

Optische Sensoren zur Gefährdungs-erkennung für Rohrleitungen

Pipelinesicherheit ■ Verteilte optische Sensoren werden zur Leckerkennung an sensiblen Rohrleitungen eingesetzt. Darüberhinaus können sie die Erkennung von Gefährdungen durch Aktionen Dritter sowie von Erdbewegungen unterstützen.

In den letzten Jahrzehnten ist ein rückläufiger Trend aller bekannt gewordenen und statistisch erfassten Leckagen bei Rohrleitungen zu verzeichnen. Dabei zeigen die verfügbaren Statistiken jedoch auch klar auf, dass der größte Anteil der verbliebenen Pipelineunfälle auf Fremdeinwirkungen basiert. Klassische Leckerkennungssysteme stoßen hier an ihre Grenzen, da erst mit dem Eintritt einer Leckage eine Leckerkennung und Ortung möglich ist. Eine Bedrohungsabwehr vor dem Schadensfall ist so unmöglich.

Lichtwellen-Leiter (LWL)-Kabel haben sich beim Rohrleitungsbau als Pipeline-Begleitkabel für die Telekommunikation und Fernwirktechnik schon über viele Jahre etabliert. Dieselben Lichtwellen-Leiter können als glasfaserbasierte Linien-Sensoren eingesetzt werden, die in Echtzeit physikalische Effekte wie Temperaturänderungen, Vibrationen, aber auch Schallwellen und anliegende Zugkräfte entlang der Pipelinetrasse kontinuierlich erfassen.

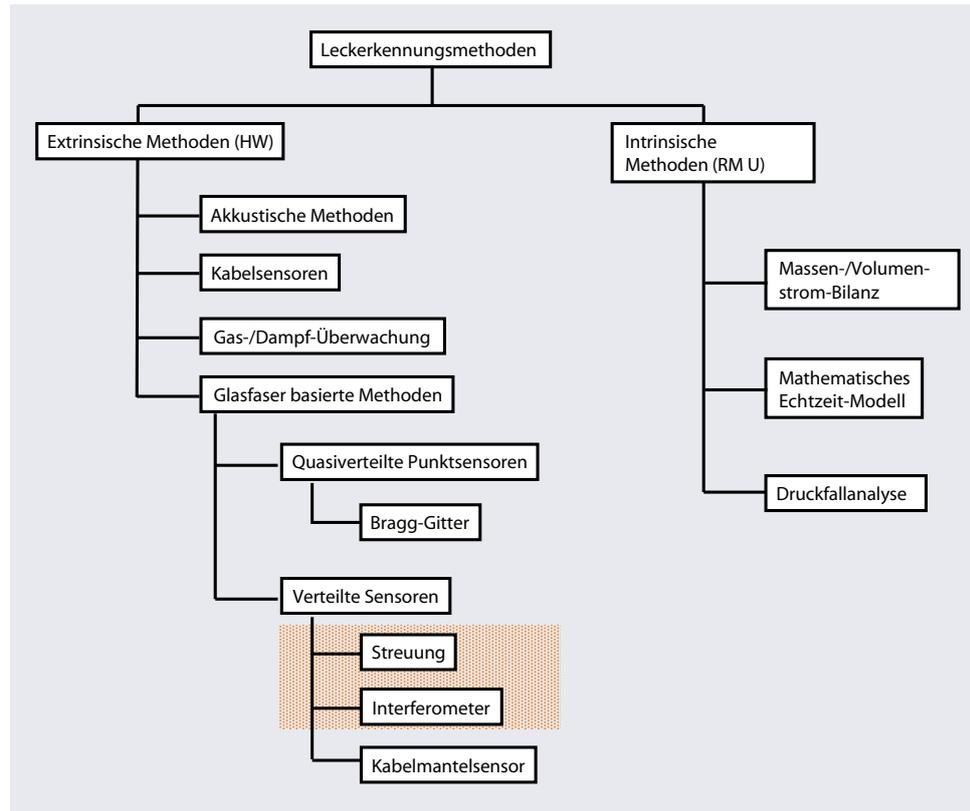


Abb. 1 Systematik von Leckerkennungssystemen, in Anlehnung an [5]

Vorbeugend kann so ein automatisches System für die Echtzeitüberwachung der Integrität der Pipelinetrasse auf-

gebaut werden. Damit lassen sich sowohl eventuell auftretende Leckagen, als auch die Annäherung und das

Arbeiten von Baumaschinen sowie Setzbewegungen des umgebenden Erdreichs automatisch meteregenau er-

Unbeheizte Öl-Leitungen	1971-1980		1981-1990		1991-2000		2001-2006		2007	
	Lecks pro 1.000 km	%								
Fremdverschulden	0,31	41%	0,19	38%	0,14	40%	0,14	44%	0,20	77%
Natural	0,04	5%	0,02	4%	0,01	3%	0,01	2%	0	0%
Korrosion	0,12	16%	0,12	24%	0,07	20%	0,06	20%	0,06	23%
Menschliches Versagen	0,06	8%	0,06	12%	0,03	9%	0,01	3%	0	0%
Technisches Versagen	0,23	30%	0,11	22%	0,10	29%	0,10	31%	0	0%
	0,76	100%	0,5	100%	0,35	100%	0,31	100%	0,26	100%

Tabelle 1 CONCAWE-Report, Leckageursachen 1971-2007, nach [3]

kennen. Auf dieser Basis kann der Rohrleitungsbetreiber in vielen Fällen Gegenmaßnahmen ergreifen, bevor es zu einem Schadensfall kommt. Bei der Planung derartiger Überwachungssysteme sind Messtechnik, Kabelkonstruktion und Kabelpositionierung sorgfältig auf das Projekt abzustimmen.

Anforderungen

Rohrleitungen für die unterschiedlichsten Medien wie Öl, Gas und viele andere Stoffe zählen zu den unverzichtbaren Komponenten jeder modernen Infrastruktur. Obwohl Rohrleitungen als hoch effiziente und sichere Transportlösung bekannt sind, gibt es verschiedentlich Bedenken über potenzielle Leckagen und deren Einfluss auf Bevölkerung und Umwelt, was Widerstände gegen die Errichtung neuer Leitungen hervorruft. Um diesen Bedenken zu begegnen und den sicheren Betrieb von Rohrleitungen sicherzustellen, haben heute alle Länder entsprechende Gesetze und Richtlinien erlassen (z. B. [1, 2]). In allen Fällen wird darin gefordert, dass die folgenden Prinzipien bei der Realisierung und dem Betrieb Anwendung finden:

- Hohe Qualitätsstandards bei Planung, Bau und Betrieb der Rohrleitung sind zu gewährleisten, um Leckagen und andere Schäden an der Rohrleitung bereits im Vorfeld zu verhindern (Primäre Sicherheit).
- Die Auswirkungen auf Bevölkerung und Umwelt sind im unwahrscheinlichen Fall einer Leckage mit Hilfe von zuverlässigen und sensiblen Leckerkennungssystemen sowie im Zusammenspiel mit wirksamen Alarm-Einsatzplänen zu minimieren (Sekundäre Sicherheit).

Um diese sekundäre Sicherheit zu gewährleisten, werden zumeist zwei unabhängige, kontinuierlich arbeitende Leckerkennungsmethoden gefordert, die im stationären Betrieb aktiv sein müssen. Zusätzlich muss eines dieser Systeme auch während des instationären Betriebes oder im Stillstand in der Lage sein, Leckagen erkennen zu können. Darüber hinaus muss auch ein automatisches Leckortungssystem mit ausreichender Genauigkeit zur Ver-

fügung stehen, um im Schadensfall zielgerichtet Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Rechnergestützte mathematische Überwachungssysteme (RMÜ) für die Leckerkennung und Ortung entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Diese Systeme erhalten über das Prozess-Leitsystem der Rohrleitung alle relevanten Prozess-Messdaten (wie z. B. Druck, Durchfluss und Temperatur) und analysieren damit in Echtzeit den Zustand der Rohrleitung. Damit lässt sich das hydraulische Verhalten des transportierten Mediums bestimmen. Bei Auftreten von daraus abgeleiteten Anomalien lassen sich so Leckagen erkennen und lokalisieren. Eine besondere Herausforderung stellen dabei jedoch die instationären Betriebszustände einer Rohrleitung dar, welche sich mit diesen Methoden nur sehr schwer überwachen lassen.

Als Ergänzung dieser intrinsischen (auf Prozessmessdaten basierenden) Leckerkennungssysteme wurden in den letzten Jahren zahlreiche andere – auf verschiedenen physikalischen Effekten basierende – extrinsische Systeme bekannt. Aus dieser Vielzahl stechen die verteilten faseroptischen Detektionssysteme heraus, da sie die Beobachtung sehr großer Rohrleitungsabschnitte (bis zu 30 Kilometer) mit hoher lokaler Auflösung (auf wenige Meter genau) ohne aktive Komponenten ermöglichen und so der hochgradig verteilten Struktur von Rohrleitungen entgegenkommen. Die folgenden Ausführungen stellen die wesentlichen technischen Grundlagen, sowie eine Übersicht über Anwendungen und Planungsüberlegungen vor, wobei zunächst die wesentlichen Ursachen für Rohrleitungsleckagen aus aktuellen Statistiken abgeleitet werden.

Aktuelle Leckagestatistiken für Öl- und Gas-Rohrleitungen

Die CONCAWE (Europäische Vereinigung der Öl Industrie für Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie Sicherheit in Raffinerie und Transport) sammelt seit 1971 Daten über Leckagen bei europäischen Öl-Rohrleitungen (**Tabelle 1**). Ungefähr 70 Firmen und Organisationen, die Öl-Rohrleitungen in Europa betreiben, liefern ihre Daten für den jährlichen Report von CONCAWE [3]. Diese Organisationen betrieben im ►

Serie 19

Der Steckfitting



PLASSON Steckfittings Serie 19

Das Programm, mit dem Sie auf der sicheren Seite sind.

Ihr Informationspaket liegt für Sie bereit: 02 81 / 9 52 72-0.

PLASSON[®]

PLASSON GmbH
Krudener Weg 29 · 46485 Wesel
Telefon: (02 81) 9 52 72-0
Telefax: (02 81) 9 52 72-27
E-Mail: info@plasson.de
Internet: www.plasson.de

Jahr 2007 über 150 Rohrleitungssysteme mit einer Gesamtlänge von 34.721 Kilometer.

CONCAWE berichtet von neun Leckagen im Jahr 2007. Dies entspricht 0,26 Leckagen pro 1.000 Kilometer und bleibt damit knapp unter dem Fünf-Jahres-Mittel. Der langjährige Mittelwert von 0,55 Leckagen pro 1.000 Kilometer wurde erheblich unterschritten und konnte seit Mitte der 70er-Jahre von einem Startwert von 1,2 Leckagen pro 1.000 Kilometer beständig minimiert werden. Von den neun berichteten Unfällen im Jahre 2007 wurden nur zwei durch Korrosion und sieben durch Aktivitäten Dritter (zufällig oder absichtlich) verursacht. Im Bericht von 2006 war von insgesamt 12 Leckagen die Hälfte auf technisches Versagen, zwei auf Korrosion und vier auf Aktivitäten Dritter zurückzuführen.

Die technische Entwicklung sowie stark verbesserte Wartungs- und Betriebsverfahren entsprechend dem beständig fortschreitenden Stand der Technik haben zu dieser enormen Reduzierung der Leckagen im Vergleich zum Ausgangspunkt vor nunmehr 40 Jahren beigetragen. Trotz aller Maßnahmen zum verbesserten Schutz entlang der gesamten Rohrleitungstrasse verbleiben die Aktivitäten Dritter auf Dauer als Hauptgrund für Leckagen.

Eine sehr ähnliche Statistik wird von der „European Gas Pipeline Incident Data Group“ (EGIG) regelmäßig für Gas-Rohrleitungen veröffentlicht [4], (Tabelle 2). Gasleitungsbetreiber aus 15 europäischen Ländern sammeln hierfür jährlich Leckagedaten für in Summe nahezu 130.000 Kilometer. Die Analyse dieser Daten soll Einsichten darüber vermitteln, auf welche Schadensursache die Schadensvermeidungsaktivitäten konzentriert werden sollten.

Eine der Folgerungen des siebten EGIG Berichts weist darauf hin, dass die Aktivitäten Dritter insgesamt die häufigste Ursache für Leckagen sind. Dies trifft auch auf die letzten fünf Jahre zu, in denen alleine 48% aller Leckagen auf Aktivitäten Dritter zurückgeführt werden müssen. Der insgesamt sehr hohe Anteil von nicht in Rohrleitungstechnik,

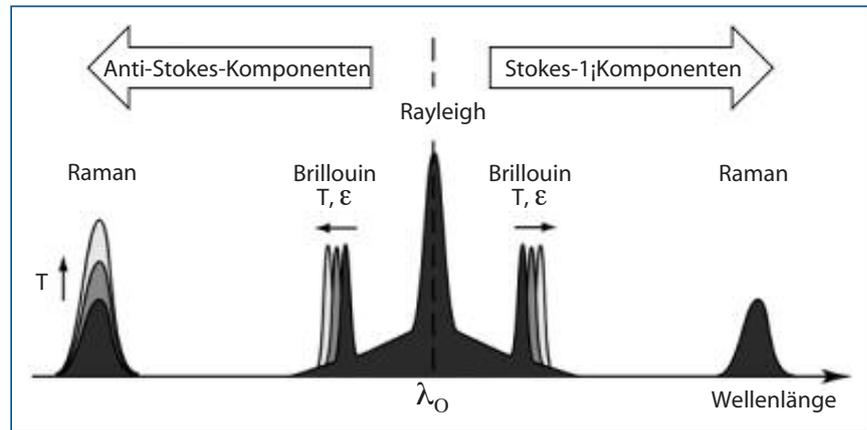


Abb. 2 Streuungseffekte in Glasfasern, nach [6]

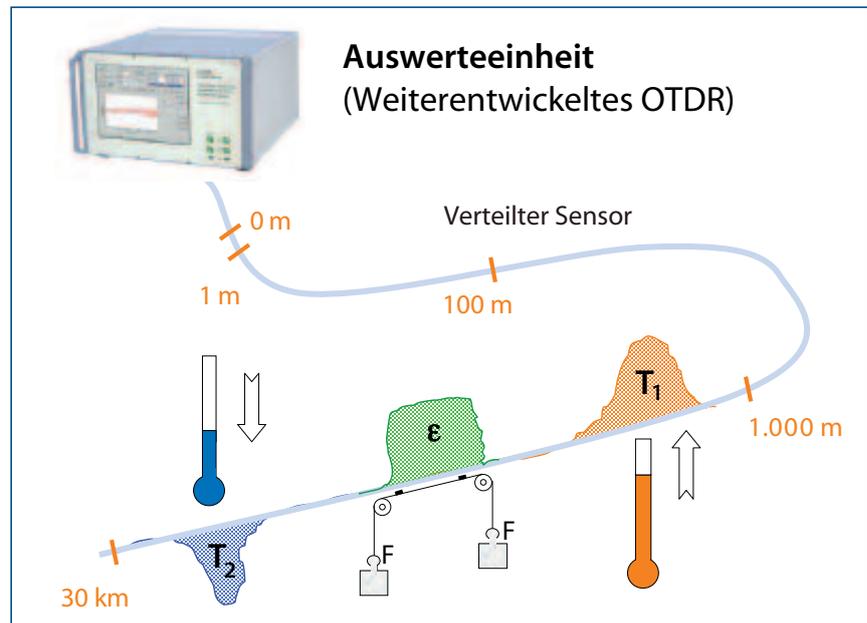


Abb. 3 Messung von Temperatur und Dehnung mit einer Glasfaser, nach [7]

Ursache	Gesamtanteil [%]
Fremdverschulden	49,6
Konstruktiver Fehler/Materialfehler	16,5
Korrosion	15,4
Erdbebewegungen	7,3
Unbeabsichtigter Anstich	4,6
Andere und unbekannte Gründe	6,7

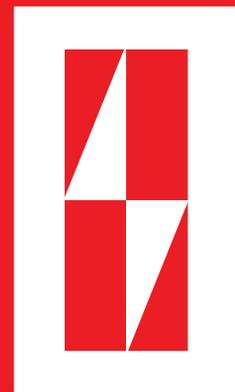
Tabelle 2 7th EGIG Report, Leckageursachen, nach [4]

-wartung oder -betrieb begründeten Schadensursachen erfordert zusätzliche Maßnahmen zur Schadensvermeidung. Neben der reinen Erkennung von Leckagen müssen auch Wege gefunden werden, mit denen entlang der gesamten Rohrleitung Aktivitäten Dritter oder andere externe Ursachen, die die Inte-

grität der Rohrleitung gefährden, so frühzeitig erkannt werden können, dass rechtzeitig Maßnahmen zur Verhinderung der Leckagen ergriffen werden können.

Methoden zur kontinuierlichen Überwachung von Rohrleitungen

Jedes Leckererkennungssystem ist Be-



standteil der sekundären Sicherheitsmaßnahmen für Rohrleitungen und dient damit dazu, die negativen Auswirkungen auf Bevölkerung und Umwelt durch frühzeitige Leckageerkennung und -lokalisierung (innerhalb von Sekunden bis zu wenigen Minuten nach dem Schadensereignis) zu minimieren. Dafür können nur Systeme eingesetzt werden, welche die Rohrleitung kontinuierlich überwachen. Andere Methoden, wie zum Beispiel das intelligente Molchen oder das Ablaufen oder Befliegen des Rohrleitungsschutzstreifens, weisen zu hohe Reaktionszeiten (Tage, Wochen) auf und sind deshalb typischerweise nur für die Analyse langsamer Veränderungen des Integritätsstatus oder Gesamtzustandsaufnahmen geeignet.

Generell werden intrinsische und extrinsische Leckerkennungsmethoden unterschieden (Abb. 1). Intrinsische rechnergestützte Überwachungsmethoden sind Stand der Technik und nutzen die bereits in der Rohrleitung installierten Instrumente und die von ihnen generierten Echtzeit-Prozessdaten im SCADA-Leitstand, um mit Hilfe mathematischer Algorithmen leckagebedingte Anomalien und deren Lokation zu bestimmen. Sie sind somit vollständig in das SCADA-System integriert und fokussieren sich auf Massen- oder Volumenstrombilanzen und Druckfallanalysen oder vergleichen in Echtzeit den messtechnisch erfassten realen Prozess mit einem mathematischen Online-Modell. Im Gegensatz dazu erfordern extrinsische Leckerkennungssysteme stets die Installation zusätzlicher Sensoren und der zugehörigen Auswertelektronik entlang der Rohrleitung. Die meisten bekannten Systeme nutzen einen oder mehrere der nachfolgend aufgeführten extrinsischen Effekte von Leckagen:

- Geräusche,
- ausgelaufenes Medium,
- Veränderung der Erdtemperatur durch auslaufendes Medium,
- Veränderung der Erdtemperatur durch die Entspannung austretenden Gases (starker Abkühlungseffekt durch Joule-Thompson-Effekt).

In jedem Fall werden finanzierbare und betreibbare Lösungen benötigt, die es vermeiden, eine große Vielzahl einzelner

Sensoren entlang der räumlich stark verteilten Rohrleitungen zu installieren.

Akustische Methoden nutzen die Wellenleitungseigenschaften der Rohrleitung. Hier werden Mikrofone entlang der Rohrleitung in größerer Entfernung installiert, um so beispielsweise das durch den Zusammenstoß von Baggerschaufeln mit der Rohrleitung erzeugte Geräusch aufzuzeichnen. Aufgrund der von benachbarten Mikrofonen ermittelten Laufzeitunterschiede lässt sich so leicht die Lokation der Baggeraktivitäten ermitteln.

Kabelsensoren sind typischerweise metallische Kabel, die so entlang der Rohrleitung installiert werden, dass ausgelaufenes Medium das Kabel benetzen muss. Der Kabelmantel reagiert auf dieses Medium durch lokale Änderung der elektromagnetischen Eigenschaften des Kabels. So lässt sich die Lokation des ausgelaufenen Mediums ermitteln. Ähnliche Lösungen werden auch auf Basis von Glasfaserkabeln angeboten. Meist sind die Veränderungen im Kabelmantel nicht reversibel und so muss das Kabel in der betroffenen Sektion nach einem Alarm ausgetauscht werden. Der Eintrag von Kohlenwasserstoffen z. B. durch Dünger muss bei Kohlenwasserstoffsensiblen Kabeln vermieden werden.

Mit Hilfe von porösen Schnüffelschläuchen werden austretende oder durch Verdampfung des austretenden Mediums entstandene Gase gesammelt. In regelmäßigen Abständen wird die Luft aus diesen Schläuchen durch kontinuierliche Gas-Analysatoren abgepumpt, wodurch sowohl Aussagen über Größe als auch Lokation einer eventuellen Leckage gewonnen werden können. Diese Systeme erfüllen die Anforderung an ein Online-System nur bedingt, da zur Sicherstellung einer hinreichenden Gaskonzentration der Inhalt des Schnüffelschlauches nur in größeren Zeitintervallen analysiert werden kann.

Die meisten der vorgenannten Systeme erfordern neben der Installation der Sensoren zusätzlich Auswertegeräte mit zugehörigen Strom- und Kommunikationsanschlüssen im Abstand von wenigen hundert Metern bis zu ►

wenigen Kilometern. In quasiverteilten optischen Sensoren werden mehrere glasfaserbasierte Bragg-Gitter, die jeweils Punktsensoren für Temperatur oder Dehnung darstellen, durch eine längere Glasfaser verbunden. Da die Anzahl der in einer Glasfaser integrierten Punktsensoren durch die Auswertegeräte beschränkt ist, können so entweder kürzere Strecken mit guter örtlicher Auflösung oder längere Strecken mit schlechter örtlicher Auflösung realisiert werden. Somit ist diese Technologie nur bedingt für die Leckage-Erkennung in langgestreckten Rohrleitungen geeignet.

Im Gegensatz dazu ermöglichen verteilte Glasfasersensoren die Überwachung von typischerweise bis zu 30 Kilometer langen Rohrleitungsabschnitten von einer einzigen Auswerteeinheit aus, ohne dass auf dieser Strecke irgendwelche zusätzlichen Installationen außer dem Sensorkabel erforderlich wären. Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten technischen Konzepte dieser verteilten Glasfasersensoren kurz vorgestellt. Für eine nahezu vollständige Übersicht aller Leckage-Erkennungsverfahren wird auf [5] verwiesen.

Glasfaserkabel als verteilte Sensoren

Standard-Glasfaserkabel werden heute zur Übertragung von Sprache, Video und SCADA-Daten über längere Strecken zwischen den verschiedenen abgesetzten Stationen einer Pipeline eingesetzt. Die Glasfasern dieser Standardkabel sind, wie nachfolgend dargestellt, sehr gut geeignet, um verschiedene physikalische Effekte entlang der gesamten Faser gleichzeitig und mit hoher absoluter wie auch lokaler Genauigkeit zu erfassen.

Streuungseffekte

Glasfaserkonstruktionen vermeiden Streuungseffekte, um so eine möglichst geringe Dämpfung erzielen und möglichst lange Strecken überbrücken zu können. Wie in [6] näher dargestellt, konnte dennoch nachgewiesen werden, dass die verbliebenen Streuungseffekte von Umgebungsparametern (Temperatur [T], Dehnung [ϵ]) der Glasfaser abhängig sind und gemessen werden können

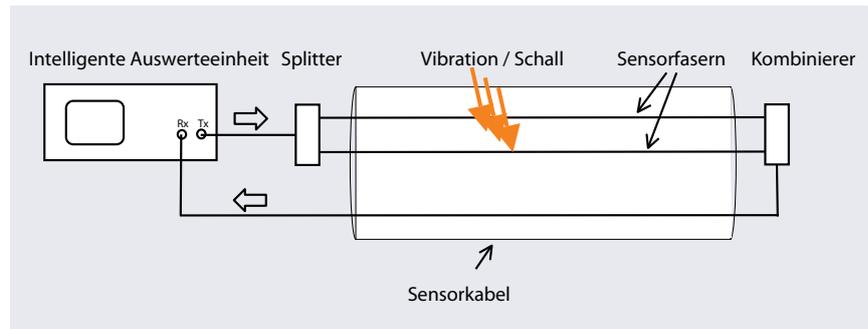


Abb. 4 Interferometer zur Erfassung von Vibrationen und Schall, nach [8]

(Abb. 2). Drei verschiedene Arten von Streuung sind dabei zu berücksichtigen.

Rayleigh Streuung: Diese elastische Streuung von Licht basiert auf Dichte- und Strukturunregelmäßigkeiten im Glasfasermaterial und ist nicht sensibel für Umgebungsbedingungen.

Raman Streuung: Eine inelastische Streuung von Photonen aufgrund molekularer Vibrationen im Glasfasermaterial; die Amplitude der molekularen Vibrationen und damit auch des rückgestreuten Signals wird durch die Umgebungstemperatur beeinflusst.

Brillouin Streuung: Durch zeitlich veränderliche Dichteänderungen des Glasfasermaterials verursachte Streuung. Die Wellenlänge des rückgestreuten Signals ist veränderlich und sowohl von der Umgebungstemperatur als auch der Materialdehnung beziehungsweise Materialvibrationen abhängig.

Zur Messung dieser Effekte werden weiterentwickelte OTDR-Geräte (optische Reflektometer mit Analyse im Zeitbereich) eingesetzt. Diese Auswertegeräte senden kurze Laserimpulse in die Glasfaser und analysieren die durch Laufzeit und Abstand korrelierten Rückstreuungen in Bezug auf Frequenz und Amplitude der gewünschten Streuungseffekte. In Konsequenz wird es so möglich, Temperatur und Dehnung entlang der gesamten Glasfaser mit einer räumlichen Auflösung entsprechend der räumlichen Ausbreitung des kurzen Laserimpulses zu ermitteln (Abb. 3).

Eine Vielzahl von Produkten ist mittlerweile auf dem Markt verfügbar. Die beste erzielbare Temperaturauflösung liegt im Bereich von 0,1K, während sich die Dehnungsauflösung im Bereich von $20\mu\epsilon$ bewegt. In beiden Fällen ist eine

örtliche Auflösung bis in die Größenordnung von einem Meter möglich. Stets steigt mit erhöhter Anforderung an die Auflösung auch die Dauer der Messung. Der absolute Messbereich wird wesentlich durch die Sensorkabelkonstruktion beeinflusst. Es ist daher unerlässlich, das gesamte Messsystem inklusive Sensor und Auswertungssystem auf die jeweilige Anwendung zu adaptieren. Die maximale auswertbare Kabellänge von typischen Brillouinbasierten Systemen liegt im Bereich von 20 bis 30 Kilometern.

Auf Brillouinstreuung basierende Temperatursensoren können mit den typischen Kabelkonstruktionen der Telekommunikationstechnik gut gemessen werden, da diese die Glasfaser von jeglichen externen Dehnungseinflüssen isolieren. Die Messung der Dehnung erfordert demgegenüber meist eine Spezialkonstruktion aus mindestens zwei Fasern: eine Faser in Kopplung mit Mantel oder Zugelement des Kabels zur Aufnahme der zu messenden Dehnung und eine zweite dehnungsentkoppelte Faser zur Erfassung und rechnerischen Kompensation der Temperatur. Bei entsprechend schneller Auswertung können basierend auf dieser Dehnungsmessung auch Vibrationen erfasst werden.

Interferometer

Eine Glasfaserkonstruktion in Form eines Mach-Zehnder-Interferometers erlaubt es, Schallwellen und Vibrationen durch Analyse des Interferenzsignals zwischen den beiden Sensorfasern zu erfassen [8] (Abb. 4). Dieses Interferometer kann als verteiltes Hydrophon genutzt werden. Dieses Interferometer kann maximal 40 Kilometer lang sein und in einem Umkreis von mindestens drei Metern um das Kabel auch

schwache Vibrationen erfassen. Nach einer anfänglichen Trainingsphase können dank intelligenter Signalanalyse landwirtschaftliche Maschinen von Erdarbeiten oder illegalen Anzapfversuchen unterschieden werden.

Verteilte Glasfasersensoren in der Praxis

Die im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Methoden stellen nahezu ideale Lösungen zur Überwachung der langgestreckten Rohrleitungsstrukturen dar und während der letzten Jahre wurden sie deshalb zunehmend in Projekten eingesetzt.

Leckerkennung

Beim Auftreten eines Lecks tritt nicht nur das transportierte Medium aus. Typischerweise ergibt sich darüber hinaus einer oder mehrere der nachfolgenden Effekte:

1. Lokale Abkühlung durch den Joule-Thompson-Effekt bei sich entspannenden Gasen beispielsweise im Bereich von Hochdruck-Gasleitungen,

2. Änderung der Temperatur des umgebenden Erdreichs aufgrund der Durchdringung mit dem auslaufenden Medium oder Verdampfungseffekte und

3. insbesondere bei Hochdruckleitungen und kleineren Lecks werden durch das austretende Medium typischerweise Leckgeräusche erzeugt.

Mit Hilfe von auf Raman- oder Brillouinstreuung basierenden Systemen können leakagebedingte Temperaturveränderungen nach 1. oder 2. erkannt werden, solange die Mediumtemperatur von der Temperatur des das Kabel umgebenden Erdreichs hinreichend unterschiedlich ist oder der Abkühlungseffekt auch bei dem Sensorkabel noch hinreichend groß ist. Verteilte Temperaturmessungssysteme werden deshalb für die Überwachung von Erdgas-, Sole-, Phenol-, Schwefel-, LNG-, Rohöl- und Produktenrohrleitungen eingesetzt (z. B. [6, 9, 10]) und ermöglichen eine vom Betriebszustand der Rohrleitung vollkommen unabhängige Überwachung. Durch intelligente Signal-

analysemethoden wird es sogar möglich, die mit intrinsischen Systemen häufig nur schwer erkennbaren Lecks in Gasrohrleitungen zu erkennen, die aufgrund des Joule-Thompson-Effektes vereisen und dadurch sich selbst vorübergehend abdichten.

Für Offshore-Rohrleitungen wird in [9] ein Brillouin-Dehnungssensor zur Erkennung eventuell auftretender Leckagegeräusche eingesetzt. Bis dato werden glasfaserbasierte Leckortungssysteme in allen Fällen nur ergänzend zu den stets vorhandenen intrinsischen, rechnergestützten Leckortungssystemen eingesetzt. Dies ist wesentlich darin begründet, dass trotz der in der Praxis nachgewiesenen Effektivität dieser Systeme der rechnerische Nachweis beispielsweise für die minimale erkennbare Leckgröße oder die maximale Zeit bis zur Erkennung eines Lecks bestimmter Größe nur schwer zu führen ist, da entlang einer bis zu 30 Kilometer langen Rohrleitung sowohl lokal als auch jahreszeitlich oder witterungsbedingt sehr unterschiedliche Bedingungen auftreten können. ▶

gat 2010
stuttgart

30.11.-1.12.2010 | Halle 4 | Stand 4B31

SEWERIN
Technologien für die Lecksuche.

Versorgung wirtschaftlich sichern:



EX-TEC® HS 680

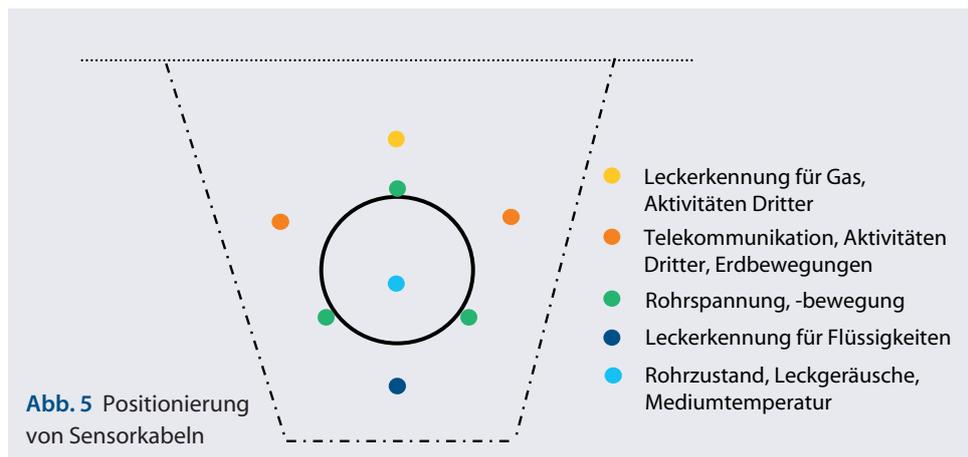
Setzen Sie das Zubehör vorheriger Gerätegenerationen unkompliziert weiter ein!

Erkennung von Bewegungen im Erdreich

Erdreich-Bewegungen entlang der Rohrleitung verursacht durch Erdbeben, Erdbebenrutsche oder Setzungen der Erdoberfläche erhöhen die Spannung in der Rohrleitung und damit auch die Wahrscheinlichkeit für eine Leckage. Verteilte glasfaserbasierte Dehnungssensoren werden auf zwei verschiedene Arten verwendet, um diese die Integrität der Rohrleitung gefährdenden Erdbewegungen erkennen zu können. Zum einen werden dehnungsempfindliche Glasfaserkabel an mehreren Stellen entlang des Umfangs direkt an der Rohrleitungswand befestigt und messen so die Dehnung der Rohrleitung selbst, woraus die zusätzliche Spannung in der Rohrleitung und damit das Gefährdungspotenzial ermittelt werden kann [11, 12]. Da die Kabel direkt an der Rohrleitung befestigt werden müssen, ist die Ausrüstung längerer Rohrabschnitte relativ aufwendig. Dehnungsempfindliche Glasfaser-Kabel werden aber auch parallel zur Rohrleitung verlegt, um so die tatsächliche Bewegung des Erdreichs zu erfassen [13]. Diese Art der Überwachung kann relativ einfach über längere Abschnitte auch nachträglich z. B. durch Einpflügen des Kabels implementiert werden.

Erkennung von Aktivitäten Dritter

Statistisch gesehen wird die Mehrzahl aller Leckagen durch die Handlungen Dritter beispielsweise bei Bauarbeiten, landwirtschaftliche Arbeiten oder auch durch beabsichtigte Beschädigung und illegales Anzapfen der Rohrleitung verursacht. Durch die Anwendung verteilter Dehnungssensoren [9, 10] oder von interferometerbasierten Hydrophonen [8] entlang der Rohrleitung können Aktivitäten wie Erdarbeiten mit schweren Maschinen oder auch manuell, metallischer Kontakt mit der Rohrleitung, aber auch andere Geräusche und Vibrationen erfasst werden. Ein Mach-Zehnder-Interferometer nach [8] wurde zum Beispiel zur Sicherung der im abgelegenen Naturschutzgebiet von Bolshomi verlegten BTC-Leitung eingesetzt. Immer werden als Ursache für Leckagen vor Jahren durchgeführte Bauarbeiten in der Nähe der Rohrleitung identifiziert, durch die die Druckverhältnisse im umgebenden Erdreich verändert wurden.



Überwachung des Rohrstatus

Bei der Statusüberwachung von vorgespannten Betonrohren (PCCP), wie sie für den Wasser-Pipelinebau und Wasserverteilnetzen eingesetzt werden, ist primär der Zustand der eingegossenen Spanndrähte von Interesse. In [14] wird berichtet, dass mit Hilfe von im Rohr frei schwimmenden glasfaserbasierten Sensoren nach dem Brillouin-Prinzip (Geräuscherfassung) Knackgeräusche von brechenden Drähten und Beton erfasst werden können. Durch die gute Ortsauflösung der Systeme kann daraus über die Zeit hinweg auf den Zustand einzelner Rohre entsprechend dem Rohrbuch geschlossen werden.

Kabelkonstruktion und -positionierung

Da alle Standard-Telekommunikationskabel für die Signalübertragung auf langen Strecken optimiert sind und dazu die enthaltenen Glasfasern möglichst gut von Umwelteinwirkungen abgeschirmt werden (Gelee-gefüllte Röhren, mehrere Mantellagen etc.), sind diese für viele messtechnischen Anwendungen nur bedingt geeignet. Beispielsweise können die dehnungsentkoppelten Glasfasern keine Dehnung messen und die dicken mehrlagigen Mäntel führen zu relativ großen Verzögerungen bei der Erfassung der Umgebungstemperatur. Daher gibt es auf dem Markt verschiedenste Kabelkonstruktionen, aus denen die für den jeweiligen Zweck geeignetste ausgewählt werden kann. Darunter sind auch verschiedene Konstruktionen, die neben den Sensorfasern Glasfasern für Telekommunikationszwecke enthalten.

Je nach zu erfassendem physikalischen Effekt müssen die Sensorkabel an der richtigen Position entlang der Rohrleitung eingebaut werden (Abb. 5).

Solange der Grundwasserspiegel unterhalb der Rohrleitung liegt, kann mit einem Temperatursensorkabel unterhalb des Rohrbodens sehr gut die durch eine auslaufende Flüssigkeit entstehende Temperaturveränderung erfasst werden. Bei der Bestimmung des Abstands zwischen Rohrboden und Sensorkabel ist zu berücksichtigen, dass je nach Rohr-isolation auf Dauer die Temperatur des Mediums die Temperatur im Erdreich erheblich beeinflussen kann und dadurch eventuell ein größerer Abstand gewählt werden muss. Zur Erfassung von Spannungsänderungen am Rohr sollten mehrere Sensorkabel direkt auf dem Rohr befestigt werden. Ein zum Beispiel in vorgespannten Betonrohren frei schwimmendes Sensorkabel kann am besten die Geräusche in einem Rohr erfassen und erlaubt so Aussagen über die Anzahl der gebrochenen Spanndrähte oder auch über entstandene Leckagen. Oberhalb des Rohres angebrachte Temperatursensoren erlauben die Erfassung des Joule-Thompson-Effektes bei Gasleitungen. Generell erlauben alle Positionen oberhalb der Rohrleitung (Gas- und die typischen Telekomkabelpositionen) die Erfassung von Bewegungen und Erschütterungen oberhalb der Leitung und sind somit gut für die vorbeugende Erfassung von Aktivitäten Dritter geeignet.

Zusammenfassung

Verteilte Glasfasersensoren eignen sich sehr gut zur Leckerkennung und -ortung,

aber auch für die frühzeitige Erkennung der Hauptursachen von Leckagen (Erdbewegungen und Aktivitäten Dritter). Mit einer Länge von bis zu 30 Kilometern ist es möglich, sehr lange Strecken ohne zusätzliche Stromversorgung oder Kommunikationseinrichtungen in Echtzeit überwachen zu können. Wie alle Messsysteme müssen auch glasfaserbasierte Sensoren sorgfältig geplant werden, um die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen zu können.

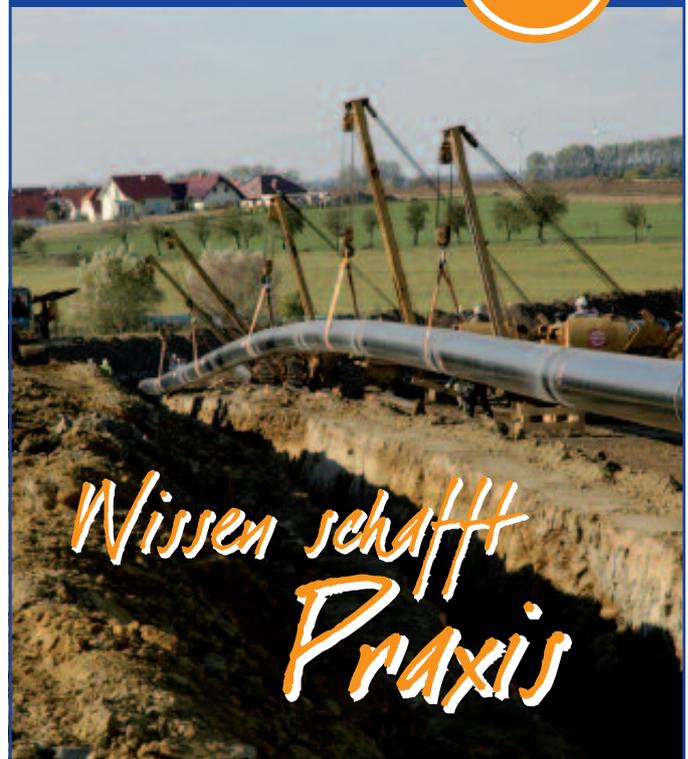
Literatur

- [1] American Petroleum Institute. API Standards. s.l.: www.api.org.
 [2] TRFL- Technische Regel für Rohrfernleitungsanlagen nach § 9 Absatz 5 der Rohrfernleitungsverordnung. 2010.
 [3] CONCAWE. Performance of European Cross Country Oil Pipelines, Statistical Summary of reported spillages. s.l.: www.concawe.org
 [4] EGIG. EGIG Report. s.l.: www.egig.nl.
 [5] Scott, S.; Baruffett, M.: Worldwide Assessment of Industry Leak Detection Capabilities for Single and Multiphase Pipelines. Texas A&M University. s.l.: OTRC Library Number: 8/03A120, 2003.
 [6] Inaudi, D.; Glisic, B.; Figini, A.; Walder, R.: Pipeline Leakage Detection and Localization Using Distributed Fiber Optic Sensing. RIO Pipeline Conference, 2nd to 4th October 2007.
 [7] Waldner, R.: Pipeline Leakage Detection and Localization Using Distributed Fiber Optic Sensing. Webinar. s.l.: Smartec, 2009.
 [8] Future Fiber Technologies. Secure Pipe: Installation Overview. s.l.: www.fftsecurity.com, 2009.
 [9] Sensonet. Digital Pipeline Integrity Monitoring System - Application Guide.
 [10] Schlumberger: Integrated Pipeline Monitoring – Integrity. 2008.
 [11] Inaudi, D.; Glisic, B.: Long-range Pipeline Monitoring by Distributed Fiber Optic Sensing. Calgary, Canada: s.n., 2006. 6th International Pipeline Conference.
 [12] Griesser, L.; Wieland, M.; Walder, R.: Earthquake Detection and Safety System for Oil Pipeline. December 2004, Pipeline & Gas Journal.
 [13] Omnisens. Pipeline Integrity Monitoring - Transandean Route, Case Study.
 [14] Elliot, J.; Stieb, J.; Holley, M.: An Integrated Dynamic Approach to PCCP Integrity Management, 2006. Pipelines - Service to the Owner.

Autoren:

Dipl.-Ing. Jochen Frings
 Leitender Projektingenieur SCADA & Telekommunikation
 ILF Beratende Ingenieure GmbH
 Werner-Eckert-Str. 7
 81829 München
 Tel.: 089 255594-324
 Fax: 089 255594-44324
 Jochen.Frings@ilf.com
 Internet: www.ilf.com

Dipl.-Ing. Tobias Walk
 Geschäftsbereichsleiter Elektrische Anlagen, Automatisierung & IT
 ILF Beratende Ingenieure GmbH
 Werner-Eckert-Str. 7
 81829 München
 Tel.: 089 255594-244
 Fax: 089 255594-44244
 E-Mail: Tobias.Walk@ilf.com
 Internet: www.ilf.com



Wissen schafft
 Praxis

Treffpunkt der Wirtschaft und Wissenschaft, Marktplatz umfangreichen Know-hows und Neuestem aus der Fachwelt.

25. Oldenburger Rohrleitungsforum
10. bis 11. Februar 2011

- mehr als 3.000 Besucher aus Praxis und Fachhochschule, der freien Wirtschaft und aus der Wissenschaft
- mehr als 100 Fachvorträge aus allen Facetten der Branche, schaffen Wissen für die Praxis und sorgen für Impulse für die Forschung
- mehr als 350 internationale Aussteller zeigen nicht nur Neuestes aus Wissenschaft und Praxis, sondern fördern den Austausch unter- und miteinander.

Anmeldungen und weitere Informationen:



Institut für Rohrleitungsbau
 an der Fachhochschule Oldenburg e.V.
 Ofener Straße 18 / 26121 Oldenburg
 Frau Ina Kleist
 Tel. 0441 361039-0 / Fax 0441 361039-10
 E-mail ina.kleist@iro-online.de / www.iro-online.de