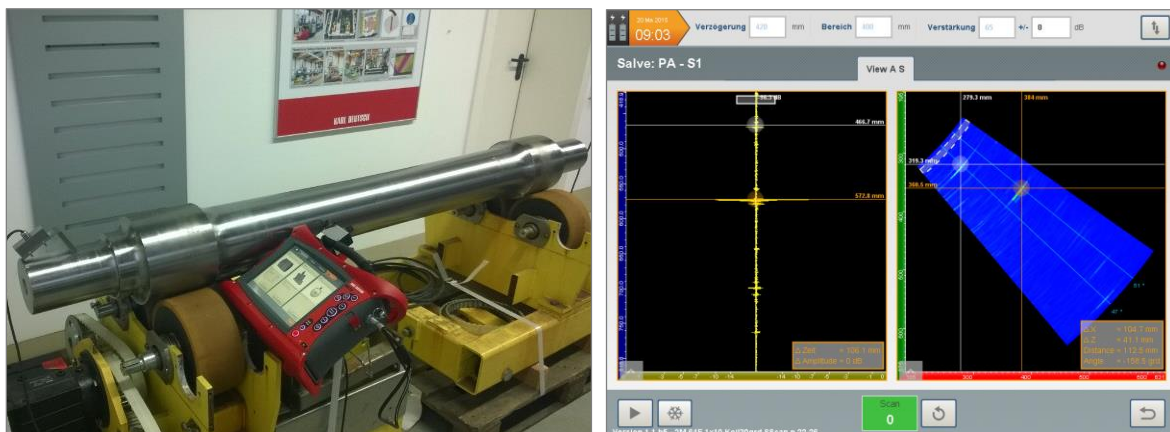


Abb. 8: Prüfung einer Eisenbahn-Radsatzwelle mit einem 64-Element-Array

Die Testwelle ist präpariert mit 1 mm tiefen Quernuten verteilt über Umfang und Länge. Die Prüfung erfolgt vom Wellenende aus mit Sektorscans im Winkelbereich  $40^\circ$  bis  $50^\circ$ . Die vorderen Nuten werden im halben Sprungabstand erfasst und die entfernten in mehreren Sprungabständen. Im B-Bild rechts in Abbildung 8 sind zwei Nutanzeigen aus der Mitte der Welle angezeigt und im A-Bild kann für eins der beiden Echos mit einem Schallweg von 575 mm abgelesen werden, dass der Signal-Rausch-Abstand weit über 12 dB liegt.

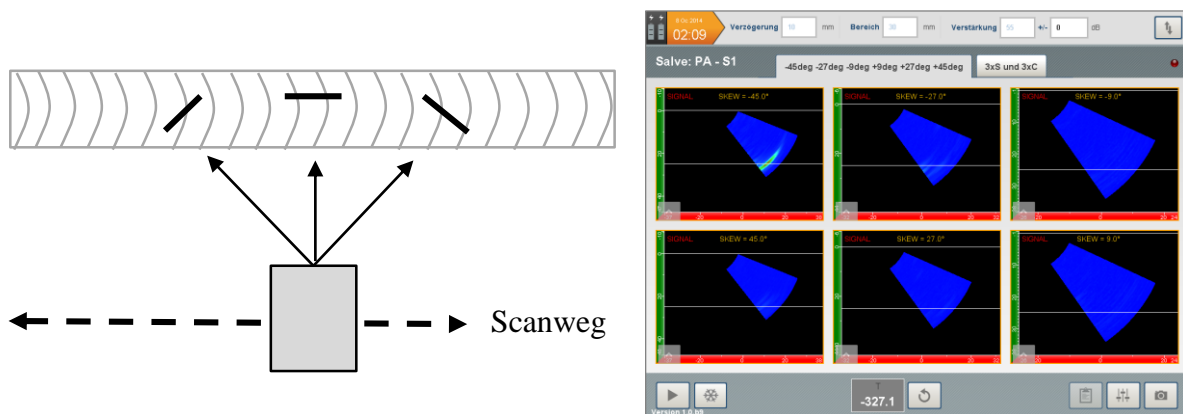
### Verwendung von Matrix-Arrays

Mit den zur Verfügung stehenden 64 parallelen Kanälen können auch 2D-Matrix-Arrays mit  $8 \times 8$  Elementen angesteuert werden.



**Abb. 9:** Matrix-Array mit  $8 \times 8$  Elementen mit ebenem und Winkelvorlauf

Mit Matrix-Arrays können mehrere Sektorscans mit unterschiedlichen seitlichen Schwenkwinkeln erzeugt werden. Das ermöglicht zum Beispiel bei der Schweißnahtprüfung eine gleichzeitige Detektion von Längsfehlern und schräg liegenden Fehlern:



**Abb. 10:** Gleichzeitiger Nachweis von Längs- und Schrägfehlern

Rechts in Abbildung 10 sind 6 Sektorscans für seitliche Schwenkwinkel von  $-45^\circ$  bis  $+45^\circ$  dargestellt. Im Sektorscan für  $-45^\circ$  ist eine Anzeige deutlich zu erkennen.

## Mehrkanalprüfung

Der GEKKO kann 4096 Focal Laws verarbeiten und unterstützt eine Impulsfolgefrequenz (IFF) von 10 kHz. Die Focal Laws und die IFF können auf mehrere Prüfköpfe verteilt werden.

Als Prüfbeispiel wird hier die Eisenbahnschienenprüfung mit 2 Phased-Array-Prüfköpfen und einem konventionellen SE-Prüfkopf vorgestellt:

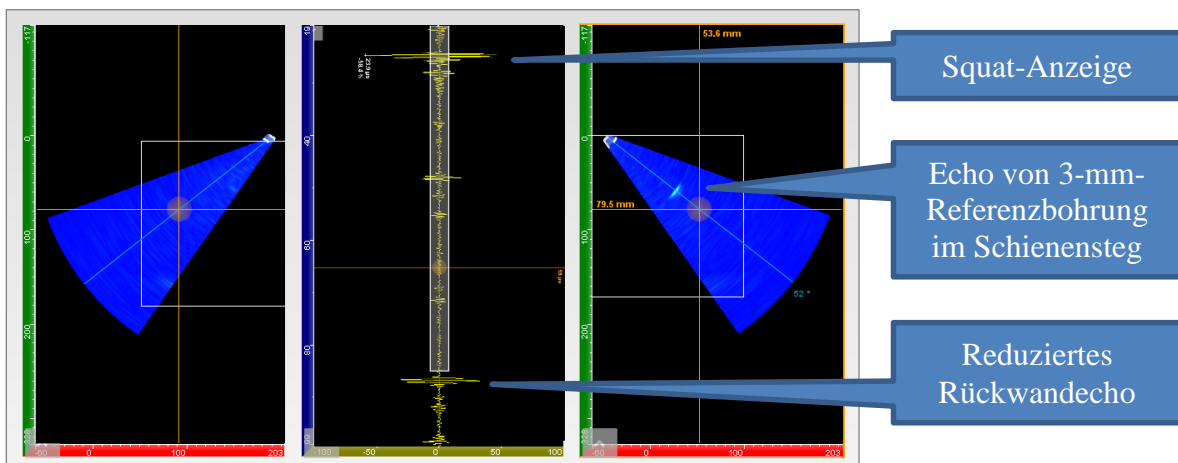
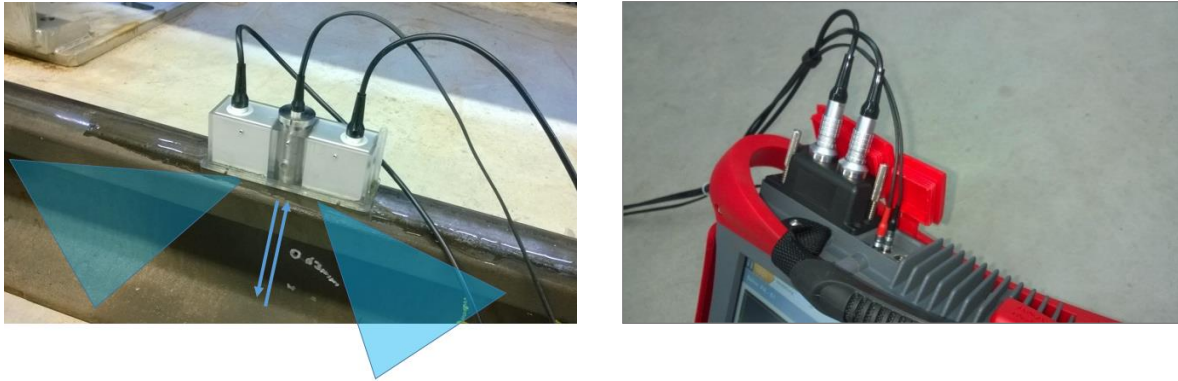


Abb. 11: Schienenprüfung mit 2 PA-Sektorscans und einem SE-Senkrechtscan

Die beiden Arrays dienen zum Nachweis von Nierenbrüchen im Schienenkopf und Rissen im Steg.

Mit dem SE-Prüfkopf werden Squats (Überwalzungen im Kopf) erfasst. Weitere Fehler in Kopf, Steg und Fuß werden über die reduzierten Rückwandechoamplituden detektiert.

Die Schienenprüfung ist nur ein Beispiel. In gleicher Weise können Rund- und Längsnähte an Rohren mehrkanalig geprüft werden. Dafür stehen Prüfmechaniken zur Verfügung, die zwei Phased-Array-Prüfköpfe und zusätzlich TOFD-Prüfköpfe aufnehmen können.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, auch für die einzelnen Arrays mehrere Salven zu definieren. So können zum Beispiel für ein Array mit Winkelvorlaufkeil ein Sektorscan, ein Linearscan und ein Schuss senkrecht für die Koppelkontrolle definiert werden.

## Weitere nützliche Werkzeuge

Für die Schweißnahtprüfung steht ein Wizard mit 14 symmetrischen und 7 asymmetrischen Schweißnahtformen zur Verfügung. Darin werden die Schweißnahtdetails definiert. Bei der Definition der Ultraschallparameter werden Prüfkopf- und Schweißnahtposition angezeigt. Damit kann der Prüfer die optimale Abdeckung der Schweißnaht festlegen.

Für die Prüfung von Rohrlängsnähten wird die Prüfung auf gekrümmten Oberflächen unterstützt.

Zur Messung und zum Abgleich der Array-Element-Empfindlichkeit steht eine Routine zur Verfügung. Der Prüfkopf wird dazu auf ein planparalleles Objekt gesetzt. Alle Elemente werden einzeln angeregt. Die Zeit für die Messung und den Abgleich liegt im Millisekunden-Bereich.

Der GEKKO unterstützt auch den TCG-Abgleich (Time Corrected Gain). Dazu werden Querbohrungen im Referenzkörper angeschallt und die Echos im Prüfbereich auf die gleiche Amplitude gesetzt. Für Sektorscans erfolgt gleichzeitig der ACG-Abgleich (Angle Corrected Gain), wobei die Echoamplituden auch für alle Winkel gleich gesetzt werden.

Wie bei der konventionellen Ultraschallprüfung können Vorlaufkeile verschleifen. Bei Phased-Array-Prüfköpfen werden der Winkel und die Höhe des Vorlaufkeils vermessen, indem alle Elemente einzeln angeregt werden und die Laufzeiten bis zum Boden des Vorlaufkeils gemessen werden. Das Prinzip ist in Abbildung 12 dargestellt:

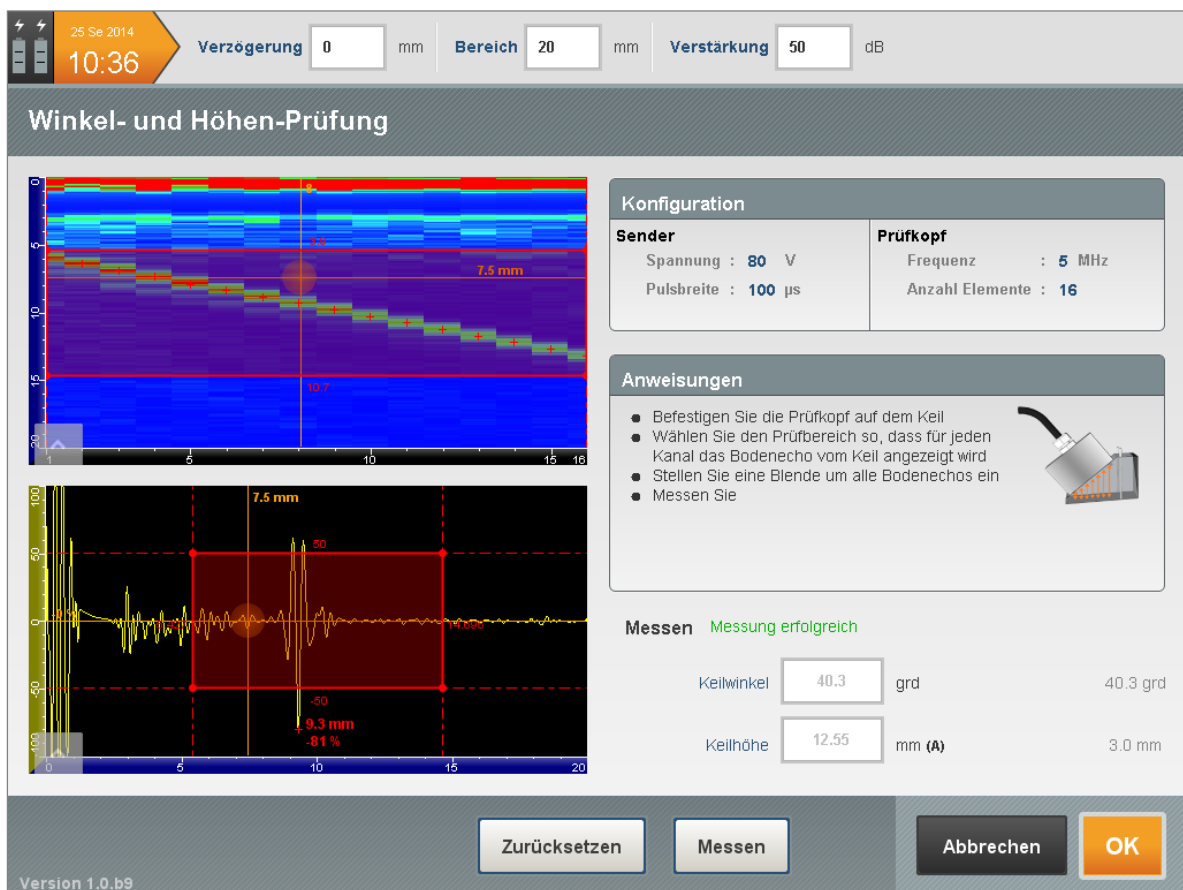


Abb. 12: Automatische Vermessung eines Winkelvorlaufkeils