

Betriebsüberwachung in Prozessanlagen mit Ultraschall

Ein Wanddicken-Messsystem zur Festinstallation an gefährdeten Stellen von Rohrleitungen

*Michael Platte,
Heinz-Peter Schäfer,
Peter Müller, Wuppertal
und Werner Thom-Kallen,
Gelsenkirchen*

Je nach den Betriebsbedingungen treten bei Rohrleitungssystemen an der Innenwand Korrosion und Erosion auf. Dabei sind insbesondere Rohrbögen, Einmündungen und Bereiche, in denen der Rohrquerschnitt reduziert wird, besonders gefährdet. Diese Stellen, die für Technik und Prüfpersonal schwer zugänglich sind, müssen im Rahmen der Betriebsüberwachung regelmäßig überprüft werden. Der Beitrag stellt ein festinstalliertes Ultraschall-Messsystem vor, das eine Übertragung der Messdaten mittels Kabelverbindung über eine Entfernung von bis zu 1200 m und die gleichzeitige Überwachung von bis zu 256 Messstellen erlaubt. Damit wird die Online-Überwachung der kritischen Bereiche von Rohrleitungssystemen ermöglicht.

Rohrleitungssysteme in Prozessanlagen der chemischen Industrie, zum Beispiel Raffinerien, unterliegen je nach Betriebsbedingungen, Rohrleitungswerkstoff sowie chemischer Aggressivität der darin transportierten Gase oder Flüssigkeiten an der Innenwand einer mehr oder minder starken Erosion und Korrosion. Beide Effekte treten in verstärktem Maße dort auf, wo die Strömungsgeschwindigkeit besonders hoch ist, eine Mehrphasenströmung auftritt oder eine erhöhte Konzentration an korrosiven Bestandteilen im Medium vorliegt. Besonders gefährdet sind daher insbesondere Rohrbögen, Stellen, an denen der Querschnitt einer Rohrleitung reduziert wird, oder Einmündungen weiterer Rohre, wenn dort der seitliche Zustrom in die Hauptstromrichtung umgelenkt wird.

Derart gefährdete Stellen müssen im Rahmen der Betriebsüberwachung meist in sehr kurzen Zeitabständen überprüft werden. Sie sind jedoch oftmals vom Prüfpersonal nur schwer zu erreichen, insbesondere wenn es sich um Rohrleitungen handelt, die nicht ebenerdig, sondern in einigen Metern Höhe verlaufen. Mitunter sind die zu überprüfenden Stellen auch erst bei Stillstand der Anlage oder nach teilweiser Demontage

umgebender Armaturen zugänglich. Für die kontinuierliche Betriebsüberwachung solcher Rohrleitungen besteht daher seit langem der Wunsch nach einer einfacheren Lösung dieser Messaufgabe.

Aufgabenstellung

An den als gefährdet erkannten und ausgewiesenen Messstellen sollte es möglich sein, Ultraschallsensoren zur Restwanddickenmessung fest zu installieren und so zu verkabeln, dass ihre Messwerte an einem leicht zugänglichen Ort jederzeit ausgelesen werden können. Dabei sollten Entfernungen von mindestens bis zu 100 Metern zwischen Messstelle und Ausleseort der Messergebnisse durch eine festverlegte Kabelverbindung zu überbrücken sein. Ein so aufgebautes Messsystem muss zum einen zuverlässig arbeiten, zum anderen muss sich die Anschaffung durch die damit verbundene Zeitersparnis des Prüfpersonals gegenüber der herkömmlichen, an jeder Messstelle manuell vorgenommenen Prüfung rechnen.

Bisherige Lösungsmöglichkeiten scheiterten sowohl an technischen Schwierigkeiten als auch am wirtschaftlichen Aspekt. Will man Wanddicken-

sensoren oder ganz allgemein Ultraschallprüfköpfe über ein bis zu 100 m langes Kabel mit einem zugehörigen Ultraschallwanddicken-Messgerät oder Ultraschall-Prüfgerät verbinden, so tritt zum einen eine beträchtliche Schwächung des Ultraschallsignals durch die kapazitive Belastung und Dämpfung des langen Kabels auf. Dem kann durch Erhöhung der Verstärkung nur entgegen gewirkt werden, solange man nicht in Nähe des elektronischen Rauschens gerät. Viel schlimmer wirken sich jedoch Kabelreflexionen aus: Sowohl der elektrische Sendeimpuls als auch das vom Prüfkopf erzeugte elektrische Empfangssignal breitet sich im Kabel mit einer Geschwindigkeit von etwa 10^8 m/s aus und wird zwischen beiden Enden des Kabels mehrfach hin und her reflektiert. Bei einem nur 10 m langem Kabel haben die einzelnen Reflexionen bereits einen Abstand von etwa 100 ns, das entspricht der halben Schwingungsdauer einer 5-MHz-Schwingung. Wie bei einer Ultraschallechofolge in einem dünnen Stahlblech überlagern sich auch die in einem Kabel mehrfach reflektierten elektrischen Signale. Dies führt dazu, dass das sonst schmal und steil anschwingende Signal eines Prüfkopfes, zum Beispiel ein Rückwandecho, lang-

sam anschwingt und mehrere Nachschwingungen erhält, wenn statt des vorgesehenen zum Beispiel 2 m langen Prüfkabels ein 50 m langes verwendet wird. Eine sichere und automatische Wanddickenmessung ist aber nur möglich, wenn das Rückwändecho hinreichend steil und schmal ist.

Der Einfluss von Kabelreflexionen ist umso stärker, je höher die Prüffrequenz und je länger das Prüfkabel ist. Um über eine bis zu 100 m lange Kabelverbindung zwischen Prüfkopf und Prüfgerät Wanddickenmessungen durchzuführen, müssen daher in jedem Fall mindestens der elektrische Sender und ein Vorverstärker für das Empfangssignal in unmittelbarer Nähe des Prüfkopfes angebracht werden. Der Ausgang des Vorverstärkers müsste dabei sorgfältig auf die elektrische Kabelimpedanz abgeglichen sein, um Kabelreflexionen zu vermeiden, und der Sender müsste von der entfernt angebrachten Ultraschallprüfelektronik getriggert und mit Strom versorgt werden. Die Ultraschallprüfelektronik müsste in ihren Funktionen einem mehrkanaligen Ultraschallgerät mit Wanddickenmessfunktion entsprechen, um gleichzeitig mehrere Messstellen anschließen zu können. Bei Verwendung eines nur einkanaligen Prüfgerätes wäre mindestens ein Messstellenumschalter erforderlich. Mit herkömmlichen Prüfgeräten ist eine feste Installation von Prüfköpfen an entfernt gelegenen Messstellen daher zu aufwendig und zu umständlich.

Konzept des neuen Wanddicken-Messsystems

Das neu entwickelte Messsystem zur Wanddickenmessung an zu überwachenden Stellen von Rohrleitungssystemen geht davon aus, an jeder Messstelle in unmittelbarer Nähe des Ultraschallsensors eine dazu gehörige eigenständige Elektronik (Bild 1, rechts) anzubringen, die alle Funktionen eines herkömmlichen Wanddickenmessgerätes beinhaltet. Dazu gehört der elektrische Sender, ein tiefenabhängiger, geregelter Verstärker, Zählerfunktionen zur genauen Zeitmessung, ein Mikroprozessor zur Auswertung und Datenverarbeitung, sowie ein Schnittstellentreiber zur Ansteuerung einer Datenleitung und zur Datenübertragung.

Im Gegensatz zum handbetriebenen Wanddickenmessgerät benötigt diese Elektronik jedoch keinerlei Anzeigeelement, an dem der ermittelte Wanddickenmesswert mit dem Auge abgelesen werden kann. Statt dessen wird das in mm Wanddicke vorliegende Resultat der Messung ausschließlich digital über eine genormte serielle Zweidraht-Datenleitung an ein entfernt liegendes

Datensichtgerät (Bild 1, links "ECHO-METER") übertragen, an dem die Wanddicken abgelesen und weiter protokolliert werden können.

Die Datenübertragung erfolgt mit einer hinreichend hohen Geschwindigkeit (4800 Baud = Bit pro Sekunde), um alle Messwerte online und ohne Zeitverzögerung zu übertragen. Da es sich bei dem zu übertragenden elektrischen Signal außerdem um ein verhältnismäßig langsames digitales Datensignal und nicht mehr um ein hochfrequentes Ultraschallsignal handelt, spielt die Kabellänge keine Rolle mehr. Die digitalen Signale können über Kabellängen von bis zu 100 m übertragen werden, wenn die Datenschnittstelle nach dem RS232-Standard ausgelegt wird. Bei einer Datenschnittstelle nach dem RS485-Standard können bis zu 1200 m überbrückt werden.

Bild 2 zeigt das an eine Rohrleitung angeflanschte Messsystem. Der Ultraschallsensor befindet sich in einer pro-

das Schutz gegen Feuchtigkeit und Regenwasser entsprechend IP 65 bietet. Da die innen untergebrachte Elektronik weit weniger Raum einnimmt, könnte das Gehäuse auch weiter verkleinert werden, wenn dies aus Platzgründen bei der Montage an einer Rohrleitung erforderlich sein sollte.

Zur Anschauung befindet sich in Bild 2 unmittelbar neben dem Prüfkopf und der Wanddickenelektronik auch noch das Datensichtgerät aus Bild 1, auf dem der an der Messstelle ermittelte Wanddickenwert mit einer Auflösung von 0,1 mm angezeigt wird. Die hier verwendete Datenschnittstelle ist nach dem RS232-Standard aufgebaut. Das Datensichtgerät könnte sich daher in bis zu 100 m Entfernung befinden.

Das ebenfalls witterungsfeste Verbindungskabel zwischen der am Rohr in Nähe des Prüfkopfes befindlichen Wanddickenelektronik und dem Datensichtgerät ist vieradrig ausgelegt, so dass zwei Adern zur Stromversorgung



Bild 1. Wanddickenelektronik (rechts) und einfaches Datensichtgerät (links)

matischen Halterung und wird mit Hilfe eines Spannbandes aus Edelstahl dauerhaft mit hohem Druck an die Außenoberfläche des Rohres bzw. an die Messstelle angepresst. Zur akustischen Ankopplung wird ein spezielles Koppelmittel verwendet, das sich aufgrund seines extrem niedrigen Dampfdrucks auch unter Temperatureinwirkung nicht verflüchtigt und eine dauerhafte Ankopplung über mehrere Jahre ermöglicht.

Der Prüfkopf ist über ein kurzes witterungsfestes Kabel mit druck- und wasserdichten Schraubsteckverbindern an die Wanddickenelektronik angeschlossen. Diese ist hier in einem ca. 120 x 65 x 40 mm³ großen, stabilen Aluminiumgussgehäuse untergebracht,

benutzt werden können. Zur Stromversorgung wird lediglich eine Niederspannung von + 5 V benötigt. Sie wird vom Datensichtgerät geliefert: Sobald das Datensichtgerät eingeschaltet wird, beginnt auch die entfernt gelegene Wanddickenelektronik zu arbeiten und Wanddickenmesswerte über die Datenleitung zu übertragen.

Sollen nun in einer Prozessanlage mehrere Messstellen installiert werden, so empfiehlt sich, die Datenschnittstellen der einzelnen zugehörigen Wanddickenelektroniken im RS485-Format auszulegen. Damit sind zum einen Kabellängen von bis zu 1200 m möglich, so dass die Daten zu einem weit entfernt liegenden zentralen Prozessleitstand übertragen werden können. Zum ande-

Bild 2. Messstelle mit festinstalliertem Wanddickenprüfkopf, Wanddickenelektronik und Datensichtgerät



ren können in diesem Schnittstellenstandard die einzelnen Messstellen einfach per Vierdrahtleitung seriell miteinander verbunden und an eine einzige Empfangsstelle angeschlossen werden. Diese kann im einfachsten Fall ein Datensichtgerät wie in Bild 1 und 2, aber auch ein PC sein. Alle Messstellen können von der Empfangsstelle aus adressiert werden, so dass immer nur die gerade aufgerufene Messstelle Daten sendet. Bis zu 256 Messstellen können auf diese Weise an ein und dieselbe Empfangsstelle angeschlossen werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte neue Wanddicken-Messsystem zur Festinstallation an gefährdeten Stellen von Rohrleitungen kann einerseits bei bereits bestehender Festlegung der Prüfintervalle den Zeitaufwand zur Durchführung der Prüfung auf ein Minimum reduzieren. Andererseits kann das System aber auch zu noch mehr Sicherheit beitragen, da praktisch ohne weiteren Zeitaufwand auch viel kürzere Prüfintervalle möglich sind und im Extremfall sogar eine kontinuierliche Überwachung vorgenommen werden kann.

Der in Bild 2 gezeigte Prüfkopf ist gegenüber Temperaturen bis 80°C, die Wanddickenelektronik gegenüber Temperaturen bis zu 50°C dauerbeständig, so dass auch eine Überwachung heißer Rohrleitungen möglich ist. Werden höhere Temperaturen erwartet, sind Sonderausführungen möglich. Beim Aufbau des Prüfkopfes, der Wanddickenelektronik und der Stromversorgung (Niederspannung) wurden konstruktiv auch bereits Aspekte der Eigensicherheit berücksichtigt, so dass nach einem entsprechenden Prüfungsverfahren auch

eine Zulassung für Ex geschützte Zonen, zum Beispiel im Bereich von Raffinerien, mit einem überschaubaren Aufwand denkbar ist.

In einem Dauer-Feldversuch unter natürlicher Bewitterung, bei dem sowohl extreme Sonneneinstrahlung als auch ausgiebige Frost- und Regenperioden auftraten, arbeitet das in Bild 2 gezeigte System inzwischen seit über einem Jahr zuverlässig. Weitere Festinstallationen in einem Chemie-Anlagensystem sind zur Zeit geplant bzw. auch schon bereits in Erprobung.

Summary

Ultrasonic Supervision of Plants in the Petrochemical Industry: A Wall-Thickness Measuring System for a Fixed Installation at Endangered Locations of Piping. Depending on the chemical and physical composition of the transported gaseous or fluid media, their velocity and other circumstances, piping in the petrochemical industry are oftentimes subject to a considerable and permanent wear caused by corrosion and erosion at the inner surface. Locations, where extended wear is expected, must be regularly inspected at short intervals. Most often however, the endangered locations are hard to reach for instrument and personnel. In this paper, a new wall thickness measurement system is described, which is permanently mounted to the outer surface of a pipe and, thus, can monitor the wall thickness at fixed locations permanently. The system consists of a special ultrasonic transducer, permanently coupled to the pipe wall, and an electronic circuit placed nearby. The latter works like a remote thickness gauge and transfers digital thickness values via a serial interface to any desirable location, which may be as far as 1200 meter away. Up to 256 such systems can be connected to a network. Each wall thickness system of this network has its own identification and can be addressed, so that thickness readings of 256 different measuring locations can be transferred to a common distant place, where they are recorded and evaluated.

Die je Messstelle zu installierende Wanddickenelektronik ist im übrigen ähnlich aufgebaut wie ein modernes, in großen Stückzahlen und unter besonderen wirtschaftlichen Aspekten gefertigtes Wanddickenmessgerät. Daher dürfte sich die entsprechend geringe Investitionshöhe auch für Festinstallationen in Prozessanlagen schon nach kurzer Zeit rechnen.

Die Autoren dieses Beitrags

Dr. rer. nat. Michael Platte, Jahrgang 1953, ist technischer Leiter bei Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal.

Dipl.-Ing. Heinz-Peter Schäfer, Jahrgang 1945, ist Entwicklungsingenieur im Bereich elektronische Seriengeräte der Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal.

Peter Müller, Jahrgang 1948, ist Techniker im hauseigenen anwendungstechnischen Labor der Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal.

Dipl.-Ing. Werner Thom-Kallen, Jahrgang 1960, studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und ist seit 1990 für die VEBA OEL AG in Gelsenkirchen tätig. Der Werkstoffingenieur ist Sachgebietsleiter Werkstofftechnik in der Abteilung Anlagenüberwachung und unter anderem zuständig für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung.