

Wirbelstrombasierte Prüfung von Rohrleitungen mit Hilfe von kabelgebundenen Prüfsystemen

Gerhard SCHEER¹, Wilhelm KELB²

¹ TMT Test- und Maschinentechnik GmbH, Schwarmstedt

² Kontrolltechnik GmbH, Schwarmstedt

Kontakt E-Mail: gerhard.scheer@eddymax.com

Kurzfassung. Lange Rohrleitungen werden in der Regel mit autarken Prüfsystemen, sogenannten Molchen, geprüft. Diese werden in die Leitung eingeschleust und dann im Medium mittransportiert. Doch auch Rohrleitungen in Pumpstationen, Verbindungsleitungen zwischen Tanks in Raffinerien und Tanklagern, Kühlwasserleitungen in Kraftwerken, Druckleitungen von Wasserkraftwerken und auch andere Leitungen in der industriellen und zivilen Infrastruktur verlieren im Laufe der Jahre ihre Integrität. Die Prüfung dieser Rohre erfordert eine andere Herangehensweise, die sich am besten mit kabelgebundenen Prüfsystemen lösen lässt. Diese Leitungen haben häufig nur einen einseitigen Zugang, sind mit engen Bögen und Abgängen versehen und weisen manchmal erhebliche Steigungen auf. Auch die Zugänglichkeit ist teilweise schwierig. Der Beitrag stellt die besonderen Herausforderungen bei der Prüfung dieser Rohre dar und zeigt realisierte Lösungen auf Basis der Wirbelstromprüftechnik.

Einführung

Um die Jahrtausendwende wurde die SLOFEC[®]-Technik erstmals zur Prüfung von Tankböden und von außen zugänglichen Rohrleitungen eingesetzt. Seitdem wurden die Prüfsysteme, die Vorgehensweise bei der Prüfung und die Signalauswertung ständig verbessert, um den Anforderungen der Betreiber gerecht zu werden. Ein wichtiger Zweig der Weiterentwicklung war die Anwendung der SLOFEC[®]-Technik in Prüfsystemen zur Prüfung erdverlegter oder eingebauter Rohrleitungen von der Innenseite. Die Prüfsysteme wurden dazu mit Kameras und z.T. mit Laser-Profilometrie ergänzt.

1. Anforderungen an das Prüfsystem

1.1 Anforderungen bezüglich der Zugänglichkeit

Bei vielen Rohrleitungen ist die Prüfung mit autarken Prüfmolchen nicht vorgesehen. Diese Abschnitte enthalten keine speziellen Molchschleusen, so dass ein Zugang für ein Prüfsystem nur dadurch möglich wird, dass entweder ein Rohrsegment oder eine Armatur entfernt wird. Manchmal kann der Zugang auch durch einen Dom erfolgen. Häufig ist der Zugang nur von einer Seite möglich, so dass das Prüfsystem in der Lage sein muss, sich vorwärts und



rückwärts durch die Rohrleitung zu bewegen. Dies wird durch meist durch ein mitfahrendes Antriebssystem realisiert. Bei Leitungen mit starker Steigung werden auch Seilwinden eingesetzt.



Abb. 1 Einbringen des Prüfsystems nach dem Ausbau eines Rohrsegments



Abb. 2 Einbringung durch einen Dom

1.2 Anforderungen bezüglich des Zustandes der Leitungen

Da häufig Rohrbögen mit Radien bis hinunter zu $1,5 \times D$ verbaut worden sind, müssen die Prüfsysteme in der Lage sein, diese Bögen zu passieren. Dann können die Rohre selten komplett gereinigt werden. Damit entsteht die Forderung, dass die Prüfung auch bei vorhandener Verschmutzung, Produktresten oder sogar bei vollständiger Füllung mit einem Medium möglich sein soll. Auch vorhandene Beschichtungen auf der Rohrinenseite müssen berücksichtigt werden.



Abb. 3 Kurze Bögen, Ablagerungen und Betonbeschichtung

1.3 Anforderungen an die Prüftechnik

Die meisten Rohrleitungen sind nur leer prüfbar. Typischerweise ist der Einsatz irgendwelcher fremder Medien, wie z.B. Koppelmitteln, nicht gestattet. Damit wird Prüftechniken, die ohne Koppelmedien auskommen, der Vorzug gegeben. Die Prüftechnik muss Schadensanzeigen verlässlich nachweisen und sie von Störanzeigen, die z.B. von Ablagerungen, Anbauten oder eventuell vorhandenen Schleifstellen herrühren,

unterscheiden. Die Positionen und Größe der Schäden sollen bestimmt und dokumentiert werden.

1.4 Realisierte Prüfsysteme

Entsprechend dieser Anforderungen sind 3 generelle Ausführungen von SLOFEC®-Prüfsystemen zum Einsatz in Rohrleitungen entstanden. Sie sind alle modular aufgebaut, so dass sie an unterschiedliche Gegebenheiten angepasst werden können.

- Die SLOFEC®-Prüfsysteme bestehen aus mehreren kurzen Modulen, welche durch flexible Kupplungen miteinander verbunden sind. Damit wird sichergestellt, dass 1,5 x D Bögen passiert werden können.
- Die einzelnen Module können am Einsatzort miteinander verbunden werden. Bei eingeschränkter Zugänglichkeit kann dies gegebenenfalls im zu prüfenden Rohr erfolgen.
- Alle SLOFEC®-Prüfsysteme können im Rohr in beide Richtungen bewegt werden. Dazu dienen entweder mitfahrende Antriebsmodule oder eine externe Seilwinde.
- Die Prüfsysteme sind zum Teil mit flexiblen, einklappbaren Zentrierungen und flexiblen Sensorführungen versehen, um auch Rohrabschnitte mit reduziertem Querschnitt passieren zu können.
- Zudem enthalten alle Prüfsysteme Kameras und Beleuchtungssysteme. Die Kameras dienen dabei in erster Linie der Orientierung. Die Videos können aber zur ergänzenden Dokumentation auch aufgezeichnet werden. Weiterhin können spezielle Inspektionskameras und Laser-Profilometrie-Module ergänzt werden.

1.4.1 SLOFEC®-Prüfsystem Typ PLM

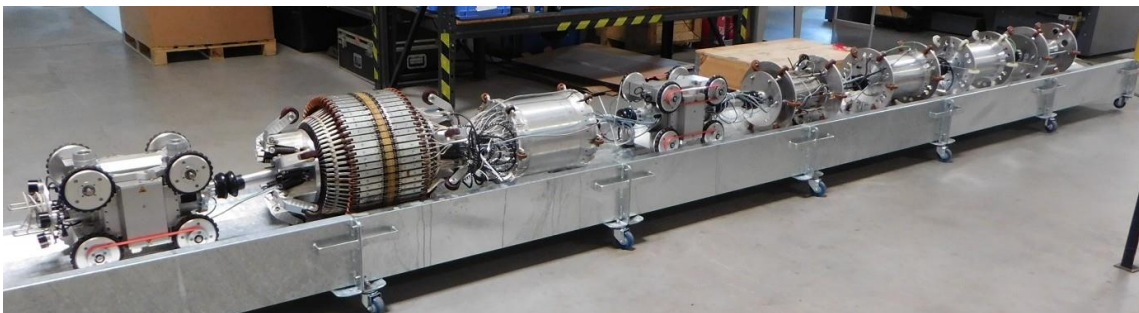


Abb. 4 PLM Prüfsystem

Durchmesserbereich	:	8“ - 18“
Eingesetzte Prüftechnik	:	SLOFEC®, VT-Prüfung
Max. Wanddicke	:	16 mm (abhängig vom Rohrdurchmesser, der Beschichtungsdicke und der Registriergrenze)
Max. Beschichtungsdicke	:	10 mm (abhängig vom Rohrdurchmesser)
Max. Prüflänge	:	300 m (optional auch länger bei geradem Leitungsverlauf)
Max. Prüfgeschwindigkeit	:	6 m/min
Antrieb	:	Druckluft oder Medium / Motormodul / Seilwinde

Die PLM-Prüfsysteme besitzen ein konzentrisch aufgebautes Magnetjoch und prüfen den gesamten Rohrumfang während der Fahrt. Die Sensoren sind gefedert zwischen den Magnetpolen eingebaut und gleichen damit Durchmesserabweichungen aus. Die auf dem Umfang aufgebrauchten Räder sorgen für geringen Bewegungswiderstand.

1.4.2 SLOFEC®-Prüfsystem Typ PLS



Abb. 5 PLS Prüfsystem

Durchmesserbereich	:	20“ - 48“
Eingesetzte Prüftechnik	:	SLOFEC®, VT-Prüfung, Laser-Profilometrie
Max. Wanddicke	:	25 mm (abhängig vom Rohrdurchmesser, der Beschichtungsdicke und der Registriergrenze)
Max. Beschichtungsdicke	:	10 mm (abhängig vom Rohrdurchmesser)
Max. Prüflänge	:	300 m
Max. Prüfgeschwindigkeit	:	0,2 m/min
Antrieb	:	Motormodul / Seilwinde

Die PLS-Prüfsysteme besitzen einen einklappbaren rotierenden Prüfkopf, der über den Umfang des Rohres bewegt wird. Zur Prüfung wird das Gerät schrittweise axial im Rohr verfahren. An jeder neuen Position wird jeweils der Prüfkopf mit dem Magnetjoch und den Sensoren an die Rohrwand geklappt, dort durch Rotation des Prüfkopfes eine Umfangsspur aufgezeichnet und ausgewertet. Danach wird der Prüfkopf wieder eingeclappt und die nächste axiale Position angefahren. Der gesamte Prozess läuft automatisch ab, um eine akzeptable Prüfgeschwindigkeit zu erreichen. Die Zentrierungen können eingeclappt werden, um Bereiche mit verringertem Querschnitt zu passieren.

1.4.3 SLOFEC®-Prüfsystem Typ Pegasus

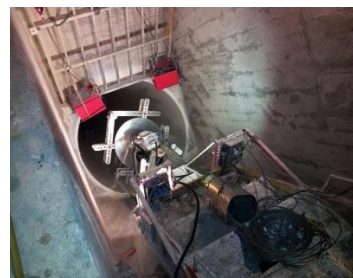
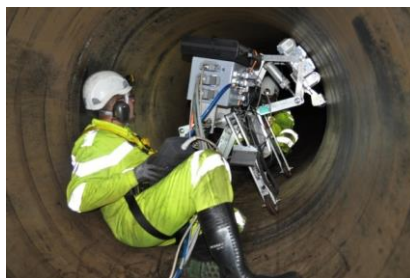


Abb. 6 Pegasus Prüfsystem

Durchmesserbereich	:	≥ 48“
Eingesetzte Prüftechnik	:	SLOFEC®, VT-Prüfung, Laser-Profilometrie
Max. Wanddicke	:	25 mm (abhängig vom Rohrdurchmesser, der Beschichtungsdicke und der Registriergrenze)
Max. Beschichtungsdicke	:	10 mm (abhängig vom Rohrdurchmesser)
Max. Prüflänge	:	300 m
Max. Prüfgeschwindigkeit	:	0,2 m/min
Antrieb	:	Manuell / Seilwinde

Die Pegasus-Prüfsysteme funktionieren grundsätzlich genauso wie die PLS-Systeme. Der Haupteinsatzbereich sind Rohrleitungen mit großen Durchmessern, in denen ein Antriebsmodul nicht mehr einsetzbar ist. Die Positionierung erfolgt entweder manuell oder mittels einer Winde. Der Hauptvorteil dieses Systems ist, dass es in Einzelteilen durch ein Mannloch ins Rohr gebracht werden kann und dann im Rohr zusammgebaut wird.

2. Funktionsweise der SLOFEC®-Prüftechnik

2.1 Grundprinzip

Das SLOFEC®-Verfahren beruht auf dem Wirbelstromprüfverfahren mit überlagertem magnetischem Gleichfeld. Mit dem Verfahren ist es möglich, mit entsprechenden Prüfsystemen Rohre und Platten mit Wandstärken bis zu 25 mm und Beschichtungen von bis zu 10 mm zu prüfen. Die Prüfaufgabe besteht darin, Schäden an Tankböden, -wänden und -dächern ebenso wie in Wänden von Rohren zu detektieren. Die unterschiedliche Signalphasenlage von Schäden auf der sensorfernen Seite gegenüber denen auf der sensornahen Seite und auch gegenüber Störanzeigen ermöglicht eine dahingehende Unterscheidung. Ein spezielles Kopplungsmedium ist für die Prüfung nicht erforderlich und auch nichtleitende und nicht magnetische Beschichtungen stellen kein Problem dar.

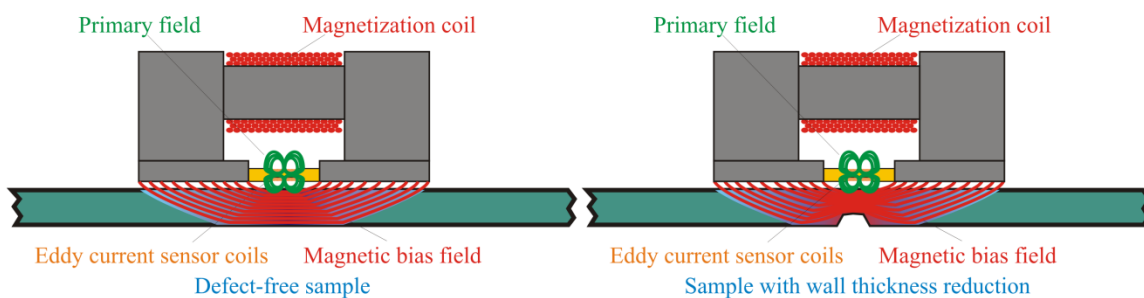


Abb. 7 SLOFEC®-Funktionsprinzip

Abbildung 7 zeigt das Grundprinzip der SLOFEC®-Prüfung. Ein Magnetjoch mit einem Elektromagneten (oder einem Permanentmagneten) erzeugt ein starkes magnetisches Gleichfeld im Prüfbereich. Damit ändert sich die relative Permeabilität des Werkstoffs in diesem Bereich. Zwischen den Magnetpolen befinden sich Wirbelstromsensoren. Sie erzeugen ein Wirbelstromfeld im Werkstoff unter den Sensoren. Das Wirbelstromfeld reagiert auf Änderungen der elektromagnetischen Eigenschaften, also u.a. der relativen Permeabilität in diesem Bereich. Solange sich der Prüfkopf über fehlerfreiem Gebiet bewegt, ändern sich die Verhältnisse nicht und es wird nichts angezeigt.

Im Bereich von Wanddickenminderungen, z.B. durch Korrosionsmulden, erhöht sich die magnetische Flussdichte in der Rohrwand und damit ändert sich in diesem Bereich die relative Permeabilität. Diese lokale Änderung der elektromagnetischen Eigenschaften wird über das Wirbelstromfeld erfasst. Die Amplitude der Signalanzeige korreliert mit dem Fehlervolumen.

2.2 Signaldarstellung

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen am Beispiel von außen und innen in der Rohrwand angebrachten Flachbodenbohrungen typische Signale, wie sie bei einer SLOFEC®-Prüfung auftreten. Die unterschiedliche Phasenlage der Anzeigen erlaubt die Unterscheidung zwischen Innen- und Außenschäden.

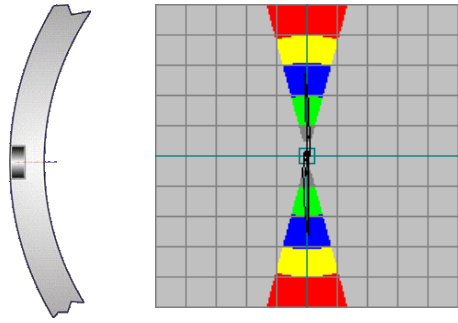


Abb. 4 Signalanzeige einer 40% tiefen Flachbodenbohrung auf der Rohraußenseite

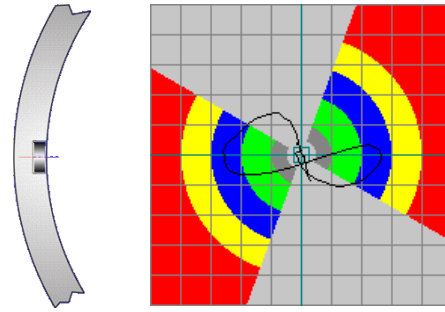


Abb. 5 Signalanzeige einer 40% tiefen Flachbodenbohrung auf der Rohrinneinnenseite

2.3 Einflussfaktoren und Signalanalyse

Das SLOFEC[®]-Verfahren ist ein vergleichendes Verfahren, d.h. dass die bei der Prüfung erhaltenen Anzeigen im Vergleich zu Anzeigen von bekannten Fehlern bewertet werden. Wie bei anderen Prüfverfahren unterliegt auch die SLOFEC[®]-Prüfung einigen Einflussfaktoren, die im Folgenden aufgezählt werden:

- Die elektromagnetischen Eigenschaften des zu prüfenden Werkstoffs
- Das Volumen der Schädigung
- Die Gestalt und die Ausrichtung der Schädigung
- Änderungen des Abstands zwischen Sensoren und Prüfoberfläche
- Abbildungsverhalten der Sensoren

Bei anderen Prüfaufgaben, z.B. der Tankbodenprüfung, ist es möglich, die Prüfergebnisse in Stichproben mittels anderer Verfahren zu überprüfen. Diese Möglichkeit existiert bei der Rohrleitungsprüfung praktisch nicht, weswegen insbesondere für diesen Anwendungsbereich erweiterte Analysetechniken entwickelt wurden. In aufwändigen Untersuchungen wurden repräsentative Fehler unterschiedlicher Geometrie in Platten eingebracht und die Signale ausgewertet. Dabei wurden auch die Einflussfaktoren variiert. Aus diesen Daten wurden dann generelle Zusammenhänge erfasst und in die Signalauswertung aufgenommen.

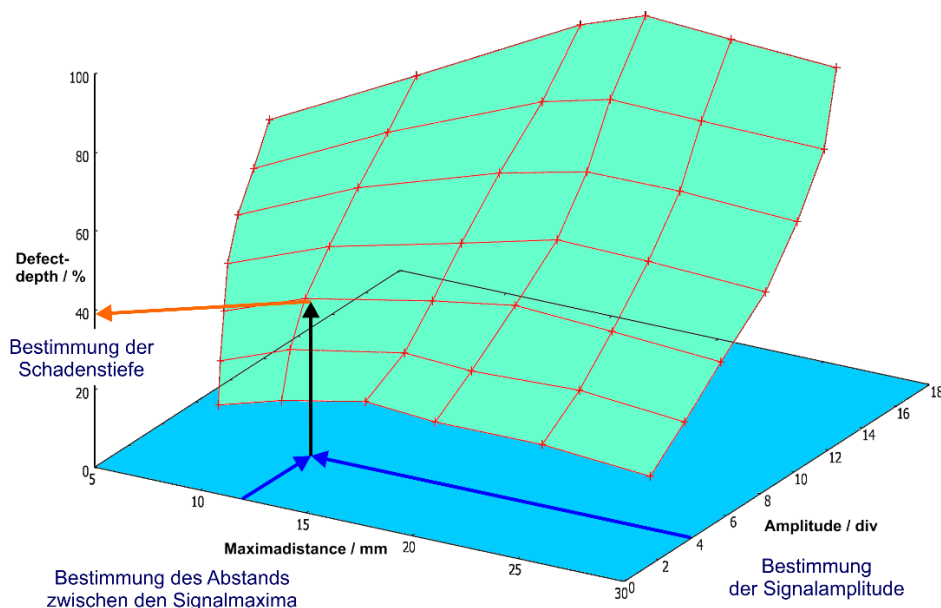


Abb. 10 Bestimmung der Schadenstiefe

Die am besten erfassbare Signalgröße ist die Amplitude, die mit dem Fehlervolumen korreliert. Aber auch die Ausdehnung in Sensorbewegungsrichtung, und z.T. auch quer dazu, liefert auswertbare Informationen. Damit hat man weitere geometrische Informationen, die zur Bestimmung der Wanddickenreduktion hinzugezogen werden können. Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang und die damit verbesserte Bestimmung der Schadentiefe.

3. Schadensbeispiel und Dokumentation

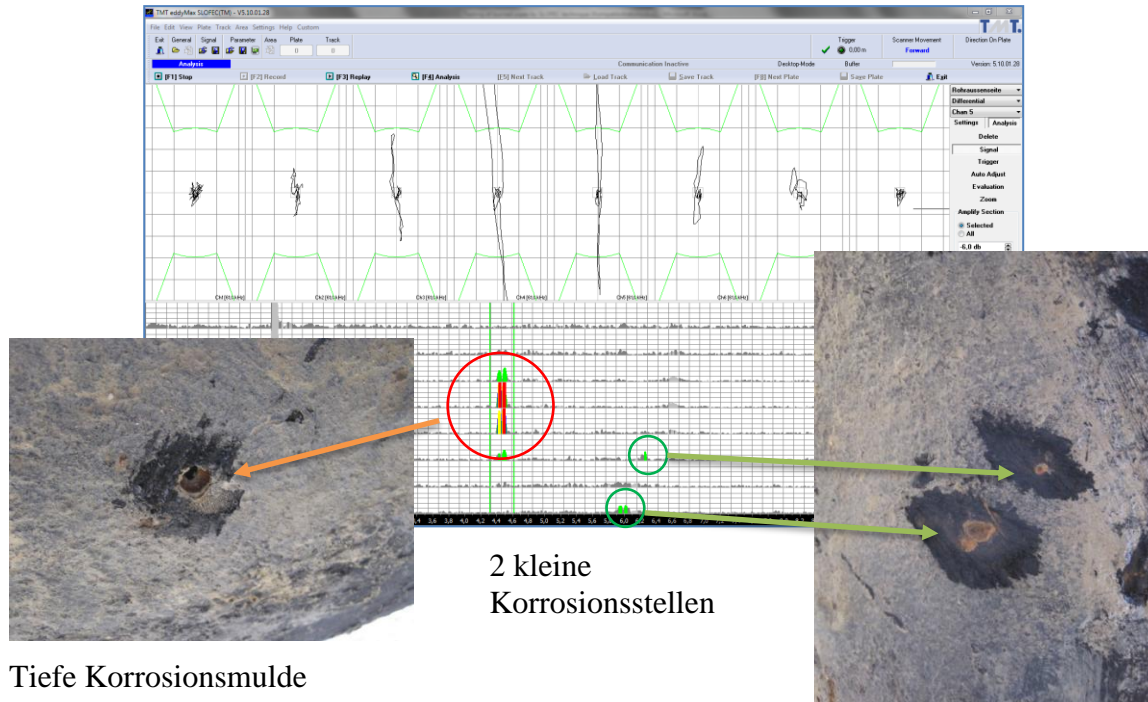


Abb. 11 Signale von Korrosionsmulden, von der Gegenseite erfasst

Abbildung 11 zeigt beispielhaft Signale, die von Korrosionsmulden auf der dem Prüfkopf gegenüberliegenden Seite einer Rohrwand herrühren.



Abb. 12 Auszug aus deiner Ergebnisdokumentation

Die Prüfergebnisse werden graphisch und tabellarisch ähnlich dem Beispiel in Abbildung 12 dokumentiert. Zur besseren Orientierung können Zeichnungen und Bilder der geprüften Anlagenteile in die Dokumentation eingefügt werden.

4. Zusammenfassung

Das SLOFEC®-Verfahren bietet auch nach über 20 Jahren im praktischen Einsatz immer noch Möglichkeiten, die Ergebnisse zu verbessern und neue Prüfaufgaben zu bewältigen. Dazu gehört neben der Weiterentwicklung der Software im Hinblick auf die Signalbewertung auch die Verbesserung und Weiterentwicklung der Prüfsensoren, der Prüfmechanik und der Antriebe. Ebenfalls bringen ergänzende Prüfverfahren zusätzlich Information über die geprüften Anlagenteile.

Referenzen

- [1] Testing of Buried Pipes by SLOFEC® Technique in Combination with a Motor-Driven Crawler System, Dipl.-Ing. Wilhelm Kelb, KontrollTechnik GmbH, 10th International Conference on NDE in relation to structural integrity for nuclear and pressurized components, 2013
- [2] Testing of buried pipes by the SLOFEC® technique, Dipl.-Ing. Wilhelm Kelb, KontrollTechnik GmbH, CEOCOR 2012 Luzern
- [3] Application of SLOFEC® and Laser Technology for Testing of Buried Pipes, Dipl.-Ing. Gerhard Scheer, TMT - Test Maschinen Technik GmbH, 19th WCNDT, Munich, 2016