

Mechanisierte Wirbelstromprüfung mit Innenrotiersonde an austenitischen Rohrleitungen

B. Heutling, Delta Test, Hambühren
U. von Behr, Delta Test, Hambühren
U. Rös, Delta Test, Hambühren
J. Sailer, IBASS Manipulator, Haldenwang
M. Strasser, IBASS Manipulator, Haldenwang

Abstract

Die Notwendigkeit, Rohrleitungen mit verschiedenen Innendurchmessern auch von innen bearbeiten zu können, führte früh zum Bau der ersten Rohrrinnenmanipulatoren. Der Bedarf, para- und ferromagnetische Rohre auch von der Innenseite inspizieren zu können, veranlasste die Entwicklung von Prüfsystemen für den Einsatz in Verbindung mit Rohrrinnenmanipulatoren. In einer Gemeinschaftsentwicklung der Firmen *DELTA TEST GmbH* und *IBASS Manipulator* wurde ein System zur Wirbelstromprüfung mittels Rohrrinnenmanipulator entwickelt und eingesetzt.

Abstract

The necessity to work on the inner surfaces of pipelines with varying inner diameters gave rise to the construction of the first manipulators for the inside of pipes. The further demand to inspect para- and ferromagnetic pipes interiorly led to the development of inspection systems especially designed for the application in connection with these manipulators. In a joint venture of the companies *DELTA TEST* and *IBASS Manipulator* a system for eddy current inspections by means of manipulators for the inside of pipes was developed and applied.

Einleitung

Bereits in den 80-iger Jahren wurden die ersten Rohrrinnenmanipulatoren, die umgangssprachlich auch als ‚Molch‘ bezeichnet werden, gebaut, um der Anforderung, Rohrleitungen mit unterschiedlichen Innendurchmessern auch von innen bearbeiten und ggf. untersuchen zu können, gerecht werden zu können. Ihre primäre Aufgabe war die Bearbeitung von Schweißnähten. Früh in den 90-iger Jahren spezialisierte sich *IBASS Manipulator* auf die Konstruktion und den Bau von Rohrrinnenmanipulatoren sowie deren Einsatz. Die Grundkörper der Molche tragen Module, die für unterschiedliche Einsatz- bzw. Aufgabenbereiche konzipiert und optimiert wurden. In Zusammenarbeit mit *DELTA TEST* wurde ein ergänzendes Modul zur Wirbelstromprüfung entwickelt, um Rohrleitungen von innen hinsichtlich Wanddickenminderungen sowie Oberflächenrissen inspizieren zu können.

Wirbelstromprüfung – eine Erinnerung

Durch das Anlegen einer Erregerspannung an eine Spule fließt ein Erregerstrom durch diese Spule und erzeugt in ihr ein magnetisches Feld, das Primärfeld. In einem nahe gelegenen leitfähigen Testkörper werden durch dieses Feld Wirbelströme erzeugt, die wiederum ein sekundäres Feld erzeugen, das dem Primärfeld entgegen wirkt und dieses schwächt. Das resultierende Gesamtfeld kann gemessen und ausgewertet werden.

Durch Zusammenschalten zweier Spulen ergibt sich das bekannte Differenzspulensystem (Abb. 1).

Je nachdem, welche Spule eine Veränderung des Testkörpers, z.B. einen Riss, spürt, verändert sich das Messsignal in der Impedanzebene in Phasenlage und Amplitude.

Weist man der Kurve entsprechend ihrer Amplitude eine Farbe zu, z.B. mit steigender Amplitude eine Farbänderung von grün nach rot, so kann man die Werte ortsabhängig farblich codieren und für den Testkörper ergibt sich dann über seiner gesamten vermessenen Fläche ein C-Bild.

Wendet man bei der Rohrmessung eine Innendurchlaufsonde an, so ergibt sich wie eben beschrieben ein farblich codierbarer Signalverlauf, der allerdings nur die Längsposition der Materialveränderung angibt.

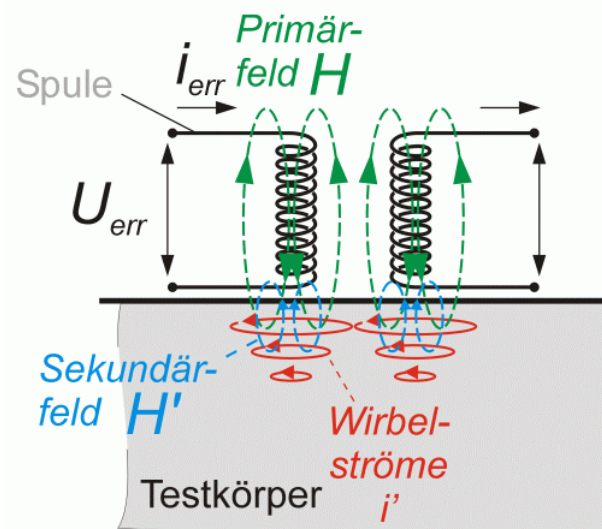


Abb. 1: Prinzip Wirbelstromprüfung mit Differenzsystem

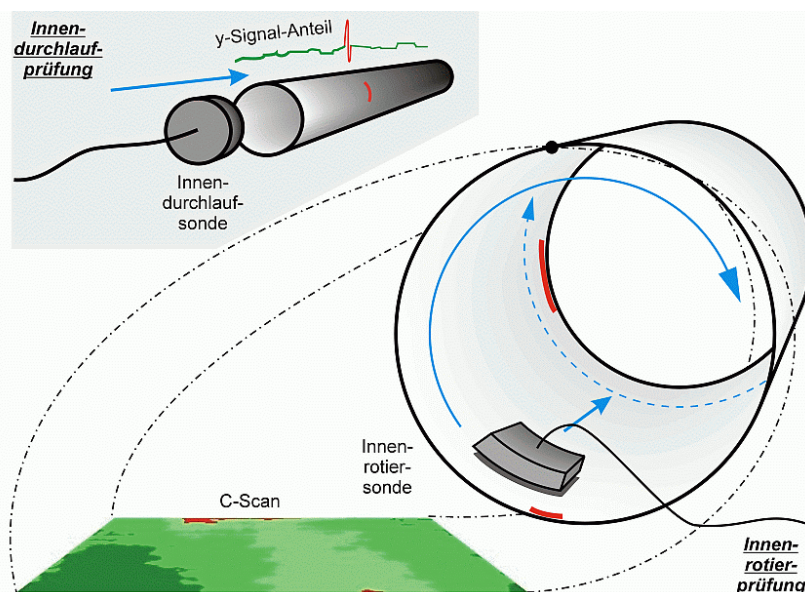


Abb. 2: C-Bild als Ergebnisdarstellung einer Innenrotierprüfung

Will man wissen, in welcher Winkellage im Rohr sich der Fehler befindet und welche Ausdehnung er hat, muss man eine Innenrotiersonde einsetzen, die an der relevanten Längsposition das Rohr auf seinem Umfang vermisst. Eine flächige farbcodierte Darstellung der über dem Umfang aufgenommenen Messwerte ergibt wieder einen C-Bild (Abb. 2).

Anforderungsprofile

Ist das Ziel einer Wirbelstromprüfung eine positionsbezogene Messung im Rohr, und dies auch hinter mehreren Rohrbögen, so ergibt sich eine Reihe von Anforderungen:

- An das Handhabungsgerät:
 - es muss in Rohren mit unterschiedlichen Querschnitten einsetzbar sein
 - es muss beweglich und exakt positionierbar sein
 - die Position muss rotatorisch wie translatorisch immer bekannt sein
 - Hindernisse sollten rechtzeitig erkannt werden können

- An das Wirbelstromprüfsystem:
 - Ovalitäten des Rohres müssen automatisch kompensiert werden können
 - die Sensorik muss an die Oberflächenform angepasst sein
 - die Messdaten müssen an die Position gekoppelt sein, so dass die Messung wiederholbar ist
 - es müssen optimale messtechnische Bedingungen herrschen, wie
 - eine hohe Abtastrate,
 - maximales Signal-Rausch-Verhältnis und damit
 - eine hinreichende Messempfindlichkeit und
 - Mehrkanaltechnik

Realisierte Molchsysteme

Die Firma *IBASS Manipulator* hat langjährige Erfahrung mit der Konstruktion und dem Betrieb von Rohrrinnenmanipulatoren. Sie werden im Durchmesserbereich von 80 bis 800 mm für austenitische und ferritische Rohrleitungen eingesetzt und sind sowohl auf senkrechten Streckenabschnitten verfahr- und exakt positionierbar als auch in der Lage, Abzweigungen zu überfahren.



Abb. 3: Überblick über einige Baugrößen (DN150 bis DN700) von Scherenmolchen

Die Molche sind mit einer modularen Werkzeugaufnahme ausgerüstet und bieten dadurch verschiedene Einsatzmöglichkeiten im Rohrrinneren, die vom Schleifen über das Reinigen und Absaugen bis zu Inspektionsverfahren wie der Sichtprüfung, der Farbeindringprüfung oder der in Kooperation mit *DELTA TEST* durchgeführten Wirbelstromprüfung reichen.

Der Antrieb eines Molchs kann in geschlossenen oder absperrbaren Rohrsystemen z.B. über ein Unterdrucksystem mit angefederten Rollen erfolgen, um den Manipulator auch in geschlossenen Rohrleitungssystemen einsetzbar zu machen.

In den gemeinsamen Einsätzen zur Rohrrinnen-Wirbelstromprüfung in offenen Rohrsystemen wurde jedoch der wesentlich flexiblere und robustere elektrisch/pneumatische Scherenantrieb verwendet (Abb. 3). Durch das Öffnen der Scherensysteme wird der Molch im Rohr zentriert (Abb. 4) und kann in Grenzen für verschiedene Rohrdurchmesserbereiche eingesetzt werden. Der Antrieb ermög-

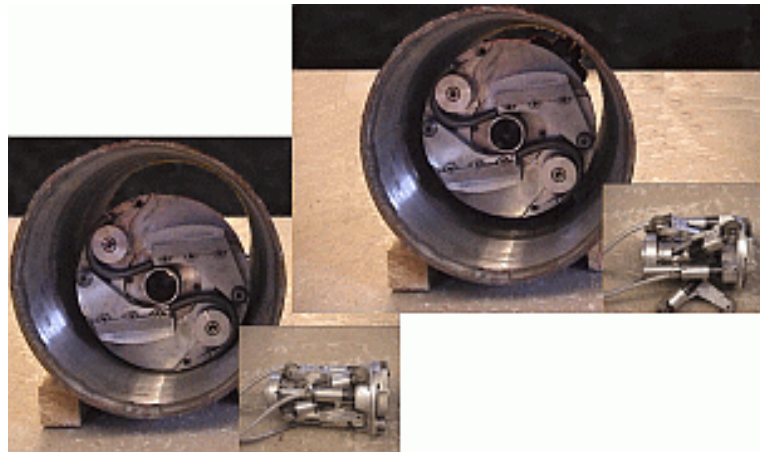


Abb. 4: Zentrieren eines Scherenmolchs

licht die exakte Regelung der Position, so dass ein Molch auf einer Strecke von bis zu 50 Metern in beliebigen Rohrausrichtungen, also auch schräg und vertikal verlaufenden Streckenabschnitten, maximal 5 Bögen überfahren kann. Dies ermöglicht auch tief im Rohrrinneren automatisierte Bewegungs- und Bearbeitungsabläufe.

Eine konstruktive Besonderheit der Scherenmolche ist ihre Fähigkeit, dass sie über Armaturengehäuse in ein Rohr eingesetzt werden können, ohne dass das Rohr aufgetrennt werden muss.

Dass dieses aufwändigere System der Scherenmanipulatoren ein etwas höheres Gewicht und ein Schleppkabel impliziert, beeinträchtigt die Vielseitigkeit der Molche jedoch nicht.

Wirbelstromprüfsystem zur Oberflächenrissprüfung

Die wesentlichen Charakteristika des eingesetzten Wirbelstromprüfsystems sind:

- Ovalitäten der Rohrinneenseite werden durch ein adaptives Nachführungssystem ausgeglichen (Abb. 5)
- die Sondenführung ist für die leichte Umstellung auf unterschiedliche Rohrinneinnendurchmesser modular aufgebaut und leicht montierbar
- ein automatischer Werkzeurückzug sichert die Sonde bei Ausfall der Energieversorgung
- Fehler ab 1 mm Fehlertiefe sind in beliebiger Orientierung detektierbar, wobei eine klare Signaltrennung zwischen Oberflächeneffekten und Materialtrennungen gewährleistet ist

- durch den Einsatz einer Innenrotiersonde wird ein Prüfbereich von 100% der inneren Rohroberfläche möglich
- die Ankopplung an die Positionsgeber des Molchs ermöglicht die Reproduzierbarkeit der Messung
- es existiert eine zusätzliche Verbindung zum Video-System des Molchs, so dass Hindernisse im Prüfbereich frühzeitig erkannt werden können; dabei benutzen beide Systeme das gleiche Koordinatensystem, das auch im Video-display eingeblendet werden kann

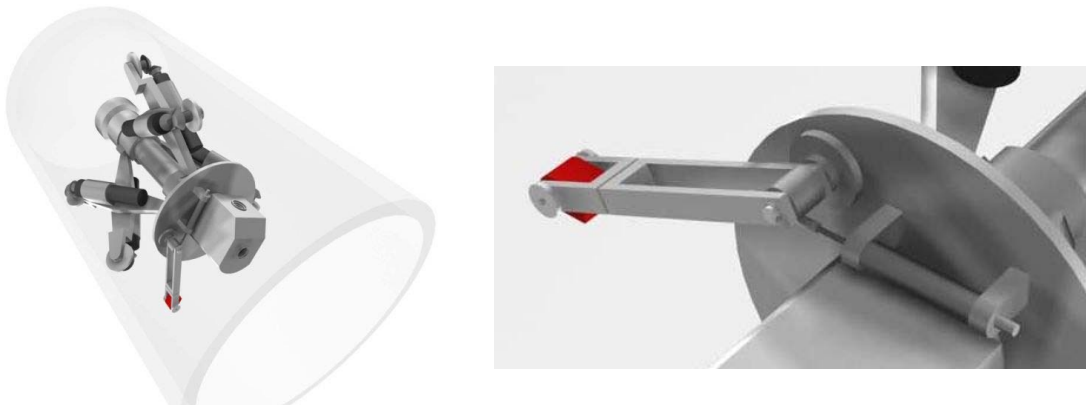


Abb. 5: Prinzip „Molch in Rohrleitung“ (li.) sowie Sondenpositionsadaptionssystem (re.)

Die eingesetzte Kombination eines Molchs mit Wirbelstromprüfsystem zur Wanddickenprüfung

In einem der realisierten Einsatzfälle wurde ein Molch mit einer Integral- und einer Innenrotiersonde bestückt und in ein Rohr eingesetzt (Abb. 6).

Kombinationen aus einem Molch und einem Wirbelstromprüfsystem sind einsetzbar für Wanddickenprüfungen aber auch zur Oberflächenrissprüfung. Die mechanisierte Wirbelstromprüfung zur Oberflächenrissprüfung mittels Molch wurde bereits im Jahr 2002 durch den TÜV Süd qualifiziert.

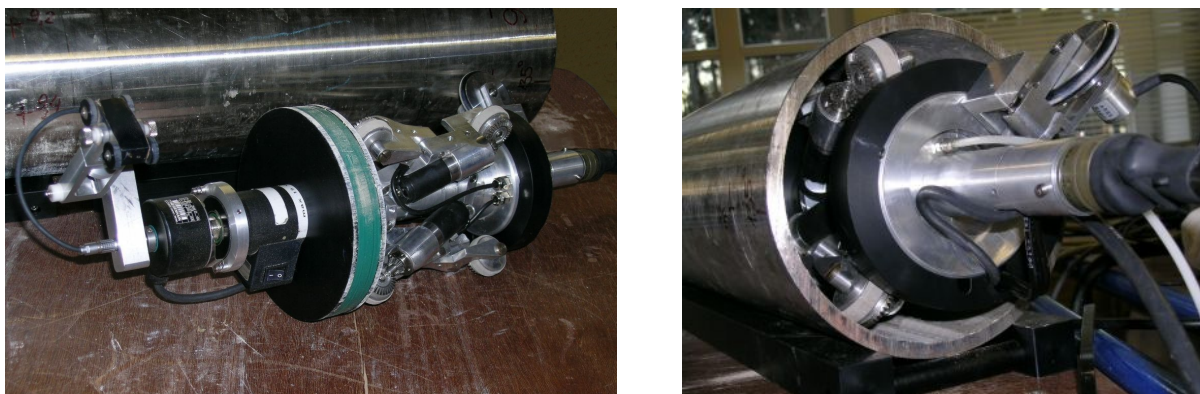


Abb. 6: Eingesetzter Molch zur Wanddickenmessung

Die Vorschubgeschwindigkeit kann durch ein automatisches Regelsystem in Abhängigkeit von Sondenwirkbreite und Rotationsgeschwindigkeit maximiert werden, wobei immer mindestens eine Winkelauflösung von 1° erzielbar ist.

Beim Einsatz im geschlossenen Rohr kommt dem Videoüberwachungssystem eine integrierte Beleuchtung zu Gute, die es möglich macht, auftauchende Hindernisse frühzeitig zu erkennen. Parallel zur Beobachtung des Messbetriebs können gleichzeitig die Messergebnisse in Form einer C-Bild-Darstellung betrachtet werden (Abb. 7).

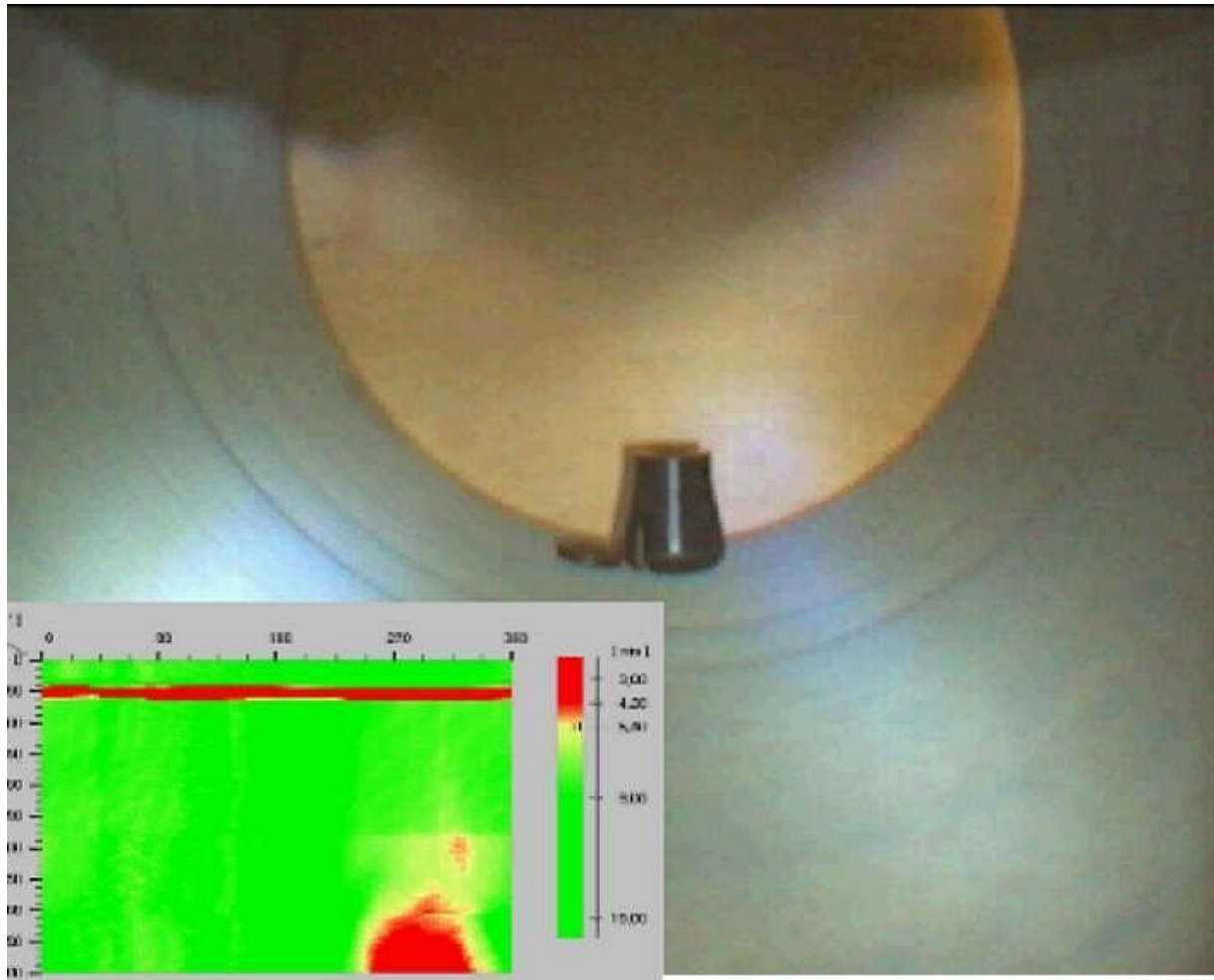


Abb. 7: Videobild während eines Molch-Prüflaufs, im Vordergrund der dabei aufgenommene C-Bild, im Hintergrund zwei "Hindernisse"

Auswertung und Darstellung der Wirbelstromprüfdaten

Sind die interessierenden Rohrabschnitte vermessen worden, können die Prüfergebnisse anschließend nicht nur in den bekannten Dokumentationsformen ausgegeben, sondern auch in einer optionalen interaktiven 3-D-Dokumentationssoftware dargestellt werden.

Darin kann der Betrachter ein interessierendes Prüfobjekt aus einer Liste von Prüfobjekten auswählen, das Prüfobjekt in der Ansicht so drehen, in das Prüfobjekt hineinzoomen und der Bildausschnitt so bewegt werden, dass interessierende (Prüf-)Bereiche gut sichtbar sind.

Nach der Auswahl eines Auswertungsbereichs stehen dann verschiedene Ansichten für die Analyse zur Verfügung: die schematische Darstellung, eine C-Bild-Darstellung der Messergebnisse und ein Foto des Prüfbereichs, ggf. mit Markierungen des fehlerbehafteten Bereichs, wie dies in Abbildung 8 am Beispiel von Außenprüfungen von Rohrleitungssystemen anschaulich dargestellt wird.

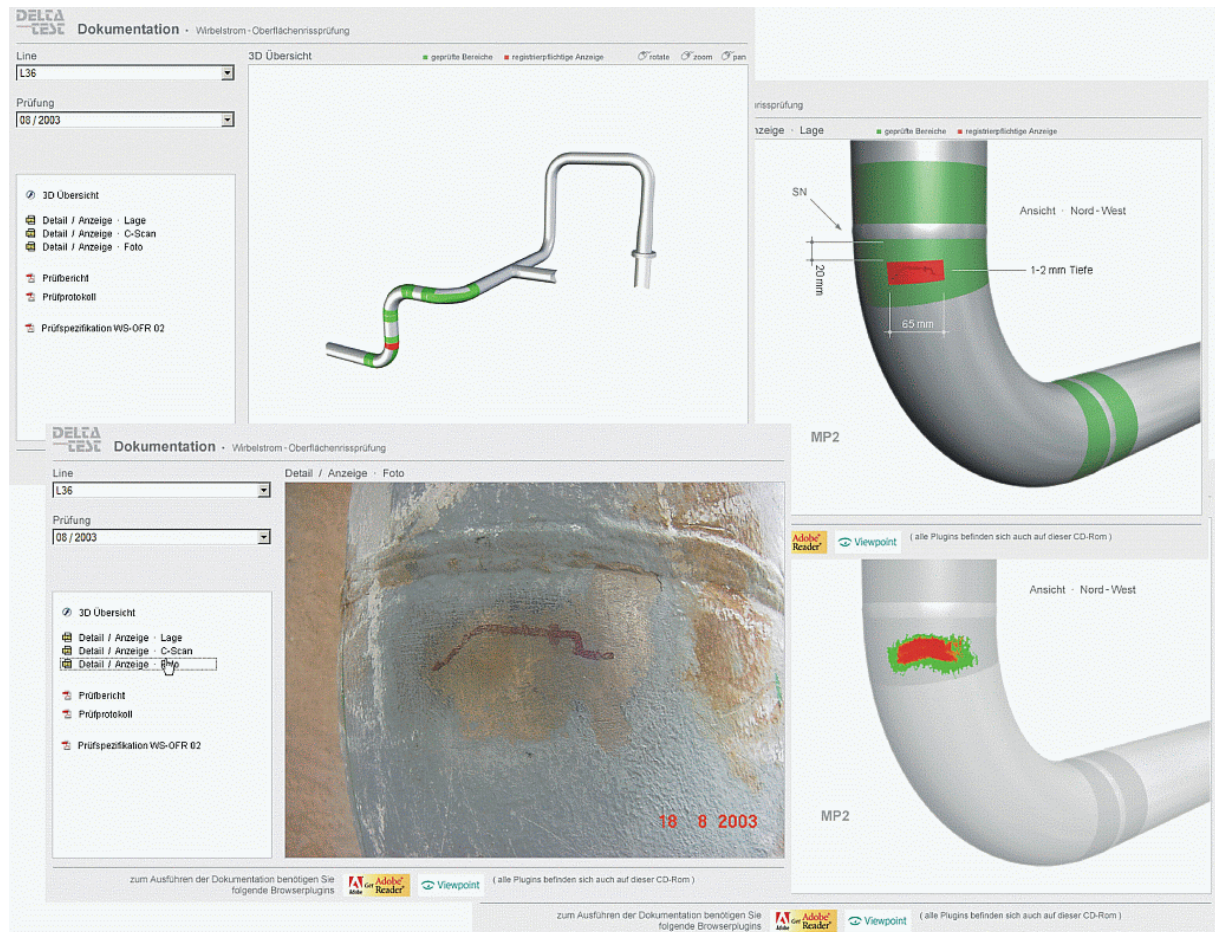


Abb. 8: verschiedene Ansichten aus der 3D-Dokumentationssoftware aus der Außenprüfung von Rohrleitungen

Dies ermöglicht eine schnelle und sehr anschauliche Darstellung der Prüfergebnisse.

Eine vergleichbare Darstellung der Prüfergebnisse ist auch für die Ergebnisse der Rohrlinnenprüfung möglich, wie dies in Abbildung 9 gezeigt wird. Auch hier werden die Messergebnisse als farblich-codierte C-Bilder im dreidimensionalen Raum sowohl über dem Rohrumfang als auch über der Rohrlänge aufgetragen. Längen- und Umfangsindikatoren erleichtern die Identifizierung der relevanten Abschnitte im Prüfobjekt.

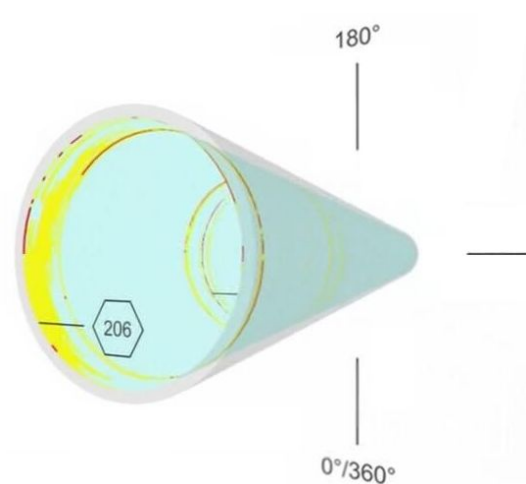


Abb. 9: Ansicht aus der 3D-Dokumentationssoftware für die Innenprüfung von Rohrleitungen

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden die Ergebnisse einer mehrjährigen Zusammenarbeit der Firmen *DELTA TEST* und *IBASS Manipulator* im Bereich der mechanisierten Wirbelstromprüfung mit Innenrotiersonden an austenitischen Rohrleitungen dargestellt. *IBASS Manipulator* stellt Rohrmanipulatoren her, die die exakte Positionierung einer mobilen und agilen Werkzeugträgereinheit innerhalb eines Rohres ermöglicht. Auf dieser Basis bringt *DELTA TEST* z.B. Innenrotiersonden zum Einsatz, mit denen eine Rohrrinneninspektion mit höchster Ortsauflösung möglich wird. Die Messergebnisse, die mit diesem TÜV-zertifizierten Messsystem ermittelt werden, können neben der herkömmlichen Darstellungsweise auch mit einer 3-D-Dokumentationssoftware dargestellt werden.

Diese Arbeiten werden von *DELTA TEST* weltweit als Serviceleistungen angeboten.

Conclusion

In this paper the results of a long-term cooperation of the companies *DELTA TEST* and *IBASS Manipulator* in the field of mechanized eddy current inspections with rotating internal sensors on austenitic pipes are presented. *IBASS Manipulator* produces and operates pipe manipulators, so called pigs, which render possible the exact positioning of a mobile and at the same time agile tool carrier device within a pipe. Based on such pigs *DELTA TEST* applies rotating internal sensors which allow for an internal inspection of pipes with highest regional resolution. Aside from the conventional representation there is special 3-D-presentation software available to visualize the inspection results which can be gained with this certified inspection system.

The presented works are available as services world-wide.