



Pipeline-Inspektion mit Ultraschall Phased Array-Technologie

Peter LANDSCHÜTZ, GE PII Pipetronix, Stutensee
R. BAUERNSCHMITT, H. CHARBON, J. FRANZ, A. HUGGER, I. LACHTCHOUK
PII Pipetronix ist Teil von GE's Oil & Gas Pipeline Solutions Business

Zusammenfassung. Konventionelle Ultraschallmolche arbeiten mit Sensoren, die aus einem einzigen Schwinger bestehen. Da diese Sensoren eine vorgegebene Schallrichtung haben und im Sensorträger fest eingebaut sind, sind diese Molche jeweils nur für eine bestimmte Messaufgabe optimal geeignet.

Mit Phased Array-Technologie kann ein Molch leicht an verschiedene Messaufgaben angepasst werden. Unterschiedliche Inspektionsarten, wie z.B. die Rissprüfung und Detektion von Materialverlusten, können gleichzeitig ausgeführt werden.

Aufgrund dieser Vorteile entwickelte GE Oil & Gas einen auf Ultraschall Phased Array-Technologie basierenden Pipeline-Inspektionsmolch, welcher unter dem Namen UltraScan DUO auf dem Markt eingeführt wird.

Mit dem Phased Array-Sensorsystem werden sogenannte "virtuelle Sensoren" gebildet, die in ihrer Grundfunktion weitgehend den klassischen Ultraschallsensoren entsprechen. Entscheidender Unterschied ist jedoch, dass mit virtuellen Sensoren der Schall in verschiedene Richtungen ausgesendet werden kann. Die Schall-Charakteristik sowie die Überlappung mit benachbarten Sensoren lassen sich optimal auf das aktuelle Medium in der Pipeline und auf die gewünschte Messaufgabe anpassen.

Mit der Phased Array-Technologie, wie sie im UltraScan DUO-System realisiert ist, lassen sich höhere Inspektionsgeschwindigkeiten und bessere Defekt-Spezifikationen erzielen.

In diesem Paper werden das Messprinzip und der Inspektionsmolch beschrieben sowie einige Messergebnisse vorgestellt.

Inhaltsverzeichnis

Problemstellung

Begriffe

Das UltraScan DUO Arbeitsprinzip

Technische Eigenschaften des UltraScan DUO

Ergebnisse von Testläufen und ersten kommerziellen Inspektionen

Schlussbemerkung

Einführung

Pipeline-Betreiber investieren sehr hohe Summen, um die notwendige Sicherheit ihrer Pipeline zu gewährleisten. Für die Diagnose des Pipeline-Zustandes, z.B. für die Rissprüfung und die Detektion von Materialverlusten, kommen anspruchsvolle, zerstörungsfreie Prüfverfahren und -geräte zum Einsatz. Insbesondere für ältere Pipelines scheiden Druckprüfungen immer häufiger als Alternative aus.

Um unterschiedliche Messaufgaben zu erfüllen, werden in der Regel unterschiedliche Inspektionsmolche mit den jeweils passenden Sensor-Anordnungen eingesetzt - mit entsprechend hohen Mobilisierungskosten und Förderausfall.

Messdaten, die mit unterschiedlichen Molchen aufgenommen wurden sind, müssen erst korreliert werden, bevor sie gemeinsam ausgewertet werden können. Verzichtet man auf diese Korrelation und wertet jede Inspektion isoliert aus, so besteht die Gefahr, dass Defekte, die in den Messdaten einzelner Inspektionen eigentlich sichtbar sind, wegen der mangelnden Eindeutigkeit übersehen oder falsch bewertet werden.

Aus diesen Gründen entwickelte GE Oil & Gas den Pipeline-Inspektionsmolch UltraScan DUO, der auf der Phased Array-Technologie basiert. Der Hauptvorteil dieser Technologie besteht darin, dass man die Größe, die Form und die Richtung des Ultraschall-Bündels mit elektronischen Mitteln steuern kann. Dies eröffnet ganz neue Möglichkeiten:

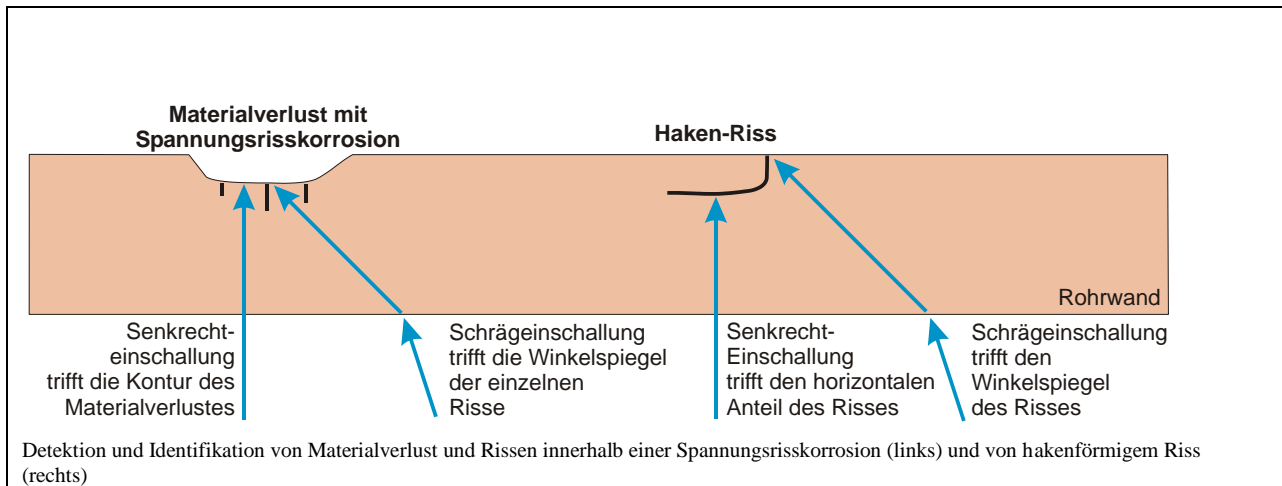
- Rissprüfung und Korrosionsmessung kann gemeinsam in einem Lauf durchgeführt werden.
- Größe und Schussdichte der Ultraschall-Sensoren können elektronisch an die individuelle Messaufgabe angepasst werden.
- Der Einschallwinkel der Ultraschall-Sensoren kann entsprechend dem aktuellen Pipeline-Medium variiert werden.

Bei der Entwicklung des UltraScan DUO-Systems wurden die Ergebnisse anderer GE-Bereiche auf dem Gebiet der Phased Array-Technologie genutzt, dies betrifft z.B. Lösungen im medizinischen Bereich und in der Fertigungskontrolle bei der Rohrherstellung.

Eines der Hauptmotive, um Phased Array-Technologie für die Pipeline-Inspektion zu adaptieren, ist die verbesserte Möglichkeit der Interpretation von komplexen Defektarten:

- Erkennung von Rissen und Materialverlusten in Gebieten von Spannungsrisskorrosion.
- Unterscheidung zwischen Lamination und Spannungsrisskorrosion.
- Unterscheidung zwischen Materialverlusten und rissartigen Defekten.
- Erkennung von hakenförmigen Rissen.

Die Vorteile, die der UltraScan DUO in Verbindung mit solchen komplexen Defektarten bietet, zeigt das folgende Bild:



Defekte wie "Spannungsrisskorrosion" oder "hakenförmige Risse" werden mit optimalem POD und POI detektiert, wenn an gleicher Stelle sowohl senkrecht als auch schräg eingeschallt wird.

Mit dem senkrechten Ultraschall-Bündel wird der flache, horizontale Teil der Materialverlust-Kontur bzw. des hakenförmigen Risses erfasst. Die isolierte Interpretation der zugehörigen Ultraschalldaten führt zum Ergebnis, dass es sich hierbei lediglich um einen "reinen" Materialverlust oder um eine Lamination dicht an der Oberfläche handelt. Riss-ähnliche Indikationen gibt es hierbei nicht.

Mit dem schrägen Ultraschall-Bündel wird der Winkelspiegel eines Risses getroffen, was den sicheren Nachweis von Rissen ermöglicht. Allerdings lassen sich damit weder der Materialverlust-Anteil (im ersten Fall) noch die Ausdehnung des horizontalen Riss-Anteils (im zweiten Fall) mit der notwendigen Genauigkeit bestimmen.

Ein Ultraschall-Messgerät, das sowohl WM- als auch CD-Inspektion erlaubt, da es mit Senkrecht- und mit Schrägeinschallung arbeitet, bietet die besten Möglichkeiten, um solche Defekte mit höchster Zuverlässigkeit zu identifizieren und zu vermessen. Bisher waren für solche kombinierte Inspektionen zwei eigene Inspektionsläufe erforderlich. Nachteilig wirken hier die hohen Kosten auf der Kunden- und Lieferantenseite. Zweimalige Reduzierung der Fördermenge sowie der hohe Korrelationsaufwand sind zu nennen.

Eine Inspektion mit dem UltraScan DUO liefert die Ultraschalldaten von unterschiedlichen Messverfahren simultan und im gleichen Datenformat. Deshalb ist eine Korrelation nicht mehr notwendig.

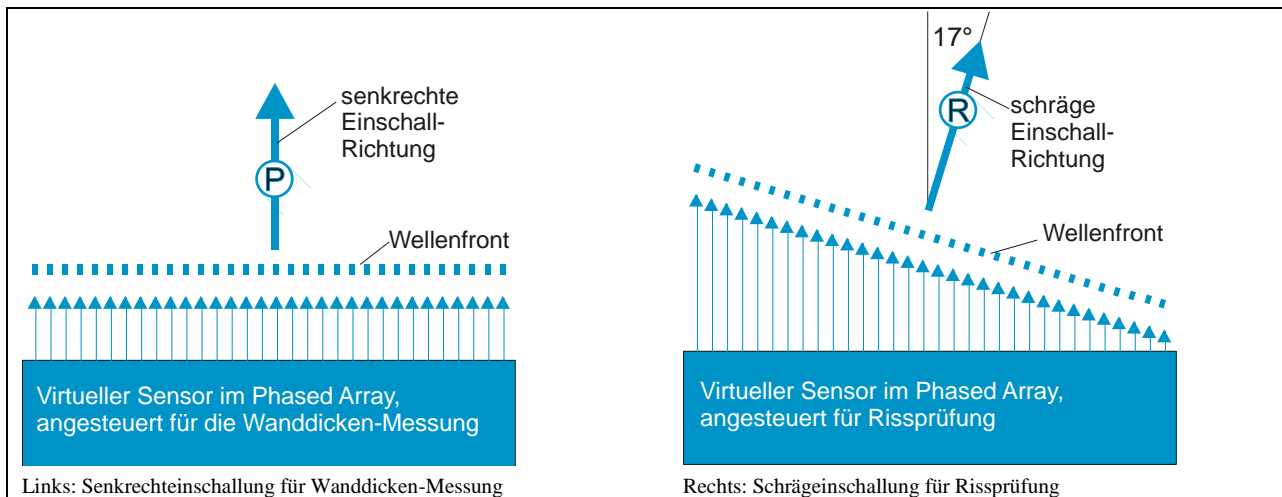
Begriffe

- CD = Crack Detection - Rissprüfung
- POD = Probability Of Detection - Detektionswahrscheinlichkeit
- POI = Probability Of Identification - Identifikationswahrscheinlichkeit
- SCC = Stress Corrosion Cracking - Spannungsrisskorrosion
- WM = Wall thickness Measurement - Wanddickenmessung

Das UltraScan DUO Arbeitsprinzip

Zentraler Bestandteil der UltraScan DUO-Technologie sind "Arrays", die aus einzeln ansteuerbaren Sensor-Elementen zusammengesetzt sind. Die Art und Weise, wie diese Sensor-Elemente zur Schall-Emission angeregt werden, entscheidet darüber, welche Schallbündel-Form erzeugt wird und in welche Richtung der Schall-Impuls ausgesendet wird.

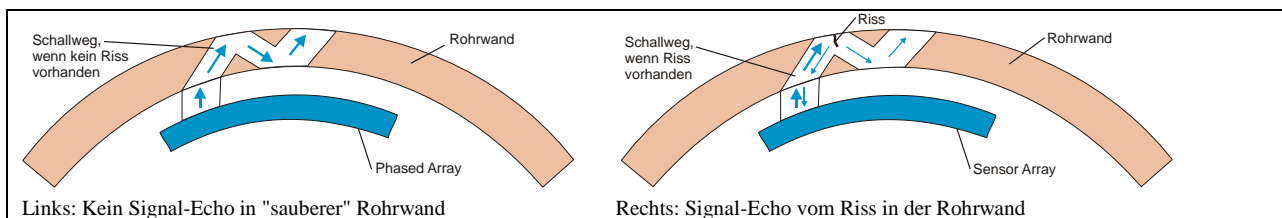
Wenn eine Anzahl von benachbarten Sensor-Elementen gleichzeitig zur Schall-Emission angeregt wird, wird ein senkrechter Schall-Impuls erzeugt. Im folgenden Bild (linke Seite) ist ein solcher "virtueller" Sensor für die Wanddicken-Messung (WM) dargestellt.



Wenn benachbarte Sensor-Elemente mit einer bestimmten Zeit-Verzögerung nacheinander angeregt werden, entsteht ein schräger Schall-Impuls. Die Richtung dieses Schall-Impulses hängt von dem genauen Betrag der Zeitverzögerung ab.

In rechten Teil des obigen Bildes ist ein "virtueller" Sensor für die Rissprüfung (CD) dargestellt, dessen Sensor-Elemente so angeregt werden, dass der Schall-Bündel schräg nach rechts unter einem Winkel von 17° abgestrahlt wird. Im vorliegenden Fall ist das Zeitinkrement für die Anregung der einzelnen benachbarten Sensor-Elemente positiv, d.h. das Sensor-Element links wird zuerst angeregt. Wäre das Zeitinkrement negativ, d.h. würde das rechte Sensor-Element zuerst angeregt, so würde der Schall-Impuls schräg nach links abgestrahlt.

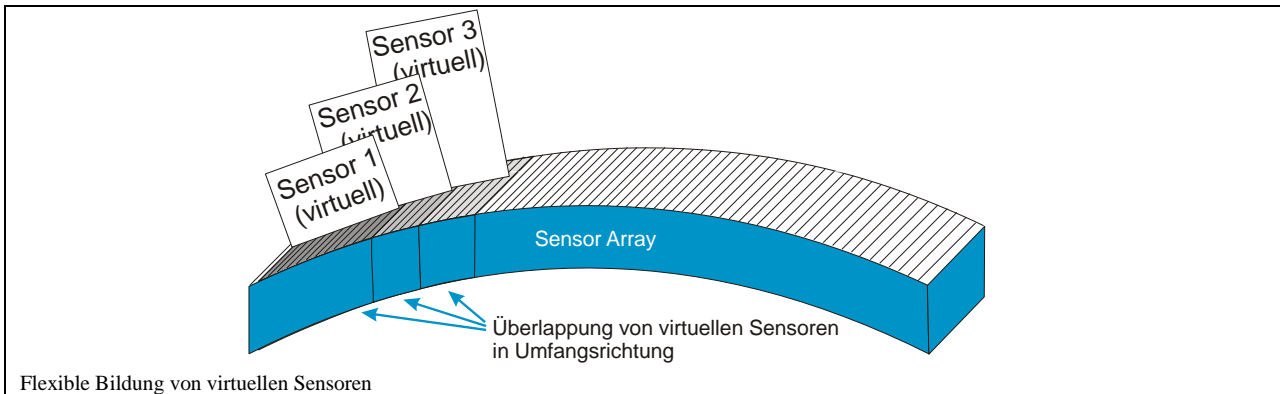
Bei der Ultraschall-Messung einer Pipeline-Wand wird das "Phased Array", also der Block mit den zusammengesetzten Sensor-Elementen, in einem konstanten Abstand an der Rohrwand entlang geführt:



Ein virtueller Sensor wird von der Ultraschall-Elektronik angeregt, in eine vorgegebene Richtung zu senden. Rissprüfung geschieht mit Schrägeinschallung. Hierbei durchdringt der Schall zunächst die Flüssigkeit, wird dann in die Rohrwand eingekoppelt und setzt dort seine Vorwärtsbewegung fort (siehe linker Teil des obigen Bildes).

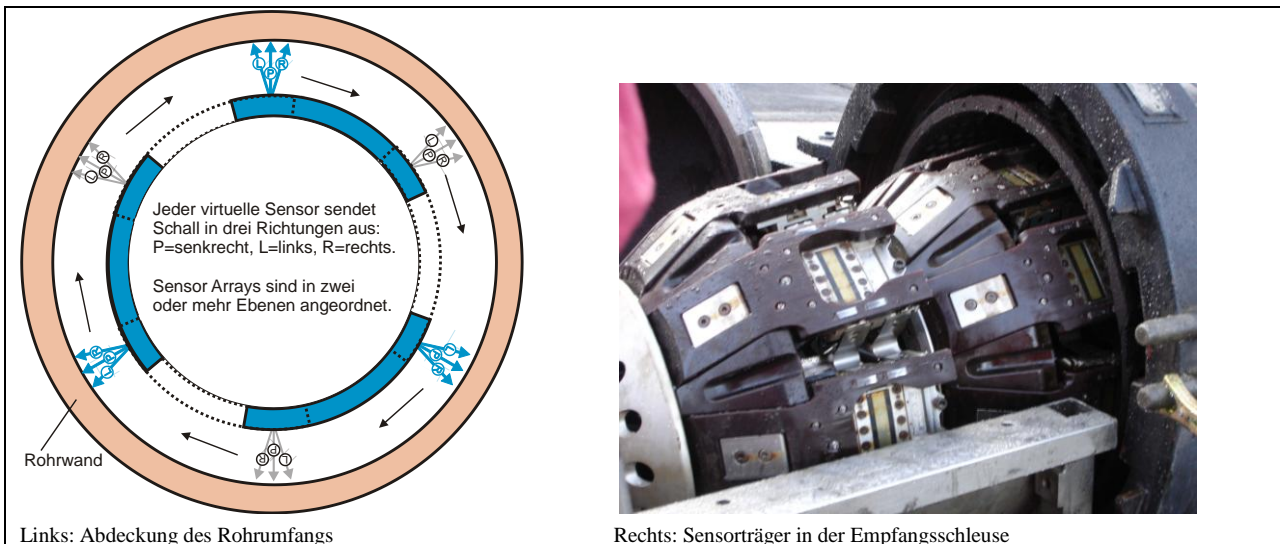
Wenn ein Riss in der Rohrwand vorhanden ist, wird ein Teil der Schall-Energie reflektiert und vom selben virtuellen Sensor empfangen (siehe rechter Teil des obigen Bildes). Die Lage des Risses in der Rohrwand ergibt sich aus der Laufzeit des Ultraschall-Echos.

Jedes Sensor-Element im Phased Array wird von der Ultraschall-Elektronik individuell angesteuert. Deshalb kann jede beliebige Gruppierung von Sensor-Elementen als virtueller Sensor benutzt werden. In der praktischen Anwendung werden benachbarte, virtuelle Sensoren grundsätzlich mit einer gewissen Überlappung definiert.



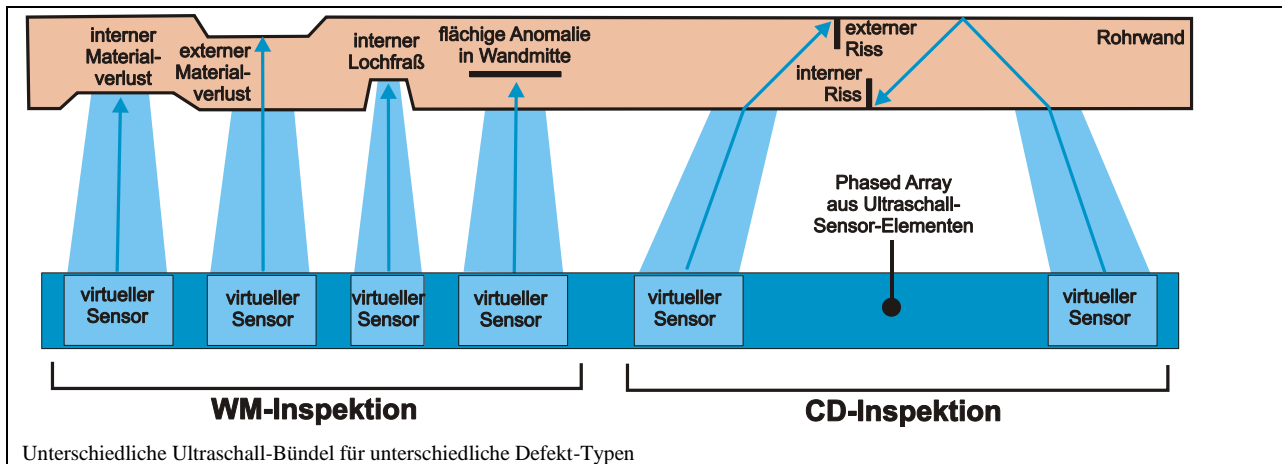
Mit der Sensor-Überlappung erreicht man eine optimale Umfangsüberdeckung der Rohrwand. Darüber hinaus kann die Anzahl von Sensor-Elementen, die zu einem virtuellen Sensor kombiniert werden sollen, in Abhängigkeit von der Inspektionsaufgabe variiert werden. Eine Lochfraß-Inspektion kann z.B. mit viel "kleineren" virtuellen Sensoren durchgeführt werden als eine allgemeine Korrosions-Inspektion.

Auf dem Sensorträger des UltraScan DUO sind die Phased Arrays in mehreren Ringen angeordnet. Die Anzahl der Phased Arrays in einem Ring hängt vom Pipeline-Durchmesser ab.



Die Phased Arrays auf dem Sensorträger sind so angeordnet, dass jedes Array einen bestimmten Abschnitt auf dem Rohrumfang abdeckt unter Berücksichtigung einer Mindest-Überlappung mit den benachbarten Arrays.

Das folgende Bild fasst die wichtigsten Defekte, die mit dem UltraScan DUO detektiert werden können, zusammen:

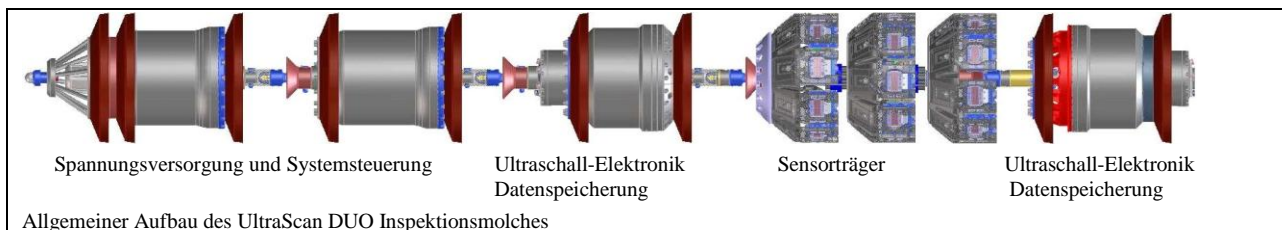


In Inspektionsprojekten, bei denen die Mess-Eigenschaften des Pipeline-Mediums während der Vorbereitungsphase noch nicht klar sind, können die Einstellungen des Ultraschallgerätes noch am Einsatzort vorgenommen werden. Da alle Ultraschall-Einstellungen über Computer-Interface vorgenommen werden, sind keine mechanischen Veränderungen am Sensorträger oder manuelle Kalibrierarbeiten an den Sensoren und der Sensor-Elektronik notwendig.

Selbst wenn sich die Mess-Bedingungen während des Inspektionslaufes ändern, ist das Inspektionsgerät in der Lage, die momentanen Geräte-Einstellungen an die neue Situation automatisch anzupassen.

Technische Eigenschaften des UltraScan DUO

Das erste UltraScan DUO-System wurde für die Inspektion von Pipelines mit Durchmessern von 24" bis 42" konzipiert.



Die ca. 100 mm langen Phased Arrays sind jeweils aus etwa 200 Sensor-Elementen zusammengesetzt. Innerhalb dieser Randbedingung können virtuelle Sensoren in beliebiger Größe gebildet werden. Der Schall-Bündel lässt sich in jede vordefinierte Richtung steuern, also je nach Erfordernis senkrecht oder schräg in einem bestimmten Winkel.

Die Definition der virtuellen Sensoren ist immer so aufeinander abgestimmt, dass die Messdaten von Defekten und Anomalien sowie das Wanddickenprofil der Pipeline lückenlos und mit ausreichender Redundanz aufgenommen werden.

Die von den Phased Arrays erzeugten Daten werden während des Inspektionslaufes reduziert und komprimiert. Die gespeicherten Messdaten werden off-line analysiert anhand der A-, B- und C-Scan-Darstellungen.

Die für die Pipeline-Inspektion relevanten technischen Eigenschaften des UltraScan DUO Systems sind im Vergleich zu herkömmlichen Mess-Systemen in vielen Punkten deutlich besser - sie sind in jedem Fall mindestens gleich gut - vor allem was POD, POI sowie die Auflösung und Genauigkeit des Messverfahrens betrifft.

Die Bildung der virtuellen Sensoren und die Art der Anregung werden während eines Molchlaufs in einem definierten Zyklus variiert, um die verschiedenen Defekttypen zu treffen, und zudem laufend an die aktuellen Messbedingungen angepasst. Somit wird eine stabile Inspektionsqualität für alle Arten von Defekttypen erreicht.

Hier die wichtigsten Zahlen der UltraScan DUO Defekt-Spezifikation:

- Kleinste detektierbare Rissgröße: 25 mm lang, 1 mm tief
- Lochfraß ab ca. 10 mm Durchmesser detektierbar
- Auflösung für die Wanddicken-Messung: 0.1 mm
- Direkte Wanddicken-Messung bis zu einer Mindest-Restwanddicke von ca. 1mm
- Passierbarkeit von 1.5D x 90°-Bögen

Aufgrund seiner hohen Kanalzahl und Taktfrequenz kann in der Regel mit höheren Geschwindigkeiten inspiziert werden. Die Maximalgeschwindigkeit hängt von der Komplexität der Messaufgabe ab. Bei einer reinen Korrosionsinspektion lässt sich eine Geschwindigkeit von deutlich über 3 m/s erreichen.

Dank der Fähigkeit, verschiedenartige Messungen gemeinsam durchführen zu können (kombinierte CD- und WM-Inspektion), und dank der hohen Molchgeschwindigkeit wird die Störung des regulären Pipeline-Betriebs durch die Inspektion gering gehalten.

Schlussbemerkung

Mit dem UltraScan DUO Inspektionsmolch hat der Markt ein auf Phased Array-Technologie basierendes Mess-System, das sowohl Materialverluste als auch Risse in einem einzigen Inspektionslauf detektiert. Da die Sensor-Parameter und Messfolgen per Software frei konfigurierbar sind, kann das Molch-System in kürzester Zeit für die jeweilige Messaufgabe individuell adaptiert werden.

UltraScan DUO ist ein eingetragenes Warenzeichen der Firma General Electric.