

# Neuartige automatisierte Stangenprüfung mit Ultraschall-Gruppenstrahlern

*Gottfried Schenk, Daniel Brackrock, Elmar Dohse, Roy Ploigt, Berlin, und Wolfram Deutsch, Wuppertal*

Wie erkennt man Risse oder Einschlüsse in Stabstahl, bevor daraus beispielsweise eine Automobil-Antriebswelle entsteht? Halbzeugprodukte werden vor der Weiterverarbeitung zerstörungsfrei auf Fehlerfreiheit geprüft, denn nicht erkannte Schäden können teure Rückrufaktionen zur Folge haben. Dieser Beitrag stellt ein Verfahren vor, mit dem die bisherige konventionelle Ultraschallprüfung durch die Gruppenstrahlertechnik ersetzt wird und die Prüfqualität bei gleichzeitiger Beschleunigung des Prüfvorgangs signifikant erhöht werden kann.

Unter Stangen, auch Stabstahl oder Knüppeln, werden Halbzeugprodukte verstanden, die das Ausgangsmaterial für weitere Produktionsschritte darstellen, zum Beispiel in der Stahl- oder Automobilindustrie (Bild 1). Sie unterliegen hohen Qualitätsanforderungen und müssen deshalb vor der Weiterverarbeitung zum Endprodukt auf Fehlerfreiheit geprüft werden. Ein dafür geeignetes und sehr leistungsfähiges Verfahren ist die Ultraschallprüfung, mit der sowohl eine Volumenprüfung auf Einschlüsse als auch eine Oberflächenprüfung möglich ist.

Stand der Technik sind hier Prüfanlagen, die ohne Rotation des Prüflings oder der Ultraschallsensoren auskommen [1]. Dabei wird die sogenannte konventionelle Technik eingesetzt, mit starren Schallfeldparametern der Prüfköpfe. Zur vollständigen Abdeckung des Prüfvolumens sind mehrere um den Prüfling angeordnete Prüfköpfe erforderlich, deren Anzahl sich für eine Prüfanlage mit einer Auslegung für einen weiten Durchmesserbereich auf bis zu 45 Stück belaufen kann. Im Folgenden wird die Weiterentwicklung der Prüftechnik auf der Basis von laufzeitgesteuerten Gruppenstrahlern (Phased Arrays) vorgestellt. Diese Technik bietet den Vorteil, die Anzahl der benötigten Sensoren bei gleichzeitiger Erhöhung der Prüfsicherheit erheblich zu verringern.

## Gruppenstrahler

**Steuerbare Schallfelder.** Als Gruppenstrahler werden Anordnungen von Ultraschallschwingern bezeichnet, deren Fläche in kleine Einzelemente unterteilt ist. Werden

diese verschieden angesteuert, etwa mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten, so ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur elektronischen Schallfeldsteuerung. Sowohl das ausgesandte als auch das empfangene Schallbündel kann über einen weiten Bereich ge-



*Bild 1. Rundstangen mit unterschiedlichen Durchmessern (mit freundlicher Genehmigung der Firma Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau, Wuppertal)*

*Figure 1. Rods of different diameters*

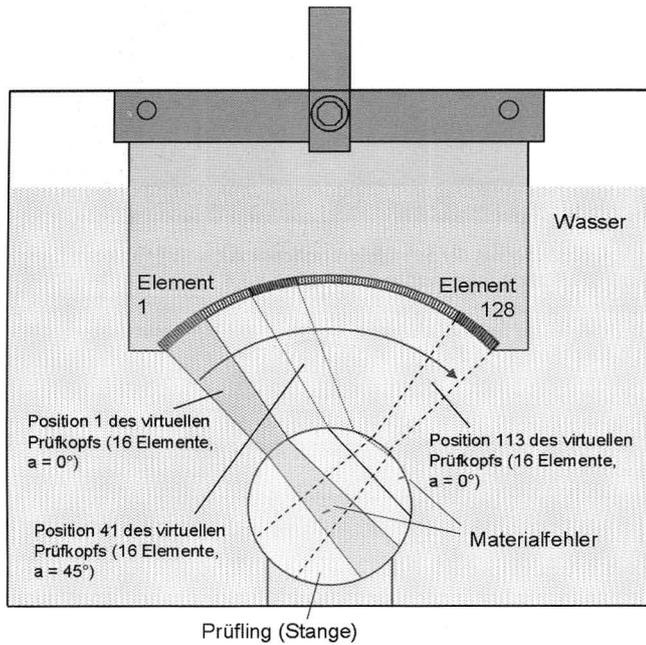


Bild 2. Einschallpositionen mit einem Viertelschalenarray

Figure 2. Incident beam positions of a quarter-circle array

drischen Form des Prüflings naheliegend, einen Prüfkopf mit gekrümmter Schwingersohle einzusetzen. Viertelschalen-Arrays, wie sie seit einiger Zeit von industriellen Herstellern angeboten werden, stellen gegenüber Halbschalen oder Ringarrays einen guten Kompromiss dar, sowohl bezüglich der Kosten als auch im Hinblick auf die Einsatzbedingungen in einem Wasserbad, die eine begrenzte Lebensdauer mit sich bringen. Deshalb fiel die Wahl auf diesen Schwingertyp.

Wie in Bild 2 dargestellt, kann zum Beispiel bei einer Gesamtzahl von 128 Elementen eine Strahlergruppe von 16 Elementen bis zu 112 verschiedene Positionen einnehmen („virtuelle Prüfköpfe“), aus denen sowohl in senkrechter Richtung (Volumenprüfung) als auch unter 45° (Oberflächenprüfung) eingeschallt werden kann.

### Modellrechnungen

**Schallfeldsimulation.** Die Qualität des Schallfelds einer Gruppenstrahleranordnung wird vor allem durch die Abmessungen und die Frequenz der Schwingerelemente bestimmt. Maßgebliche Größen sind die maximale Amplitude der Hauptkeule, deren Verhältnis zu den Nebenkeulen und die Höhe der unerwünschten Schallfeldanteile. Aus diesem Grund wurden die Prüfkopfparameter vor der Beschaffung eines Viertelschalenarrays bei einem kommerziellen Anbieter mithilfe des eigenentwickelten Modellierungsprogramms „Array Calculus“ bestimmt und mit Hinblick auf diese Größen optimiert [4]. Die abschließenden Berechnungen ergaben selbst im kritischen Fall der 45°-Einschallung mit Transversalwelle (TW) ein zufriedenstellendes Haupt- zu Nebenkeulenniveau (Bild 3).

#### Optimierung der Schwingerparameter.

Im Hinblick auf die geforderte Auflösung von 3 mm wurde eine Schwingerfrequenz von 5 MHz gewählt. Mit einer Elementbreite von 0,74 mm und einem Elementabstand von 0,1 mm ergab sich bei 128 Elementen ein Öffnungswinkel von etwas mehr als 110°, wodurch eine ausreichende Überlappung der Arrays gewährleistet war. Durch die Krümmung der Bauteiloberfläche ergibt sich bei Senkrechteinschallung eine natürliche Fokussierung (Bild 4a), die ohne Verzögerungszeitbelegung zu einer leichten Einschnürung mit nachfolgender Divergenz des Schallbündels führt. In Bild 4 sind weitere verwendete Schallbündelorientierungen dargestellt. Bild 4b zeigt ein stark fokussiertes Schallfeld für

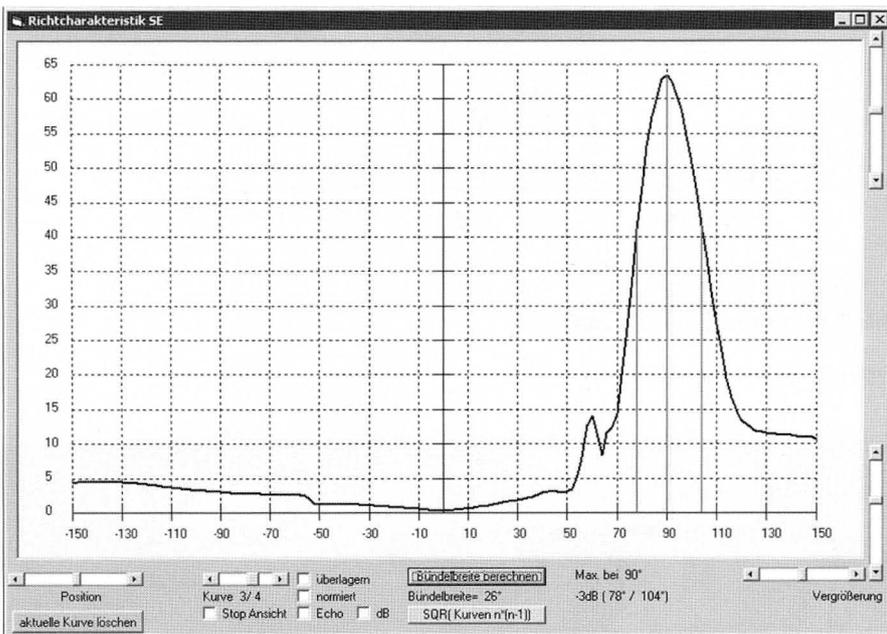


Bild 3. Richtcharakteristik der Einschallung unter 45° TW einer Gruppe mit 16 Elementen

Figure 3. Directivity of 45 degree incidence transversal wave by 16 elements

schwenkt, fokussiert und in seiner Bündelausbildung beeinflusst werden. Bei einer ausreichenden Zahl von Schwingerelementen ist darüber hinaus auch die räumliche Position der Strahlergruppen veränderbar [2].

**Linear- oder Matrix-Arrays.** Es wird zwischen ein- (linearen) und zweidimensionalen (Matrix-) Anordnungen der Schwinger unterschieden. Erste Anwendungen der Schwinger mit eindimensionalen Strahlergruppen wurden bereits in den achtziger Jahren vorgestellt [3]. Inzwischen haben sie breiten

Einzug in die industrielle Prüfpraxis gehalten. Die Anzahl der Elemente solcher Prüfköpfe kann sich zwischen acht und mehreren Hundert bewegen, auch in unterschiedlichen Ausführungen. So gibt es neben Schwingern mit ebenen Ankoppelflächen für die Kontakt- und Tauchttechnik auch Sonderformen mit gekrümmten Schwingersohlen wie zum Beispiel Halb- oder Viertelschalen-Arrays.

**Optimale Anpassung.** Bei der vorliegenden Prüfaufgabe war es aufgrund der zylindrischen Form des Prüflings naheliegend, einen Prüfkopf mit gekrümmter Schwingersohle einzusetzen.

die Prüfung des oberflächennahen Bereichs; in den Bildern 4c und 4d sind die Schallfelder einer Doppelkeule dargestellt, mit denen die Anzahl der Prüffunktionen für die Schrägeinschallung halbiert werden konnte.

**Experimentelle Erprobung**

**Stangentestkörper.** Die Ergebnisse der Modellrechnung mussten mit Hinblick auf ihre Eignung für den Betrieb in einer automatisierten Anlage verifiziert werden. Dazu wurde ein spezieller Testkörper verwendet, in dem Reflektoren mit definierter Größe und Tiefe eingebracht worden waren. Wie in Bild 5 dargestellt, handelte es sich um Flachbodenbohrungen mit Durchmessern von 0,8 mm und 1,2 mm sowie um Nuten von 12 mm Länge, 20 mm Breite und 0,5 mm sowie 0,2 mm Tiefe.

**Verifikation der Modellrechnung.** Zur Überprüfung der Modellrechnungen wurden Messungen mit unterschiedlichen Fokussierungsarten und somit Schallbündelweiten durchgeführt. Dazu wurde die jeweilige Ausdehnung des Schallbündels in einer definierten Tiefe mithilfe des -6 dB-Abfalls ermittelt. Die Messungen erbrachten eine gute Übereinstimmung. Die maximale Abweichung zwischen den modellierten und gemessenen Werten betrug lediglich 0,4 dB. Darüber hinaus wurden Messungen durchgeführt, um auf die gleiche Weise den maximal zulässigen seitlichen Auftreffwinkel bei der Senkrechteinschallung zu ermitteln. Dieser diente zur Bestimmung der Versatzpositionen der Strahlergruppe für zentrisch gelegene Reflektoren.

**Zahl der virtuellen Prüfköpfe.** Die Messungen mit unfokussiertem Schallfeld ergaben eine maximal zulässige Lücke von 7 Elementen zwischen den jeweils aktiven Strahlergruppen, wobei ein Messpunktabstand von 2 mm eingehalten wurde. Es wurden pro Prüfkopf insgesamt 6 Positionen innerhalb des Gesamtschwingers durchlaufen, aus denen Flachbodenbohrungen mit sowohl 1,2 mm und 0,8 mm Durchmesser in unterschiedlichen Tiefenlagen mit ausreichendem Signal-Rauschabstand detektiert werden konnten [5].

**COMPAS-Prüfsystem der BAM.** Die Messungen wurden mit dem in der BAM entwickelten Prüfsystem COMPAS-XL sowie dessen Nachfolgemodell COMPAS-XXL durchgeführt [6, 7]. Dabei handelt es sich um ein modulares skalierbares Gruppenstrahler-Steuergerät, das bis zu 1024 Kanälen ausbaubar ist. Durch seine Skalierbar-

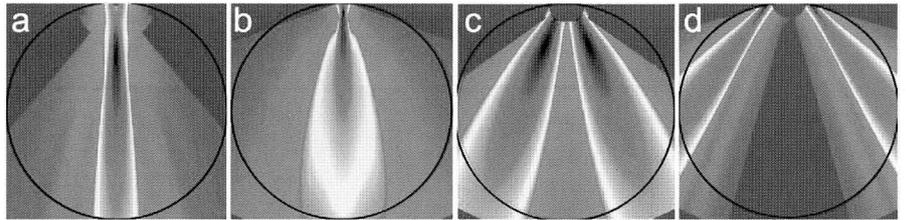


Bild 4. Modellierung der Schallfeldvariationen mit einem Viertelschalenarray; a) LW ohne Verzögerung, b) LW stark fokussiert, c) 8 + 8 LW, d) 8 + 8 TW

Figure 4. Sound fields of quarter-circle array; a) LW without delay, b) LW strongly focussed, c) 8 + 8 LW, d) 8 + 8 TW

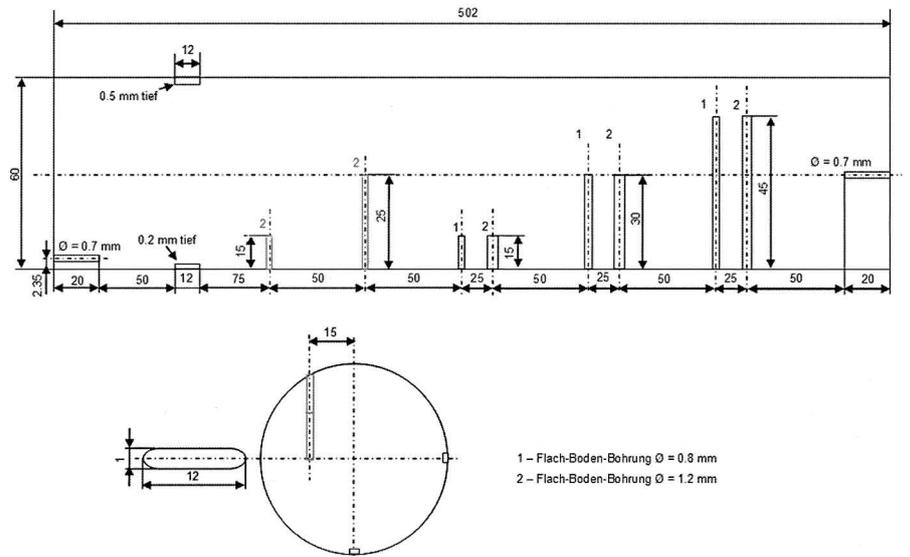


Bild 5. Stangentestkörper mit Testreflektoren

Figure 5. Test reflectors at testing bar

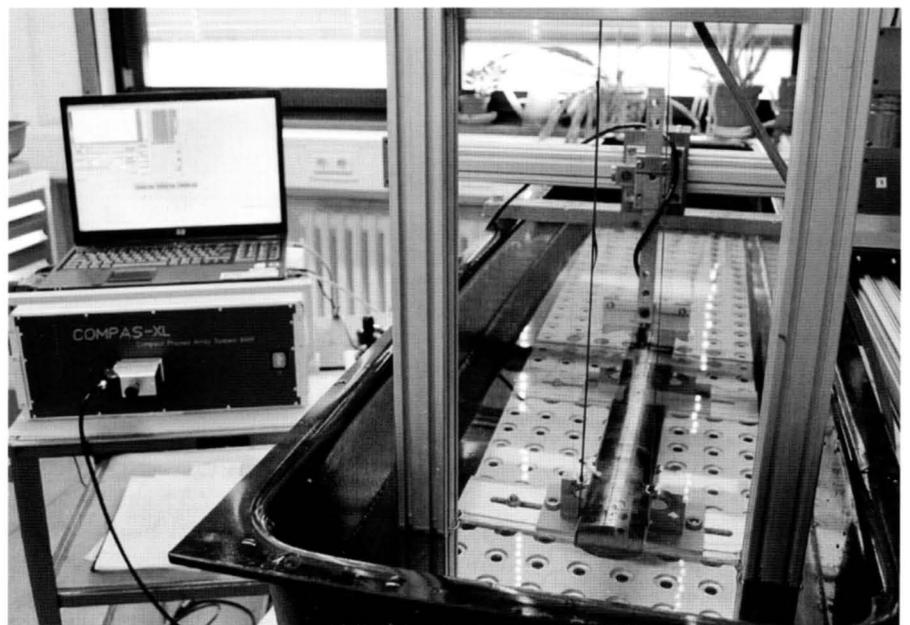


Bild 6. Laboraufbau mit Wanne, Stangentestkörper, Prüfkopf und Prüfsystem COMPAS-XL

Figure 6. Laboratory set-up with trough, test bar, transducer head, and testing device COMPAS-XL

Bild 7. Impulsbild eines Reflektors des Stangentestkörpers

Figure 7. Pulse plot of reflector at test bar

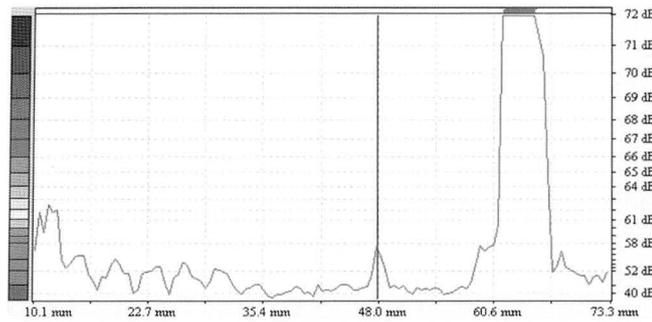


Bild 8. Schnittbild des Stangentestkörpers mit Reflektoranzeigen

Figure 8. Section image of test bar indicating reflector signals

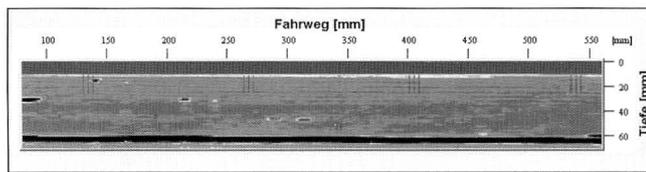


Bild 9. Schallgeschwindigkeit in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur; schwarz: berechnet, rot: gemessen

Figure 9. Sound velocity of water over temperature; black: calculated, red: as measured

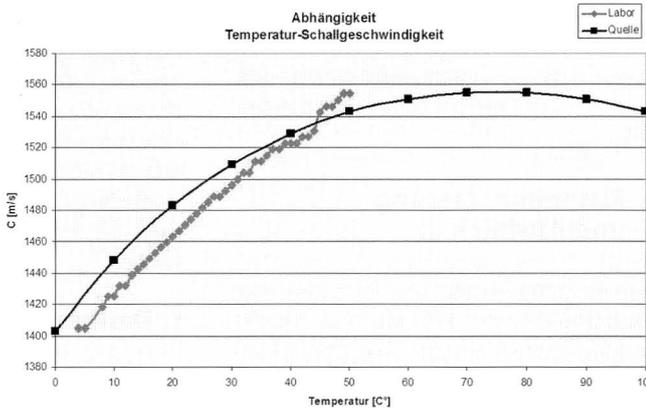


Bild 10. Prototyp einer Stangenprüfanlage mit Gruppenstrahlertechnik (mit freundlicher Genehmigung der Fa. Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau, Wuppertal)

Figure 10. Prototype phased array testing equipment

keit kann es für eine Vielzahl von Prüfaufgaben sowohl für die Handprüfung als auch in instrumentierten Anlagen eingesetzt werden und ist für den Betrieb von Linear- wie auch Matrix-Arrays geeignet. Mit seinen maßgeschneiderten Auswerteprogrammen liefert es Befunddarstellungen in Form von A-, B- und C-Bildern sowie Echotomogramme, wenn es sich um rotationssymmetrische Objekte handelt. In den Bildern 7 und 8 sind das Impulsbild (A-Bild) und das Längsschnittbild (B-Bild) einer Messfahrt am Stangentestkörper dargestellt.

### Klima- und Geometrieinfluss

**Praxisbedingungen.** Vor der Einrichtung einer praxistauglichen Prüfanlage musste den Gegebenheiten Rechnung getragen werden, die unter den realen Prüfbedingungen vor Ort eine Rolle spielen können. Dazu zählen der Einfluss der Temperatur, hier vor allem des als Koppelmedium verwendeten Wassers, und die Abweichungen der Stangen-geometrie von der idealen Rundform und Geradheit [8].

**Temperatureinfluss.** Da die Produktionsstätten von Halbzeug mit ihren Prüfanlagen auf unterschiedlichen Kontinenten teils stark alternierenden klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind, ist im laufenden Prüfbetrieb mit Temperaturschwankungen von +10 °C bis +50 °C zu rechnen. Im Extremfall kann die Betriebstemperatur sogar auf -10 °C sinken.

Bedingt durch die starke Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit des Wassers führt dies zu Veränderungen des Schallfelds, insbesondere des Einschallwinkels und der Schallbündelbreite, was Auswirkungen auf die vollständige Abdeckung des Prüfvolumens haben kann (Bild 9).

Die Untersuchungen wurden unter simulierten Praxisbedingungen im Labormaßstab an speziell angefertigten Testkörpern durchgeführt. Der Temperatureinfluss wurde durch eine definierte Temperierung des Wasserbades ermittelt, wobei dies lediglich bei der Schrägeinschallung zu einem relevanten Einfluss auf das Messergebnis führte. Der dadurch verursachte Empfindlichkeitsverlust konnte programmgesteuert durch eine entsprechende Anpassung der Winkelverzögerungswerte kompensiert werden.

**Kompensation von Stangenkrümmungen.** Bei Geometrieabweichungen, zu denen neben den Ovalitäten auch Geradheitsabweichungen zählen, war nur der seitliche Versatz der Stange oder des Prüfkopfs zur Spurmitte von Bedeutung. Abhilfe konnte

hier durch eine ausreichende Zahl von Prüffunktionen geleistet werden, da die „Blindheit“ aus einer Richtung durch das Schallbündel eines nachfolgenden virtuellen Prüfkopfs ausgeglichen werden kann. Derartige Kompensationen sind ausschließlich durch die Gruppenstrahlertechnik möglich, was einen weiteren Vorteil gegenüber der konventionellen Technik darstellt.

### Umsetzung in eine automatisierte Prüfanlage

**Aufbau einer Prüfanlage.** Eine Prüfanlage zur automatisierten Prüfung von Rundstangen besteht aus einem Rollgang, auf dem die Prüflinge über Dichtungsmanschetten durch eine Wasserkammer geführt werden (Bild 10). In dieser befinden sich, je nach Ausführung, bis zu vier Viertelschalenarrays (auch bis zu acht Achtelschalenarrays möglich), die auf einer speziellen Halterungsmechanik konzentrisch um die Stange angeordnet sind. Koaxkabelstrecken von etwa drei Metern verbinden die Schwinger Elemente der Arrays mit dem Gruppenstrahler-Steuergerät COMPAS-XXL, über den die Prüfsteuerung und die Auswertung der Messdaten vorgenommen werden. Die Bedienung und Befunderstellung erfolgen mithilfe eines handelsüblichen PCs oder Laptop-Computers.

**Verifikation der Prüffunktionsdichte.** In der ersten Erprobungsphase wurden zwei Achtelschalenarrays mit je 64 Elementen axial versetzt um die Stange herum angeordnet. Der Übergang erfolgte derart, dass eine ausreichende Überlappung gegeben war. Beide Arrays wurden mit je 9 Prüffunktionspositionen belegt, d. h., es wurde zur Erzielung der größtmöglichen Abdeckung pro Array neun Mal senkrecht und doppelt so oft unter  $45^\circ$  (beide Einschallrichtungen!) eingeschallt. In der Summe ergaben sich damit 54 Prüffunktionen. Die sichere Detektion von 10 mm unter der Oberfläche des Stangentestkörpers liegenden Kreisscheibenreflektoren mit 0,8 mm Durchmesser sollte bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 1 m/s nachgewiesen werden.

Dieses Ziel konnte im Rahmen der Messungen an der Prototypenanlage erreicht werden. Ab der genannten Reflektortiefe war eine 100%ige Volumenabdeckung möglich; auch in die Oberfläche eingebrachte Fehler in Form von Nuten mit 0,2 und 0,5 mm Tiefe konnten ohne Einschränkung nachgewiesen werden.

**Neuartige Prüftechnik beschleunigt Prüfablauf.** Mithilfe der Messungen

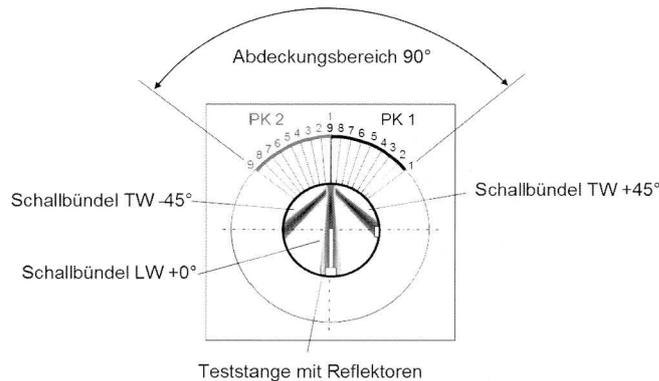


Bild 11. Prüfkopf- und Schallfeldanordnung, Prüffunktionen und Schallfelder für den automatisierten Betrieb

Figure 11. Arrangement of transducer elements, test versions and sound fields for automated application

konnte nachgewiesen werden, dass die im Zuge der Laboruntersuchungen entwickelte Doppelkeulenfunktion praktisch anwendbar ist (Bilder 4c, 4d, 11). Mit dieser Innovation ist eine Halbierung der Prüffunktionen möglich, was zu einer Verdoppelung der Vorschubgeschwindigkeit ohne Einbußen in der Prüfgenauigkeit führt. Die Technik bringt signifikante Vorteile mit sich, vor allem für den laufenden Produktionsprozess.

### Zusammenfassung und Ausblick

Bereits 2004 wurde ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Blankstahlprodukten mithilfe der Ultraschall-Gruppenstrahlertechnik vorgestellt [9]. Dieses blieb jedoch auf Stangendurchmesser von kleiner als 55 mm beschränkt. Außerdem wurden temperatur- und geometriebedingte Abweichungen nicht berücksichtigt.

Das hier vorgestellte neuartige Verfahren bietet dagegen die folgenden Vorteile:

- Verringerung der Betriebskosten durch den Einsatz von Viertelschalenarrays mit 128 Elementen beziehungsweise Achtelschalenarrays mit 64 Elementen,
- Erweiterung des Stangendurchmessersbereichs auf 20 bis 80 mm,
- programmgesteuerte Kompensation von Temperaturschwankungen und Geometriestreuungen,
- Halbierung der Prüffunktionen und signifikante Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit durch die neuartige Technik der Doppelkeuleneinschallung,
- sichere 100%-Abdeckung des Stangenvolumens durch optimierte Prüffunktionen.

Eine Prototypenanlage wurde bei der Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co. KG, Wuppertal; aufgebaut und erprobt. Die für den Betrieb einer industriell einsetzbaren Anlage erforderlichen Steue-

rungs- und Auswerteprogramme wurden auf Basis der hier vorgestellten Prüftechnik entwickelt und befinden sich in der Erprobungsphase.

Als zukünftige Entwicklungsfelder kann die Erweiterung der Prüftechnik für Durchmesser von bis zu 140 mm genannt werden sowie eine Optimierung der Prüftechnik durch den Einsatz von defokussierten Schallfeldern. Letztere würde die Detektion von außermittig orientierten Fehlern ohne zusätzliche Prüffunktionen erlauben, wodurch die Prüfsicherheit ohne Verlängerung der Prüfzeit weiter erhöht werden könnte.

### Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen wurden im Rahmen des MNPQ-Programms des BMWi von der Bundesregierung gefördert. Der Aufbau der Prototypenanlage erfolgte durch den Projektpartner, der Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co. KG, Wuppertal. Die Erprobung der Prüftechnik wurde mit Mitarbeitern des Unternehmens durchgeführt.

### Literatur

- 1 W. A. K. Deutsch, V. Schuster: Automatisierte Stangenprüfung ohne Rotation, Firmenpublikation, Wuppertal Juli 2003, www.karldeutsch.de
- 2 H. Wüstenberg, G. Schenk: Entwicklung und Trends bei der Anwendung von steuerbaren Schallfeldern in der ZfP mit Ultraschall, DGZfP-Jahrestagung 2003, Mainz, Tagungs-CD
- 3 A. Erhard, H. Wüstenberg, U. Haufe, W. Möhrle: Calculation and Design of Phased Array Probes, 3rd European Conference on Nondestructive Testing, Florence 1984, Tagungsband
- 4 R. Boehm, A. Erhard: Simulationsgestützte Entwicklung von Prüfköpfen, DACH-Jahrestagung 2004, Salzburg, Tagungs-CD
- 5 G. Schenk, D. Brackrock, G. Brekow, W. A. K. Deutsch, M. Joswig, K. Maxam, V. Schuster: Prüfkopfkonzept mit Ultraschall-Gruppenstrahlern

- für die automatisierte Prüfung von Stangen, DGZfP-Jahrestagung 2009, Münster, Tagungs-CD
- 6 G. Schenk, U. Völz, E. Dohse, L. Bauer: COMPAS-XL – Outstanding Number of Channels with a New Phased Arrays System, ECNDT 2006, Berlin, Tagungs-CD
  - 7 G. Schenk, R. Ploigt, E. Dohse, L. Bauer, W. A. K. Deutsch: COMPAS-XXL – A Novel Phased Arrays System with Extended Capabilities, ECNDT 2010, Moscow, Tagungs-CD
  - 8 G. Schenk, D. Brackrock, R. Boehm, M. Kreuzbruck, W. A. K. Deutsch, M. Joswig, K. Maxam, V. Schuster: Untersuchungen zum Einfluss von Geometrie- und Temperaturabweichungen bei der Stangenprüfung mit Ultraschall-Gruppenstrahlertechnik, DGZfP-Jahrestagung 2010, Erfurt, Tagungs-CD
  - 9 J. Maier: Zerstörungsfreie Prüfung von Blankstahlprodukten, DACH-Jahrestagung 2004, Salzburg, Tagungs-CD

### Die Autoren dieses Beitrages

Dipl.-Ing. Gottfried Schenk, geb. 1949, studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin und ist seit 1981 in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung im Bereich der Zerstörungsfreien Prüfung tätig. Sein Tätigkeitsschwerpunkt betrifft die Entwicklung von Gerätetechnik für innovative Prüfverfahren auf dem Gebiet der Ultraschall- und Wirbelstromtechnik, insbesondere der Gruppenstrahlertechnik, an deren Einführung in die industrielle Praxis er von Anfang an beteiligt war. Er leitet die Arbeitsgruppe „Gerätetechnik für Ultraschall- und Wirbelstromprüfung“.

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Brackrock, geb. 1979, studierte Maschinenbau an der TFH Wildau und ist seit 2007 in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung im Bereich der Zerstörungsfreien Prüfung tätig und verfügt über Kompetenzzertifikate UT3, MT3 und VT3 der DGZfP. Sein Tätigkeiten fokussieren auf die Entwicklung von Prüfverfahren auf dem Gebiet der Ultraschall-Gruppenstrahlertechnik.

### Abstract

**Automated Round Bar Testing based on Phased Array Technique.** The main objective of the investigations has been the adaption of the Phased Array Technique for round bar testing. Model calculations have been carried out to optimise a circular linear array for this application. The results were verified in the course of laboratory measurements by means of special test rods which contained a number of flat bottom holes and notches in various depths. Finally a prototype set up was established to investigate the technique under conditions of practice. In summary it can be said, that the Phased Array Technique is more than suitable to replace conventional techniques in testing machines. Besides the general benefits of programmable sound field control, it provides outstanding possibilities for improved detection of oblique indications as well as the compensation of temperature and geometry influences.

Dipl.-Ing. Elmar Dohse, geb. 1969, studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin und ist seit 2002 in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung im Bereich der Zerstörungsfreien Prüfung tätig. Sein Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von digitalen und analogen Komponenten für innovative Ultraschall- und Wirbelstromgeräte.

Dipl.-Ing. Roy Ploigt, geb. 1974, studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin und ist seit 2007 in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung im Bereich der Zerstörungsfreien Prüfung tätig. Seins Aktivitäten betreffen vor allem die Entwicklung von digitalen Komponenten sowie die Hardware-nahe Program-

mierung für innovative Ultraschall- und Wirbelstromgeräte.

Dr. (USA) Wolfram Deutsch, geb. 1967, studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Hannover und promovierte 1998 an der Northwestern University in Chicago auf dem Gebiet der Ultraschall-Gruppenstrahler. In diesem Jahr folgte auch sein Einstieg bei der Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH & Co. KG, Wuppertal, deren Geschäftsführung er 2001 übernahm. Er verfügt über drei Zertifikate der Stufe 3 der DGZfP auf dem Gebiet der Ultraschall-, Magnetpulver- und Eindringprüfung und wurde 1998 mit der Schiebold-Gedenkmünze der DGZfP ausgezeichnet.

You will find the article and additional material by entering the document number MP110315 on our website at [www.materialstesting.de](http://www.materialstesting.de)