

Bill Waldron, Krautkramer Branson, Lewistown, USA; Gerd Kauth, Krautkrämer GmbH & Co. oHG, Hürth

## Ultraschall-Array-Technik für industrielle Anwendungen

Der Trend zu immer kleineren, weniger kostspieligen und gleichzeitig leistungsfähigeren Elektronik hat mittlerweile dafür gesorgt, daß die Arrays (Gruppenstrahler) in der industriellen Anwendung wirtschaftlicher einsetzbar sind. Krautkrämer entwickelt und baut nunmehr Prüfeinrichtungen, mit denen die in der Array-Technik liegenden Vorteile auch für Anwendungen in der Fertigungstechnik genutzt werden können.

### Was sind Arrays?

Ein Array ist im Prinzip ein großer Einzelschwinger, der durch Schneiden in viele schmale Elemente unterteilt wurde - wie Abbildung 1 zeigt. Typische Elementbreiten reichen von 0,5 mm bis ca. 2,5 mm. Andere Abmessungen sind natürlich auch möglich. Weiterhin gibt es Ring-Gruppenstrahler - runde Schwinger, aufgeteilt in konzentrisch geformte Einzelemente (Abb. 2).

### Warum werden Schwinger in kleine Einheiten aufgeteilt?

Ein großer Schwinger liefert zwar eine gute ebene Abtastung, aber seine relativ geringe Auffächerung (die kleine Divergenz) begrenzt die Fehlerauffindbarkeit. Ein kleiner Schwinger hingegen hat einen viel größeren Divergenzwinkel, und dieser große Winkel bewirkt, daß die nützlichen Eigenschaften der Gruppenstrahler zum Vorschein kommen: dynamische Fokussierung und Schwenken des Schallbündels. Eine andere Eigenschaft schmaler Schwinger ist ihre besonders wirksame Schallübertragung - kleinere Elemente benötigen weniger Anregungsenergie, und als Empfänger sprechen sie bereits wegen der geringen anzuregenden Masse äußerst effizient an. Die Bündelöffnung ist ebenfalls abhängig von der verwendeten Frequenz - niedrige Frequenzen bewirken höhere Divergenzen als hohe Frequenzen. Typische Elementbreiten und Frequenzen für industrielle Anwendung sind z.B. 1 mm und 2,5 MHz oder 0,5 mm und 5 MHz.

### Schallbündel-Schwenkung

Ein wichtiger Aspekt der Array-Technik ist die Fähigkeit, ein dynamisch veränderbares Ultraschallbündel zu erzeugen und so über einen "virtuellen Prüfkopf" zu verfügen mit beliebigen Einschallwinkeln innerhalb der Schallbündelcharakteristik des Einzelschwingers.

Ein schräg einfallendes Schallbündel wird erzeugt, indem jeder Schwinger eines Arrays sequentiell in der Weise angesteuert wird, daß eine Wellenfront mit dem gewünschten Winkel entsteht. Hierzu wird eine spezielle Gruppenstrahler-Elektronik verwendet, mit der der Winkel ausgewählt und die Zeitverzögerung elektronisch eingestellt wird. Der Einschallwinkel kann, falls gewünscht, von Impuls zu Impuls geändert werden. Dieser "virtuelle Prüfkopf" kann ebenfalls seinen Schallstrahl durch ein Prüfstück "hindurchschwenken", indem einzelne Gruppen von Schwingern eines großen Gruppenstrahlers einzeln angesteuert werden.

### Dynamische Fokussierung

Der bei der Schallbündelschwenkung gezeigte Effekt kann auch benutzt werden, um einen Schallstrahl dynamisch zu fokussieren durch eine entsprechende Auswahl von Ansteuerungsreihenfolge und Impulsverzögerungen. Wie gesagt, kann das von Impuls zu Impuls verändert werden - so wird ein Fokuspunkt durch den Prüfling "hindurchgefahren". Die Kombination aus dynamischer Fokussierung und Schallbündelschwenkung bewirkt ein Schallbündel, das gleichzeitig fokussiert ist und unter einem Winkel einfällt. Diese Anwendung wird zum Beispiel bei der Rohrprüfung genutzt.

### Lineare Abtastung

Bei der linearen Abtastung (manchmal als "synthetic aperture scanning" bezeichnet) werden zusammenliegende Schwingergruppen nacheinander angesteuert. So wird ein Abtasteffekt erzeugt. Die Breite des "künstlichen Prüfkopfs" und seine Abtast-Schrittweite können durch die Anzahl der gleichzeitig angesteuerten Schwinger und durch den Versatz von Impuls zu Impuls festgelegt werden. Abbildung 8



Abb. 1 und 2: Elemente eines Zeilenschwingers und eines Ringschwingers



Abb. 3: Verschiedene Schwinger und Schallbündel

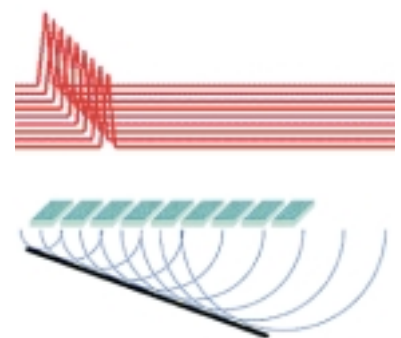


Abb. 4 und 5: Zeitverzögerte Anregung und Wellenfront für Winkelschallung

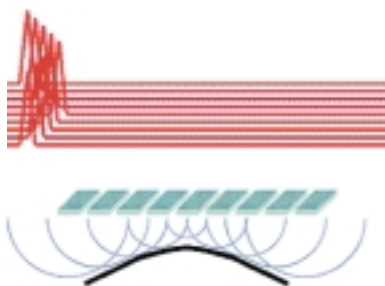


Abb. 6 und 7: Zeitverzögerte Anregung und Wellenfront für Fokussierung

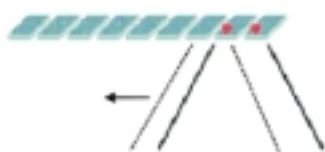


Abb. 8: Lineare Abtastung

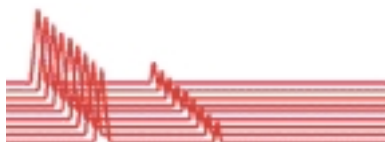


Abb. 9: Zeitverzögerte Ansteuerung mit Echosignalen



Abb. 10: Sendepulse und Echos zeitlich überlagert

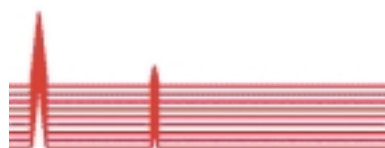


Abb. 11: Sendepulse und Echo mit Phasenkompensation



Abb. 12: A-Bild-Darstellung der kompensierten Signale

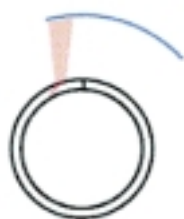


Abb. 13: Schweißnahtprüfung am Rohr mit Array-Technik

zeigt zwei gleichzeitig angesteuerte Elemente, mit der Schrittweite eines Elements. Diese Technik kann mit Schallbündelschwenkung und dynamischer Fokussierung kombiniert werden, um somit eine Abtastbewegung, bestehend aus Winkelstrahl und fokussierendem Schallstrahl, zu erzeugen.

### Auswertung der Empfangssignale

Wie bei Schallbündelschwenkung und dynamischer Fokussierung gezeigt, kann ein ausgewähltes und maßgeschneidertes Schallbündel erzeugt werden durch speziell festgelegte Ansteuerungsreihenfolge und entsprechende Ansteuerverzögerung der jeweiligen Schwinger.

Aber - was passiert mit den zurückkommenden Signalen? Wie können sie zu einem einzigen auswertbaren Ultraschallsignal kombiniert werden?

Die Abbildung 9 zeigt nochmals die Sendepulsverteilung für einen einfach geschwenkten Schallstrahl, jedoch jetzt zusätzlich mit simulierten Echosignalen, die alle - für jedes Array-Element - aus der gleichen relativen Entfernung stammen.

Abbildung 10 zeigt, daß alle Signale, von der gleichen Zeitbasis ausgehend, zu unterschiedlichen Zeiten ankommen - das macht die Auswertung schwierig.

Das Problem wird in zwei Schritten gelöst. Zunächst wird der Signalverlauf eines jeden Elements digitalisiert, und alle Signalverläufe werden zeitgleich ausgerichtet, so daß die Phasenverschiebungen der Sendepulse kompensiert sind. Die Echos werden relativ zueinander in einer standardisierten Zeitbasis angezeigt (Abb. 11).

Danach werden alle Echos digital addiert, so daß alle Anzeigen - gefunden von mehr als einem Schwinger - verstärkt werden, und so ein wirkliches Abbild der relativen Fehlergröße (Abb. 12) entsteht. Diese so erhaltene Summendarstellung wird in einem normalen Krautkrämer-USPC 2100-System wie das Sig-



Abb. 14: Prüfkopf-Anordnung für Schweißnahtprüfung

nal von einem herkömmlichen Einzelschwingerprüfkopf verarbeitet und ausgewertet.

### Fehlerprüfung bei Rohren

Zur Prüfung der Nähte bei widerstandsgeschweißten Rohren wird ein spezielles Array-System eingesetzt. Üblicherweise sind für diese Anwendung Elemente auf einem Kreisbogen von 90° angeordnet. Die ursprüngliche 12 Uhr-Nahtposition wandert zwischen Schweißkopf und Prüfposition aus. Die erwähnte Abdeckung des Arrays trägt dieser Auswanderung Rechnung, ohne daß eine mechanische Nachführung erfolgen muß.

Da die Fehlerprüfung von beiden Nahtseiten durchgeführt werden muß, sind zwei 90°-Arrays hintereinander angeordnet, von denen eines im Uhrzeigersinn, das andere entgegen dem Uhrzeigersinn einschallt.

Die Prüfanlage erlaubt den automatischen Betrieb bei verschiedenen Rohrdurchmessern, ohne daß die Prüfköpfe mechanisch nachgestellt werden müssen. Allein die elektronische Einstellung von Gruppengröße, Schrittweite, Schwenkwinkel und Fokussierung ist ausreichend, um die Prüfung von verschiedenen Rohrdurchmessern durchzuführen.

Damit entfällt die relativ komplizierte Prüfkopfverstellung bei Abmessungswechsel. Hieraus ergibt sich nicht nur eine minimale Umrüstzeit, sondern auf Grund der rein elektronischen Einstellung auch ein reproduzierbares Prüfergebnis.

Bei dieser Anwendung kommen alle vorher beschriebenen Gruppenstrahler-Funktionen zum Einsatz:



Abb. 15: Rohr- und Stangenprüfanlage in Array-Technik (Modell)



Abb. 16: Arrays in Tandemtechnik zur Prüfung von Schweißnähten

- Bündel-Schwenkung, um den richtigen Winkel im Rohr zu erzeugen
- Fokussierung, um das Schallbündel in der Schweißzone zu fokussieren
- lineare Abtastung, um das Schallbündel auch bei Auswanderung der Naht in der Schweißzone zu erhalten.

Der Einsatz der Array-Technik für die Nahtprüfung an widerstandsgeschweißten Rohren erlaubt die Realisierung von Prüfmechanismen mit kurzer Baulänge, die deshalb auch nachträglich in vorhandene Linien eingebaut werden können.

### Wanddickenmessung an Rohren

Neben den vorher beschriebenen Fehlerprüfmethoden ist die Wanddickenmessung ebenfalls eine Anwendung der Array-Technik zur Qualitätskontrolle von widerstandsgeschweißten Rohren. Die Messung ist üblich zur Überwachung von Po-

sition und Arbeitsweise des Schabewerkzeugs, das den inneren Schweißgrat des Rohres abarbeitet.

Der Array wird fokussiert und linear getastet, um die Wanddicke der Rohre zu messen.

Die Ergebnisse werden ausgewertet und als C-Bild und B-Bild der Schweißzone mit den Dickenmeßwerten dargestellt.

### Abtastung in Tandemtechnik

Arrays erlauben für dynamisches Prüfen den Einsatz der Tandemtechnik.

Um diese Technik anzuwenden, werden separate Schwingergruppen desselben Prüfkopfes als Sender und Empfänger definiert, und mit diesen "virtuellen Prüfköpfen" werden die zu untersuchenden Bereiche abgetastet.

Diese Prüftechnik kann zur Prüfung dickwandiger Schweißnähte benutzt werden.

Besondere Anwendung findet die Tandemprüftechnik bei der Prüfung dickwandiger Behälter für Kraftwerke. Die Möglichkeit der Datenregistrierung ist für die Anwendung an diesen Kraftwerksteilen von besonderer Bedeutung.

Die für die Array-Prüfsysteme erforderlichen Elemente sind

- Ultraschallschwinger
- Array-Module
- Signalverzögerungskarten
- Ultraschallelektronik (zum Beispiel USPC 2100) mit Auswertelektronik

Die Prüfsysteme können und müssen maßgeschneidert werden; ein relativ hoher Engineeringaufwand erfordert die enge Zusammenarbeit zwischen dem Benutzer und Krautkrämer als dem Lieferanten.

Wegen der Komplexität der Anwendungen sind intensive Projektstudien und Beratung Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz.

Wenn diese Vorarbeiten aber getan sind, helfen die Gruppenstrahler-Prüfsysteme dabei, schwierige Prüfaufgaben zu lösen, die bisher nicht oder nur mit relativ großem Mechanikaufwand lösbar waren.



**Bill Waldron**, Marketing Manager Systems bei Krautkrämer Branson, Lewistown, Pennsylvania, USA.

Jahrgang 1940; Diplom in Metallurgie am Bolton Technical College, England. Seit über 40 Jahren im Bereich ZfP tätig; zunächst 6 Jahre als Systems Sales Manager bei der Firma Krautkrämer Wells in England; anschließend Übersiedlung in die USA zu Krautkrämer Branson; arbeitet dort seit nunmehr 17 Jahren im Bereich Ultraschall-Systeme für die ZfP.



**Gerd Kauth**, Dipl.-Ing. (FH) bei Krautkrämer GmbH & Co. oHG, Hürth.

Jahrgang 1946, Studium der Nachrichtentechnik an der Fachhochschule Köln, seit 1974 bei Krautkrämer: Tätigkeit im Anlagenbau als Projekt-Ingenieur, Schwerpunkte Schweißnaht- und Profilprüfung, Anwendung der Array-Technik im Anlagenbau.