



Intelligente Molchung von Gasleitungen auf Risse in der Rohrwand und auf Umhüllungsschäden

Thomas BEUKER, ROSEN Technology and Research Center, Lingen

Kurzfassung. Ein auf elektromagnetischen Prinzipien beruhendes Ultraschallverfahren wurde weiterentwickelt und auf einem Inspektionsgerät (Molch) zur Innenprüfung von Gasleitungen implementiert. Das Gerät ist empfindlich genug, um Spannungsrisskorrosion zu erkennen. Außerdem können mit dem Gerät Umhüllungsschäden erkannt und lokalisiert werden. Das Meßprinzip wird erläutert und Einblicke in die Datenauswertung gegeben. Ergebnisse und Bewertungen der ersten Inspektionsläufe werden ebenfalls dargestellt.

Einführung

Bei der Neuentwicklung einer Technologie zur Molchung von Rohrleitungen auf Risse wurde zudem die Fähigkeit zur Erkennung von Spannungsrisskorrosion und von Umhüllungsschäden gefordert. Das von ROSEN hierzu ausgewählte und weiterentwickelte Prüfverfahren basiert auf der EMAT¹ Technologie. Bei dieser Technik werden Ultraschallwellen genutzt, die in der Pipelineoberfläche elektromagnetisch angeregt werden.

Um die Qualität und Zuverlässigkeit der Messung weiter zu erhöhen, wurde eine Vielzahl an Prüfköpfen auf dem Inspektionsgerät so angeordnet, daß ein hochauflösendes Abbild der Pipeline erzeugt werden kann. Nach Abschluß einer Prototypenphase wurde das Konzept in einem ersten serienreifen 16" Inspektionsgerät umgesetzt (Abb 1). Mit dieser Neuentwicklung wurden nach Abschluß eines Testprogramms zunächst je eine Öl- und eine Gasleitung untersucht, um weiteren Aufschluß ueber die Leistungsfähigkeit des Gerätes unter realen Einsatzbedingungen zu erlangen.

In der zerstörungsfreien Prüfung von Rohrleitungen finden zahlreiche Methoden, wie zum Beispiel das bekannte magnetische Streuflußverfahren oder die Ultraschallprüfung mit piezoelektrischen Prüfköpfen, ihre Anwendung. Während die eine Methode aber zur Rissprüfung nur eingeschränkt verwendet werden kann, läßt sich die andere wiederum standardmässig nicht in Gasleitungen anwenden. Mit dem hier vorgestellten neuen Gerät ist es ROSEN aber gelungen, eine Inspektionstechnik zu präsentieren, die ohne das sonst notwendige flüssige Ankopplungsmedium arbeitet und damit auch in Gasleitungen einsetzbar ist.

¹ EMAT = (engl.) Electro-Magnetic Acoustic Transducer

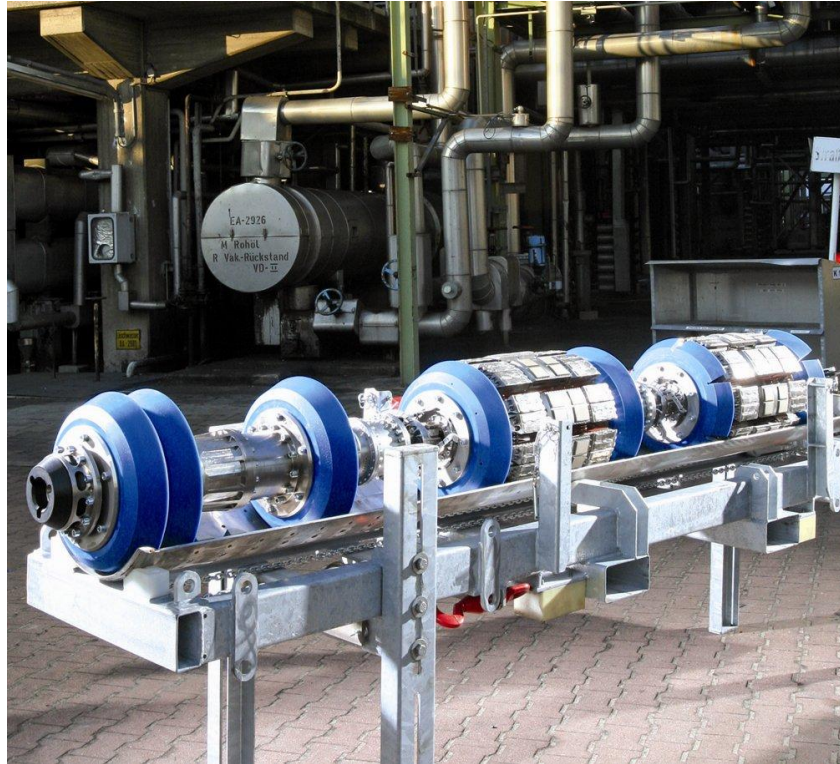


Abbildung 1: RoCD² Inspektionsgerät (16") zur Rissprüfung und zum Auffinden von Umhüllungsschäden.

1. Anordnung der EMAT Testköpfe

Das hier entwickelte spezielle EMAT Verfahren erlaubt die Anregung von horizontalen Scherwellen einfacher und höherer Ordnung, die sich in Umfangsrichtung der Rohrleitung ausbreiten und an Rissen, welche parallel zur Rohrachse liegen, reflektiert werden (Reflektion). Die Ultraschallwellen werden durch eine vorhandene Umhüllung gedämpft. Die Erfassung der Dämpfung des Signals kann wiederum genutzt werden, um Informationen über den Zustand dieses Schutzes abzuleiten (Transmission). Reflektierte Wellen und transmittierte Wellen, werden mit zwei verschiedenen Empfängersensoren innerhalb eines Testkopfes aufgenommen.

Bei der Auslegung der EMAT Testköpfe wurde nun darauf geachtet, mit einem einzelmem Testkopf nur einen kleinen, definierten Bereich der Pipeline zu prüfen und so, durch die Anordnung einer Vielzahl an Sensorköpfen, eine hochauflösende Abdeckung der Rohroberfläche zu erreichen. Damit ergibt sich eine Positionierung der Sender- und Empfängerspulen innerhalb eines Testkopfes, wie sie in Abbildung 2 schematisch dargestellt ist. Bei diesem Design entfällt eine komplizierte Auswertung der Schalllaufzeiten zur Bestimmung der Umfangspositionen von Rissindikationen, wie sie bei der Verwendung nur einiger weniger Sensorköpfe notwendig ist.

Außerdem wird die Signalqualität im empfindlichen Meßbereich des Sensorkopfes gewährleistet, da die Siganldämpfung durch die Umhüllung, obschon messbar, die Aussagefähigkeit hinsichtlich der Risserkennung nicht beeinträchtigt. Abbildung 3 verdeutlicht nocheinmal den Unterschied zwischen einer Sensoranordnung mit wenigen Sensoren gegenüber der Anordnung mit einer Vielzahl an überlappend angeordneten Prüfköpfen.

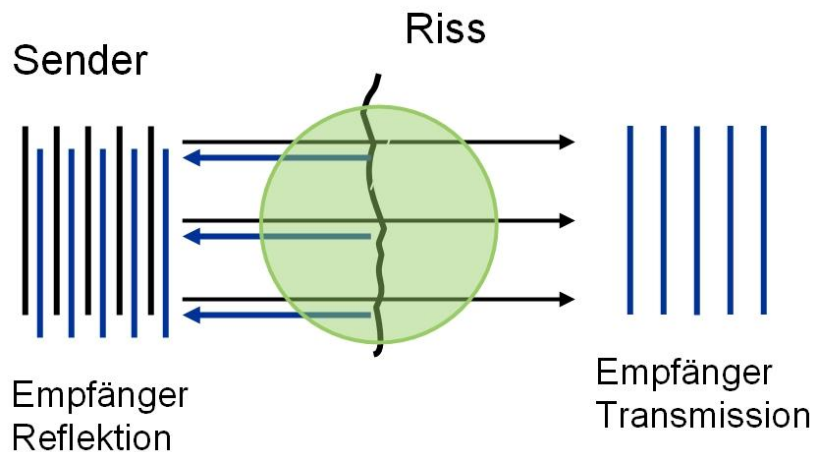


Abbildung 2: Schematische Darstellung des RoCD² Messkopfes. Die vom Sender erzeugte Schallwelle wird vom Empfänger-Transmission ständig überwacht. Änderungen geben Aufschluß über die Qualität der Umhüllung der Rohrleitung. Im empfindlichen Bereich (grün) wird die akustische Welle von eventuell vorhandenen Rissen zum Empfänger-Reflektion geleitet.

Zur Erregung der gewünschten Ultraschallwellen kommen neben entsprechenden Mäanderspulen oftmals auch Permanentmagnete zum Einsatz. Diese sind typischerweise innerhalb des Sensorgehäuse untergebracht. Bei dem hier diskutierten Design konnte dies vermieden werden. Innerhalb den Sensorköpfen konnte vollständig auf den Einsatz von Dauermagneten verzichtet werden. Dies verbessert das Verschleißverhalten der Sensoren um Größenordnungen und ermöglicht eine gewichtsoptimierte Sensorführung.

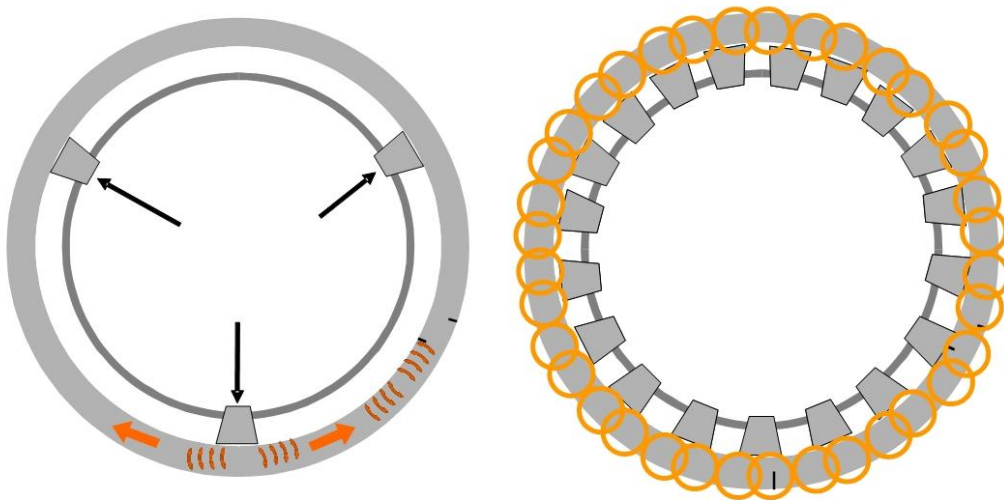


Abbildung 3: Alternative Sensoranordnungen. Bestimmung der Position von Rissen anhand der Signallaufzeiten (links). Hochauflösender Ansatz. Positionsbestimmung von Rissen anhand der Messkanalnummer. Verbesserte Nachweisempfindlichkeit durch lokale Messung (rechts).

2. Datenauswertung

Mit einem einzelnen Prüfkopf werden aber nicht nur die Signaldämpfung des Transmissionssignals zur Umhüllungsprüfung und das Reflektionssignal zur Risserkennung erfaßt, sondern auch weitere Informationen wie z.B. der Frequenzinhalt der Signale oder Signallaufzeiten zur Stützung der späteren Auswertung abgespeichert. Weitere Informationen, wie zum Beispiel eine Quantifizierung des Abhebeeffektes des Sensors oder des in der Messung erreichten Magnetfeldes werden außerdem mit der Datenerfassung abgelegt.

Zu jedem Messpunkt auf der Rohrfläche wird also eine Vielzahl an verschiedenen Informationen gesammelt, um eine möglichst gute Erkennung, Dimensionierung und Differenzierung der in der Rohrleitung vorhandenen Schadenspotenziale zu ermöglichen.

Neben skalaren Meßgrößen, wie den eben genannten Abhebeeffekt, liegen die Ultraschalldaten als Vektorarray vor. Für die Datenauswertung werden die Informationen neu strukturiert, um eine kompaktes Verständnis der Befunde zu ermöglichen. Dem Auswerter stehen Integrale der Transmissions- und der Reflektionssignale sowie Rohdaten im Zeit und Frequenzbereich. zur Verfügung.

Damit gelingt ein systematischer Überblick der Daten als Funktion der Rohrinnefläche mit der Möglichkeit jederzeit gezielt die Rohdaten heranzuziehen. In Abbildung 4 sind die fundamentalen Datensätze der Auswertung dargestellt, zum einen die integrierten Daten für Transmission und Reflektion als Funktion der Logdistanz und der Sensornummer sowie zum anderen Frequenzinhalt und Zeitdarstellung des Reflektionssignals fuer einen einzelnen Sensor ebenfalls als Funktion der Logdistanz.

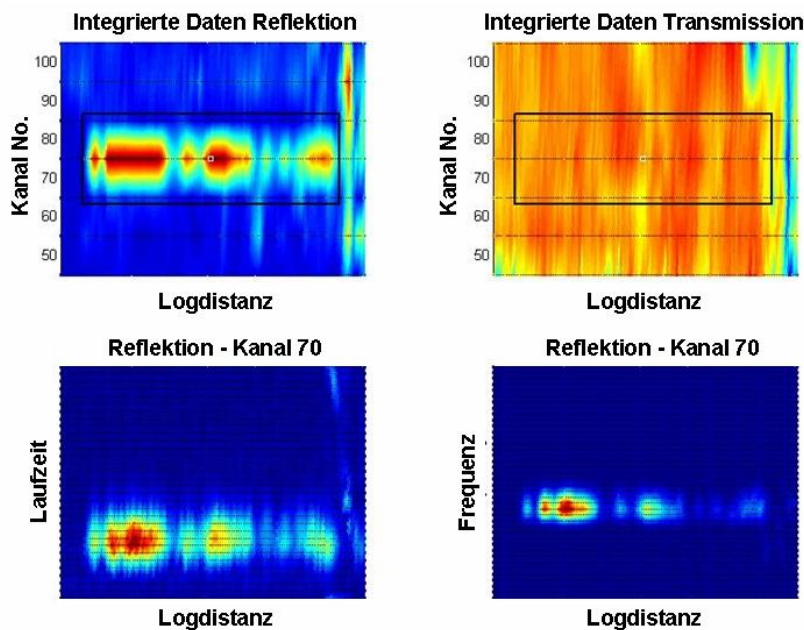


Abbildung 4: Darstellung der Basis-Datensätze, die zur Datenauswertung verwendet werden. Um einen Überblick im Bereich einer Indikation zu erhalten, werden zunächst die integrierten Daten als Funktion der Kanalnummer und der Logdistanz genauer betrachtet. Zur weiteren Charakterisierung kann jederzeit der individuelle komplette Vektor der Ultraschallmessung anhand des Zeitsignals und des Spektrums herangezogen werden.

3. Erkennung von Rissen

Die in Umfangsrichtung des Rohres ausgesendeten Scherwellen werden von flächigen Störungen in der Rohrwand zurückgeworfen. Untersuchungen während der Entwicklung der Technologie haben gezeigt, daß insbesondere horizontal polarisierte Scherwellen einfacher und höherer Ordnung besonders gut reflektiert werden. Dabei hat es sich ebenfalls herausgestellt, daß die oftmals schwierig zu erfassende Spannungsrisskorrosion mit dieser Methode zuverlässig nachgewiesen werden kann.

In Abbildung 5 wurde ein schräg an der Rohrinneite austretender Riss mit einer Tiefe von 0.3mm noch mit einer Amplitude registriert, die sechsfach grösser als das festgestellte Rauschen war ($S/N \geq 6$). Insgesamt ergibt sich eine spezifizierte Nachweisempfindlichkeit von 1mm Risstiefe bei einer Mindestlänge von 20mm.

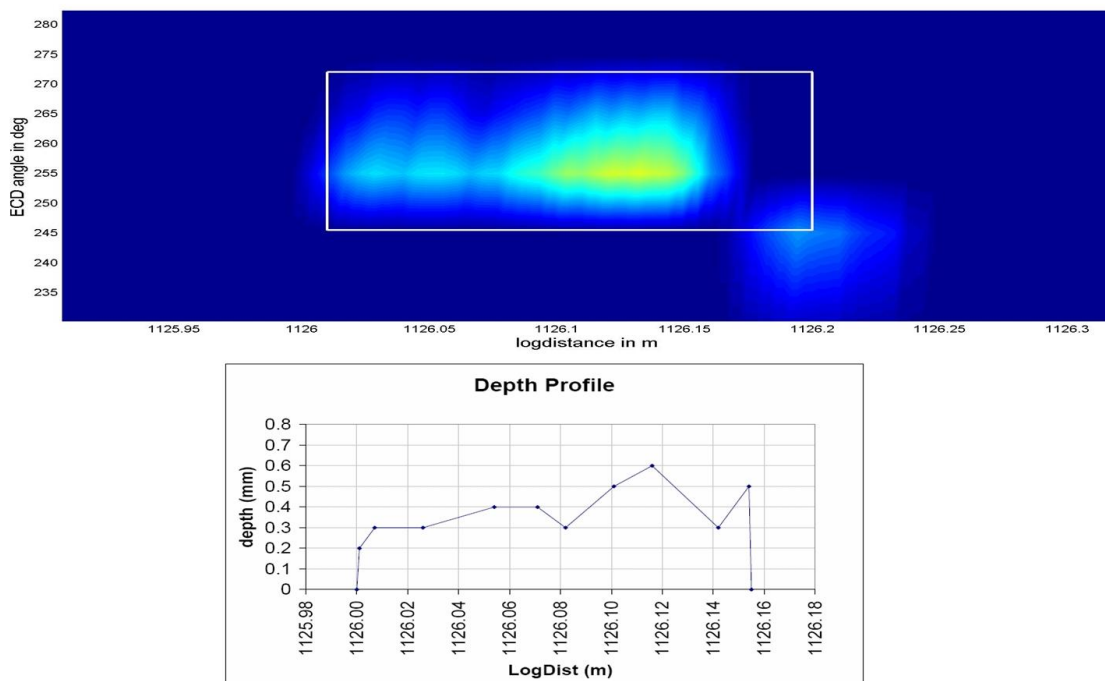


Abbildung 5: RoCD² Daten (oben) eines an der Rohrinneite schräg auslaufenden Risses. Dargestellt sind die integrierten Daten der Reflektion von vier Messkanälen. Die mit bei der Molchung gemessene Amplitudenverteilung korreliert mit einer entsprechenden manuellen Überprüfung mit Ultraschall (unten), die während der Aufgrabungsarbeiten vorgenommen wurden (SE-Messkopf, 10Mhz).

Im Rahmen eines intensiven Testprogramms wurden Testrohre mit einer Gesamtlänge von über 40m mit dem 16" EMAT Molch untersucht. Alle diese Rohre enthalten natürlich entstandene Spannungsrisskorrosion, so daß auf eine relativ breite Datenbasis natürlicher Fehlstellen zurückgegriffen werden konnte. In Abbildung 6 sind Inspektionsdaten den entsprechenden Rissbildern gegenüber gestellt.

Auch in den erwähnten Testläufen wurden ebenfalls Indikationen berichtet, die auf Risse hindeuten. Die anschließenden Aufgrabungsarbeiten bestätigten den Inspektionsbericht (Abb.7).

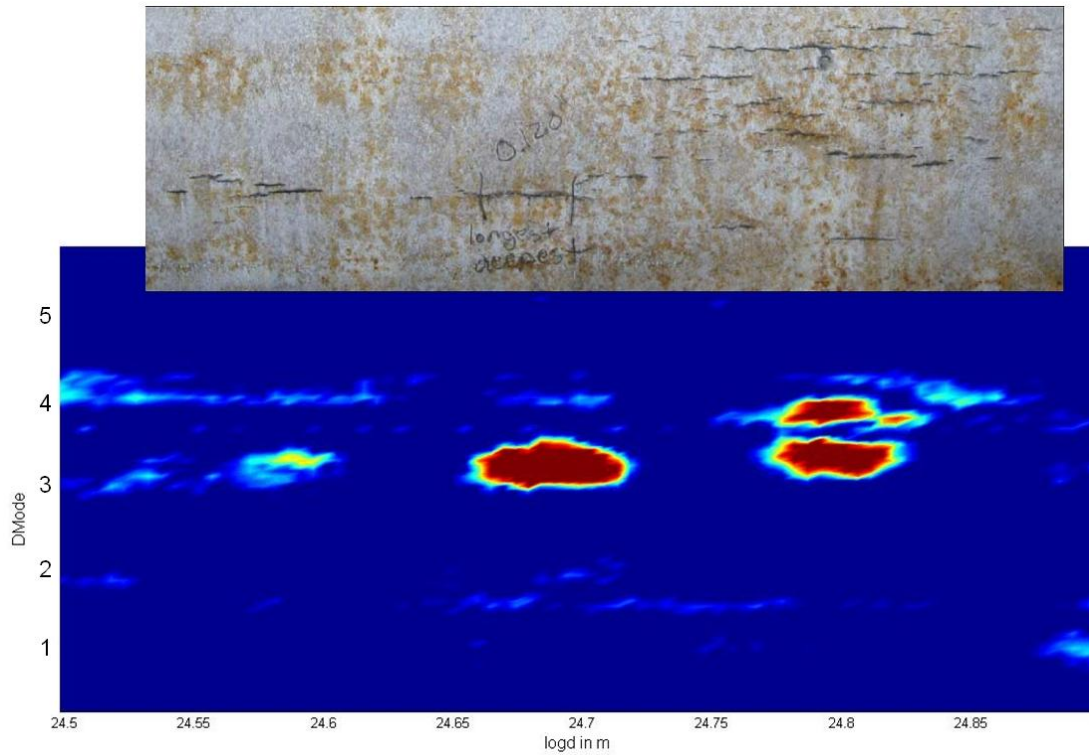


Abbildung 6: RoCD² Daten eines Spannungsrisskorrosionsbefundes (unten). Die Daten wurden mit dem vorgestellten Inspektionsgerät an Testrohren durch entsprechende Zugversuche ermittelt.

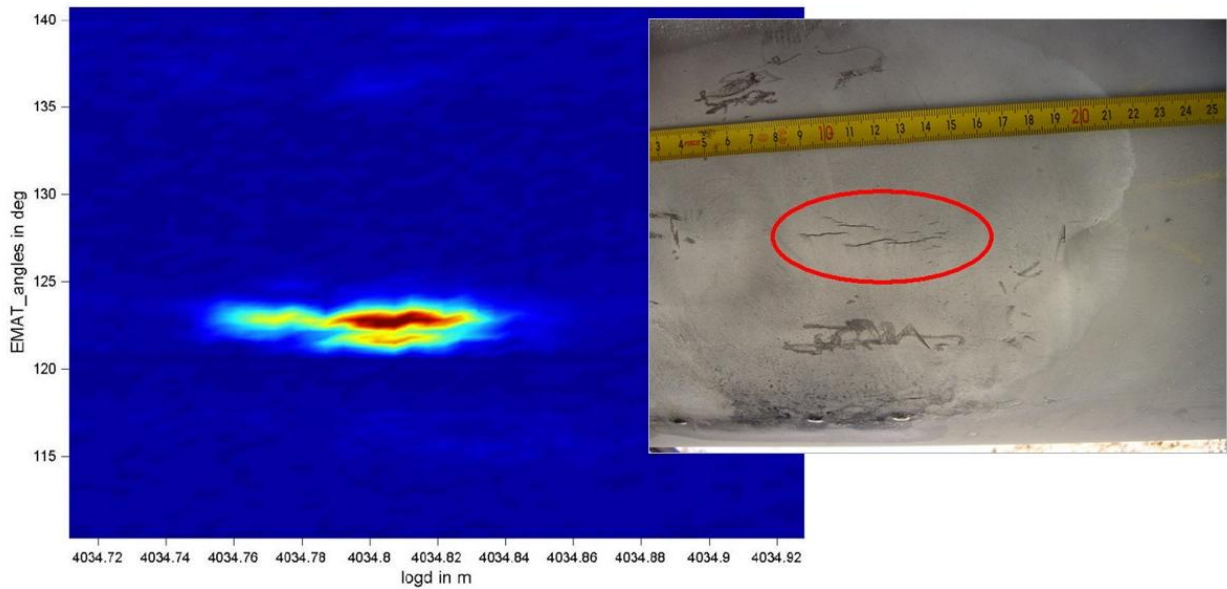


Abbildung 7: RoCD² Daten eines Spannungsrisskorrosionsbefundes (links) und der bei Aufgrabungsarbeiten zugeordneten Position auf der Pipeline (rechts). Die Daten wurden im Rahmen einer regulären Molchung in einer Ölleitung gewonnen.

4. Erkennung von Umhüllungsschäden

Neben der Analyse der reflektierten Scherwelle kann deren Amplitude aber auch durch eine der Sendespule in Umfangsrichtung gegenüberliegende Empfängerspule ständig überwacht werden. Dabei stellt man zum einen eine Abhängigkeit des Signals vom verwendeten Umhüllungstyp und zum anderen einen deutlichen Signalanstieg im Falle eines Umhüllungsschadens fest.

Das Verfahren reagiert im wesentlichen auf die Qualität der Verbindung zwischen Umhüllung und Rohrwand. Ist also die direkte haftende Verbindung zwischen der Umhüllung und der Pipeline unterbrochen (z.B. durch Wasser oder Luft), wird dies durch das Verfahren erkannt. Eine Anzeige erhält man also auch, wenn die eigentliche Umhüllung "nur noch auf der Pipeline liegt".

Sowohl die Typisierung der Umhüllung, als auch das Auffinden von abgelösten Bereichen (Abb.8) wurde in den Testläufen erfolgreich durchgeführt. So konnte zwischen einem Epoxy Coating und einem Asphaltanstrich unterschieden werden. Auch eine im Feld vorgenommene Bandagierung lässt sich aus den Daten herauslesen (Abb. 9).

Integrierte Daten Transmission

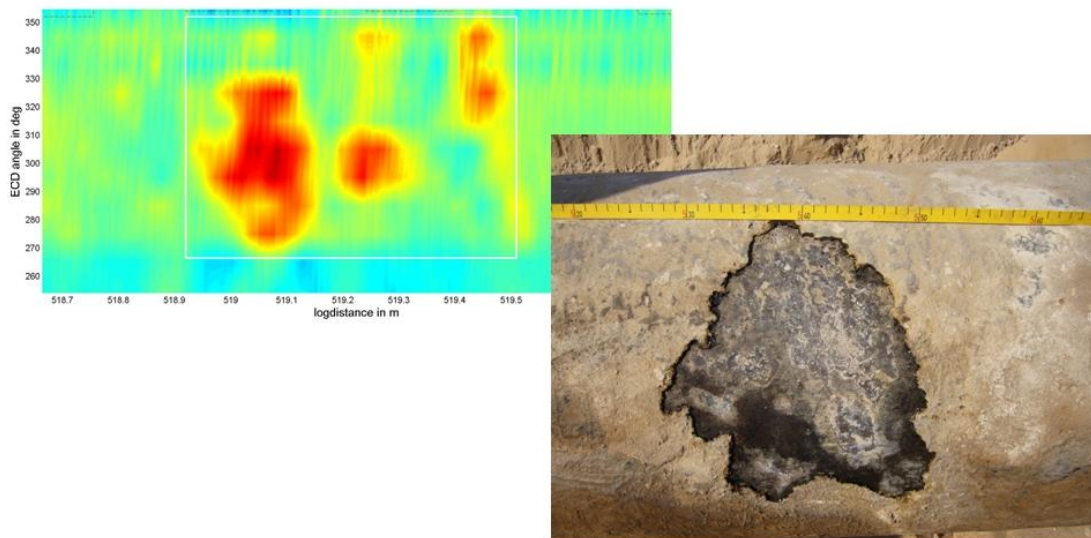


Abbildung 8: Umhüllungsschaden im Asphaltanstrich. Die Daten wurden ebenfalls im Rahmen einer regulären Inspektion mit dem RoCD2 Inspektionsgerät gewonnen.

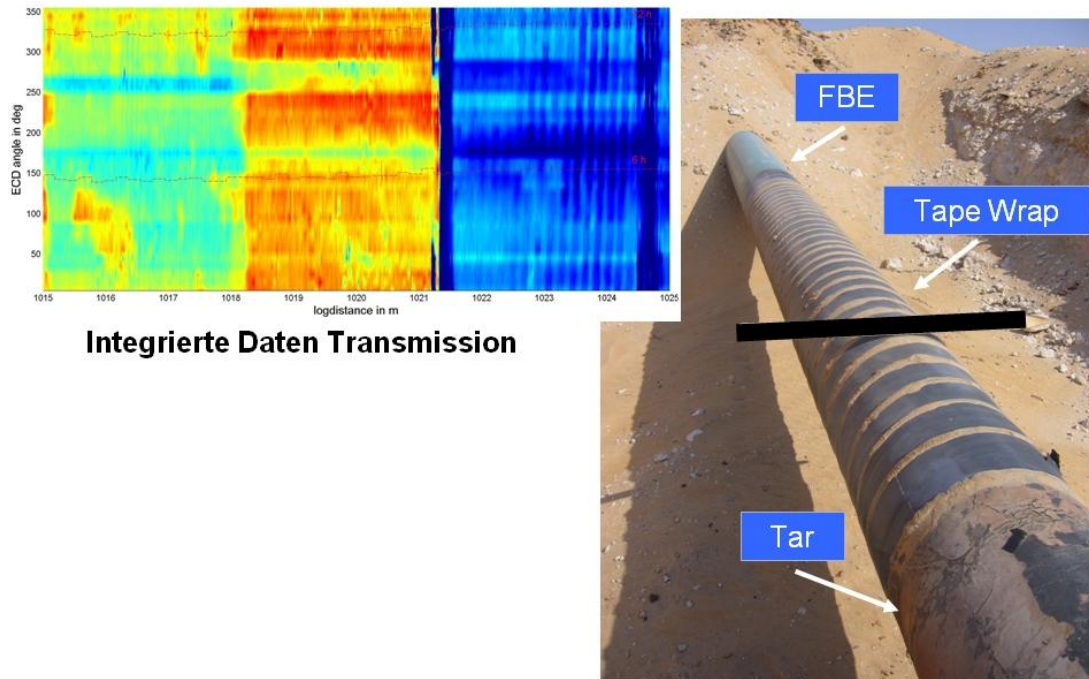


Abbildung 9: Unterscheidung verschiedener Umhüllungsarten anhand des variierenden Dämpfungsverhalten der verschiedenen Verbindungsflächen FBE (fusion bonded epoxy), Reparaturbandage (tape wrap) und Asphaltanstrich (Tar).

Zusammenfassung

Erstmalig wurde ein EMAT Inspektionsmolch entwickelt der über eine spezielle Sensoranordnung ein hochauflösendes Prüfung von Rohrleitungen auf Risse und Umhüllungsschäden ermöglicht. Die gezielt erzeugten horizontalen Scherwellen höherer Ordnung in Verbindung mit dem beschriebenen hochauflösenden Ansatz erlauben eine hohe Nachweisempfindlichkeit, so daß auch Spannungsrisskorrosion erkannt wird. Erste erfolgreiche Einsätze des neuen Vefahrens in Öl- und Gasleitungen unter operativen Bedingungen bestätigen die technische Umsetzung des Gerätes.