

Hochtemperatur-Wirbelstromprüfung an Rohrleitungsbögen und deren Schweißnähten

Bernd HEUTLING^{*}, Maksym AWERBUCH,
André KÖHLER^{**}, Rien NEGGERS^{*****}, Achim UEBRIG^{**}

* LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH, Niederlassung Bremen
Europaallee 1-3, D-28309 Bremen, info.hb@lvq-wp.com, Tel.: +49 (0)421-417483-0

** Delta Test GmbH
Brigitta 15, D-29313 Hambühren, contact@deltatest.de, Tel.: +49 (0)5084-9301-0

*** Shell Nederland Chemie BV, Locatie Moerdijk
Chemieweg 25, 4782 SJ Moerdijk, Niederlande
Tel.:+31 (0)168 359 111

Kurzfassung. In der chemischen Industrie wird eine Vielzahl von Prozessen betrieben, die sowohl aus betriebstechnischen, aber vor allem aus sicherheits- und umwelttechnischen Gründen überwacht werden müssen. Dabei werden nicht nur im Betrieb die Betriebsparameter, sondern in wiederkehrenden Prüfungen auch der Zustand der Anlagen detailliert kontrolliert. Für die Durchführung der Inspektionen ist es in vielen Fällen unumgänglich, die Anlagen(teile) außer Betrieb zu nehmen (z.B. Wärmetauscher). In anderen Fällen ist zwar die Zugänglichkeit gegeben, aber die Betriebsbedingungen sprechen gegen eine Prüfung im Betrieb, z.B. Heißleitungen. Da die Außerbetriebnahme solcher Anlagenteile zusätzliche Kosten verursacht, wird immer öfter versucht, die Abschaltung zu vermeiden und die Prüfung on-stream durchzuführen. Im vorgestellten Fall handelt es sich um 14"- und 18"-Rohrleitungen, die sich unter Druck (ca. 110 bar) befinden, als Medium Dampf transportieren und bei Temperaturen um ca. 500 °C betrieben werden. Basierend auf langjährigen Betriebserfahrungen wird thermische Ermüdung als Schadensmechanismus und daraus resultierend Rissbildung in unbekannter Richtung erwartet. Als Teil der Überwachungstätigkeit sollen Wirbelstrominspektionen der ferritischen Alt-Schweißnähte, der Wärmeeinflusszone und des angrenzenden Grundwerkstoffs auf den Rohraußenseiten als Basis für zukünftige wiederkehrende Prüfungen durchgeführt werden. Basierend auf den Erfahrungen früherer Weldolet-Heißprüfungen wurde eine geeignete automatisierte Wirbelstromprüftechnik entwickelt. Für deren Qualifizierung standen 18"-Vergleichskörper zur Verfügung, die in Geometrie, Werkstoff und Schweißausführung den Schweißnähten in der Anlage entsprachen. Als Vergleichsfehler wurden Längs-, Diagonal- und Quernuten gem. der Vorgaben des Betreibers (Shell Nederland Chemie B.V.) einerodiert. An den Vergleichskörpern wurde die Wirbelstromprüftechnik in Kalt- und Heißtests erfolgreich qualifiziert und nachgewiesen, dass sie geeignet ist, Grundwerkstoff und ferritische Schweißnähte auf Längs- und Querfehler an der äußeren Oberfläche zu prüfen. Im Rahmen des Vortrags werden auch Ergebnisse von Praxiseinsätzen im heißen Betrieb vorgestellt, in deren Rahmen die gesamte Oberfläche der zu prüfenden Rohrbögen inspiziert wurde.

1. Einführung

Viele Prozesse in chemischen Anlagen beanspruchen die Anlagen in vielerlei Hinsichten zum Teil stark und es ist daher sowohl aus sicherheits- und umwelttechnischen, aber auch aus betriebstechnischen und –wirtschaftlichen Gründen ratsam, die eingesetzten Aggregate regelmäßig zu überwachen und zu inspizieren. Idealerweise sollte hierfür eine Online-Überwachung eingesetzt werden, was aber in vielen Fällen aus betriebstechnischen Gründen (mangelnde Zugänglichkeit, fehlende Einsetzbarkeit aufgrund von besonders hohen oder tiefen Betriebs- oder Produkttemperaturen etc.) nicht realisierbar ist. In solchen Fällen ist zwangsläufig neben der Protokollierung der Betriebsparameter eine Offline-Inspektion der Anlagen durchzuführen wie sie z.B. in regelmäßigen Abständen an Wärmetauschern durchgeführt wird.

Aus Kostengründen werden jedoch immer wieder Wege gesucht, um vollständige, z.T. langwierige Außerbetriebnahmen zu vermeiden und stattdessen Prüfungen im Betrieb durchzuführen. Dieses Ansinnen wird jedoch in manchen Fällen durch die Betriebsbedingungen der Aggregate oder Anlagenteile stark erschwert, z.B. bei sog. Heißleitungen, die im Betrieb Temperaturen um 500 °C aufweisen können.

In dieser Arbeit wird die Entwicklung auf der Basis früherer Weldolet-Heißprüfungen aber auch der erste Prüfeinsatz an 14"- und 18"-Rohrleitungen vorgestellt. Die Ergebnisse des Qualifizierungsberichts und der ersten Prüfungen dienen dabei als Basis für zukünftige wiederkehrende Prüfungen.

2. Prüfaufgabe

2.1 Beschreibung der Prüfobjekte und -geometrien

Im vorgestellten Fall handelt es sich um ferritische 14"- und 18"-Rohrleitungen, die sich unter Druck (ca. 110 bar) befinden, als Medium Dampf transportieren und bei Temperaturen um ca. 500 °C betrieben werden. Sie sollen gemäß der Vorgaben des Betreibers (Shell Nederland Chemie B.V., Standort Moerdijk) mittels Wirbelstrom auf Oberflächenfehler mit beliebiger Orientierung geprüft werden.

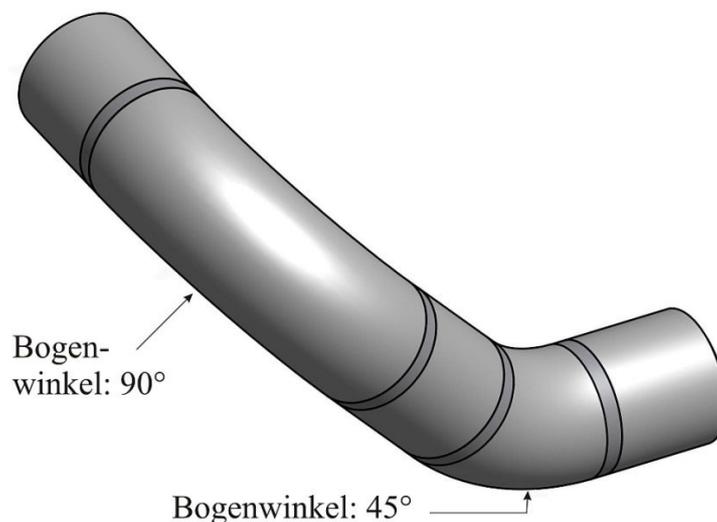


Abb. 1: Beispiel für eine Rohrgeometrie

Die 14“-Rohrleitungen hatten eine Nennwanddicke von 37,7 mm. Es konnten dicht benachbart zwei Rohrbögen aufeinander folgen, wobei weder die Richtung des Bogens noch seine Winkelgröße an allen Prüfobjekten einheitlich vorlag. Im gezeigten Fall (Abb. 1) folgt auf einen Bogenwinkel von 90° ein Bogenwinkel von 45°, wobei die Bogenrichtungen sich um 90° unterscheiden.

Die vorliegende Qualifizierung wurde für ein konkretes 14“-System des Betreibers durchgeführt. Das System befindet sich unter ca. 110 bar Druck bei einer Betriebstemperatur von ca. 500 °C und führt als Medium Dampf (Abb. 2).

Die Rohrleitungen bestehen aus ferritischem Stahl und sind daher ferromagnetisch.



Abb. 2: Beispiel für eine verbaute, hier teilweise abisolierte Rohrleitung

2.2 Erwartete Fehlerarten

Aufgrund von Betriebserfahrungen seitens des Betreibers werden als primärer Schadensmechanismus thermische Ermüdung und daraus resultierend Kriechschäden erwartet.

Die thermische Ermüdung ist ein bekanntes Phänomen, das in der Literatur [1] z.B. so beschrieben wird: unerwünschte irreversible Werkstoffveränderungen können auch durch häufig wiederholte Beanspruchungen, auch unterhalb der Fließgrenze, verursacht werden. Derartige Beanspruchungen können auch durch instationäre Temperaturverläufe innerhalb der betrachteten Werkstücke/Anlagen hervorgerufen werden und ggf. zu thermisch induzierten Spannungsverläufen führen. Dies ist z.B. der Fall beim An- und Abfahren von Anlagen(teilen), wenn ihre Betriebstemperaturen von der Umgebungstemperatur deutlich abweichen wie in den vorliegenden Rohrleitungen [1]. Durch die wiederholte Belastung im Betrieb kann es zu einer zyklischen Verfestigung kommen.

Wie bei jeder Verformung kommt es zu Versetzungsbewegungen, die sich in einer Leiterstruktur anordnen, was immer mehr zu einer Konzentration der Versetzungsbewegungen auf einige wenige sog. persistente Gleitbänder führt. Diese bewirken die Ausbildung von (aus werkstoffkundlicher Sicht) groben Gleitstufen an der Oberfläche, die wiederum als Risskeime wirken [1].

Die ebenfalls auftretenden werkstoffseitigen Imperfektionen wie Poren, Ausscheidungen oder Seigerungen bewirken ebenso wie die konstruktionsseitigen Schwächungseinflüsse wie z.B. Oberflächenkerben, Querschnittsänderungen, dass Spannungsspitzen durch betriebsbedingte thermische Belastungen noch verstärkt werden.

In [1] wird das Kriechen bei kristallinen Werkstoffen in Temperaturbereichen von $T > 0,4 \cdot T_s$ als sog. Hochtemperaturkriechen angeführt, was bei langfristiger Beanspruchung zu irreversiblen Verformungsvorgängen durch Ver- und Entfestigungsvorgänge führt.

Im schlimmsten Fall führen thermische Ermüdung und Kriechen je nach Beanspruchungsart, Temperaturprofil, Rissgeometrie und –lage sowie eingesetztem Werkstoff zum Ermüdungs- bzw. Kriechbruch. Selbst unter kontrollierten Laborbedingungen sind die Versagenswahrscheinlichkeiten von vielen Parametern abhängig und können nur über komplexe logarithmische und/oder exponentielle Gleichungssysteme beschrieben werden. Im praktischen Einsatz ist eine zerstörungsfreie Überprüfung auf Oberflächenfehler der bevorzugte Lösungsansatz.

Da derartig viele Einflussgrößen es nicht erlauben, die Ausbreitungsrichtung von Rissen a priori festzulegen, muss die Prüftechnik in der Lage sein, rissartige Oberflächenfehler in allen Orientierungen zu detektieren.

- Für die Beschreibung der Ausrichtung einer Nut im Vergleichskörperbereich mit Schweißnaht wurden folgende Definitionen getroffen:
 - Längsfehler an der Außenoberfläche bei den ferritischen Nähten in den beidseitigen Übergängen Schweißgut-Grundwerkstoff mit Orientierung jeweils parallel zur Schweißfortschrittsrichtung,
 - Querfehler an der Außenoberfläche im Schweißgut mit Orientierung senkrecht zur Schweißfortschrittsrichtung.
- Für die Beschreibung der Ausrichtung einer Nut im Vergleichskörperbereich ohne Schweißnaht wurde festgelegt:
 - Längsfehler an der Außenoberfläche im Grundwerkstoff, deren längere Seite parallel zur Achse der Rohrleitung liegen,
 - Querfehler an der Außenoberfläche im Grundwerkstoff, deren längere Seite quer zur Achse der Rohrleitung liegen,
 - Diagonalfehler an der Außenoberfläche im Grundwerkstoff, deren längere Seite 45° versetzt zu Längs- und Querfehlern liegen.
- Die Achsenbezeichnungen für das Gesamtsystem werden wie folgt festgelegt:
 - die X-Achse entspricht der Umfangsachse des Bogens
 - die Y-Achse entspricht der Längsachse des Bogens

Diese Festlegungen wurden auch zur Beschreibung von Fehlerrichtungen im Prüfobjekt verwendet.

2.3 Justierkörper und -fehler gemäß Auftrag / Prüfvorschrift

Auftragsgemäß und basierend auf den Erfahrungen ähnlicher Prüfungen an Weldolets [2] wurde die Prüfempfindlichkeit in Anlehnung an die KTA 3201.4 in der Fassung 2010-11 wie folgt durch die vorgegebene Prüfspezifikation definiert (Tabelle 1):

Tabelle 1: vorgegebene Prüfeempfindlichkeiten

Prüfeempfindlichkeit			
Wanddicke s des Prüfgegenstandes [mm]	$8 \leq s \leq 20$	$20 < s \leq 40$	$s > 40$
Nuttiefe t im Vergleichskörper [mm]	1,5	2,0	3,0

Gemäß dieser Vorgabe wurden Vergleichskörper erstellt, die in ihren Geometrie- und Materialeigenschaften den Prüfobjekten auch hinsichtlich der zu erwartenden Schweißnahtgeometrien und schweißtechnischen Randbedingungen entsprechen. Die Schweißnahtoberflächen wurden unbeschleunigt belassen (Abb. 3).

Die festgelegten künstlichen Fehler wurden ausnahmslos funkenersiv auf der Rohraußenseite eingebracht. Alle Nuten sind 0,20 bis 0,25 mm breit und 20 mm lang. Im Schweißnahtbereich wurden die Nuten längs und quer zur Schweißnahtichtung innerhalb der Schweißnaht eingebracht. Um die Leistungsfähigkeit des Wirbelstromprüfsystems bei unterschiedlichen Rohrbogenlängenverhältnissen nachweisen zu können, wurden die Justierfehler entlang der Rohrbogenbiegung auf der äußeren und inneren sowie der „neutralen“ Rohrbogenlinie sowohl als Längs- und Quer- als auch Diagonalnuten eingebracht. Darüber hinaus wurden die Nuttiefen von 1,5 mm bis 4,0 mm im Bereich der Schweißnaht sowie für den nicht-geschweißten Rohrbereich von 1,0 mm bis 4,0 mm variiert (Abb. 3).

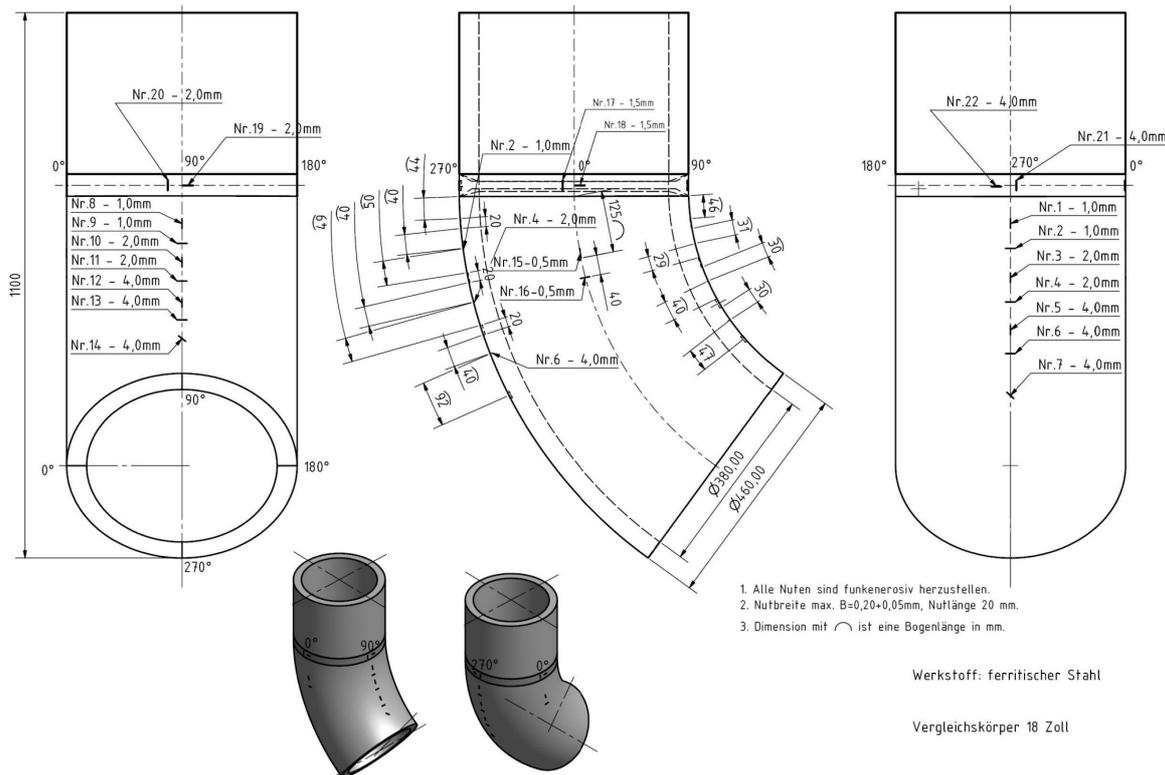


Abb. 3: Vergleichskörper 18" mit eingebrachten künstlichen Fehlern

3. Prüftechnik

3.1 Wirbelstromprüftechnik

Als Wirbelstromprüfgerät kam ein Rohmann PL300 zum Einsatz, das neben drei universellen Wirbelstrom-Kanälen auch über Eingänge für Inkrementaldrehgeber sowie Triggeringänge verfügt, die zur Positionserfassung eingesetzt werden.

Für die hier beschriebene Inspektionsaufgabe wurden bis zu zwei Wirbelstromkanäle genutzt, die analoge Wirbelstromdaten liefern. Diese wurden im Wirbelstromgerät digitalisiert und mit den parallel aufgenommenen Positionsdaten verknüpft. Der daraus resultierende Datenstrom wurde über eine Netzwerkverbindung an ein zentrales Darstellungs-, Auswerte- und Dokumentationsprogramm auf einem Computer weitergegeben, auf dem die Wirbelstromdaten in der Impedanzebene sowie in Verbindung mit den Positionsdaten auch in Form von C-Bildern dargestellt werden. Darüber hinaus bietet diese Kombination von Wirbelstromprüfgerät komfortable Steuerungs-, aber auch Datenspeicherungsmöglichkeiten, die es überdies auch erlauben, die Daten ohne Qualitäts- oder Informationsverlust zurückzulesen und offline darzustellen.

Um die Prüfung auch bei o.g. hohen Betriebstemperaturen durchführen zu können, wurde ein spezielles Sensorsystem entwickelt, das auf diese Umgebungsbedingungen optimiert war. Das Sensorsystem bestand aus einer Kombination von Absolutsensoren, die nach DIN 54140-3 wie folgt ausgelegt waren:

- Absolutsensor A-T-TS als Detektionssensor
- Absolutsensor AK-T-TS als Analysesensor

Diese Sensoren waren also als Sender-Empfänger-Anordnung im Absolutverfahren als Tastsensoren konzipiert. Zum Schutz vor Umgebungseinflüssen wurden die Sensorelemente jeweils in austenitische Gehäuse eingesetzt (Abb. 4). Da Tastsensoren insbesondere als Absolutsensoren abstandsempfindlich sind, wurde der Abstand der Sensoren zur Prüfstückoberfläche durch einen Führungsschuh konstant gehalten.



Abb. 4: Beispiel für einen eingesetzten Sensor

Zur Optimierung der Prüfaussagen wurden zwei verschiedene Sensoren zum Einsatz gebracht, die sich im Wesentlichen in den folgenden Aspekten unterschieden:

- Durchmesser
- Verwendung einer Kompensationsspule
- Betrieb mit unterschiedlichen Prüffrequenzen:
 - Detektionssensor: ca. 30 kHz
 - Analysesensor: ca. 110 kHz

Das Prüfsystem war so ausgelegt, dass zum Schutz von Geräten und Personal eine maximale Entfernung zwischen Wirbelstrom-Prüfgerät und Messsystem von 10 Metern ermöglicht werden konnte.

3.2 Mechanisierung

Um unter den o.g. Betriebs- und Prüfbedingungen die notwendige Führungsgenauigkeit und Prüfflächenabdeckung sicherstellen zu können, wurde eine spezielle Prüfvorrichtung in Form eines leicht und schnell montierbaren Bogenmanipulators konzipiert, gefertigt und zum Einsatz gebracht.

Dieser Bogenmanipulator diente zur gleichmäßigen Positionierung bzw. Führung der Sensorik auf dem Prüfgegenstand, wobei die Führung des Geräteträgers manuell durch den Bediener erfolgte. Der Verzicht auf eine weitergehende Mechanisierung bzw. Automatisierung lag in der gewünschten universellen Einsetzbarkeit des Systems begründet, das auch auf anderen geringfügig abweichenden Rohrgeometrien und –krümmungen einsetzbar sein sollte, wobei die Aufgabe in sich auf 14"- und 18"-Rohrleitungen beschränkt war.

Die Manipulatoreinheit wies eine Positioniergenauigkeit von besser als drei Millimetern auf. Zusätzlich wurde ein Schleppradsystem im Geräteträger integriert, der es ermöglichte, die X- und Y-Positionen auch bei Richtungswechseln mit hoher Genauigkeit zu ermitteln und aufzuzeichnen.

Die Positionsauflösung der Encoder stellte sicher, dass das Fehlerauflösungsvermögen in beiden Achsrichtungen hinreichend groß war, so dass eine Softwarefunktion des Steuerprogramms sicherstellen konnte, dass für jeden Abschnitt mindestens ein Messwert ermittelt und gespeichert wurde. Falls das nicht der Fall war, wurde der Benutzer durch einen deutlichen Warnhinweis auf dieses Manko hingewiesen. Um die Positionsauflösung optimal zu gestalten, wurden unterschiedliche Weggeberparametersettings für die Bogeninnen- und –außenseiten verwendet. Zur weiteren Optimierung des Fehlerauflösungsvermögens wurde die Wandelfrequenz so weit hoch gesetzt, dass sich die Positionsauflösung auf besser als 0,03 mm je Inkrement verbesserte. Zusätzlich wurde konstruktiv Schlupf ausgeschlossen.

Damit lagen die Werte der beiden Achsaufösungen deutlich über den notwendigen Grenzwerten, die für die Prüfaufgabe notwendig waren, und die Wegerfassung für den Einsatz geeignet.

3.3 Überblick Prüfsystem

Die Prüfgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit des Sensors über der Prüfteiloberfläche, war auf maximal 0,5 m/s zu begrenzen, da kleinere Prüfgeschwindigkeiten keinen Einfluss auf die Qualität der Prüfergebnisse haben. Für den Fall, dass die Prüfgeschwindigkeit außerhalb des genannten Bereichs liegen sollte, war festgelegt worden, dass im Vorfeld eine Vergleichskörpermessung mit der höheren Geschwindigkeit durchgeführt werden musste, um eine geeignete Filtereinstellung zu ermitteln.

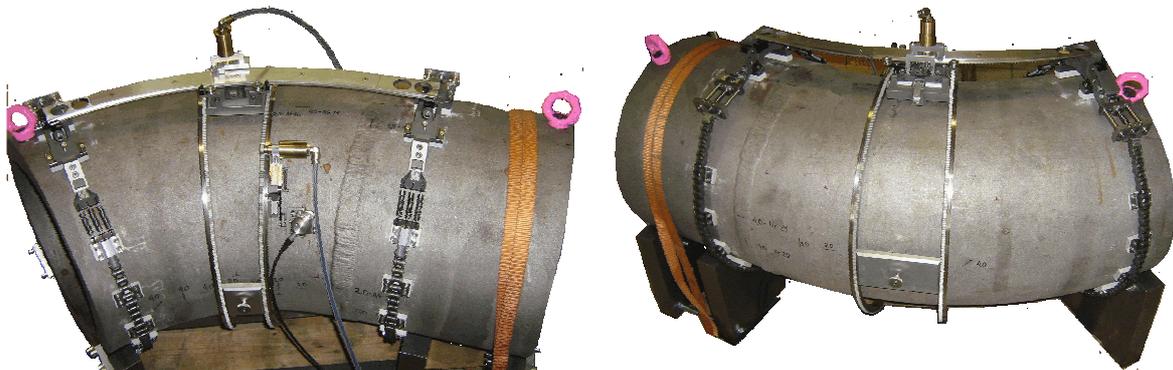


Abb. 5: 18"-Prüfsystem inkl. Bogenmanipulator am Vergleichskörper

Damit bestand das Prüfsystem aus den folgenden Komponenten:

- Wirbelstromprüfgerät mit mehreren Wirbelstrom-, Analog- und Triggereingängen sowie einem Netzwerkport
- Wirbelstromsensoren
- Prüfcomputer zur Steuerung des Wirbelstromgeräts sowie zur Visualisierung und Speicherung der Prüfergebnisse
- mechanisierte Prüfvorrichtung mit mechanisch-elektronischem Positionserfassungssystem (Abb. 5)
- Anschlussbox für Energieversorgung und Datenübertragung sowie die dazu gehörigen Verbindungskabel

4. Nachweis der Eignung unter Prüfungsbedingungen

4.1 Vorgehen zum Nachweis der Prüfempfindlichkeit

Zum Nachweis der Prüfempfindlichkeit des Gesamtsystems wurden sowohl Kalt- als auch Heißtests bei Raumtemperatur bzw. bei ca. 500 °C durchgeführt. Im Rahmen dieser Tests wurde die äußere Oberfläche der Vergleichskörper im Bereich der Vergleichsfehlerreihen vollständig geprüft. Die Prüfung erfolgte durch die manuelle Führung der Sonde mäandrierend in Bahnen quer zur Rohrlängsachse auf der Rohroberfläche.

Basierend auf den Sensordaten betrug die Spurbreite 4 Millimeter. Die vollständige Abtastung der Rohroberfläche konnte trotz manueller Führung dadurch sichergestellt werden, dass nicht geprüfte Bereiche im C-Scan als weiße Flächen angezeigt wurden.

4.2 Frequenzauswahl

In Vorversuchen wurden für das o.g. Sensorsystem für die Schweißnaht-, WEZ und Grundwerkstoffbereiche für den Detektionssensor eine Frequenz um 100 kHz und für den Analysesensor um 30 kHz ermittelt und im Weiteren für die Nachweisprüfungen eingesetzt. Bei diesen Frequenzen traten keine nennenswerten Störsignale aufgrund von z.B. Deltaferrit im Schweißnahtbereich oder Permeabilitätsschwankungen auf.

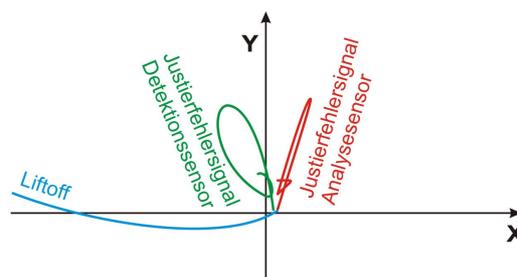


Abb. 6: Justier- und Abhebesignale

4.3 Einstellung des Phasenwinkels

Die Phasenlage wurde gem. der Wirbelstromkonventionen so gelegt, dass das Abhebesignal auf fehlerfreiem Material des Kontrollkörpers horizontal nach links verlief. Die Justiersignale, i.e. Nutzsingnale, verliefen bei Anwendung einer Y-Komponentenverstärkung von +12 dB für den Detektionssensor in einem Winkel von ca. 110° und für den Analysesensor unter ca. 80° (Abb. 6).

Der Y-Anteil der Justierfehlersignale der 1,0 mm (gewähltes Bezugssignal für Grundwerkstoffbereiche) und 2,0 mm -Nuten (Bezugssignal für Schweißnähte der vorlie-

genden Wanddicke, s. Tabelle 1) wurde in Mittenposition über der Referenznut auf zwei Skalenteile eingestellt.

4.4 Prüfempfindlichkeit

Der Signalverlauf der Justiersignale bestätigte, dass die Justiersignalhöhe dann einen hinreichenden Abstand zum Grundrauschen des Signals hat, um als Registriergrenze eingesetzt werden zu können (Abb. 7).

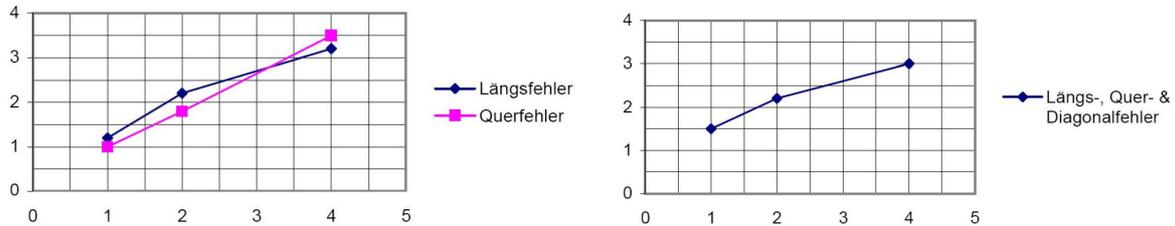


Abb. 7: Kennlinien für Standardsensor (li.) und Analysesensor (re.)
(X-Achse = Nuttiefen, Y-Achse = Signalhöhe in Skalenteilen)

In Vorversuchen wurden die jeweiligen Sensorwirkbreiten ermittelt und daraus resultierend die Größe eines Prüffeldes bzw. -punktes festgelegt:

- Umfangs- bzw. X-Achse: 2,0 mm
- Längs- bzw. Y-Achse: 4,0 mm

Die eingesetzte Prüfsystemsoftware war so ausgelegt, dass automatisch der größte gemessene Wert des Prüfpunktes dargestellt und gespeichert wurde. Die Speicherung der Messwerte erfolgte mit der im C-Bild dargestellten Auflösung. Die Vollständigkeit der Abtastung konnte im C-Bild (Abb. 8) kontrolliert werden, da nicht geprüfte Bereiche als solche (weiß) dargestellt wurden. Dadurch konnte die korrekte Abstimmung von Umfangs- und Vorschubgeschwindigkeit auch visuell überprüft und dokumentiert werden.

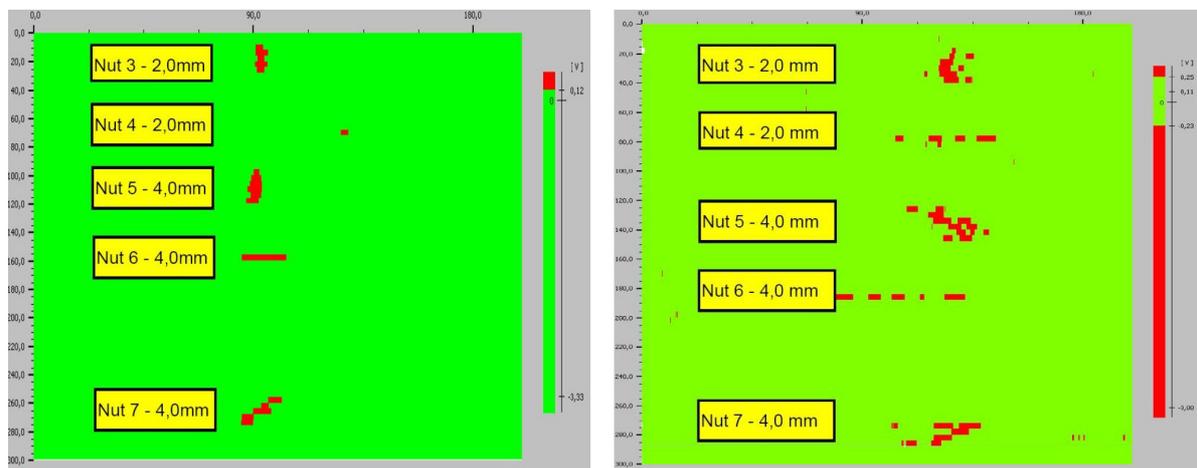


Abb. 8: C-Scans für Standardsensor in der Kaltpfprüfung (li.) und der Heißprüfung (re.)

Als Registriergrenze wurde die Signalamplitude von einer Skalenteilung, i.e. 50% der Signalhöhe des kleinsten Justierfehlers nach der Parameteranpassung in der Justierung gewählt.

4.5 Nachweis der Eignung der Prüftechnik

Die Vergleichskörper wurden in den Kalt- als auch Heißtests mehrfach sowohl im Bereich der mit Justierfehler versehenen Schweißnähte als auch des Grundwerkstoffs geprüft. In allen Prüfdurchgängen wurde die geforderte Prüfempfindlichkeit erbracht. Durch die mehrfache Wiederholung wurde zweifelsfrei nachgewiesen, dass die Positionsauflösung der X- und Y-Wegaufnehmer bei der vorliegenden Sensorwirkbreite und Justierfehlerausdehnung hinreichte, um die Justierfehler auch bei zufällig gewählten Maßbezugspunkten sicher nachzuweisen.

Aufgrund der Wiederholbarkeit der Justierprüfungen mit guten Prüfergebnissen und der dort gewonnenen Kennlinien (Abb. 7) galt der Eignungsnachweis als erbracht.

5. Anmerkungen zur Durchführung der Prüfungen vor Ort

Im ersten Prüfdurchlauf vor Ort wurden auftragsgemäß ausschließlich Heißprüfungen an fünf Rohrleitungsabschnitten bei knapp unter 500 °C Objekttemperatur durchgeführt. Dabei wiesen die Abschnitte unterschiedliche Geometrien und Rohrkrümmungen auf. Die Rohrleitungen wurden nicht außer Betrieb genommen, sondern es wurde lediglich die Außenisolierung in den eigentlichen Prüfbereichen entfernt, so dass der Bogenmanipulator angebracht werden konnte (Abb. 9).



Abb. 9: Abisolieren und Montage des Manipulators im Prüfbereich

Anhand des passenden Vergleichskörpers wurde parallel zum Prüfobjekt ohne nachträgliche Veränderung der Messkette einjustiert, im Anschluss daran die eigentliche Prüfung durchgeführt (Abb. 10) und abschließend ausjustiert.



Abb. 10: eingesetztes Prüfsystem im Prüfbereich

6. Beispielhafte Prüfergebnisse

Die Prüfungsergebnisse wurden abschließend als C-Scans dargestellt, wobei nicht nur die C-Scans sondern auch die Wirbelstromrohdaten als Dokumentationsbasis archiviert wurden. Zur einfacheren Visualisierung der Prüfergebnisse wurden diese über ein Graphikprogramm auf die Prüfobjekte übertragen und so im Abschlussbericht präsentiert (Abb. 11).

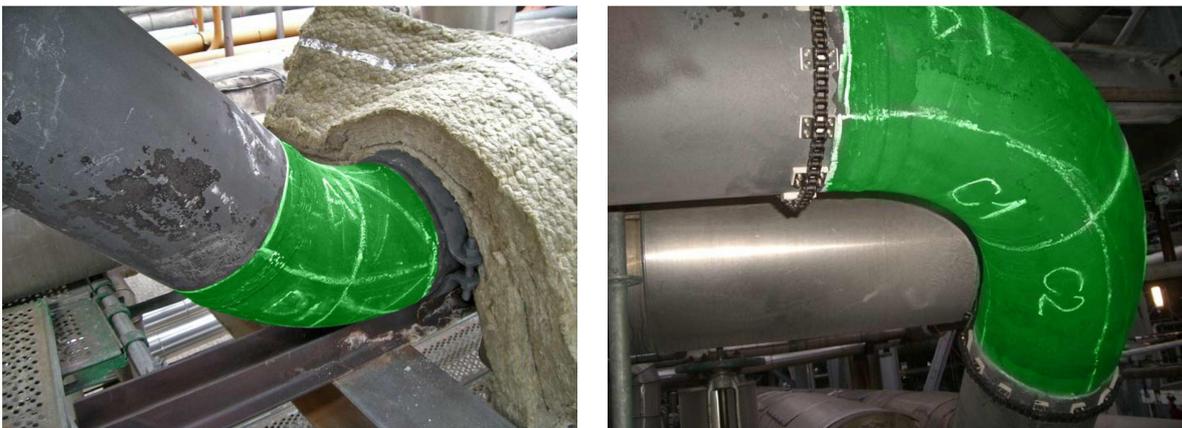


Abb. 11: geprüfte Bereiche verschiedener Prüfobjekte

Letztendlich wurden an fünf Prüfobjekten in insgesamt zwanzig Prüfbereichen Prüfungen durchgeführt, die keine relevanten Anzeigen, i.e. Signalamplituden größer oder gleich der Registriergrenze lieferten (Abb. 11 und 12) [5].



Abb. 12: geprüfte Bereiche verschiedener Prüfobjekte

7. Zusammenfassung

Es wurde eine teil-mechanisierte Wirbelstromprüfaufgabe zur Prüfung von Rohrleitungen vorgestellt, die unter Druck (ca. 110 bar) und hoher Temperatur (ca. 500 °C) betrieben werden und an denen aufgrund langjähriger Betriebserfahrungen thermische Ermüdung und damit Rissbildung mit unbekanntem Orientierungen erwartet werden.

Daher wurden als Teil der Überwachungsarbeiten der Schweißnaht-, der Bereich der Wärmeeinflusszone sowie der angrenzende Grundwerkstoff mit dem Wirbelstromprüfverfahren auf der Rohraußenseite untersucht. Dazu wurde ein Wirbelstromsystem entwickelt, das geeignet war, den extremen Prüfbedingungen standzuhalten und die geforderten Referenzfehler sicher nachzuweisen. Im Rahmen einer Qualifizierung [3] wurde dies mittels Kalt- und Heißjustierprüfungen nachgewiesen.

In den durchgeführten Prüfungen unter Betriebsbedingungen wurden dann keine relevanten Anzeigen festgestellt.

Referenzen

- [1] Schatt, Werner; Worch, Hartmut: „Werkstoffwissenschaft“; Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim; 9. Auflage; 2003; ISBN 3-527-30535-1
- [2] Delta Test GmbH: „Delta Test-Prüfspezifikation – DT-OFR-0046 03/06 Rev.01- Prüfung von Weldolets auf Oberflächenrisse an der Außenseite“; 03/2006
- [3] Delta Test GmbH: Qualifizierungsbericht „Qualifizierungsbericht DT-QB/Nr. 0046.1106 Rev.00 – Qualifizierung einer Wirbelstromprüftechnik mit Tastsonde zur Oberflächenprüfung von Schweißnähten und Grundwerkstoff an ferritischen Rohrleitungsbögen von außen“; 09/2012
- [4] Stroppe, H.; Schiebold, K.; „Wirbelstrom-Materialprüfung“, Castell-Verlag, ISBN 978-3-934255-49-4
- [5] Delta Test GmbH: Prüfbericht “Report of Eddy Current Inspection DT-No.: 0046.12.34 Shell Moerdijk MLO Bend testing 500°C”