

Betriebstaugliche Ultraschall- Querfehlerprüfung an SAWL-Pipeline- Rohren mit Phased-Array Technik

Nikolai CHICHKOV*, Alfred GRAFF*, Thomas KERSTING**, Thomas ORTH*,
Till SCHMITTE*, Martin SPIES***

* Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH

** EUROPIPE GmbH

*** Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Kurzfassung. Bei der Schweißnahtprüfung an längsnahtgeschweißten Großrohren auf Querfehler kommt konventionell ein Rechteck-Prüfkopf zum Einsatz, der unter 45° zentral in die Schweißnaht einschallt. In einem vorangegangenen Beitrag [1] wurde gezeigt, dass diese Vorgehensweise unter Umständen zu Empfindlichkeitsvariationen im Prüfvolumen führen kann. Alternativ wurde in [1] daher eine Prüfung mit einem 2D-Matrix-Array vorgestellt. In diesem Beitrag bauen wir auf den genannten Ideen auf und stellen eine industriell einsetzbare Lösung vor, die auf einem quer zur Schweißnaht gestellten linearen Phased-Array-Prüfkopf basiert. Durch Kombination mehrerer aufeinander folgender Sektorscans wird das komplette Schweißnahtvolumen mit einem Einschallwinkel von 45° geprüft. Die Detektion von spezifizierten Referenzfehlern wird an einer realen Schweißnahtprobe demonstriert. Das vorgestellte Prüfverfahren erfüllt die industriellen Anforderungen an Prüfgeschwindigkeit und Auflösung.

Einführung

Für die Querfehlerprüfung bei der automatisierten Ultraschallprüfung von längsnahtgeschweißten Großrohren bei EUROPIPE werden konventionelle 4 MHz Tauchtechnik-Prüfköpfe mit Rechteckschwingern eingesetzt. Diese Prüfköpfe werden unter einem Einfallswinkel von ca. 19° für die 45° -Winkelschallung von Transversalwellen betrieben und "reiten" mit der Mechanik auf der Naht („riding on bead“). Dieses Verfahren der Anschallung ist in der Großrohrprüfung, neben der sogenannten X- oder K-Anordnung, weit verbreitet. Die Ankopplung erfolgt bei EUROPIPE mittels Wasserdüsen-Technik, d.h. der Prüfkopf wird ständig von einer quasi stehenden Wassersäule mit einer typischen Länge von ca. 15 mm unterspült. Der Prüfkopf selbst ist zentrisch zur Schweißnaht positioniert und ist so ausgewählt, dass möglichst das gesamte Schweißnahtvolumen durchschallt wird (Rechteckschwinger 4 MHz, $20 \times 10 \text{ mm}^2$) [2].

Wie bereits in [1] gezeigt wurde, führt die Schallfeldverteilung im Nahfeld des Rechteckschwingers zu einer Empfindlichkeitsvariation quer zur Schweißnaht. Identische Fehler werden in Abhängigkeit ihrer Position innerhalb der Schweißnaht mit unterschiedlichen Signalamplituden detektiert. Diese Amplitudenschwankungen erschweren die



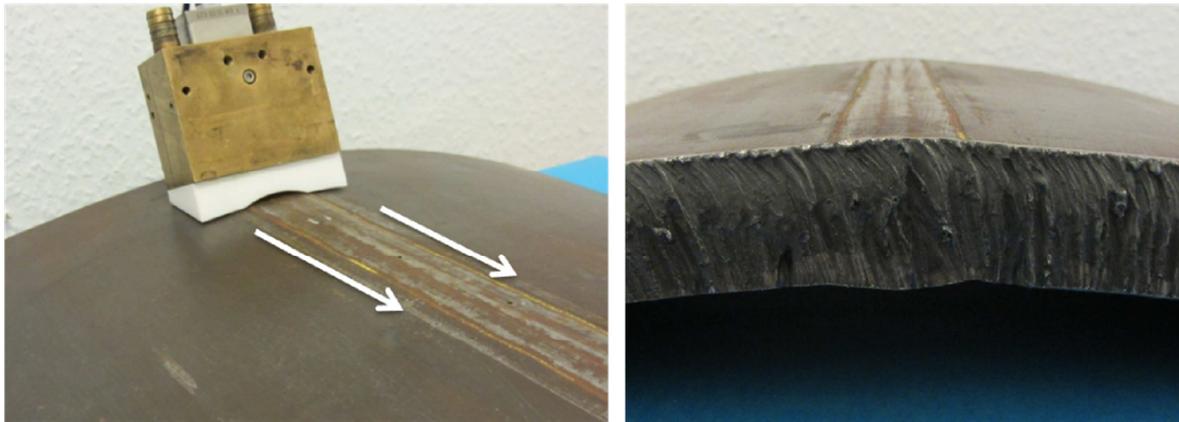


Abb. 1: (a) Experimenteller Aufbau zur Querfehlerprüfung, (b) Schweißnahtprobe.

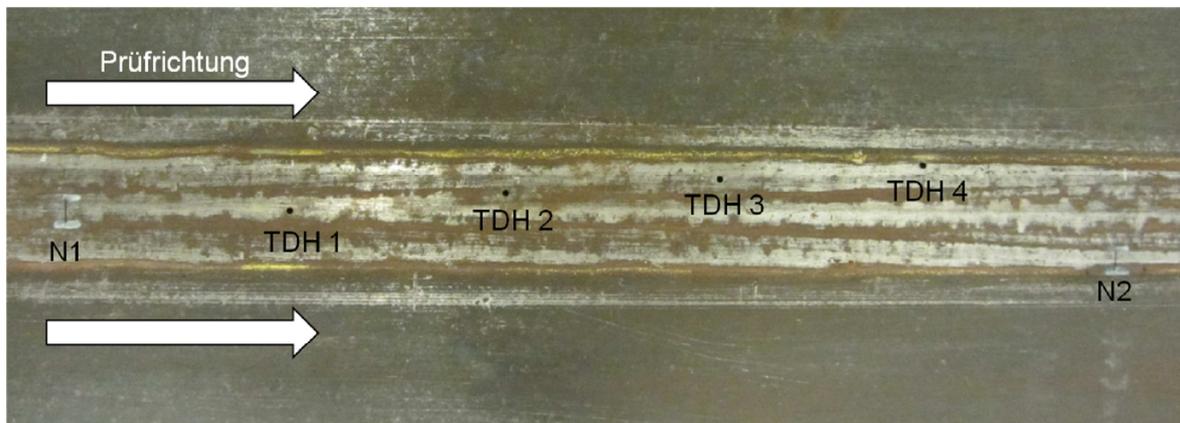


Abb. 2: In die Schweißnaht eingebrachte Referenzfehler

Größenabschätzung der detektierten Fehlstellen und resultieren in einer vermehrten Anzahl von Scheinanzeigen. Um eine gleichmäßigere Empfindlichkeitsverteilung zu erreichen wurde in [1] der Einsatz von zweidimensionalen Phased-Arrays (PA) vorgeschlagen und untersucht. Es wurde gezeigt, dass durch Schwenken des PA-Schallfeldes quer zur Schweißnaht (Sektorscan) eine deutlich gleichmäßigere Detektion der verwendeten Referenzfehler möglich war. Die Ergebnisse legten außerdem eine mögliche Reduzierung auf ein eindimensionales PA nahe, sodass höhere Kosten für die Elektronik und Prüfköpfe im Rahmen gehalten werden können.

In diesem Beitrag stellen wir ein neues PA-Konzept zur industriellen Querfehlerprüfung von längsnahtgeschweißten Großrohren vor. Mit einem linearen PA werden mehrere aufeinander folgende Sektorscans durchgeführt und die komplette Breite der Schweißnaht wird gleichmäßig geprüft. Die Prüfzeiten ermöglichen eine Prüfgeschwindigkeit von 0,75 m/s bei einem Prüfraster von 1 mm entlang der Schweißnaht. An einer realen Schweißnahtprobe wird die Detektion aller spezifizierten Referenzfehler demonstriert.

Experimenteller Aufbau

Der Laboraufbau zur PA-Querfehlerprüfung ist in Abb. 1(a) illustriert. Der komplette Aufbau (PA-Halterung, Rohrsegment) befindet sich vollständig in Wasser. Das lineare PA ist in einer Halterung über der Schweißnahtmitte zentriert und wird auf der Schweißnaht

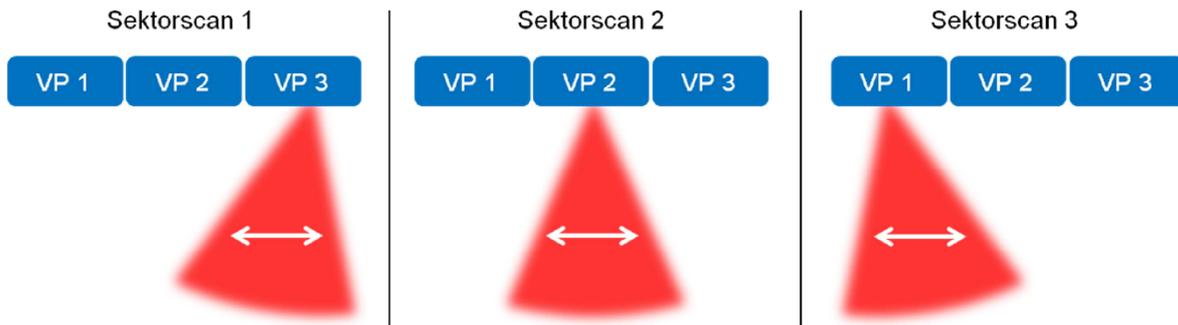


Abb. 3: Phased-Array Querfehlerprüfung

über das komplette Rohrsegment bewegt. Die PA-Elemente sind quer zur Schweißnaht ausgerichtet. Das PA ist in Richtung der Rohrachse um 19° Grad gekippt, um innerhalb der Schweißnaht einen Einschallwinkel von 45° zu erzielen. Um die tatsächliche Prüfsituation genau nachzustellen, wird zur Schallankopplung eine Wasserdüse von EUROPIPE verwendet (weißer Kunststoffkeil). Die Wasserdüse hat eine Apertur von 20 x 7 mm² und resultiert in einer Wasservorlaufstrecke von 15 mm.

In Abb. 1(b) ist die Seitenansicht der verwendeten Schweißnahtprobe zu sehen. Das Rohrsegment hat eine Wanddicke von 29,6 mm, einen Außendurchmesser von 1066 mm und eine Schweißnahtbreite von 26 mm. Als Referenzfehler wurden Durchgangsbohrungen (TDH) mit 1,6 mm Durchmesser und Quernuten (N) mit 1,5 mm Tiefe, 5 mm Länge und 0,2 mm Breite verwendet. Abb. 2 zeigt die Verteilung der Referenzfehler innerhalb der Schweißnaht. Entlang der Prüfrichtung, von links nach rechts, befinden sich in der Schweißnaht ein Nutenpaar in der Schweißnahtmitte (N1), vier Durchgangsbohrungen (TDH1-4) und ein Nutenpaar am Rand der Schweißnaht (N2). Beide Nutenpaare bestehen aus einer Innen- und einer Außennut. Die vier Durchgangsbohrungen sind in 4 mm Schritten über die halbe Schweißnahtbreite verteilt.

Phased-Array Querfehlerprüfung

Das Konzept zur industriellen Querfehlerprüfung mittels Phased-Array ist in Abb. 3 dargestellt. Zur Querfehlerprüfung wird ein lineares PA mit 30 Kanälen und einer Schallfrequenz von 5 MHz verwendet. Die PA-Einzelschwinger haben eine Fläche von 0,5 x 10 mm² und einen Elementabstand von 0,1 mm. Das PA wird in drei virtuelle Prüfköpfe (VP) mit jeweils 10 Einzelschwingern unterteilt. Die VPs führen nacheinander drei Sektorscans durch, bei denen das Schallfeld quer zur Schweißnaht geschwenkt wird. Die Verwendung mehrerer quer zur Schweißnaht versetzter Sektorscans reduziert den Einfluss von Fehlerposition und Schweißnahtgeometrie auf die detektierte Signalamplitude.

Das Schwenken des Schallfeldes wird durch zeitverzögertes Senden der einzelnen PA-Elemente erzielt. Die Zeitverzögerung ΔT ist gegeben durch:

$$\Delta T = \frac{x \cdot \sin(\alpha)}{v_t},$$

wobei x die Position des jeweiligen PA-Elements ist, v_t die angenommene transversale Schallgeschwindigkeit innerhalb der Schweißnaht von 3225 m/s und α im Folgenden als Schwenkwinkel bezeichnet wird. Pro Sektorscan werden nur vier Schwenkwinkel verwendet. Bei einer Pulswiederholrate von 10 kHz können dadurch Prüfgeschwindigkeiten von bis zu 0,75 m/s mit einem Prüfraster von 1 mm entlang der Schweißnaht erzielt werden. Zusätzlich zum Schwenken wird durch weitere Zeitverzögerung der einzelnen PA-

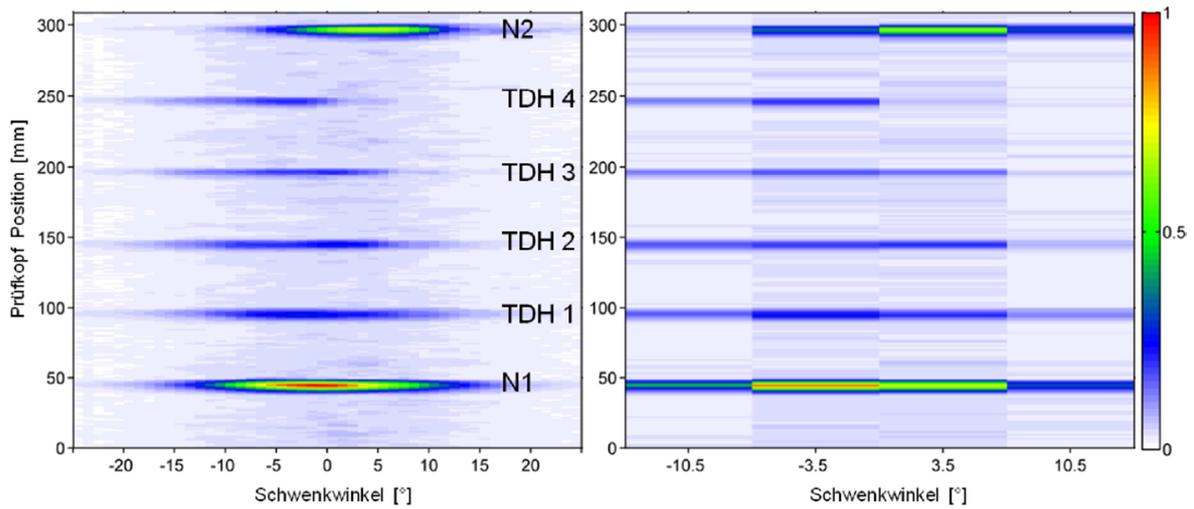


Abb. 4: Signalamplitude in der Innenfehlerblende über PA-Position und Schwenkwinkel: (a) Schwenkwinkel in 1° Grad Schritten variiert, (b) vier Schwenkwinkel in 7° Grad Schritten.

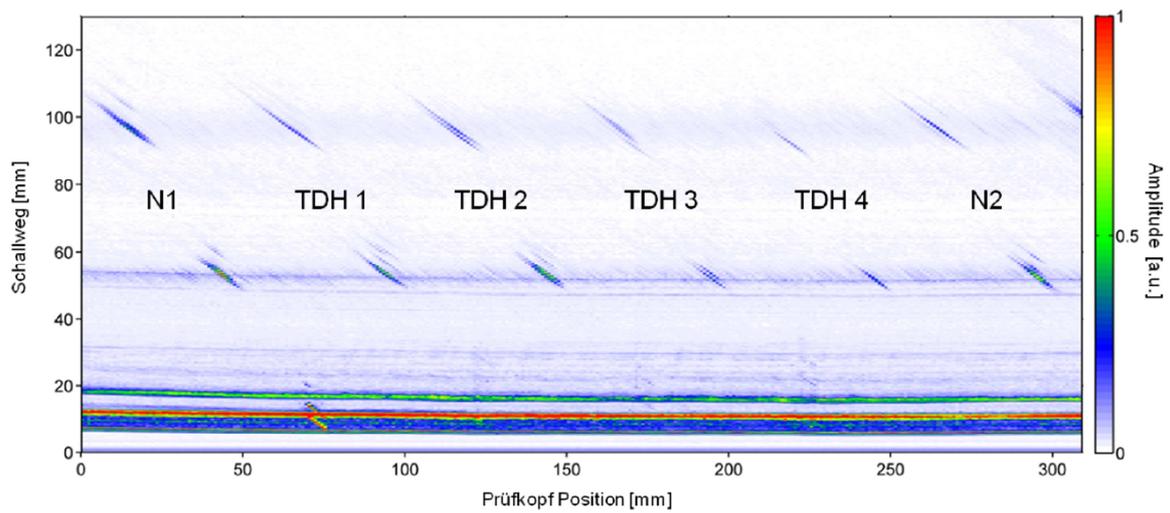


Abb. 5: B-Scan versus Prüfkopf Position.

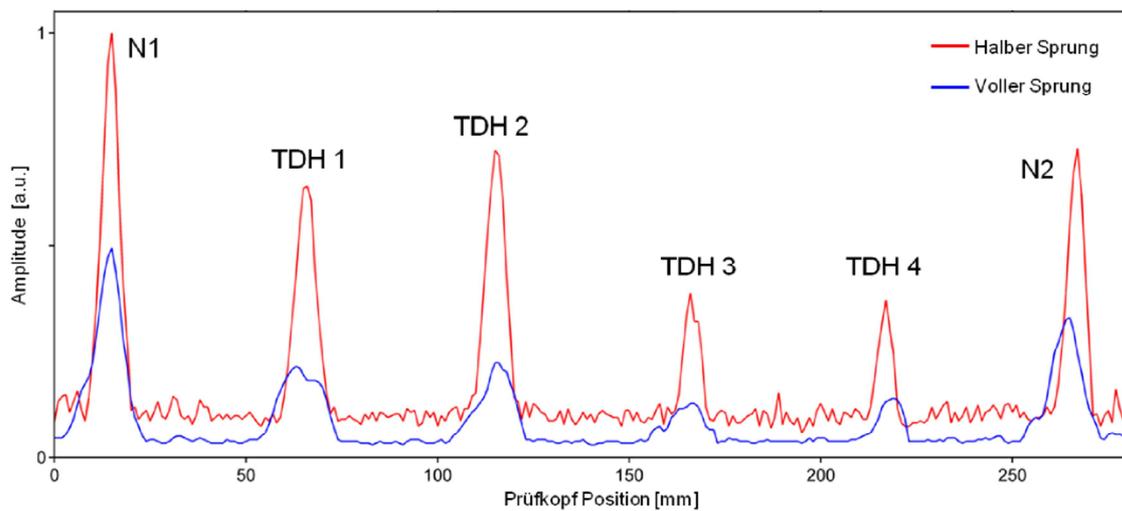


Abb. 5: Maximale Amplitude über Prüfkopf Position: Innenfehlerblende bei ca. 50 mm Schallweg (rot) und Außenfehlerblende bei ca. 100 mm Schallweg (blau).

Elemente das Schallfeld der VPs defokussiert um eine gleichmäßigere Ausschallung der Schweißnaht zu ermöglichen.

Experimentelle Ergebnisse

Zuerst wurden die zur gleichmäßigen Ausschallung der Schweißnaht benötigten Schwenkwinkel mit der oben beschriebenen Schweißnahtprobe experimentell ermittelt. Abb. 4(a) zeigt die vom mittleren VP detektierte Signalamplitude innerhalb der Innenfehlerblende in Abhängigkeit des Schwenkwinkels und der PA-Position entlang der Schweißnaht. Der Schwenkwinkel und die PA-Position wurde in 1° Grad bzw. 1 mm Schritten variiert. Alle Referenzfehler auf der Innenseite des Rohrsegments werden in einem Schwenkbereich von 21° detektiert. In Abb. 4(b) ist die Signalamplitude für vier ausgesuchte Schwenkwinkel gezeigt. Auch unter Verwendung von nur vier Schwenkwinkeln können alle Referenzfehler ohne Sensitivitätsverlust nachgewiesen werden, die Schweißnaht wird also gleichmäßig ausgeschallt. Diese Messung wurde mit allen VPs für Innen- und Außenfehler durchgeführt, um die Schwenkwinkel für alle drei Sektorscans festzulegen.

Als nächstes wurde die Schweißnahtprobe mit dem vorgestellten PA-Konzept vermessen. Zur Auswertung der PA-Querfehlerprüfung wird für jeden Laufweg die maximale Signalamplitude aus den drei Sektorscans bestimmt (B-Scan). Die gemessenen B-Scans sind in Abb. 5 über die PA-Position aufgetragen. Die maximalen Signalamplituden innerhalb der Innen- und Außenfehlerblenden sind in Abb. 6 gezeigt. Alle eingebrachten Referenzfehler werden mit gutem Signal-zu-Rausch Verhältnis bei einer Verstärkung von 40 dB detektiert. Am Amplitudenverhältnis der Quernuten ist nur eine geringe Sensitivitätsvariation quer zur Schweißnaht erkennbar.

Zusammenfassung

Der Einsatz eines linearen Phased-Arrays zur Querfehlerprüfung von längsnahtgeschweißten Großrohren wurde demonstriert. Durch Kombination mehrerer aufeinander folgender Sektorscans wird das komplette Schweißnahtvolumen mit einem Einschallwinkel von 45° ausgeschallt. Bei einer Pulswiederholrate von 10 kHz ermöglicht das vorgestellte Prüfkonzept eine Prüfgeschwindigkeit von 0,75 m/s mit einem Prüfraster von 1 mm entlang der Schweißnaht.

Die Detektion von Referenzfehlern wurde an einer realen Schweißnahtprobe untersucht. Alle Referenzfehler konnten mit einer Verstärkung von 40 dB nachgewiesen werden. Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass die komplette Schweißnaht mit vier Prüfschüssen pro Sektorscan ausgeschallt wird. Aus den gemessenen Signalamplituden ergibt sich eine gleichmäßige Sensitivitätsverteilung quer zur Schweißnaht.

Das vorgestellte Prüfkonzept erfüllt alle Anforderungen an die industrielle Querfehlerprüfung von längsnahtgeschweißten Großrohren. Ziel weiterer Arbeiten ist die Implementierung dieser PA-Prüfung in die Schweißnahtprüfung bei EUROPIPE Mülheim.

Referenzen

- [1] T. Orth, T. Schmitte, M. Spies, H. Rieder, T. Kersting, "Simulation und Validierung eines optimierten Phased-Array-Verfahrens zur Querfehlerprüfung von SAWL-Schweißnähten in ferritischen Rohren", DACH-Tagung 2012, Mi.B.2.1.
- [2] T. Kersting, S. Schuster, L. Oesterlein, K. Fliescher, F. Kahmann, G. Finger: „Praktische Erfahrungen mit der Phased Array Prüftechnik an Großrohren bei der automatischen Ultraschall Schweißnahtprüfung bei EUROPIPE“, DGZfP Jahrestagung (2011), Bremen.