

Qualifizierung der Phased-Array-Prüfung als Ersatz für die Durchstrahlungsprüfung

Reinhard WEIß, CSW Engineering GmbH, Hermann-Löns-Straße 25, 66125 Saarbrücken, Thomas HAUKE, Vattenfall Europe Generation AG, Cottbus, Ralf BIRRINGER, ZWP-Anlagenrevision, Beckingen, Stefan CASPARY, Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Kurzfassung. Zur zerstörungsfreien Prüfung von Rundschweißnähten an Rohren, wird sehr oft die Durchstrahlungsprüfung eingesetzt. Hieraus ergeben sich wegen den notwendigen Strahlenschutzmaßnahmen teilweise große Einschränkungen für die Fertigung auf der Baustelle. Wesentlich eleganter ist hier die Ultraschallprüfung einzusetzen, wobei jedoch bei der üblichen Ultraschallhandprüfung keine Bildgebung wie bei der Durchstrahlungsprüfung möglich ist. Diese Bildgebung ist jedoch mit der automatisierten Ultraschallprüfung möglich, diese ist aber sehr Zeit intensiv.

Eine mögliche Lösung besteht hier durch den Einsatz einer teilmechanisierten Ultraschallprüfung mittels der Phased Array Technik.

Für die Prüfung von Kesselrohren wurde in Zusammenarbeit der Firmen Vattenfall, Hitachi, SGS, ZWP und dem Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren ein Prüfsystem bestehend aus der Phased Array Technik zur Prüfung von Längsfehler und einem speziellen Sensor mit konventioneller US-Technik für die Querfehlerprüfung entwickelt, für den Einsatz an Kesselrohren qualifiziert und im Kraftwerk Boxberg Block R erfolgreich eingesetzt.

Bei der Qualifizierung handelt es sich um eine komponentenbezogene Qualifizierung. Der Nachweis der Eignung des Verfahrens wurde an Probekörpern durchgeführt, die die Einflüsse der zFP-relevanten Werkstoffeigenschaften, der Geometrie, der Zugänglichkeit und der erwarteten Fehlertypen repräsentierten. Die Qualifizierung wurde für eine Überwachungstätigkeit im Sinne einer wiederkehrenden Prüfung durchgeführt, bei der kein Schadensereignis bekannt ist und sie ist für den Nachweis von postulierten Fehlern ausgelegt. Gemäß der VGB-ENIQ-Richtlinie VGB-R-516 wurde diese Qualifizierung in die Kategorie 1 nach Abschnitt 3.2.1 eingeordnet.

Die Grundlagen für die Durchführung der Qualifikation waren die Normen DIN EN 1712, DIN EN1714, DIN EN ISO 12952 und AD2000 /HP 5/3.

1. Situation

In den Regelwerken und Normen DIN EN 1712, DIN EN1714, DIN EN 12952 und AD2000 /HP 5/3 wird die zerstörungsfreie Prüfung von drucktragenden Kesselteilen bei der Fertigung von Wasserrohrkesseln und Anlagenkomponenten beschrieben.

Seit Jahren hat sich hier die Durchstrahlungsprüfung als bewährtes Prüfverfahren etabliert. Dieses Prüfverfahren erfordert jedoch einen erheblichen Aufwand zur Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen, da eine weite räumliche Abgrenzung des Prüffeldes notwendig ist. Als Folge dieser Forderungen können keine sonstigen Arbeiten zeitgleich im Umfeld der Prüfung durchgeführt werden.

Zur Sicherung der Schweißnahtqualität war es erforderlich, bei insgesamt 7392 Schweißnähten den Prüfumfang von vereinbarten 25% auf 100% zu erweitern. Hieraus erfolgte ein Mehraufwand von 5544 Schweißnahtprüfungen. Die Prüfungen erfolgten Nachts ab ca. 22 Uhr, wegen des notwendigen Strahlenschutzes, für eine Dauer von 7 Stunden. Der erforderliche Prüfzeitraum für diesen Prüfumfang hätte ca. 200 Tage betragen

Ausgehend von diesem Sachverhalt entstand die Forderung nach einem Prüfverfahren, dass folgendes leisten kann:

- Gleiche oder bessere Qualität der Prüfaussage im Vergleich zur Durchstrahlungsprüfung
- Kostengünstigere Prüfung
- Wegfall von Strahlenschutzmaßnahmen
- Höhere Wirtschaftlichkeit
- Zeitnahe Prüfung von Schweißverbindungen
- Direkte Bewertung im Anschluss an die Prüfung
- Mobile und stationär einsetzbar

2. Lösung

Eine grundlegende Voraussetzung für die Umsetzung war die vertrauensvolle Zusammenarbeit, sowie das Know-how der einzelnen Partner auf dem jeweiligen Arbeitsgebiet.

Die Kernkompetenz für die Qualifizierung von neuen Prüfverfahren lag beim Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren. Für den Bereich Dienstleistungszentrum besitzt das IZFP eine flexible Labor- Akkreditierung nach DIN 17025, die es gestattet selbst entwickelte Prüfverfahren ohne vorherige Genehmigung des Deutschen Akkreditierungsrates zu qualifizieren und zu validieren.

Im Rahmen des gemeinsamen Projektes sollte eine Ultraschall-Prüftechnologie für den Fehlernachweis von Rundschweißnähten an Rohren entwickelt und qualifiziert werden, die es ermöglicht, die Durchstrahlungsprüfung zu ersetzen.

Der Fehlernachweis beider Verfahren beruht auf unterschiedlichen physikalischen Grundlagen, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Die **Durchstrahlungsprüfung** ist ein bildgebendes Verfahren der Werkstoffprüfung zur Darstellung von Materialunterschieden. Mit Hilfe einer Röntgenröhre oder eines gammastrahlenden Radionuklids wird die Dichte eines Bauteils auf einem Röntgenfilm als Projektionsbild abgebildet. An der unterschiedlichen Schwärzung lässt sich die abweichende Materialdicke oder -dichte erkennen. Die Durchstrahlungsprüfung ist deshalb zum Nachweis von Fehlern geeignet, deren Dichte abweichend zum Grundmaterial ist und die eine gewisse Tiefenausdehnung in der Durchstrahlungsrichtung besitzen. Risse lassen sich deshalb nur bei einem geeigneten Einstrahlwinkel nachweisen. Risse ohne Tiefenerstreckung in Durchstrahlungsrichtung sind nicht nachweisbar.

Die **Ultraschallprüfung** ist ein akustisches Verfahren zum Auffinden von Materialfehlern. Änderungen der akustischen Eigenschaften an Grenzflächen (z. B. ein Hohlraum, ein Einschluss, ein Riss im Gefüge) reflektieren den Schallimpuls und senden diesen an den Schwinger im Prüfkopf, der sowohl als Sender und als Empfänger fungiert, zurück. Auf Grund der Reflektionsgesetzen sind bei der Ultraschallprüfung mehrere Einschallwinkel für den Fehlernachweis notwendig. Bei der Phased-Array-Technik sind in einem Prüfkopf mehrere Wandlerelemente untergebracht. Durch eine zeitverzögerte Ansteuerung der Elemente wird ein Winkelschwenk realisiert. Aus diesem Grund sind annähernd alle Fehlerschräglagen nachweisbar. Bei der automatisierten Prüfung werden zusätzlich zu den Ultraschalldaten die Positionsdaten gespeichert. Durch die Datenverarbeitung erhält man auch hier ein bildgebendes Verfahren, deren Darstellung man direkt mit den Projektionsbildern der Durchstrahlungsprüfung vergleichen kann.

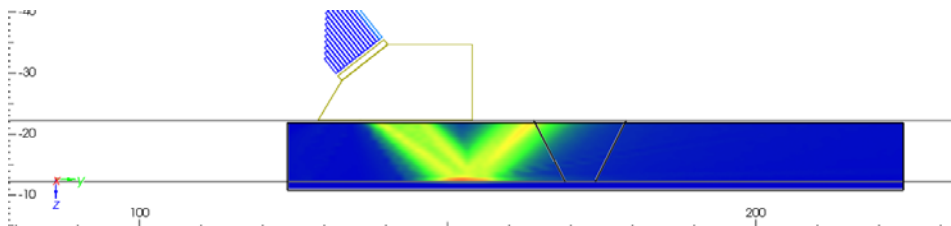
Aus den obigen Erläuterungen kann man ableiten, dass das Phased-Array-Verfahren bei der Schweißnahtprüfung ein besseres Nachweisvermögen für eine Vielzahl von unterschiedlichen Materialinhomogenitäten besitzt.

Die entwickelte Prüftechnologie besteht aus einer Kombination der Phased-Array-Technik für die Längsfehlerprüfung und der konventionellen Ultraschalltechnik mit einer speziellen Sondenanordnung für die Querfehlerprüfung.

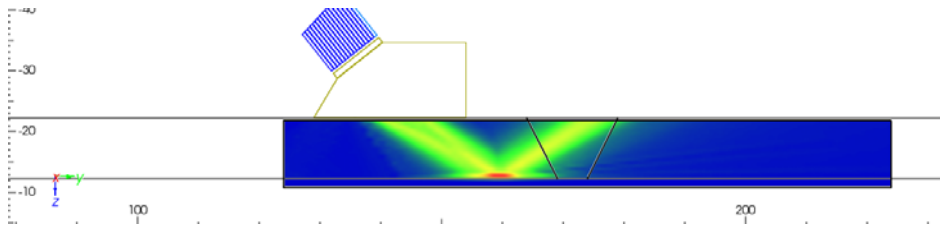
Die Qualifizierung der Prüfung gilt für Rundnähte von Rohren im Abmessungsbereich 38 x 6,3 mm bis 44,5 x 10 mm, sowohl für die teilmechanisierte als auch für die mechanisierte Ultraschallprüfung. Es handelt sich hier um eine komponentenbezogene Qualifizierung. Der Nachweis der Eignung des Verfahrens wurde durch Simulationsrechnungen mit dem Programm CIVA und mit Prüfungen an Probekörpern durchgeführt.

Die Probekörper repräsentieren die Einflüsse zFP-relevanter Werkstoffeigenschaften, wie Geometrie, Zugänglichkeit und die erwarteten Fehlertypen. Die Qualifizierung wurde für eine Überwachungstätigkeit im Sinne einer wiederkehrenden Prüfung durchgeführt, bei der kein Schadensereignis bekannt ist und ist für den Nachweis von postulierten Fehlern ausgelegt.

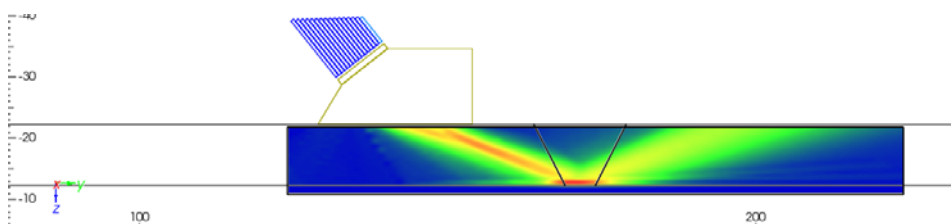
Bei der Simulationsrechnung wurden die technischen Daten des Phased-Array-Prüfkopfes und die Geometriedaten des Bauteils berücksichtigt und hieraus der Schallfeldverlauf berechnet. Das Ergebnis zeigt, dass man bereits aus einer Prüfkopfposition die Schweißnaht erfassen kann. Beispielfhaft sind nachstehend die Ergebnisse für die Einschallwinkel 45, 55 und 65 Grad dargestellt.



Schallverlauf für 45 Grad Einschallwinkel

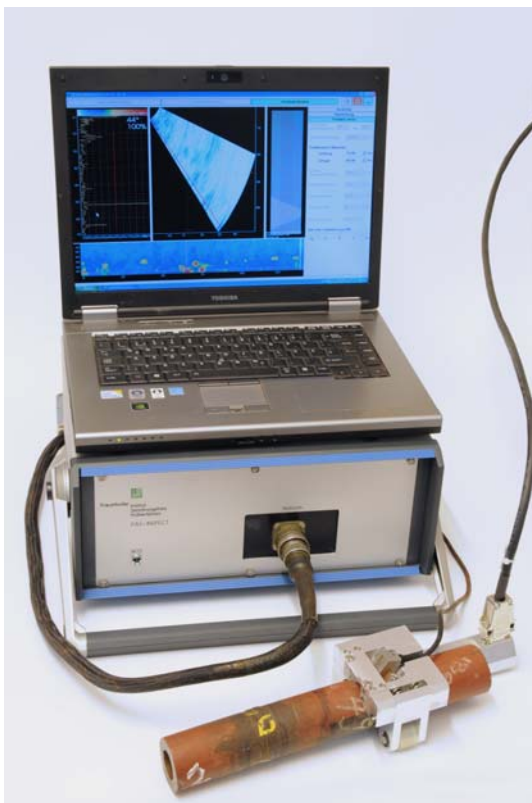


Schallverlauf für 55 Grad Einschallwinkel



Schallverlauf für 65 Grad Einschallwinkel

Für die Längsfehlerprüfung wurde das Phased-Array-Prüfsystem PAS-Inspect mit der Ultraschallelektronik μ -use entwickelt. Die Querfehlerprüfung erfolgte mit dem Prüfsystem CPS und der Ultraschallelektronik PCUS11. Mit beiden Systemen (siehe Abbildungen unten) können wahlweise manuelle, teilmechanisierte oder automatisierte Prüfungen durchgeführt werden.



Phased-Array-Prüfsystem (Längsfehler)



Konventionelles Prüfsystem (Querfehler)

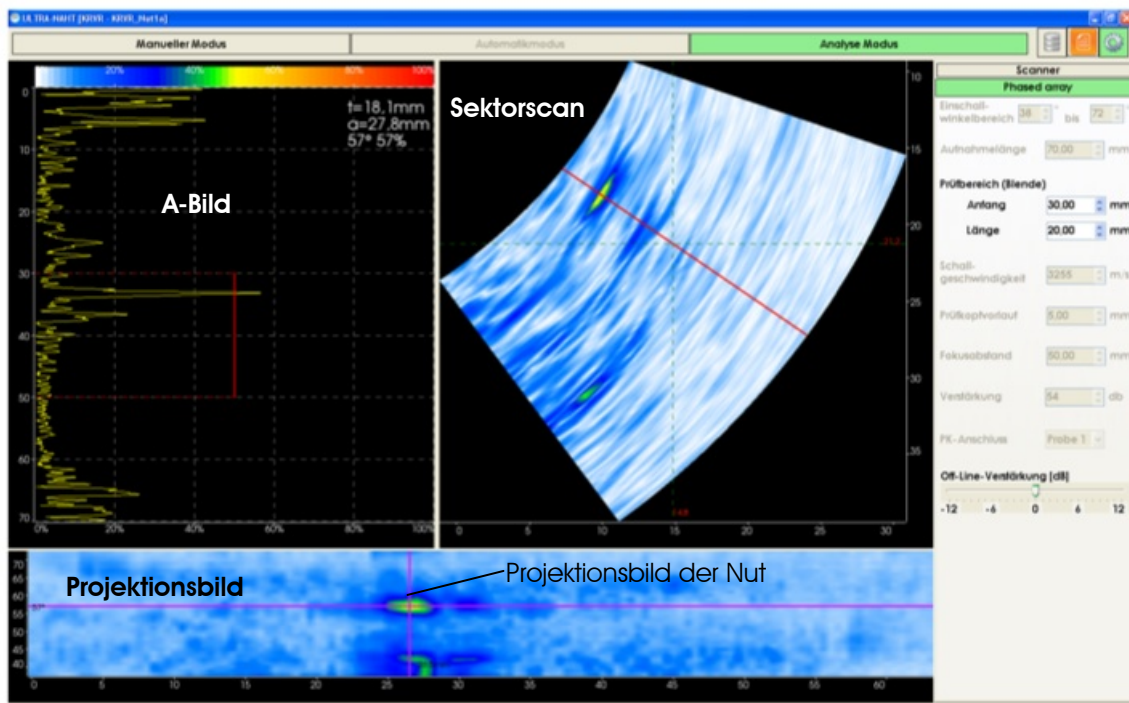
Die Prüfelektronik μ -use wird bereits seit einigen Jahren erfolgreich durch das IZFP eingesetzt und ist im Rahmen einer Qualifizierung für den Einsatz bei der Fertigungsprüfung von Schweißteilen 2008 validiert. Die bei diesem System verwendete Datenaufnahme- und Auswertesoftware wurde auf die speziellen Erfordernisse der Rundnahtprüfung angepasst.

Das Prüfsystem CPS mit der Ultraschallelektronik PCUS11 wird unter anderem bei wiederkehrenden Prüfungen von kerntechnischen Anlagen sowie bei der Fertigungsprüfung von Eisenbahnradern eingesetzt. Für beide Einsatzfälle wurden die notwendigen Qualifizierungen erfolgreich durchgeführt.

Aufgrund der Werkstoffeigenschaften und den nachzuweisenden Fehlergrößen wurden Prüffrequenzen zwischen 4 und 5 MHz ausgewählt. Die Ankoppelfläche der Vorlaufkeile muss an die Geometrie der Rohre angepasst sein.

Es wurden Vergleichkörper mit künstlichen Fehlern (Nuten) und mit natürlichen Fehlern verwendet, die repräsentativ für den Werkstoff und die Abmessungen der Rohre waren.

Im Rahmen der durchgeführten Prüfungen konnten alle Vergleichsfehler eindeutig nachgewiesen werden. Beispielhaft zeigt die nachstehende Abbildung das Ergebnis des Rohrabschnittes mit einer 0,5 mm tiefen Nut. Im unteren Bereich ist das Projektionsbild dargestellt, wahlweise ist eine Einblendung des Sectorscans und des A-Bildes möglich.



Ergebnisdarstellung PAS-Inspect

Auf dieser Grundlage erfolgte der abschließende Qualifikationsschritt an realen Komponenten. Da diese Prüftechnologie zur Zeit noch keinen direkten Einzug in das Regelwerk gefunden hat, wurden sehr hohe Anforderungen an das Prüfpersonal gestellt. In jedem Prüfteam musste der verantwortliche Prüfer eine Qualifikation UT Stufe II nach EN

473 nachweisen. Zusätzlich wurde eine Stufe II Qualifikation für die Phased-Array-Prüfung direkt vor Ort gemäß der EN 473 durchgeführt. Zusätzlich zu dieser Ausbildung hatte jeder Prüfer eine Qualifikationsprüfung an 20 Rohrschweißnähten durchzuführen.

Diese Prüfungen wurden mit der Durchstrahlungsprüfung verglichen. Zum Bestehen der Qualifikation war eine 80%-ige Trefferquote bei der Beurteilung von „nicht erfüllt“ notwendig. Zusätzlich zu den Prüferqualifikationen wurde ein Vergleich von Ultraschall- und Durchstrahlungsprüfung an 60 Prüfteilen mit den gleichen Bedingungen durchgeführt.

Der Bewertungsvergleich dieser 60 Rohrschweißnähten der beiden diversitären Prüfverfahren zeigte, dass alle bei der Durchstrahlungsprüfung als „nicht erfüllt“ eingestuft Schweißnähte auch bei der Ultraschallprüfung als „nicht erfüllt“ eingestuft wurden, d.h. man hatte in dieser Hinsicht eine 100%-ige Übereinstimmung. Zusätzlich konnte die Ultraschall-Kombinationstechnik, bestehend aus der Längsfehlerprüfung mit Phased-Array und der Querfehlerprüfung mit konventionellem Ultraschall noch weitere Fehlertypen wie z.B. Lagenbindefehler detektieren. Die neue Prüftechnologie zeichnet sich durch eine Verbesserung der Prüfaussage und somit eine sicherere Beurteilung der Gebrauchsfähigkeit der Prüfteile aus. Beide Prüfverfahren wurden zur Durchführung des Vergleiches im Sinne einer regelkonformen Prüfung eingesetzt.

3. Schlussfolgerungen

Zum Zeitpunkt der Erstellung der jetzt gültigen Regelwerke war diese Prüftechnologie technisch noch nicht ausgereift und fand deshalb auch keine Berücksichtigung. Im Zuge der rasanten Entwicklung von Elektronikbauteilen, Rechnerleistungen und Softwaremöglichkeiten wurde der Einsatz solcher Prüfverfahren erst in der jüngsten Zeit möglich.

Obwohl die neue Prüftechnologie noch keinen Einzug in die entsprechenden Regelwerke gefunden hat, ist diese erfolgreich in der alltäglichen Prüfpraxis, bei der Fertigung von Rohrschweißnähten, einsetzbar. Die Einbindung der dabei gewonnenen Erkenntnissen in die Prüftechnologie sowie die Optimierung der Prüfsoftware erfolgt stetig. Bis zum heutigen Zeitpunkt sind bereits mehr als 5500 Rohrschweißnähte mit dieser Technologie erfolgreich geprüft und bewertet worden.

Für diesen Anwendungsfall ist es gelungen die Durchstrahlungsprüfung vollwertig durch die Ultraschallprüfung mittels Phased-Array zu ersetzen. Die Prüfungen erfolgen nach einer durch den Gutachter genehmigten Prüfanweisung. Die durchgeführten Arbeiten zeigen, dass Regelkonform auch durchaus Spielraum für neue Entwicklungen bietet, wenn man durch den Vergleich einer etablierten Technik mit der neuen Technik zeigen kann, dass diese mindestens die gleiche Leistungsfähigkeit und Sicherheit wie die etablierte Technik bietet. Zum heutigen Zeitpunkt kann man sagen, dass in absehbarer Zeit das Phased-Array-Prüfverfahren in das Europäische Regelwerk Einzug halten wird und spätestens ab diesem Zeitpunkt ist eine 100%-ige Regelkonformität vorhanden. Man wird auch in Zukunft nicht auf die Durchstrahlungsprüfung verzichten, sondern in Abhängigkeit der Prüfbedingungen eines der beiden Verfahren einsetzen.

Die innovative Phased-Array-Prüftechnologie bietet viele Prüfvorteile, da sie umfangreiche Informationen über den Prüfbereich zur Verfügung stellt. Dieses Verfahren kann einen

großen Beitrag im Bereich Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Verbesserung der Arbeitsbedingungen leisten.

Die wesentlichen Merkmale sind:

- keine Strahlenschutzmaßnahmen notwendig
- kurze Prüfzeiten
- direkt im Anschluss an die Schweißung ab Prüfteiltemperaturen von ca. 40° C durchführbar
- Prüfergebnisse direkt im Anschluss an die Prüfung verfügbar
- bildgebendes Verfahren bei Teilmechanisierung
- Vergleich der Ergebnisse von mehreren Prüfungen an einer Prüfstelle im Rahmen der WKP (wieder kehrende Prüfung)