Prüfung von erdverlegten oder schwer zugänglichen Rohrleitungen mit Hilfe von SLOFEC™ Prüfsystemen

Ralf DIX*, Wilhelm KELB**
* Applus RTD Deutschland Inspectionsgesellschaft mbH
Industriestraße 34 b; 44984 Bochum;
Tel. 0234 / 927 98 13; E-Mail: Ralf.Dix@ApplusRTD.com
** KontrollTechnik GmbH
Im Laab 23; 29690 Schwarmstedt;
Tel. 0507 / 19 81 50; E-Mail: W.Kelb@KontrollTechnik.com

Kurzfassung. Die im Jahre 2002 gegründete Kooperation für SLOFEC™ Tank- und Rohrleitungsinspektionen zwischen der Firma KontrollTechnik GmbH, dem führenden Spezialist für die Wirbelstromprüftechniken und der Firma Applus RTD Deutschland Inspektionsgesellschaft mbH, ein führender Anbieter für ZfP-Dienstleistungen, verbessert und entwickelt kontinuierlich entsprechend kunden-spezifischen Herausforderungen Ihre Produktpalette an Dienstleitungen für zerstörungsfreie Prüfverfahren.

So gehen die Entwicklungen im Bereich der SLOFEC™-Anwendungen für z. B. „nicht molchbare“ Rohrleitungen stetig voran. Gerade diese meist erdverlegten Leitungen sind in vielen Bereichen der industriellen und kommunalen Infrastruktur zu finden. Beispiele sind Pumpleitungen, Tank-zu-Tank-Verbindungen in Raffinerien und Tanklagern, Eisenbahn- oder Flussunterquerungen, Kühlwasser-leitungen in nuklearen und thermischen Kraftwerken, Fernwärmenetze, Druckleitungen von Wasserkraftwerken bis hin zu Trink- und Abwasserleitungen in Städten. In der Vergangenheit hat bei der Planung und Errichtung derartiger Leitungsnetze eine zerstörungsfreie Prüfung keine wesentliche Rolle gespielt. Daher werden jetzt an die Prüfsysteme vielfältige Anforderungen gestellt, um die im Laufe der Betriebszeit auftretenden spezifischen Schädigungen zu detektieren, zu bewerten und zu dokumentieren.

Derartige spezifische Anforderungen können sein:

- In der Regel sind keine Ein- und Ausführstationen für eine Molchung vorhanden. Deshalb kann der Einbau des Prüfsystems bzw. des Prüfmolches nur an örtlich begrenzten Rohrabschnitten z. B. durch Ausbau von Armaturen und/oder über Schächte erfolgen.
- In vielen Fällen kann die Prüfung nur von einer Seite erfolgen. Der Prüfmolch muss für diese Anwendungen bi-direktional verfahrbar sein.
- Die Leitungen können mehrere Bögen mit kleinen Bogenradien bis zu 1,0 x D besitzen, die der Prüfmolch ungehindert passieren muss.
- Die Leitungen können unter starkem Gefälle (Neigungswinkel > 30°) verlegt sein.
- Die Leitungen können an der Innenseite gummiert oder mit Kunststoff oder mit Beton beschichtet sein, so dass eine Prüfung durch haftende und nichthaftende Beschichtungen möglich ist.
- Eine umfangreiche Reinigung der Rohre ist sehr kostenintensiv und in vielen Fällen nicht möglich. An der Innenoberfläche der Leitungen können Produktreste, haftende oder lose Ablagerungen und Verkrustungen vorhanden sein, die die Prüfung nicht beeinflussen dürfen.

Lizenz: http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de

- In vielen Leitungen ist die Einbringung von produktfremden Flüssigkeiten nicht erwünscht, oder die Verwendung von Flüssigkeiten ist nicht erlaubt. Die Prüfung muss aus diesem Grund ohne Kopplungsmedium erfolgen.

Einführung

Der Beitrag beschreibt anhand von bereits durchgeführten Prüfeinsätzen die neusten Entwicklungen der eingesetzten kabelgebundenen Prüfsysteme mit integriertem SLOFEC™ Sensorkopf.

Darin werden u. a.:

- die Arbeits- und Funktionsweise,
- die prüftechnischen Vorteile des SLOFEC™-Verfahrens, wie
  - sehr hohes Detektionsvermögen,
  - Prüfung durch Beschichtungen,
  - koppelmittelfreie Prüfung
  - sowie der modulare Aufbau des Prüfmolches zur flexiblen Anpassung an wechselnde Prüfsituationen
- und die aussagefähige Auswertung und Dokumentation

Abbildung 1: SLOFEC™ -Internal Pipe Scanner

beschrieben.

Ferner werden anhand von Beispielen Einsätze der Prüfsysteme in Kombination mit einer selbstfahrenden Antriebseinheit sowie ohne Antriebseinheit jedoch mit einer am anderen Ende montierten Zugwinde vorgestellt.

1. SLOFEC™ - Technik

Wie bereits mehrfach erwähnt arbeitet das Prüfsystem nach der sogenannten SLOFEC™ Technologie. Die SLOFEC™ - Technologie basiert auf der Technik des Wirbelstrom-verfahrens, wobei der jeweils erfasste Bauteilteilbereich mit einem Gleichfeld vormagnetisiert werden muss. Hierzu können sowohl Dauermagneten als auch Elektromagneten zum Einsatz kommen. Zwischen den beiden Magnetpolen sind angepasste Wirbelstromsensorzeilen angeordnet, die im Differenzmodus betrieben werden. Über die Magnetpole wird in dem Prüfbereich ein definiertes, starkes, magnetisches Gleichfeld eingeleitet, so dass ein geschlossener magnetischer Kreislauf über das Joch, die Polschuhe und über das Bauteil entsteht, siehe Abbildung 2 links.

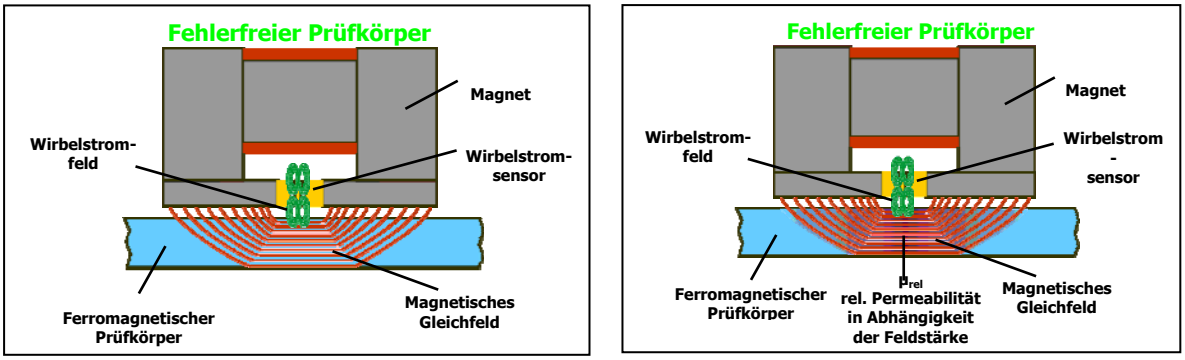

Abbildung 2: SLOFEC™ Prinzip fehlerfreier Prüfkörper

Die Stärke des Gleichfeldes richtet sich nach der Bauteildicke und der nachzuweisenden Fehlergröße und wird anhand von künstlichen oder realen Schädigungen in vergleichbaren Referenzkörpern, siehe Abbildung 3, eingestellt. Aufgrund des magnetischen Gleichfeldes stellt sich eine definierte relative Permeabilität (Homogenisierung der Materialeigenschaften) unterhalb der Wirbelstromsensoren im Bauteil ein, siehe Abbildung 2 rechts. Die Wirbelstromsensoren, die kleine magnetische Wechselfelder im Bauteil erzeugen und das angelegte Gleichfeld überlagern, messen beim Überfahren des fehlerfreien Bauteils die gleiche relative Permeabilität und das Differenzsignal ist nahezu Null.

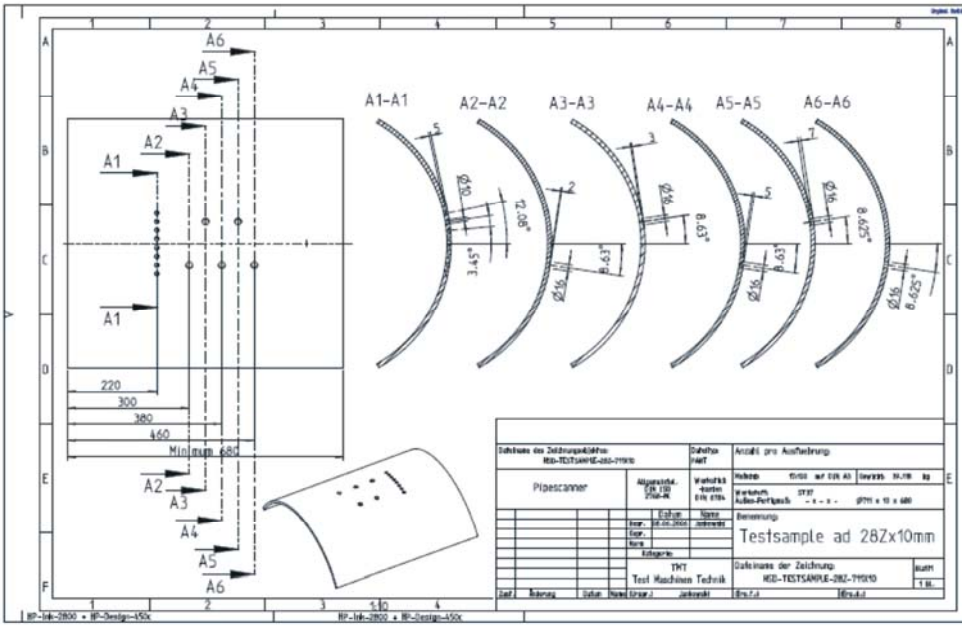

Abbildung 3: Typischer Referenzkörper für die SLOFEC™ Prüfung

Liegt nun eine Materialschwächung vor, die z. B. durch Korrosion entstanden ist, verändert sich das örtliche magnetische Gleichfeld im Prüfbereich, siehe Abbildung 4. Im Bereich des Materialabtrags verdichtet sich örtlich das magnetische Gleichfeld, wodurch sich ebenfalls die relative Permeabilität μ_r verändert. Diese Permeabilitätsänderung wird von den Wirbelstromprüfspulen detektiert.

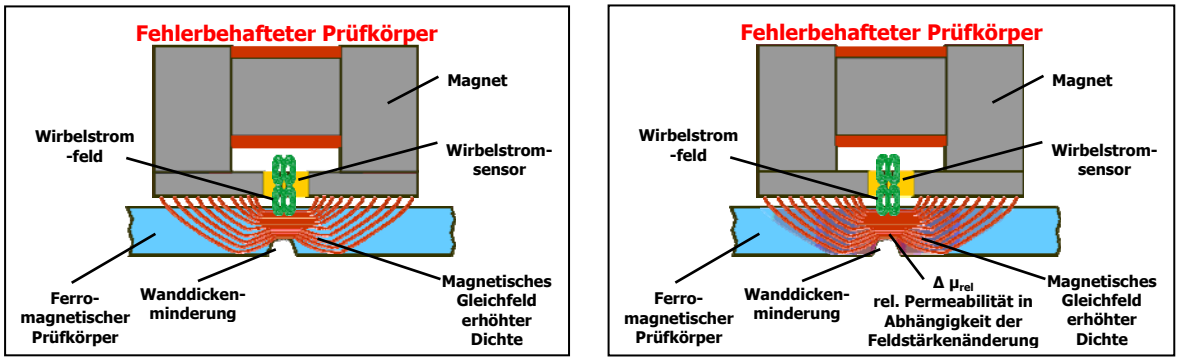

Abbildung 4: SLOFEC™ Prinzip fehlerbehafteter Prüfkörper

Beim Überfahren der Fehlstelle mit dem Prüfsystem erfolgt somit eine örtliche Änderung der Permeabilität, die mit Hilfe der Differenzspulen erfasst und in Form einer „8“ zur Anzeige gebracht, gespeichert und farbkodiert umgesetzt wird, siehe Abbildung 5. Die Amplitude der Signale ist ein Maß für das fehlende Volumen an Material.

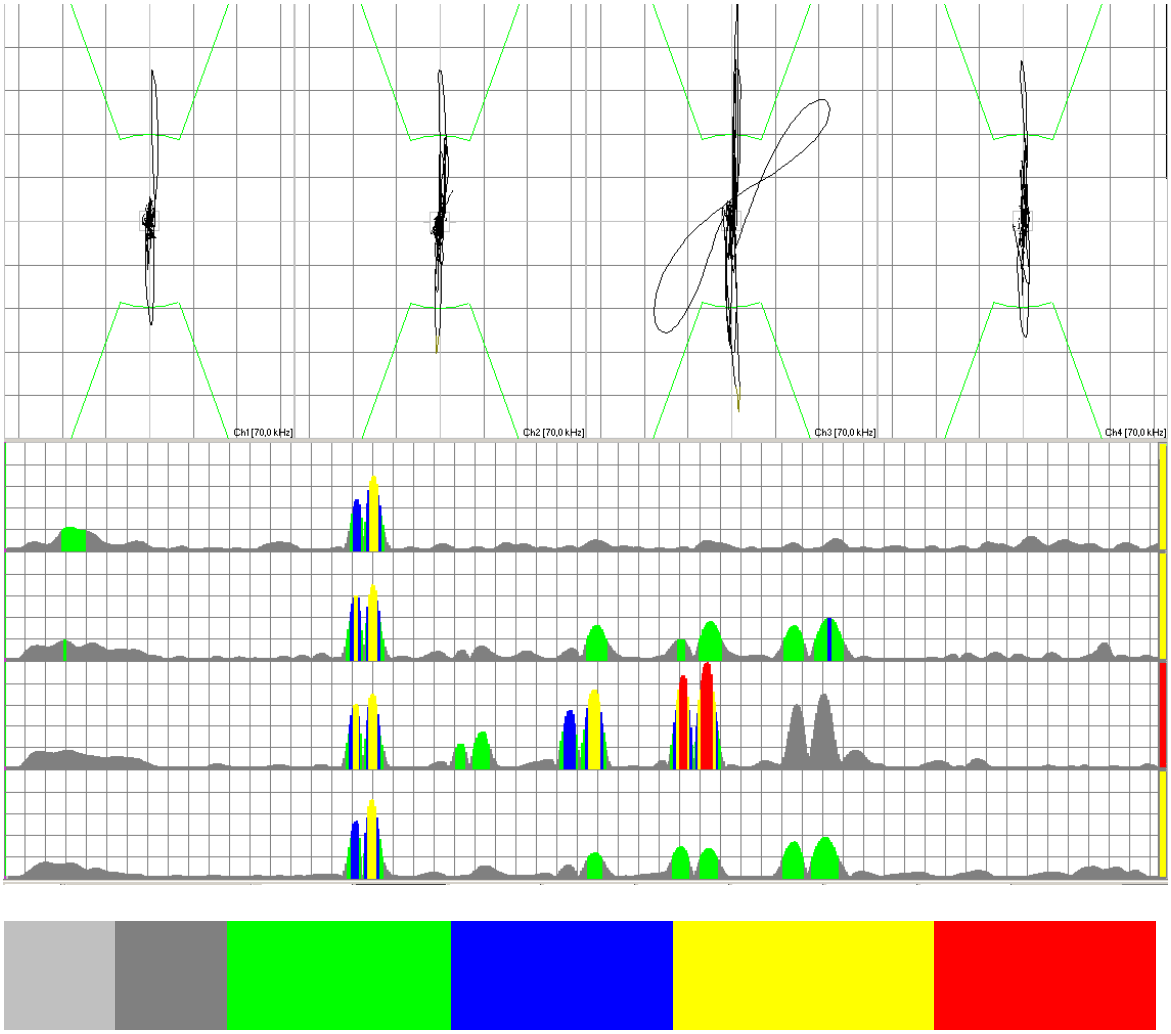

Abbildung 5: Darstellung von vier Differenzsignalen des SLOFEC™-Prüfsystems und Umsetzung in farbkodierte Anzeigen

Die Vorteile des beschriebenen Wirbelstromsystems mittels SLOFEC™ lassen sich im Wesentlichen wie folgt zusammenfassen:

- Sehr empfindliche Detektion auch von kleinen voluminösen Materialschwächungen
- Prüfung durch maximal 10 mm dicke, nicht leitfähige (aber ableitfähige) Beschichtungen
- Prüfung durch dünne leitfähige jedoch nicht ferromagnetische Beschichtungen
- Prüfung von Wanddicken bis zu 18 mm, abhängig vom eingesetzten Scanner-Typ
- Anwendbar auch an Rohrleitungen aus Kugelgrafit (duktilen Materialen)
- Unterscheidung zwischen Fehlern an der Innen- und Außenseite aufgrund der Phasenlage des Signals
- Gute Trennung von Nutz- und Störsignalen aufgrund der Phaseninformation
- Unempfindlich gegenüber leichte (nichtleitende) Verschmutzungen
- Keine Koppelmittel notwendig

2. SLOFEC™ - Innen-Rohrleitungs-Scanner

Kontrolltechnik GmbH hat zwei Scanner-Typen PLM und PLS für die Innenrohrleitungsinspektion von „nicht molchbaren Rohrleitungen“ entwickelt. Beide Typen sind modular aufgebaut und können leicht an die vorgefunden Prüfsituationen angepasst werden. Die wesentlichen konstruktiven Merkmale sowie die Vorteile der Scanner-Typen sind wie folgt zusammengefasst:

- Die SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner bestehen aus einzelnen Modulen, die durch flexible Gelenke mit einander verbunden sind. Jedes Modul wurde konstruktiv so minimiert, dass die Module enge Kurven und Bögen mit Radien bis zu 1,5 x D passieren können.
- Die einzelnen Module können auf der Baustelle oder bei begrenzter Zugänglichkeit, was sehr häufig der Fall ist, direkt in der Rohrleitung montiert und zusammengefügt werden.
- Die SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner können aufgrund des flexiblen Antriebskonzepts bidirektional betrieben werden und erlaubt eine optimale Anpassung an die Gegebenheiten vor Ort und an die Zugänglichkeit. Die Fortbewegung der Scanner durch die Rohrleitung kann mit Hilfe eines Seils und einer Seilwinde oder mit einem selbstfahrenden, kabelgebundenen Antriebsmolch, siehe Abbildung 6, erfolgen.
- Der SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner Typ PLS besitzt eine variable Zentriervorrichtig und einen ausfahrbaren SLOFEC™-Prüfkopf, wodurch auch Rohrleitungsabschnitte mit reduzierten Durchmessern passiert werden können.

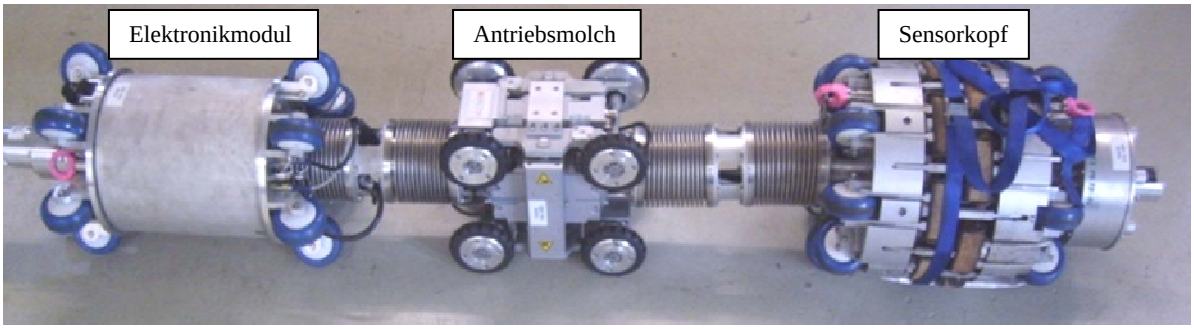

Abbildung 6: Kabelgebundener Antriebsmolch mit einem SLOFEC™-Pipe-Scanner Typ PLS

2.1 SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner Typ PLM

Der SLOFEC™-Internal-Pipe Scanner Typ PLM ist ein Prüfsystem zur kontinuierlichen Prüfung (drive-through unit) mit Hilfe eines Antriebsmolchs, siehe Abbildung 6 und Abbildung 8, oder mit Hilfe eines Seils und einer Winde. Die Sensoren sind federnd zwischen den Polen des Magneten montiert. Das gesamte Sensormodul ist auf Rädern zentriert und geführt, wodurch eine geringe Reibung und ein bidirektionale Betrieb ermöglicht wird.

Vorteile der PLM Typen:
- Anwendbar bei verhältnismäßig kleinen Rohrleitungen
- Es werden relativ hohe Prüfgeschwindigkeiten erreicht

Nachteile der PLM Typen:
- Das Eigengewicht des Scanners für größere Durchmesser nimmt aufgrund notwendigen Magnetisierung der Teilabschnitte stark zu.

2.1.1 Technische Daten Typ PLM

- Rohrdurchmesser: **10" – 20"**
  (Es wird für jeden Durchmesser ein speziell angepasstes Sensormodul benötigt.)
- Max. Rohrwanddicke: **bis 15,0 mm**
  (abhängig von der Registriergrenze und der schichtungsdicke)
- Max. Beschichtungsdicke: **bis 10 mm**
  (abhängig von der Registriergrenze und der Rohrwanddicke)
- Sensorabdeckung: **maximal 32 Sensoren** für den gesamten Umfang von 360º
- Scannergewicht: **150 kg** bei einem 14" - Sensormodul
- Min. durchfahrender Bogenradius: **1,5 x D**

Abbildung 7: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLM, hier für 14" Rohrleitungen

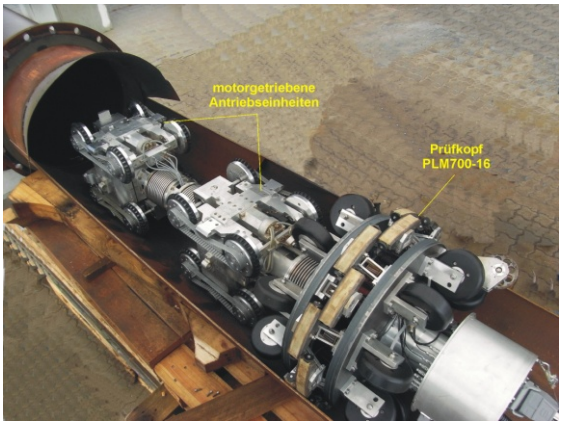

Abbildung 8: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLM mit Antriebsmolch von Inspektor Systems

2.1.2 Technische Merkmale Typ PLM

- **Modularer Aufbau**
  Erlaubt eine variable Konfiguration und den Einbau der Module auch bei eingeschränkter oder schwieriger Zugänglichkeit.
- **Bi-Direktionale Prüfrichtung**
  Für die Rohrleitungsinspektion mit nur einer Zugänglichkeit.
- **Fortbewegung mittels Antriebseinheit oder mit einer Seilwinde**
  Flexibles Antriebskonzept erlaubt eine optimale Anpassung an die Gegebenheiten vor Ort und an die Zugänglichkeit.
- **Keine Verwendung von Koppelmittel**
- **Durchfahrt von T-Stücken und Muffenspalten**
  Aufgrund der rollengelagerten Module.

Abbildung 9: Installation des SLOFEC™ - PLM – Typ
Scanner wird durch einen Schacht für die Inspektion einer waagerechten Abwasserleitung heruntergelassen.

2.2 SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner Typ PLS

Der SLOFEC™-Pipe-Scanner Typ PLS verwendet einen rotierenden Sensorkopf. Der Scanvorgang erfolgt Abschnittsweise und nicht kontinuierlich. Mit Hilfe eines Antriebsmolchs oder mit einem Seil und einer Seilwinde wird der Pipe-Scanner exakt in axialer Richtung positioniert. Anschließend drückt sich der Sensorkopf pneumatisch gegen die Rohrwandung und rotiert in radialer Richtung entlang des Rohrumfangs. Nach Abschluss eines vollständigen Scans das entspricht einer 360 ° Drehung des Sensorkopfes wird der Sensorkopf wieder eingefahren und um die Scanbreite in axialer Richtung verschoben und zentriert. In dieser Position wird der Scanvorgang erneut gestartet, der voll automatische abläuft, um eine angemessene Prüfgeschwindigkeit zu erzielen. Das gesamte Sensormodul ist auf Rädern geführt, wodurch eine geringe Reibung und ein bidirektionale Betrieb ermöglicht wird. Die Zentriereinheit ist variable und kann Änderungen des Durchmessers in beiden Richtungen ausgleichen.

Vorteile der PLM Typen:
- Das Eigengewicht gerade für größere Durchmesser ist im Vergleich zum Typ PLS reduziert.
- Es wird eine höhere Auflösung erreicht.
- Die Zentriereinheit ist variable und kann Änderungen des Durchmessers in beiden Richtungen ausgleichen.
- Todzonen im Bereich von Stumpfnähten oder Rohrverbindungen bzw. Muffen sind minimiert.

Nachteile der PLM Typen:
- Prüfgeschwindigkeit ist kleiner als beim Typ PLS

2.2.1 Technische Daten Typ PLS

- Rohrdurchmesser: **≥ 20"**
  (für jeden Durchmesser wird eine unterschiedliche Fahr- und Zentriereinheit benötigt.)
- Max. Rohrwanddicke: **bis 18,0 mm**
  (abhängig von der Registriergrenze und der Beschichtungsdicke)
- Max. Beschichtungsdicke: **bis 10 mm**
  (abhängig von der Registriergrenze und der Rohrwanddicke)
- Sensorabdeckung: **bis 8 Sensoren**
  für einen Bereich von 150 mm Scanbreite bei einer 360º Drehung des Sensorkopfes
- Scannergewicht: **125 kg**
  für 24" - Rohrleitungen
- Min. durchfahrender Bogenradius: **1,0 x D**

Abbildung 10: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS, hier für 24" Rohrleitungen

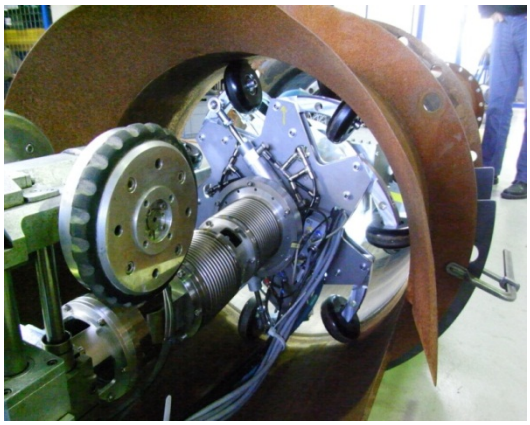
Abbildung 11: Installation des SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS

2.2.2 Technische Merkmale Typ PLS

- **Modularer Aufbau**
  Erlaubt eine variable Konfiguration und den Einbau der Module auch bei eingeschränkter oder schwieriger Zugänglichkeit.
- **Bi-Direktionale Prüfrichtung**
  Für die Rohrleitungsinspektion mit nur einer Zugänglichkeit.
- **Fortbewegung mittels Antriebseinheit oder mit einer Seilwinde**
  Flexibles Antriebskonzept erlaubt eine optimale Anpassung an die Gegebenheiten vor Ort und an die Zugänglichkeit.
- **Durchfahrt von T-Stücken und Muffenspalten und Bereiche mit reduzierten Durchmessern**
  Aufgrund der variablen Zentriervorrichtung und dem ausfahrbaren SLOFEC™-Prükopf.
- **Keine Verwendung von Koppelmittel**
- **Keine Todzonen an Stumpfnähten oder Muffen**
  Aufgrund des rotierenden Scanvorgangs kann bis an Stumpfschweißnähten, Muffen oder Abgängen geprüft werden.

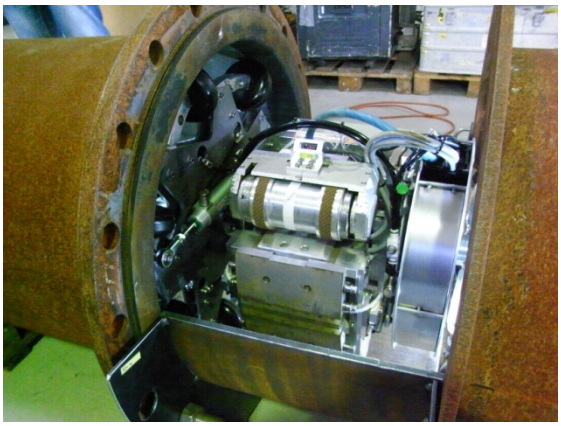

Abbildung 12: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS, hier für 24" Rohrleitungen

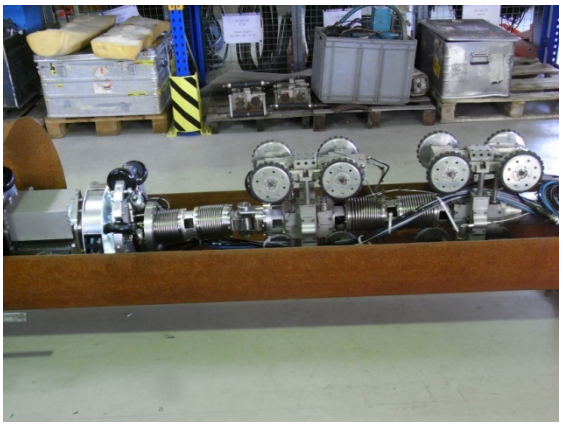

Abbildung 13: Installation des SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS

2.3 SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner Typ PEGASUS

Der SLOFEC™-Pipe-Scanner Typ PLS ist mit einem rotierenden Sensorkopf ausgestattet und erlaubt es Rohrleitungen mit sehr großen Durchmessern(für die keine Antriebssysteme verfügbar sind) bidirektional zu inspizieren. Die Positionierung des Scanners in axialer Richtung in der Rohrleitung erfolgt entweder manuell von Hand oder mit Hilfe eines Seils und einer Seilwinde. Der Sensorkopf wird pneumatisch gegen die Rohrwandung gedrückt und in radialer Richtung entlang des gesamten Umfangs elektrisch gedreht. Nach erfolgtem 360° Scan wird der auf Rädern montierte Sensorkopf wieder eingefahren und das gesamte Scan-System um die Scanbreite von 150 mm in axialer versetzt. Diese Vorgänge wiederholen sich solange, bis der gesamte zu überprüfende Rohrleitungsbereich geprüft ist.

Vorteile des PEGASUS:

- Es wird eine höhere Auflösung erreicht.
- Der Scanner kann komplett in der Rohrleitung zusammen gebaut und montiert werden. Dieses ermöglicht eine hohe Flexibilität, gerade bei einer eingeschränkten Zugänglichkeit durch einen engen Schacht.
- Die Zentriereinheit ist variable und kann Änderungen des Durchmessers in beiden Richtungen ausgleichen.
- Todzonen im Bereich von Stumpfnähten oder Rohrverbindungen bzw. Muffen sind minimiert.

Nachteile des PEAGSUS:

- Die Passage von engen Bögen ist eingeschränkt.
- Es können keine Antriebsmolche eingesetzt werden

2.3.1 Technische Daten Typ PEGASUS

- Rohrdurchmesser: **≥ 30"**
  (für jeden Durchmesser wird eine unterschiedliche Fahr- und Zentriereinheit benötigt.)
- Max. Rohrwanddicke: **bis 18,0 mm**
  (abhängig von der Registriergrenze und der Beschichtungsdicke)
- Max. Beschichtungsdicke: **bis 10 mm**
  (abhängig von der Registriergrenze und der Rohrwanddicke)
- Sensorabdeckung: **bis 8 Sensoren**
  für einen Bereich von 150 mm Scanbreite bei einer 360º Drehung des Sensorkopfes
- Scannergewicht: **130 kg**
  für 40" - Rohrleitungen
- Min. durchfahrender Bogenradius: **4,0 x D**

Abbildung 14: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS

Abbildung 15: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS im Einsatz

2.3.2 Technische Merkmale Typ PEGASUS

- **Modularer Aufbau**
  Erlaubt eine variable Konfiguration und den Einbau der Module auch bei schwieriger Zugänglichkeit.
- **Bi-Direktionale Prüfrichtung**
  Für die Rohrleitungsinspektion mit nur einer Zugänglichkeit.
- **Fortbewegung mittels Seilwinde oder von Hand**
  Optimale Anpassung an die Gegebenheiten vor Ort und an die Zugänglichkeit.
- **Durchfahrt von T-Stücken und Muffenspalten und Bereiche mit reduzierten Durchmessern**
  Aufgrund der variablen Zentriervorrichtung und dem ausfahrbaren SLOFEC™-Prüfkopf.
- **Keine Verwendung von Koppelmittel**
- **Keine Todzonen an Stumpfnähten oder Muffen**
  Aufgrund des rotierenden Scanvorgangs kann bis an Stumpfschweißnähten, Muffen oder Abgängen geprüft werden.

Abbildung 16: Installation des SLOFEC™ Internal Pipe Scanners, Typ PEGASUS durch einen Schacht.

3. Anwendungsbeispiele mit den SLOFEC™ -Innen-Rohrleitungs-Scanner

3.1 SLOFEC™-Inspektion einer Trinkwasserrohrleitung von Innen

Eine erdverlegte 48" (DN 1200) Trinkwasserleitung ohne Neigungswinkel wurde von innen mit Hilfe des SLOFEC™ - Internal-Pipe-Scanner Typ PEAGASUS in einem Wohngebiet auf örtliche Korrosionsstellen an der Rohrinnen- und Rohraußenseite überprüft. Auf der geprüften Rohrleitungsstrecke von ca. 500 m waren keine Bögen vorhanden. Die Installation des Scan-Systems erfolgte über mehrere Schächte in Abständen von ca. 150 m. Abbildung 16 zeigt den Zugang zur Trinkwasserleitung über die Schächte.

Abbildung 17: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS bei der Positionierung

Abbildung 18: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS im Einsatz

Der Scanner wurde händisch in axialer Richtung positioniert und bewegt. Hierdurch konnten durchschnittliche Prüfgeschwindigkeiten von ca. 80 m bis 100 m pro Schicht erreicht werden. Die Rotation des Sensorkopfes in radialer Richtung erfolgte mit Elektromotoren über den gesamten Umfang von 360°.

Detektierte Anzeigen wurden direkt in der Rohrleitung markiert und anschließend mittels Ultraschall ergänzend überprüft. Die tatsächlich festgestellte Restwanddicke im Anzeigenbereich wurde notiert und anschließend im Report dokumentiert. Die Abbildung 19 zeigt typische Korrosionsstellen mit einem Durchmesser von ca. 10 mm die während der Prüfung ermittelt worden sind.

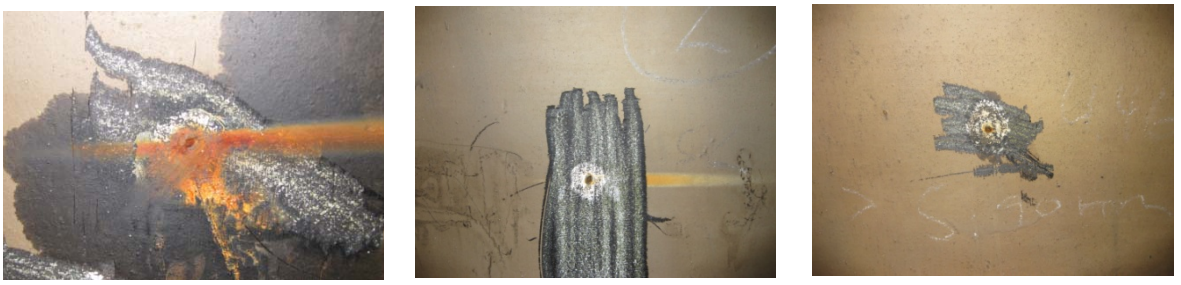

Abbildung 19: Typische Korrosionsstellen
links: Durchbruch bzw. Loch
Mitte: Korrosionsstelle mit > 50 % Querschnittsminderung
rechts: Korrosionsstelle mit > 40 % Querschnittsminderung

Der gesamte Teilbereich der Rohrleitung von ca. 500 m konnten so mit Erfolg auf örtliche Korrosionsstellen geprüft werden und der Betreiber konnte direkt im Anschluss an unsere Prüfung mit den Reparaturmaßnahmen beginnen.

3.2 SLOFEC™-Inspektion einer Hochdruckleitung eines Wasserkraftwerkes

Für ein Wasserkraftwerk wurde eine 300 m lange gerade Hochdruckleitung mit Hilfe des SLOFEC™-Innen-Pipe-Scanner Typ PLM auf örtliche Korrosionsschädigungen auf der Inn- und Außenrohrseite gescannt. Die Prüfung an der 36" Hochdruckleitung mit einer Wanddicke von 16 mm erfolgte vollständig mechanisiert, da die Fallleitung unter einem Neigungswinkel von 30° bis 45° verlegt ist, siehe Abbildung 21.

Abbildung 20: Ausgegrabener Rohrleitungsbereich zur Installation des Scan-Systems

Abbildung 21: Neigungswinkel der Rohrleitung

Für die Installation des Scan-Systems wurde ein Schieberventil entfernt, so dass ein Bereich von ca. 1,5 m für die Montage zur Verfügung stand, siehe Abbildung 22. Zur Fortbewegung des SLOFEC™-Pipe-System Typ PLS wurde der Scanner über ein Seil an eine geeignete steuerbare Seilwinde gehängt. Abbildung 23 zeigt das angehängte fertig montierte und zentrierte Scan-System in der Rohrleitung. Die erzielte durchschnittliche Prüfgeschwindigkeit betrug ca. 100 m pro Schicht.

Abbildung 22: Installation des Scan-Systems

Abbildung 23: Installiertes Scan-System in der Rohrleitung

Die gesamten 300 m Rohrleitung konnten so mit Erfolg auf örtliche Korrosionsstellen geprüft werden.

4. Prüfergebnisse der Inspektionen

Bei der Datenerfassung aller beschrieben Scanner-Typen werden die Signale der Sensoren online erfasst. So werden zum Beispiel beim rotierenden Sensorkopf des Scanner Typs PLS die Signale alle 8 Sensoren auf einer Spurbreite von 150 mm gleichzeitig erfasst und für den gesamten Umfang als ein Messzyklus dargestellt. Die erhaltenen Rohdaten werden direkt auf die Festplatte gespeichert und bleiben unverändert dauerhaft erhalten.

Für die Datenanalyse und Dokumentation werden die Amplituden der Signale mit einer bestimmten Phasenlage in aussagekräftige Farben entsprechend einer vordefinierten Farbskala umgewandelt und als C-Scan dargestellt. Abbildung 24 zeigt den realen Auswertebildschirm der SLOFEC™ - Software mit SLOFEC™ -Signalen ohne Anzeigen über eine gesamte 360° Drehung des Sensorkopfes am Umfang der Rohrleitung. Es ist nur das durch die Oberflächenrauigkeit erzeugte Rauschen des Signales zu erkennen.

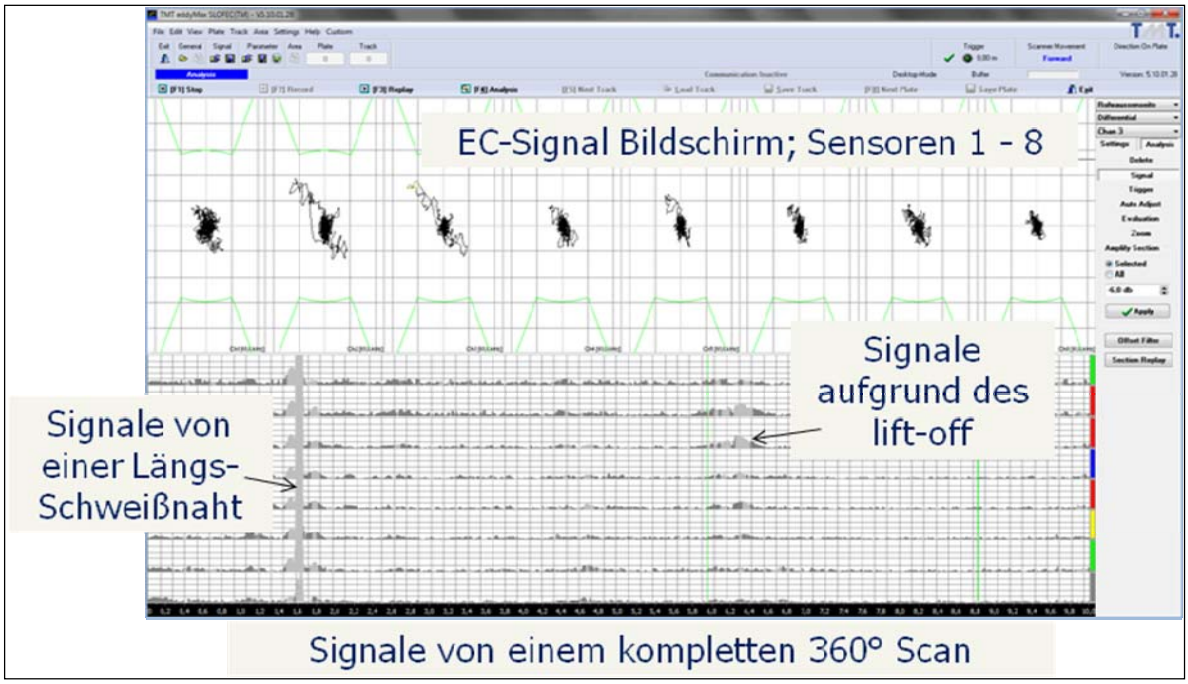

Abbildung 24: Auswertebildschirm mit Signalen ohne Anzeigen

Abbildung 25 zeigt den Auswertebildschirm für eine gesamte radiale Umdrehung von 360° an einem Rohrleitungsabschnitt mit zwei typischen Lochfraßdefekten. Das größere rote Signal wird von einer Wanddickenminderung von ca. 95 % erzeugt, wogegen die beiden kleineren grünen Anzeigen von Wanddickenverlusten von ca. 20 % entstehen.

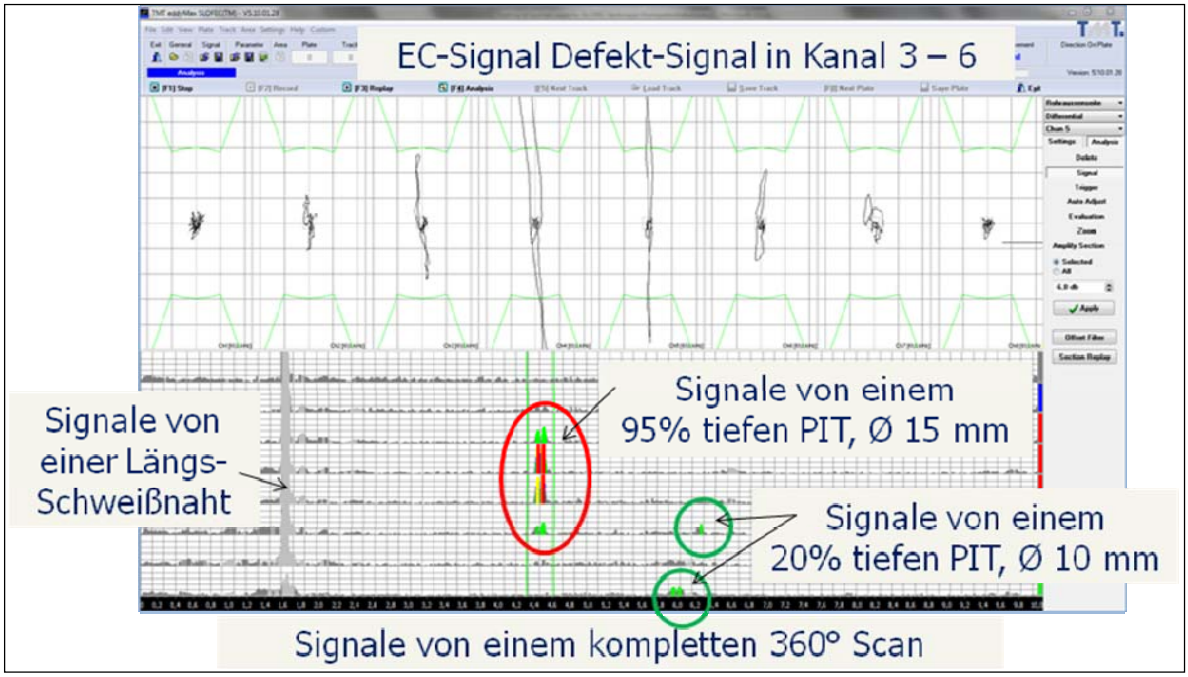

Abbildung 25: Auswertebildschirm mit Signalen mit Anzeigen

Die nachfolgenden Abbildung 26 und Abbildung **27** zeigen exemplarisch unterschiedliche Defekte von der Außenseite der Rohrleitung, die nach einer Prüfungsdurchführung frei gelegt wurden. Die ermittelten Durchmesser der Korrosionsmulden variierten zwischen 10 mm bis 20 mm, wobei alle Wanddickenminderungen > 20 % eindeutig identifiziert und nachgewiesen wurden.

Abbildung 26: Durchbruch bzw. Loch ausgehend von der Außenseite der Rohrleitung

Abbildung 27: Korrosionsmulden auf der Außenseite der Rohrleitung

5. Allgemeines Detektionsvermögen von den SLOFEC™ - Internal-Pipe-Scanners

Das Detektionsvermögen der SLOFEC™-Internal-Pipe-Scanner Typ PLS und Typ PEGASUS zu ermitteln wurde das Signal- zu Rauschverhältnis einer Ø 12 mm großen Flachbodenbohrung und einer Wanddickenminderung von 20 %. Die Flachbodenbohrung lag hierbei jeweils auf dem Scanner entfernten Oberfläche (entgegenliegender Oberfläche). Die Versuche wurden an unterschiedlichen Wanddicken und Sensorabständen zur Oberfläche (lift-off) durchgeführt. Abbildung 28 zeigt den grafischen Zusammenhang der Versuche. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit steigender Wanddicke und größer werdenden Abstand Sensoren zur Oberfläche das Signal-Rausch-Verhältnis abnimmt. Generell wird das Rauschen durch die Rauigkeit, die Inhomogenität des Materials und durch das elektronische Rauschen verursacht.

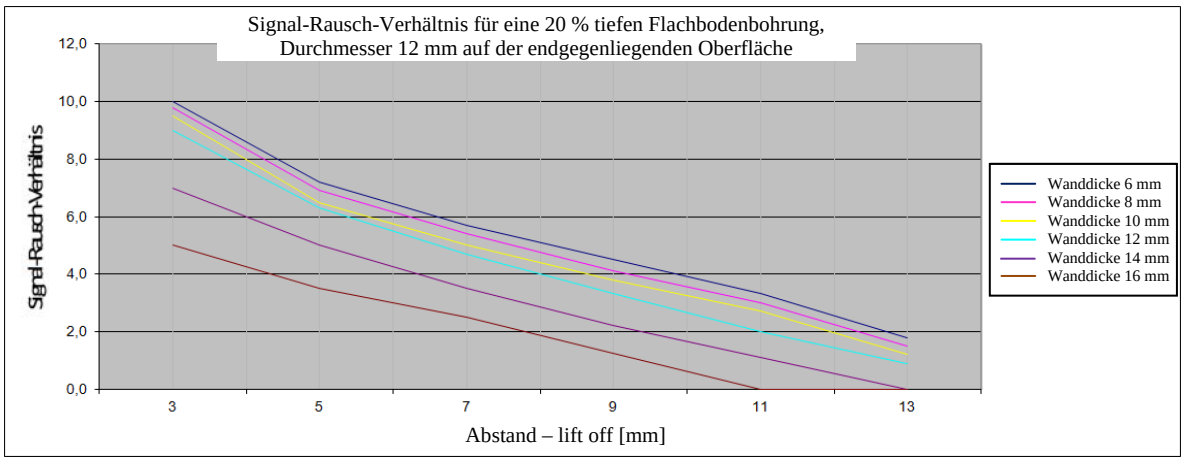

Abbildung 28: Signal- zu Rauschverhältnis an Ø 12 mm Flachbodenbohrungen auf der endgegenliegenden Oberfläche und einer Wanddickenminderung von 20 %

Bei der Beurteilung der Ergebnisse aus Abbildung 28 ist zu beachten, dass dieses Ergebnis für eine 20% tiefe Flachbodenbohrung mit 12 mm Durchmesser gilt. Mit steigender Fehlertiefe und / oder steigendem Fehlerdurchmesser verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis und damit die Nachweisbarkeit. Das in Abbildung 28 gezeigte Ergebnis gilt quantitativ nur für einen Sensorkopf-Typ (rotierender Sensorkopf). Andere Bauformen haben qualitativ gleiche Ergebnisse, die jedoch quantitativ höher oder niedriger liegen können.

6. Dokumentation

Die Dokumentation besteht aus einem farbigen Pipe-Scan-Report, siehe Abbildung 29, und einer Indikationsliste, siehe Abbildung 30.

Der Pipe-Scan-Report enthält eine schematische Darstellung des Leitungsverlaufs mit den einzelnen Rohrabschnitten. Jeder geprüfte Rohrabschnitt wird als 2D-Scan Farbbild (Abwicklung der Rohrleitung) dargestellt. SLOFEC™-Anzeigen werden hier entsprechend der aufgeführten Farbskala in Abhängigkeit der bewerteten Anzeigentiefe dargestellt. Das Koordinatensystem (x-Koordinate entspricht der Weg in radialer Richtung, y-Koordinate ist der gescannte Weg in axialer Richtung) am Rand des 2D-Scan Farbbilds gibt die Position der Indikation an.

In der Indikationsliste werden sämtliche Anzeigen mit Tiefe, Position, Wanddickenminderung und Lage (Oberfläche oder endgegenliegende Oberfläche) aufgelistet. Sollten ergänzende Ultraschallprüfungen möglich sein, so wird die Liste mit der tatsächlichen Restwanddicke vervollständigt.

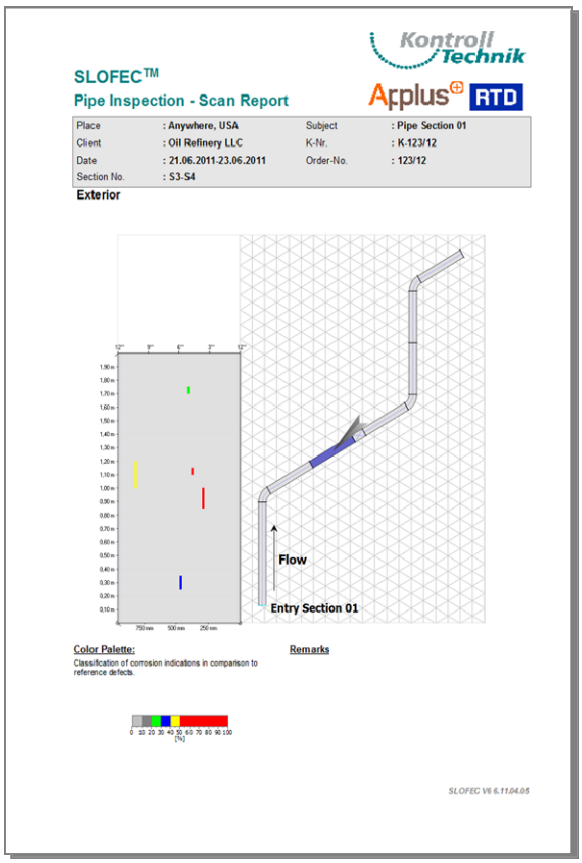

Abbildung 29: Beispiel eines Pipe-Scanner-Report

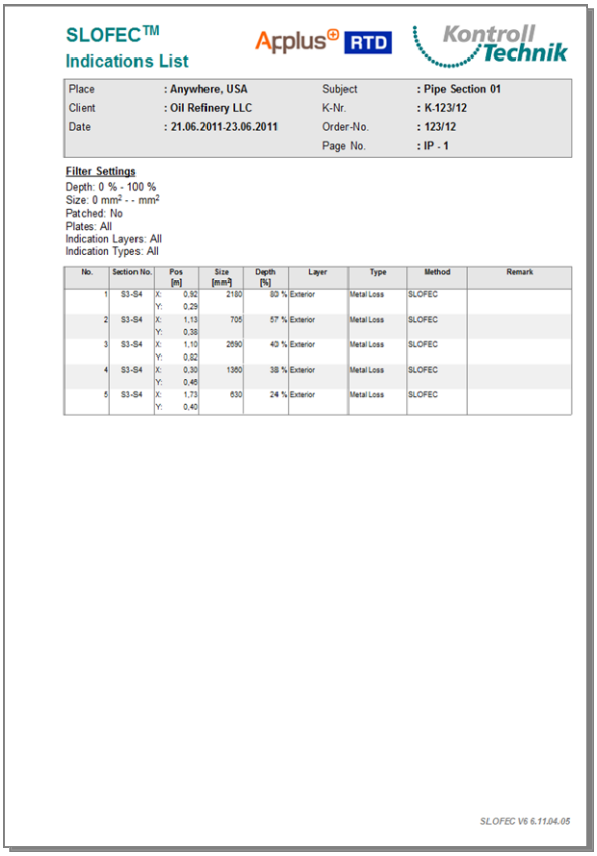

Abbildung 30: Beispiel einer Indikationsliste

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SLOFEC™ -Internal Pipe Scanner
Abbildung 2: SLOFEC™ Prinzip fehlerfreier Prüfkörper
Abbildung 3: Typischer Referenzkörper für die SLOFEC™ Prüfung
Abbildung 4: SLOFEC™ Prinzip fehlerbehafteter Prüfkörper
Abbildung 5: Darstellung von vier Differenzsignalen des SLOFEC™-Prüfsystems und Umsetzung in farbkodierte Anzeigen
Abbildung 6: Kabelgebundener Antriebsmolch mit einem SLOFEC™-Pipe-Scanner Typ PLS
Abbildung 7: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLM, hier für 14" Rohrleitungen
Abbildung 8: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLM mit Antriebsmolch von Inspektor Systems
Abbildung 9: Installation des SLOFEC™ - PLM – Typ Scanner wird durch einen Schacht für die Inspektion einer waagerechten Abwasserleitung heruntergelassen.
Abbildung 10: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS, hier für 24" Rohrleitungen
Abbildung 11: Installation des SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS
Abbildung 12: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS, hier für 24" Rohrleitungen
Abbildung 13: Installation des SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PLS
Abbildung 14: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS
Abbildung 15: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS im Einsatz
Abbildung 16: Installation des SLOFEC™ Internal Pipe Scanners, Typ PEGASUS durch einen Schacht.
Abbildung 17: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS bei der Positionierung
Abbildung 18: SLOFEC™ - Internal Pipe Scanner, Typ PEGASUS im Einsatz
Abbildung 19: Typische Korrosionsstellen links: Durchbruch bzw. Loch Mitte: Korrosionsstelle mit > 50 % Querschnittsminderung rechts: Korrosionsstelle mit > 40 % Querschnittsminderung
Abbildung 20: Ausgegrabener Rohrleitungsbereich zur Installation des Scan-Systems
Abbildung 21: Neigungswinkel der Rohrleitung
Abbildung 22: Installation des Scan-Systems
Abbildung 23: Installiertes Scan-System in der Rohrleitung
Abbildung 24: Auswertebildschirm mit Signalen ohne Anzeigen
Abbildung 25: Auswertebildschirm mit Signalen mit Anzeigen
Abbildung 26: Durchbruch bzw. Loch ausgehend von der Außenseite der Rohrleitung
Abbildung 27: Korrosionsmulden auf der Außenseite der Rohrleitung
Abbildung 28: Signal- zu Rauschverhältnis an Ø 12 mm Flachbodenbohrungen auf der endgegenliegenden Oberfläche und einer Wanddickenminderung von 20 %
Abbildung 29: Beispiel eines Pipe-Scanner-Report
Abbildung 30: Beispiel einer Indikationsliste

Referenzen

[1] Bericht über die Verfahrensprüfung des Tankbodenprüfgerätes Floorscanner FS-300 PM.V1 zur Ermittlung von Korrosion an Tankböden, TÜV Hannover/Sachsen Anhalt, 06.07.2007, Dr. Krüger

[2] Bericht über die Verfahrensprüfung der Rohrprüfgeräte Linescanner LS150 EM.V1 und LS120PM.V1 zur Ermittlung von Korrosion an Rohrleitungen, TÜV Hannover/Sachsen Anhalt, 06.07.2007, Dr. Krüger

[3] Im Kernkraftwerk Isar (KKI) ist man auf der Suche nach der „Stecknadel im Heuhaufen“ und deren anschließender Analyse, Fachbeiträge ZfP-Zeitung 119, April 2010, Harald Hofmann, Wilhelm Kelb, Ralf Dix

[4] KT-Prüfanweisung KT-ST-FS400-FS300 allgemein Rev. 3 vom 29. Oktober 2010, Prüfanweisung SLOFEC™-Tankbodenprüfung, M. Hansen, W. Kelb und A. Jankowski