



Schweißnahtprüfung bei der Fertigung von Großrohren

Thomas WENZEL, Theobald FUCHS, Ulf HASSLER, Randolf HANKE,
Fraunhofer IIS-EZRT, Fürth
Hans-Uwe MATZEN, Jan KRÄMER, GE Inspection Technologies, Ahrensburg
Heinrich LINDENSCHMIDT, Butting, Knesebeck
Rolf BEHRENDT, Günther KOSTKA, Peter SCHMITT, Fraunhofer IIS, Erlangen

Kurzfassung. Der Einsatz von vollautomatischen Röntgenprüfsystemen in Leichtmetallgießereien ist heute der Regelfall. Wir berichten im Folgenden über die Verwendung eines solchen Systems für die Prüfung von Schweißnähten.

Im Einzelnen stellen wir eine neuartige Methode zur Auswertung der Röntgenbilder von Schweißnähten vor, die mittels einer innovativen Röntgenkamera aufgenommen werden, welche höchste räumliche Auflösung bei gleichzeitig großem Umfang an gleichzeitig erfassten Grauwerten (Grauwert-Dynamik) bietet.

Weiterhin ermöglicht ein neuartiges Konzept zur Handhabung der Prüfobjekte eine starke Reduktion der Prüfzeiten. Anstatt die Rohre entlang ihrer Längsachse bezüglich des Röntgensystems zu verfahren, werden sie seitwärts dem Prüfsystem zugeführt; die longitudinale Bewegung wird von Röntgenquelle und Sensor geleistet, so dass sich die Gesamtprüfzeit um bis zu 30% verringert.

Der speziell entwickelte Röntgendetektor weist eine empfindliche Eingangsfläche von 200 mm auf 50 mm auf, die in insgesamt 4,2 Millionen Bildpunkte unterteilt ist. Weder die Ausleseelektronik noch der lichtempfindliche Kamerachip sind dem direkten Röntgenstrahl ausgesetzt, so dass im Bereich von Photonenenergien bis mindestens 250 keV keine Schädigungen auftreten können. Zahlreiche Tests u. a. mit dem Platin-Doppeldrahtsteg nach EN 13068 und dem Doppeldrahtsteg nach EN 462-5 haben gezeigt, dass die gesamte Bildqualität und insbesondere die Ortsauflösung die Anforderungen der Norm zur Prüfung von Schweißnähten mit Röntgenfilm EN 584 übertrifft.

Die Bilder der Kamera dienen als Eingangsdaten für eine vollautomatische Auswertung. Alle Bildverarbeitungsschritte sind mit 16 Bit Digitalisierungstiefe implementiert, um den hohen Dynamikumfang der Grauwertbilder auszunutzen. D. h. dass ein Informationsverlust in der ganzen Verarbeitungskette durch Herabskalieren der Grauwerte ausgeschlossen ist.

In einem ersten Schritt der Bildverarbeitung werden die Grauwerte in durchstrahlte Materialdicken umgerechnet; dadurch wird die spätere Messung der Fehlerausdehnung in Strahlungsrichtung vorbereitet. Im nächsten Schritt werden die äußeren Begrenzungen sowie die Mitte der Schweißnaht detektiert. Hierauf aufbauend wird eine adaptive Filterung durchgeführt. Die Kenntnis der genauen Lage der Schweißnaht wird zusätzlich an die Steuerung der Mechanik übermittelt, so dass eine optimale Positionierung der Schweißnaht vor der Kamera garantiert werden kann. Der adaptive Filter ist in der Lage, Materialfehler wie Hohlräume, Risse oder Einschlüsse von Fremdkörpern nachzuweisen.

Abschließend werden die Eigenschaften der gefundenen Defekte mit den Vorgaben der Qualitätsrichtlinien verglichen. Diese Ergebnisse werden zusammen mit den ursprünglichen Bilddaten des Rohres in einem elektronischen Archiv abgelegt und fälschungssicher auf DVD gespeichert.

1. Einleitung

In den zurückliegenden Jahren ist die vollautomatische Röntgenprüfung zu einem Standardverfahren in der Produktion von Leichtmetallwerkstücken geworden [1, 2]. Da die Unregelmäßigkeiten einer Schweißnaht eine Referenzbild-basierte Prüfung nicht zulassen, sind dennoch nur wenige Systeme entwickelt worden, die speziell der Inspektion von Schweißnähten an Rohren dienen [3, 4]. Um den hohen Anforderungen an den Kontrast und die Ortsauflösung in den Abbildungen gerecht zu werden, die ansonsten nur von Röntgenfilmen erfüllt werden, war es notwendig, einen neuartigen digitalen Detektor zu entwickeln.

Im Folgenden wird ein neues Prüfsystem für Rohre vollständig beschreiben. Die Aufgabe des Systems ist es, Edelstrahlrohre von bis zu 18 m Länge zu prüfen. Eine Randbedingung war, die Zeiten zwischen der Prüfung, während der die Rohre gewechselt werden und das Röntgensystem ungenutzt ist, zu minimieren, und darüber hinaus die eigentliche Prüfzeit hinsichtlich vergleichbarer Systeme zu verringern.

Aus diesem Anlass wurde am Fraunhofer IIS eine Röntgenkamera mit einer sensitiven Eingangsfläche von 200 mm mal 50 mm entwickelt, wodurch die Prüfung eines 200 mm langen Abschnittes der Schweißnaht mit einer einzelnen Aufnahme möglich ist. Bei 50 µm Pixelabstand ergeben sich 4,2 Millionen Pixel pro Einzelbild. Die Ausgangsdaten der Kamera werden mit 12 Bit Tiefe digitalisiert, um die Anforderungen der EU-Norm EN 13068 [5] an die minimale Kontrastauflösung zu erfüllen. In der Konsequenz wurden sämtliche Bildverarbeitungsalgorithmen für 16 Bit Bilddaten ausgelegt. Die Algorithmik zur Identifikation des Prüfbereiches sowie der Prüfung auf Defekte in der Schweißnaht ist auf größte Verarbeitungsgeschwindigkeit optimiert, um mit der Handhabung der Rohre und der Datenaufnahme Schritt halten zu können. Unter anderem stellte dies höchste Anforderungen an die Verwaltung sehr großer Datenvolumina. Von besonderer Wichtigkeit ist in diesem Zusammenhang die quantitative Auswertung der gefundenen Defekte hinsichtlich deren Ausdehnung in Strahlrichtung.

Die Ergebnisse der Prüfung werden nicht nur visuell dargestellt sondern auch automatisch auf CD-ROM oder DVD archiviert. Um eine hohe Kompressionsrate der Daten ohne Informationsverlust zu garantieren, mussten ebenfalls neu entwickelte Verfahren in das System integriert werden.

2. Prüfsystem

Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau des Prüfsystems, die Verknüpfung der unterschiedlichen Teilsysteme und den Datenfluss. Die einzelnen Komponenten des Gesamtsystems werden in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

Die SPS der Maschine hat die Kontrolle über den ganzen Prüfprozess. Sie steuert das Ein- und Ausfördersystem und sendet Befehle an die Bildverarbeitungseinheit, an welche der Detektor per Glasfaserverbindung angeschlossen ist. Die Auswertung der Röntgenbilder läuft parallel und unabhängig zur bzw. von der Datenaufnahme. Letztere wird mittels eines handshake-Protokolls mit der simultanen Bewegung der Röntgenquelle und des Detektors abgestimmt.

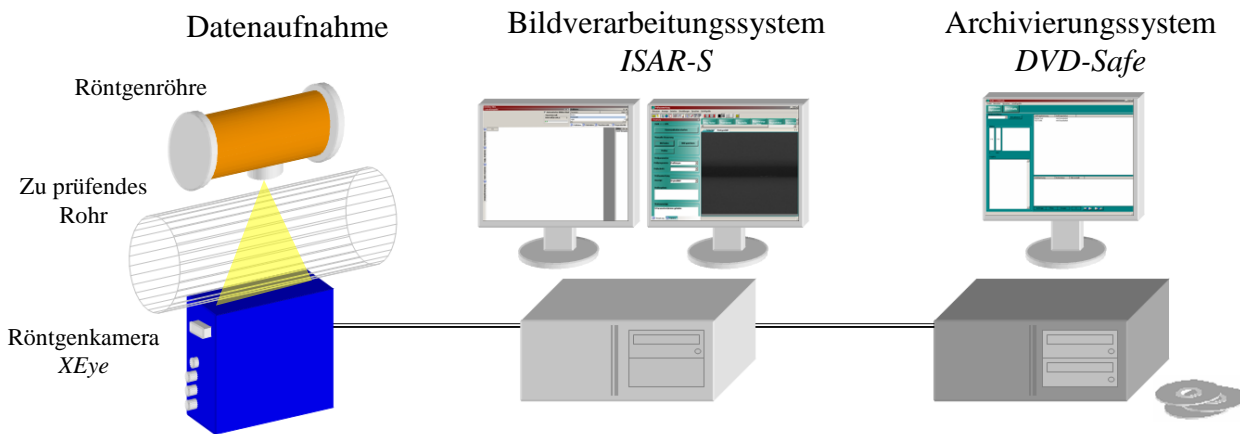


Abb. 1: Aufbau des Gesamtsystems, in dem sämtliche Komponenten integriert sind.

Unmittelbar nach der Aufnahme eines Bildes nimmt die ISAR-S Bildauswertungssoftware eine Vorauswertung der Lage der Schweißnaht vor, um sicherzustellen, dass die Naht optimal im Prüfbereich positioniert ist.

Die Ergebnisse dieser Lagebestimmung werden an die Maschinensteuerung (SPS) weitergeleitet; kleinere Abweichungen der Schweißnahtlage werden während der nächsten Bewegung von Röntgenquelle und Kamera korrigiert, so dass die automatische Auswertung der Qualität der Naht nicht betroffen ist. Falls allerdings nicht vernachlässigbare Abweichungen von der Sollposition festgestellt werden, wird der aktuelle Prüfschritt nach einer Neupositionierung des Rohres wiederholt.

Die verfügbare Rechenleistung wird mittels Multitasking und -threading optimal ausgenutzt, um die Bilder auszuwerten und zu visualisieren. Das ISAR-S System beinhaltet eine Vielzahl von Bildverarbeitungsalgorithmen, die referenzlos arbeiten und die die automatische Auffindung von Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht mit höchster Zuverlässigkeit erlauben, d. h. im Vergleich mit einer sorgfältigen manuellen Auswertung durch einen erfahrenen Prüfer mit nahezu 100% Übereinstimmung. In diesem Falle wird gleichzeitig ein äußerst geringer Anteil (typ. < 3%) der ausgeschlossenen Prüflinge irrtümlich als fehlerbehaftet erkannt.

Die ausgewerteten Bilder werden mitsamt dem Prüfergebnis an das letzte Element der Datenverarbeitungskette weitergeleitet, dem sogenannten DVD-Safe. Dieses Modul speichert die gesamten verfügbare Informationen einschließlich des Namens des verantwortlichen Prüfers, des Rohrmaterials, der Röntgenaufnahmeparameter und einer eindeutigen Identifikationsnummer jedes geprüften Rohres in komprimierter Form in einem Archiv. Eine nachträgliche Modifikation der Daten aus Versehen oder unlauteren Absichten wird mittels einer verschlüsselten Prüfsumme ausgeschlossen. Abschließend wird das Archiv auf ein nicht-wiederbeschreibbares Medium wie z. B. DVD oder CD geschrieben und steht so für eine spätere Analyse zur Verfügung.

3. Konstruktion der Mechanik

Zusammen mit dem Anspruch auf einen möglichst geringen Raumbedarf erforderte die hohe Prüfkadenz der Anlage den Entwurf eines völlig neuen Konzeptes für die Handhabung der Rohre.

Um die Rüstzeiten, während deren die Röntgenkomponenten ungenutzt bleiben müssen, so gering wie möglich zu halten, entschied man sich gegen eine Ein- und Ausförderung in Richtung der Längsachse der Rohre von maximal 18 Metern Länge. Stattdessen wurde eine seitliche Beladungsrichtung realisiert. Zwar wurde dadurch der Einsatz entsprechend großer und schwerer Strahlenschutzstore notwendig, andererseits reduzierte sich dadurch die Zeit für den Wechsel der Rohre auf weniger als 1 Minute. Abbildung 2 zeigt den Blick in den Innenraum der Prüfanlage durch das geöffnete Ladetor. Das Entladen eines Rohres findet auf der anderen Seite als die Beladung statt, so dass der Flächenbedarf für die gesamte Prüfanlage nur wenig größer als die Grundfläche der Prüfkabine selbst ist.



Abb. 2: Blick in die Röntgenkabine

Das zu prüfende Rohr liegt auf paarweise angebrachten Lagern, auf denen das Rohr um seine Längsachse gedreht werden kann. Dies ist natürlich notwendig, um die Schweißnaht vor Beginn der Durchstrahlungsprüfung auf 6-Uhr auszurichten, so dass sie an der Rohrunterseite nahe der Röntgenkamera zu liegen kommt, sowie um im Falle einer Abweichung der Nahtlage von der idealen Position jene während der laufenden Prüfung nachzuführen.

Die Röntgenquelle ist auf einer Laufkatze montiert, der sich in den meisten Fällen innerhalb des zu prüfenden Rohres bewegt. Die verwendete Röntgenröhre ist über ein ausreichend langes Kabel, das auf einem großen Laufrad aufgerollt ist, mit dem Hochspannungsgenerator verbunden. Während der Durchstrahlungsprüfung wird der Detektor auf einem eigenen Wagen unterhalb des Rohres synchron zur Röhre mitbewegt (Abb. 3).

Für den Fall, dass der Durchmesser des Rohres zu klein ist, um die Röntgenröhre im Rohrinnen zu verfahren, erfolgt eine doppelwandige Durchstrahlung, indem sich die Strahlungsquelle über dem Rohr in Längsrichtung bewegt. Dieser Aufbau erlaubt die Prüfung von Rohren mit Durchmessern zwischen insgesamt 60 und 1260 mm. Da bei diesem Aufbau der Anlage das Rohr, das typischerweise wesentlich schwerer als Röntgenröhre und -kamera

zusammengenommen ist, nicht bewegt wird, kann eine Zeitersparnis im Vergleich zu alternativen Systemen von bis zu 30% erzielt werden.

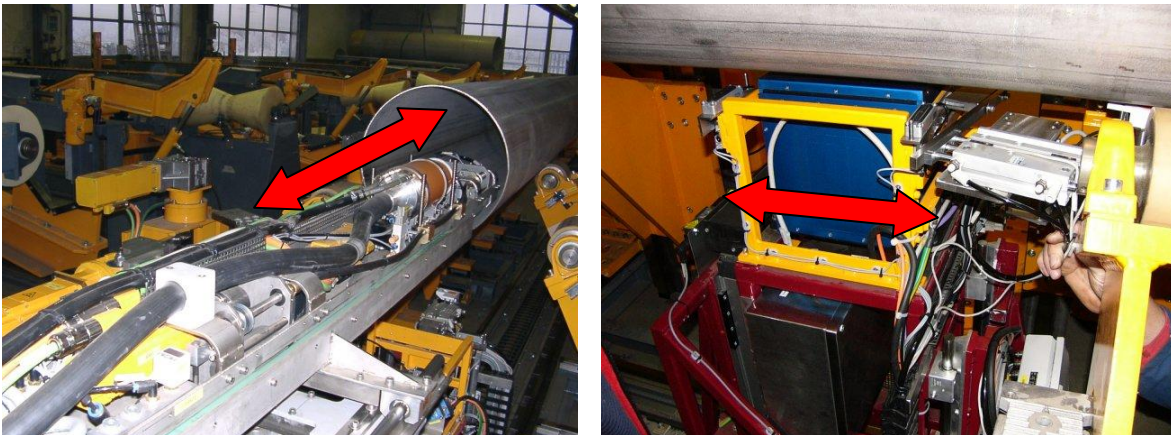


Abb. 3: Transportschlitten für die Röntgenröhre (in der Regel innerhalb des Rohres) und Transportrahmen für die Spezialkamera; die roten Pfeile deuten die Bewegungsrichtung an

4. Detektorsystem

Die in dem hier beschriebenen System eingesetzte Röntgenkamera wurde speziell für die Schweißnahtprüfung bei vergleichsweise hohen Energien der Röntgenstrahlung entwickelt. Im Mittelpunkt der Entwicklung stand, die Anforderungen der Normen EN 13068-3 [5] und EN 584-1 [6] an den dargestellten Kontrast und die erreichbare Ortsauflösung zu erfüllen. Ferner sollte die Kamera strahlenhart beim Einsatz von Röntgenspannungen bis zu 225 kV sein.

Abb. 4 zeigt die Kamera mit einer strahlungsempfindlichen Eingangsfläche von 200 mm auf 50 mm, die durch das Rechteck auf der oberen Gehäusefläche angedeutet wird. Die Gesamtzahl der Pixel beläuft sich auf 4,2 Millionen bei einer Kantenlänge von 50 μm mal 50 μm eines jeden Pixels. Die Wahl für das Sensorelement in der Kamera fiel auf ein Modell, das gewährleistet, dass kein einziger Pixel gänzlich defekt ist, d.h. überhaupt kein Signal liefert. Selbstverständlich müssen jedoch wie bei jeder anderen Digitalkamera die Unterschiede beim Ansprechverhalten und Hintergrundsignal bestimmt und in der Auslesesoftware abgeglichen werden. Für die Durchstrahlungsaufnahmen wird die Längsseite des Eingangsfensters der Kamera in Richtung der Schweißnaht ausgerichtet. In dieser Richtung ist die eingesetzte Kamera in drei Module unterteilt; prinzipiell erlaubt dieser modulare Aufbau in einer Richtung, dass die sensitive Fläche der Kamera beliebig verlängert werden kann. Die Ausgangssignale werden mit 12 Bit Auflösung digitalisiert. Der resultierende Dynamikbereich – der als der Quotient aus dem maximalen Signal und dem mittleren Hintergrundrauschen definiert wird – hängt leicht von der Belichtungszeit ab. Mit typischer Weise 2 Sekunden Belichtungszeit für ein Bild bei der Schweißnahtprüfung beträgt die Dynamik etwa 1300:1. Längere Belichtungszeiten bringen eine Erhöhung des Dunkelstromrauschens mit sich; die maximale Belichtungszeit, für die noch eine ausreichende Dynamik erzielt werden kann, wurde auf 10 Sekunden festgelegt.



Abb. 4: Die strahlungsharte Röntgenkamera XEye

Die Anbindung der Kamera an den Datenaufnahmerechner über ein Glasfaserkabel stellt eine Reichweite für die Datenübertragung von über 60 Meter sicher. Um eine Eintrübung der Glasfasern durch Strahlenschäden zu vermeiden, wurde die optische Übertragungseinheit außerhalb des Strahlenkegels angebracht und nicht innerhalb des Kameragehäuses integriert.

Abb. 5 zeigt das Röntgenbild einer 4 mm dicken Stahlplatte zusammen mit einem Doppeldrahtsteg-Testmuster nach EN 462-5 Duplex IQI [7], das mit 110 kV Röntgenspannung abgebildet wurde. Die untere Bildhälfte zeigt das Grauwertprofil, das entlang der roten Linie bestimmt wurde. EN 13068-3 spezifiziert den dritt-dünnsten Doppeldrahtsteg (11D) als die begrenzte Ortsauflösung in der Aufnahme. Gemäß EN 462-5 jedoch würde der zweite Doppeldrahtsteg von rechts (12D) als Grenze der Ortsauflösung erklärt, was die Anforderungen der Norm übertrifft. Weitere Untersuchungen mit dickeren Stahlplatten ergaben, dass die Anforderungen an die Erkennbarkeit der Doppeldrahtstege im betreffenden Dickenbereich der Stahlplatten überall und eindeutig mehr als erfüllt werden.

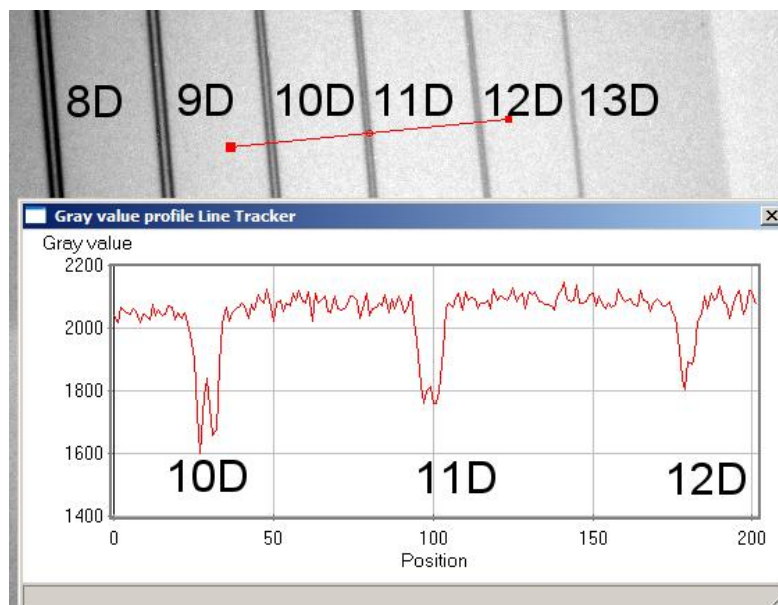


Abb. 5: Die obere Bildhälfte zeigt die Röntgenaufnahmen eines Doppeldrahtsteg-Testmusters nach EN 462-5 vor einer 4 mm dicken Stahlplatte. Das Grauwertprofile in der unteren Bildhälfte wurde entlang der roten Linie bestimmt.

Gemäß EN 462 wurden darüber hinaus mit Stahlplatten unterschiedlichster Stärke zahlreiche weitere Tests der Röntgenkamera ausgeführt, die alle nachwiesen, dass diese auch die Anforderungen an die Kontrastauflösung gemäß EN 13068 erfüllt.

5. Bildverarbeitung

Die Anforderungen hinsichtlich der Orts- und Kontrastauflösung sowie die Notwendigkeit einer quantitativen Vermessung (in Strahlrichtung) verschiedener Arten von Anomalien innerhalb der Schweißnaht stellten extreme Herausforderungen an das Bildverarbeitungssystem. Die folgende Aufzählung nennt eine Auswahl von Anomalien, die nachgewiesen werden müssen:

- Poren, Porenester
- Risse
- Ungenügende Durchschweißung
- Einbrandkerben und Vertiefungen
- Einschlüsse von Schlacke oder Fremdkörpern (z.B. Wolfram)

Wie zuvor schon erwähnt, ist es nicht möglich eine stets unregelmäßige wenngleich in der Regel fehlerfreie Schweißnaht einer automatischen Prüfung zu unterziehen, die auf Referenzbildern basiert. Daher wurde eine mehrstufige, referenzlose Bildauswertungskette entworfen und implementiert. Diese setzt sich aus mehreren Algorithmen zusammen, die jeder auf den automatischen Nachweis einer bestimmten Art von Anomalie spezialisiert sind. Zum Beispiel werden Median-Filter zum Nachweis von Poren und Einschlüssen eingesetzt, während richtungsabhängige Gradientenfilter Vertiefungen und mangelhafte Eindringung identifizieren.

Die im zweiten Abschnitt dargestellte Bestimmung der Schweißnahtlage liefert die Grundlage für die Anwendung von richtungsabhängigen Filtern. Im ersten Schritt werden die äußeren Begrenzungen der Schweißnaht und die Lage der Schweißnahtmitte im Bild berechnet. Da die horizontale Lage der Naht im Bild gegeben ist, werden an einer Folge von aufeinander folgenden Positionen z Profile $P_z(x)$ senkrecht zur Naht ausgewertet (Abb. 6). Die erste Ableitung der Profilkurve $dP_z(x)/dx$ liefert den Gradienten des Grauwertprofils (Abb. 7). Bei einer fehlerfreien Schweißnaht wechselt in der Mitte der Naht das Vorzeichen des Gradienten, während die Begrenzung der Naht sich, wenn man sich von der Mitte der Naht in beide Richtungen nach Außen bewegt, in einem starken Abfall der Ableitung äußert, der mittels eines Schwellwertes detektiert werden kann. Um die Zuverlässigkeit dieser Methode zu erhöhen und den Einfluss des in der Röntgentechnik unvermeidbaren Bildpunktrauschens zu unterdrücken, wird für das endgültige Ergebnis noch die Fläche unter dem Gradienten, d. h. die Integrale von der Mitte zur unteren und oberen Begrenzung ausgewertet; von der exakten Mitte aus nehmen beide Integrale gleichzeitig einen maximalen Wert an.

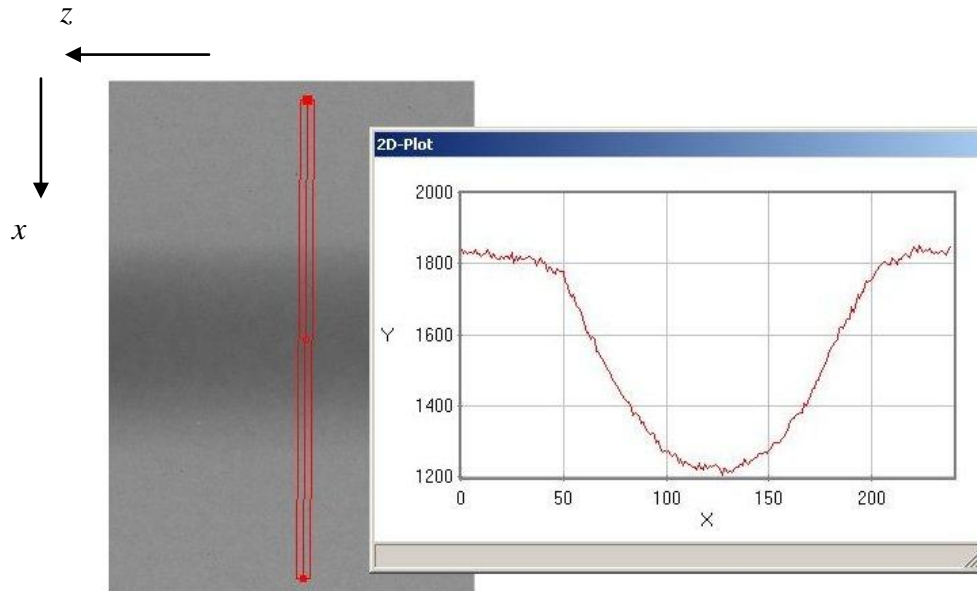


Abb. 6: Links der Ausschnitt aus dem Röntgenbild der Schweißnaht, rechts Profil $P_z(x)$ senkrecht zur Naht an der Position z in Längsrichtung.

Auf dieser Eingrenzung der Naht setzen im folgenden Schritt richtungsabhängige Filter auf, die von den äußeren Rändern in Richtung der Mitte angewendet werden und in der Lage sind, alle oben angeführten Unregelmäßigkeiten in der Naht zu detektieren. Auf Grund dieses Konzeptes hat die Genauigkeit, mit der die Lage der Schweißnaht bestimmt wird, eine wesentliche Auswirkung auf die Nachweisgüte der Fehleranalyse. Im Wesentlichen ist die eingesetzte Methode stabil gegenüber sämtlichen kleinen und mittelgroßen Unregelmäßigkeiten der Naht; nur vereinzelte, sehr große Fehler, wie ganze Löcher können zu Fehlberechnungen führen.

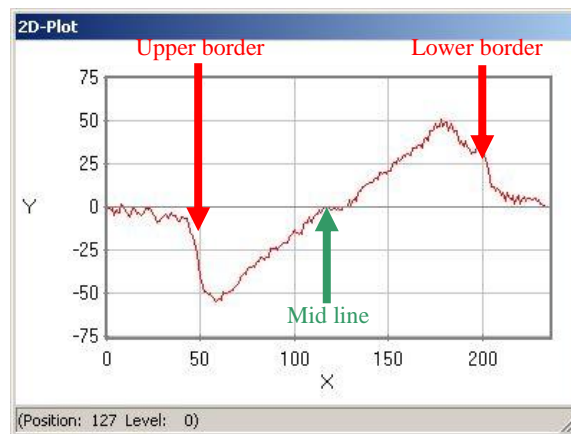


Abb. 7: Gradient entlang eines vertikalen Profils der Naht; die roten und der grüne Pfeil zeigen die aus der Auswertung resultierenden Grenzen bzw. die Mitte der Naht.

Die Ausdehnung der nachgewiesenen Fehlstellen in Strahlrichtung wird basierend auf einer Kalibrierung des Systems quantitativ vermessen. Die Kalibrierung beruht auf einer Folge von Röntgenbildern eines Stufenkeiles, der aus dem selben Material wie das Rohr selbst gefertigt ist. Diese Information in Verbindung mit dem Unterschied in der durchstrahlten Materiallänge innerhalb einer Unregelmäßigkeit und der Umgebung erlaubt eine genaue Bestimmung der Fehlerausdehnung [8].

Alle Fehlstellen im Rohr, die mittels der unterschiedlichen Filteroperationen aufgespürt wurden, werden anschließend zusammengefasst und einer Analyse hinsichtlich der Qualitätsan-

forderungen unterzogen. Diese entscheidet darüber, welche Fehler angezeigt werden und welche nicht.

6. Langfristige Archivierung von Bilddaten und Analyseergebnis – DVD-Safe

Eine wichtige Anforderung an das System ist die langfristige Sicherung der Bilddaten und der zugehörigen Fehleranalyseergebnisse für bestimmte Rohrtypen. Ein Prüfsystem, das mit Bildverstärkern und Videotechnik arbeitet, verursacht hohe laufende Kosten bei der Aufzeichnung der Bilder, während die Qualität der aufgezeichneten Bilder den heutigen Ansprüchen nicht genügt.

Als eine Alternative hierzu bietet eine digitale Archivierung der Bilder auf einem nicht-wiederbeschreibbaren Medium wie CD-ROM oder DVD niedrigere Kosten bei höherer Qualität der Daten. Das *DVD-Safe*-System speichert, wie oben erläutert, Bilder und Prüfparameter (Röntgenspannung in kV, Röhrenstrom in mA und die geometrischen Abstandsverhältnisse) unter Verwendung einer verschlüsselten Prüfsumme, um eine hypothetische Manipulation der Daten nach Beendigung der Prüfung auszuschließen.

Das automatische Prüfsystem *ISAR-S* ist mit dem *DVD-Safe* über das lokale Netzwerk (LAN) verbunden. Alle Bilder werden für jedes Rohr zusammen mit allen Informationen über den Prüfauftrag verlustfrei komprimiert, um die Datenmenge zu reduzieren. Nach Beendigung des Prüfauftrages werden die Archivdaten automatisch auf dem gewählten Datenträger dauerhaft gespeichert. Falls ein Prüfauftrag eine größere Datenmenge erzeugt, als auf einem einzelnen Datenträger gespeichert werden kann, wird der Datentransfer gestartet, sobald die Kapazitätsgrenze erreicht wird.

Bei Abschluss der Prüfung wird jedem Datenträger eine eindeutige Kennziffer zugeordnet, die zusammen mit einer Beschreibung des Rohres in einer Datenbank abgelegt wird. Die Datenbank verfügt über eine Vielzahl von Werkzeugen, welche die Verwaltung des Archivs erleichtern.

Eine beliebige handelsübliche Software kann zur Dekompression und Darstellung der Prüfdaten z. B. in Form eines Films verwendet werden. Anhand vorausgewählter Kriterien, wie Prüfposition und Prüfergebnisse kann ein Benutzer benötigte Informationen abrufen. Die Visualisierungssoftware kontrolliert dabei die Prüfsumme und zeigt eine Fehlermeldung an, wenn eine Unstimmigkeit auftritt. Aufgrund der verlustfreien Kompression der Bilder kann der Prüfvorgang nach beliebiger Zeit wiederholt und das Prüfergebnis nachvollzogen werden.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Das im vorhergehenden beschriebene Prüfsystem für längsnaht-geschweißte Edelstahlrohre weist eine Reihe von neuartigen Methoden und Verfahrensabläufen auf, angefangen mit der Handhabung der Rohre zu Beginn der Prüfung bis hin zur abschließenden, dauerhaften Archivierung der Ergebnisse in digitaler Form. Das innovative Konzept für den Aufbau der Prüfanlage beinhaltet nicht zuletzt den Einsatz eines speziell für die vorliegende Prüfaufgabe entwickelten Detektors, dessen Unempfindlichkeit gegenüber Strahlungsschädigungen nur eine von vielen hervorragenden Eigenschaften dieses bildgebenden Systems ist.

Um die 16-Bit Röntgenbilder in ausreichender Geschwindigkeit auswerten zu können, wurden spezielle Algorithmen entwickelt und optimiert, die eine Vielzahl von Unregelmäßigkeiten, welche in einer Schweißnaht auftreten können, nachweisen können. Trotz der verhältnismäßig großen Datenmenge, die während der Durchstrahlung erzeugt wird, ist das vorgestellte System schnell genug, um die automatische Prüfung schritt haltend mit dem Produktionsprozess zu leisten, ohne an die Grenzen der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Rechner zu stoßen.

Der Prüfprozess endet, sobald alle gemessenen Daten und das Prüfergebnis dauerhaft auf einem Datenträger archiviert sind. Damit werden modernste Anforderungen an die Dokumentation in der Qualitätssicherung erfüllt.

Das Prüfsystem kann eine Vielzahl von Unregelmäßigkeiten auffinden und quantitativ messen. Eine Einordnung der Fehler hinsichtlich ihrer Ursache oder dem daraus abzuleitenden Risiko eines Rohrbruches kann jedoch nicht geleistet werden. Dies bleibt Aufgabe des Prüfpersonals. Die zukünftige Weiterentwicklung des Prüfsystems wird sich darauf konzentrieren, diese Lücke bei der Klassifikation der Fehler zu füllen.

Weiterhin sind noch Anstrengungen zu unternehmen, auch Laser-Schweißnähte zu prüfen. Aufgrund des geringen Kontrastes von Laser-geschweißten Nähten sind die vorgestellten Algorithmen bisher noch nicht in der Lage, bei dieser Art Schweißnaht 100% aller Fehlstellen aufzufinden, wenngleich die Begrenzungen solcher Nähte bereits erfolgreich aufgefunden werden.

Referenzen

- [1] D. Mery, T. Jaeger, D. Filbert, „Automatische Gussfehlererkennung: Stand der Technik“, tm - Technische Messen, Oldenburg Verlag, 68 (7 - 8), 2001
- [2] T. Fuchs, R. Hanke, U. Hassler, U. Hütten, F. Schmolla, T. Wenzel, M. Jelinek „Fortschritte in der automatischen Durchstrahlungsprüfung von Gussteilen mittels digitaler Flachbildwandler“, Jahrestagung der DGZfP in Rostock 2.-5. Mai 2005
- [3] D. Mery, M.A. Berti, “Automatic detection of welding defects using texture features“, Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, Vol. 45, 2003
- [4] V. Schwinn, P. Fluess, J. Bauer, “Production and progress work of plates for pipes with strength level of X80 and above”, Proceedings of IPC.02, Calgary, 2002
- [5] DIN EN 13068-3, “Radioskopische Prüfung: - Teil 3: Allgemeine Grundlagen für die radioskopische Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlung”, Deutsche Fassung EN 13068-3:2001. Beuth Verlag, Berlin, 2001
- [6] DIN EN 584-1, “Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung”, Deutsche Fassung EN 584-1:1994. Beuth Verlag, Berlin, 1994
- [7] DIN EN 462-5, “Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen - Teil 5: Bildgüteprüfkörper (Doppel-Drahtsteg), Ermittlung der Bildunschärfe“, Deutsche Fassung EN 462-5:1996. Beuth Verlag, Berlin, 1996
- [8] T. Fuchs, U. Hassler, U. Hütten, T. Wenzel, “A New System for Fully Automatic Inspection of Digital Flat-panel Detector Radiographs of Aluminium Castings”, ECNDT Berlin, 25.-29. September 2006